TEXTE
47/2010

WASKLim

Entwicklung eines übertragbaren Konzepts zur Bestimmung der Anpassungsfähigkeit sensibler Sektoren an den Klimawandel am Beispiel der Wasserwirtschaft

Umwelt Bundesamt

| TEXTE | 47/2010

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 3707 41 105
UBA-FB 001404

WASKlim

Entwicklung eines übertragbaren Konzeptes zur Bestimmung der Anpassungsfähigkeit sensibler Sektoren an den Klimawandel am Beispiel der Wasserwirtschaft

Block 1: Methodenentwicklung zur Bestimmung der Anpassungskapazität und Vulnerabilität

Block 2: Anpassungskonzepte für den Wassersektor und Umgang mit Nutzungskonflikten

von

Jörg Scherzer (Projektleitung), Gayane Grigoryan, Bernd Schultze, Veit Stadelbacher, Jörg Niederberger, Hannaleena Pöhler
UDATA Umweltschutz und Datenanalyse, Neustadt/Wstr.

Markus Disse, Christian Jacoby, Timo Heinisch
Universität der Bundeswehr München

DIALOGIK gGmbH, Stuttgart

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
http://www.uba.de/uba-info-medien/4019.html
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
E-Mail: info@umweltbundesamt.de
Internet: http://www.umweltbundesamt.de
http://fuer-mensch-und-umwelt.de/

Redaktion: Fachgebiet II 2.1 Übergreifende Angelegenheiten
Gewässergüte und Wasserwirtschaft, Grundwasserschutz
Corinna Hornemann

Fachgebiet I 1.7 KomPass – Kompetenzzentrum Klimafolgen
und Anpassung
Achim Daschkeit

Dessau-Roßlau, September 2010

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 001404	2.	3. Wasserwirtschaftliche Anpassungsstrategien an den Klimawandel

4. Titel des Berichts

Entwicklung eines übertragbaren Konzeptes zur Bestimmung der Anpassungsfähigkeit sensibler Sektoren an den Klimawandel am Beispiel der Wasserwirtschaft – Abschlussbericht: Block 1: Methodenentwicklung zur Bestimmung der Anpassungskapazität und Vulnerabilität, Block 2: Anpassungskonzepte für den Wassersektor und Umgang mit Nutzungskonflikten

5. Autor(en), Name(n), Vorname(n)

Jörg Scherzer (UDATA), Markus Disse (UniBW), Christian Jacoby (UniBW), Timo Heinisch (UniBW), Gayane Grigoryan (UDATA), Bernd Schultze (UDATA), Veit Stadelbacher (UDATA), Jörg Niederberger (UDATA), Hannaleena Pöhler (UDATA)

6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)

UDATA, Inh.: Dr. Jörg Scherzer (federführend)
Hans-Geiger-Str. 18, 67434 Neustadt/Wstr.

Universität der Bundeswehr München
Professur für Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz
Professur für Bauprojektmanagement und Raumplanung
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg

DIALOGIK gGmbH, Stuttgart
Lerchenstraße 22, 70174 Stuttgart

7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)

Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau

8. Abschlussdatum
27.08.2009

9. Veröffentlichungsdatum
September 2010

10. UFOPLAN-Nr.
3707 41 105

11. Seitenzahl
234

12. Literaturangaben
170

13. Tabellen und Diagramme
37

14. Abbildungen
114

15. Zusätzliche Angaben

16. Kurzfassung

Die Vulnerabilität der Wasserwirtschaft gegenüber dem Klimawandel resultiert aus den Auswirkungen klimatischer Belastungen und dem diesbezüglich nutzbaren Anpassungspotenzial. Hinsichtlich der bisherigen Entwicklung des Wasserhaushaltes werden in zahlreichen Literaturstellen für die jüngere Vergangenheit Trends identifiziert, während diese in längeren Zeitreihen nicht oder kaum vorhanden sind. Für die zukünftige Entwicklung erwies sich der Trendvergleich aufgrund der heterogenen Quellenlage (Klimamodelle, Szenarien, Methodik) als problematisch. Generell zeichnet sich ab, dass im Sommerhalbjahr weniger, und im Winterhalbjahr mehr Wasser verfügbar sein wird. Zur detaillierteren Untersuchung der Sensitivität des Wasserhaushalts wurden für drei Testgebiete (Iller, Wupper, Salza) mit Hilfe des numerischen Modells WaSiM-ETH Wasserhaushaltssimulationen auf Grundlage von WETTREG- und REMO-Klimadaten für die Emissionsszenarien A1B, A2 und B1 durchgeführt. Auf Basis dieser Analysen, weiterer Literaturauswertung und eigenen Erhebungen wurde der zukünftige Wasserbedarf dem Wasserdargebot gegenübergestellt und das nutzbare Anpassungspotenzial für die Wasserwirtschaft unter Berücksichtigung gesellschaftlicher Rahmenbedingungen für verschiedene Wassernutzungen ermittelt. Darauf aufbauend wurde das Entscheidungsunterstützungssystem „WASKlim-EUS“ entwickelt und anhand der drei Testgebiete erprobt. Bei der Anwendung des WASKlim-EUS erwies sich die Bewertung des Wasserdargebotes, des Wasserbedarfs und der Anpassungsmaßnahmen als Herausforderung für die Stakeholder. Im WASKlim-EUS werden für eine erste Einschätzung der Klimaänderungsauswirkungen Erfahrungswerte verwendet werden, die durch Stakeholderbefragungen ergänzt werden können.

17. Schlagwörter

Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Klimawandel, Sensitivität, Vulnerabilität, Grundwasser, Abfluss, Anpassungskapazität, Nutzungskonflikte, WASKlim, WaSiM-ETH, Entscheidungsunterstützungssystem, Fuzzy-Logik, Bewertungsmethoden

18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 001404	2.	3.
4. Report Title WasKlim- Development of a transferable concept to determine the adaptability of sensitive sectors to climate change on the example of water management		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Jörg Scherzer (UDATA), Markus Disse (UniBW), Christian Jacoby (UniBW), Timo Heinisch (UniBW), Gayane Grigoryan (UDATA), Bernd Schultze (UDATA), Veit Stadelbacher (UDATA), Jörg Niederberger (UDATA), Hannaleena Pöhler (UDATA)	8. Report Date 27/08/2009	
6. Performing Organisation (Name, Address) UDATA, Inh.: Dr. Jörg Scherzer (federführend) Hans-Geiger-Str. 18, 67 434 Neustadt/Wstr. Universität der Bundeswehr München Professorship for Water Management and Resources Engineering Professorship for Building Project Management and Spatial Planning Werner-Heisenberg-Weg 39, 85 577 Neubiberg DIALOGIK gGmbH Stuttgart Lerchenstr. 22, 70 174 Stuttgart	9. Publication Date September 2010 10. UFOPLAN-Ref. No. 3707 41 105	
7. Funding Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency) Postfach 14 06, 06813 Dessau-Roßlau	11. No. of Pages 234 12. No. of Reference 170 13. No. of Tables, Diagrams 37 14. No. of Figures 114	
15. Supplementary Notes		
16. Abstract The vulnerability of water resource management to climate change is a result of the climate change impacts and the usable potential for adaptation. A lot of scientific studies identified trends regarding the development of the water balance in the recent past. However, these trends are not or only scarcely shown in longer time series. Due to inhomogeneous scientific results (climate modelling, scenarios, methods) the trend comparison has proven to be problematic for the future development. Generally less water will be available in summer and more in winter. For the detailed analysis of the water balance sensitivity simulations were conducted for three pilot areas (Iller, Wupper, Salza) using the numerical model WaSiM-ETH and the climate data from the WETTREG and REMO regional models. The simulations were calculated for the emissions scenarios A1B, A2 and B1. To determine the usable potential for adaptation of the water resource management in consideration of the social conditions for different water uses and based on the named analyses, further literature overview and own investigations, the water demand was compared to the water availability. Based on these investigations the decision support system "WASKlim-EUS" was developed and tested in the three pilot areas. During the implementation process of the WASKlim-EUS the evaluation of the water demand, the water availability and the adaptation measures has proven to be challenging for stakeholders. For the first assessments of the climate change impacts in the WASKlim-EUS expert knowledge is used, which could be supplemented by stakeholder surveys.		
17. Keywords Water balance, water resource management, climate change, sensitivity, vulnerability, groundwater, discharge, adaptation capacity, conflicts of use, WASKlim, WaSiM-ETH, decision support system, fuzzy logic, evaluation methods		
18. Price		
	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 3
Tabellenverzeichnis 5
Abbildungsverzeichnis 7
Anlagenverzeichnis 11

1 Einleitung 14

2 Methodenentwicklung zur Bestimmung der Anpassungskapazität und Vulnerabilität 16

2.1 Klimatische Belastungen 16
2.1.1 Klimaszenarien 16
2.1.2 Klimatische Belastung nach Naturräumen 20
2.1.3 Übersicht Klimatische Belastungen 27
2.1.4 Klimatische Wasserbilanzkarten 30

2.2 Sensitivität des Wasserhaushaltes – Literaturanalyse 40
2.2.1 Einzugsgebiet des Rheins 40
2.2.1.1 Hochrhein 41
2.2.1.2 Oberrhein 42
2.2.1.3 Mittelrhein und Niederrhein 44
2.2.2 Einzugsgebiet der Elbe 46
2.2.3 Einzugsgebiet der Donau 49
2.2.4 Einzugsgebiet der Weser 50
2.2.5 Einzugsgebiet der Ems 52
2.2.6 Einzugsgebiet der Oder 52

2.3 Sensitivität des Wasserhaushaltes – Modellsimulationen für Testgebiete 53
2.3.1 Repräsentativität und Übertragbarkeit 54
2.3.2 Auswahl der Testgebiete 54
2.3.3 Wasserhaushaltsmodell WaSiM-ETH 56
2.3.4 Datengrundlage 57
2.3.5 Datenaufbereitung 58
2.3.5.1 Klimadaten 58
2.3.5.2 Digitales Geländemodell 59
2.3.5.3 Landnutzung 60
2.3.5.4 Böden 60
2.3.6 Kalibrierung / Validierung 60
2.3.7 Szenarioplausibilität 66
2.3.8 Szenariovergleich 73
2.3.8.1 Niederschlag 73
2.3.8.2 Lufttemperatur 78
2.3.8.3 Verdunstung 82
2.3.8.4 Grundwasserneubildung 84
2.3.8.5 Mittelwasserabfluss („MQ“) 86
2.3.8.6 Hochwasserabfluss („MHQ“, „HQ“) 89
2.3.8.7 Niedrigwasserabfluss („MNQ“, „NQ“), Niedrigwasserdauer 90

3 Bestimmung der Vulnerabilität der Wasserwirtschaft hinsichtlich Wassernutzung, Berücksichtigung gesellschaftlicher Rahmenbedingungen 94

3.1 Konzept zur Ermittlung der potenziellen Auswirkungen auf die Wassernutzungen 95

3.2 Konzept zur differenzierten Abschätzung der Anpassungskapazität der Wasserwirtschaft 98

3.3 Wasserversorgung ... 99
3.3.1 Wasserbedarf und Wasserdargebot heute ... 100
3.3.2 Wasserbedarf und Wasserdargebot zukünftig ... 108
3.3.3 Anpassungskapazität ... 115
3.4 Wasserkraft ... 119
3.4.1 Wasserbedarf und Wasserdargebot heute ... 119
3.4.2 Wasserbedarf und Wasserdargebot zukünftig ... 121
3.4.3 Anpassungskapazität ... 124
3.5 Binnenschifffahrt ... 125
3.5.1 Wasserbedarf und Wasserdargebot heute ... 126
3.5.2 Wasserbedarf und Wasserdargebot zukünftig ... 128
3.5.3 Anpassungskapazität ... 129
3.6 Gewässerzustand ... 131
3.6.1 Gewässerzustand heute ... 132
3.6.2 Gewässerzustand zukünftig ... 136
3.6.3 Anpassungskapazität ... 140
4 Konzept Entscheidungsunterstützungssystem ... 144
4.1 Regelbasiertes Entscheidungsunterstützungssystem (EUS) ... 144
4.2 Stakeholderbeteiligung ... 151
4.3 Testgebiet Wupper ... 152
4.3.1 Einzugsgebiet Wupper ... 152
4.3.2 Ergebnisse Wupper ... 154
4.3.3 Unsicherheiten ... 158
4.4 Testgebiet Salza ... 159
4.4.1 Einzugsgebiet Salza ... 159
4.4.2 Ergebnisse Salza ... 163
4.4.3 Unsicherheiten ... 167
4.5 Testgebiet Iller ... 168
4.5.1 Einzugsgebiet Obere Iller ... 168
4.5.2 Ergebnisse Obere Iller ... 169
4.5.3 Unsicherheiten ... 173
4.6 Qualität und Sensitivität der Ergebnisse ... 174
4.7 Optimierungsmöglichkeiten des WASKlim-EUS ... 176
4.8 Übertragbarkeit des EUS ... 177
5 Zusammenfassung / Ausblick ... 178
6 Summary ... 182
7 Literatur ... 186
8 Glossar ... 201
9 Anhang ... 210
9.1 Klimatische Wasserbilanzkarten ... 210
9.2 Modellsimulationen für die Testgebiete ... 213
9.3 WASKlim-EUS ... 222
9.3.1 Wupper ... 222
9.3.2 Salza / Weida ... 227
9.3.3 Obere Iller ... 231

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Jahrestemperatur (in °C) im süddeutschen Raum (KLIWA Gebiet): Messwerte (1971-2000), Szenario "Ist-Zustand", Szenario "Zukunft" (Bronstert et al. 2006) 22

Tabelle 2: Jahresniederschläge (in mm) im süddeutschen Raum (KLIWA Gebiet): Messwerte (1971-2000), Szenario "Ist-Zustand", Szenario "Zukunft" (Bronstert et al. 2006) 22

Tabelle 3: Datengrundlage 58

Tabelle 4: Kalibrierung und Validierung Wupper, Gütemaße R^2, log R^2, EV und log EV am Beispiel des Pegels Neumühle (große Dhünn)..... 61

Tabelle 5: Gesamtbilanz Wuppergebiet: Abflussspende gemessen und simuliert 62

Tabelle 6: Kalibrierung und Validierung obere Iller Pegel Kempten, Gütemaße R^2, log R^2, EV und log EV. 63

Tabelle 7: Gesamtbilanz Illergebiet: Abflussspende gemessen und simuliert 64

Tabelle 8: Gesamtbilanz Salzagebiet: Abflussspende gemessen und simuliert 66

Tabelle 9: Szenarioplausibilität Unterschreitung MNQ: Anzahl der Tage sowie mittlere und maximale Unterschreitungsdauer bei MESS und WETTREG-IST 72

Tabelle 10: Anzahl, maximale Dauer und Häufigkeit der Periode 5 bzw. 7 Tage der Unterschreitung von MNQ (Ist) für das Einzugsgebiet von Wupper, Iller und Salza für die Zeiträume Ist, Z1 und Z2. SumD: Anzahl Tage der Unterschreitung von MNQ, MaxD: Maximale Unterschreitungsdauer von MNQ in Tagen 93

Tabelle 11: Wassergewinnung und Wasserbezug in Deutschland (Statistisches Bundesamt 2007, verändert)..... 100

Tabelle 12: Verteilung nach Wasserbezug (Statistisches Bundesamt 2007, verändert) 101

Tabelle 13: Benötigte Wassermengen eines thermischen Kraftwerks für die Elektrizitätserzeugung (Rothstein et al. 2008, verändert) 102

Tabelle 14: Leistungsrückgänge einiger konventioneller Kraftwerke in Deutschland im Sommer 2003 (Lönker 2003, BfG 2006) 103

Tabelle 15: Änderung klimatische Wasserbilanz 2071-2100 zu 1971-2000 in mm 122

Tabelle 16: Änderung klimatische Wasserbilanz 2021-2050 zu 1971-2000 in mm 122

Tabelle 17: Abwassereinleitungen in Deutschland (Statistisches Bundesamt 2007, verändert)..... 137

Tabelle 18: Abwassereinleitung der Industrie nach Länder (Statistisches Bundesamt 2007, verändert)..... 137

Tabelle 19: Kühlwassergrenzwerte (Klammerwerte in Ausnahmefällen) (Rothstein et al. 2008, verändert nach Maniak 2005, LAWA 1991) 141

Tabelle 20: Grenzwerte bezüglich des Vorfluters (Klammerwerte in Ausnahmefällen) (Rothstein et al. 2008, verändert nach Maniak 2005, LAWA 1991)..... 142

Tabelle 21: Beispiel für die Bewertung der hydrologischen Kenngröße MQ..... 146

Tabelle 22: Verwendete hydrologische Kenngrößen und Entwicklungskenngrößen der Wassernutzer im EZG der Wupper 154
Tabelle 23: Zusammenfassung Zustandsbewertung - Mittelwerte (roter Pfeil = negativ Zustandsentwicklung, grüner Pfeil = positive Zustandsentwicklung, ? = unklare Zustandsentwicklung) 157
Tabelle 24: Maßnahmenbewertung im EZG der Wupper (rot = vulnerabel) 158
Tabelle 25: Selbsteinschätzung der Stakeholder im Einzugsgebiet der Wupper. Dazugehörige Fragen siehe Anhang (unsicher (1), ziemlich sicher (2) und sicher (3)) 159
Tabelle 26: Verwendete hydrologische Kenngrößen und Entwicklungskenngrößen der Wassernutzer im EZG der Salza (Weida) 163
Tabelle 27: Prozentuale Änderung der hydrologischen Kenngröße MQ (J) in naher (Z 1: 2021-2050) und ferner Zukunft (Z 2: 2071-2100) zu IST (1971-2000) 165
Tabelle 28: Zusammenfassung Zustandsbewertung - Mittelwerte (roter Pfeil = negativ Zustandsentwicklung) 166
Tabelle 29: Maßnahmenbewertung im EZG der Weida (rot = vulnerabel)..... 166
Tabelle 30: Selbsteinschätzung der Stakeholder im Einzugsgebiet der Salza / Weida (unsicher (1), ziemlich sicher (2) und sicher (3)). 167
Tabelle 31: Verwendete hydrologische Kenngrößen und Entwicklungskenngrößen der Wassernutzer im EZG der Oberen Iller 170
Tabelle 32: Zusammenfassung Zustandsbewertung - Mittelwerte (roter Pfeil = negativ Zustandsentwicklung, grüner Pfeil = positive Zustandsentwicklung, schwarzer Pfeil = zufriedenstellender Zustand)..... 172
Tabelle 33: Maßnahmenbewertung im EZG der Oberen Iller (rot = vulnerabel) 173
Tabelle 34: Selbsteinschätzung der Stakeholder im Einzugsgebiet der Oberen Iller (unsicher (1), ziemlich sicher (2) und sicher (3)) 174
Tabelle 35: WaSiM-ETH TOPMODEL Modellkomponenten und implementierte Ansätze (Version 7.10.3)..... 215
Tabelle 36: Codierung der Landnutzungskarte für die Anwendung in WaSiM-ETH 216
Tabelle 37: Bodenhydraulische Parameter für die 72 Leitbodenassoziationen der BÜK1000 (FC: nutzbare Feldkapzität, mSB: max. nutzbarer Bodenwassergehalt, ksat: ges. Hydraul. Leitfähigkeit, suction: Saugspannung an Feuchtefront) 219

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Naturräume in Deutschland (Zebisch et al. 2005 & Meynen et al. 1962)17
Abbildung 2: Grundstruktur der IPCC-SRES Emissionsszenarios (Zebisch et al. 2005)17
Abbildung 3: CO_2-Konzentration der jeweiligen Szenarien (Jacob et al. 2006) 19
Abbildung 4: Entwicklung der globalen Mitteltemperatur (Spekat et al. 2007) 20
Abbildung 5: Änderung der mittleren Lufttemperatur im Sommer getrennt nach verschiedenen regionalen Klimamodellen und den Perioden 2071-2100, als auch 2021-2050 (beide Szenario A1B) zu der Periode 1971-2000 (DWD 2009) 28
Abbildung 6: Änderung der mittleren Lufttemperatur im Winter getrennt nach ver-schiedenen regionalen Klimamodellen und den Perioden 2071-2100, als auch 2021-2050 (beide Szenario A1B) zu der Periode 1971-2000 (DWD 2009) 28
Abbildung 7: Änderung der mittleren Niederschlagshöhen im Sommer getrennt nach verschiedenen regionalen Klimamodellen und den Perioden 2071-2100, als auch 2021-2050 (beide Szenario A1B) zu der Periode 1971-2000 (DWD 2009) 29
Abbildung 8: Änderung der mittleren Niederschlagshöhen im Winter getrennt nach ver-schiedenen regionalen Klimamodellen und den Perioden 2071-2100, als auch 2021-2050 (beide Szenario A1B) zu der Periode 1971-2000 (DWD 2009) 29
Abbildung 9: Klimatische Wasserbilanzkarte 1961-1990 (BMU 2003)..... 32
Abbildung 10: Klimatische Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 1971-2000, WETTREG, C20 [mm]..... 33
Abbildung 11: Klimatische Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2021-2050, WETTREG, A1B [mm] 34
Abbildung 12: Klimatische Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2071-2100, WETTREG, A1B [mm] 35
Abbildung 13: Änderung der klimatischen Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2021-2050 zu 1971-2000, WETTREG, A1B zu C20 [mm]..... 37
Abbildung 14: Änderung der klimatischen Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2071-2100 zu 1971-2000, WETTREG, A1B zu C20 [mm]..... 38
Abbildung 15: Änderung der klimatischen Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2071-2100 zu 2021-2050, WETTREG, A1B [mm]..... 39
Abbildung 16: Lage der Testgebiete 55
Abbildung 17: Kalibrierung Wupper (Pegel Neumühle, Große Dhünn), gemessener und simulierter Abfluss. 62
Abbildung 18: Kalibrierung Iller (Pegel Kempten), gemessener und simulierter Abfluss. 63
Abbildung 19: Kalibrierung Salza (Pegel Stedten), gemessener und simulierter Abfluss. 65
Abbildung 20: Kalibrierung Salza (Pegel Stedten), gemessener und simulierter Abfluss. 65

Abbildung 21: Szenarioplausibilität: Mittlere Monats- und. Jahresniederschläge im Wuppergebiet (Absolutwerte). Fehlerbalken: Konfidenzintervall, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Messwerten (MESS) und dem Kontrolllauf (W_IST, R_IST). 67

Abbildung 22: Szenarioplausibilität: Mittlere Monats- und. Jahressummen der Verdunstung im Wuppergebiet (Absolutwerte). Fehlerbalken: Konfidenzintervall, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Messwerten (MESS) und dem Kontrolllauf (W_IST, R_IST). 68

Abbildung 23: Szenarioplausibilität: Mittlere Monats- und. Jahressummen der Grundwasserneubildung am Pegel Neumühle (große Dhünn/Wupper) (Absolutwerte). Fehlerbalken: Konfidenzintervall, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Messwerten (MESS) und dem Kontrolllauf (W_IST). 70

Abbildung 24: Szenarioplausibilität: Monats- und. Jahresmittel des Abflusses am Pegel Neumühle (Absolutwerte). Fehlerbalken: Konfidenzintervall, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Messwerten (MESS) und dem Kontrolllauf (W_IST). 71

Abbildung 25: Szenarioplausibilität: Monats- und. Jahresmittel des Abflusses Iller Pegel Kempten (Absolutwerte). Fehlerbalken: Konfidenzintervall, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Messwerten (MESS) und dem Kontrolllauf (W_IST). 72

Abbildung 26: Szenariovergleich: Gebietsniederschläge für Wupper, Salza und obere Iller (Jahressumme) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2). 74

Abbildung 27: Szenariovergleich WETTREG: Gebietsniederschläge Wupper (Jahressumme, Monatssummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2). 75

Abbildung 28: Szenariovergleich REMO: Gebietsniederschläge Wupper (Jahressumme, Monatssummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (R_IST) und den Klimaszenarien (R_Z1; R_Z2). 75

Abbildung 29: Szenariovergleich WETTREG: Gebietsniederschläge Salza (Jahressumme, Monatssummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2). 76

Abbildung 30: Szenariovergleich REMO: Gebietsniederschläge Salza (Jahressumme, Monatssummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (R_IST) und den Klimaszenarien (R_Z1; R_Z2). 76

Abbildung 31: Szenariovergleich WETTREG: Gebietsniederschläge obere Iller (Jahressumme, Monatssummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter

Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2). 77
Abbildung 32: Szenariovergleich REMO: Gebietsniederschläge obere Iller (Jahressumme, Monatssummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (R_IST) und den Klimaszenarien (R_Z1; R_Z2). 77
Abbildung 33: Szenariovergleich: Lufttemperatur Wupper, Salza und obere Iller (Jahresmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2). 78
Abbildung 34: Szenariovergleich WETTREG: Lufttemperatur Wupper (Jahresmittel, Monatsmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2). 79
Abbildung 35: Szenariovergleich REMO: Lufttemperatur Wupper (Jahresmittel, Monatsmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (R_IST) und den Klimaszenarien (R_Z1; R_Z2). 79
Abbildung 36: Szenariovergleich WETTREG: Lufttemperatur Salza (Jahresmittel, Monatsmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2). 80
Abbildung 37: Szenariovergleich REMO: Lufttemperatur Salza (Jahresmittel, Monatsmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (R_IST) und den Klimaszenarien (R_Z1; R_Z2). 80
Abbildung 38: Szenariovergleich WETTREG: Lufttemperatur obere Iller (Jahresmittel, Monatsmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2). 81
Abbildung 39: Szenariovergleich REMO: Lufttemperatur obere Iller (Jahresmittel, Monatsmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (R_IST) und den Klimaszenarien (R_Z1; R_Z2). 81
Abbildung 40: Szenariovergleich: Verdunstung Wupper, Salza und obere Iller (Jahressummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2). 83
Abbildung 41: Szenariovergleich: Verdunstung Wupper, Salza und obere Iller (Halbjahressummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2). 83
Abbildung 42: Szenariovergleich: Grundwasserneubildung Wupper, Salza und obere Iller (Jahressummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter

Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2). 85
Abbildung 43: Szenariovergleich: Grundwasserneubildung Wupper, Salza und obere Iller (Halbjahressummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2). 85
Abbildung 44: Szenariovergleich: MQ Wupper, Salza und obere Iller (Jahresmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2). 87
Abbildung 45: Szenariovergleich: MQ Wupper, Salza und obere Iller (Halbjahresmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2). 87
Abbildung 46: Szenariovergleich WETTREG: Obere Iller MQ (Jahreswert, Monatswerte) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2). 88
Abbildung 47: Szenariovergleich REMO: Obere Iller MQ (Jahreswert, Monatswerte) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (R_IST) und den Klimaszenarien (R_Z1; R_Z2). 88
Abbildung 48: Szenariovergleich: MHQ Wupper, Salza und obere Iller (Jahresmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2). 89
Abbildung 49: Szenariovergleich: MHQ Wupper, Salza und obere Iller (Halbjahresmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2). 90
Abbildung 50: Szenariovergleich: MNQ Wupper, Salza und obere Iller (Jahresmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2). 92
Abbildung 51: Szenariovergleich: MNQ Wupper, Salza und obere Iller (Halbjahresmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2). 92
Abbildung 52: Ablaufschema zur Ermittlung der potenziellen Auswirkungen auf die Wassernutzungen 96
Abbildung 53: Mögliche Wassernutzungen (verändert nach Wupperverband 2008 b)..... 96
Abbildung 54: Verfügbare Wasserressourcen in Deutschland im Jahr 2004 (BDEW 2007 & Statistisches Bundesamt 2006a) 99

Abbildung 55: Leistungseinschränkung thermischer Kraftwerke in Deutschland aufgrund wasserrechtlicher Bestimmungen (Rothstein et al. 2008, verändert nach Müller et al. 2008) 103
Abbildung 56: Wasserförderung nach Wasserarten 2004 (BDEW 2007) 104
Abbildung 57: Wassergewinnung für die öffentliche Wasserversorgung nach Wasserarten in den Bundesländern 1995 (BMU 2003) 105
Abbildung 58: Wasserversorgung in Deutschland (BMU 2003) 107
Abbildung 59: Bevölkerungsentwicklung in Deutschland – Varianten (eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt 2006b) 109
Abbildung 60: Bevölkerungsentwicklung in Deutschland bis 2050, Variante 1 - W1 (eigene Darstellung, Daten aus: Statistisches Bundesamt 2006b) 110
Abbildung 61: Wasserkraftwerke in Deutschland größer 10 MW (Leuscher 2008) 120
Abbildung 62: Technisch nutzbares sowie derzeit genutztes Wasserkraftpotenzial in Deutschland in TWh/a, Stand 1998 (Gieseke & Heimerl 1999, Bunge et al. 2001) 121
Abbildung 63: Tragfähigkeit exemplarischer Binnenschiffe nach Tiefgang (Rothstein et al. 2008 nach Weska 2006) 127
Abbildung 64: Kriterien der Gewässerbelastung (BMU 2004) 131
Abbildung 65: Ergebnisse der Bestandsaufnahme für den guten ökologischen (links) und chemischen (rechts) Zustand der Flüsse und Seen in Deutschland (BMU 2005) 133
Abbildung 66: Ergebnisse der Bestandsaufnahme für Oberflächengewässer (Flüsse und Seen) getrennt nach Bundesländern, Stand: Januar 2005 (BMU 2005) 134
Abbildung 67: Ergebnisse der Bestandsaufnahme für den guten chemischen (links) und mengenmäßigen (rechts) Zustand des Grundwassers in Deutschland (BMU 2005) 135
Abbildung 68: Ergebnisse der Bestandsaufnahme der Grundwasserkörper in den Bundesländern, Stand: Januar 2005 (BMU 2005) 136
Abbildung 69: Aufbauschema des Entscheidungsunterstützungssystems 145
Abbildung 70: Graphische Darstellung der Zugehörigkeitsfunktionen des Fuzzy-Systems. Die einzelnen Funktionen werden mit Hilfe der Stakeholdereinschätzungen bspw. aus Tabelle 21 erstellt. 147
Abbildung 71: Farbliche Zuordnung der Zugehörigkeitsfunktionen aus Abbildung 70 zu den Antwortfunktionen -3 bis +3. 148
Abbildung 72: Graphische Darstellung der Zugehörigkeitsfunktionen und der hydrologischen Kenngröße MQ (87 %). 148
Abbildung 73: Ergebnisdarstellung der Antwort MQ (87 %) 149
Abbildung 74: Einzugsgebiet der Wupper (Wupperverband 2008 a) 153
Abbildung 75: Zustandsbewertung 2021-2050 gegenüber 1971-2000 155
Abbildung 76: Zustandsbewertung 2071-2100 gegenüber 1971-2000 156
Abbildung 77: Einzugsgebiet Salza (BAH Berlin o.J.) 161
Abbildung 78: Bereich süßer See und ehemaliger salziger See (EVSA 2009) 161
Abbildung 79: Zustandsbewertung 2021-2050 gegenüber 1971-2000 164
Abbildung 80: Zustandsbewertung 2071-2100 gegenüber 1971-2000 164

Abbildung 81: Einzugsgebiet der Oberen Iller bis Kempten (graue Markierung) (Wikipedia 2009) 168
Abbildung 82: Zustandsbewertung 2021-2050 gegenüber 1971-2000 171
Abbildung 83: Zustandsbewertung 2071-2100 gegenüber 1971-2000 171
Abbildung 84: Änderung der klimatischen Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2021-2050 zu 1971-2000, WETTREG, A1B zu C20 [%] 210
Abbildung 85: Änderung der klimatischen Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2071-2100 zu 1971-2000, WETTREG, A1B zu C20 [%] 211
Abbildung 86: Änderung der klimatischen Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2071-2100 zu 2021-2050, WETTREG, A1B [%] 212
Abbildung 87: SRTM-3 DHM-Daten (Digitales Höhenmodell) des Wuppergebietes, Auflösung 500x500 m, schwarze Dreiecke: Abflusspegel 213
Abbildung 88: SRTM-3 DHM-Daten (Digitales Höhenmodell) des Salzagebietes, Auflösung 500x500 m, schwarze Dreiecke: Abflusspegel 213
Abbildung 89: SRTM-3 DHM-Daten (Digitales Höhenmodell) des oberen Illergebietes, Auflösung 500x500 m, schwarze Dreiecke: Abflusspegel 214
Abbildung 90: Landnutzung nach CORINE Landcover 2000 im Einzugsgebiet der Wupper 217
Abbildung 91: Landnutzung nach CORINE Landcover 2000 im Einzugsgebiet der Salza217
Abbildung 92: Landnutzung nach CORINE Landcover 2000 im Einzugsgebiet der oberen Iller, weise Fläche Staatsgebiet Österreich 218
Abbildung 93: Leitbodenassoziationen (LBA) nach BÜK 1000 im Einzugsgebiet der Wupper 220
Abbildung 94: Leitbodenassoziationen (LBA) nach BÜK 1000 im Einzugsgebiet der Salza 220
Abbildung 95: Leitbodenassoziationen (LBA) nach BÜK 1000 im Einzugsgebiet der oberen Iller, weise Fläche Staatsgebiet Österreich 221
Abbildung 96: Bewertung Wasserdargebot Wupper 222
Abbildung 97: Bewertung Wasserbedarf und Zustandsbewertung Wupper 223
Abbildung 98: Maßnahmenbewertung Wupper 223
Abbildung 99: Übersicht Zustandsbewertung Wupper 224
Abbildung 100: Kriteriengewichtung Wupper 224
Abbildung 101: Übersicht Klimaszenarien Wupper 225
Abbildung 102: Übersicht Bevölkerungsentwicklung in Deutschland 226
Abbildung 103: Bewertung Wasserdargebot Salza / Weida 227
Abbildung 104: Bewertung Wasserbedarf und Zustandsbewertung Salza / Weida ... 228
Abbildung 105: Maßnahmenbewertung Salza / Weida 228
Abbildung 106: Übersicht Zustandsbewertung Salza / Weida 229
Abbildung 107: Kriteriengewichtung Salza / Weida 229
Abbildung 108: Übersicht Klimaszenarien Salza / Weida 230
Abbildung 109: Bewertung Wasserdargebot Obere Iller 231
Abbildung 110: Bewertung Wasserbedarf und Zustandsbewertung Obere Iller 232
Abbildung 111: Maßnahmenbewertung Obere Iller 232

Abbildung 112: Übersicht Zustandsbewertung Obere Iller 233
Abbildung 113: Kriteriengewichtung Obere Iller 233
Abbildung 114: Übersicht Klimaszenarien Obere Iller 234

Anlagenverzeichnis (nur Druckversion)

Anlage 1: CD mit digitaler Version (*.doc / MS-Office 2000, *.pdf) des Berichtes

1 Einleitung

Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass die global und regional beobachteten Veränderungen der oberflächennahen Lufttemperatur und des Niederschlagsgeschehens vielfältige Wirkungen auf die menschliche Gesundheit, Ökosysteme und Wirtschaftssektoren haben werden. Trotz hoher Anstrengungen im Klimaschutz werden weitere Veränderungen, z.B. des Wasserhaushaltes, durch die bereits in der Atmosphäre befindlichen Treibhausgase erwartet. Daraus entsteht als zentrale Aufgabe die Entwicklung einer Anpassungsstrategie, welche die Anpassungsoptionen der einzelnen Sektoren bündelt. Bereits 2005 beschloss die Bundesregierung im Rahmen des nationalen Klimaschutzprogramms die Entwicklung einer nationalen Anpassungsstrategie.

Die Wasserwirtschaft und wasserwirtschaftliche Fragestellungen haben hierbei eine besondere Bedeutung. Bereits ein früheres, im Rahmen des Umweltforschungsplanes durchgeführtes Projekt („Klimawandel in Deutschland – Vulnerabilität und Anpassungsstrategie klimasensitiver Systeme“, Zebisch et al. 2005) zeigte, dass alle Komponenten des Wasserkreislaufes eine hohe Sensitivität gegenüber den Veränderungen des Klimas zeigen. Die Wasserwirtschaft selbst ist einer der hoch vulnerablen Bereiche in Deutschland. Zur Verbesserung der Anpassungskapazität hat die Wasserwirtschaft Strategien z.B. für den Umgang mit einem veränderten Auftreten von Hochwasser- und Niedrigwasserereignissen oder einer veränderten Wasserverfügbarkeit zu entwickeln und umzusetzen. Mit diesen zentralen Herausforderungen wird die Wasserwirtschaft in Deutschland nicht allein umgehen können. Eine Einbeziehung wasserrelevanter Fragestellungen anderer Sektoren, die aufgrund ihrer Bedeutung für den Wasserhaushalt eine Rolle spielen, z.B. Land- und Forstwirtschaft, Trinkwasserversorgung, Energiegewinnung, Schifffahrt, Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung, Tourismus ist erforderlich. Diese Sektoren besitzen darüber hinaus ein hohes Potenzial, durch Innovationen in ihrem Bereich die Anpassung der Wasserwirtschaft zu unterstützen.

Im vorliegenden Bericht werden zunächst die im 21. Jahrhundert für Deutschland zu erwartenden klimatischen Belastungen analysiert. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse einer nach Flussgebieten differenzierten Literaturrecherche hinsichtlich der bisherigen und der zukünftigen Entwicklung des Wasserhaushaltes vorgestellt. Hierbei wird unterschieden zwischen den Teilaspekten Hoch-, Mittel- und Niedrigwasserabfluss sowie Grundwasser.

Zur detaillierteren Untersuchung der Sensitivität des Wasserhaushalts werden drei mesoskalige Testgebiete ausgewählt und mit Hilfe von numerischen Modellsimulationen Wasserhaushaltssimulationen auf Grundlage von Klimaprojektionsdaten durchgeführt.

Zur Bestimmung der Vulnerabilität der Wasserwirtschaft hinsichtlich der Wassernutzung wird der in diesem Vorhaben entwickelte konzeptionelle Ansatz erläutert und das weitere Vorgehen für die Abschätzung der Anpassungskapazität der Wasserwirtschaft an den Klimawandel beschrieben. Aufbauend auf der Literaturrecherche zum Wasserhaushalt werden weitere Studien zu den Auswirkungen des Klimawandels und eigene, ergänzende Befragungen ausgewertet. Der daraus ermittelte zukünftige Wasserbedarf verschiedener Wassernutzungen, wie die Wasserversorgung, die Wasserkraft und die Binnenschifffahrt wird dem zukünftigen Wasserdargebot gegenübergestellt und daraus resultierende, vulnerable Bereiche in Deutschland identifiziert. Ebenso wird der ökologische Gewässerzustand hinsichtlich des Einflusses des Klimawandels betrachtet. Anschließend werden, getrennt nach Wassernutzung, verschiedene Anpassungskapazitäten und –möglichkeiten aufgezeigt und bewertet.

Schließlich wird das Konzept, die Methodik und der Prototyp eines neuen Entscheidungsunterstützungssystems (EUS) vorgestellt. Anhand dreier ausgewählter Testregionen wird dieses System, das den Namen „WASKlim-EUS“ erhielt, beispielhaft angewendet. Dabei wird besonderer Wert auf die Einbindung der betroffenen Stakeholder vor Ort gelegt, die so ihr Fachwissen in das System mit einbringen können. Hierzu wird ein eigener Fragebogen entwickelt. Die Ergebnisse der drei Testregionen werden anschließend vorgestellt und auf die Unsicherheiten bei der Anwendung des Systems und der Eingangsdaten hingewiesen. Optimierungsmöglichkeiten werden aufgezeigt. Die Übertragbarkeit auf andere, ebenfalls vom Klimawandel betroffene Bereiche, wird diskutiert.

2 Methodenentwicklung zur Bestimmung der Anpassungskapazität und Vulnerabilität

2.1 Klimatische Belastungen

Um die Vulnerabilität der Wasserwirtschaft hinsichtlich des Klimawandels darstellen zu können, sind die klimatischen Änderungen von besonderer Bedeutung und bilden den Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen. In diesem Abschnitt wird das zukünftige Klima, bezogen auf ausgewählte Emissionsszenarien, erläutert. Dabei erfolgt die Einteilung Deutschlands in 11 Naturräume (Klimaregionen) zuzüglich der Küste (Abbildung 1).

Das IPCC Glossar von 2001 beschreibt das Klima folgendermaßen:

„Klima im engen Sinn ist normalerweise definiert als das „Durchschnittswetter“, oder genauer als die statistische Beschreibung des Wetters in Form von Durchschnittswerten und der Variabilität relevanter Größen über eine Zeitspanne im Bereich von Monaten bis Tausenden von Jahren. Der klassische, von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) definierte Zeitraum sind 30 Jahre. Diese Größen sind meistens Oberflächenvariablen, wie Temperatur, Niederschlag und Wind. Klima im weiteren Sinn ist der Zustand des Klimasystems, einschließlich einer statistischen Beschreibung“.

2.1.1 Klimaszenarien

Bei den Treibhausgas-Emissionsszenarien wird zwischen den SRES-Szenario-„Familien“ A1, A2, B1 und B2 (Abbildung 2) unterschieden, die sich hauptsächlich im Umweltbewusstsein und Wissenstransfer der Bevölkerung unterscheiden (SRES Special Report on Emission Scenarios, IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change). Das A1 Szenario wird dabei in Gruppen aufgeteilt, die sich im Wesentlichen durch unterschiedlichen Gebrauch fossiler Energieträger differenzieren.

Im Folgenden werden die charakteristischen Merkmale der Emissionsszenarien A1, A1B, A2, B1 und B2 dargestellt:

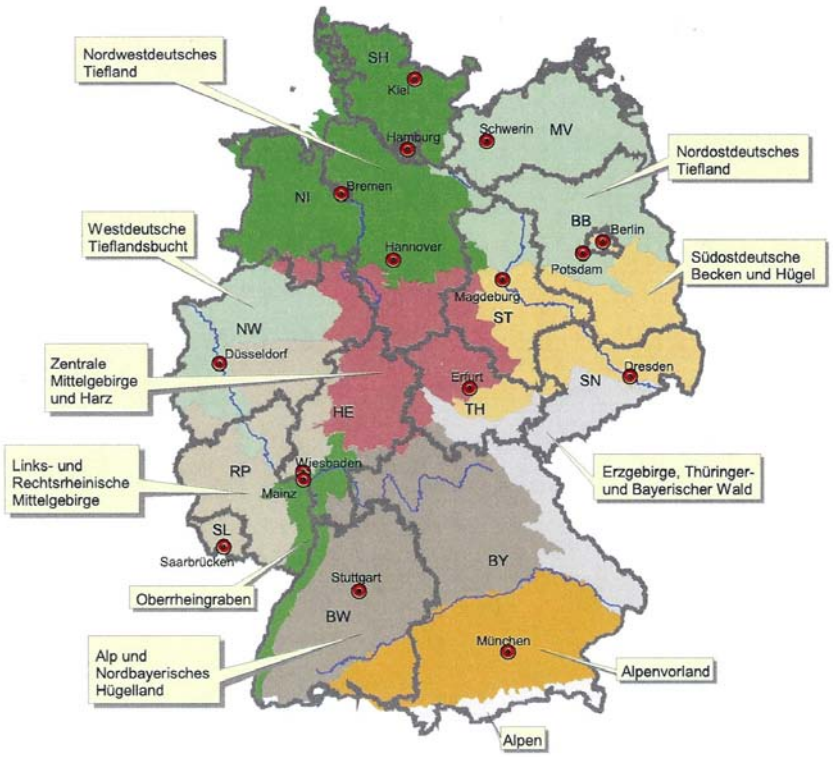


Abbildung 1: Naturräume in Deutschland (Zebisch et al. 2005 & Meynen et al. 1962)

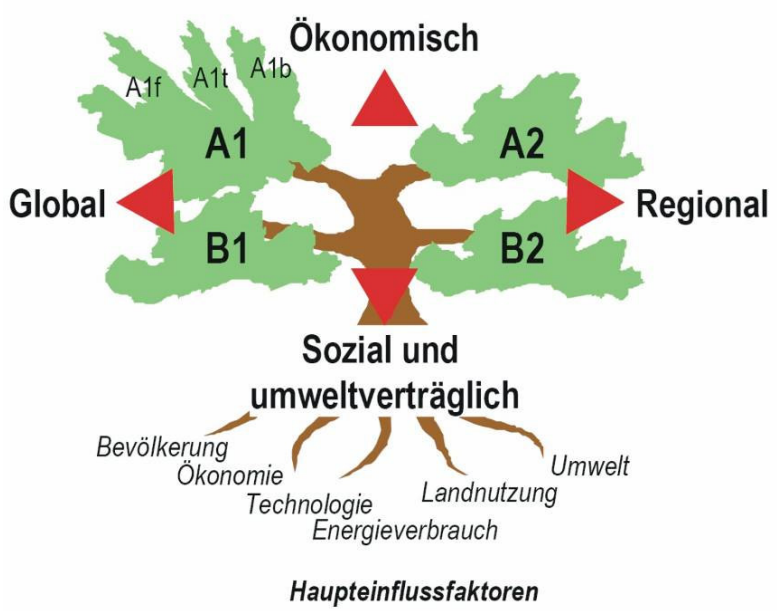


Abbildung 2: Grundstruktur der IPCC-SRES Emissionsszenarios (Zebisch et al. 2005)

Charakterisierung A1 (IPCC 2007a):

Die A1 Szenarien-Familie beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum. Die Weltbevölkerung wird bis Mitte des 21. Jahrhunderts ansteigen, gefolgt von einer Abnahme in der zweiten Hälfte. Neue und effiziente Technologien werden rasch eingeführt. Es erfolgt eine Annäherung von Regionen, eine Entwicklung von Handlungskompetenz sowie zunehmender kulturelle und soziale Interaktion. Die regionalen Unterschiede im Pro-Kopf-Einkommen gehen zurück.

Die weitere Aufteilung der A1 Szenarien-Familie erfolgt in A1F, A1T, A1B, welche sich in ihrer technologischen Hauptstossrichtung unterscheiden:

- fossil-intensiv (A1F)
- nichtfossile Energiequellen (A1T)
- ausgewogener Nutzung aller Energiequellen (A1B)

Da das A1B Szenario als sehr realistisch eingestuft und in diesem Bericht noch näher betrachtet wird, erfolgt neben der Charakterisierung der Hauptszenarien, eine weitere Charakterisierung des A1B Szenarios:

Charakterisierung A1B (Hintergrundpapier UBA 2007):

Das A1B Szenario ist geprägt von einer global orientierten Entwicklung mit starkem Wirtschaftswachstum, das u.a. auf der schnellen Einführung neuer und effizienter Techniken begründet ist. Fossile und erneuerbare Energien werden genutzt. Der Bevölkerungszuwachs wird bis Mitte des 21. Jahrhunderts ansteigen, gefolgt von einer Abnahme der Weltbevölkerung. Die CO_2-Emissionen erfahren bis Mitte des 21. Jahrhunderts noch einen leichten Anstieg, anschließend gehen diese bis zum Jahr 2100 leicht zurück (CO_2-Anstieg auf ca. 720 ppm, vgl. Abbildung 3).

Charakterisierung A2 (IPCC 2007a):

Das A2 Szenario stellt eine sehr heterogene Welt dar, die autark ist und lokale Identitäten bewahrt. Die Bevölkerungszahl nimmt stetig zu und ist geprägt von einer überwiegend regionalen wirtschaftlichen Entwicklung. Das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und die technologischen Veränderungen sind langsamer und bruchstückhafter als in anderen Modellgeschichten. Die CO_2-Emissionen steigen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts an (CO_2-Anstieg auf ca. 850 ppm).

Charakterisierung B1 (IPCC 2007a & UBA Hintergrundpapier):

Die Bevölkerungszahl steigt bis Mitte des 21. Jahrhunderts und nimmt anschließend, ähnlich dem A1 Szenario, wieder ab. Wirtschaftliche Strukturen werden sich rasch Richtung Dienstleistungs- und Informationswirtschaft ändern bei gleichzeitigem Rückgang des Materialverbrauchs. Saubere und ressourcen-effiziente Technologien werden eingeführt. Das Schwergewicht liegt auf globalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich erhöhter sozialer Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimainitiativen. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts erfolgt ein Anstieg der CO_2-Emissionen, gefolgt von einer deutlichen Abnahme bis zum Jahr 2100. Das Emissionsniveau im Jahr 2100 ist niedriger als bei A1B (CO_2-Anstieg auf ca. 540 ppm).

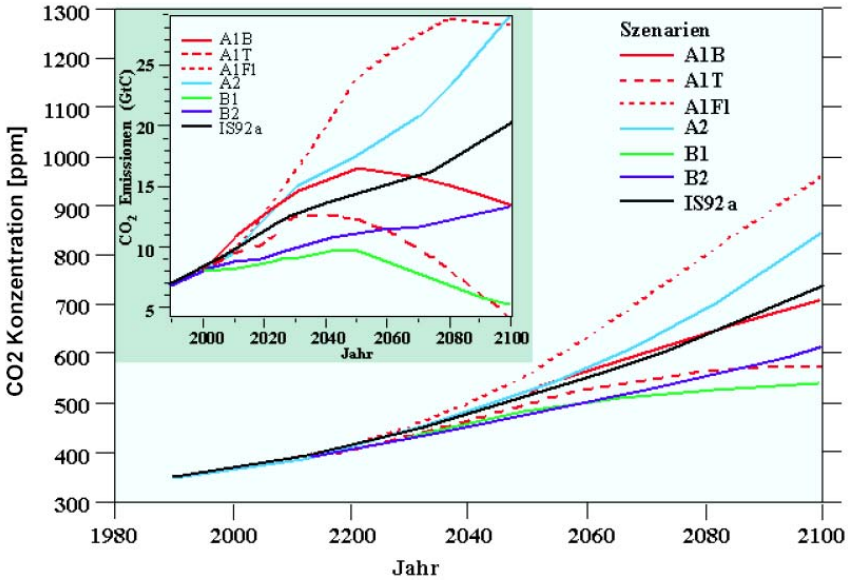


Abbildung 3: CO_2-Konzentration der jeweiligen Szenarien (Jacob et al. 2006)

Charakterisierung B2 (IPCC 2007a):

Der Schwerpunkt liegt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. Die Weltbevölkerung steigt stetig, jedoch langsamer als im A2 Szenario. Die wirtschaftliche Entwicklung ist weniger schnell und befindet sich auf mittlerem Niveau. Dafür entsteht ein vielfältigerer technologischer Fortschritt als in den B1- und A1-Modellgeschichten. Der Schwerpunkt liegt auf lokaler und regionaler

Ebene. Die CO_2-Emissionen steigen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts leicht an (CO_2-Anstieg auf ca. 610 ppm).

Abbildung 4 zeigt die unterschiedliche Temperaturänderung der jeweiligen Szenarien. Dargestellt ist auch das sogenannte „business as usual“ IPCC Szenario IS92a („weiter wie bisher“, basierend auf dem Jahr 1992; CO_2-Anstieg bis 2100 auf ca. 730 ppm).

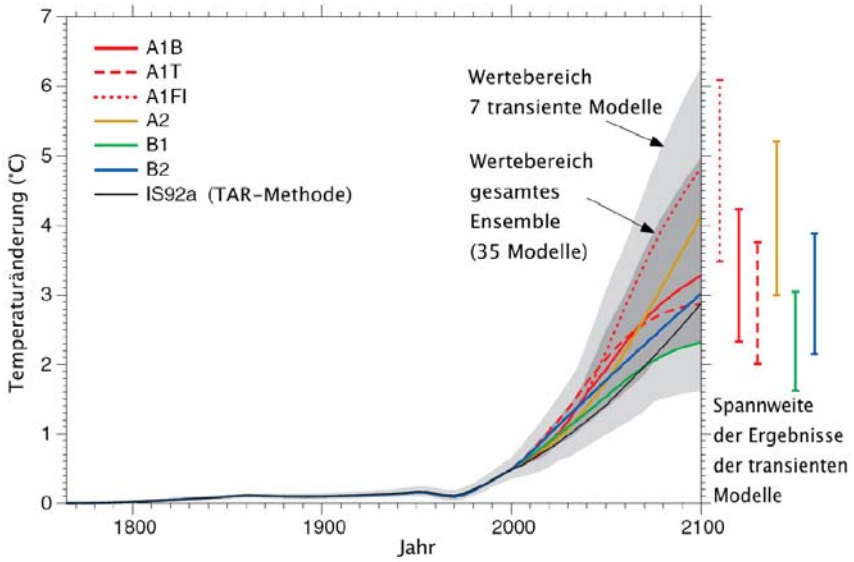


Abbildung 4: Entwicklung der globalen Mitteltemperatur (Spekat et al. 2007)

2.1.2 Klimatische Belastung nach Naturräumen

Globale Klimamodelle sind derzeit nicht in der Lage, Daten hinreichender Qualität in einer horizontalen Auflösung von weniger als rund 200 x 200 km zur Verfügung zu stellen. Da dies für regionale hydrologische Fragestellungen in vielen Fällen nicht genügt, ist eine Vielzahl von Regionalisierungsverfahren entwickelt worden (Downscaling). Diese sind in dynamische und statistische Verfahren unterteilbar (Spekat et al. 2007).

<u>Dynamische Verfahren</u>

Bei diesen Verfahren werden Ergebnisse der globalen Zirkulationsmodelle als Randbedingung für regionale Modelle verwendet (so genannte Nesting-Strategie). Diese

regionalen Modelle weisen eine deutlich höhere räumliche Auflösung auf (z.B. Rasterweite 10 km). Durch die Anpassung der physikalischen Vorgänge an das feinere Gitter können komplexe Topografien oder Inhomogenitäten der Landoberfläche berücksichtigt werden. Jedoch ist darauf hinzuweisen, dass das Ergebnis einer „genesteten“ Simulation immer noch flächengemittelte Ergebnisse liefert (KLIWA 2005a, Beierkuhnlein et al. 2008, Spekat et al. 2007).

Statistische Verfahren

Bei diesen Verfahren werden statistische Beziehungen zwischen den großräumigen Wetterlagen und den lokalen Auswirkungen identifiziert. Diese gewonnenen Beziehungen der Vergangenheit werden auf die globalen Klimamodelle der Zukunft übertragen. Dadurch können regionale Aussagen über die zukünftige Klimaänderung getroffen werden. Die horizontale Auflösung entspricht dabei nicht einem bestimmten Raster wie bei dynamischen Verfahren, sondern der räumlichen Verteilung vorhandener Klima- und Niederschlagsstationen. Bei der Verwendung dieser Verfahren wird angenommen, dass sich der physikalische Zusammenhang zwischen großräumigen Wetterlagen und lokalen Auswirkungen auch bei veränderten Klimabedingungen nicht ändert (Beierkuhnlein et al. 2008, Spekat et al. 2007).

In einem Vergleich, basierend auf dem globalen Klimamodell ECHAM4/OPYC3 des MPI Hamburg, verschiedener Downscaling Verfahren (STAR, WETTREG, REMO) zeigte Bronstert et al. (2006) für Süddeutschland, dass statistische Verfahren (STAR, WETTREG) das Ist-Klima bezüglich der mittleren Bedingungen der Temperatur und des Niederschlags gut bis zum Teil sehr gut wiedergeben. Insbesondere das dynamische Verfahren (REMO) weist in der Darstellung des Ist-Klimas deutliche Defizite auf (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2). Der Ist-Zustand stellt reproduzierte, heutige Klimabedingungen dar. Im WETTREG Modell wurden diese mittels Reanalysen, basierend auf Wetterlagenklassifikationen, aus den tatsächlichen Messwerten erstellt. Für die Simulation des Ist-Klimas (Kontrolllauf) in REMO wurden als Randbedingungen die Ergebnisse des globalen Zirkulationsmodells genommen (Bronstert et al. 2006).

Die Unterschiede zwischen dem in den Regionalisierungsmodellen abgebildeten Ist-Zustand und den realen Messwerten sind bei REMO wesentlich größer als bei WETTREG und STAR. Die Temperaturdifferenz von REMO beträgt im Jahresmittel ca. 1,7 °C (9,71 °C – 8,03 °C) und die Niederschlagsdifferenz ca. 363 mm

(1314,4 mm - 951,2 mm). Bei WETTREG liegen diese bei geringen 0,04 °C und ca. 37 mm (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2).

Tabelle 1: Jahrestemperatur (in °C) im süddeutschen Raum (KLIWA Gebiet): Messwerte (1971-2000), Szenario "Ist-Zustand", Szenario "Zukunft" (Bronstert et al. 2006)

	Messwerte	Szenario „Ist-Zustand“		Szenario „Zukunft“		
		WETTREG	REMO	WETTREG	STAR	REMO
Jahresmittel	8,03	7,99	9,71	9,72	9,16	11,49
hydrol. Winterhalbjahr	2,28	2,11	4,17	4,2	3,3	6,08
hydrol. Sommerhalbjahr	13,69	13,79	15,17	15,15	14,91	16,81

Tabelle 2: Jahresniederschläge (in mm) im süddeutschen Raum (KLIWA Gebiet): Messwerte (1971-2000), Szenario "Ist-Zustand", Szenario "Zukunft" (Bronstert et al. 2006)

	Messwerte		Szenario „Ist-Zustand“			Szenario „Zukunft“			
	67 Stat.	537 Stat.	WETTREG (67)	WETTREG (537)	REMO	WETTREG (67)	WETTREG (537)	STAR	REMO
Jahresmittel	933,2	951,2	953,6	968,3	1314,4	1105,1	1036,8	956,3	1358,2
hydrol. Winterhalbjahr	410,5	418,4	413,1	419,5	667,6	554,5	520,2	405,9	671,1
hydrol. Sommerhalbjahr	522,9	532,8	540,5	548,8	646,9	550,6	516,6	550,3	687,1

Daher sind REMO Daten für Wasserhaushaltsmodelle, die sowohl zukünftige Klimabedingungen als auch bestehenden Verhältnisse (Ist-Zustand) aufzeigen sollen, momentan nur bedingt geeignet. Damit berechnete hydrologische Abflüsse des Ist-Zustandes würden von den tatsächlichen gemessenen Pegelwerten stark abweichen. Bestenfalls ist die Nutzung der Differenzen zwischen Szenario Zukunft und Ist-Szenario möglich.

Sowohl für das dynamische Verfahren REMO als auch für statistische Verfahren WETTREG liegen Datensätze bis zum Jahr 2100 vor. Das STAR-Verfahren stellt derzeit Daten bis zum Jahr 2050 bereit.

Fasst man o.g. Punkte zusammen, ist das WETTREG Verfahren, insbesondere wegen der besseren Darstellung des Ist-Zustandes, der für die Wasserhaushaltsberechnungen benötigt wird sowie der Datenverfügbarkeit bis zum Jahr 2100, für die vorliegenden Fragestellungen am besten geeignet.

Die aktuellste Untersuchung zu den WETTREG Szenarien wurde von Spekat et al. (2007) durchgeführt. Darin werden die Szenarien B1, A1B und A2 analysiert. Vorliegender Abschnitt bezieht sich auf die Ergebnisse dieser Untersuchungen. Beschrieben

sind die Zeiträume von 2071 bis 2100 im Vergleich zu 1961-1990, wobei A1B derzeit als das realistischste Szenario gilt (globale Klimasimulation ECHAM5/MPI-OM T63L31, A1B, B1, A2) (Spekat et al. 2007).

Alpen (BY)

Der Temperaturanstieg des niederschlagreichen und kühlen Klimas der Alpenregion wird etwa + 2,0 K (B1) bis + 2,3 K (A1B) betragen. Die Anzahl an Eis- und Frosttagen wird nur gering zurückgehen. Sommertage und heiße Tage werden lediglich unterdurchschnittlich zunehmen.

Der sommerliche Niederschlagsrückgang beträgt durchschnittlich – 20 %. Der winterliche Niederschlag nimmt kaum zu, teilweise sogar bis zu – 5 % ab.

Alpenvorland (BW, BY)

Der Temperaturanstieg am Bodensee beträgt zwischen 1,5 K (B1) und 2,2 K (A1B). In Oberbayern zwischen + 2,0 K und + 2,5 K und in Niederbayern ist er moderat. Tropennächte werden eher selten vorkommen. Die Zahl der heißen Tage nimmt teilweise deutlich zu.

Der sommerliche Niederschlag geht um – 15 % (B1) bis – 25 % (A1B) zurück. Der winterliche Niederschlag steigt um + 20 % (B1) bis + 35 % (A1B).

Alb und nordbayerisches Hügelland (BW, BY, HE, TH)

Gemäß A1B Szenario beträgt die Temperaturerhöhung zum Ende des 21. Jahrhunderts rund 2,4 K. Dieser Wert weicht jedoch sowohl räumlich als auch im Betrag von den beiden anderen Szenarien ab.

Der Sommerniederschlag geht mit rund – 20 % bis – 30 % (A1B) durchschnittlich stark zurück. In Unterfranken zeigt das A1B Szenario eine Winterniederschlagszunahme von über + 70 %, was zu den stärksten in ganz Deutschland zählt. Dagegen treten in der Schwäbischen Alb lediglich Zunahmewerte von + 10 % bis + 20 % auf.

Oberrheingraben (BW, HE, RP)

Schon jetzt erreicht diese Region die höchsten Temperaturwerte. Beim A1B Szenario erhöhen sich die Temperaturen zum Ende des Jahrhunderts um + 2,3 K, was deutschlandweit durchschnittlich ist. Im äußeren Südwesten beträgt die Zunahme + 2,5 K. Durchschnittlich werden bis zu 10 Tropennächte (Minimumtemperatur ≥ 20 °C) pro Jahr erreicht.

Die Niederschlagsänderungen liegen im Sommer bei durchschnittlichen – 20 % und im Winter bei leicht überdurchschnittlichen + 40 % (A1B) bis durchschnittlichen + 20 % (B1).

Links- und Rechtsrheinische Mittelgebirge (HE, NW, RP, SL)

Im Südwesten und im rechtsrheinischen Schiefergebirge beträgt die Erwärmung 2,2 (A1B) bis 1,5 K (B1). Damit liegt dieses Gebiet unter dem Deutschlandmittel. In der Eifel jedoch liegt die Temperaturerhöhung rund 0,3 K höher als im Mittel. Die Eistage reduzieren sich auf 15 % bis 30 % des derzeitigen Niveaus. Das ist der deutschlandweit stärkste Rückgang an Eistagen (Maximumtemperatur ≤ 0 °C). Die Zahl der heißen Tage nimmt stark zu.

Der Jahresniederschlag zeigt im Vergleich zu den anderen Naturräumen nur ein leichtes Zunahmeverhalten. Der Sommerniederschlag wird nur um rund - 15 % (Mittel Deutschland - 20 %) zurückgehen. Der Winterniederschlag hingegen nimmt stark zu. Im Hunsrück erhöht sich dieser um + 80 %. In einigen Teilen des Linksrheinischen Gebirges werden Werte von über + 50 % erreicht. Mit lediglich + 20 % bis + 30 % Zunahme an Winterniederschlägen liegen die Gebiete vom Taunus bis zum Sauerland unterhalb der restlichen Gebiete der rheinischen Mittelgebirge. Dadurch wird der sommerliche Niederschlagsrückgang nahezu kompensiert.

Zentrale Mittelgebirge und Harz (BY, HE, NI, NW, ST, TH)

Die Temperaturänderung verläuft ähnlich den Regionen von West-, Nord- und Ostdeutschland, obwohl diese Gebiete deutlich tiefer liegen. Trotz einer Erwärmung von + 2,0 K bis + 2,3 K bleibt der relativ kühle Charakter des Mittelgebirges erhalten.

Durch die Höhenlage weist das Mittelgebirge bereits heute ein höheres Niederschlagsniveau als in tiefer gelegenen Regionen auf.

Der Sommerniederschlag im Harz und Harzvorland wird um - 20 % bis – 30 % zurückgehen. In Nordhessen wird das Niederschlagsniveau nahezu unverändert bleiben.

Im nördlichen Mittelgebirge steigt der Winterniederschlag um 20 % bis 45 %, jedoch erreicht der winterliche Niederschlag in den Gebieten zwischen Rothaargebirge und Vogelsberg einen deutlich höheren Wert mit 40 % (B1) bis 60 % (A1B).

Westdeutsche Tieflandsbucht (NI, NW, RP)

Die Temperaturänderungen von rd. 2,3 K (A1B) (2 K bei B1) in der westdeutschen Tieflandsbucht sind denen des Nordwestdeutschen Tieflands recht ähnlich. Jedoch nimmt die Zahl der Eis- und Frosttage auf 25 % bis 45 % bezogen auf den jetzigen Wert ab, was im Deutschlandvergleich relativ viel ist. Die Anzahl an heißen Tagen nimmt deutlich zu.

Mit Abnahmen von 5 % bis 10 % bleibt der Sommerniederschlag am westlichen Niederrhein nahezu gleich. Im Münsterland wird der Winterniederschlag wahrscheinlich um bis zu + 50 % zunehmen (A1B) (B1 + 30 %). Im Rheintal südlich von Köln und Bonn treten lediglich durchschnittliche Winterniederschläge auf.

Nordwestdeutsches Tiefland (NI, NW, ST, SH)

Der Meereseinfluss von der Küste verliert sich auf relativ kurzer Strecke. Daher ist das Erwärmungssignal höher als direkt an der Küste. Die Tagesmitteltemperatur wird bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um bis zu 2,5 K ansteigen (A1B). Die Tage über 30 °C werden deutlich mehr zunehmen als die Tagesanzahl an Tropennächten.

Entlang der Elbmündung ist ein überdurchschnittlich starker Rückgang an Sommerniederschlägen zu erwarten (- 20 % bis - 25 %). Der Winterniederschlag erfährt lediglich einen durchschnittlichen Zuwachs, der unterhalb der Winterniederschlagserhöhung der Küsten Schleswig-Holsteins und Niedersachsens liegt (+ 15 % bis + 25 %).

Erzgebirge, Thüringer- und Bayerischer Wald (BY, SN, TH)

Das derzeitige kühle und feuchte Klima in dieser Region erfährt bis zum Jahrhundertende eine Erwärmung von + 2,3 K (A1B) bis + 2,0 K (B1) in den Gebieten des Erzgebirges, des Thüringer Waldes und in den vorgelagerten Hügelländern. Im südlichen Bayerischen Wald zur Donau hin beträgt die Temperaturerhöhung lediglich + 2,0 K

(A1B) bis + 1,5 K (B1). Im Erzgebirgsvorland nehmen die Tropennächte (≥ 20°C) deutlich zu.

Der Niederschlagsrückgang im Sommer entspricht dem deutschlandweiten Mittel. Lediglich im Osterzgebirge ist der Rückgang mit – 35 % (A1B) bis – 25 % (B1) ein wenig stärker ausgeprägt. Im Thüringer Wald und im Erzgebirge nimmt der winterliche Niederschlag nur um 15 % zu. Im Bereich des Elbtals ist sogar mit einer schwachen Niederschlagsabnahme zu rechnen. Im Bayerischen Wald ist die winterliche Niederschlagszunahme mit + 20 % bis + 30 % im Vergleich zum Deutschlandmittel durchschnittlich.

Küste (NI, MV, SH)

Der Temperaturanstieg an der Küste beträgt je nach Szenario am Ende des 21. Jahrhundert zwischen 1,5 und 2,1 K. An der Küste nehmen heiße Tage in der gleichen Größenordnung wie Tropennächte zu.

Der Sommerniederschlag weist kein einheitliches Signal auf, wobei der übliche Abnahmetrend besonders an der Vorpommerschen Ostseeküste von bis zu - 40 % (A1B) und - 25 % (B1) zu erkennen ist. Die Regel sind Abnahmewerte von bis zu – 30 % (A1B).

Der Niederschlag an der Nordseeküste wird sich überwiegend in den Wintermonaten erhöhen. Der Anstieg beträgt bis zu 50 % beim A1B Szenario und bis zu 30 % beim B1 Szenario. Hingegen ändert sich der Winterniederschlag an der Ostseeküste nur unwesentlich.

Nordostdeutsches Tiefland (BB, MV, NI, ST, SH)

Der Nordosten ist bereits eine Region mit geringem Sommerniederschlag. Das A1B Szenario zeigt, dass dort der Sommerniederschlag bis nahe - 50 % am stärksten in ganz Deutschland zurückgehen wird (- 30 % B1).

Der Winterniederschlag wird, entgegengesetzt dem sonst üblichen Trend von bis zu + 50 %, hier nur lediglich um bis zu + 20 % (A1B) bzw. + 10 % (B1) ansteigen.

Südostdeutsche Becken und Hügel (BB, SN, ST, TH)

Zum Ende des 21. Jahrhunderts ist mit einer Erwärmung von knapp 2 K (B1) bis 2,3 K (A-Szenarios) zu rechnen. Die Anzahl der Eis- und Frosttage verringert sich relativ schwach auf rund 40 % bis 50 % ihres gegenwärtigen Wertes. Die Anzahl der Sommertage nimmt nur leicht zu. Tropennächte in den höher gelegenen Regionen bleiben selten. Hingegen nehmen die Tage mit Temperaturmaxima über 30°C deutlicher zu.

Die derzeit schon niederschlagsarme Region erfährt eine weitere Sommerniederschlagsabnahme um durchschnittlich – 15 % im Westen und um – 25 % in der Lausitz. Diese Abnahme ist deutschlandweit durchschnittlich. Lediglich im Nordosten von Mecklenburg-Vorpommern treten Abnahmen von – 30 % bis – 50 % auf.

Der Winterniederschlag nimmt lediglich um + 20 % zu. Im Erzgebirgsvorland und in Teilen des Thüringer Waldes ist dieser Wert noch geringer.

2.1.3 Übersicht Klimatische Belastungen

Die folgenden Karten fassen die getroffenen Aussagen zur klimatischen Belastung zusammen und geben einen deutschlandweiten Überblick über die Ergebnisse der regionalen Klimamodelle REMO, CLM, WETTREG und STAR. Sie sind unterteilt in Temperatur- und Niederschlagsänderung, getrennt nach Sommer und Winter.

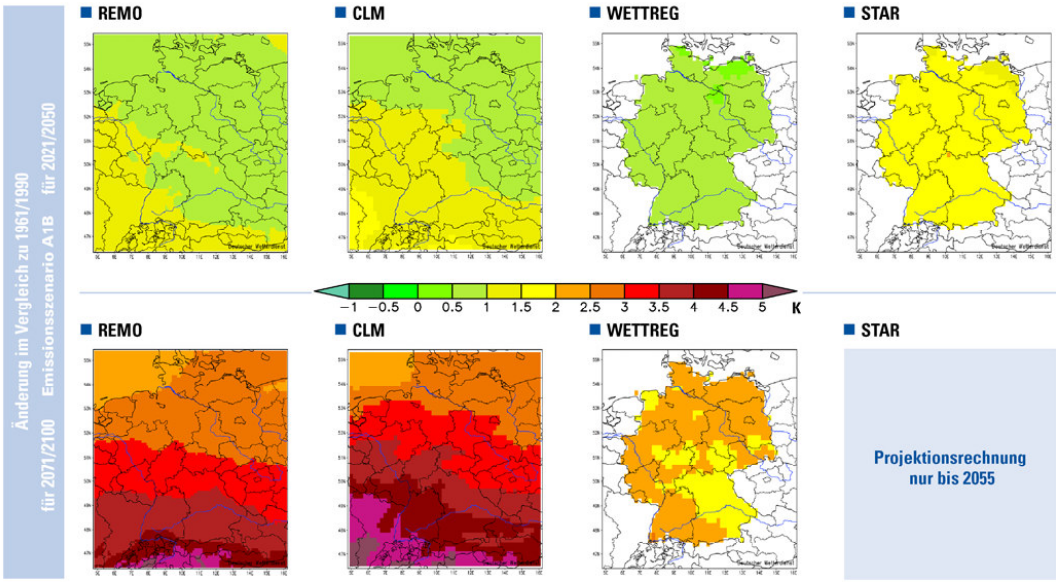


Abbildung 5: Änderung der mittleren Lufttemperatur im Sommer getrennt nach verschiedenen regionalen Klimamodellen und den Perioden 2071-2100, als auch 2021-2050 (beide Szenario A1B) zu der Periode 1971-2000 (DWD 2009)

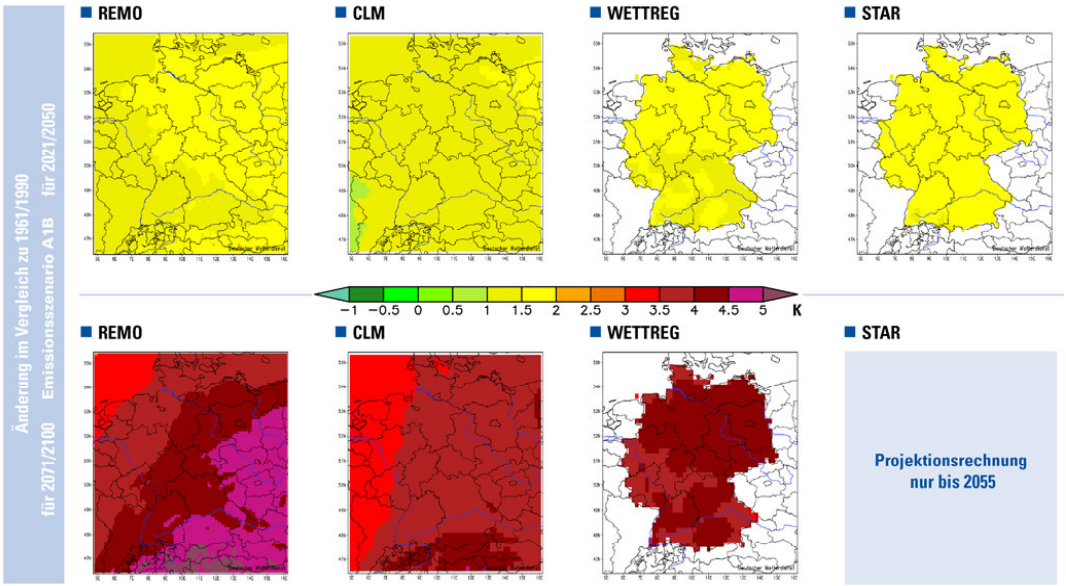


Abbildung 6: Änderung der mittleren Lufttemperatur im Winter getrennt nach verschiedenen regionalen Klimamodellen und den Perioden 2071-2100, als auch 2021-2050 (beide Szenario A1B) zu der Periode 1971-2000 (DWD 2009)

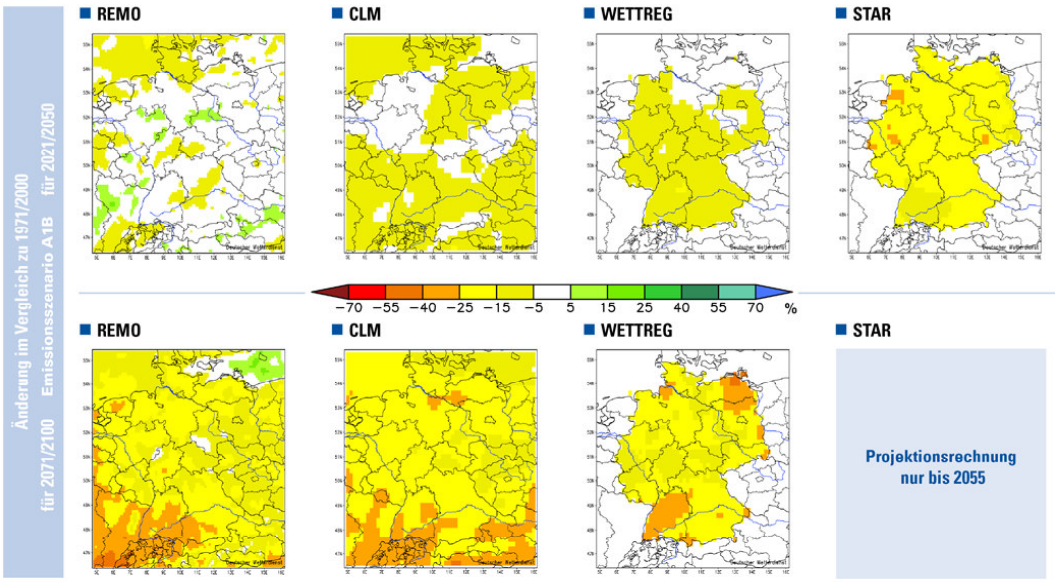


Abbildung 7: Änderung der mittleren Niederschlagshöhen im Sommer getrennt nach verschiedenen regionalen Klimamodellen und den Perioden 2071-2100, als auch 2021-2050 (beide Szenario A1B) zu der Periode 1971-2000 (DWD 2009)

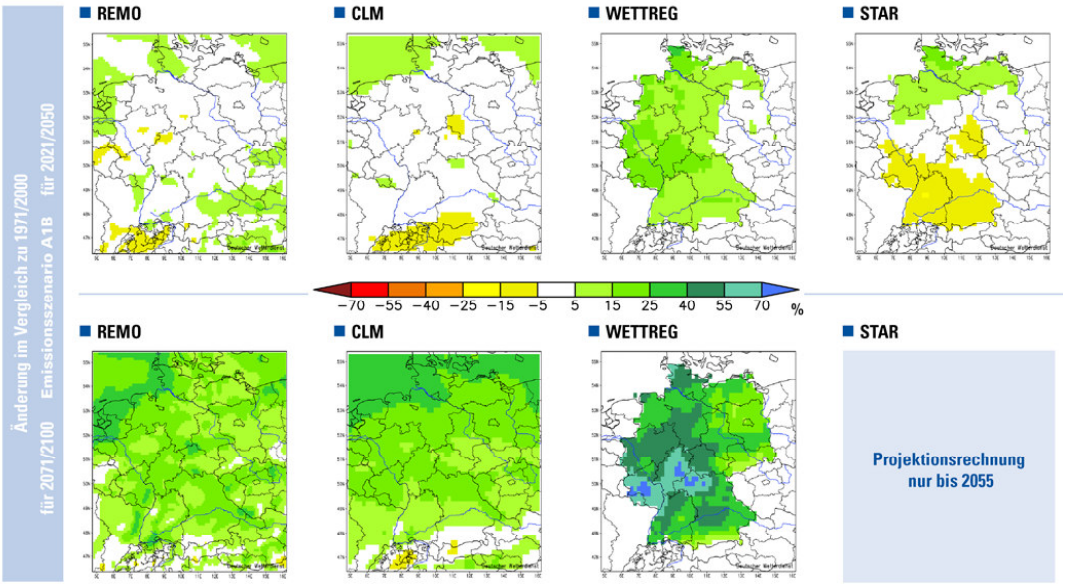


Abbildung 8: Änderung der mittleren Niederschlagshöhen im Winter getrennt nach verschiedenen regionalen Klimamodellen und den Perioden 2071-2100, als auch 2021-2050 (beide Szenario A1B) zu der Periode 1971-2000 (DWD 2009)

2.1.4 Klimatische Wasserbilanzkarten

Die in Kapitel 2.1.3 dargestellten Übersichtskarten geben Auskunft über die zukünftig zu erwartenden Temperatur- und Niederschlagsänderungen. Um klimatische Brennpunkte im Hinblick auf die Wasserverfügbarkeit lokalisieren zu können, sind zusätzliche klimatische Wasserbilanzkarten erforderlich, die aus der Differenz von Niederschlag und potenzieller Verdunstung den lokalen Wasserüberschuss bzw. das Wasserdefizit berechnen. Die klimatischen Wasserbilanzkarten werden auf gleicher Datengrundlage wie oben erwähnte Übersichtskarten erstellt. Verwendet wurde das A1B Szenario, da es zum derzeitigen Stand als eines der wahrscheinlichsten gilt.

Vom Umweltbundesamt wurden hierfür für ganz Deutschland einheitliche Klimadaten zur Verfügung gestellt (ECHAM5/OM, IPCC, T63, 06.10.2006):

- WETTREG A1B Scenario Run, UBA Project, 2071-2100
- WETTREG A1B Scenario Run, UBA Project, 2021-2050
- WETTREG 20C Control Run, UBA Project, 1971-2000

Um die statistische Sicherheit zu erhöhen, wurden für jede Dekade des gesamten Zeitraums 10 Realisierungen (Simulationen) durchgeführt. In jeder Realisierung befinden sich 7300 Tage (also 20 Jahre), die dem statistischen Verhalten des Klimas in der Dekade entsprechen. Im Gesamten wurden somit 200 Jahre für jede Dekade simuliert. Aus diesen Daten wurden 10-jährige Bereiche identifiziert, in denen der Niederschlag im Mittel besonders hoch (feucht), besonders niedrig (trocken) und durchschnittlich (normal) ist (Spekat et al. 2007).

Der 10-Jahresabschnitt, der dem Gesamtmittelwert am nächsten kommt, wurde dabei als durchschnittlich (normal) bezeichnet. Daher gibt es keine festen Grenzen, mit denen eine durchschnittliche Dekade definiert werden kann. Die Isolierung normaler Klimaverläufe muss dabei zwingend am 1. Januar beginnen, sonst wären z.B. Jahreszeitenuntersuchungen nicht möglich (Spekat et al. 2007).

<u>Berechnung</u>

Die klimatische Wasserbilanz ist als Differenz von korrigiertem Niederschlag und potenzieller Verdunstung definiert. Der Niederschlag wird in Niederschlags- und in Klima-

stationen gemessen. Jedoch werden lediglich in Klimastationen zusätzliche Daten für die Berechnung der potenziellen Verdunstung aufgenommen. Daher wurden ausschließlich Klimastationen für die Berechnung der Wasserbilanzkarten verwendet. In ganz Deutschland werden 282 Klimastationen unterhalten. Bei der Berechnung der Zukunftsszenarien konnten an 250 Messstationen brauchbare Daten erzeugt werden, die in die Berechnung der klimatischen Wasserbilanz eingehen.

Die Berechnung der potenziellen Verdunstung für Gras erfolgt, ähnlich dem hydrologischen Atlas von Deutschland (BMU 2003), nach dem kombinierten Ansatz nach Penman-Monteith (DVWK 238/1996). Folgende Parameter werden in diesem Ansatz berücksichtigt:

- Windgeschwindigkeit (Tagesmittel)
- Relative Feuchte (Tagesmittel)
- Niederschlagssumme (Tag)
- Sonnenscheindauer (Tag)

Die potenzielle Verdunstung ist die Wassermenge, die ein optimal mit Wasser versorgter Rasen maximal verdunsten kann. Aus jeweils 3 Dekaden mit je 10 Simulationsjahren (normal) werden Tagesmittelwerte bestimmt, die in die Berechnung der potenziellen Verdunstung eingehen. Mit Hilfe der berechneten potenziellen Verdunstung und des korrigierten Niederschlags kann die tägliche klimatische Wasserbilanz ermittelt werden. Die Niederschlagskorrektur erfolgt nach Richter (1995). Aus dem Vergleich Zukunft zu Vergangenheit werden klimatische Brennpunktregionen lokalisiert. Die Kartendarstellung erfolgt getrennt nach Jahr, hydrologischem Sommer und hydrologischem Winter.

Im Folgenden werden die Mittelwerte der durchschnittlichen Klimadaten aus jeweils drei Dekaden von 1971-2000, 2021-2050 und 2071-2100 dargestellt. Dabei ist jedoch anzumerken, dass die Ergebnisse an den Klimastationen immer im Zusammenhang mit den benachbarten Stationen betrachtet werden sollten. Ansonsten würde der Eindruck einer wahrscheinlich nicht realistischen Genauigkeit entstehen. Aus der Betrachtung von mehreren benachbarten Stationen kann jedoch ein Trend für jede Region ermittelt werden.

Zum Vergleich ist die klimatische Wasserbilanz aus dem hydrologischen Atlas von Deutschland des Zeitraums 1961-1990 dargestellt (Abbildung 9).

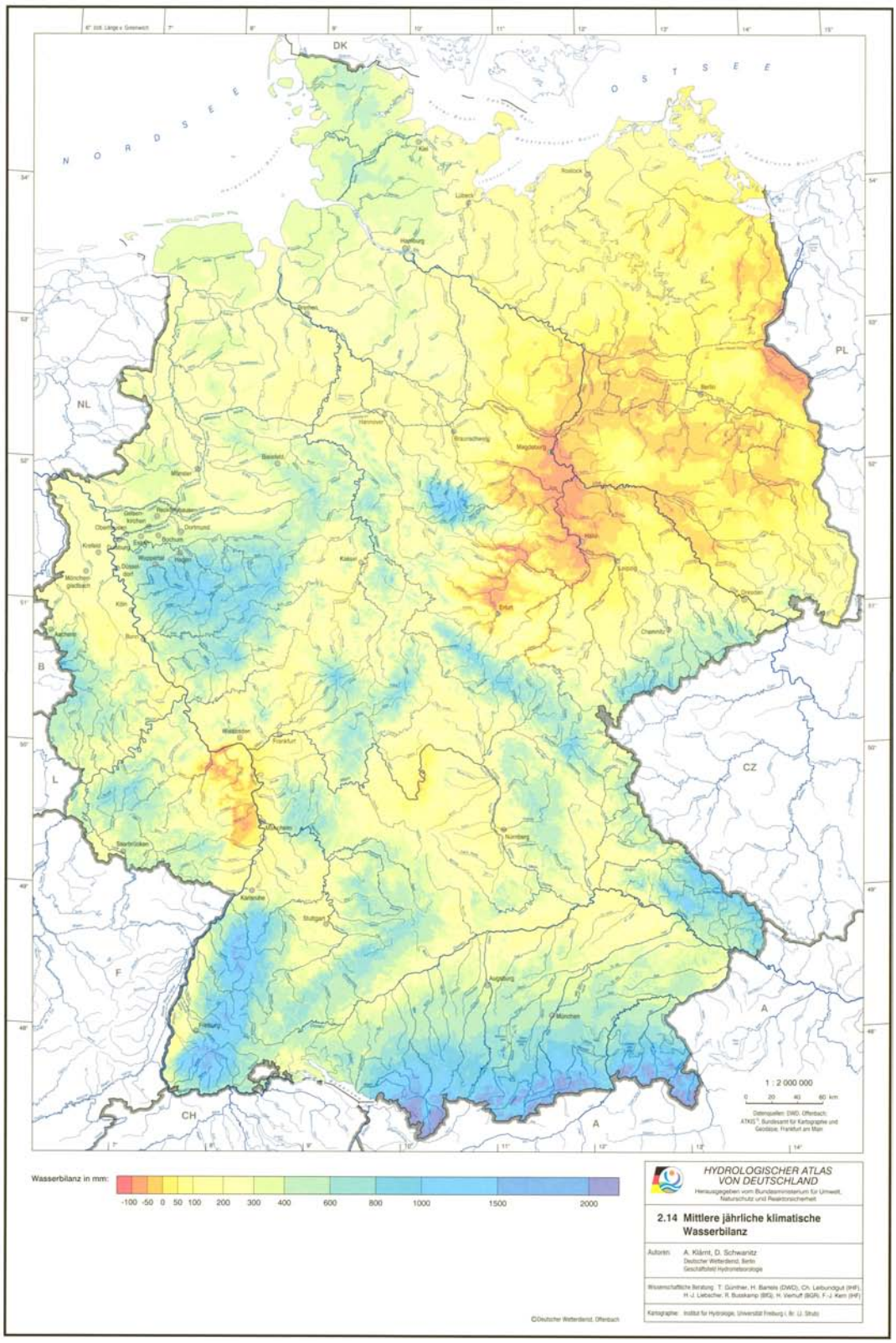
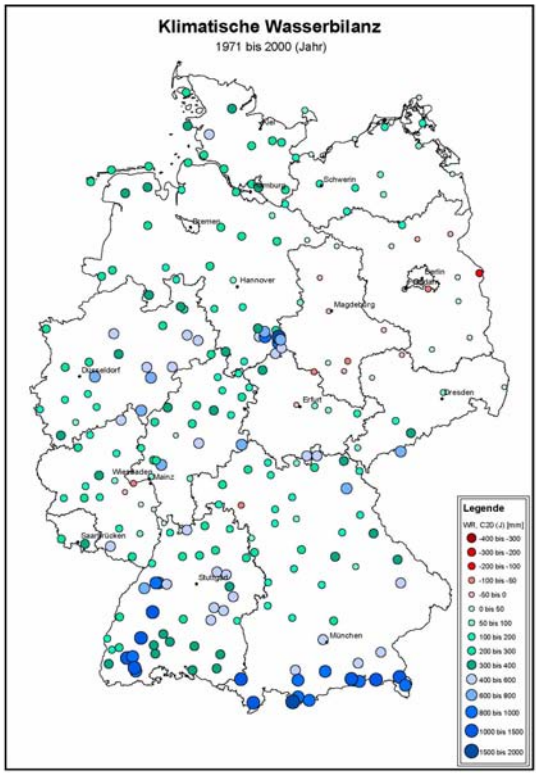
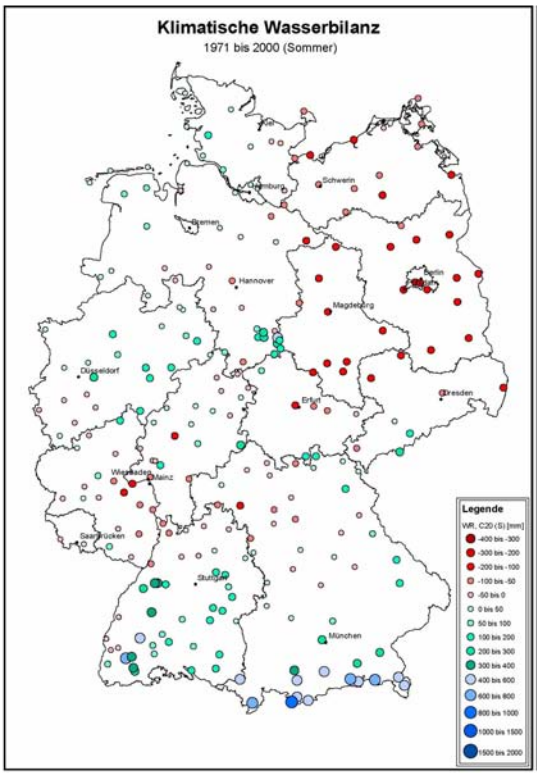


Abbildung 9: Klimatische Wasserbilanzkarte 1961-1990 (BMU 2003)





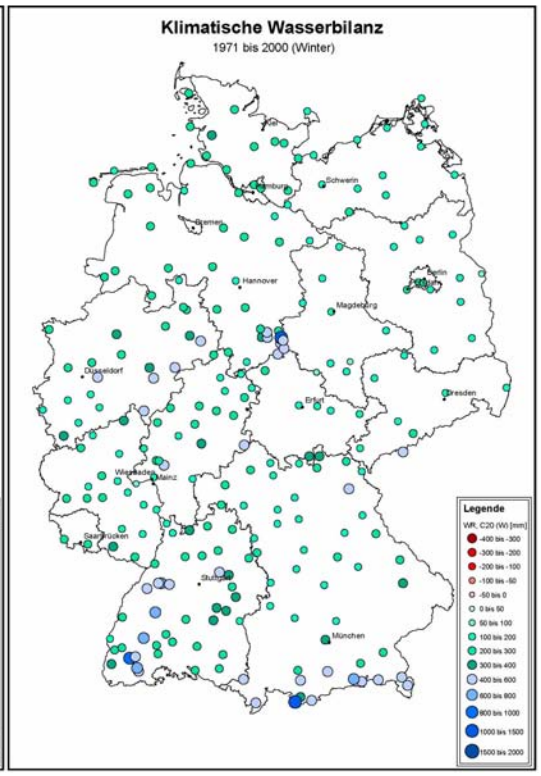


Abbildung 10: Klimatische Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 1971-2000, WETTREG, C20 [mm]

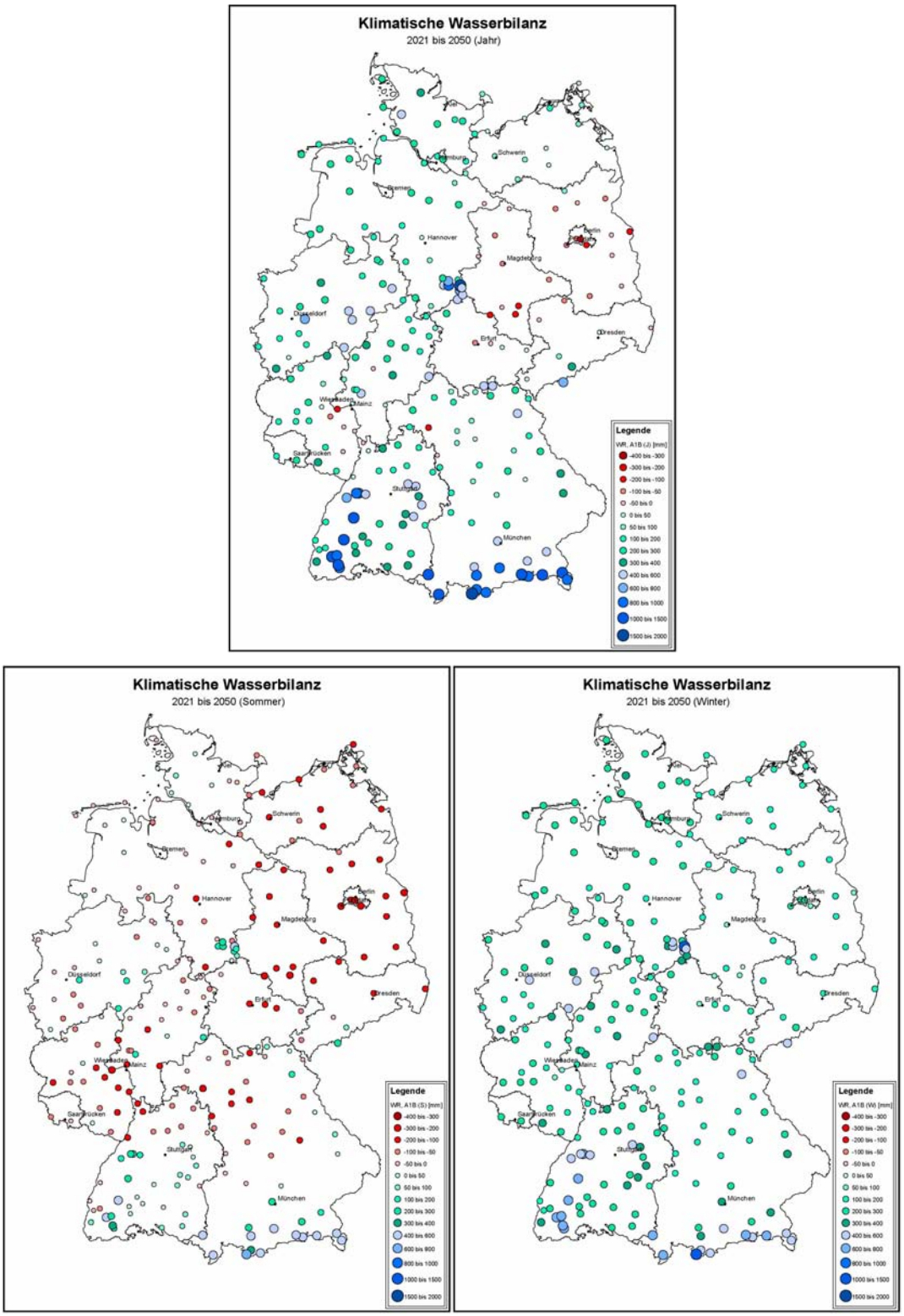


Abbildung 11: Klimatische Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2021-2050, WETTREG, A1B [mm]

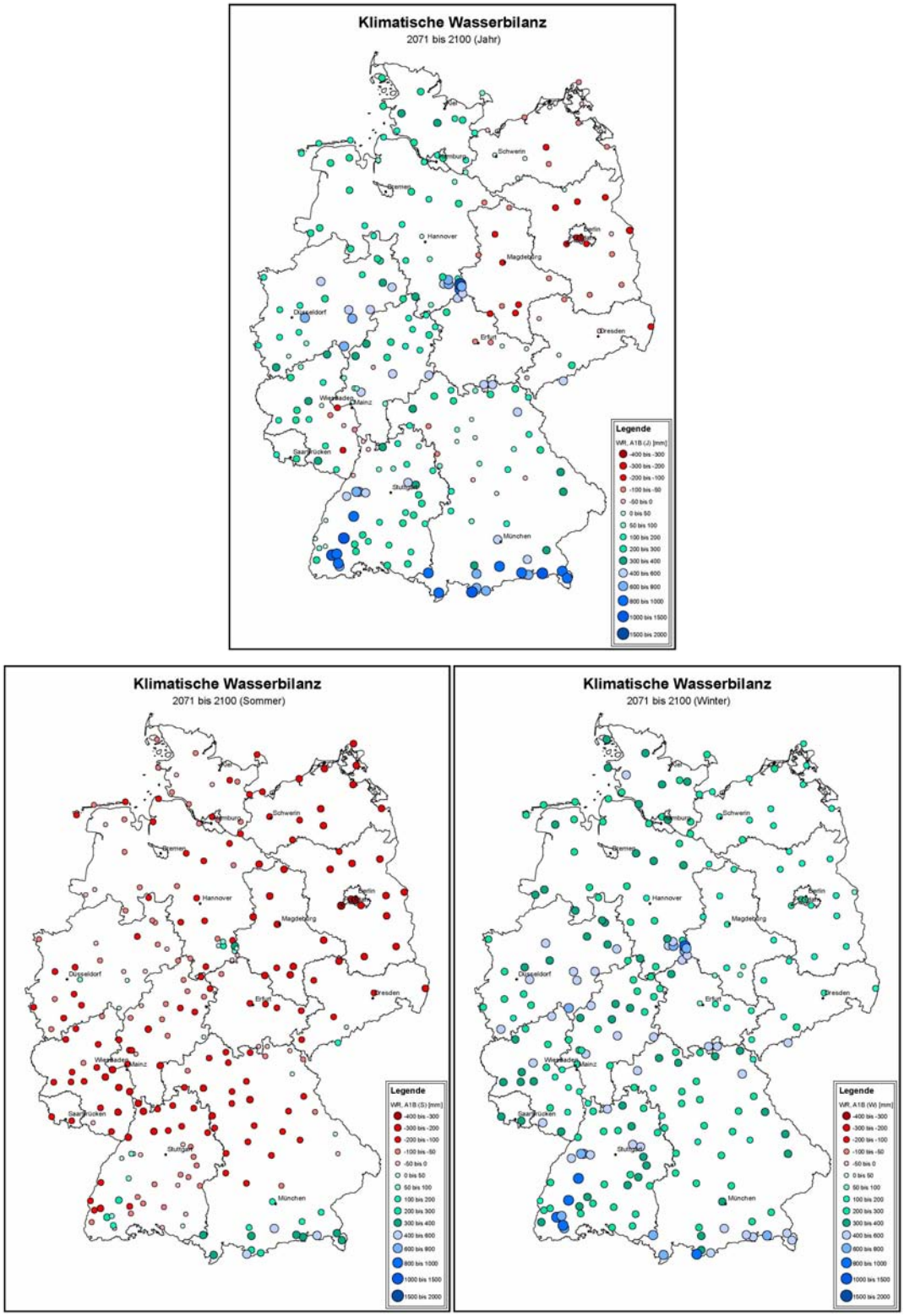


Abbildung 12: Klimatische Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2071-2100, WETTREG, A1B [mm]

Aus Abbildung 10 und folgenden ist zu erkennen, dass das Sommerhalbjahr zukünftig trockener wird und das Winterhalbjahr feuchter. Betrachtet man das gesamte Jahr, fällt die klimatische Wasserbilanz zukünftig geringer aus als heute.

Um die Unterschiede deutlicher erkennen zu können, wurden zudem die prozentualen Änderungen der drei Dekaden untereinander berechnet (siehe Anhang). Dabei zeigt sich, dass im Jahresdurchschnitt Ostdeutschland im Vergleich zu Westdeutschland noch trockener wird. Die Änderung der klimatischen Wasserbilanz im Sommer fällt in Westdeutschland geringer aus als im östlichen Teil Deutschlands (Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen). Zudem wird in Westdeutschland, im Gegensatz zu Ostdeutschland, die meist negative klimatische Wasserbilanz im Sommer durch teilweise feuchtere Winter ausgeglichen (Abbildung 14).

Bei einem Vergleich der Dekaden 2071-2100 mit 2021-2050 fällt auf, dass es in der zweiten Jahrhunderthälfte Bereiche gibt, die wieder feuchter werden. Dies zeigt sich besonders in den Regionen Nordbayern, Hessen, Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen und teilweise in Niedersachsen (siehe Anhang).

Jedoch geben Änderungen in Prozent oft ein verfälschtes Bild wieder. Liegt die klimatische Wasserbilanz im Referenzszenario um den Nullwert, so bewirkt bereits eine geringe Änderung von wenigen Millimetern eine sehr große prozentuale Änderung, wohingegen die absolute Änderung sehr gering ist. Dies tritt bei vorliegenden Daten speziell in Ostdeutschland auf. Daher werden zudem die absoluten Änderungen in mm angegeben (Abbildung 13 ff). Hier zeigt sich, dass die jährliche klimatische Wasserbilanz in Baden-Württemberg, Teilen Bayerns und in Ostdeutschland bis zum Ende des Jahrhunderts stark abnimmt (Abbildung 14-Jahr).

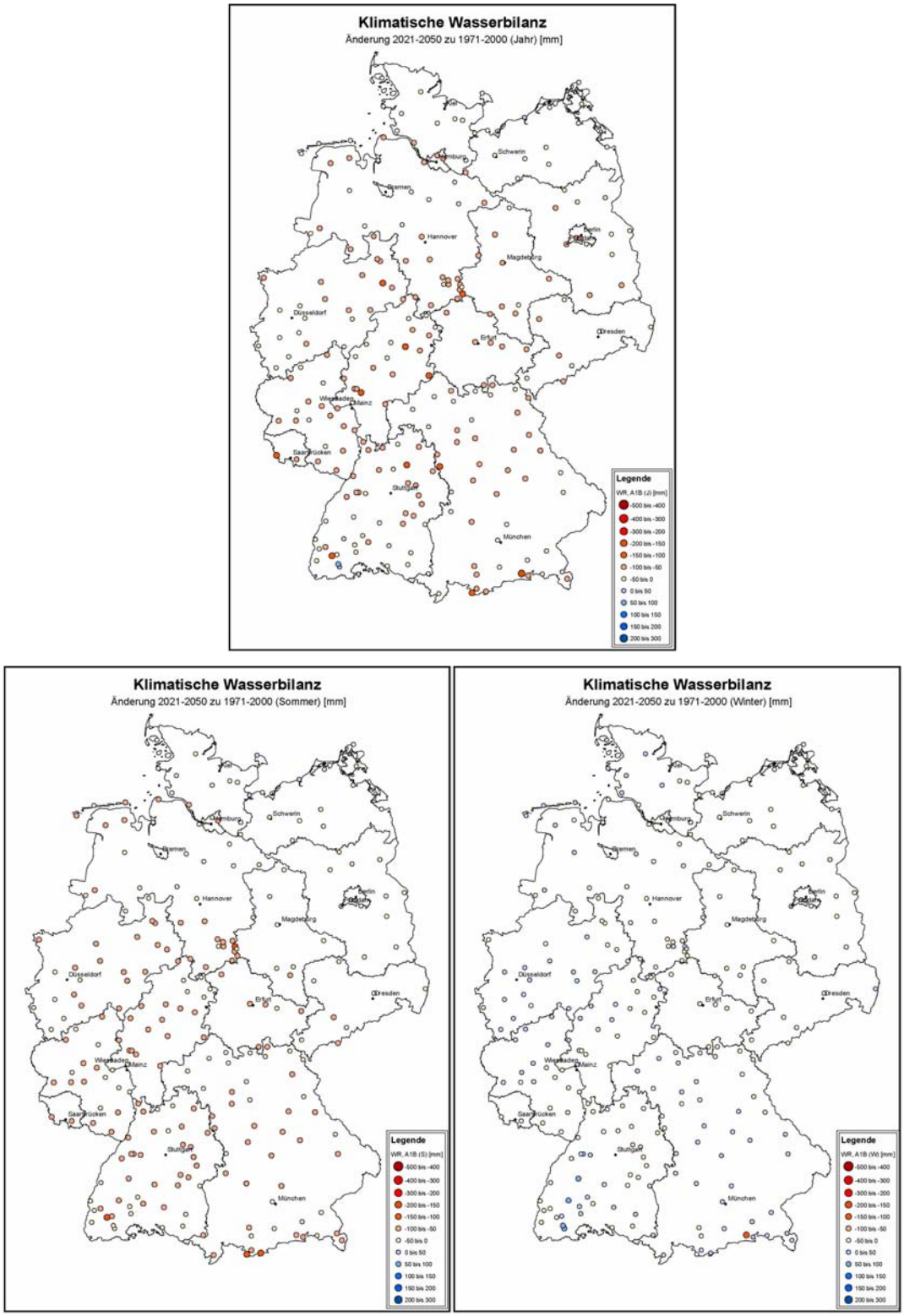


Abbildung 13: Änderung der klimatischen Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2021-2050 zu 1971-2000, WETTREG, A1B zu C20 [mm]

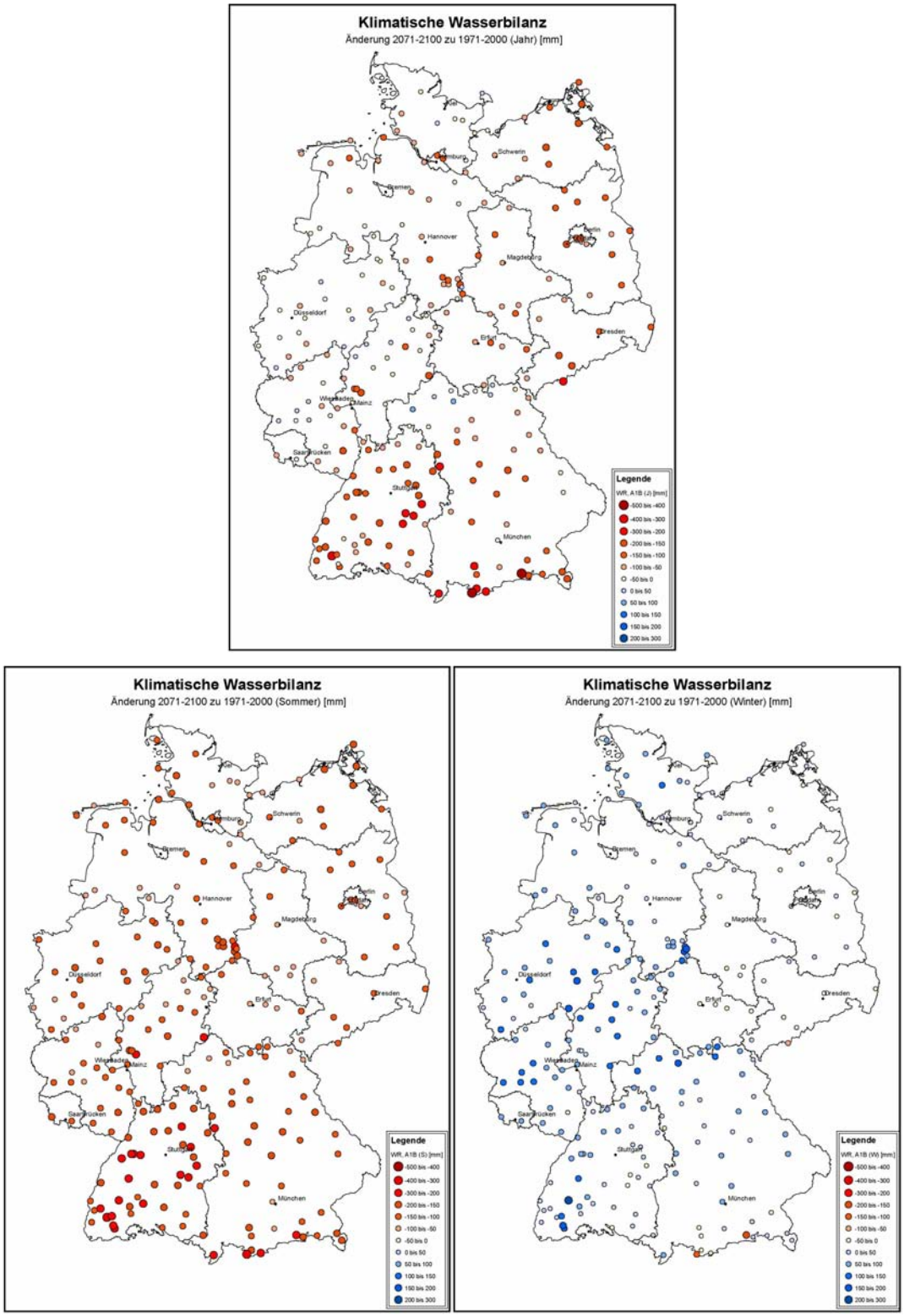


Abbildung 14:Änderung der klimatischen Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2071-2100 zu 1971-2000, WETTREG, A1B zu C20 [mm]

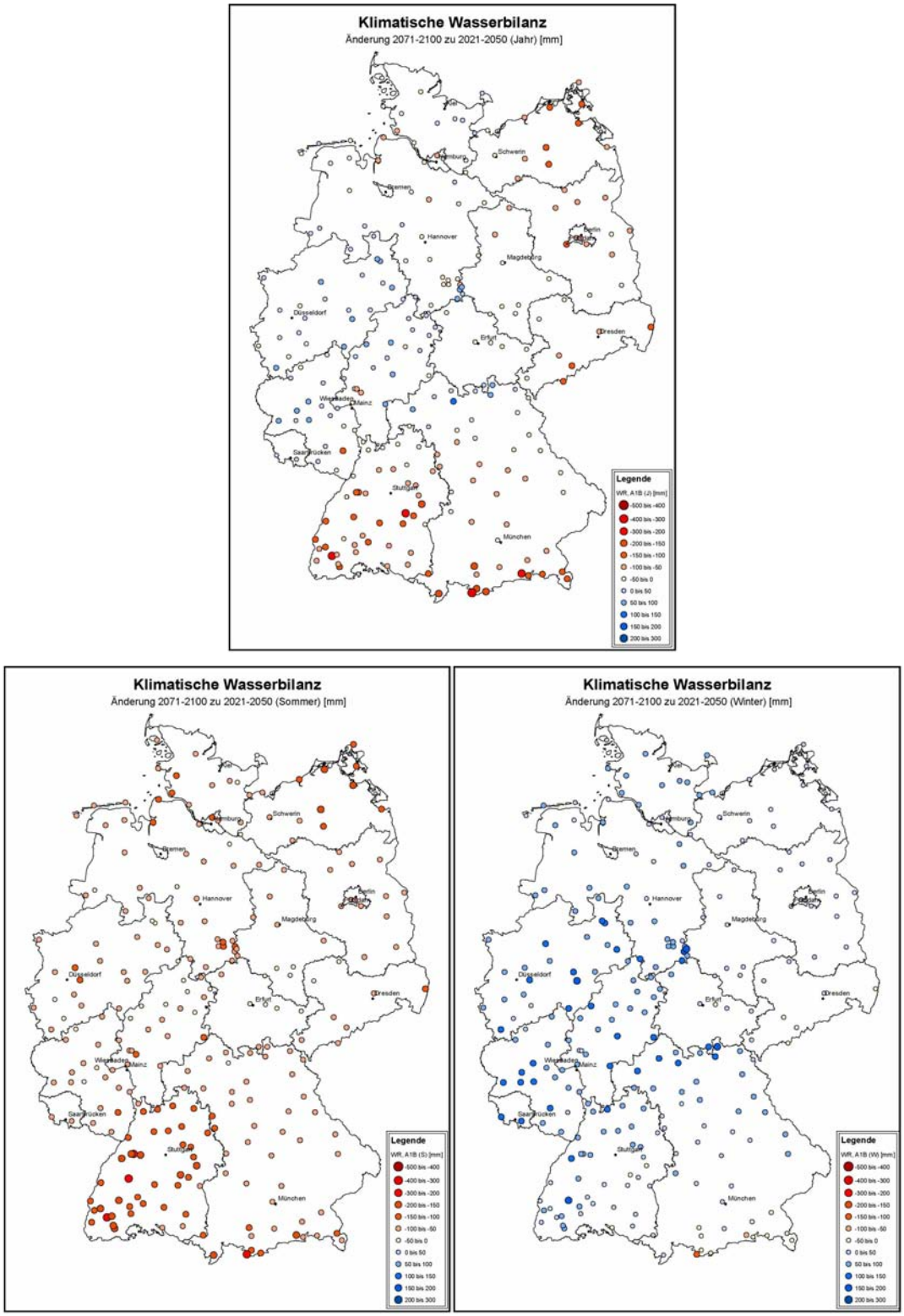


Abbildung 15: Änderung der klimatischen Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2071-2100 zu 2021-2050, WETTREG, A1B [mm]

2.2 Sensitivität des Wasserhaushaltes – Literaturanalyse

Untersuchungen zum Wasserhaushalt werden in der Regel auf der räumlichen Grundlage von Einzugsgebieten durchgeführt. Die Untersuchung der Sensitivität des Wasserhaushaltes orientiert sich daher an der Unterteilung Deutschlands in Flusseinzugsgebiete. Die Stromgebiete von Rhein, Donau und Elbe umfassen insgesamt 73 % der Landesfläche Deutschlands. Ergänzend konnten auch einige Aussagen zur Entwicklung des Wasserhaushalts von Weser, Elbe, Oder und Ems integriert werden. Im Zentrum unserer Untersuchung steht die Analyse des Niedrig-, Mittel- und des Hochwasserabflusses sowie der Grundwasserneubildung und der Grundwasserstände. Der Vergleich von Untersuchungen zum Wasserhaushalt ist wegen der Heterogenität der Datenlage problematisch. In Bezug auf die *bisherige* Entwicklung des Wasserhaushaltes unterscheiden sich die Studien - und damit deren Ergebnisse - durch die unterschiedlichen Zeitreihen, die zur statistischen Analyse herangezogen wurden. In Bezug auf die *zukünftige* Entwicklung des Wasserhaushaltes sind es v.a. die unterschiedlichen Regionalmodelle wie beispielsweise WETTREG (UBA 2007) oder REMO (UBA 2006) und die angewandten SRES Szenarien (A1, A1B, B1 etc.), die einen Vergleich erschweren.

2.2.1 Einzugsgebiet des Rheins

Der Rhein ist mit einer Länge von 1320 km und einer Einzugsgebietsfläche von 185000 km² einer der größten Flüsse Europas. Der deutsche Anteil am Einzugsgebiet beträgt 104660 km², entsprechend 29 % der Landesfläche. Das Abflussregime des Rheins wird durch die jeweiligen Nebenflüsse maßgeblich verändert. Mit der Aufnahme von Aare, Neckar, Main und Mosel wird das zunächst vorwiegend nivo-glaziale Abflussregime sukzessive durch einen pluvialen Charakter überprägt (Belz et al. 2007). Eine detaillierte Analyse der Abflussverhältnisse im deutschen Rheingebiet erfordert daher eine Untergliederung in die Teilgebiete Hochrhein (Bodensee - Basel), Oberrhein (Basel - Bingen) sowie Mittelrhein (Bingen – Köln) und Niederrhein (Köln – Niederländische Grenze).

2.2.1.1 Hochrhein

Abfluss

Der Hochrhein wird durch die Abflüsse des schweizerischen Alpenrheins, abgemildert durch den Bodensee geprägt. Der Alpenrhein wiederum zeigte hinsichtlich des Gesamtabflusses im vergangenen Jahrhundert zunächst eine Abnahme mit einer anschließend ausgleichenden Zunahme (Spreafico & Weingartner 2005). Durch statistische Analyse ergibt sich zwar ein leicht positiver Trend im Abflussverhalten von 0,18 m^3/s pro Jahr, dieser ist aber nicht signifikant. Ob diese Veränderung niederschlagsbedingt ist steht derzeit noch nicht fest. Bei den Abflussmengen der fünf wichtigsten Bodenseezuflüsse ist für die Zeitreihe ab 1970 eine Erhöhung für die Wintermonate und eine Verringerung für die Sommermonate zu erkennen. Die Trendwerte sind jedoch durch die kurze Zeitreihe und die hohe Variabilität vielfach nicht signifikant. Durch die Kohärenz kann allerdings auf eine klimatische Ursache geschlossen werden. Für den Bodenseewasserstand zeigt sich zwar im Jahresmittel kein Indiz für eine Veränderung durch klimatischen Einfluss, im Jahresverlauf ist allerdings ab 1990 im Mittel ein „deutliche Verringerung“ der Pegelstände für Juli bis Mitte September und eine Erhöhung für November bis Mitte Januar zu erkennen (AK KLIWA 2007).

Für Baden-Württemberg bestehen divergierende Aussagen zur bisherigen Entwicklung der Mittelwasserdurchflüsse: Während der AK KLIWA (2003) in der Vergangenheit je nach betrachtetem Zeitraum mehrheitlich keinen Trend zur Zunahme (ab 1901) bzw. eine „gewisse Erhöhung“ (ab 1964) festgestellt hat, fand die neuere Untersuchung von Koehler et al. (2007) mit + 0,3 % pro Jahr einen deutlicheren Trend. Allerdings zeigt sich auch hier bei Betrachtung der längeren Zeitreihen eine geringere Veränderung.

Die Untersuchung des Langzeitverhaltens der Hochwasserabflüsse ergab für meisten der untersuchten Pegel in Baden-Württemberg und Bayern eine nur geringe Trendsteigung, die meist keine oder nur geringer Signifikanz aufweist. Analog zur Entwicklung der Mittelwasser zeigt sich für die jüngere Vergangenheit bei den arithmetischen Mitteln der monatlichen Höchstwerte (MoMHQ) eine Zunahme, beschränkt ich aber auf das Winterhalbjahr (AK KLIWA 2002).

Zur zukünftigen Entwicklung der Niedrigwasser für den Bereich des Bodensees und den östlichen Hochrhein zeigen die Szenarien für alle Kennwerte Abnahmen im Bereich von 10 – 20 %, unterhalb der Wutachmündung für den 10-jährigen Niedrigwasserabfluss (NQ_{10}) sogar starke Abnahmen > 20 % (Willems, 2006). In Bezug auf die

Dauer von Niedrigwasserperioden wird künftig für die Einzugsgebiete des Bodensees und das Hochrhein-Gebiet eine deutliche Zunahme erwartet (Hennegriff et al. 2007).

Für die Schussen, einen nördlichen Bodenseezufluss wird für alle Durchflussbereiche im Jahresmittel eine leichte Zunahme im Bereich von + 5 % erwartet, allerdings weist die innerjährliche Verteilung für die Sommermonate für alle Bereiche auch eine Abnahme auf (AK KLIWA 2006).

Grundwasser

Für den Bereich Oberschwaben zeigen Ergebnisse von Neumann & Gudera (2006) für die Dekaden 2021-30 und 2031-40 eine Zunahme der Neubildung. Für die Dekade 2041-50 weisen die Berechnungen mit – 10 % jedoch eine deutliche Abnahme auf.

2.2.1.2 Oberrhein

Abfluss

Bei Langzeituntersuchungen zum Mittelwasser für Pegel in Baden-Württemberg und Bayern ergab sich je nach betrachtetem Zeitraum für die meisten Pegel kein Trend zur Zunahme (ab 1901) bzw. eine „gewisse Erhöhung“ (ab 1964) (AK KLIWA 2003). Bei Koehler et al. (2007) findet sich mit + 0,3 % pro Jahr bzw. + 0,48 % pro Jahr für den NM7Q (kleinstes arithm. Mittel von sieben aufeinanderfolgenden Tagen) eine deutlichere Zunahme. Auch für die Hochwasserabflüsse zeigen die Analysen allgemein nur sehr schwache Trendsteigungen, die i.d.R. nicht oder nur schwach signifikant sind. Es hat sich allerdings ab den 1970er Jahren für die Wintermonate eine Erhöhung der MoMHQ gezeigt (vgl. Weber 2006). Zu signifikant positiven Veränderungen der Hochwasserabflüsse kommt es bei einigen Pegeln, die sich mehrheitlich im Osten des Schwarzwaldes befinden. (AK KLIWA 2002). In Bezug auf Extremhochwasser wird für viele Mittelgebirgsregionen, beispielhaft für die Enz, durch die Veränderungen der Großwetterlage eine Häufung beobachtet (Caspary & Bardossy 1995). Für NM7Q und NM21Q zeigt sich für den Rhein-Pegel Maxau für die Zeitreihe 1944 - 2003 eine Tendenz zur Erhöhung (Belz et al. 2004). Weiter wird für den nördlichen Oberrhein gezeigt, dass sich die Niedrigwasserabflüsse künftig erhöhen können (Willems 2006). Dies bestätigen Hennegriff et al. (2007), die für die Dauer des Abflussdefizits dort deutliche Abnahmen (> 50 %) annehmen.

Für verschiedene Nebenflüsse des Oberrheins zeigen sich für den Mittelwasserbereich zukünftig Erhöhungen im Durchfluss. Mittlere Zunahmen < 10 % finden sich bei Brahmer (2006) und Brahmer et al. (2005) für die Nidda (Main). Für den mittleren Neckar gibt Wolff (2003) eine „offensichtliche Zunahme“ für die verwendeten Szenarien an. Auch die Ergebnisse von Gerlinger (2004) zeigen für den Neckar eine Zunahme der Mittelwasser, jedoch nur für die Wintermonate. Deutliche Zunahmen prognostiziert der Arbeitskreis KLIWA (2006) für Main (vgl. Schwandt 2003) und Kinzig. Für den Neckar (Pegel Rockenau) und die fränkische Saale ergaben sich sogar extreme Zunahmen um 25 % bzw. 40 %. Ebenfalls für den Pegel Rockenau/Neckar zeigen Ergebnisse von Stock (2005) unter Verwendung verschiedener Regionalisierungsmodelle eine „mehr oder weniger deutlich ausgeprägte Zunahme“ der täglichen mittleren Winterabflüsse. Für den Oberen Main zeigen Barth et al. (2004) für die Sommermonate eine geringfügige Abnahme, während für die Wintermonate ebenfalls eine extreme Zunahme um bis zu 100 % zu verzeichnen ist. Allerdings zeigt sich auch für das Ist-Szenario/modelliert eine teilweise deutliche Erhöhung gegenüber dem Ist-Szenario/gemessen.

Bei den Ergebnissen zu künftigen Hochwasserverhältnissen sind erhebliche regionale und saisonale Unterschiede festzustellen (vgl. Weber 2006). Für Baden-Württemberg ist künftig landesweit mit einer Zunahme bei den kleinen und mittleren Hochwasserereignisse zu rechnen. Für den Neckar (Pegel Rockenau) und die Kinzig (Pegel Schwaibach) zeigen die Berechnungen für den Sommer teilweise leichte Abnahmen, für den Winter jedoch mit + 39 % bzw. + 35 % deutliche Zunahmen der MoMHQ (Hennegriff 2006). Für den Neckar kommen Gerlinger (2006) und Ihringer (2006) zu ähnlichen Ergebnissen.

Für den oberen Main (Kemmern) zeigen Barth et al. (2004) und der AK KLIWA (2006) für die Wintermonate eine deutliche Erhöhung der Hochwasserabflüsse, in den Sommermonaten weisen die Berechnungen keine wesentlichen Veränderungen auf. Ähnliche Ergebnissen finden sich bei Kleinhans & Willems (2006), zeigen jedoch für den Unterlauf (Kleinheubach) mit einer Zunahme von + 20,4 % im Vergleich zum Pegel Kemmern (+ 11,6 %) eine deutliche Erhöhung mit dem Flussverlauf. Für die Fränkische Saale (Main) wird ebenfalls mit einer deutlichen Zunahme der Hochwasserabflüsse gerechnet (AK KLIWA 2006, Belau et al. 2006). Für den Neckar wie auch den Main werden sich Bemessungshochwasser erhöhen, für die kleinen und mittleren Ereignisse um ca. 40 – 50 %, für den HQ100 um ca. 15 % (Katzenberger 2004). Für drei Teileinzugsgebiete von Neckar, Ruhr und Kocher zeigen Ergebnisse von Bronstert et al. (2001) eine Tendenz zur Verschiebung der Hochwasser vom Winter in den Frühling,

die durch ein mögliches Zusammenfallen mit Schneeschmelzabflüssen aus den Alpen neben lokalen Folgen auch die Hochwassersituation des Rheins negativ beeinflussen können.

Die vorliegenden Aussagen zur Entwicklung der Niedrigwasser am Oberrhein sind uneinheitlich: Zu den zukünftigen Verhältnissen reichen die Aussagen von deutlicher Abnahme für die Nidda (Pegel Bad Vilbel, - 16 %) (Brahmer 2006) sowie von Kocher und Jagst (10 – 20 %) (Willems 2006), über „keine Verringerung der Niedrigwasser-Extremwerte“ im Neckar-Einzugsgebiet (Gerlinger 2004) bis zu regional (deutlichen) Zunahmen im Bereich des Neckars, der Fränkischen Saale und des Mains (AK KLIWA 2006). Bei den Ergebnissen von Barth et al. (2006) für den Pegel Kemmern (Main) liegen die Abflüsse für den Sommer geringfügig unter dem Referenzszenario, im Winter dagegen deutlich darüber. Für die Dauer von Niedrigwasserperioden wird mit Ausnahme des nördlichen Oberrheins eine teilweise erhebliche Zunahme um > 50 % erwartet (Hennegriff et al. 2007).

Grundwasser

In Bezug auf die Grundwasserneubildung wird durch die veränderten Niederschlagsverhältnisse für den Szenariozeitraum (2021-50) im Maingebiet eine Zunahme um 20 % und für Baden-Württemberg eine Zunahme um 14 % erwartet. Regional differenziert zeigt sich ein abfallender Trend von West nach Ost. Für den letzten Szenariozeitraum (2041-51) wird für die Schwäbische Alb und Oberschwaben eine leichte bzw. eine deutliche Abnahme der Grundwasserneubildung prognostiziert (Neumann & Gudera 2006). Für das Neckar-Gebiet geben Gaiser et al. (200) an, dass sich die Sickerungsraten „in dem betrachteten Zeitraum bis 2030 aller Voraussicht nach nicht wesentlich verändern werden“.

2.2.1.3 Mittelrhein und Niederrhein

Abfluss

Allgemein wird für Nordrhein-Westfalen angenommen, dass sich die Mittelwasserabflüsse leicht erhöhen. Für die mittleren Hochwasserereignisse zeigt sich für Rheinland-Pfalz seit Ende der siebziger Jahre beim Durchfluss eine Erhöhung um ca. 20 % im Vergleich zum vorherigen Zeitraum. Im Gegensatz zur Gesamtbetrachtung besteht für die jeweiligen Teilreihen kein Trend (Henrichs et al. 2005). In Bezug auf das Auftreten

zeigt sich, dass sich die Häufigkeit von Hochwassern größer als das arithmetische Mittel der beobachteten Höchstwerte (MHQ) im Mittel um 25 % erhöht hat. Für Nordrhein-Westfalen wird zwar ein leichter Anstieg für Winterhöchstabflüsse beobachtet, für mittlere und kleine Hochwasserereignisse jedoch nicht. Für beide Bundesländer wird angegeben, dass für Hochwasser kleiner bis mittlerer Jährlichkeit eine Häufung möglich ist. Die Aussagen beschränken sich aber auf das Winterhalbjahr. In Bezug auf Niedrigwasserabflüsse ist für Nordrhein-Westfalen bislang keine signifikante Veränderung festgestellt worden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass diese künftig abnehmen werden. In Rheinland-Pfalz wird eine zunehmende Häufung von Niedrigwasserperioden in Betracht gezogen. (MUNLV NRW 2007, MUFV RLP 2007)

Für den Rhein-Pegel Kaub zeigt die bisherige Entwicklung bei Mittelwasser für die Jahresreihe wie auch die Winterperiode eine Zunahme (MUFV RLP 2007). Für den Pegel Köln zeigt sich für NM7Q und NM21Q für die Zeitreihe 1944 – 2003 positive Trends (Belz et al. 2004). Zur zukünftigen Entwicklung des Mittelwassers werden für den Rhein-Pegel Köln zeitlich differenzierte Ergebnisse: für die Dekade 2020-29 ergibt sich zunächst eine leichte Abnahme (-0,6 %), für die feuchte Dekade 2030-39 mit + 16 % eine deutliche Zunahme. Die Dekade 2040-49 zeigt nur eine leichte Zunahme (+ 0,8 %). Weiter zeigt sich für den Pegel Köln auch eine „Intensivierung der innerjährlichen Abflüsse“ und eine „Umverteilung der Abflüsse“ mit weniger Abfluss im Frühjahr und mehr Abfluss im Winter. In Zusammenhang mit den Veränderungen im alpinen Teil des Rheingebietes erscheint aufgrund der Tendenz zu mehr Winterabfluss „eine Verschärfung der Hochwassersituation“ für Mittel- und Niederrhein möglich (Krahe et al. 2004).

Für mehrere Nebenflüsse des Mittelrheins wird für die Zukunft mit steigenden Durchflüssen gerechnet. Für die Lahn zeigen die Ergebnisse für den Mittelwasserabfluss mit einer Abnahme im Sommer und einer Zunahme im Winter im Jahresmittel eine leichte Zunahme von 3 % (Leun) bzw. 8 % (Marburg) (Brahmer 2006). Sehr deutliche Erhöhungen im Mittelwasserabfluss zeigen sich mit bis zu 100 % für einzelne Monate bei den Ergebnissen von Schwandt (2003) für Pegel von Mosel und Sieg. Für das Einzugsgebiet der Nahe erwarten Menzel et al. (2001) im Winter deutliche Zunahmen. Im Sommer werden diese durch das erhöhte Bodenfeuchtedefizit ausgeglichen.

Für Hochwasser kleiner Jährlichkeit weisen die Simulationen im Nahe-Einzugsgebiet signifikant mehr Abfluss auf. Für die Lahn hingegen wird in Bezug auf den MHQ nur mit moderaten Zunahmen von 2 % (Leun) und 9 % (Marburg) gerechnet (Brahmer 2006),

für den statistischen Extremhochwasserabfluss allerdings mit einer Zunahme um 20 - 25 % (Brahmer et al. 2005).

Für den Niedrigwasserabfluss weisen die Berechnungen für die Lahn mit –10 % (Marburg) bzw. –11 % (Leun) zukünftig auf deutliche Abnahmen hin (Brahmer 2006).

Grundwasser

Ähnlich wie am Oberrhein (Abschnitt 2.2.1.2) prognostizieren mehrere Studien für das Einzugsgebiet des Mittelrheins eine steigende Grundwasserneubildungsrate. In NRW wird für die winterliche Neubildungsphase mit einer mittleren Erhöhung von bis zu 10 % gerechnet (MUNLV NRW 2007). In Hessen nimmt die mittlere Grundwasserneubildung in den Szenario-Rechnungen um ca. 25 % zu. Für den Zeitraum 2021-2030 zeigen die Ergebnisse lokal auch Abnahmen, trotz mittlerer landesweiter Zunahme (Berthold & Hergesell 2005). Weiter erscheint für Hessen durch die veränderte Niederschlagssituation zudem „das Auftreten von langen Perioden mit Trockenjahren und resultierenden niedrigen Grundwasserständen“ künftig unwahrscheinlicher (Brahmer 2006). Für Rheinland-Pfalz wird aufgrund der hydrogeologisch und klimatisch mit Hessen vergleichbaren Verhältnisse eine ähnliche Entwicklung erwartet (MUFV-RLP 2007).

2.2.2 Einzugsgebiet der Elbe

Das Einzugsgebiet der Elbe umfasst eine Fläche von 148270 km². Die Elbe entspringt im Riesengebirge in der Tschechischen Republik, auf deren Gebiet ca. 1/3 des Einzugsgebietes liegen. Mit der Moldau nimmt sie Ihren größten Zufluss auf. Durch den Bau von Talsperren und Rückhaltebecken auf tschechischer Seite ist insbesondere die Niedrigwasserführung stark staustufengeregelt. Der Flusslauf auf deutschem Staatsgebiet wird bis zum Eintritt in das Norddeutsche Tiefland am Schloß Hirschstein bei Meißen der Oberen Elbe zugeordnet. Die Mittlere Elbe reicht bis zum Wehr Geesthacht oberhalb von Hamburg und die Untere Elbe bis zur Mündung in die Nordsee.

Das Abflussregime ist durch die Mittelgebirgs-Zuflüsse pluvial geprägt, die Abflussganglinie wird durch geringe Niederschläge, fehlende Gletscher und große Lockergesteinsaquifere in den Urstromtälern bestimmt. Die Zuflüsse von Mulde und Saale können bei Hochwasser erhebliche Mengen zum Abfluss der Elbe beisteuern, verän-

dern den grundsätzlichen Charakter aber nicht (BfG 2002, Krahe & Busskamp 2003, Wechsung et al. 2006).

Abfluss

Für das Land Brandenburg, den größten Teil des östlichen Einzugsgebietes der Mittleren Elbe, weisen die mittleren Jahresabflüsse im Zeitraum 1980 - 1999 einen Rückgang um 2,5 % pro Jahr auf, also insgesamt um 50 % (LUA 2006), während von Koehler et al. (2007) für das Gebiet nordöstlich der Elbe eine mittlere jährliche Abnahme von 0,5 % pro Jahr angeben wird, allerdings für den Zeitraum 1961-2002.

Mudelsee et al. (2003) geben in Bezug auf Winterhochwässer für die Elbe bei Dresden eine signifikante Abnahme im Auftreten an, für Sommerhochwasser wurde keine Veränderung festgestellt. Laut einer Studie der BfG (2002) zeigt sich dagegen für die letzten 40 Jahre mit „drastischen Abnahmen der Maxima im Winter“ und „deutlicher Zunahme der Maxima im Sommer“ eine Verschiebung der innerjährlichen Verteilung der Jahreshöchstabflüsse. Hattermann (2005) erwartet für den Winter einen späteren Anstieg sowie einen früheren Rückgang der Abflüsse im Frühjahr.

In Bezug auf Niedrigwasser ist in der Vergangenheit durch die gezielte Niedrigwasserauffüllung über die Talsperren auf tschechischer Seite für die Elbe bei den extremen Niedrigwassern eine Entschärfung der Situation zu verzeichnen (Wechsung et al. 2006). Für die Elbe-Pegel zwischen Wittenberge und Dresden zeigt sich eine positive Entwicklung (Finke & Krause 2005), ebenso bei den Elbe-Pegeln Dresden (signifikant) und Neu Darchau (nicht signifikant) für NM7Q und NM21Q (Belz et al. 2004). Allerdings hat sich die Häufigkeit extremer Niedrigwasser in den letzten Jahren für die Elbe wieder erhöht. Weiterhin wird mittelfristig noch eine Zunahme in der Häufigkeit sowie eine Abnahme im Durchfluss erwartet (Wechsung et al. 2006). Auch Ergebnisse von Hattermann (2005) lassen künftig häufigere und längere Niedrigwasserperioden für die Elbe erwarten, beschränken sich aber auf den Spätsommer und frühen Herbst. Eine Verschärfung der Niedrigwassersituation für das Sommerhalbjahr wird für die Länder Sachsen (SMUL 2005), Sachsen-Anhalt und Thüringen (Franke et al. 2006) erwartet.

Im Einzugsgebiet der Parthe (südl. Nebenfluss der Weißen Elster) wurden durch das LfUG Sachsen umfangreiche Untersuchungen zum Wasserhaushalt durchgeführt („KliWEP“-Projekt) (Hertwig 2004, Scherzer et al. 2006a, Scherzer et al. 2006b, Pöhler et al. 2008). Die Ergebnisse für das Schnellbachgebiet zeigen zu Anfang der 90er Jahre einen deutlichen Rückgang der Abflüsse mit einer anschließenden Zunahme. Für die

Abflüsse der Kalten Bode (Harz) wird dagegen im Zeitraum 1951 – 2000 ein zunehmender Trend festgestellt (Lange & Eggelsmann 2007). In verschiedenen Teileinzugsgebieten der Elbe ist künftig wahrscheinlich mit abnehmenden Durchflüssen bei Mittelwasser zu rechnen, teilweise in erheblichem Ausmaß. Mit deutlichen Abnahmen ist für die Havel zu rechnen, ebenso für Unstrut, Parthe, Wipper und Querne (BfG 2003, Sommer et al. 2003, Wurbs 2005, Pöhler et al. 2008). Auch für die Mulde wird mit einer Abnahme der MoMQ gerechnet (Menzel & Bürger 2002). Für die Elbe-Zuflüsse aus dem Osterzgebirge liegt für die zukünftige Entwicklung ebenfalls eine Tendenz zur Verringerung der Abflüsse vor (Pöhler 2006).

Für die Hochwassersituation zeigen die Ergebnisse zur zukünftigen Veränderung für Wipper und Querne mit bis zu 40 % deutliche Abnahmen (Wurbs 2005). Auch für die Parthe weisen die Ergebnisse von Hertwig (2004) für MQ und MHQ in allen Monaten teilweise deutliche Abnahmen auf.

Zur Niedrigwasserführung im Elbe-Einzugsgebiet zeigt die bisherige Entwicklung für die untere Havel und die Spree einen Rückgang, für den Havel-Pegel Ketzin mit einer Durchflussverringerung von 6 m^3/s pro zehn Jahre deutlich (Finke & Krause 2005). Wie für die Elbe selbst wird für verschiedene Teileinzugsgebiete in Zukunft ebenfalls mit eine Abnahme der Niedrigwasser gerechnet. Für die Querne/Weida wird eine extreme Abnahme des mittleren Niedrigwasserabflusse (MNQ) von ca. 85 %, für die Wipper je nach Szenario und Pegel zwischen ca. 34 % und 63 % prognostiziert (Wurbs 2005). Für die Unstrut wird durch den Rückgang der Neubildung ebenfalls eine Verschärfung der Niedrigwassersituation angenommen (Sommer et al. 2003).

Grundwasser

Für die bisherige Entwicklung der Sickerwassermenge in Brandenburg geben Gerstengarbe et al. (2003) auf 75 % der Gesamtfläche eine Abnahme an. Diese Aussage ist zu relativieren, da nur 5 % der untersuchten Pegel statistisch signifikante Änderungen vorweisen. Allerdings zeigt eine Untersuchung des Landesumweltamtes Brandenburg (LUA) (2006) für 1970 - 1999 „deutlich negative Trends in den Grundwasserständen“ für den ersten Grundwasserleiter.

Für die zukünftige Entwicklung der Sickerwassermenge weisen mehrere Studien für verschiedene Gebiete erhebliche Abnahmen bis zu 50 % auf (Gerstengarbe et al. 2003, Hattermann 2004, Sommer et al. 2003, Wurbs 2005, Pöhler et al. 2008). Im Bereich von Potsdam wird je nach Entfernung zum Vorfluter (Havel) eine Absenkung des

Grundwasserspiegels im Bereich von 0,2 bis 2,5 m erwartet (Schäfer & Nillert 2007), das nutzbare Dargebot für Dresden-Tolkewitz reduziert sich nach Mrozik et al. (2007) nur geringfügig um ca. 2 %. Im Spreewald wird vor allem in den Randbereichen und dem Versorgungsbereich des Großen Fließes mit einer Absenkung des Grundwasserspiegels bis zu 50 cm gerechnet (Quast et al. 2003). Für Schleswig-Holstein ergaben Modellrechnungen für den Zeitraum 2071-2100 je nach Szenario und Rahmenbedingung für die Sickerwassermenge im 1 m Bodentiefe Abnahmen im Bereich von 5 % (A1B) bzw. bis 25 % (B1) (Trepel et al. 2007)

2.2.3 Einzugsgebiet der Donau

Mit einer Gesamtlänge von 2800 km und einer Einzugsgebietsfläche von 817000 km² ist die Donau der zweitgrößte Fluss Europas. Das deutsche Teilgebiet der Oberen Donau umfasst 7,3 % der Gesamtfläche. Es umfasst Teile des Schwarzwaldes, der Schwäbischen und Fränkischen Alb, den Oberpfälzer und den Bayerischen Wald sowie den bayerischen Alpenraum und das Alpenvorland. Der bedeutendste Zufluss der Oberen Donau ist der Inn bei Passau an der österreichischen Grenze. Das pluvio-nivale Abflussregime der deutschen Donau wird durch eine Überlagerung der Ganglinien der nördlichen Mittelgebirgszuflüsse mit winterlichen Hochwassermaxima und der südlichen alpinen Zuflüsse mit sommerlichen Hochwassermaxima geprägt (RZD 1986, RZD 2004).

<u>Abfluss</u>

Die Mittelwasserabflüsse im Einzugsgebiet der Donau haben sich in der Vergangenheit mit einer durchschnittlichen Zunahme um ca. 0,3 % pro Jahr deutlich verändert. Für verschiedene Donau-Pegel liegen die Veränderungen zwischen + 0,13 % pro Jahr (Berg) und + 0,31 % pro Jahr (Beuron) (Koehler et al. 2007). Auch der Pegel Hofkirchen weist für die Zeitreihe 1944 – 2003 für NM7Q und NM21Q einen positiven Trend auf (Belz et al. 2004) . Für den Pegel Kirchen-Hausen noch oberhalb der Iller-Mündung wird für die weitere Entwicklung mit einem Plus von 27 % eine deutliche Zunahme erwartet (AK KLIWA 2006).

Zur bisherigen Entwicklung des Hochwasserabflusses im Donaugebiet lässt sich aus den Ergebnissen statistischer Analysen kein Trend ableiten (AK KLIWA 2002, RZD

2004). Allerdings weisen die meisten Pegel bei der Betrachtung der jüngeren Vergangenheit eine Tendenz zu vermehrtem Auftreten von Hochwasserereignissen auf. In Bayern treten vereinzelt auch signifikant negative Veränderungen im letzten Jahrhundert auf (AK KLIWA 2002), während für den Pegel Donauwörth ab 1974 ein „deutlich höheres Niveau“ der monatlichen Abflusshöchstwerte festgestellt worden ist (Weber 2006). Für die zukünftige Entwicklung der Hochwasser weisen die Ergebnisse des AK KLIWA (2006) für den Pegel Kirchen-Hausen deutliche Tendenzen zu einer Erhöhung auf. Dies betrifft insbesondere das Winterhalbjahr und beschränkt sich auf Hochwasser kleiner bis mittlerer Jährlichkeit (vgl. Hennegriff et al 2006).

Für die bisherige Entwicklung des Niedrigwasserabflusses wurde zwar für viele bayerische Pegel eine ansteigende Tendenz festgestellt, hauptsächlich durch eine Zunahme im Winter (Willems 2006), allerdings sind die (positiven) Trendgeraden für die Donau nicht signifikant (RZD 2004). Bei den südlichen wie nördlichen Donauzuflüssen ist künftig mit teilweise deutlichem Abnahmen zu rechnen (Willems 2006). Für die südlichen Zuflüsse zeigen die Prognosen mit zunehmender Jährlichkeit eine Verschärfung der Niedrigwassersituation. Für die Donau selbst weisen die Ergebnisse bis zum Pegel Sigmaringen deutliche Abnahmen auf, unterhalb jedoch nur schwache Veränderungen. Für den Pegel Kirchen-Hausen ergeben die Szenariorechnungen für die mittleren monatlichen Niedrigwasserabflüsse im Jahresmittel eine deutliche Zunahme um ca. 22 % (AK KLIWA 2006). Für die Dauer von Niedrigwasserperioden wird nach Hennegriff et al. (2007) für die Donau bis Kirchen-Hausen eine mittlere, für die südlichen Donauzuflüsse ein starke Zunahme > 50 % erwartet.

Grundwasser

Für Oberschwaben und die Schwäbische Alb wird für die Dekaden 2021-30 und 2031-40 zunächst eine Zunahme, für die dritte untersuchte Dekade 2041-50 ein Rückgang der Grundwasserneubildung erwartet, mit – 10 % für Oberschwaben deutlicher als für die Schwäbische Alb (Neumann & Gudera 2006).

2.2.4 Einzugsgebiet der Weser

Durch den Zusammenfluss von Fulda und Werra entsteht bei Hannoversch-Münden die Weser. Mit einer Lauflänge von 432 km (mit der Werra: 725 km), entwässert die

Weser ein Einzugsgebiet von ca. 46000 km². Unterhalb von Verden steigt mit dem Zufluss der Aller die Abflussmenge sprunghaft an. Das Abflussverhalten der Weser weist sowohl Elemente eines Flachlandsflusses, als auch eines Mittelgebirgsflusses auf, mit Niedrigwasser im Sommer und schneller Bildung von Hochwasserspitzen im Winter (Krahe & Busskamp 2003, StAfUA OWL 2005).

Abfluss

Die Werra zeigt in den letzten 60 Jahren einen Trend zu erhöhter Hochwassergefahr im Winter, während das Hochwasserrisiko für den Sommer seit ca. 250 Jahren abnimmt (Mudelsee et al. 2006). Für die Sieber (Pegel Pionierbrücke, Harz) zeigt die bisherige Entwicklung im Winter zunehmende und im Sommer abnehmende Trends. In der Jahresabflusssumme ist der Trend zunehmend (Lange & Eggelsmann 2007).

Zur Analyse der zukünftigen Entwicklung untersuchte Brahmer (2006) drei Einzugsgebiete im Oberlauf der Weser: Für den Mittelwasserbereich ergibt sich im Jahresmittel für Eder und Diemel eine Abnahme der Durchflüsse im zweistelligen Bereich, während für die Fulda ein leichter Zuwachs erwartet wird. Für den mittleren Hochwasserbereich wird bei der Fulda ein deutlicher Zuwachs um bis zu 16 % erwartet, für Eder und Diemel eine geringfügige Abnahme. Der statistische Extremhochwasserabfluss nimmt für alle Teilgebiete zu, im Besonderen für die Fulda, für die sogar eine Zunahme um bis zu 39 % postuliert wird (Brahmer et al. 2005).

Bei Niedrigwasserverhältnissen wird für alle Teilgebiete eine Abnahme im zweistelligen Bereich erwartet, mit 53 % besonders gravierend für die Eder (Brahmer 2006).

Grundwasser

Für Hessen zeigen die Szenariorechnungen eine steigende Neubildung, für die Dekade 2021 - 2030 für den Nordosten Hessens, den Oberlauf der Weser, auch eine Abnahme (Berthold & Hergesell 2005). Nach Brahmer (2006) erscheint für Hessen durch die veränderte Niederschlagssituation zudem „das Auftreten von langen Perioden mit Trockenjahren und resultierenden niedrigen Grundwasserständen“ künftig unwahrscheinlicher. Zur Entwicklung der Grundwasserverhältnisse im Unterlauf der Weser liegen uns bisher keine Studien vor.

2.2.5 Einzugsgebiet der Ems

Die Ems ist ein Flachlandfluss mit Ursprung im Sandgebiet der Senne im Süden des Teutoburger Waldes. Mit einer Lauflänge von 370 km entwässert sie ein Gebiet von ca.15600 km². Bedeutende Nebenflüsse der Ems sind die Hase mit Mündung bei Meppen sowie der Tidefluss Leda mit Mündung bei Leer (Krahe & Busskamp 2003). Für die Kenngrößen NM7Q und NM21Q zeigt sich für die Zeitreihe 1944 – 2003 am Pegel Versen ein signifikant positiver Trend (Belz et al. 2004). Zur Entwicklung des Grundwassers im Einzugsgebiet der Ems liegen uns bisher keine Studien vor.

2.2.6 Einzugsgebiet der Oder

Die Oder ist mit einer Einzugsgebietsfläche von ca. 119000 km² und einer Länge von 850 km ein bedeutender Fluss Europas. Mit einer Fläche von ca. 5600 km² ist hier das deutsche Einzugsgebiet nur von untergeordneter Bedeutung. Dies spiegelt sich auch im Abflussverhalten wider, welches vor allem durch die hydrographischen und klimatischen Gegebenheiten auf tschechischer und polnischer Seite geprägt wird. Die Teileinzugsgebiete auf deutscher Seite haben kaum Einfluss auf das Abflussverhalten der Oder, insbesondere beim Hochwassergeschehen (Krahe & Busskamp 2003).

<u>Abfluss</u>

Für das Land Brandenburg, auf dessen Gebiet nahezu das gesamte deutsche Oder-Einzugsgebiet liegt, weisen die mittleren Jahresabflüsse einen Rückgang um 50 % auf. Für die Oder wird angegeben, dass durch den großen Anteil von Mittelgebirgsregionen am Einzugsgebiet, in denen die klimatischen Bedingungen stabiler sind, sowie durch die Größe des Einzugsgebietes, das Abflussverhalten stabil ist (LUA 2006).

Für die Gebiete nordöstlich der Elbe zeigt sich für Zeitreihen ab 1961 mit einer mittleren jährlichen Abnahme von 0,5 % pro Jahr für die Mittelwasser eine deutlich negative Tendenz. Für den Pegel Dresden zeigt sich allerdings mit + 0,18 % pro Jahr auch ein positiver Trend (Koehler et al. 2007). Auch für das im Westen angrenzende Gebiet der Spree (Elbe) haben Finke & Krause (2005) einen Rückgang bei der Niedrigwasserführung festgestellt.

Grundwasser

Für die bisherige Entwicklung der Sickerwassermenge in Brandenburg geben Gerstengarbe et al. (2003) auf 75 % der Gesamtfläche eine Abnahme an. Allerdings weisen nur 5 % der untersuchten Pegel statistisch signifikante Änderungen auf. Eine Untersuchung des Landesumweltamtes Brandenburg (LUA) (2006) zeigt „deutlich negative Trends in den Grundwasserständen“ für den ersten Grundwasserleiter (1970 - 99).

Für Brandenburg weisen Berechnungen zur zukünftigen Entwicklung der Sickerwassermenge erhebliche Abnahmen bis zu 50 % auf (Gerstengarbe et al. 2003). Für das Gebiet Märkisch-Oderland zeigen die Modellrechnungen mit einem Rückgang von 143 mm/a auf 19 mm/a ebenfalls erhebliche Einbussen bei der Sickerwassermenge (Eulenstein et al. 2003).

2.3 Sensitivität des Wasserhaushaltes – Modellsimulationen für Testgebiete

Die synoptische Auswertung von vorliegenden Studien und Daten zur Sensitivität des Wasserhaushaltes (Abschnitt 2.1) unterliegt erheblichen Einschränkungen, da sich die jeweiligen methodischen Ansätze erheblich unterscheiden. Dies betrifft sowohl die treibenden Klimadaten und –szenarien, als auch Untersuchungszeiträume und modelltechnische Ansätze. So können bereits unterschiedliche Annahmen bei der Niederschlagskorrektur zu Abweichungen von bis zu 18% in den Eingangsdaten führen (z.B. Richter 1995). Aufgrund der darüber hinaus extrem nichtlinearen Fortpflanzung des Niederschlagssignals innerhalb der Modelle ist zu erwarten, dass ein Vergleich vorliegender Studien unterschiedlicher Provenienz zu einer erheblichen Unsicherheit, wenn nicht sogar zu fehlerhaften Aussagen hinsichtlich der beobachteten und zu erwartenden Entwicklung führen könnte. Für drei mesoskalige Flusseinzugsgebiete in Deutschland (jeweils ca. 500 – 1000 km^2) werden daher unter Verwendung einer einheitlichen Datengrundlage und einer einheitlichen Vorgehensweise bei Parametrisierung, Kalibrierung und Validierung zusätzliche Wasserhaushaltssimulationen durchgeführt.

2.3.1 Repräsentativität und Übertragbarkeit

Es muss im Folgenden zwischen den Begriffen „Repräsentativität“ und „Übertragbarkeit“ unterschieden werden. Repräsentativität bedeutet, dass die Untersuchung eines Gegenstands, Einzugsgebiets oder Zusammenhangs Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit zulässt (Diekmann 2002). Übertragbarkeit bedeutet dagegen die Möglichkeit, Eigenschaften aus einem Gebiet in ein anderes zu übernehmen. Während also ersteres die Möglichkeit des Schlusses von einem kleinen Teil auf das Ganze beinhaltet, wird bei zweitem Wissen von einem Gebiet in ein hinreichend ähnliches übertragen, ohne die für das erste Gebiet notwendigen Untersuchungen wiederholen zu müssen.

2.3.2 Auswahl der Testgebiete

Um sowohl dem Kriterium der Repräsentativität als auch der Übertragbarkeit gerecht zu werden, wurden die Testgebiete nach verschiedenen Kriterien ausgewählt. Zunächst orientierte sich das Vorgehen an den naturräumlichen Einheiten „Tieflandsregion“, „Mittelgebirgsregion“ und „(vor-)alpines Gebiet“. Die Gliederung nach Naturräumen impliziert die Möglichkeit, die Auswirkungen des Klimawandels auf Gebiete mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen differenziert aufzeigen zu können. Zusätzlich sollten die Gebiete eine deutliche Ausprägung von Nutzungskonflikten aufweisen. Hierzu zählen unter anderem Niedrigwassersituationen in Zusammenhang mit der Trinkwassergewinnung einerseits und Land- und Forstwirtschaft andererseits, oder Hochwassersituationen mit Konfliktpotenzial hinsichtlich Wassernutzung und Infrastruktur. Die Testgebiete sollten sich einheitlich der Mesoskala (bis 1000 km²) zuordnen lassen sowie eine gute Datenlage (Klima, Landnutzung, Bodendaten, Abflüsse, etc.) aufweisen. Darüber hinaus war auch ein Kooperationsinteresse von relevanten Nutzergruppen/Stakeholdern erwünscht.

Unter Berücksichtigung dieser Kriterien ergaben sich für die drei naturräumlichen Einheiten jeweils mehrere potenzielle Testgebiete, die zur Diskussion standen:

- Tiefland: u.a. untere Weser, Ems, Havel, Warnow, Salza, Wipper
- Mittelgebirge: u.a. Bode, Kinzig, Nahe, Mulde, oberer Main, obere Spree, Wupper
- Alpen(vorland): u.a. Loisach, Ammer, obere Iller, Berchtesgadener Ache

Nach intensiver Prüfung durch die Arbeitsgruppe sowie mit Unterstützung der Stakeholder (Behörden, Verbände) vor Ort wurden die Einzugsgebiete von Wupper, oberer Iller und Salza als Testgebiete ausgewählt (Abbildung 16).

Abbildung 16: Lage der Testgebiete

Die **Wupper** entwässert mit einer Lauflänge von ca. 113 km ein Mittelgebirgs-Einzugsgebiet von 813 km². Ihr Quellgebiet liegt bei Börlinghausen im Oberbergischen Kreis. Sie verläuft in einem ausgedehnten nördlichen Bogen von Ost nach West und mündet bei Leverkusen in den Rhein. Zahlreiche Talsperren im Wuppergebiet überprägen das natürliche Abflussregime v.a. bei Hoch- und Niedrigwasser. Durch die hohe Siedlungsdichte (u.a. Wuppertal, Leverkusen, Solingen, Remscheid) und die Industrialisierung in den Talauen bestehen hier zahlreiche potenzielle Nutzungskonflikte. Dies betrifft u.a. den Hochwasserschutz, die Stadtentwässerung, die Trinkwasserversorgung über Talsperren sowie die Kühlwassernutzung bei Niedrigwasser. Insgesamt ist die Vulnerabilität des Wassersektors in der Region nach Zebisch et al. (2005) allerdings nur als „mäßig“ einzustufen.

Die **Iller** entsteht bei Oberstdorf im Allgäu durch den Zusammenfluss von Breitach, Trettach und Stillach. Mit einer Lauflänge von 147 km entwässert sie eine Fläche von

ca. 2150 km². Die Iller durchfließt das Allgäu und Oberschwaben. Südwestlich von Ulm mündet sie in die Donau. Als Alpen(vorlands)fluss weist die Iller eine hohe Abflussdynamik auf. Als WASKlim-Testgebiet wurde der Oberlauf der Iller bis zum Pegel Kempten ausgewählt (955 km²). Im Einzugsgebiet der oberen Iller besteht Konfliktpotenzial insbesondere durch den Flächenbedarf von Besiedlung, Gewerbe und Tourismus in Zusammenhang mit dem Hochwasserschutz, aber auch durch ein zukünftig potenziell höheres Eintrittsrisiko von alpinen Naturgefahren (Sturzflut, Murgang etc.). In Bezug auf die Vulnerabilität der Wasserwirtschaft ist das Einzugsgebiet der Iller nach Zebisch et al. (2005) als „hoch“ einzustufen.

Der Abfluss des Süßen Sees bildet bei Seeburg im Landkreis Mansfeld-Südharz die **Salza**. Ihr Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von ca. 621 km². Sie mündet in Salzmünde in die Saale, den zweitgrößten Elbezufluss. Das Einzugsgebiet der Salza zeichnet sich u.a. durch die Charakterisierung als Trockengebiet mit sommerlicher Waldbrandgefahr und intensiver landwirtschaftlicher Nutzung als ein Gebiet mit einem hohen Potenzial für Nutzungskonflikte aus. Die Vulnerabiltät des Wassersektors ist als hoch einzustufen.

In allen drei Testgebieten besteht Kooperationsinteresse von Nutzergruppen bzw. Stakeholdern: Im Gebiet der Salza durch den Landesbetrieb Hochwasser Sachsen-Anhalt (Herr Mathias Weiland), das Geologische Landesamt (Dr. Dieter Feldhaus) und die AG Klimawandel Sachsen-Anhalt (Prof. Dr. Christian Ehrlich), an der Wupper durch den Wupperverband (Herr Bernd Wille, Dr. Bernd Wiebusch) und an der Iller durch das Wasserwirtschaftsamt Kempten (Herr Helmut Weis) und den 1. Bürgermeister der Stadt Sonthofen (Herr Hubert Buhl).

2.3.3 Wasserhaushaltsmodell WaSiM-ETH

Um die Auswirkungen von klimatischen Veränderungen auf Wasserhalt und Abflussgeschehen abschätzen zu können, bedarf es des Einsatzes von flächendetaillierten numerischen Einzugsgebietsmodellen, die auf physikalischer Grundlage auch für größere Gebiete oder Regionen Aussagen zum bisherigen und zum zukünftigen hydrologischen Regime treffen können. Das im Rahmen von WASKlim verwendete Modellsystem WaSiM-ETH (Schulla und Jasper 1998, Schulla und Jasper 2007) erfüllt diese Voraussetzungen. WaSiM-ETH wurde in den letzten 10 Jahren bereits in zahlreichen vergleichbaren Projekten eingesetzt (u.a. KLIWA, KliWEP, EMTAL), verfügt über eine große

Anzahl an Referenzen (u.a. Schulla et al. 1999, Kleinn 2002, Pöhler 2006, Pöhler et al. 2007, Scherzer et al. 2006) und wird von einer umfangreichen Nutzer Community angewendet. WaSiM-ETH ist sowohl in deutscher als auch in englischer Sprache dokumentiert (Schulla und Jasper 1998, 2000, 2007) und wird kostenfrei zur Verfügung gestellt. (http://homepage.hispeed.ch/wasim/download.html).
Auf eine detaillierte Beschreibung der in WaSiM-ETH implementierten Teilmodelle wird in diesem Bericht verzichtet und auf die ausführlichen Darstellungen bei Schulla und Jasper (1998, 2000, 2007) verwiesen. Die zuletzt durchgeführten Erweiterungen sind darüber hinaus auch bei Scherzer et al. (2006) sowie bei Pöhler et al. (2007) eingehend beschrieben. Die Tabelle 35 im Anhang gibt eine Übersicht wesentlicher Modellkomponenten.

2.3.4 Datengrundlage

Grundlage für die Wasserhaushaltssimulationen der Testgebiete sind im Bereich Boden, Geländeoberfläche und Landnutzung frei verfügbare bzw. gegen eine Schutzgebühr zu erwerbende Daten (Nr. 1, 2 und 3 in Tabelle 3). Die Klimadaten für den Zeitraum 1961 – 2007 konnten durch Vermittlung des UBA beim Deutschen Wetterdienst (DWD) bzw. beim Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) kostenfrei beschafft werden (Nr. 4, 5 und 9 in Tabelle 3). Die Abflusspegeldaten wurden auf Anfrage überwiegend von den Behörden vor Ort bereitgestellt (Nr. 6, 7 und 8 in Tabelle 3).

Tabelle 3: Datengrundlage

lfd. Nr.	Daten-träger	Daten-bezeichnung	übergeben am	übergeben durch	Inhalt
1	CD	BÜK 1000	27.02.08	Geoshop Hannover	BÜK 1000
2	Server	SRTM 90m	5.03.08	http://srtm.csi.cgiar.org/	Digitales Geländemodell
3	CD	Corine Land Cover 2000	27.02.08	DLR	Bodenbedeckung von Deutschland
4	email	DWD - Daten	19.03.08	DWD	Klimadaten
5	Server	Klimaszenarien	28.02.08	http://cera-www.dkrz.de	Klimaszenariendaten WETTREG-UBA
6	email	Abflusspegel-daten Wupper	29.02.08	Wupperverband	Abflusspegeldaten
7	email	Abflusspegelda-ten Salza	27.08.08	LHW	Abflusspegeldaten
8	CD	Abflusspegelda-ten obere Iller	30.01.08	LfU Bayern	Abflusspegeldaten
	Server, externe Festplatte	Klimaszenarien	21.11.08	http://cera-www.dkrz.de	Klimaszenariendaten REMO

Erläuterung der Abkürzungen:

DLR: Deutschres Zentrum für Luft- und Raumfahrt; DWD: Deutscher Wetterdienst; LHW: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt; LfU: Bayerisches Landesamt für Umwelt.

2.3.5 Datenaufbereitung

2.3.5.1 Klimadaten

Auswahl der Klima- und Niederschlagsstationen, Zeitschritt

Für die drei Flusseinzugsgebiete wurden jeweils diejenigen Klima- und Niederschlagsstationen des DWD ausgewählt, die zum einen innerhalb oder in der näheren Umgebung der Einzugsgebiete liegen und die zum anderen auch in die WETTREG-Klimaszenarien (Spekat et al. 2007) integriert wurden. Hierbei handelt es sich laut CEC Potsdam (persönliche Mitteilung Herr Frank Kreienkamp, CEC vom 08.04.2008) um diejenigen Stationen, die im Zeitraum 1971-2000 keine größeren Lücken aufweisen. Die Überprüfung im Rahmen des Preprocessings zeigte allerdings, dass die WETTREG-Szenariendaten im Widerspruch dazu nicht für alle in den Stationslisten angegebenen Stationen auch tatsächlich Daten enthalten.

Alle numerischen Modellsimulationen erfolgten auf Tagesschrittweite bei Ein- und Ausgabe.

DWD-Daten (1961 – 2007)

Die durch den DWD übermittelten meteorologischen Daten der Klima- und Niederschlagsstationen wurden zunächst auf Vollständigkeit und Plausibilität überprüft. Aus methodischen Gründen wurde auf einen Lückenersatz (z.B. Scherzer et al. 2004) verzichtet. Die Niederschlagsdaten wurden nach Richter (1995) korrigiert.

WETTREG-Daten

Die ECHAM5/WETTREG-Szenariendaten wurden für den Kontrollzeitraum 1971 – 2000 sowie den Projektionszeitraum 2001 – 2100 von der CERA Klimadatenbank heruntergeladen, zu kontinuierlichen Zeitreihen zusammengefügt und in das WaSiM-ETH-Datenformat überführt. Für die Wasserhaushaltsbetrachtungen wurden jeweils die Realisationen „trocken“ und „feucht“ der Szenarien A1B, B2 und A1 verwendet. Diese entsprechen im Wesentlichen einem feuchten und einem trockenen Niederschlagsszenario.

REMO-Daten

Für die Anwendung in den Testgebieten wurde zunächst das entsprechende Untersuchungsgebiet mit dem Climate Data Operator (CDO) anhand seiner Koordinaten aus dem jeweiligen REMO-Datenfile (Niederschlag, Temperatur, etc) ausgeschnitten. Da die REMOdaten als Dateien im IEG-Format vorliegen, welches als IEEE-Binärformat abgespeichert ist, wurden sie anschließend mit dem CDO in ein ASCII-Format exportiert. Aus der ASCII-Datei wurden die Daten wiederum in das WaSiM-ETH-Datenformat überführt und jeweils den entsprechenden Koordinatenpunkten zugeordnet.

2.3.5.2 Digitales Geländemodell

Als digitales Höhenmodell wurde das frei verfügbare SRTM-3 Oberflächenmodell mit einer Auflösung von 3 Bogensekunden (ca. 90m) (z.B. Czegka et al. 2005) benutzt. Die SRTM Daten bilden gemäß ihrer Definition die Höhen der einzelnen Landschaftselemente wie z.B. Vegetation, Bebauung ab und werden als DHM (Digitales Höhenmo-

dell) bezeichnet. Bei der in WASKlim modellintern verwendeten Auflösung von 500 m · 500 m ist die Genauigkeit der SRTM-Daten ausreichend zur Verwendung als DGM (digitales Geländemodell). Karten der Höhenverteilung in den drei Testgebieten befinden sich im Anhang des Berichtes (Abbildung 87 bis Abbildung 89).

2.3.5.3 Landnutzung

Datengrundlage für die Landnutzungsparameter waren die CORINE Land Cover 2000 - Vektordatensätze des DLR (Keil et al. 2005) für Bayern, Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt. Die Kartierung der Bodenbedeckung und der Landnutzung erfolgte hier europaweit auf der Basis von Satellitendaten im Maßstab 1:100.000. Es wurden 44 Landnutzungsklassen definiert, von denen 37 Klassen in Deutschland relevant sind. Die Daten liegen in den Gauss-Krüger-Projektionen GK3 und GK4 vor. Aus den Vektordatensätzen wurden entsprechend der Ausdehnung der drei Testgebiete Kartenausschnitte erstellt (Abbildung 90 bis Abbildung 92 im Anhang).

2.3.5.4 Böden

Die Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:1000000 („BÜK 1000“) stellt bundesweit die Verbreitung der Böden und deren Vergesellschaftung in einheitlicher Form auf dem Aggregierungsniveau der Leitbodenassoziation (LBA) dar. Für die 72 in den Testgebieten relevanten bodenkundlichen Leitbodenassoziationen wurde zunächst auf Grundlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005) die Bodenart abgeleitet. Mit der abgeleiteten Bodenart und der Angabe zum Skelettgehalt wurden anschließend die für Wasim-ETH Topmodel benötigten bodenhydraulischen Parameter bestimmt (Abbildung 93 bis Abbildung 95 im Anhang).

2.3.6 Kalibrierung / Validierung

Insbesondere in den Einzugsgebieten von Wupper (Talsperren) und Salza (Bergbau) ist der Wasserhaushalt stark wasserwirtschaftlich überprägt. Für die Prognosezeiträume liegen allerdings in der Regel weder Daten zur Steuerung von Talsperren, noch zu relevanten Wasseraus-, -über- und -einleitungen vor. Wasserwirtschaftliche Zukunftssimulationen unter Einschluss von Klimaprojektionen sind somit nicht ohne weiteres

realisierbar. Für die drei Testgebiete wurde daher jeweils der potenziell-natürliche Wasserhaushalt berechnet und projiziert. Die Modellkalibrierung erfolgte an den Ganglinien von einem oder mehreren Durchflusspegeln, deren Einzugsgebiet keine markante wasserwirtschaftliche Überprägung aufweist, sowie für das Gesamtgebiet (Bilanz).

Kalibrierpegel für das Wuppergebiet waren Müllensiepen (Bever) (4,72 km²) und Neumühle (große Dhünn) (20,6 km²). Für den Gebietsauslass, welcher sich aus den Pegeln Leverkusen-Opladen (Wupper), Manfort (Dhünn) und den Ausleitungen des Klärwerks Leverkusen in den Rhein zusammensetzt, wurde zusätzlich auch ein Abgleich der Gesamtbilanz (simuliert/gemessen) durchgeführt. Als Kalibrierungszeitraum wurde 1977 bis 1985 gewählt. Die Modellvalidierung erfolgte zunächst für den Zeitraum 1990-2000. Anschließend wurde ein Abgleich der Abflussspende für den gesamten Auswertezeitraum 1971-2000 vorgenommen. Als Ergebnis der Modellkalibrierung konnte sowohl die Dynamik des Basisabflusses (R^2 (log) = 0,84) als die Hochwasserdynamik (R^2 (lin) = 0,82) sehr gut abgebildet werden (Tabelle 4, Abbildung 17). Für den Validierungszeitraum beträgt die Modellierungsgüte R^2 (lin) = 0,78 bzw. R^2 (log) = 0,82.

Für die Gesamtbilanz des Wuppergebietes standen für das Klärwerk Leverkusen nur Jahressummen ab 1977 zu Verfügung. Am Gebietsauslass ergibt sich für den Zeitraum 1977 bis 1985 eine Abflussspende von 758 mm/a, für den simulierten Zeitraum 753 mm/a (Tabelle 5). Im Validierungszeitraum 1990 – 2000 wurden 759 mm/a gemessen gegenüber 732 mm/a simuliert. Für den Gesamtzeitraum 1977 bis 2007 wurden 754 mm/a gemessen und 752 mm/a Abflussspende simuliert.

Tabelle 4: Kalibrierung und Validierung Wupper, Gütemaße R², log R², EV und log EV am Beispiel des Pegels Neumühle (große Dhünn).

Zeitraum	R²	Log R²	EV	Log EV
Kalibrierung				
1971 - 1985	0,82	0,84	0,82	0,85
Validierung				
1991 - 2000	0,78	0,82	0,78	0,83

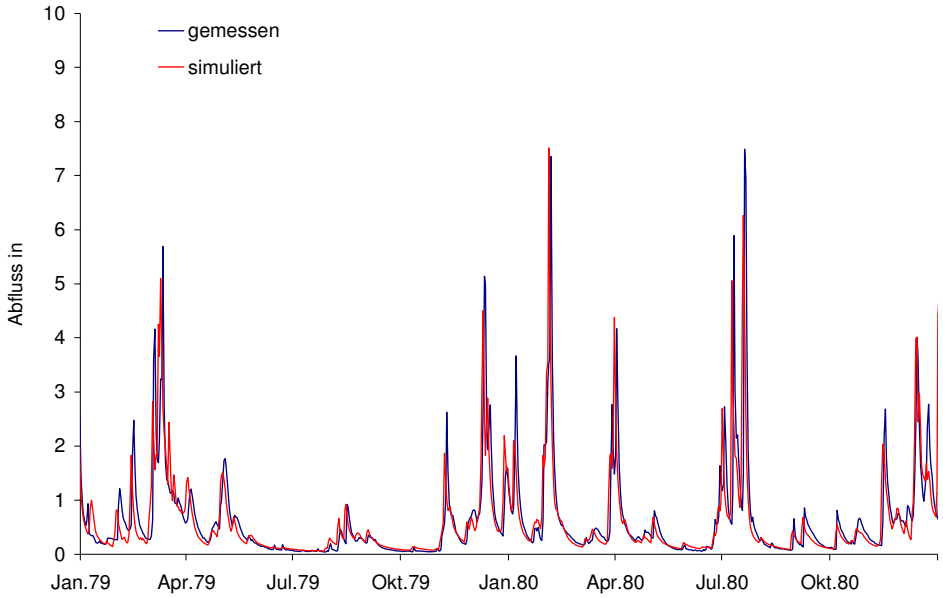


Abbildung 17: Kalibrierung Wupper (Pegel Neumühle, Große Dhünn), gemessener und simulierter Abfluss.

Tabelle 5: Gesamtbilanz Wuppergebiet: Abflussspende gemessen und simuliert

Zeitraum	Abflussspende Wupper gemessen [mm/a]	Ablussspende Wupper simuliert [mm/a]
Kalibrierung 1977 – 1985	758	753
Validierung 1991- 2000	759	732
Gesamtzeitraum 1971 – 2007	754	752

Die Kalibrierung des Abflussregimes der Iller erfolgte für den Gebietsauslasspegel Kempten (R^2 (lin) = 0,68 bzw. R^2 (log) = 0,75, Abbildung 18, Tabelle 6). Im Validierungszeitraum beträgt die Modellierungsgüte R^2 (lin) = 0,75 bzw. R^2 (log) = 0,78. Für kleinere Teilgebiete (z.B. Pegel Breitachklamm) konnten aufgrund der stark ausgeprägten Orografie, der inhomogenen Niederschlagsverteilung und Unsicherheiten beim Schneeniederschlag (vgl. z.B. auch WMO 1994) insbesondere bei den frühjährlichen Schmelzwasserabflüssen keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt werden. Selbst eine plausible Niederschlagssumme für das Gesamtgebiet konnte nur durch eine zusätzliche Schneekorrektur von + 25 % und die verstärkte Berücksichtigung einer Hö-

henregressionskomponente bei der Niederschlagsinterpolation erzielt werden. Ohne Schneekorrektur und Höhenregression lag der interpolierte Gebietsniederschlag zunächst bei lediglich 1374 mm/a gegenüber einem Wert von > 1800 mm/a (BMU 2003). Die Gesamtbilanz der Abflussspende der Iller am Pegel Kempten ist in Tabelle 7 dargestellt. Im Kalibrierungszeitraum beträgt die Abflussspende der gemessenen Abflüsse 1556 mm/a. Die simulierte Abflussspende beträgt 1607 mm/a (Tabelle 7).

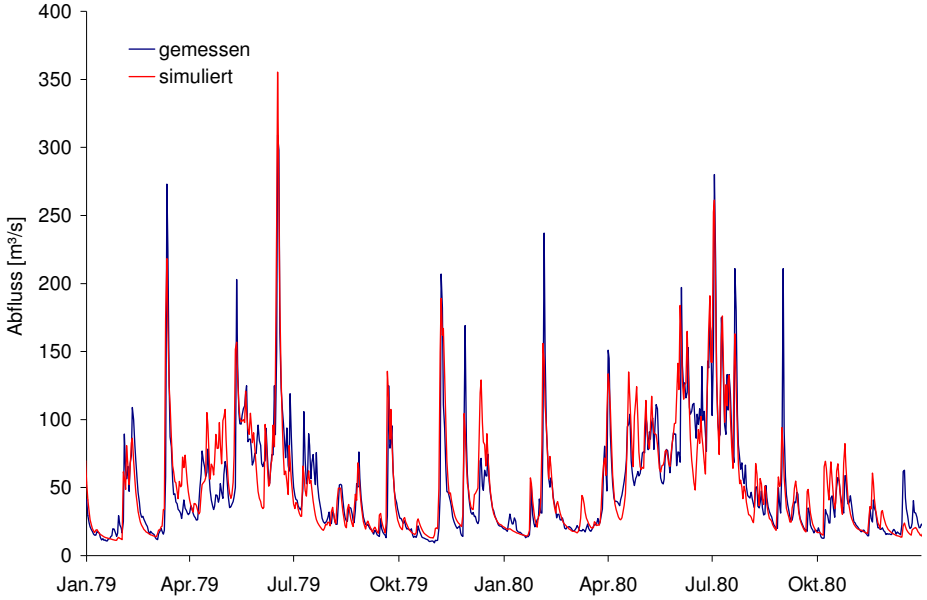


Abbildung 18:Kalibrierung Iller (Pegel Kempten), gemessener und simulierter Abfluss.

Tabelle 6: Kalibrierung und Validierung obere Iller Pegel Kempten, Gütemaße R^2, log R^2, EV und log EV.

Zeitraum	R^2	Log R^2	EV	Log EV
Kalibrierung				
1977- 1985	0,68	0,75	0,68	0,76
Validierung				
1991- 2000	0,75	0,78	0,75	0,78

Tabelle 7: Gesamtbilanz Illergebiet: Abflussspende gemessen und simuliert

Zeitraum	Abflussspende Iller gemessen [mm/a]	Ablussspende Iller simuliert [mm/a]
Kalibrierung 1977 – 1985	1556	1607
Validierung 1991- 2000	1567	1660
Gesamtzeitraum 1971 – 2000	1550	1635

Die Kalibrierung des Wasserhaushaltsmodells für die Salza erfolgte auf Basis des Pegels Stedten (Teilgebiet Weida/Querne), da dieser Bereich vergleichsweise geringe wasserwirtschaftliche Überprägungen aufweist. Die Messdaten dieses Pegels erwiesen sich allerdings als nicht vollständig plausibel: Der zeitweise treppenförmige Verlauf der Ganglinie weist auf Messfehler, die z.B. durch Verkrautung oder Verschlämmung bedingt sein könnten (Abbildung 19). Eine eine Berechnung der Modellierungsgüte für Gesamtzeitraum war hier somit nicht nicht möglich. Ab 1990 weist der Pegel eine deutlich bessere Abbildung der Abflüsse auf: Sowohl die Trockenwetterabflüsse 1991-1992 (Abbildung 20) und 2003 als auch das Hochwasser 2002 konnten gut erfasst werden.

Die Bilanz für das Gesamtgebiet (Pegel Zappendorf / Salza) ist insgesamt nahezu ausgeglichen (Tabelle 8): Während im Kalibrierzeitraum eine Abflussunterschätzung um 19% auftritt und im Validierzeitraum eine Abflussüberschätzung um 23 %, beträgt die Differenz im Gesamtzeitraum 1971 - 2000 lediglich 5 % (gemessene Abflussspende: 55,7 mm/a, simulierte Abflussspende: 58,5 mm/a).

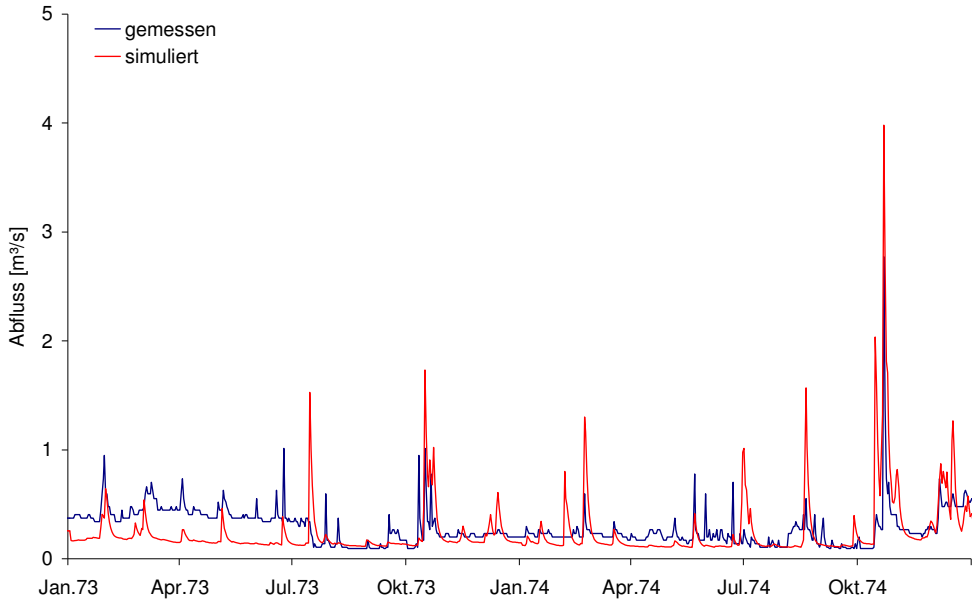


Abbildung 19: Kalibrierung Salza (Pegel Stedten), gemessener und simulierter Abfluss.

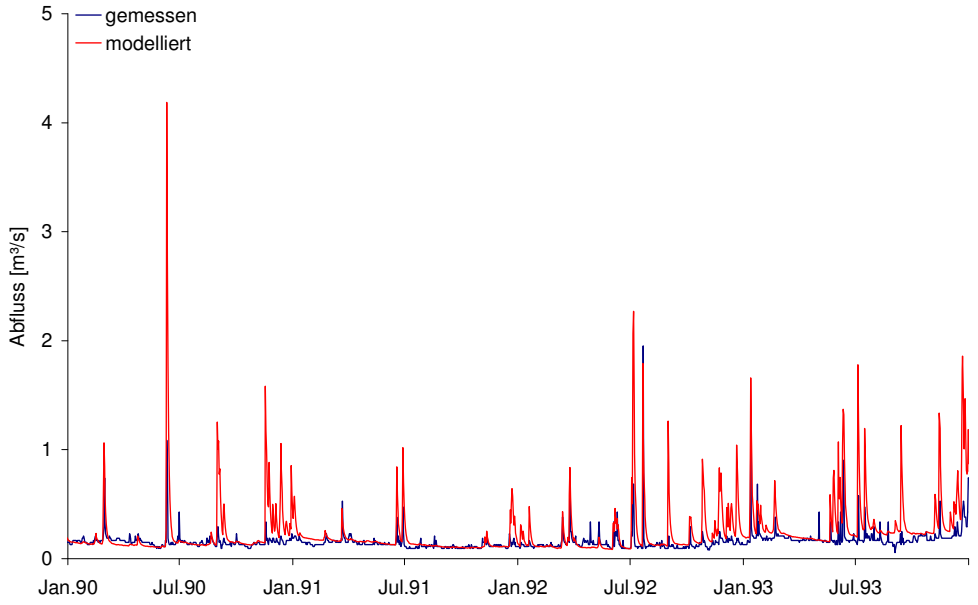


Abbildung 20: Kalibrierung Salza (Pegel Stedten), gemessener und simulierter Abfluss.

Tabelle 8: Gesamtbilanz Salzagebiet: Abflussspende gemessen und simuliert

Zeitraum	Abflussspende Salza gemessen [mm/a]	Abflussspende Salza simuliert [mm/a]
Kalibrierung 1977 – 1985	53,5	43,1
Validierung 1991- 2000[1)]	57,4	70,7
Gesamtzeitraum 1971 – 2000[2)]	55,7	58,5

1) Keine Messwerte von 17.4.1990-31.12.1993
2) Keine Messwerte in den Zeiträumen 25.7.1972-2.10.1972, 1.3.1973-30.4.1973, 17.4.1990-31.12.1993

2.3.7 Szenarioplausibilität

Zur Bewertung der Plausibilität der einzelnen WETTREG- und REMO-Szenarien bzw. -Realisationen ist es zunächst erforderlich, die relevanten Zielgrößen des Messzustandes („MESS“) (z.B. Messwerte von Temperatur, Niederschlag und Abflüssen) mit den entsprechenden Werten der so genannten Kontrollläufe der Klimaszenarien (WETTREG: „W_IST“, REMO: „R_IST“) zu vergleichen. Je kleiner der Unterschied zwischen dem MESS- und IST-Zustand ausfällt, desto eher ist die Plausibilität in Hinblick auf die Betrachtung der Zukunftsklimate gegeben (z.B. Enke 2007). Als Vergleichszeitraum zwischen MESS und IST wurde die Periode 1971 – 2000 gewählt. Zur Prüfung der Signifikanz der Unterschiede wurde ein T-Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von α=0,05 durchgeführt.

Hinsichtlich des Niederschlags ist bei WETTREG die Szenarioplausibilität sowohl auf Monats- als auch auf Jahresskala für alle drei Testgebiete ohne Einschränkung gewährleistet. Der Jahresniederschlag im Wuppergebiet weist z.B. lediglich eine Abweichung von 0,5 % zwischen MESS und IST auf, einzelne Monatsummen variieren um bis zu + 10 bzw. – 7 % (Abbildung 21). Im Gegensatz dazu liefert der Kontrolllauf von REMO in allen drei Gebieten signifikante Abweichungen des Niederschlags. Im Wuppergebiet betragen die Differenzen bis zu 47 mm im August (47 % Abweichung von MESS) und sind auch im Gesamtjahr erheblich (Abbildung 21). Im Illergebiet konzentrieren sich die signifikanten Unterschiede zwischen MESS und R_IST im Winter, während die Ergebnisse im Sommerhalbjahr plausibel sind. Die beste Übereinstimmung

hinsichtlich REMO-Daten besteht im Salzagebiet mit nur einer signifikanten Abweichung im Mai.

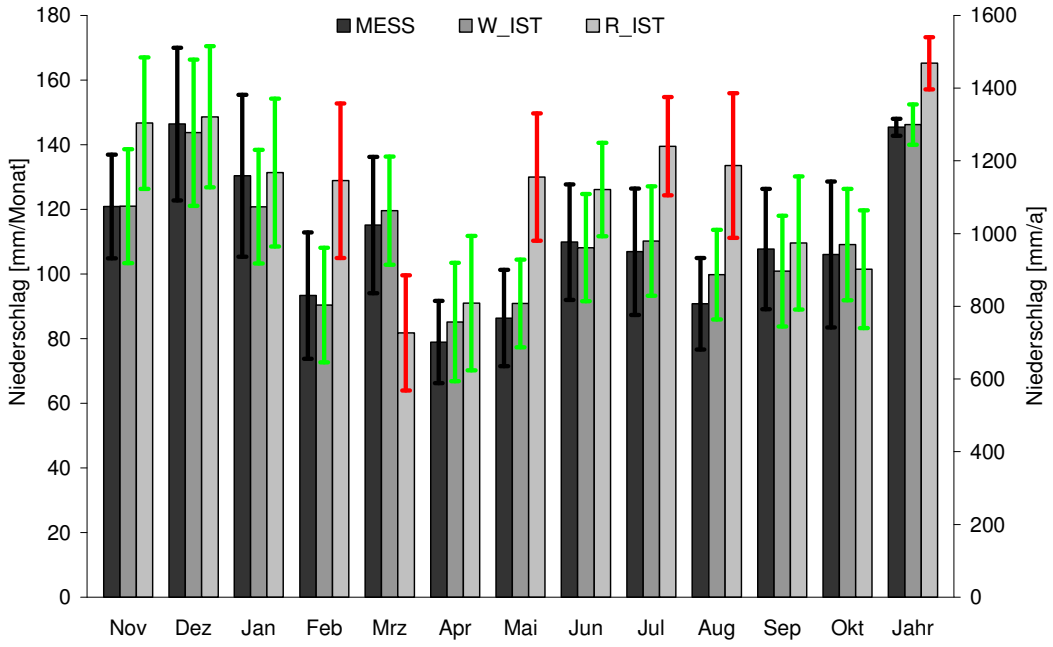


Abbildung 21: Szenarioplausibilität: Mittlere Monats- und. Jahresniederschläge im Wuppergebiet (Absolutwerte). Fehlerbalken: Konfidenzintervall, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Messwerten (MESS) und dem Kontrolllauf (W_IST, R_IST).

Eine analoge Aussage gilt für die Lufttemperatur: Bei WETTREG treten in den Testgebieten keinerlei signifikante Unterschiede zwischen MESS und IST auf. Dies betrifft sowohl die Monatsmittel als auch den Jahresmittelwert. Bei REMO unterscheiden sich im Wuppergebiet die Temperatursummen in Januar, April und August signifikant, im Salzagebiet im Januar und April. Die größten Abweichungen bestehen im Illergebiet: Hier beträgt die Unterschätzung der Temperatur im Mittel 1,4 °C. In lediglich vier Monaten (Oktober, November, Dezember, April) ist der Unterschied nicht signifikant.

Bei der WETTREG-IST-Verdunstung zeigen sich in Einzelfällen signifikante Abweichungen zwischen MESS und IST: Betroffen sind im Wuppergebiet die Monate November, Dezember, März und August sowie das Gesamtjahr mit signifikant höheren Evapotranspirationswerten bei IST gegenüber MESS. An der Salza zeigt lediglich der Monat Juli eine signifikant niedrigere Verdunstung bei WETTREG_IST. Die Aussage-

kraft der Szenariensimulationen hinsichtlich der Verdunstung ist somit v.a. an der Wupper teilweise eingeschränkt. Lediglich für das Gebiet der Oberen Iller ist die WETTREG-Szenarioplausibilität hinsichtlich der Verdunstung ohne Einschränkung gegeben (Wupper: Abbildung 22, Salza und Iller: nicht grafisch dargestellt). REMO-IST zeigt im Wuppergebiet in fast allen Monaten signifikante Abweichungen der Verdunstung von MESS. An der oberen Iller treten mit REMO maximale Abweichungen von 80 % des mit MESS ermittelten Wertes im November bzw. eine Abweichung von 21 mm im Oktober auf. Die geringsten Unterschiede treten im Salzagebiet auf, doch ist auch hier mit zwei signifikanten Abweichungen im November und Januar die Szenarioplausibilität nicht vollständig gewährleistet.

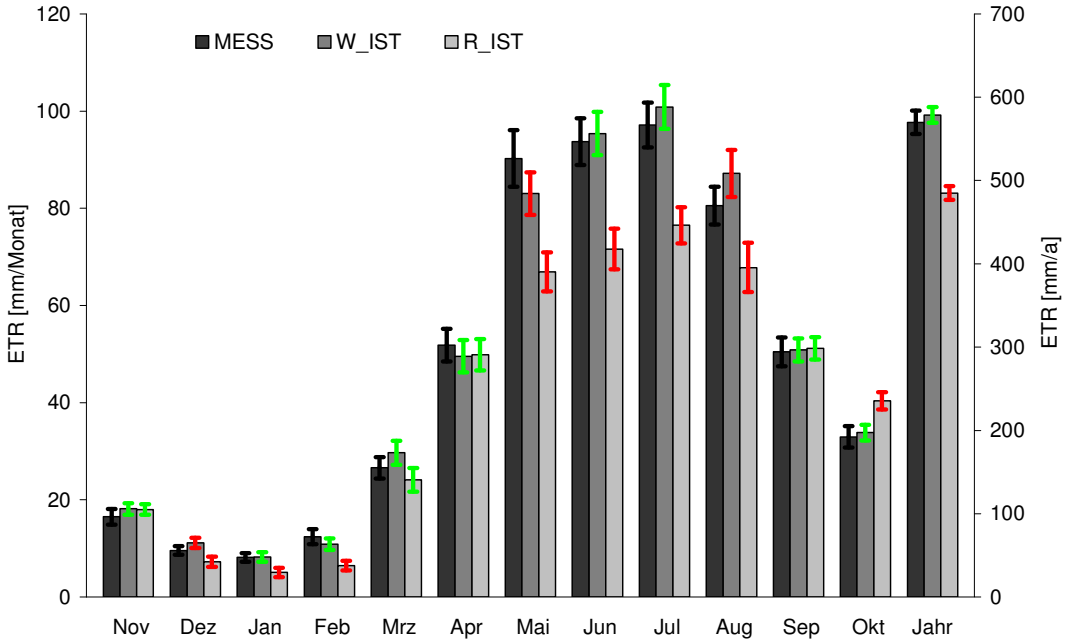


Abbildung 22: Szenarioplausibilität: Mittlere Monats- und. Jahressummen der Verdunstung im Wuppergebiet (Absolutwerte). Fehlerbalken: Konfidenzintervall, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Messwerten (MESS) und dem Kontrolllauf (W_IST, R_IST).

Die Szenarioplausibilität der simulierten Grundwasserneubildung ist bei WETTREG weitestgehend gewährleistet: Im Wuppergebiet treten keinerlei signifikante Abweichungen zwischen MESS und IST auf (Abbildung 23). Bei Anwendung des REMO-Kontrolllaufs kommt es hingegen zu teilweise erheblichen signifikanten Abweichungen insbesondere im Sommerhalbjahr. An der Iller (nicht dargestellt) fällt bei WETTREG

lediglich ein Monat unplausibel aus, während sich in REMO die Grundwasserneubildungsraten in 9 Monaten signifikant von MESS unterscheiden. Die geringsten Abweichungen zeigt das Salzagebiet (nicht dargestellt): WETTREG liefert durchgehend, REMO in allen Monaten außer Februar und Mai plausible Ergebnisse. Insbesondere die Monatswerte im Gebiet der Salza unterliegen aufgrund der trockenen klimatischen Verhältnisse hohen relativen Schwankungen.

Die Szenarioplausibilität der simulierten Abflüsse lässt sich für die Kalibrierpegel überprüfen: Im Wuppergebiet (Beispiel: Pegel Neumühle) ist bei Anwendung der WETTREG-Kontrollläufe die Plausibilität für die mittleren Abflüsse uneingeschränkt vorhanden, während R_IST signifikante Abweichungen vor allem in den Sommermonaten zeigt, die im Extremfall bis zu 172 % (August) des Messwertes betragen (Abbildung 24). An der Iller (Kempten) treten in den Monaten November, Januar, März, Mai und August signifikante Unterschiede zwischen MESS- und WETTREG-IST-Szenario auf. Unter Nutzung des REMO-Kontrolllaufs ergeben sich für die simulierten Abflüsse bis auf die Monate Oktober und November immer signifikante Abweichungen (Abbildung 25). Die Szenarioplausibilität ist mit REMO somit auch hier nicht gewährleistet. Für das Einzugsgebiet der Salza liefert REMO weitestgehend plausible Ergebnisse: Lediglich im Februar gibt es eine signifikante Abweichung zwischen R_IST und MESS, während für W_IST die Szenarioplausibilität uneingeschränkt gegeben ist. Allerdings überschätzen sowohl R_IST als auch W_IST systematisch den Abfluss.

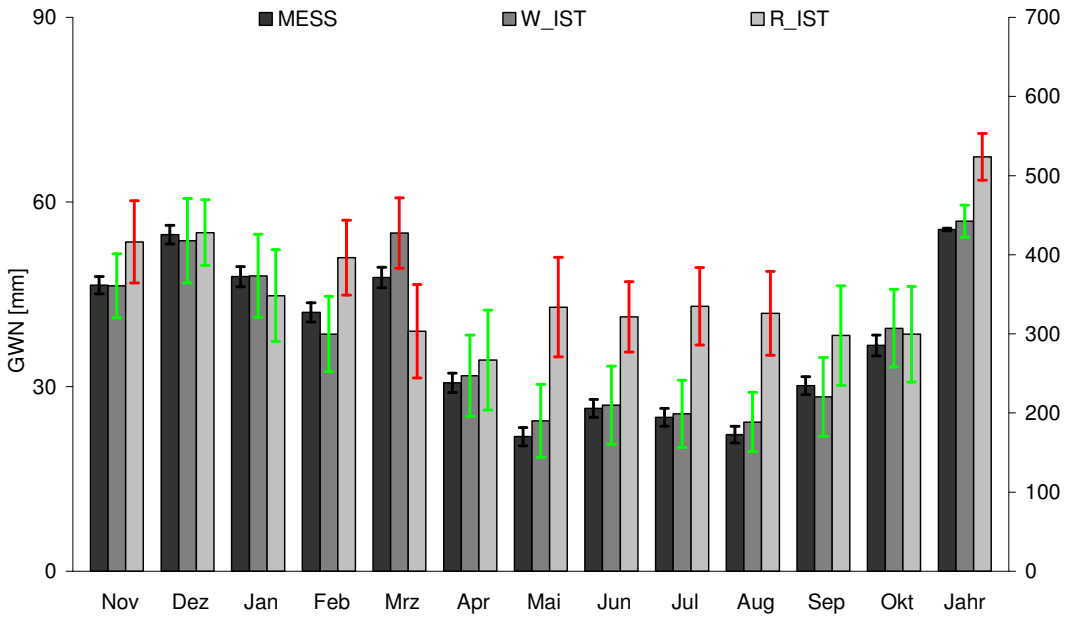


Abbildung 23: Szenarioplausibilität: Mittlere Monats- und. Jahressummen der Grundwasserneubildung am Pegel Neumühle (große Dhünn/Wupper) (Absolutwerte). Fehlerbalken: Konfidenzintervall, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Messwerten (MESS) und dem Kontrolllauf (W_IST).

Hinsichtlich der Extremwerte und der Dauer der Niedrigwasserunterschreitung muss die Szenarioplausibilität für die Testgebiete differenziert beurteilt werden: Der Höchstabfluss (HHQ) mit WETTREG-IST und REMO-IST liegt an der Wupper (Pegel Neumühle) mit 11,5 m³/s bzw. 10,1 m³/s im Vergleich mit dem HHQ MESS von 8,6 m³/s um etwa 30 % höher. Beim Niedrigstwasserabfluss (NNQ) hingegen liefern sowohl WETTREG (0,037 m³/s) als auch REMO (0,039 m³/s) mit dem NNQ MESS (0,040 m³/s) praktisch identische Werte. Im Gebiet der oberen Iller wird der HHQ mit WETTREG und REMO gegenüber MESS (526 m³/s) um 16 % bzw. 8 % unterschätzt, die Unterschiede zwischen NNQ-IST (W: 6,8 m³/s, R: 8,4 m³/s) und NNQ-MESS (7,4 m³/s) liegen in derselben Größenordnung. An der Salza schließlich stimmt lediglich der NNQ WETTREG exakt mit MESS (beide 0,087 m³/s) überein. Der NNQ REMO (0,142 m³/s) unterscheidet ist um 63 % von Mess, bei HQ liegen die Unterschiede zu MESS (8,5 m³/s) bei 14 % (W_IST: 7,3 m³/s) bzw. 19 % (W_IST: 10,1 m³/s). Die Szenarioplausibilität hinsichtlich der Extremwerte ist somit insbesondere bei REMO erheblich eingeschränkt.

Bei der mittleren Unterschreitungs*dauer* des MNQ besteht für die Wupper mit 11,6 Tagen im MESS-Zustand und 12 Tagen beim WETTREG-IST-Zustand eine sehr gute Übereinstimmung, während die Dauer bei REMO mit 8 Tagen deutlich unterschätzt wird (Tabelle 9). In beiden Projektionen wird die *Anzahl* der Tage mit einer Unterschreitung von MNQ unter- und die maximale Unterschreitungsdauer überschätzt. An der Iller wird sowohl die Anzahl der Tage mit MNQ-Unterschreitung als auch die mittlere und die maximale Unterschreitungsdauer durch WETTREG-IST und REMO-IST gegenüber MESS z.T. deutlich überschätzt. An der Salza wird die mittlere Unterschreitungsdauer des MNQ mit WETTREG sehr gut, mit REMO gut wiedergegeben. Beide Projektionen weichen jedoch hinsichtlich der Anzahl der Unterschreitungstage und der maximalen Unterschreitungsdauer erheblich von MESS ab (Tabelle 9). Insgesamt ist die Szenarioplausibilität ist hier also eher gewährleistet als bei Betrachtung der Einzelwerte HHQ und NNQ. Eine weitergehende Interpretation sollte dennoch mit Zurückhaltung erfolgen.

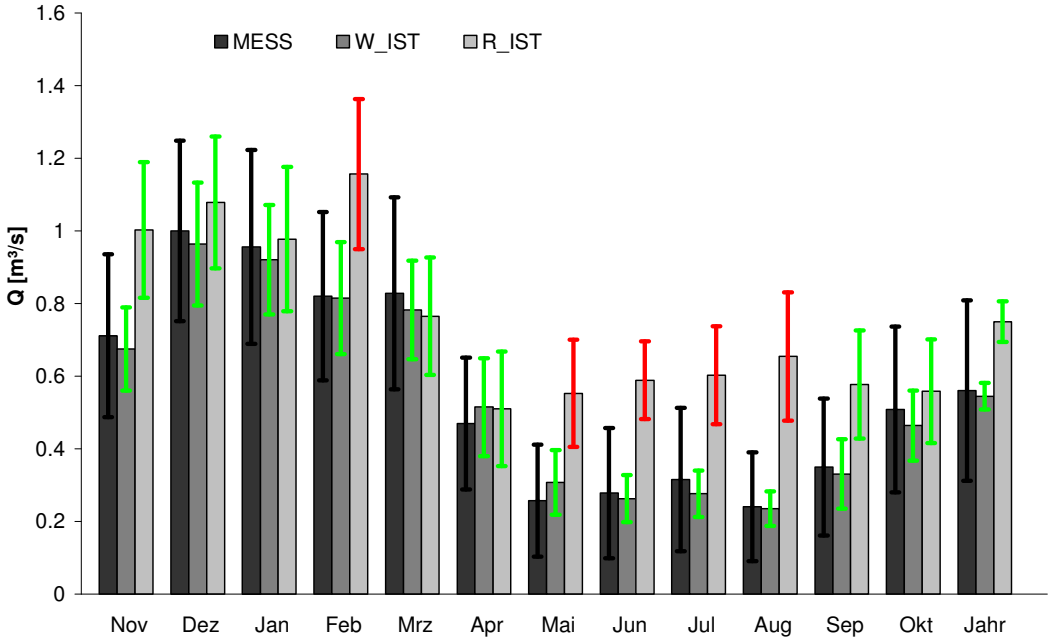


Abbildung 24: Szenarioplausibilität: Monats- und. Jahresmittel des Abflusses am Pegel Neumühle (Absolutwerte). Fehlerbalken: Konfidenzintervall, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Messwerten (MESS) und dem Kontrolllauf (W_IST).

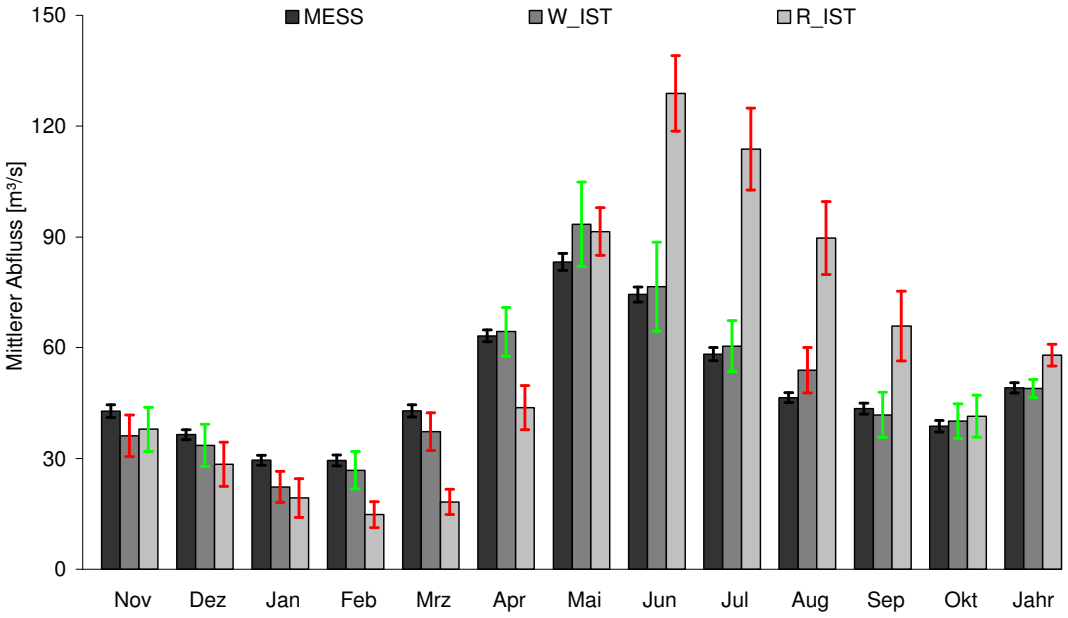


Abbildung 25: Szenarioplausibilität: Monats- und. Jahresmittel des Abflusses Iller Pegel Kempten (Absolutwerte). Fehlerbalken: Konfidenzintervall, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Messwerten (MESS) und dem Kontrolllauf (W_IST).

Tabelle 9: Szenarioplausibilität Unterschreitung MNQ: Anzahl der Tage sowie mittlere und maximale Unterschreitungsdauer bei MESS und WETTREG-IST

	Anzahl der Tage mit Unterschreitung von MNQ (Tage / Jahr)	Mittlere Unterschreitungsdauer von MNQ (Tage)	Maximale Unterschreitungsdauer von MNQ (Tage)
Wupper			
MESS	12	12	34
W_IST [1])	10	12	54
R_IST	10	8	42
Iller			
MESS	7	11	26
W_IST [1])	15	12	44
R_IST	15	16	74
Salza			
MESS	114	19	125
W_IST [1])	76	19	140
R_IST	41	16	76

[1]) Mittelwert der Kontrollläufe

2.3.8 Szenariovergleich

Die Auswertung der Szenariensimulationen wird sowohl für die Klimanormalperiode 2021 bis 2050 („Nahe Zukunft“, „Z1“) als auch für die Periode 2071 bis 2100 („Ferne Zukunft“, „Z2“) durchgeführt. Zur Prüfung der Signifikanz der Unterschiede wurde wie bei der Szenarioplausibilität ein T-Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von α=0,05 durchgeführt. Die Farbcodierung der Fehlerbalken für die Projektionszeiträume zeigt an, ob signifikante Abweichungen (= rot) vorliegen. Die Ausdehnung der Fehlerbalken der Graphiken im Abschnitt Szenariovergleich stellt die Standardabweichung der Einzelwerte dar.

2.3.8.1 Niederschlag

Die Niederschlagssumme im Gebiet der Oberen Iller ist mit rund 2200 mm/a viermal so hoch wie im Bereich der Salza mit 570 mm/a (Wupper: ca. 1300 mm/a). Für das Wuppergebiet lassen die WETTREG-Simulationen bis zum Jahr 2100 im Mittel eine kontinuierliche Zunahme des Niederschlags um ca. 60 mm/a erwarten. Bei den REMO-Simulationen nimmt der Niederschlag in naher Zukunft zunächst signifikant um ca. 114 mm/a zu. Für die ferne Zukunft beträgt die Niederschlagszunahme gegenüber IST, ähnlich wie bei WETTREG, ca. 66 mm/a. Für die Salza zeichnet sich bei WETTREG ein annähernd gleichbleibender bis leicht zurückgehender Niederschlag ab, während er bei REMO signifikant um etwa 10 % zunimmt. Für das Gebiet der Iller ist nach WETTREG ein signifikanter Rückgang des Jahresniederschlags um ca. 200 mm/a in Z2 zu erwarten, während die Niederschläge in den REMO-Projektionen zunächst leicht zu- und in ferner Zukunft gegenüber IST leicht abnehmen (Abbildung 26).

Für alle drei Testgebiete übereinstimmend sagen die WETTREG-Projektionen eine deutliche Abnahme der Niederschläge im Sommerhalbjahr und (außer an der Iller) eine Zunahme der Winterniederschläge voraus. Im Wuppergebiet ist die Veränderung des monatlichen Niederschlagsregimes in 7 Monaten (Rückgang im Juni, Oktober und Dezember, Zunahme von Februar bis Mai) signifikant, an der Salza in 2 Monaten (Abnahme im November, Zunahme im Januar). An der Oberen Iller fällt die Niederschlagsabnahme insbesondere in den Monaten Juni, Juli, August und November ins Gewicht.

Die REMO-Projektionen sagen übereinstimmend mit WETTREG im Winter für alle Gebiete zunehmende Niederschläge voraus. Für die Sommermonate ergibt sich ein differenziertes Bild: In allen drei Testgebieten steigen die Sommerniederschläge bei REMO in naher Zukunft zunächst an, um dann in ferner Zukunft wieder gegenüber der nahen Zukunft abzunehmen. Bei Wupper und Salza steigen die Niederschläge in Z2 gegenüber IST (nicht signifikant) an, im Illereinzugsgebiet sinken sie signifikant. In der monatlichen Betrachtung ist die Abnahme des Niederschlags im Januar und Februar signifikant, während im März, April, September und Oktober eine signifikante Zunahme projiziert wird. Im Salzagebiet gibt es bei der monatlichen Betrachtung keine signifikanten Veränderungen. Im Einzugsgebiet der Iller ist die Niederschlagszunahme in Z1 im Oktober und die Niederschlagsabnahmen in Z2 in Juni und August signifikant (Abbildung 27 bis Abbildung 32).

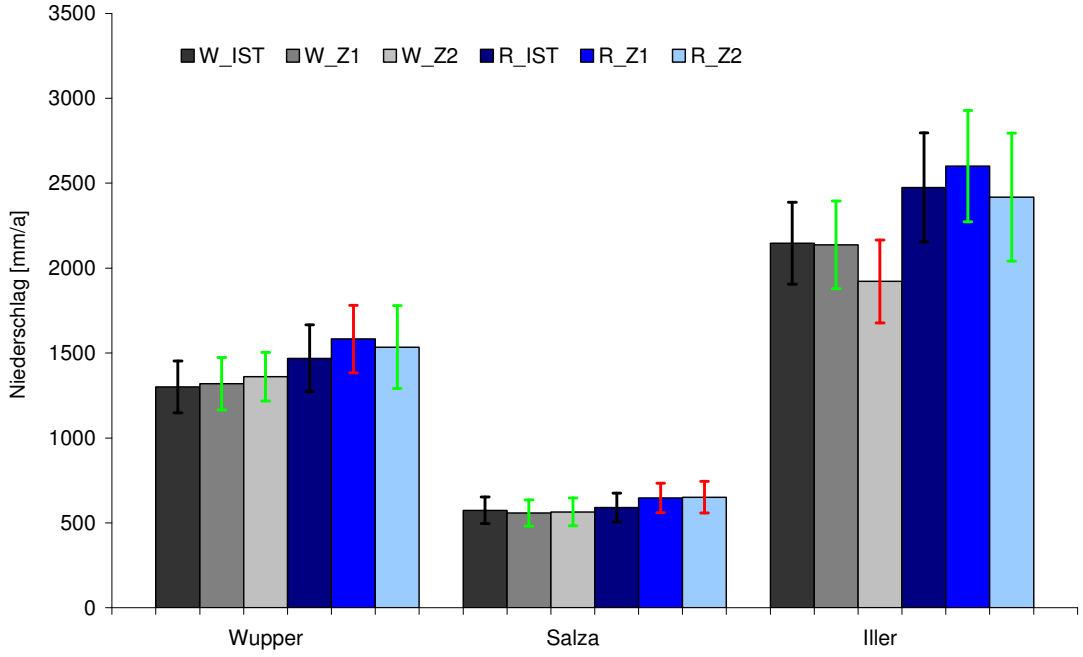


Abbildung 26: Szenariovergleich: Gebietsniederschläge für Wupper, Salza und obere Iller (Jahressumme) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2).

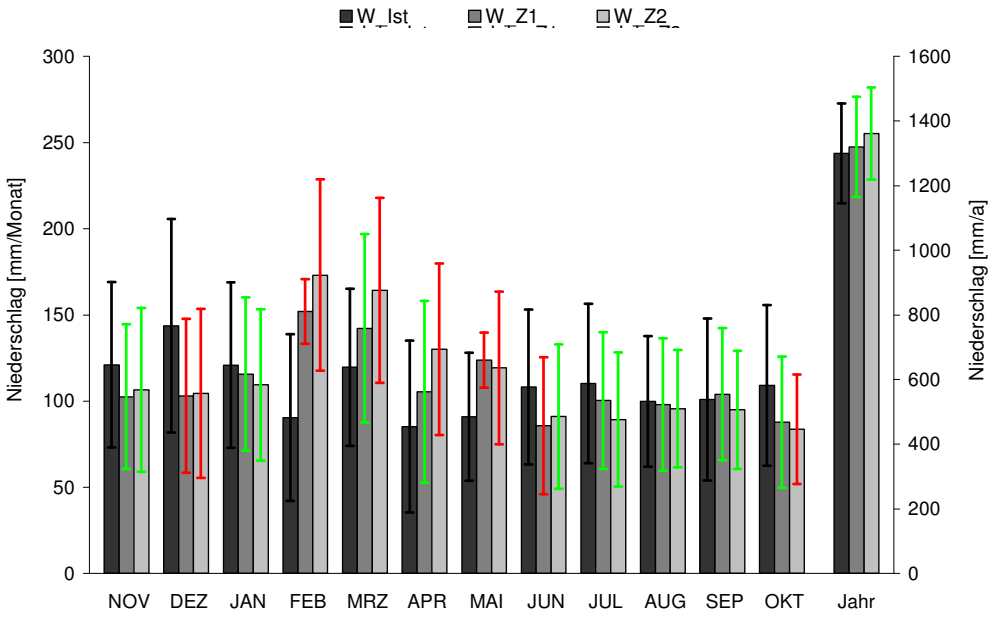


Abbildung 27: Szenariovergleich WETTREG: Gebietsniederschläge Wupper (Jahressumme, Monatssummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2).

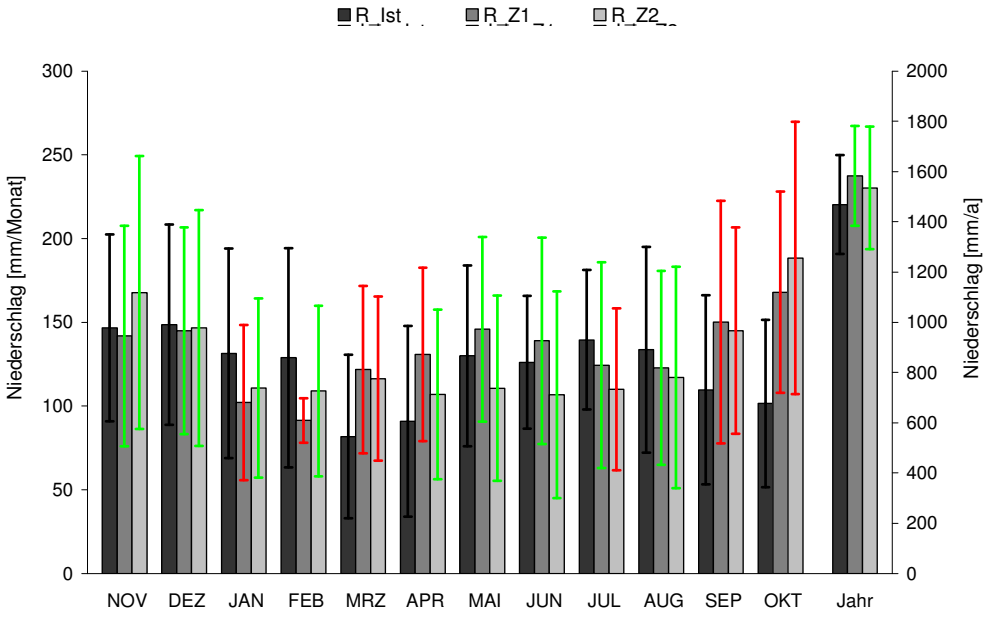


Abbildung 28: Szenariovergleich REMO: Gebietsniederschläge Wupper (Jahressumme, Monatssummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (R_IST) und den Klimaszenarien (R_Z1; R_Z2).

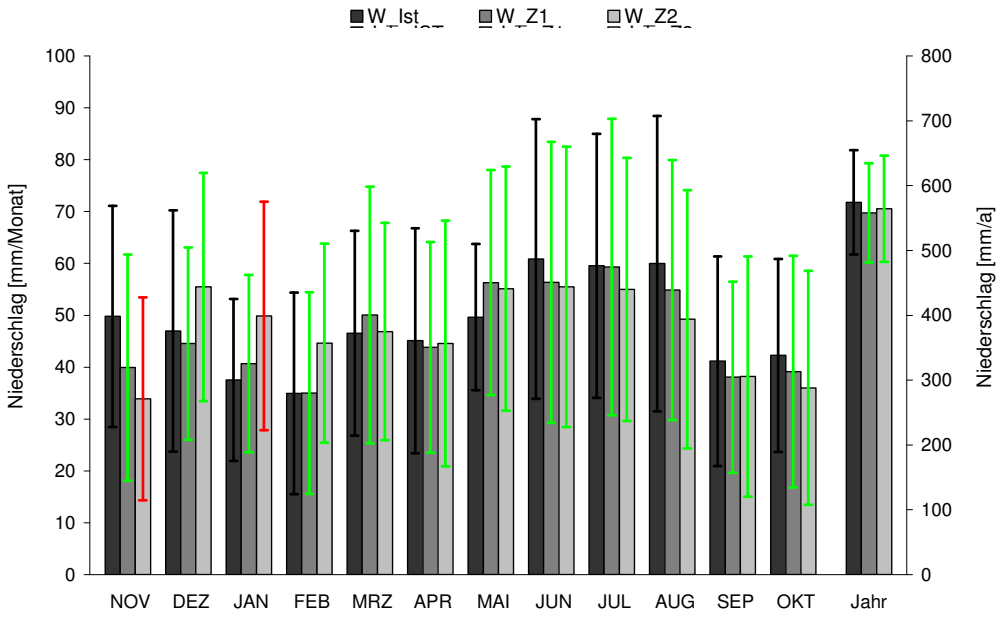


Abbildung 29: Szenariovergleich WETTREG: Gebietsniederschläge Salza (Jahressumme, Monatssummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2).

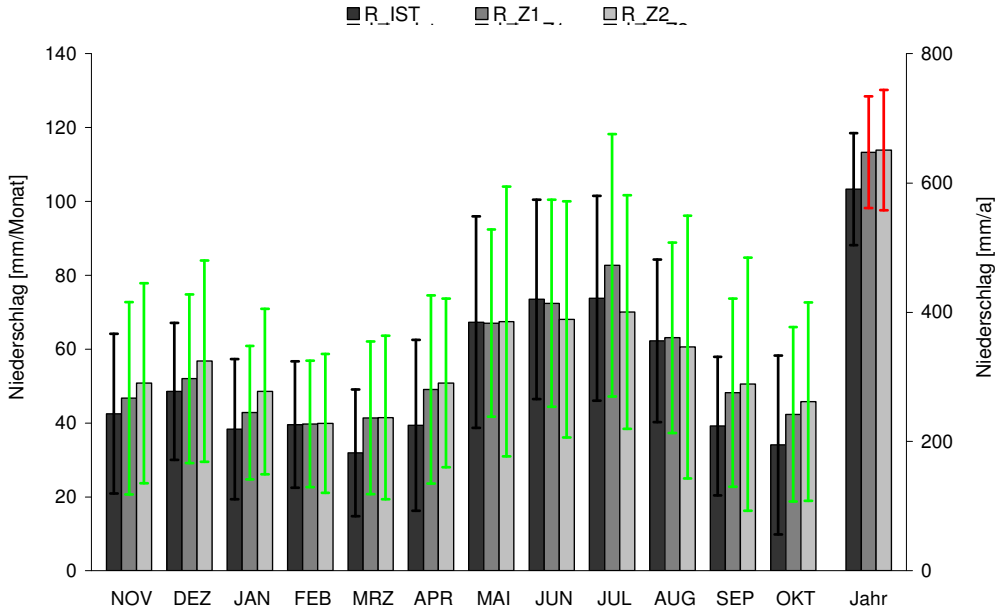


Abbildung 30: Szenariovergleich REMO: Gebietsniederschläge Salza (Jahressumme, Monatssummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (R_IST) und den Klimaszenarien (R_Z1; R_Z2).

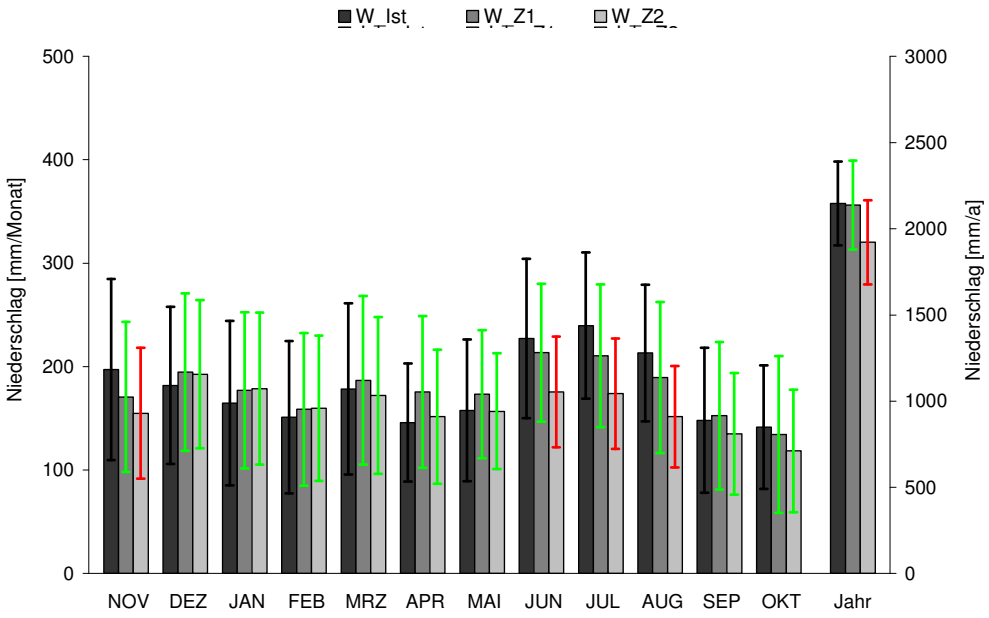


Abbildung 31: Szenariovergleich WETTREG: Gebietsniederschläge obere Iller (Jahressumme, Monatssummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2).

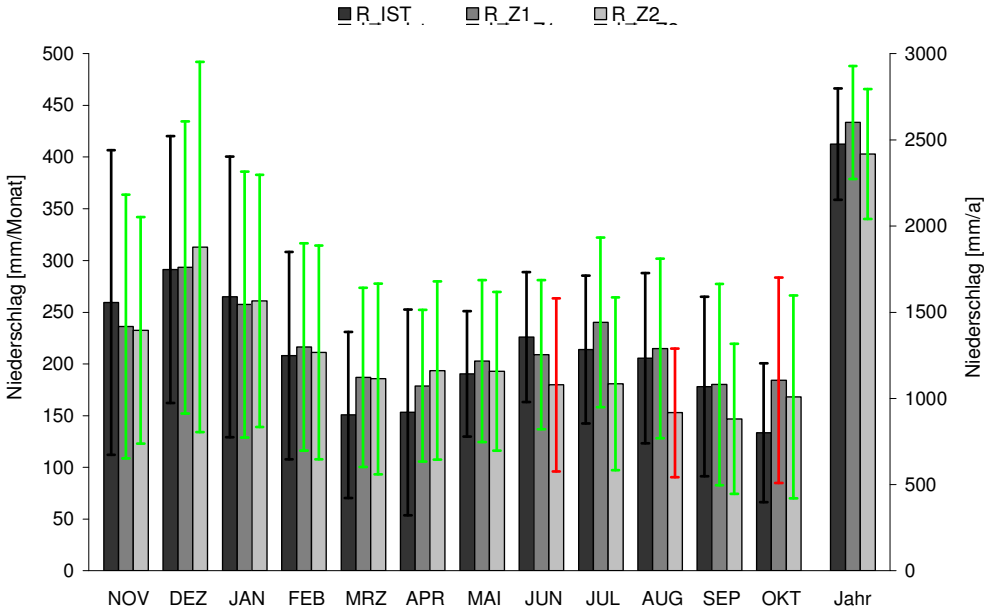


Abbildung 32: Szenariovergleich REMO: Gebietsniederschläge obere Iller (Jahressumme, Monatssummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (R_IST) und den Klimaszenarien (R_Z1; R_Z2).

2.3.8.2 Lufttemperatur

In allen drei Testgebieten steigt die Lufttemperatur nach WETTREG und REMO in beiden Zukunftszeiträumen signifikant gegenüber dem IST-Zustand an. Am stärksten ausgeprägt ist die projizierte Temperaturzunahme bis zum Jahr 2100 mit 2,9 K (WETTREG) bzw. 2,5 K (REMO) für das Gebiet der Wupper. Im Gebiet der Iller beträgt der Anstieg der Lufttemperatur nach WETTREG 2,3 K (REMO: 3,4 K) und an der Salza 2,1 K (WETTREG) bzw. 2,7 K (REMO) (Abbildung 33). Die deutlichste Temperaturzunahme findet in beiden Projektionen jeweils in den Monaten Januar und Februar statt, die geringste Temperaturveränderung im März/April (REMO/Wupper im April +1,0 K, WETTREG/Salza im März +0,3 K, Abbildung 34 bis Abbildung 39).

Im IST-Zeitraum treten in allen Testgebieten Jahre auf, in denen das Monatsmittel der Lufttemperatur in den Monaten Dezember, Januar und/oder Februar unter 0°C liegt. Im Gebiet der Oberen Iller liegt 1971 - 2000 auch die langjährige Mitteltemperatur im Winter unter 0°C. Insbesondere in Z2 wird nach WETTREG eine Monatsmitteltemperatur unter 0°C praktisch nicht mehr auftreten. Dies wird deutliche Auswirkungen auf den Schneeniederschlag, die Schneeakkumulation und Schneedeckendauer zur Folge haben.

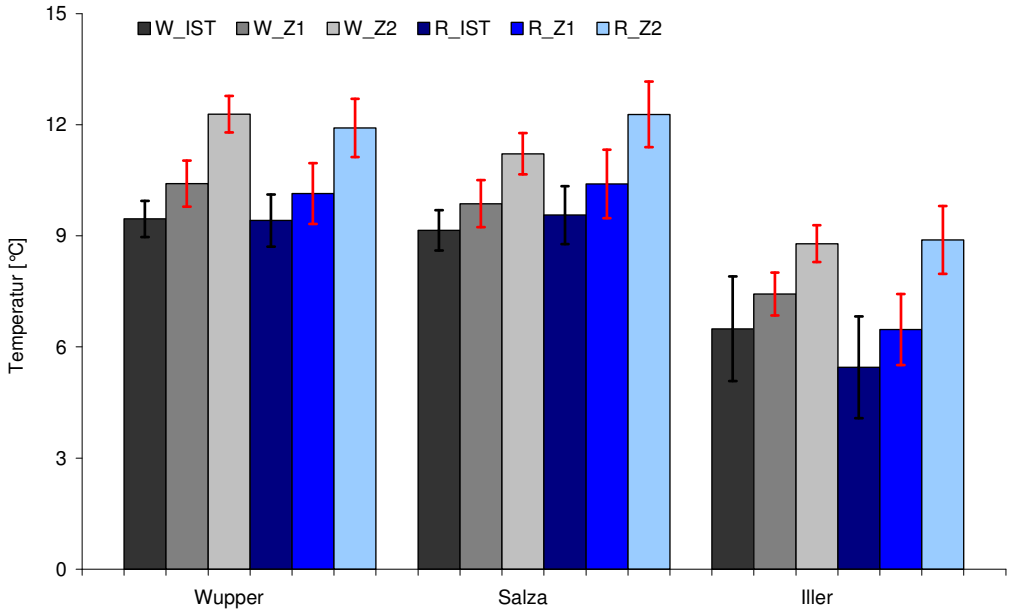


Abbildung 33: Szenariovergleich: Lufttemperatur Wupper, Salza und obere Iller (Jahresmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2).

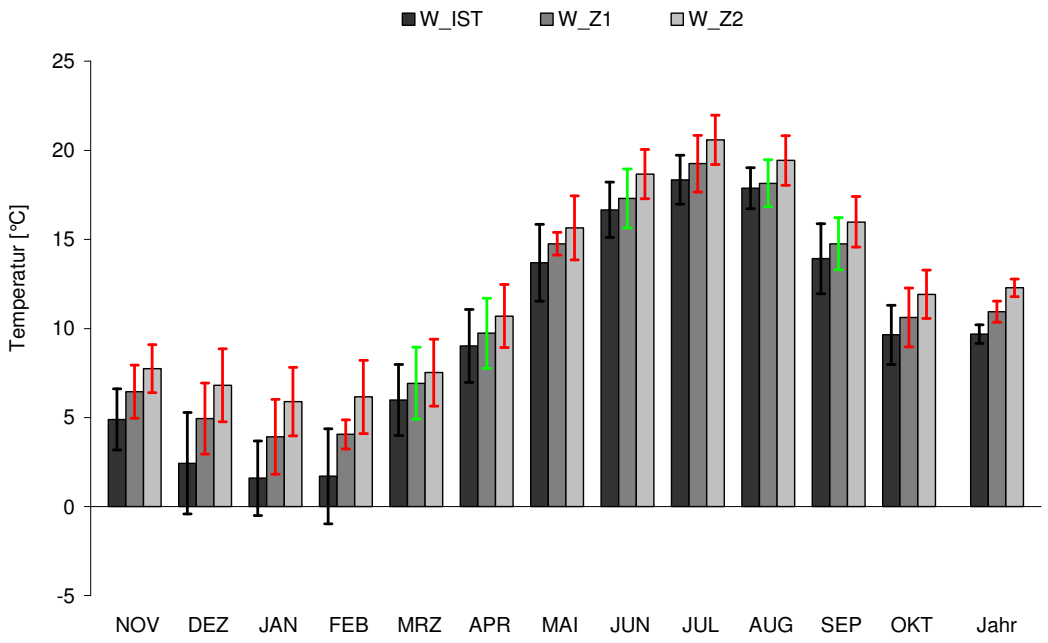


Abbildung 34: Szenariovergleich WETTREG: Lufttemperatur Wupper (Jahresmittel, Monatsmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2).

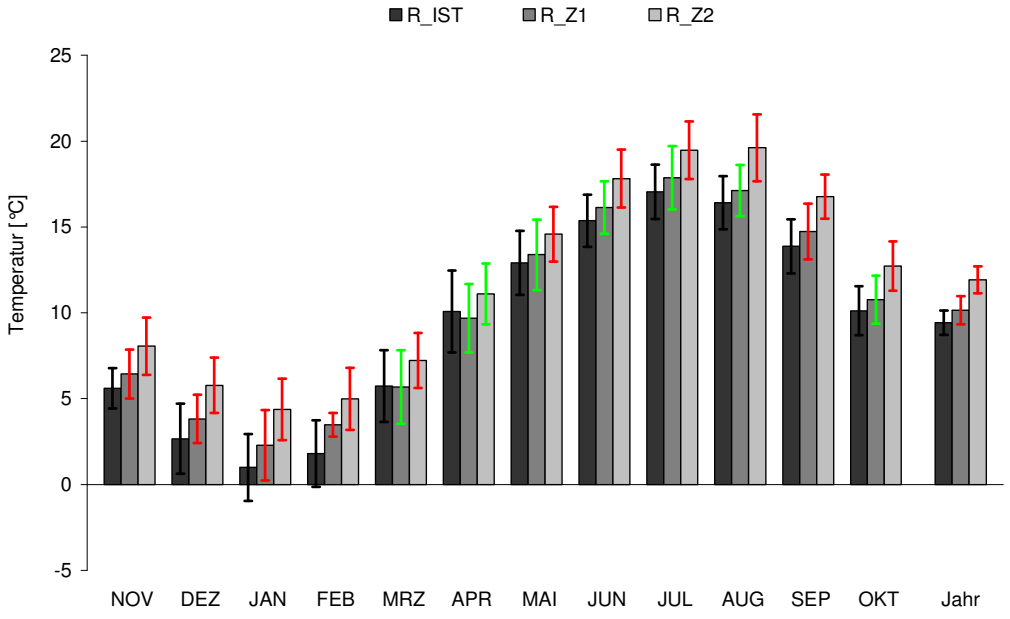


Abbildung 35: Szenariovergleich REMO: Lufttemperatur Wupper (Jahresmittel, Monatsmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (R_IST) und den Klimaszenarien (R_Z1; R_Z2).

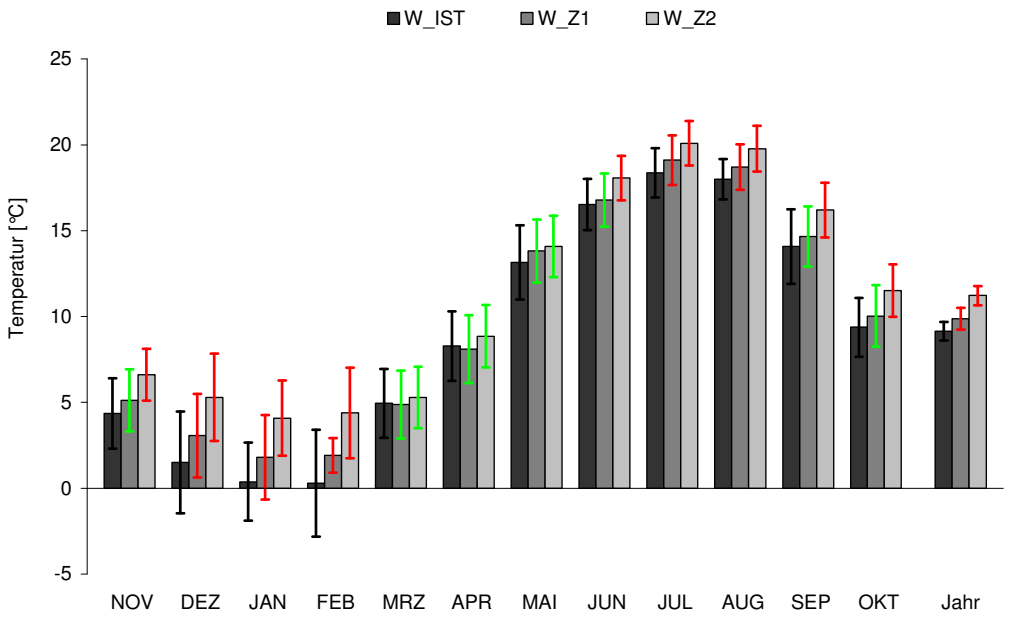


Abbildung 36: Szenariovergleich WETTREG: Lufttemperatur Salza (Jahresmittel, Monatsmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2).

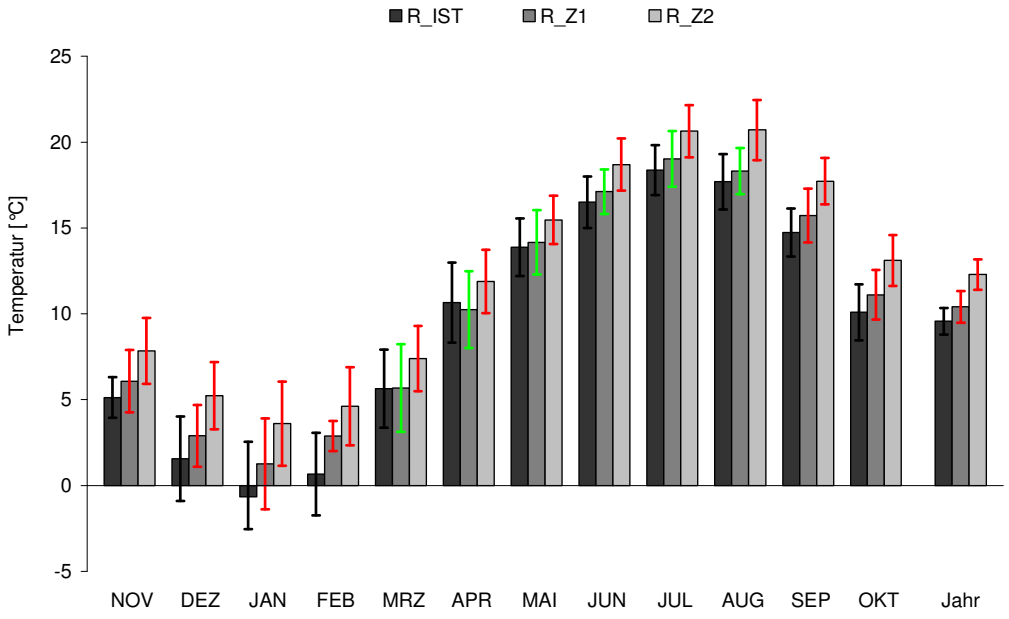


Abbildung 37: Szenariovergleich REMO: Lufttemperatur Salza (Jahresmittel, Monatsmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (R_IST) und den Klimaszenarien (R_Z1; R_Z2).

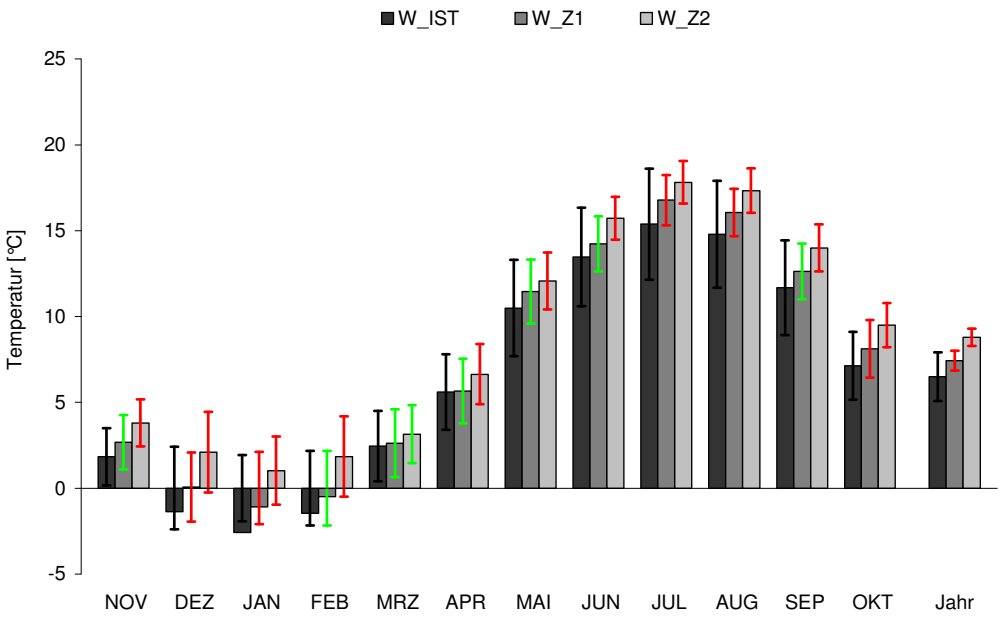


Abbildung 38: Szenariovergleich WETTREG: Lufttemperatur obere Iller (Jahresmittel, Monatsmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2).

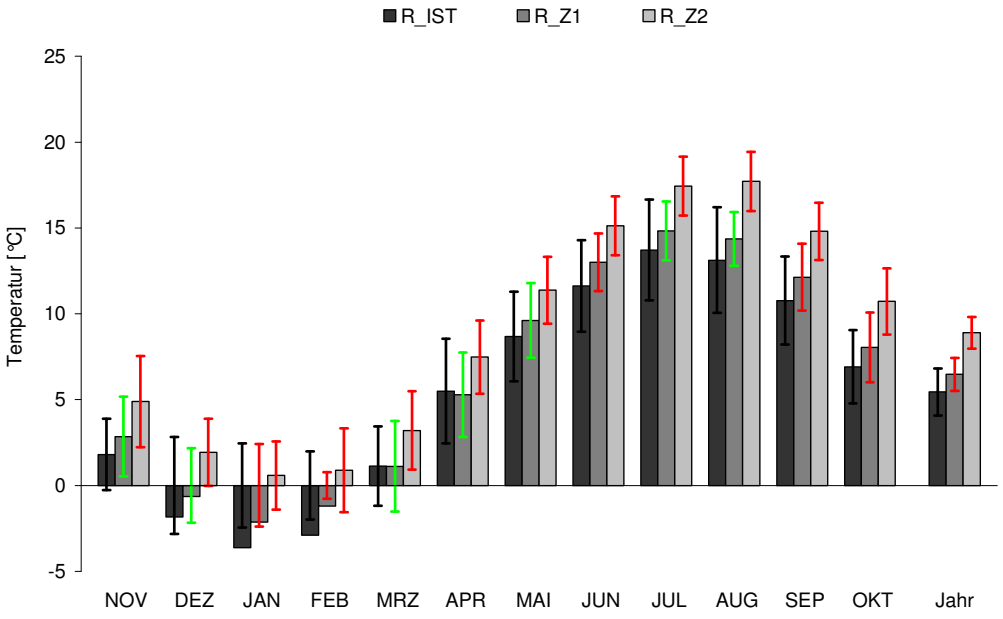


Abbildung 39: Szenariovergleich REMO: Lufttemperatur obere Iller (Jahresmittel, Monatsmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (R_IST) und den Klimaszenarien (R_Z1; R_Z2).

2.3.8.3 Verdunstung

Für die Gebiete von Wupper und Iller ergibt sich mit WETTREG und REMO eine signifikant steigende Jahressumme der Verdunstung (Abbildung 40). Wesentliche Ursache ist die zukünftig höhere Lufttemperatur und bei der Wupper auch die projizierte Zunahme des Niederschlags (vgl. Abbildung 26). Für die Salza wird mit WETTREG eine gleich bleibende Jahresverdunstung projiziert, was auf die eingeschränkte Wasserverfügbarkeit als limitierendem Faktor zurückzuführen ist, während mit REMO auch hier die Verdunstung signifikant ansteigt. Die unterjährige Betrachtung zeigt im Winterhalbjahr für alle drei Testgebiete eine signifikant um bis zu 80 mm/a (Wupper, WETTREG) zunehmende Evapotranspiration (Abbildung 41). Im Sommerhalbjahr ist der Anstieg an Wupper und Iller ebenfalls signifikant, für das Gebiet der Salza wird in WETTREG ein Rückgang der sommerlichen Verdunstung projiziert, welcher den winterlichen Anstieg kompensiert, während in REMO in Z1 zunächst eine signifikant steigende Verdunstung simuliert wird, die in Z2 beinahe bis auf die Ausgangsbasis (IST) zurückgeht. Hinsichtlich der projizierten *realen* Verdunstung unterscheiden sich die Ergebnisse der Wasserhaushaltssimulationen deutlich von den Berechnungen zur klimatischen Wasserbilanz in Abschnitt 2.1.4: Dort geht die *potenzielle* Verdunstung ein. Dieser Wert berücksichtigt nicht die tatsächliche Wasserverfügbarkeit. Für die *potenzielle* Verdunstung wird übereinstimmend ein zukünftiger Anstieg projiziert.

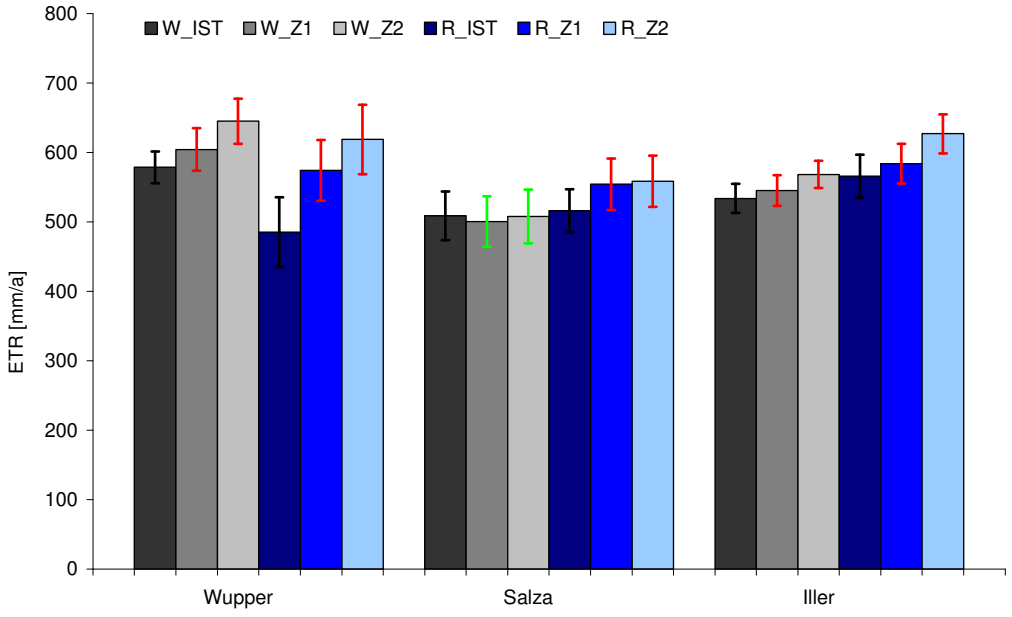


Abbildung 40: Szenariovergleich: Verdunstung Wupper, Salza und obere Iller (Jahressummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2).

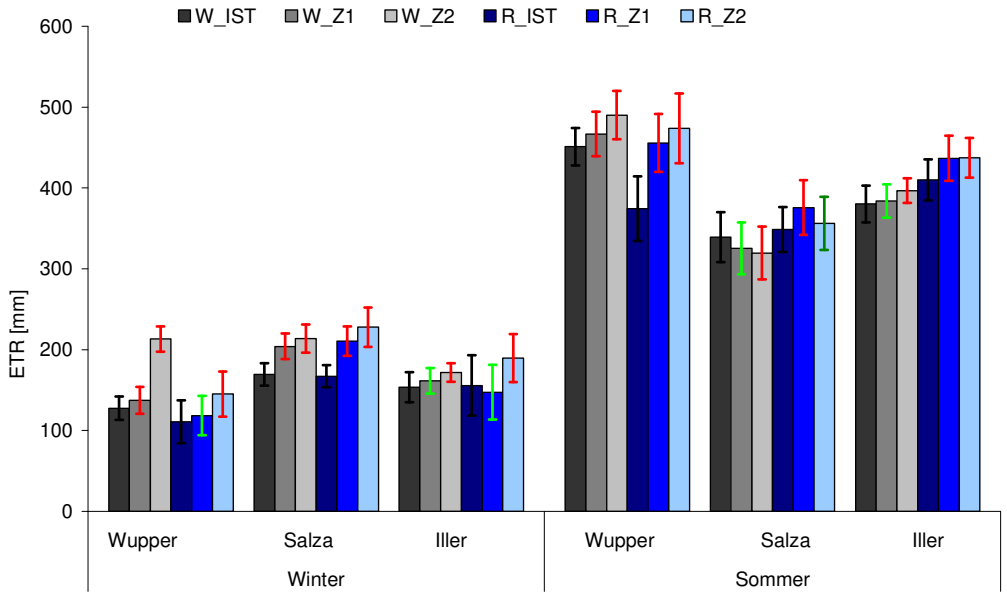


Abbildung 41: Szenariovergleich: Verdunstung Wupper, Salza und obere Iller (Halbjahressummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2).

2.3.8.4 Grundwasserneubildung

Für die Jahressumme der Grundwasserneubildung (GWN) ergeben sich sowohl mit WETTREG als auch mit REMO zukünftig keine signifikanten Veränderungen. Mit WETTREG bleibt der Wert in den Einzugsgebieten von Wupper (ca. 450 mm/a) und Salza (ca. 70 mm/a) zukünftig nahezu unverändert (Abbildung 42). Mit REMO ist die Ausgangshöhe der Grundwasserneubildung in beiden Einzugsgebieten mit 524 mm/a (Wupper) bzw. 81 mm/a (Salza) etwas höher als mit WETTREG. Während die GWN im Salzagebiet nahezu unverändert bleibt, sinkt sie im Wuppergebiet in ferner Zukunft gegenüber IST (nicht signifikant) um 22 mm/a. Im Bereich der oberen Iller (ca. 650 mm/a) erfolgt in beiden Projektionen in Z1 zunächst ein leichter Anstieg, bis zum Ende des Jahrhunderts (Z2) dann bei REMO ein statistisch nicht signifikanter Rückgang auf das Ausgangsniveau, während die GWN in WETTREG deutlich unter IST sinkt. Innerhalb des Jahres sind bei der Wupper und bei der Iller deutliche Umverteilungen zu beobachten. Bei der Aufgliederung nach Halbjahren ergibt sich bei WETTREG für obere Iller und Wupper in den Winterhalbjahren bis 2100 ein kontinuierlicher signifikanter Anstieg um ca. 30 bis 80 mm/Halbjahr, welcher im Illergebiet in Z2 durch einen ebenfalls signifikanten drastischen Rückgang von ca. 150 mm/a im Sommer jeweils überkompensiert wird. In REMO entspricht der Anstieg im Winterhalbjahr in Z2 dem Rückgang im Sommerhalbjahr (Abbildung 43). Ursache ist der für die Iller projizierte Rückgang des Gesamtniederschlags und der temperaturbedingte Anstieg der Verdunstung.

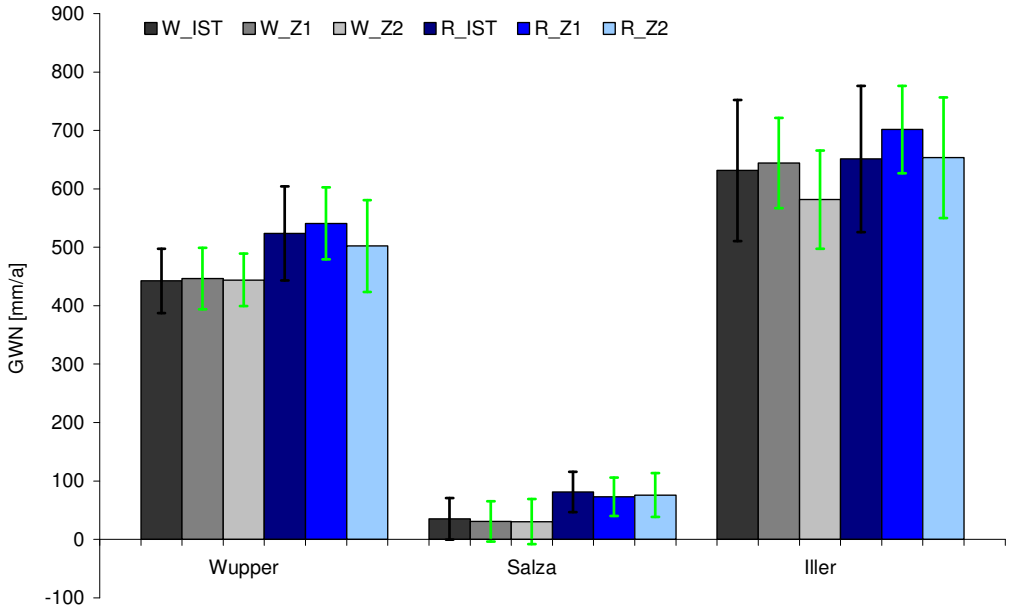


Abbildung 42: Szenariovergleich: Grundwasserneubildung Wupper, Salza und obere Iller (Jahressummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2).

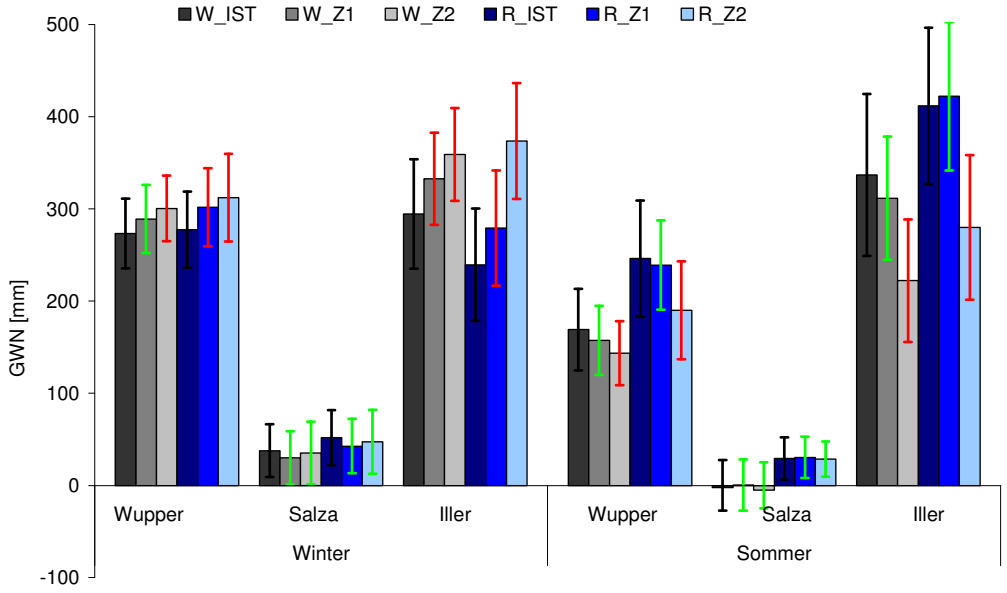


Abbildung 43: Szenariovergleich: Grundwasserneubildung Wupper, Salza und obere Iller (Halbjahressummen) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2).

2.3.8.5 Mittelwasserabfluss („MQ“)

Die Mittelwasserabflüsse in den Testgebieten unterscheiden sich mit 1,9 m^3/s (Salza, WETTREG) bis 60 m^3/s (Iller, REMO) etwa um einen Faktor 25 (Abbildung 44). Für die Wupper sind nach WETTREG in Zukunft konstante jährliche Mittelwasserabflüsse zu erwarten, nach REMO zunächst ein nicht signifikanter leichter Anstieg und in Z2 eine leichte Abnahme gegenüber IST. Im Gebiet der Salza wird für Z1 ein zunächst nicht signifikanter Rückgang um etwa 0,2 m^3/s (- 11 %) projiziert, der in Z2 dann signifikant wird. Die Abflusssteigerung um 0,5 m^3/s in REMO ist nicht signifikant. Im Bereich der oberen Iller lassen die Simulationsergebnisse für die ferne Zukunft Z2 eine signifikante Abnahme des Jahres-MQs um ca. 8 m^3/s erwarten, das entspricht einer relativen Veränderung von –16 %. In REMO nehmen wie bei der Wupper die Abflüsse zunächst leicht zu, um dann in Z2 um 3,5 m^3/s (-6 %, nicht signifikant) unter das Ausgangsniveau zu sinken.

Bei halbjährlicher Betrachtung nehmen die mittleren Winterabflüsse an der Wupper in Z2 leicht (WETTREG: + 11 %, REMO: + 6 %) und an der oberen Iller mit + 25 % (WETTREG) bzw. 81 % (REMO) signifikant zu (Abbildung 45). An der Salza ist im Gegensatz dazu im Winterhalbjahr ein Rückgang des MQ-Wertes zu beobachten. Im Sommerhalbjahr bleibt der MQ-Wert für die Zukunftszeiträume an der Salza praktisch unverändert, während für die Wupper und insbesondere für die Iller signifikante Abnahmen der Sommerabflüsse um bis zu – 37 % (Iller, WETTREG) zu erwarten sind.

Die monatliche Betrachtung der Mittelwasserabflüsse verdeutlicht die für die Iller projizierten drastischen Modifikationen des Abflussregimes: Der im Kontrollzeitraum dominierende v.a. nival induzierte Abflusspeak im Mai (WETTREG) könnte sich demnach zukünftig auf April verschieben (REMO: Verschiebung von Juni in den Mai) und deutlich abschwächen, während für die Wintermonate Dezember bis März nach WETTREG und REMO eine Zunahme von eher pluvial bedingten Abflüssen zu erwarten ist.

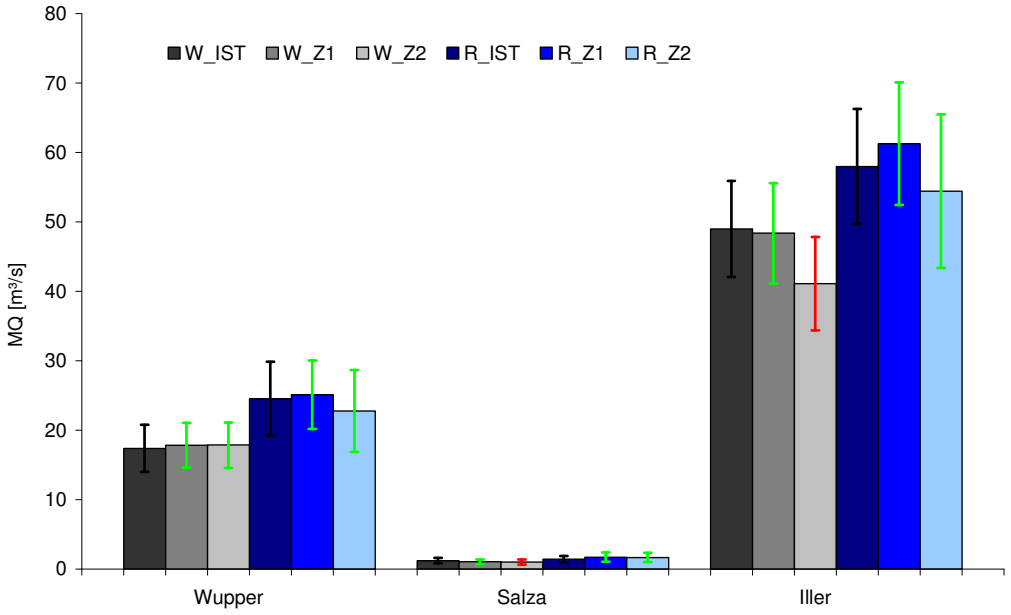


Abbildung 44: Szenariovergleich: MQ Wupper, Salza und obere Iller (Jahresmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2).

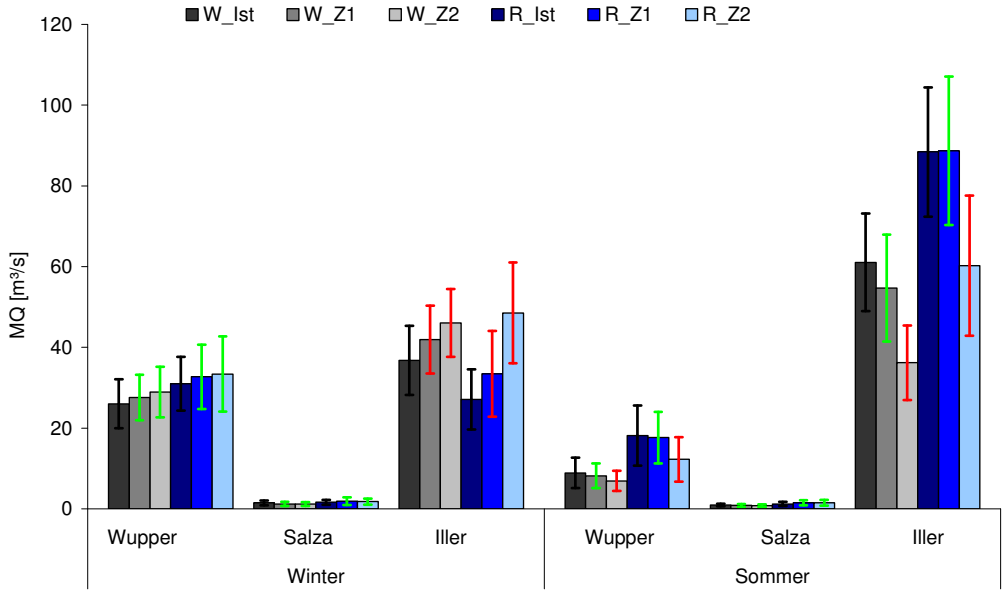


Abbildung 45: Szenariovergleich: MQ Wupper, Salza und obere Iller (Halbjahresmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2).

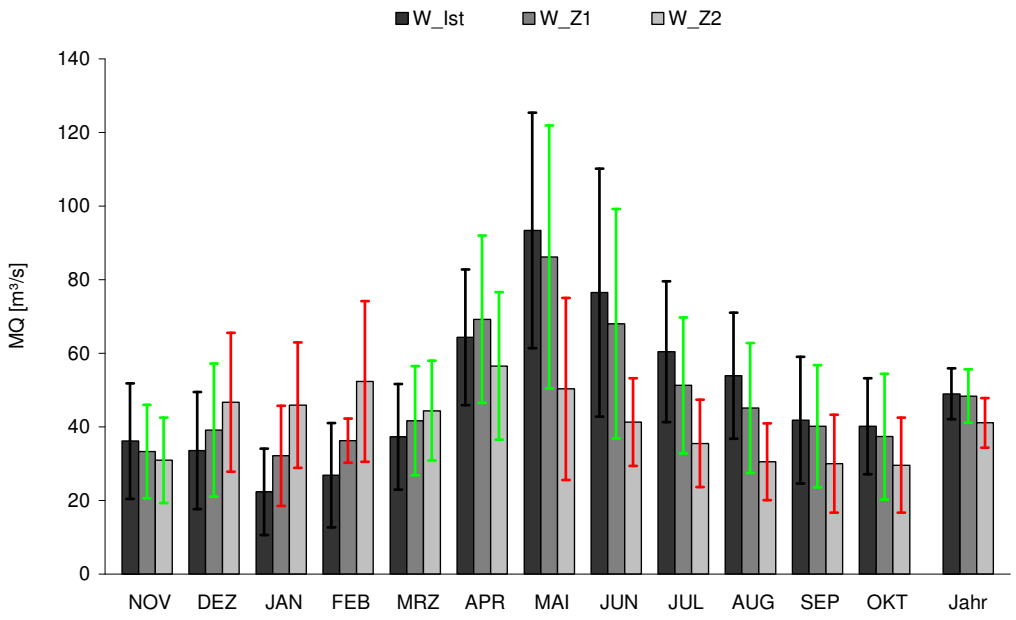


Abbildung 46: Szenariovergleich WETTREG: Obere Iller MQ (Jahreswert, Monatswerte) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2).

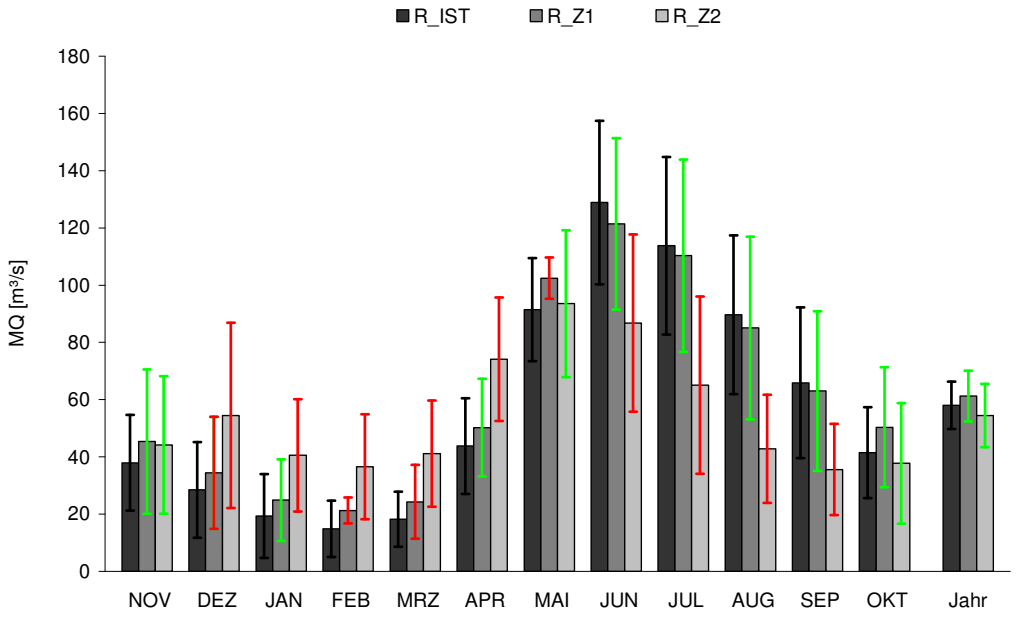


Abbildung 47: Szenariovergleich REMO: Obere Iller MQ (Jahreswert, Monatswerte) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (R_IST) und den Klimaszenarien (R_Z1; R_Z2).

2.3.8.6 Hochwasserabfluss („MHQ“, „HQ“)

Hinsichtlich des langjährigen Mittels der täglichen Hochwasserabflüsse („jährlicher MHQ-Wert“) zeigen beide Projektionen eine gleichgerichtete Entwicklung: Für das Gesamtgebiet der Wupper ergibt sich eine geringfügige Abnahme in den Zukunftszeiträumen Z1 und Z2 (WETTREG: 132,5 bzw. 130,2 m³/s, REMO: 166,7 m³/s bzw. 163,1 m³/s) gegenüber W_IST (133,3 m³/s) bzw. R_IST (171,2 m³/s). Im Gebiet der Salza werden mit WETTREG bis Z1 mit 9,2 m³/s gleich bleibende mittlere Hochwasserabflüsse projiziert, für Z2 dann aber eine deutliche Abnahme um 15 % auf 7,8 m³/s. Mit REMO steigen die Hochwasserabflüsse im Salzagebiet (nicht signifikant) von 13,6 m³/s (R_IST) auf 14,4 m³/s (R_Z1) und 15,8 m³/s (R_Z2) an. Für die obere Iller wird mit WETTREG analog zu den Ergebnissen in anderen beiden Gebieten im Zeitraum Z2 ein Absinken des MHQ-Wertes von rund 240 m³/s (IST) auf rund 210 m³/s berechnet, während er mit REMO zunächst von 289,4 m³/s auf 317,2 m³/s steigt und dann in Z1 einen etwas niedrigeren Wert von 298,0 m³/s aufweist. Alle Trends hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der MHQ-Werte sind aufgrund der hohen Streuung der Einzelwerte trotz der teilweise drastischen Veränderungen statistisch nicht signifikant. An Iller und Wupper scheinen Hochwasserabflüsse in Zukunft gleichmäßiger über das Jahr verteilt aufzutreten als im Vergleichszeitraum (Abbildung 49).

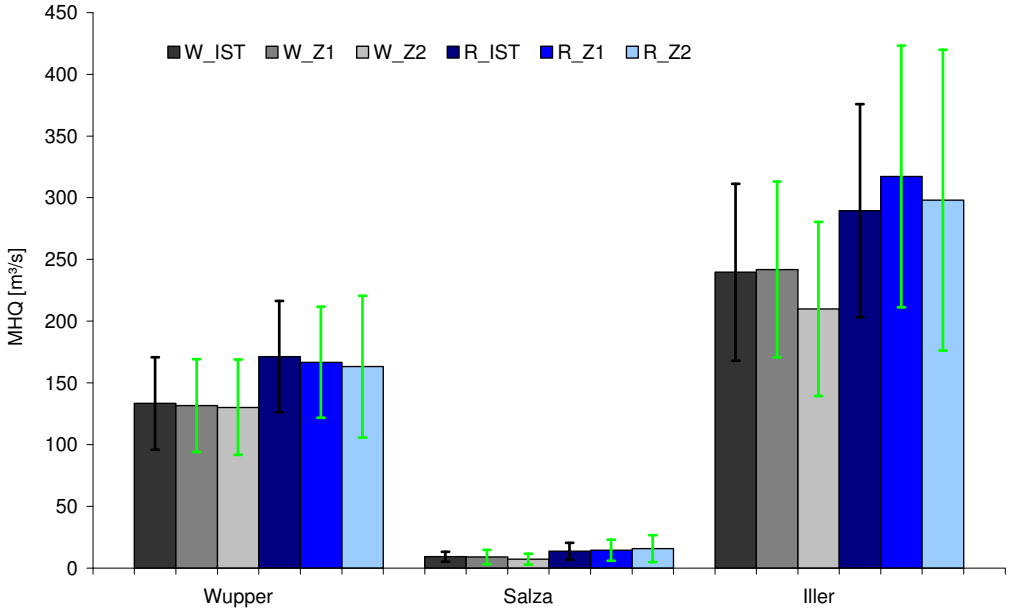


Abbildung 48: Szenariovergleich: MHQ Wupper, Salza und obere Iller (Jahresmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2).

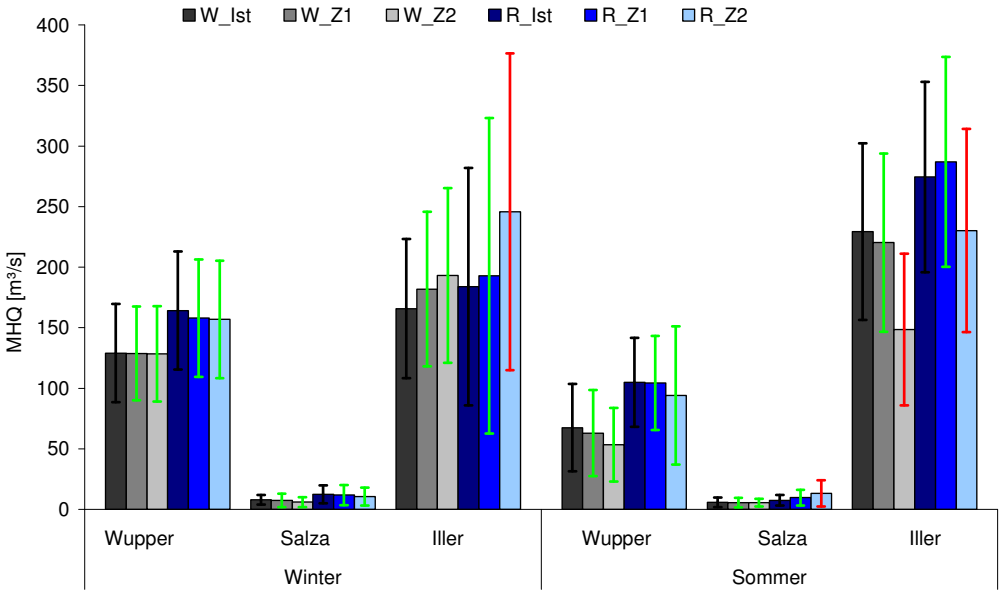


Abbildung 49: Szenariovergleich: MHQ Wupper, Salza und obere Iller (Halbjahresmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2).

2.3.8.7 Niedrigwasserabfluss („MNQ“, „NQ“), Niedrigwasserdauer

Der MNQ-Wert ist definiert als der Mittelwert der niedrigsten Abflüsse (NQ) aller Jahre, Halbjahre oder Monate eines Beobachtungszeitraumes (hier: jeweils 30 Jahre). Mit WETTREG steigen an der Wupper die MNQ-Werte für das Gesamtjahr für beide Zukunftszeiträume gegenüber dem IST-Zustand leicht an. An der Salza ist dagegen eher ein Rückgang zu erwarten. Im Bereich der oberen Iller verläuft die Zukunftsprojektion für die Jahreswerte mit einem deutlichen Anstieg in Z1 und einem leichten Rückgang gegenüber IST in Z2 uneinheitlich. Mit REMO sinkt der mittlere Niedrigwasserabfluss im Wuppergebiet signifikant von 1,1 m³/s auf 0,6 m³/s, während er im Salzagebiet im Gegensatz zur Projektion mit WETTREG (nicht signifikant) steigt. Im Gebiet der oberen Iller sind die Veränderungen in REMO signifikant: Analog zu WETTREG steigt der Niedrigwasserabfluss in Z1 an und sinkt in Z2 wieder leicht gegenüber Z1. Insgesamt ist mit REMO jedoch auch in Z2 noch ein signifikanter Anstieg gegenüber R_IST zu verzeichnen (Abbildung 50). Die Halbjahreswerte des MNQ folgen sowohl im Gebiet Wupper als auch in dem der Salza den Jahrestrends. Für die Iller wird im Gegensatz

dazu in beiden Projektionen im Winter eine signifikante Erhöhung der Niedrigwasserführung und im Sommer ein signifikantes Absinken (REMO: nur in Z2) erwartet.

Hinsichtlich der Niedrigwasserdauer ist im Wuppergebiet bei Anwendung von WETTREG ein rückläufiger Trend zu erkennen. Mit REMO hingegen verschärft sich die Niedrigwasserproblematik im Wuppergebiet zukünftig deutlich (Tabelle 10). Ähnliche Tendenzen zeigen die entsprechenden Kennwerte für das Einzugsgebiet der Iller: Bei REMO steigt die Anzahl der Tage mit Unterschreitung von MNQ im Zukunftszeitraum Z1 zunächst an, um in Z2 wieder abzusinken, während mit WETTREG an der Iller zukünftig deutlich weniger Niedrigwassertage auftreten. Insgesamt ist bei Gegenüberstellung von IST und Z1 ein leichter Rückgang der Anzahl der Tage zu verzeichnen, an denen der Abfluss MNQ unterschreitet, während die Häufigkeit der Unterschreitung stagniert bzw. leicht ansteigt. Das eindeutigste Verhalten zeigt sich im Einzugsgebiet der Salza: Alle Indikatoren weisen auf eine sich verschärfende Niedrigwasserproblematik hin (Tabelle 10).

Insgesamt unterscheiden sich die Projektionsergebnisse mit REMO und WETTREG gerade hinsichtlich der Niedrigwasserdauer erheblich. Aufgrund der eingeschränkten Szenarioplausibilität sollte eine weitergehende Interpretation der Ergebnisse mit Vorsicht erfolgen.

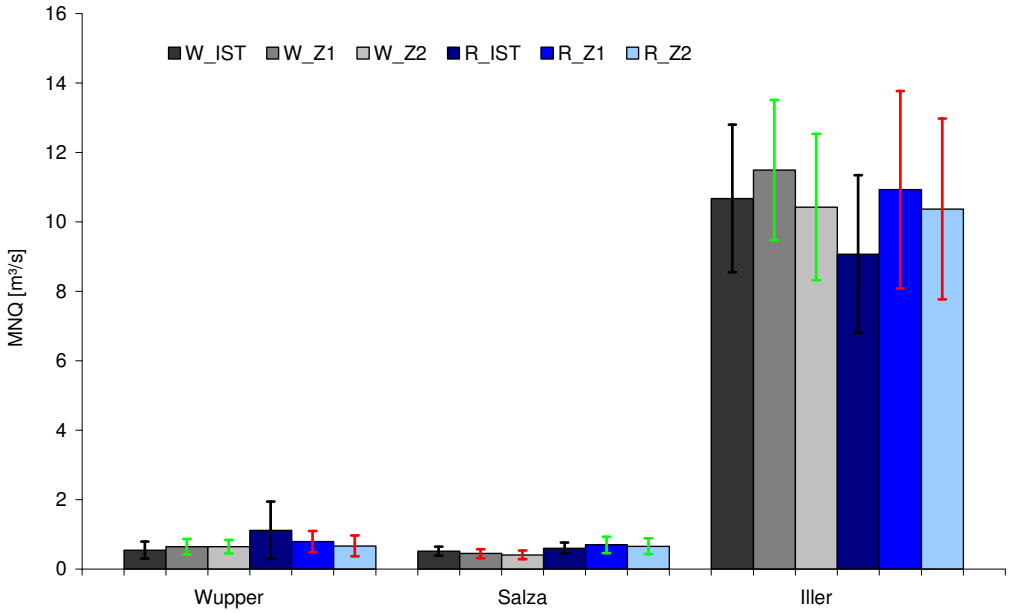


Abbildung 50: Szenariovergleich: MNQ Wupper, Salza und obere Iller (Jahresmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2).

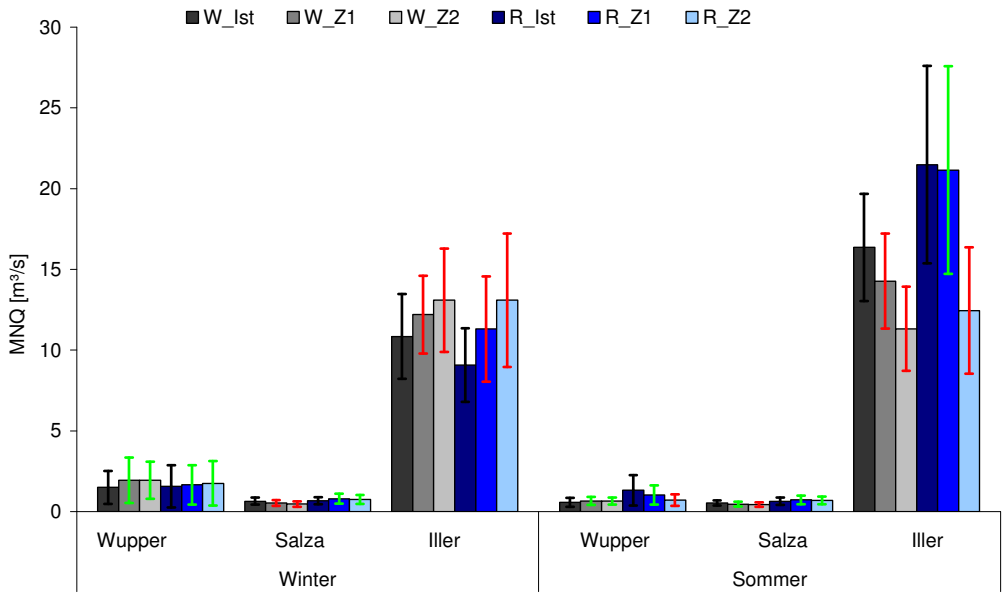


Abbildung 51: Szenariovergleich: MNQ Wupper, Salza und obere Iller (Halbjahresmittel) Absolutwerte. Fehlerbalken: Standardabweichung, grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf (W_IST; R_IST) und den Klimaszenarien (W_Z1; W_Z2; R_Z1; R_Z2).

Tabelle 10: Anzahl, maximale Dauer und Häufigkeit der Periode 5 bzw. 7 Tage der Unterschreitung von MNQ (Ist) für das Einzugsgebiet von Wupper, Iller und Salza für die Zeiträume Ist, Z1 und Z2. SumD: Anzahl Tage der Unterschreitung von MNQ, MaxD: Maximale Unterschreitungsdauer von MNQ in Tagen

		SumD		MaxD		Häufigkeit der Unterschreitung von MNQ > 5 Tage		Häufigkeit der Unterschreitung von MNQ > 7 Tage	
		Tage / Jahr	In 30 Jahren	Mittel	Max	Auftreten / Jahr	In 30 Jahren	Auftreten / Jahr	In 30 Jahren
Wupper									
IST	WETTREG	7	204	33	38	0,5	16	0,4	11
	REMO	10	301	42	42	0,7	21	0,5	15
Z1	WETTREG	5	145	27	42	0,4	11	0,3	8
	REMO	16	486	40	43	1,2	35	0,9	26
Z2	WETTREG	3	94	18	32	0,2	7	0,2	5
	REMO	30	905	56	94	1,9	58	1,6	48
Iller									
IST	WETTREG	15	436	44	63	0,8	24	0,6	19
	REMO	15	458	74	74	0,5	16	0,5	14
Z1	WETTREG	6	193	35	49	0,4	12	0,3	8
	REMO	17	506	72	114	0,9	26	0,7	22
Z2	WETTREG	10	288	22	29	0,8	25	0,6	17
	REMO	10	308	52	81	0,7	22	0,5	15
Salza									
IST	WETTREG	76	2290	140	219	2,7	80	2,5	74
	REMO	41	1233	76	76	1,7	52	1,5	46
Z1	WETTREG	127	3823	190	450	4,2	126	3,,8	113
	REMO	50	1502	185	450	1,7	52	1,6	47
Z2	WETTREG	141	4242	146	207	4,6	139	4,1	124
	REMO	55	1656	103	241	2,1	62	1,8	54

3 Bestimmung der Vulnerabilität der Wasserwirtschaft hinsichtlich Wassernutzung, Berücksichtigung gesellschaftlicher Rahmenbedingungen

Eine deutschlandweite Vulnerabilitätsanalyse in Bezug auf den Klimawandel wurde bereits ausführlich in Zebisch et al. (2005) für die Bereiche Land- und Forstwirtschaft, Biodiversität und Naturschutz, Gesundheit, Tourismus, Verkehr, Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft durchgeführt. Im Themenfeld Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft bezieht sich der Bericht im Wesentlichen auf die Bereiche Hochwasser und Trockenheit (Dürre). Dabei zeigten alle untersuchten Naturräume in Deutschland im Bereich Hochwasser eine hohe Vulnerabilität. Hingegen ist der Bereich Trockenheit (Dürre) an der Küste, in Teilen des Mittelgebirges und in den Alpen als gering, im Nordostdeutschen Tiefland und im Südostdeutschen Becken und Hügelland als hoch und im restlichen Deutschland als mäßig vulnerabel einzustufen (Zebisch et al. 2005).

Aufbauend auf diesen Ergebnissen erfolgt nun eine weitere Unterteilung des Bereichs Trockenheit hinsichtlich der unterschiedlichen Wassernutzungen. Hochwasseraspekte, die die Wassernutzungen betreffen, werden ebenfalls berücksichtigt. Das Vorgehen für die Bestimmung der Vulnerabilität der einzelnen Wassernutzungen orientiert sich dabei an der Begriffsdefinition von „Vulnerabilität“, welche im KomPass Glossar von 2008 verwendet wurde. Diese wird wie folgt beschrieben: Vulnerabilität ist die „besondere Empfindlichkeit von zivilisatorischen Strukturen, Systemen und Institutionen gegenüber Auswirkungen des Klimawandels. Die Vulnerabilität wird durch die Gesamtheit der Indikatoren der Klimawirkungen bestimmt, mit denen spezifische **klimatische Belastungen**, damit verbundene **potenzielle Auswirkungen** sowie deren Verminderung durch das **nutzbare Anpassungspotenzial** beschrieben werden“ (IPCC 2007a, S. 86-99).

Daher sind

- die klimatischen Belastungen,
- die potenziellen Auswirkungen und
- das nutzbare Anpassungspotenzial (Anpassungskapazität)

in Bezug auf die jeweiligen Wassernutzungen gesondert darzustellen und anschließend zur Bestimmung der Vulnerabilität der Wasserwirtschaft zu verknüpfen.

Die klimatischen Belastungen aufgrund des Klimawandels wurden bereits an ausgewählten IPCC-SRES Szenarien in Kapitel 2.1 und die hydrologischen Auswirkungen in Kapitel 2.2 erläutert. Die potenziellen Auswirkungen und das nutzbare Anpassungspotenzial unter Berücksichtigung der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen werden in diesem Kapitel dargestellt.

3.1 Konzept zur Ermittlung der potenziellen Auswirkungen auf die Wassernutzungen

Um die potenziellen Auswirkungen auf die unterschiedlichen Wassernutzungen ermitteln zu können, müssen zunächst die relevanten Wassernutzungen in Deutschland identifiziert werden. Anschließend wird der jeweilige zukünftige Wasserbedarf anhand von vorhandener Literatur und statistischen Auswertungen erörtert. Neben dem Klimawandel können auch verändernde gesellschaftliche Rahmenbedingungen den Wasserbedarf beeinflussen, indem zum Beispiel die Bevölkerung in wasserarmen Regionen zunimmt. Szenarien zum demographischen Wandel in den Regionen Deutschlands werden deshalb in die Untersuchung mit einbezogen. Dazu werden Modelle des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung herangezogen. Gleiches gilt für die Bereiche der Wirtschafts- und Verkehrsentwicklung sowie die Entwicklung der Energiewirtschaft, da diese von direkter Bedeutung für die Wassernutzungen sind.

Aus einem Vergleich des zukünftigen Wasserbedarfs mit den prognostizierten Abflüssen und Grundwasserständen aus Kapitel 2.2 und der zukünftigen klimatischen Wasserbilanz aus Kapitel 2.1 können gefährdete Wassernutzungen identifiziert, lokalisiert und die potenziellen Auswirkungen aufgezeigt werden

Die Ergebnisse werden übersichtlich, zunächst ohne Berücksichtigung von potenziellen Anpassungsmaßnahmen dargestellt (Schema siehe Abbildung 52).

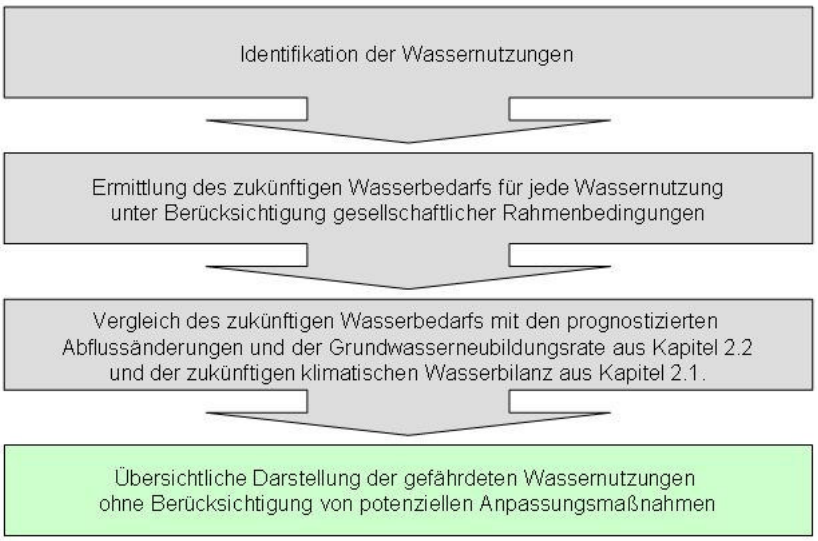


Abbildung 52: Ablaufschema zur Ermittlung der potenziellen Auswirkungen auf die Wassernutzungen

Identifikation der Wassernutzungen

Wassernutzungen im Einzugsgebiet können je nach betrachteter Region vielfältig sein. Abbildung 54 gibt einen Überblick möglicher Wassernutzungen.

Abbildung 53: Mögliche Wassernutzungen (verändert nach Wupperverband 2008 b)

Der Klimawandel beeinflusst u.a. das Auftreten von Extremen (Spekat et al. 2007). In Bezug auf die Wassernutzungen sind dies hauptsächlich Niedrig- und Hochwasserer-

eignisse. Die Veränderung der Niedrigwasserereignisse bzw. des mittleren Niedrigwasserabflusses hat wiederum Einfluss auf die Grundwasserstände. Im Folgenden werden die Wassernutzungen dargestellt, die von diesen drei Größen abhängig sind.

Niedrigwasserabfluss

Sinkt der mittlere Niedrigwasserabfluss unter bestimmte Schwellenwerte, ist mit Beeinträchtigungen in den Bereichen

- Wasserversorgung,
- Wasserkraftnutzung,
- Binnenschifffahrt und
- ökologischer Gewässerzustand

zu rechnen. Die Wasserversorgung betrifft die Bereiche Wärmekraftwerke, Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe sowie Landwirtschaft und die öffentliche Wasserversorgung, wobei das Einleiten von Kühlwasser wiederum Einfluss auf den ökologischen Gewässerzustand nimmt.

Grundwasserstand

In engem Zusammenhang mit Niedrigwasser steht der Grundwasserspiegel. Treten längere Dürreperioden auf, so wird der Grundwasserspeicher zwangsläufig abnehmen. Da ein Großteil der deutschen Wassergewinnung, insbesondere der Trinkwassergewinnung, aus dem Grundwasserspeicher erfolgt, ist auch hier die Wasserversorgung betroffen.

Hochwasserabfluss

Neben den extremen Trockenperioden werden auch verstärkt Starkniederschläge auftreten (Zebisch et al. 2005). Dies wird zu vermehrten Hochwasserereignissen führen. Davon betroffen sind innerhalb des betrachteten Bereichs der Wassernutzungen die Wasserkraftnutzung und die Binnenschifffahrt.

In diesem Zusammenhang werden auch Hochwasserschutzaspekte berücksichtigt, soweit sie Einfluss auf die Wassernutzungen haben.

3.2 Konzept zur differenzierten Abschätzung der Anpassungskapazität der Wasserwirtschaft

Aufbauend auf der Übersicht aus Kapitel 3.1, welche die gefährdeten Wassernutzungen ohne Berücksichtigung von potenziellen Anpassungsmaßnahmen darstellt, werden hier wasserwirtschaftliche Anpassungskapazitäten an den Klimawandel für die jeweiligen Wassernutzungen aufgezeigt.

Da die Ermittlung der jeweiligen Anpassungskapazität sehr komplex ist, kann diese nicht allein auf Basis von Modellrechnungen erfolgen. Vielmehr müssen die Ergebnisse einer Expertenbefragung, welche vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und dem Umweltbundesamt (UBA) im Herbst 2007 durchgeführt wurde, sowie teilweise ergänzende Stakeholderbefragungen in Brennpunktregionen und weitere Fachliteratur ausgewertet werden.

Faktoren, die maßgeblichen Einfluss auf die Auswahl von Anpassungsmaßnahmen haben, jedoch nur regional bestimmbar sind, wie z.B.

- Nutzwert,
- Standortbedingungen,
- Nutzungskonkurrenzen,
- Umsetzbarkeit,
- monetäre Größen u.a.

können in der deutschlandweiten Abschätzung der Anpassungskapazität nicht mit einfließen, da sie maßgeblich von den Bedingungen vor Ort abhängen.

Aufgabenstellung in diesem Kapitel ist es, mögliche Anpassungskapazitäten an den Klimawandel in Form von potenziellen Anpassungsmöglichkeiten und gegebenenfalls auch von konkreten Anpassungsmaßnahmen aufzuzeigen, die die Bandbreite der untersuchten Klimaszenarien abdecken.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass in diesem Kapitel keine Vermeidungsmaßnahmen vorgestellt werden, die das Fortschreiten des Klimawandels beeinflussen (z.B. CO_2-reduzierende Maßnahmen etc.).

3.3 Wasserversorgung

Im langjährigen Mittel stehen Deutschland pro Jahr rund 188 Milliarden Kubikmeter Wasser zur Verfügung. Dem gegenüber steht eine Wasserentnahme aller Wassernutzungen im Jahr 2004 von ca. 35,6 Mrd. Kubikmeter (ohne Mehrfachnutzung). Demzufolge wurden in diesem Jahr insgesamt nur 19 % des jährlichen Wasserdargebotes dem Wasserkreislauf entnommen und nach Gebrauch wieder zugeführt, mit Ausnahme des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs, welcher zum großen Teil verdunstet (BDEW 2007).

Die Wärmekraftwerke stellen dabei mit ca. 22,5 Mrd. m³ pro Jahr den mit Abstand größten Wassernutzer dar. Verwendet wird hierzu fast ausschließlich Oberflächenwasser, das überwiegend für Kühlzwecke verwendet wird.

Der Bergbau, das verarbeitende Gewerbe und die Landwirtschaft nutzten im Jahr 2004 rund 7,7 Mrd. m³. Die öffentliche Wasserversorgung benötigt ca. 5,4 Mrd. m³ (Abbildung 54).

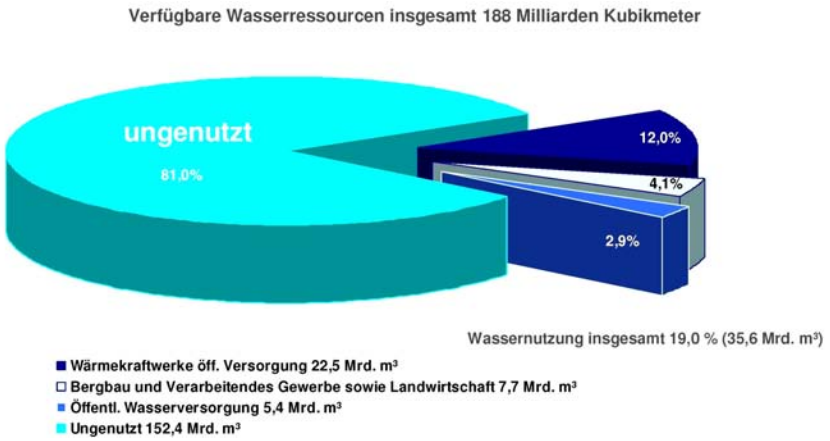


Abbildung 54: Verfügbare Wasserressourcen in Deutschland im Jahr 2004 (BDEW 2007 & Statistisches Bundesamt 2006a)

Da deutschlandweit etwa 81 % des gesamten Wasserdargebotes nicht genutzt werden, erscheint die Wasserressourcensituation in Deutschland heute insgesamt sehr günstig. Jedoch sind Wasserdargebot und Wasserbedarf nicht gleichmäßig in Deutschland verteilt, so dass es bereits heute Regionen gibt, in denen während lang andauernder Trockenperioden, Wassermangel herrscht (Zebisch et al. 2005). Ausreichende Wasserquantität bedingt zudem nicht zwangsläufig eine ausreichende Wasserqualität.

Es ist daher Aufgabe der Wasserversorgung, den Wasserbedarf der Haushalte, der öffentlichen Einrichtungen, der Betriebe und der Landwirtschaft sicherzustellen. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem erforderlichen Volumen (Quantität) und der entsprechenden Beschaffenheit (Qualität). Die Anforderungen unterscheiden sich hinsichtlich der unterschiedlichen Wassernutzungen (Trinkwasser, Brauchwasser, Bewässerung).

Eine nicht ausreichende Wasserversorgung kann gravierende Folgen haben. So musste beispielsweise die Landwirtschaft im Trockenjahr 2003 mit Ernteeinbußen von bis zu 80 % auskommen. Besonders betroffen waren Betriebe insbesondere in Ostdeutschland, im Land Brandenburg sowie in Süddeutschland (BfG 2006).

Im Folgenden wird der Wasserbedarf näher erläutert und dem Wasserdargebot gegenübergestellt.

3.3.1 Wasserbedarf und Wasserdargebot heute

Die Wasserversorgung in Deutschland erfolgt überwiegend aus Grund-, Quell- und Oberflächenwasser sowie aus Uferfiltrat (Tabelle 11).

Tabelle 11: Wassergewinnung und Wasserbezug in Deutschland (Statistisches Bundesamt 2007, verändert)

Jahr	Wassergewinnung insgesamt [Mill. m³]		davon Grundwasser und Quellwasser		davon Oberflächenwasser und Uferfiltrat	
1998	40.428		6.013	15%	33.837	84%
2001	38.006		5.652	15%	31.802	84%
2004	35.557		6.059	17%	29.524	83%
Verteilung nach Ländern (2004)						
Baden-Württemberg	5.302	14,9%	603	11%	4.700	89%
Bayern	4.162	11,7%	1.094	26%	3.070	74%
Berlin	618	1,7%	218	35%	399	65%
Brandenburg	642	1,8%	392	61%	250	39%
Bremen	1.063	3,0%	17	2%	1.045	98%
Hamburg	559	1,6%	132	24%	427	76%
Hessen	4.961	14,0%	390	8%	4.571	92%
Mecklenburg-Vorpommern	116	0,3%	83	72%	32	28%
Niedersachsen	3.709	10,4%	577	16%	3.132	84%
Nordrhein-Westfalen	5.770	16,2%	1.452	25%	4.319	75%
Rheinland-Pfalz	2.159	6,1%	289	13%	1.871	87%
Saarland	226	0,6%	91	40%	136	60%
Sachsen	607	1,7%	284	47%	324	53%
Sachsen-Anhalt	358	1,0%	120	34%	239	67%
Schleswig-Holstein	5.124	14,4%	201	4%	4.922	96%
Thüringen	182	0,5%	93	51%	89	49%

Lag die Wassergewinnung 1998 noch bei über 40 Mrd. m³, so verringerte sich diese bis zum Jahr 2004 auf gut 35 Mrd. m³. Die Wassergewinnung spiegelt dabei den Wasserbedarf der jeweiligen Region wider, der sich bei statistischen Auswertungen in die Bereiche öffentliche Wasserversorgung, Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden, verarbeitendes Gewerbe inklusive Landwirtschaft und Wärmekraftwerke für die öffentliche Versorgung unterteilt (Tabelle 12). Hierbei ist die Gewinnungsart jedoch unterschiedlich.

Die öffentliche Wasserversorgung, inklusive der Trinkwasserversorgung, bezieht das benötigte Wasser zu rund 74 % des Bedarfs aus Grund- oder Quellwasser. Hingegen decken Wärmekraftwerke, die den größten Anteil an der Wassernutzung in Deutschland aufweisen (rd. 63 % im Jahr 2004), ihren gesamten Bedarf aus Oberflächenwasser und Uferfiltrat (Statistisches Bundesamt 2007).

Die öffentliche Wasserversorgung versorgt überwiegend Haushalte (ca. 80 %) und Kleingewerbe. Die verbleibende Menge wird an größere gewerbliche Unternehmen und sonstige Abnehmer, wie z.B. Schulen, Behörden und Krankenhäuser, geliefert (UBA 2008). Der Bergbau und das verarbeitende Gewerbe setzen sich im Wesentlichen aus der chemischen Industrie (Anteil ca. 47 %), gefolgt von Bergbau, Metallerzeugung und Papiergewerbe zusammen (Statistisches Bundesamt 2007).

Zu den Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung gehören vor allem Anlagen für die Elektrizitäts- und Fernwärmeversorgung. Dabei benötigt die Elektrizitätsversorgung den mit Abstand größten Wasseranteil (ca. 22 Mrd. m³, Statistisches Bundesamt 2004, Tabelle 12).

Tabelle 12: Verteilung nach Wasserbezug (Statistisches Bundesamt 2007, verändert)

Verteilung nach Wasserbezug (2004)	Wassergewinnung insgesamt [Mill. m³]		davon Grundwasser und Quellwasser		davon Oberflächenwasser und Uferfiltrat	
Öffentliche Wasserversorgung	5.372	15,1%	3.953	74%	1.419	26%
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	2.303	6,5%	1.174	51%	1.129	49%
Verarbeitendes Gewerbe	5.412	15,2%	869	16%	4.543	84%
Wärmekraftwerke für die öffentliche Versorgung	22.470	63,2%	63	0%	22.433	100%
Gesamt	35.557	100,0%	6.059	17%	29.524	83%

Wärmekraftwerke

Wärmekraftwerke benötigen Wasser überwiegend zu Kühlzwecken. Bei den Kühlverfahren kann prinzipiell eine Differenzierung nach Durchlaufkühlung, Kreislaufkühlung und Ablaufkühlung vorgenommen werden.

Bei Durchlaufkühlung wird Wasser aus einem Fluss, See oder dem Meer entnommen, mechanisch gereinigt, zur Kühlung im Kondensator benutzt und wieder in nahezu gleicher Menge in das Gewässer eingeleitet. Bei der Kreislaufkühlung wird das im Kondensator erwärmte Wasser in einem Kühlturm rückgekühlt und wieder dem Kondensator zugeleitet. Somit zirkuliert das Kühlwasser zwischen dem Kondensator und dem Kühlturm. Dadurch wird deutlich weniger Wasser als bei der Durchlaufkühlung benötigt. Nachteilig sind jedoch die höheren Investitionskosten und die geringeren Wirkungsgrade.

Die Ablaufkühlung erfolgt ähnlich der Durchlaufkühlung, jedoch wird vor der Rückleitung des Wassers ins Gewässer ein Kühlturm zwischengeschaltet. Der Kühlturm wird hierbei genutzt, um die Temperatur des Kühlwassers weiter abzusenken. Tabelle 13 gibt Anhaltswerte für die erforderliche Wassermenge.

Tabelle 13: Benötigte Wassermengen eines thermischen Kraftwerks für die Elektrizitätserzeugung (Rothstein et al. 2008, verändert)

Verfahren	Wasserbedarf pro 1.000 MW Kraftwerksleistung	Verwendungszweck	Anmerkung
Durchlaufkühlung	50 m³/s (bzw. 180.000 m³/h)	Übertragung der Kondensationswärme im Kondensator auf das Kühlwasser	Geringere Qualitätsanforderungen als an das Speisewasser; dieses Verfahren gestattet höchste energetische Ausnutzung der zur Stromerzeugung eingesetzten Brennstoffe
Kreislaufkühlung (Wasser-Dampf-Kreisläufe) (Kühlturm)	Einmalig: 1.000 bis 2.000 m³ Wasser; Laufender Verbrauch: 4 bis 10 m³/h Speisewasser	Füllung der Kessel bzw. des Kühlkreislaufs incl. der für Notfälle gespeicherten Mengen (einmalig). Ausgleich von Wasser- und Dampfverluste (laufender Verbrauch)	Verwendung von entsalztem Wasser, hohe Reinheitsanforderungen; ständige Reinigung während des Betriebs erforderlich
Ablaufkühlung (Kühlturm)	0,3 bis 0,6 m³/s (bzw. 1080 bis 2160 m³/h); Zusätzlich ggf. noch Ergänzungswasser: ca. 0,3 m³/s (bzw. 1080 m³/h); Wasserbedarf insgesamt also 0,3 bis 0,9 m³/s (bzw. 1080 bis 3240 m³/h)	Übertragung der Kondensationswärme im Kondensator auf das Kühlwasser; Ergänzungswasser wird benötigt, damit sich die in den Gewässern mitgeführten Schwebstoffe und Salze im Kühlwasserkreislauf nicht zu stark anreichern	Die Menge des Wassers, die durch den Kühlturm entweicht, hängt direkt von der momentanen Leistung des Kraftwerks ab (proportional)

Inwiefern sich ein geändertes Wasserdargebot auf die Energieerzeugung auswirken kann, haben u.a. Müller et al. (2007, 2008) am Beispiel des Trockenjahres 2003 analy-

siert. Abbildung 55 zeigt, dass während dieses Extremsommers bis zu 15 thermische Kraftwerke in Deutschland zu einer Leistungsreduktion aufgrund wasserrechtlicher Bestimmungen (Überschreitung der Kühlwasserentnahmemenge oder Überschreitung der Wassereinleitungstemperatur) gezwungen waren. Ebenso hatten im Jahr 2006 bis zu 12 Kraftwerke Leistungseinbußen aufgrund von lang anhaltender Trockenheit (Rothstein et al. 2008). Tabelle 14 zeigt eine Auswahl an Wärmekraftwerken, die während der Hitzewelle im Jahr 2003 Leistungseinbußen zu verzeichnen hatten.

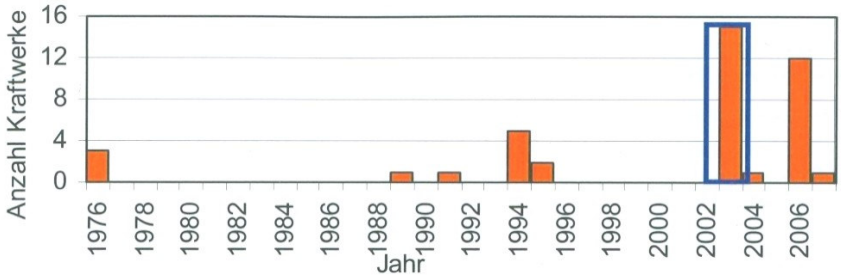


Abbildung 55: Leistungseinschränkung thermischer Kraftwerke in Deutschland aufgrund wasserrechtlicher Bestimmungen (Rothstein et al. 2008, verändert nach Müller et al. 2008)

Tabelle 14: Leistungsrückgänge einiger konventioneller Kraftwerke in Deutschland im Sommer 2003 (Lönker 2003, BfG 2006)

Atom- und Kohlekraftwerke	Leistung gedrosselt in Prozent
Brunsbüttel	- 15
Unterweser	- 70
Stade	- 30
Brokdorf	- 3
Krümmel	- 40
Voerde	- 50
Walsum	- 50
Lünen	- 50
Philippsburg I und II	- 20
Neckarwestheim Block I	- 20
Isar	- 50

An großen Flüssen, wie beispielsweise am Rhein, ist das Wasserdargebot auch zu Niedrigwasserzeiten so groß, dass Grenzwerte für die Wasserentnahme i.d.R. nicht

unterschritten werden und negative Auswirkungen auf die ökologischen Verhältnisse nicht zu befürchten sind (Rothenstein et al. 2008).

Für einige Kohlekraftwerke im Ruhrgebiet ergab sich im Jahr 2003 infolge niedriger Pegelstände das Problem, dass aufgrund der geringen Wassertiefe eine volle Beladung der Binnenschiffe nicht möglich war. Somit konnte über den Wasserweg weniger Kohle zur Verstromung geliefert werden als benötigt wurde (BfG 2006, Hauff & Kluth 2006; Lönker 2003).

Diese Beispiele zeigen, dass bereits heute auf dem Sektor der Energieversorgung während bestimmter Extremsituationen der Wasserbedarf größer als das Wasserdargebot sein kann.

Öffentliche Wasserversorgung

Die öffentliche Wasserversorgung in Deutschland erfolgte im Jahr 2004 mit rund 74 % aus Grund- und Quellwasser. Weitere 12 % wurden aus Seen und Talsperren entnommen. Angereichertes Grundwasser, welches überwiegend aus planmäßig versickertem Oberflächenwasser besteht und nach einer natürlichen Bodenpassage wieder zu Tage gefördert wird, machte rund 8,0 % aus. Der Anteil des Uferfiltrats betrug rund 5,3 %, der des Flusswassers 1,1 %. Nach Aufbereitung stehen diese Mengen für die Trinkwasserversorgung zur Verfügung (Abbildung 56).

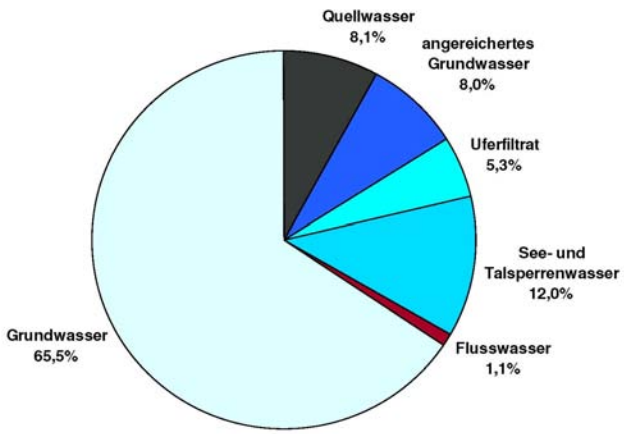


Abbildung 56: Wasserförderung nach Wasserarten 2004 (BDEW 2007)

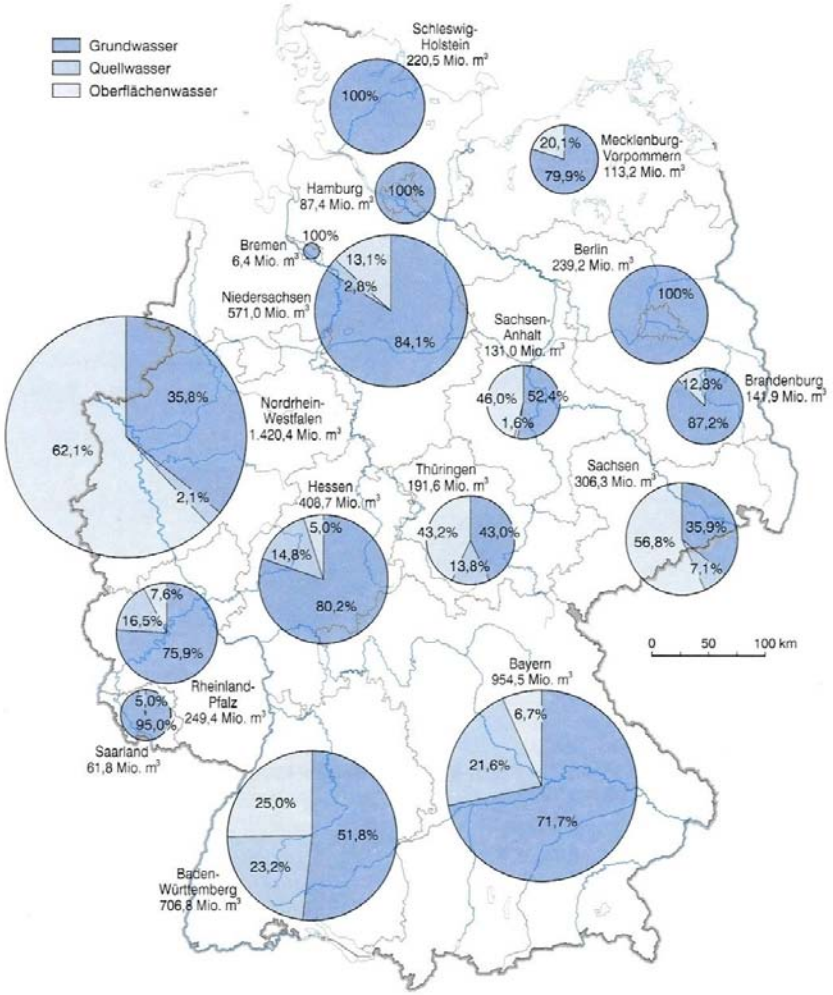


Abbildung 57: Wassergewinnung für die öffentliche Wasserversorgung nach Wasserarten in den Bundesländern 1995 (BMU 2003)

In Abbildung 57 ist die Wassergewinnung für die öffentliche Wasserversorgung differenziert nach Bundesländern dargestellt. Das Uferfiltrat ist dabei unter der Gewinnungsart Grundwasser enthalten. Die öffentliche Wasserversorgung benötigte im Jahr 2004 mit rund 5,372 Mio. m³ lediglich ca. 15.1 % der gesamten Wassergewinnung (siehe Tabelle 12).

Die Konzentration der öffentlichen Anlagen ist in der Nähe von Ballungsräumen wie dem Ruhrgebiet, dem Rhein-Main-Neckar-Raum, Hamburg und Berlin oder bei Bergbaugebieten in der Nieder-/Oberlausitz oder in der Leipziger Tieflandsbucht am höchsten (Abbildung 58). Die meisten größeren Talsperren liegen in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Thüringen. Die Talsperren dienen jedoch nicht nur der Trinkwassergewinnung, sondern auch zur Betriebswasserversorgung, dem Hochwasserschutz, der Erhöhung des Niedrigwasserabflusses in Vorflutern zur Verbesse-

rung von Wasserqualität und der Schifffahrt, der Energiegewinnung und für Wassersport, Freizeit und Erholung. In Abbildung 58 ist zudem das deutsche Fernwasserleitungsnetz dargestellt, das sehr ausgeprägt im Ruhrgebiet, in Leipzig, Magdeburg, München, Nürnberg und Stuttgart vorhanden ist. Insbesondere wird der Raum Stuttgart durch ein weit verzweigtes Fernwasserleitungsnetz versorgt, das den Großteil des Wasserbedarfs aus dem Bodensee und dem Donauried entnimmt.

Der gesamte Wasserbedarf der Landwirtschaft betrug im Jahr 2002 rd. 163 Mio. m^3. Davon wurden 142 Mio. m^3 durch Eigengewinnung entnommen (33 Mio. m^3 aus Oberflächengewässern und 109 Mio. m^3 aus Grund- und Quellwasser, BMU 2008b). Im Vergleich zur öffentlichen Wasserversorgung ist der landwirtschaftliche Bedarf sehr gering. Deutschland ist somit von einer bewässerungsabhängigen Landwirtschaft weit entfernt, jedoch lassen die Klima-Voraussagen erwarten, dass eine verstärkte Bewässerung bzw. Beregnung notwendig wird (Köster 2008).

Trotz des hohen Wasserdargebotes in Deutschland müssen bereits heute einige Regionen (z.B. Brandenburg, Franken, östlicher Harz) als wasserarm bezeichnet werden. Dies ist vor allem auf die regional unterschiedliche Verteilung des Niederschlagsaufkommens zurückzuführen. Überwiegend in den östlichen Bundesländern ist das Wasserdargebot schlechter als in den westlichen Bundesländern. So ist zum Beispiel das Land Brandenburg zwar durch Gewässerreichtum gekennzeichnet. das geringe Niederschlagsvolumen reicht jedoch meist nicht aus, um von Trockenheit und Dürren zu verhindern. Die meteorologisch bedingte Wasserarmut in der Region wird teilweise durch anthropogene Einflüsse wie großräumige Grundwasserabsenkungen im Rahmen der Braunkohleförderung und Moorentwässerung verstärkt (LUA 2006).

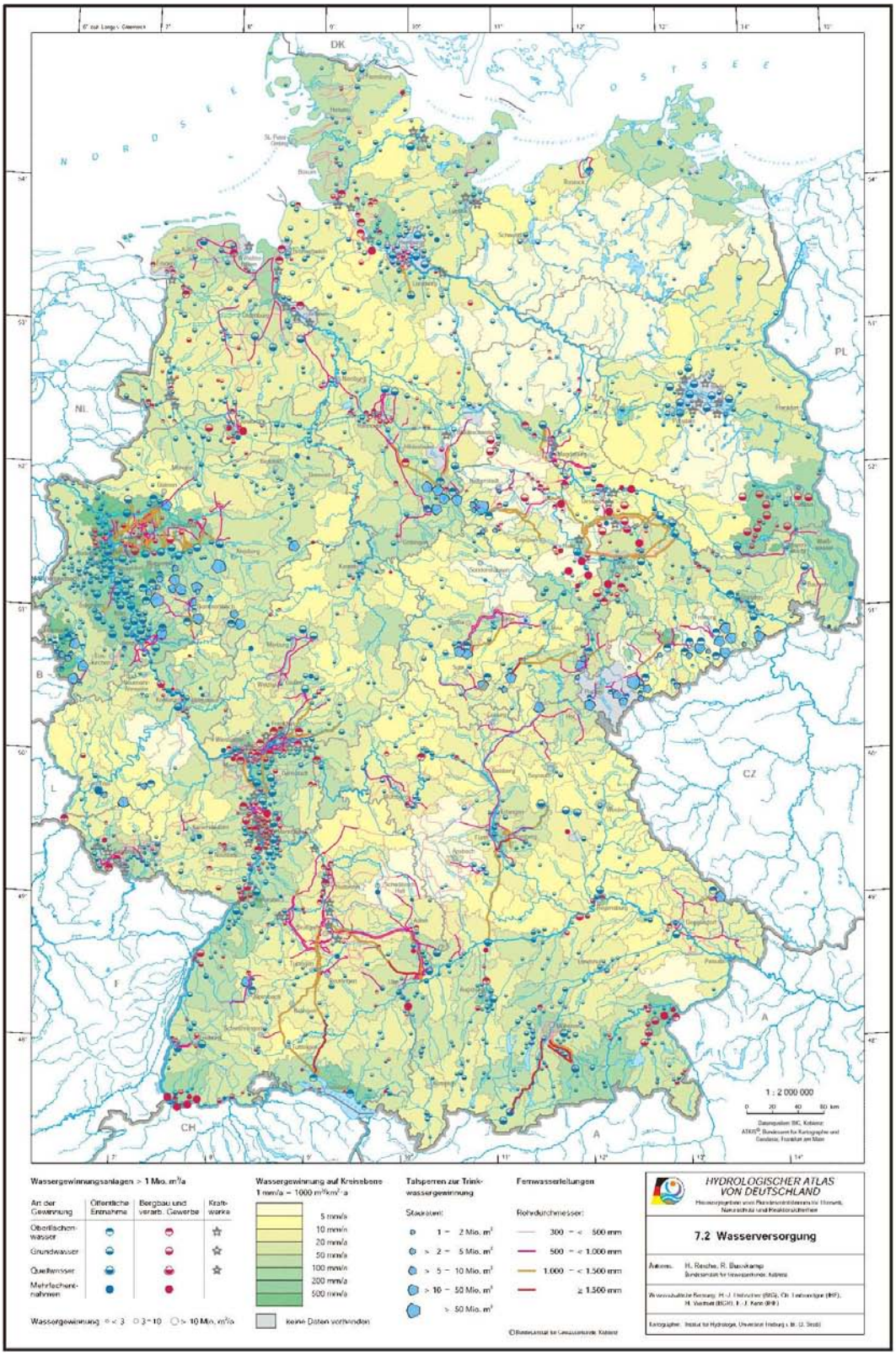


Abbildung 58: Wasserversorgung in Deutschland (BMU 2003)

3.3.2 Wasserbedarf und Wasserdargebot zukünftig

Derzeit liegen noch keine flächendeckenden, deutschlandweiten Prognosen über den zukünftig zu erwartenden Wasserbedarf der Wasserversorgungseinrichtungen vor. Die Ermittlung des zukünftigen Wasserbedarfs ist sehr aufwändig und hängt von vielen Faktoren ab. So sind der sozioökonomische Wandel und die damit verbundene Entwicklung der Bevölkerung, Industrie und Energiegewinnung entscheidend. Jedoch sind auch klimatische Faktoren, wie die prognostizierte Temperaturerhöhung von großer Bedeutung für den Wasserbedarf beispielsweise von Wärmekraftanlagen. Um dennoch abschätzen zu können, wie sich der Wasserbedarf entwickeln könnte, müssen vorhandene Prognosen verwendet werden, die zumindest einen Teilbereich der Einflussgrößen abdecken. Das Statistische Bundesamt hat mit Unterstützung des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung im Jahr 2006 mögliche Zukunftsvarianten der Bevölkerungsentwicklung in Deutschland bis zum Jahr 2050 veröffentlicht, die neben dem Wasserbedarf der öffentlichen Wasserversorgung auch Rückschlüsse auf eine mögliche gewerbliche und industrielle Entwicklung zulassen (Statistisches Bundesamt 2006b). Aus einem Vergleich des so veranschlagten Wasserbedarfs und dem in Kapitel 2 erläuterten Wasserdargebot kann der zukünftige Zustand der Wasserversorgung dargestellt werden.

<u>Bevölkerungsvorausberechnung</u>

Die Bevölkerungsentwicklung beschreibt die quantitative Entwicklung als auch die regionale Verteilung der Bevölkerung. Grundlage für regionalisierte Bevölkerungsszenarien bilden die Geburten- und Sterberaten (natürliche Bevölkerungsentwicklung) und das angenommene Wanderungssaldo (Zu- und Fortzüge).

Das Statistische Bundesamt veröffentlichte im November 2006 die 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung bis zum Jahr 2050. Die darin enthaltenen 12 Szenarien unterscheiden sich in den unterschiedlichen Annahmen zur Geburtenhäufigkeit, zur Lebenserwartung und zum Saldo der Zuzüge nach und der Fortzüge aus Deutschland. Abbildung 59 zeigt den Bevölkerungsverlauf bis zum Jahr 2050 graphisch. Alle dargestellten Varianten sagen eine deutliche Bevölkerungsabnahme bis zum Jahr 2050 voraus.

In Deutschland lebten Ende des Jahres 2005 rund 82,4 Millionen Menschen. Wird vorausgesetzt, dass sich die Geburtenhäufigkeit fast konstant verhält, die Lebenserwar-

tung der Männer um 7,6 Jahre und der Frauen um 6,5 Jahre ansteigt und ein Wanderungssaldo von +100.000 Personen („mittlere“ Bevölkerung, Untergrenze) erreicht wird, sinkt die Bevölkerungszahl bis zum Jahr 2050 auf knapp 69 Millionen Menschen (Variante 1-W1). Das sind rund 14 Millionen Menschen weniger als im Jahr 2005, was etwas unter dem Niveau des Jahres 1950 liegt.

Geht man von einem höheren Wanderungssaldo („mittlere“ Bevölkerung, Obergrenze), d.h. + 200.000 Menschen bis zum Jahr 2050 aus, wird der Bevölkerungsrückgang etwas langsamer sein. Unter Berücksichtigung dieser Annahme werden im Jahr 2050 rund 74 Millionen Menschen in Deutschland leben, d.h. ca. 8 Millionen weniger als im Jahr 2005 (Variante 1-W2). Die Szenarien zeigen einen deutlichen Bevölkerungsrückgang bis zum Jahr 2050 auf, sofern sich die aktuelle demografische Entwicklung nicht grundlegend ändert (Statistisches Bundesamt 2006b, BBR 2009).

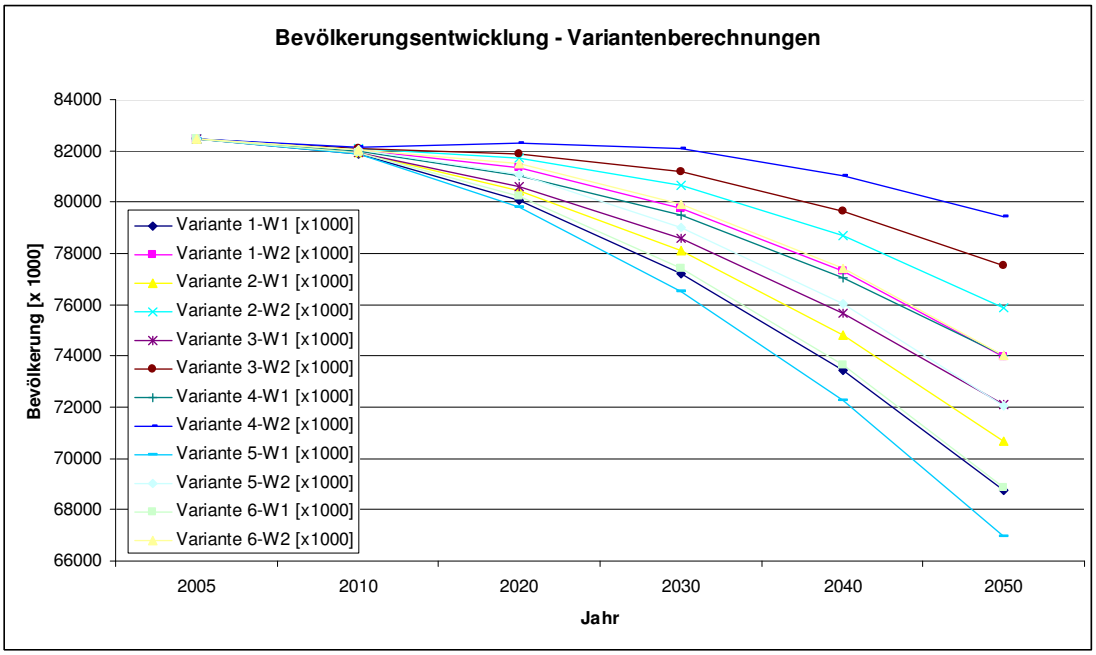


Abbildung 59: Bevölkerungsentwicklung in Deutschland – Varianten (eigene Darstellung nach Statistisches Bundesamt 2006b)

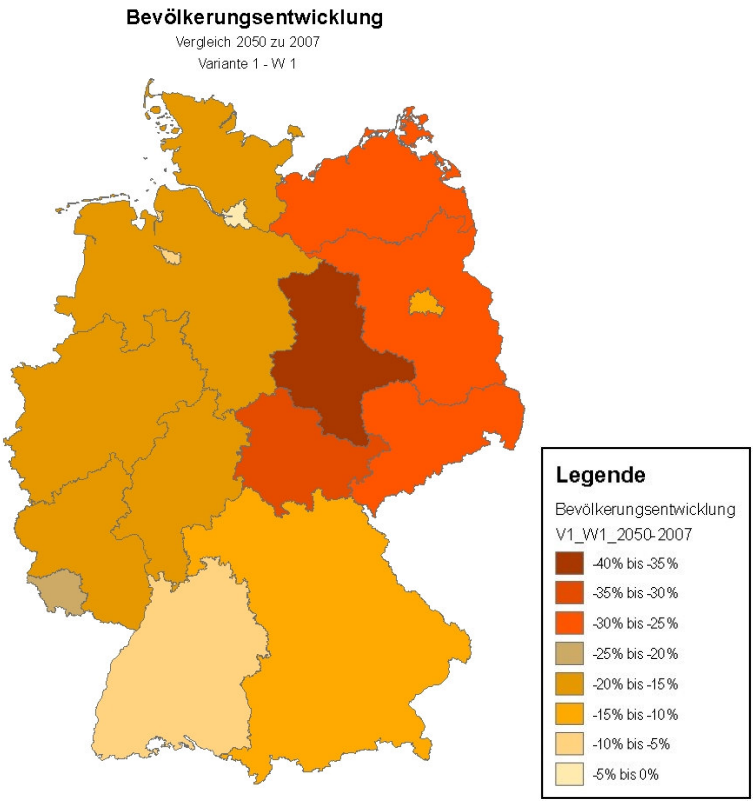


Abbildung 60: Bevölkerungsentwicklung in Deutschland bis 2050, Variante 1 - W1 (eigene Darstellung, Daten aus: Statistisches Bundesamt 2006b)

Die Abbildung 60 zeigt die Bevölkerungsentwicklung in Deutschland bis zum Jahr 2050, getrennt nach Bundesländern am Beispiel der Variante 1 - W1 („mittlere“ Bevölkerung, Untergrenze). Die Bevölkerungsabnahme erfolgt, mit Ausnahme von Berlin, überwiegende in Ostdeutschland. Hier sind Rückgänge von bis zu 35 %, bezogen auf das Jahr 2007, zu erwarten. Im süddeutschen Raum ist die Abnahme mit rund 10 % dagegen relativ gering. Dieser Trend, also eine prozentual höhere Abnahme im Osten, lässt sich für andere Szenarien ebenfalls feststellen.

Dieser Variante (Abbildung 60) ist die Annahme zu Grunde gelegt, dass sich die Entwicklung und Verteilung der Industrie- und Gewerbeanlagen der Bevölkerungsentwicklung anpassen wird. Ein Rückgang im östlichen Teil Deutschlands bedeutet somit ebenfalls eine Reduzierung von Industrie und Gewerbe in Ostdeutschland und damit eine Veränderung im Wasserbedarf. Es ist davon auszugehen, dass der Bedarf, bezogen auf heutige klimatische Verhältnisse für die öffentliche Wasserversorgung, in Ostdeutschland rückläufig sein wird (z.B. in Sachsen-Anhalt). Die hydrologischen Untersu-

chungen aus Kapitel 2.3 zeigen, dass gerade in Ostdeutschland zukünftig mit einem verringerten Wasserdargebot zu rechnen ist.

In einigen Bundesländern wurden bereits die Auswirkungen des Klimawandels auf die (Trink-)Wasserversorgung aus Grundwasser und Oberflächenwasser untersucht, und können daher im Folgenden zusammengefasst dargestellt werden. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass meistens unterschiedliche Regionalisierungsverfahren zur Anwendung kamen, so dass teilweise gegensätzliche Aussagen getroffen werden. Zudem wird anhand des Trockenjahres 2003 aufgezeigt, mit welchen Folgen aufgrund länger andauernder Hitzeperioden zukünftig vermehrt zu rechnen ist.

Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung aus Grundwasser

Da die Auswirkungen des Klimawandels auf die Neubildung und die Qualität des Grundwassers und somit auf die Wasserversorgung deutschlandweit noch nicht ausreichend untersucht wurden, ist die Entwicklung der Grundwasserstände relativ ungewiss (Beierkuhnlein 2008, Kurzfassung).

Beispielsweise führte das Land Hessen im Jahr 2005 umfangreiche Untersuchungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasserbeschaffenheit durch. Die Berechnungen basieren auf dem B2 Szenario des ECHAM 4 Globalmodells. Das Downscaling wurde mittels statistischer Regionalisierungsmethoden durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich bis zum Jahr 2050 die Grundwasserneubildungsraten bis zu 25 % im Vergleich zur Referenzperiode von 1971-2000 erhöhen (Berthold & Hergesell 2005). Folgen dieser Klimaverschiebung (feuchte, milde Winter und trockene, wärmere Sommer) und der erhöhten Grundwasserneubildungsrate wären jedoch erhöhte Nitratanreicherungen des Oberbodens sowie eine Nitratverlagerung. Dadurch ist in Zukunft mit einem erhöhten Nitrateintrag in die Grundwasserleiter zu rechnen, was wesentlichen Einfluss auf die Trinkwasserqualität haben könnte (Berthold & Hergesell 2005).

Auswirkungen auf die (Trink-)Wasserversorgung aus Oberflächenwasser (Speicher)

Die Trockenperiode im Jahr 2003 zeigte die Verwundbarkeit der Wasserwirtschaft bezüglich ausbleibenden Niederschlags verbunden mit sehr hohen Durchschnittstemperaturen. Im Folgenden werden Beispiele dieses Extremjahres aufgezeigt, die einen Vergleich zu möglichen Folgen des zukünftigen Klimawandels zulassen. Ergänzt wer-

den sie durch verschiedene Studien, in denen Klimafolgen hinsichtlich der Wasserversorgung behandelt wurden.

Beispiele aus Bayern:

An der Donau durfte im Trockenjahr 2003 während der Monate August und September für mehrere Wochen kein Wasser für die Überleitung ins Regnitzgebiet entnommen werden, weil der festgelegte Grenzwert von 140 m^3/s unterschritten wurde. Für die Niedrigwasseraufhöhung der Isar mussten 76 % des Sylvenstein-Speichers (Bayern) in Anspruch genommen werden. Am Rottachsee (Allgäu), der u.a. zur Aufhöhung der Iller dient, musste etwa für 3 Wochen zur Absenkung der Wassertemperatur Wasser abgegeben werden. Zur Verbesserung des Niedrigwasserhaushalts der Sächsischen Saale wurden 4,2 Mio. m^3 aus der Förnitztalsperre (10 Mio. m^3) bereitgestellt. Die Trinkwassertalsperren in Mauthaus (Oberfranken) wurde bis zu einem Niveau von 63 % der maximalen Füllung beansprucht. Ebenso musste die Trinkwassertalsperre Frauenau (15 Mio. m^3), die weite Teile des Bayerischen Waldes versorgt und zudem die Niedrigwasseraufhöhung des Kleinen Regens gewährleistet, im Sommer 2003 auf ebenfalls rund 63 % abgesenkt werden (Abgabe knapp 3 Mio. m^3) (BfG 2006).

Beispiele aus Brandenburg:

Für die Niedrigwasseraufhöhung der Spree stehen die Talsperre Spremberg in Brandenburg und die Talsperren Bautzen und Quitzdorf sowie der Speicher Lohsa in Sachsen zur Verfügung. Insgesamt ergibt dies einen Stauraum von 53,5 Mio. m^3. Im Extremjahr 2003 wurde zunächst versucht, den Zuschussbedarf durch die Spremberg-Talsperre abzudecken. Ab Juni bis Ende September mussten zusätzlich 25 Mio. m^3 aus der sächsischen Talsperre Bautzen zur Talsperre Spremberg abgegeben werden. Anfang September war dieses Speichervolumen verbraucht, ohne dass das Aufhöhungsziel am Spreepegel Leibsch eingehalten werden konnte. Weitere 5 bewirtschaftete Seen im Land Brandenburg an den Havelgewässern und Speicher im Rhin- und im Dossegebiet konnten jedoch, trotz voller Nutzung, teilweise auftretende negative Abflüsse beispielsweise in der Havel nicht verhindern (Umkehrung der Fließrichtung). Abhilfe schaffte hier eine zeitweilige Überleitung von Elbwasser über den Elbe-Havel-Kanal (BfG 2006).

Beispiele aus Hessen:

Die Edertalsperre in Hessen dient zur Niedrigwasseraufhöhung in der Oberweser und zur Speisung des Mittellandkanals bei Minden. Im März 2003 war das nutzbare Volumen durch die hohen Zuflüsse im Winter gefüllt. Zwischen Mai und August wurde das vorhandene Stauvolumen von 182 Mio. m³ (nutzbare Anteil von ges. 218 Mio. m³) auf 40 Mio. m³ abgelassen. Bis zum Dezember erfolgte eine weitere Absenkung bis ca. 20 Mio. m³. Über negative Folgen wurde nicht berichtet. Das Ereignis konnte als 15- bis 20-jährliches Ereignis eingestuft werden (BfG 2006).

Beispiele aus Sachsen:

Der Freistaat Sachsen hat 2005 eine Studie in Auftrag gegeben, die den Einfluss des Klimawandels auf die Wasser(kraft)nutzung darstellt. Kernaussage der Studie ist, dass mit der projizierten Klimaänderung in den kommenden Jahrzehnten gravierende Auswirkungen auf die Bewirtschaftung der Talsperren zu erwarten sind. Aus der Abnahme des Jahresniederschlages bei gleichzeitiger Zunahme der mittleren Jahrestemperatur und Verdunstung resultiert eine Reduzierung der mittleren Talsperrenzuflüsse bis hin zur Minderung der Leistungsfähigkeit für Rohwasserabgaben der Talsperren (Küchler 2005). Dies wurde am Talsperrensystem Klingenberg/Lehnmühle an der Wilden Wießeritz im Osterzgebirge deutlich. Hier wurden Speicherbewirtschaftungsberechnungen mittels Klimaszenarien durchgeführt, die im Vergleich zum derzeitigen Zustand gravierende Folgen für die zukünftige Bewirtschaftung aufzeigen. Durch ein verringertes Niederschlagsdargebot und daraus folgend eine Verringerung des Zuflusses zum Speicher und der Erhöhung der Verdunstung infolge der Temperaturerhöhung kann wahrscheinlich zukünftig die Trinkwasserversorgung aus dem Klingenbergspeicher nicht mehr zu heutigen Verhältnissen sichergestellt werden. Anpassungsmaßnahmen sind daher erforderlich (Küchler 2005).

Auswertungen der Landestalsperrenverwaltung (ges. 115 Stauanlagen mit ca. 508 Mio. m³ Stauvolumen) haben für das Trockenjahr 2003 gezeigt, dass als Mittelwert für 33 Speicher ein Füllungsgrad von 90 % im Mai 2003 erreicht wurde und dieser sich bis zum November und Dezember auf fast 64 % verringerte. Der Durchschnittswert der 10 Jahre davor betrug rund 80 %. Im Jahr 2003 bediente das Talsperrensystem die Wasserkraftnutzung mit 50 Mio. m³, die Niedrigwasseraufhöhung mit 45 Mio. m³ und die Roh- und Trinkwasserversorgung mit 100 Mio. m³ (BfG 2006).

Beispiele aus Nordrhein-Westfalen:

Peterwitz und Böddeker (2008) untersuchten die aktuellen Tendenzen und die möglichen Folgen des Klimawandels für die Wassergewinnung am Fallbeispiel Nordrhein-Westfalen. Sie stellten dabei fest, dass sich aufgrund des Strukturwandels und des demographischen Wandels im Ruhrgebiet ein geändertes Verbraucherverhalten aufzeigen lässt: In den letzten 20 Jahren ging der Wasserabsatz drastisch zurück, was zur Folge hatte, dass die Wasserwerke heute, bezogen auf die tägliche wie die jährliche Kapazität, teilweise nur noch zu 50 bis 90 % ausgelastet sind. Im Zeitraum von 1980 bis heute ging der Pro-Kopf-Verbrauch von 142 Liter auf 128 Liter pro Tag im Gelsenwasser-Versorgungsgebiet zurück. Angesichts der geringen Auslastung der Wasserwerke und angesichts des weiteren Bevölkerungsrückganges ist zu vermuten, dass in weiten Teilen des Versorgungsgebietes keine durch den Klimawandel bedingten Engpässe hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Menge an Trinkwasser zu erwarten sein werden (Peterwitz & Böddeker 2008). Dies konnte teilweise mit Auswertungen des Extremjahres 2003 bestätigt werden:

Der Ruhrverband betreibt 6 Talsperren mit insgesamt ca. 474 Mio. m³ Stauraum. Dieses Speichervolumen dient für die öffentliche Wasserversorgung und als Ausgleich für die Entnahme aus dem Ruhrtal. Ohne die Talsperren wäre die Ruhr im August 2003 etliche Male trocken gefallen. Durch eine günstige Speichersteuerung konnten die Aufhöhungsziele problemlos eingehalten werden. Der tiefste Stand im Stauraum betrug rd. 53 % der verfügbaren Kapazität (BfG 2006).

Der Wasserverband Eifel-Rur betreibt Speicher mit einem Volumen von 260 Mio. m³, die im Sommer zur Trinkwasserversorgung und zum Niedrigwasserausgleich dienen. Da die Speicher im Frühjahr 2003 sehr gut gefüllt waren, konnte im Sommer 2003 die Versorgung problemlos aufrecht erhalten werden. Der Füllgrad betrug Ende Oktober bei zwei Talsperren (darunter die große Rurtalsperre mit max. 180 Mio. m³) noch etwas über 60 %, bei den anderen beiden nur noch 25 - 30 % des verfügbaren Volumens (BfG 2006).

Der Wupperverband betreibt 4 Talsperren vor allem zur Niedrigwasseraufhöhung in der Wupper. Das gesamte Speichervolumen beträgt ca. 54 Mio. m³. Hinzu kommt die Große Dhüntalsperre mit 80 Mio. m³ Volumen. Davon sind 42 Mio. m³ für die Trinkwasserversorgung vorgesehen. Um den Niedrigwasserabfluss von 3,5 m³/s sicherstellen zu können, mussten 2003 in 260 Tagen ca. 50 Mio. m³ abgegeben werden. Die dazu vorgesehenen 4 Talsperren waren Anfang des Jahres 2003 etwa zu 78 % gefüllt (42 Mio. m³). Am Ende der Trockenperiode betrug der Füllungsgrad noch ca. 33 %

(18 Mio. m³). Aus der großen Dühntalsprerre wurden 2003 etwa 35 Mio. m³ abgegeben. Der tiefste Füllgrad betrug danach ca. 63 % (BfG 2006).

Beispiele aus Niedersachsen:

Die 6 Talsperren der Harzwasserwerke versorgen mit einem Gesamtstauraum von ca. 182 Mio. m³ eine größere Region mit Wasser. Zu Beginn des Jahres 2003 waren diese mit rund 160 Mio. m³ gefüllt. Bis zum Dezember wurde das Stauvolumen auf ca. 38 % abgelassen (ca. 70 Mio. m³) (BfG 2006).

Diese Beispiele zeigen deutlich, welche Folgen lang anhaltende Trockenperioden für die Wasserwirtschaft haben kann. In den meisten Anlagen reichte das vorhandene Speichervolumen jedoch aus, um die lang andauernde Niedrigwassersituation im Jahr 2003 zu überbrücken. Diesem Ereignis ging jedoch ein niederschlagsreicher Winter voraus, so dass die meisten Talsperren gut gefüllt waren. Trotzdem mussten einige Talsperren auf bis zu 25 % abgelassen werden. Ostdeutschland, vor allem Brandenburg, hatte dabei mit größeren Problemen zu kämpfen als das restliche Deutschland. Falls zukünftig mit noch extremeren Ereignissen zu rechnen ist, könnten einige Anlagen an ihre Leistungsgrenze gelangen.

3.3.3 Anpassungskapazität

Das Umweltbundesamt hat einen Fragebogen an Vertreter der Länder, an Bundesressorts und ausgewählte Verbände geschickt, um – unter anderem – ein möglichst breites Informationsbild über das gegenwärtig verfügbare Wissen zu Chancen und Risiken, möglichen Auswirkungen des Klimawandels und Anpassungsoptionen und -maßnahmen für unterschiedliche Regionen und Sektoren zu gewinnen. Der detaillierte Bericht liegt im Umweltbundesamt unter dem Titel: „Entwicklung eines übertragbaren Konzeptes zur Bestimmung der Anpassungsfähigkeit sensibler Sektoren an den Klimawandel am Beispiel der Wasserwirtschaft – Zwischenbericht: Ergebnisse der Fragebogenauswertung“ vor. Anpassungsmaßnahmen sollten grundsätzlich aus so genannten no-regret Ansätzen bestehen. Darunter versteht man Maßnahmen, die nicht nur effektiv, kostengünstig umsetzbar und langfristig wirken, sondern auch an sich ändernde Bedingungen anpassbar sind, so dass sie nicht bedauert werden müssen,

wenn sich die den Maßnahmen zugrunde gelegten Szenarien nicht bewahrheiten. (Stemplewski et al. 2008, Roth 2008).

öffentliche Wasserversorgung: Trinkwasser und im verarbeitendes Gewerbe

Im Jahr 2004 wurden 126 Liter pro Einwohner und Tag verbraucht (Statistisches Bundesamt 2007). Der tägliche pro Kopf Verbrauch an Trinkwasser ist seit vielen Jahren rückläufig. Der Rückgang ist ein Zeichen dafür, dass bereits verschiedene Sparmaßnahmen nicht nur im verarbeitenden Gewerbe sondern auch im privaten Haushalt umgesetzt werden und Wirkung zeigen. Diese erfolgreichen Bemühungen auf der Wasserbedarfsseite werden weiter optimiert.

Auch auf der Wasserdargebotsseite existieren Anpassungsmaßnahmen. So fordert Pinekamp et al. (2008) eine generelle Überprüfung der Wasserversorgungsinfrastruktur. Diese habe in einem ersten Schritt auf regionaler Ebene zu erfolgen. Reiche dies nicht aus, wären größere Räume zu betrachten und hinsichtlich möglicher Fernwasserleitungen und Speicherseenkapazitäten zu untersuchen. Eine intensive Überwachung der vorhandenen Leitungsnetze, verbunden mit einer kontinuierlichen Wartung, um ungewollte Wasserverluste zu unterbinden, wird dabei vorausgesetzt.

Thüringen sieht in der Optimierung der Versorgungsstruktur Anpassungsmöglichkeiten. Diese können durch Ringschlüsse und zusätzliche Vernetzungen verbessert werden. Dabei seien besonders konkurrierenden Nutzungen wie beispielsweise die Trinkwasserversorgung und der Bewässerungsbedarf zu berücksichtigen (Fragebogenauswertung). Untersuchungen des Klimaprogramms 2020 in Bayern unterstützen diese Aussage und empfehlen für die Sicherstellung der örtlichen und regionalen Trinkwasserversorgung einen Verbund von Anlagen oder Wassergewinnungsalternativen („zweites Standbein“). Insbesondere gilt dies in Bayern für die wasserarmen Regionen Frankens sowie des Oberpfälzer und Bayerischen Waldes. Zudem ist ein nachhaltiger Schutz von nutzbaren Grundwasservorkommen und sensiblen oberirdischen Gewässern anzustreben (StMUGV 2007). In Ostthüringen konnte durch den Bau der Fernwasserversorgung Schwarza, welche an die Talsperre Leibis/Lichte und an dem Wasserwerk Zeigerheim angeschlossen ist, eine Verbesserung der Wasserversorgungssicherheit erreicht werden (TMLNU 2004).

Die Auswirkungen des Trockenjahres 2003 haben in Baden-Württemberg gezeigt, dass in wasserdargebotsschwachen Regionen die Versorgungssicherheit nur durch Verbundlösungen hergestellt werden kann. Fernwasserversorgungen haben hier oft Vor-

teile gegenüber der ortsnahen Versorgung. Des Weiteren müssen Reserven in den bestehenden Versorgungssystemen ermittelt, Prognosen zur Veränderung der Rohwasserqualität erstellt, die Wasserrechte für die Spitzenabdeckung vorrangig der öffentlichen Trinkwasserversorgung vor der Bewässerung gesichert und Verbundlösungen gefunden werden (Haakh 2008).

Das Landesamt für Umweltschutz (LfU) in Bayern sieht ebenfalls Anpassungsmöglichkeiten für die Wasserversorgung im Auf- und Ausbau überregionaler Ausgleichs- und Verbundlösungen. Die Sicherung vorhandener und erkundeter Wasservorkommen durch z.B. Ausweitung von Wasserschutzgebieten und der Schutz von Tiefengrundwasservorräten sind hierbei von besonderer Bedeutung. Dabei sollte bei der Nutzung der Grundwasservorkommen die Trinkwasserversorgung und bei der Bewirtschaftung von Oberflächengewässer die Belange der Gewässerökologie Vorrang besitzen (Göttle 2008).

Um Grundwasser nachhaltig zu sichern, empfiehlt das Land Hessen ein ausgeweitetes Grundwassermonitoring, verbunden mit einem verbesserten Niedrigwassermanagement. Um Wasserentnahmen aus dem Grundwasser zu optimieren, sind Aufschlüsse über die Amplituden der Grundwasserstandsschwankungen hilfreich. Hierzu ist die Fortschreibung der statistischen Niederschlagsanalyen notwendig. Aufgrund dieses ausgeweiteten Monitorings können Notfallpläne erstellt bzw. verbessert werden. Zudem sollten bisher wenig strapazierte Grundwasservorkommen in das Wasserversorgungsnetz eingebunden werden, was den Ausbau des Fernleitungsnetzes bedingt. Die Grundwasserneubildung kann durch Wasserrückhalt im ländlichen Raum und durch Maßnahmen in der Siedlungsentwässerung gefördert werden (StMUGV 2007).

Das Land Sachsen sieht in einer angepassten Talsperrenbewirtschaftung großes Potenzial, weist jedoch darauf hin, dass vorhandene Wasserentnahmegenehmigungen an die veränderten Abflussbedingungen in den Fließgewässern angepasst werden müssen. Diskussionsbedarf besteht hinsichtlich des Konfliktes zwischen Rohwasserspeicherung und Hochwasserschutz in Trinkwassertalsperren. Die Bewirtschaftungsstrategien der Talsperren für die Trinkwasserversorgung aus Oberflächenwasser müssen sich jedoch an die Veränderungen anpassen (Küchler 2005). Dies kann durch kombinierte Lösungen wie eine angepasste Speichersteuerung bei gleichzeitiger Erhöhung des maximalen Speichervolumens erreicht werden.

Landwirtschaft:

Einsparpotenzial besteht in der Landwirtschaft durch verbesserte Bewässerungsmethoden bzw. angepasste Landnutzung (Pinnekamp et al. 2008, Küchler 2005). So empfiehlt das LfU in Bayern insbesondere in Wassermangelgebieten kein hochwertiges Grundwasser für Bewässerungszwecke zu verwenden. Bei künftigen Wasserentnahmen sollten besonders sparsame Bewirtschaftungsmethoden wie z.B. Beregnung zu verdunstungsarmen Tageszeit und moderne Techniken (z.B. Tröpfchenbewässerung) genutzt werden (Göttle 2008).

Zudem wurde eine Optimierung der Bewässerung durch angepasste Regeltechniken empfohlen, die Eingang in zentrale Beregnungspläne finden. Es könnten neue Methoden für eine langfristige Speicherung von Niederschlägen zur Nutzung während der Vegetationsperiode entwickelt werden. In diesem Zusammenhang seien die räumlichen Auswirkungen und der ggf. erforderliche Flächenbedarf für Speicherseen zu ermitteln. Damit könnte zudem vermieden werden, dass hochwertiges Trinkwasser für Bewässerungszwecke verwendet wird. Neben der Brauchwasserversorgung können mit Hilfe weiterer Rückhalteräume die Niedrigwasseraufhöhung, die Trinkwasserversorgung oder auch der Hochwasserschutz verbessert werden (Fragebogenauswertung).

Anpassungsmöglichkeiten der Wärmekraftanlagen für die öffentliche Versorgung

Durch den Bau von Kühltürmen oder Zellenkühlanlagen kann bei thermischen Kraftwerken ein alternatives Kühlsystem installiert werden, das deutlich weniger Kühlwasser benötigt als eine herkömmliche Durchlaufkühlung (siehe Tabelle 13). Zudem kann durch moderne Simulationsmodelle eine frühzeitige und zeitnahe Regulierung der Kühlwassersteuerung vorhergesagt werden (Beierkuhnlein et al. 2008, Kurzfassung). Im Trockenjahr 2003 konnten viele deutsche Kraftwerke (im Unterschied zu französischen Kraftwerken) von Wasserkühlung auf Umgebungsluftkühlung umgestellt werden. Bei dieser Art der Kühlung wird das Kühlwasser durch die Umgebungsluft abgekühlt, so dass gewisse Mengen an Kühlwasser infolge Verdunstung ersetzt werden müssen (BfG 2006).

Weitere Maßnahmen könnten unter Umständen ein ausreichend diversifizierter Energiemix und eine stärkere Dezentralisierung darstellen (BfG 2006). Dies kann mit Hilfe von Fernwärmenetzen umgesetzt werden. Moderne Blockheizkraftwerke, welche mit Hilfe des Kraft-Wärme-Kopplungs-Prinzips neben elektrischem Strom auch Wärme-

energie für Endverbraucher vor Ort erzeugen, stellen ebenso eine effiziente Maßnahme dar. Der Ausbau der Windkraftnutzung kann als ein weiterer Beitrag gesehen werden, den Kühlwasserbedarf im Rahmen der Energiegewinnung zu reduzieren.

Fortschreibungen der Wärmelastpläne und die Aufstellung von Niedrigwassermanagementplänen können darüber hinaus sinnvolle Maßnahmen darstellen (StMUGV 2007). Durch verbesserte Niedrigwasservorhersagen können Kühlwassernutzungen besser an geänderte Niedrigwasserphasen angepasst werden. Zudem wird eine Überprüfung aller geltenden Wasserentnahmen für Kühlzwecke gefordert.

3.4 Wasserkraft

In Deutschland wird Wasserkraft fast ausschließlich für die Erzeugung von elektrischer Energie verwendet. Wasserkraftanlagen zählen zu den erneuerbaren Energien und sind nach den Biomasse- und Windkraftanlagen die wichtigsten Energielieferanten aus diesem Bereich. Im Jahr 2006 wurde deutschlandweit ca. 0,8 % des gesamten Energieverbrauchs mit Hilfe von Wasserkraft gewonnen. Das Wasserkraftpotenzial ist allerdings regional sehr unterschiedlich (siehe Abbildung 62 im folgenden Abschnitt).

3.4.1 Wasserbedarf und Wasserdargebot heute

In Deutschland sind rund 7.300 Kleinwasserkraftanlagen (< 1 MW), die etwa 8 – 10 % des Wasserkraftstroms produzieren, und 354 größere Anlagen (> 1 MW) in Betrieb (Stand 2006). Die installierte Gesamtleistung aller Anlagen liegt bei rund 4700 Megawatt, wovon 700 MW als nicht inländische Anteile der Grenzwasserkraftwerke zu werten sind. Im Jahr 2006 wurden in Deutschland rund 20,7 Mrd. Kilowattstunden aus Wasserkraft erzeugt (BMU 2008a).

Abbildung 61 zeigt, dass ein großer Anteil an Wasserkraftnutzung (> 10 MW) an den Flüssen des Alpenvorlandes (Bayern), sowie am Rhein in Baden-Württemberg stattfindet. Die südlichen Bundesländer bilden aufgrund des günstigen Gefälles die Länder mit dem größten Potenzial und dem zu Folge auch die Länder mit der größten derzeitigen Wasserkraftnutzung (Abbildung 62). Mehr als drei Viertel des technisch nutzbaren Potenzials liegen in diesen Ländern (Bunge et al. 2001).

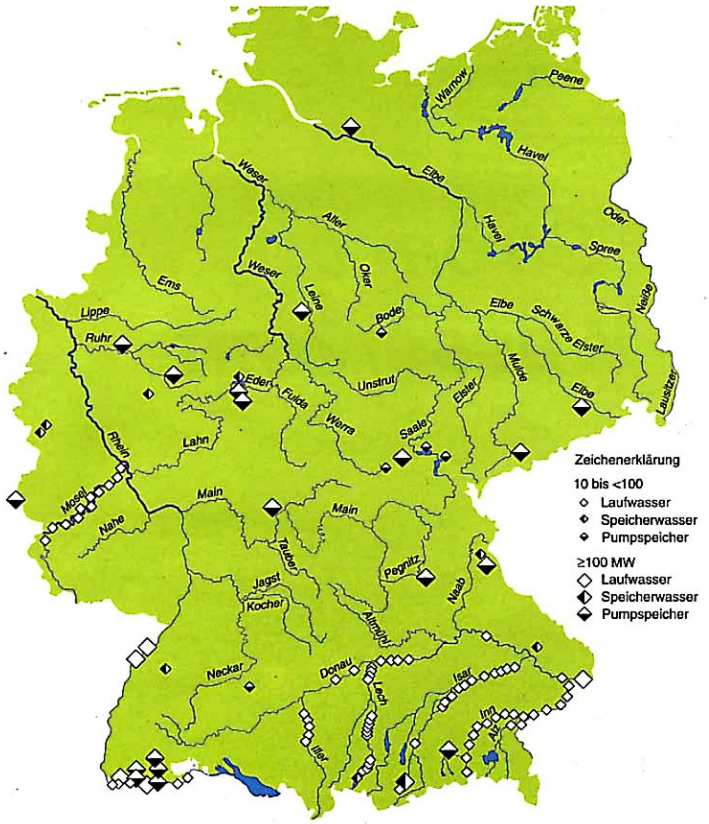


Abbildung 61: Wasserkraftwerke in Deutschland größer 10 MW (Leuscher 2008)

Die niederschlagsreichsten Gebiete in Deutschland liegen in den südlichen Bundesländer Bayern und Baden-Württemberg (Abbildung 9). Daher findet man hier auch das technisch größte nutzbare Wasserkraftpotenzial in Deutschland (siehe Abbildung 62).

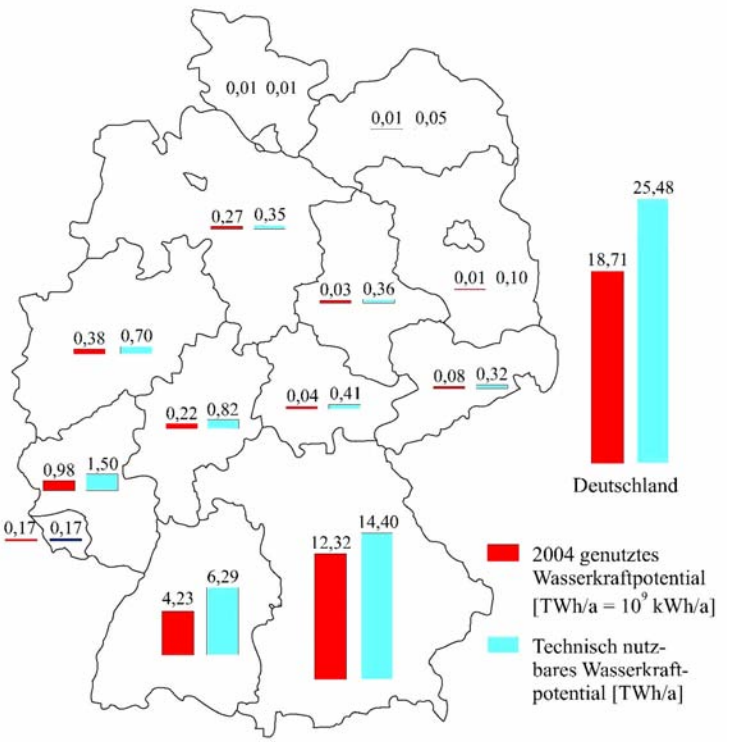


Abbildung 62: Technisch nutzbares sowie derzeit genutztes Wasserkraftpotenzial in Deutschland in TWh/a, Stand 1998 (Gieseke & Heimerl 1999, Bunge et al. 2001)

3.4.2 Wasserbedarf und Wasserdargebot zukünftig

Bis zum Ende dieses Jahrhunderts entwickelt sich die klimatische Wasserbilanz gegenüber heute teilweise negativ (Tabelle 16 und

Tabelle 15). Dies wird sich auf die Wasserkraftnutzung auswirken. Da im süddeutschen Raum das Wasserkraftpotenzial am größten ist, ist dieser besonders zu betrachten. Weite Regionen Baden-Württembergs, Bayerns und der Bereich um die Grenze von Baden-Württemberg zu Rheinland-Pfalz werden bis Ende des Jahrhunderts deutlich trockener als heute (siehe Abbildung 12). In diesen Abbildungen ist die Differenz der klimatischen Wasserbilanz, getrennt nach Bundesländern, zu unterschiedlichen Zeitreihen dargestellt. Der Mittelwert stellt dabei den Durchschnittswert aller Länder dar. Liegt der Landeswert unterhalb des Durchschnitts, ist der Wert rötlich markiert. Liegt er darüber, dann bläulich.

Tabelle 15: Änderung klimatische Wasserbilanz 2071-2100 zu 1971-2000 in mm

Bundesländer	**Jahr** Mittelwerte [mm]	**Sommer** Mittelwerte [mm]	**Winter** Mittelwerte [mm]
BB	-48	-29	-20
BW	-53	-56	3
BY	-57	-59	2
HE	-66	-61	-5
MV	-27	-11	-15
NI	-58	-48	-9
NW	-55	-58	4
RP	-65	-57	-8
SH	-27	-28	1
SN	-55	-38	-16
ST	-59	-41	-18
TH	-75	-53	-22
Mittelwert	**-54**	**-45**	**-9**

Tabelle 16: Änderung klimatische Wasserbilanz 2021-2050 zu 1971-2000 in mm

Bundesländer	**Jahr** Mittelwerte [mm]	**Sommer** Mittelwerte [mm]	**Winter** Mittelwerte [mm]
BB	-119	-111	-7
BW	-138	-191	53
BY	-109	-148	39
HE	-53	-127	74
MV	-110	-121	11
NI	-69	-121	52
NW	-31	-124	93
RP	-49	-128	80
SH	-43	-104	61
SN	-123	-110	-13
ST	-86	-112	25
TH	-86	-105	19
Mittelwert	**-85**	**-125**	**41**

Ein Vergleich der Tabelle 16 mit der Tabelle 15 zeigt, dass sich zwar in einigen Bundesländern der anfängliche Trend zum Ende des Jahrhunderts noch verstärkt, jedoch in anderen Ländern teilweise rückläufig ist. So steigt die jährliche klimatische Wasserbilanz der Länder Hessen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz zum Ende des Jahrhunderts gegenüber dem Zeitraum 2021-2050 wieder an, beispielsweise in Hessen von durchschnittlich -66 mm (Tabelle 15) auf -53 mm (Tabelle 16) um 13 mm.

Die klimatische Wasserbilanz an der Donau mit den wasserkrafttechnisch wichtigen Nebenflüssen Iller, Lech, Isar und Inn erhöht sich zwar im Winter um ca. 39 mm (bayernweiter Durchschnitt), jedoch verringert sie sich im Sommer um ca. 148 mm. Diese bedeutet einen Rückgang von ca. 109 mm im Jahresdurchschnitt (Tabelle 15).

Durch eine Überlagerung der klimatischen Wasserbilanzkarten mit den Standorten der größeren Wasserkraftanlagen in Deutschland (Abbildung 61), zeigt sich, dass mit einem Rückgang (im Jahresmittel) in den Bundesländern Bayern und vor allem in Baden-Württemberg zu rechnen ist. Dies wird sich auf die zukünftige Wasserkraftnutzung nachteilig auswirken.

Schon heute sind Restwasserabgaben in den Sommermonaten unter Aufrechterhaltung einer effektiven Wasserkraftnutzung aufgrund bestehender Altrechte oft nur schwer umsetzbar. Diese Situation wird sich in Zukunft an fast allen Wasserkraftanlagen in Nordbayern und Baden-Württemberg verschärfen.

Aus den klimatischen Wasserbilanzkarten lassen sich keine Aussagen bezüglich extremer Ereignisse wie beispielsweise Hochwasserabflüsse ableiten. Diese haben jedoch einen wesentlichen Einfluss auf die Energieerzeugung speziell bei Laufwasserkraftanlagen. Bei solchen Anlagen steigt zwar die Leistung bei zunehmendem Abfluss an, bis das Schluckvermögen der Turbine erreicht ist, darüber hinausgehende Abflüsse führen jedoch zu einer reduzierten Stromerzeugung, da die Fallhöhe durch den höheren Unterwasserspiegel sinkt. Im Extremfall müssen die Turbinen abgeschaltet werden. Sehr große Hochwasserereignisse können zudem auch Schäden an den Anlagen verursachen (Rothstein et al. 2008). In den klimatischen Wasserbilanzkarten ist zudem der Einfluss der Fließgewässer auf möglicherweise trockenere Regionen nicht ersichtlich.

Nach Horlacher (2008) wird aufgrund der Niederschlagsverschiebung von den Sommer- in die Wintermonate die Energieproduktion aus Wasserkraft in den Wintermonaten im nördlichen Alpenraum zunehmen. Im Jahresdurchschnitt wird mit einer Zunahme um ca. 5 % für Speicher- und große Laufwasserkraftwerke bis zur Mitte des Jahr-

hunderts zu rechnen sein. Ab 2050 wird die Verdunstung aufgrund der weiteren Erwärmung so stark zunehmen, dass von einer Abnahme der Energieerzeugung ausgegangen werden muss. Es ist jedoch nicht bekannt, ob Kleinwasserkraftanlagen den erhöhten Abfluss in den Wintermonaten auch nutzen können, da diese Anlagen oft enge Grenzen im Schluckvermögen aufweisen. Auch ist noch nicht bekannt, ob gegebenenfalls aus ökologischer Sicht erhöhte Sommertemperaturen auch größere Restwasserabgaben fordern. Sollte dies der Fall sein, ist auch hier mit Leistungseinbußen zu rechnen.

3.4.3 Anpassungskapazität

Laufwasserkraftwerke

Das Wasserdargebot für Laufwasserkraftanlagen kann prinzipiell mit Hilfe von Speicherseen im Oberlauf, die einen kontinuierlichen Abfluss bereitstellen, oder durch Vergrößerungen des Einzugsgebietes mit Zuleitungen beeinflusst werden. An vielen Stellen ist dies jedoch praktisch nicht möglich.

Weitere Anpassungskapazität liegt auf der Wasserbedarfsseite. Zukünftige Verluste aufgrund des geänderten Wasserdargebotes in Volumen und zeitlicher Verteilung können beispielsweise durch modernere Anlagen mit günstigerem Wirkungsgrad kompensiert werden. Hier stehen jedoch die Herstellungskosten den Ertragskosten gegenüber. Die Rentabilität ist meist von der aktuell geltenden Einspeisevergütung abhängig. An vorhandenen Querbauwerken ohne bestehende Kraftwerke können zudem theoretisch weitere Anlagen gebaut werden. Hierfür müssen jedoch alle Umweltanliegen ausgewogen berücksichtigt werden.

Um die Abschätzung des Hochwasserrisikos von Laufwasserkraftanlagen zu vereinheitlichen, sollten länderübergreifende Festlegungen von Klimafolgenszenarien für die Fortentwicklung von Bemessungswasserständen getroffen werden. Derzeit treten an den Ländergrenzen Sprünge in den Bemessungsjährlichkeiten auf, die zu unterschiedlichen Sicherheitsstandards führen. Da beispielsweise Laufwasserkraftwerke meist in unmittelbarer Flussnähe (Triebwerkskanal) bzw. im Gewässerbett positioniert sind, ist gerade hier ein ausreichender Hochwasserschutz der Anlagen essentiell. Oft können schon kleinere Objektschutzmaßnahmen Abhilfe schaffen.

Speicherkraftwerke

Bei Speicherkraftwerken kann eine zukünftig veränderte zeitliche Verteilung der Niederschläge und den damit verbundenen Abflüssen teilweise durch das Speichervolumen in den Kraftwerksseen ausgeglichen werden. Die Speicherbecken werden bereits heute überwiegend in den Wintermonaten gefüllt. Sind die zukünftigen Winter noch niederschlagsreicher und die Sommer trockener, kann das vorhandene Volumen für den vollständigen Ausgleich nicht ausreichend sein. Abhilfe könnten hier vergrößerte Speicherräume schaffen. Erhöht man jedoch vorhandene Staumauern, sind u.a. umfangreiche und aufwändige Standsicherheitsfragen zu klären.

Weitere mögliche Maßnahmen werden in einer Verbundbewirtschaftung der zur Verfügung stehenden Kapazitäten, beispielsweise im Rahmen eines Kapazitätsausgleichs zwischen den Talsperren, gesehen. Auf der Wasserdargebotsseite sind Maßnahmen beispielsweise durch eine Vergrößerung der Einzugsgebiete mittels Beileitungen möglich (Küchler 2005).

Zudem wurde empfohlen, für Speicherkraftwerke eine Optimierung des Feststoffmanagements durchzuführen. Dadurch können Wartungszeiten reduziert und ggf. weiterer Speicherraum im Hochwasserfall zur Verfügung gestellt werden (Fragebogenauswertung).

3.5 Binnenschifffahrt

In Deutschland gibt es ca. 7.500 km Bundeswasserstraßen. Davon sind ca. 75 % Flüsse und ca. 25 % Kanäle (BDB 2008). Insbesondere der Küstenbereich, der Rhein von Straßburg bis zur Mündung in die Nordsee, der Mittellandkanal, der Neckar, die Mosel und die Donau weisen eine hohe Güterverkehrsdichte auf und untermauern damit die große Bedeutung der Schifffahrtsstraßen in Deutschland (Statistisches Bundesamt 2007).

3.5.1 Wasserbedarf und Wasserdargebot heute

Für die Bundeswasserstraßen in Deutschland sind hinsichtlich des Klimawandels vor allem zwei Faktoren entscheidend für die zukünftige Nutzung. Zum einen ist das der Mindestwasserstand, der in den Schifffahrtsstraßen für einen reibungslosen Verkehr erforderlich ist, zum anderen ist dies die Anzahl an Hochwasserereignissen, während derer der Güterverkehr eingestellt werden muss. In staugeregelten Flüssen und Kanälen kann der Wasserstand weitgehend unabhängig vom Abfluss konstant gehalten werden. In Trockenzeiten sind vor allem die freien/geregelten Flussstrecken von besonderer Bedeutung, da durch fehlende Schleusen und Stauanlagen eine Wasserstandsregulierung nicht möglich ist. Zu dieser Gruppe von Wasserstraßen gehören vor allem der Rhein unterhalb von Karlsruhe, mit ca. 80 % des gesamten Frachtaufkommens in Deutschland die wichtigste Verkehrsstrecke, als auch ein kurzer Abschnitt der Donau sowie die Elbe (BMU 2003). Bereits heute treten kritische Wasserstände an allen Flüssen mit natürlichem Abflussregime auf (d.h. ohne Regulierung). Speziell an der Donau, zwischen Straubing und Vilshofen, an der Elbe und an der Oder kann es in niederschlagsarmen Jahren zum Erliegen des Schiffverkehrs kommen (Email von Herrn Spitzer 2008, Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V.). Die Oder spielt hierbei aufgrund des geringen Transportvolumens für die Schifffahrt nur eine untergeordnete Rolle.

Alle Bundeswasserstraßen in Deutschland sind in sechs unterschiedliche Klassen eingeteilt, die sich im Wesentlichen in der Fahrrinnenbreite und –tiefe unterscheiden. Kann der benötigte Mindestwasserstand beispielsweise mittels Stauregulierung oder Niedrigwasseraufhöhung aufgrund von länger andauernden Trockenperioden nicht mehr sichergestellt werden, sind Transportbeeinträchtigungen zu erwarten. Nähere Informationen hierzu, einschließlich einer Übersichtskarte, sind dem elektronischen Wasserstraßen-Informationssystem zu entnehmen (www.elwis.de).

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) hat auf der gesamten schiffbaren Rheinstrecke eine vergleichbare Bezugsgröße für die Fahrrinnentiefe festgelegt. Im staugeregelten Oberrhein ist diese Größe auf den hydrostatischen Stau bezogen und im frei fließenden Rhein auf den „Gleichwertigen Wasserstand“ (GIW). Der GIW wurde 1908 eingeführt und gibt für ausgewählte Pegel am Rhein einen Wert an, der im langjährigen Mittel lediglich an ca. 10-20 Tagen unterschritten wird. Dieser Wert wird alle 10 Jahre durch Abstimmungsgremien neu festgelegt (zuletzt 2002).

Sofern Streckenabschnitte nicht gesperrt werden, entscheidet letztendlich jedoch der Kapitän unter Berücksichtigung des Schifftyps, ob gefahren werden kann oder nicht.

Treten Niedrigwasserstände zukünftig vermehrt auf, wirkt sich dies auf die maximale Tragfähigkeit der Schiffe aus. Je weniger Ladung ein Schiff transportieren kann, desto teurer wird der Transport pro Tonne, da der Preis pro Fahrt weitgehend konstant bleibt (Rothstein et al. 2008, Jonkeren et al. 2007) (Abbildung 63).

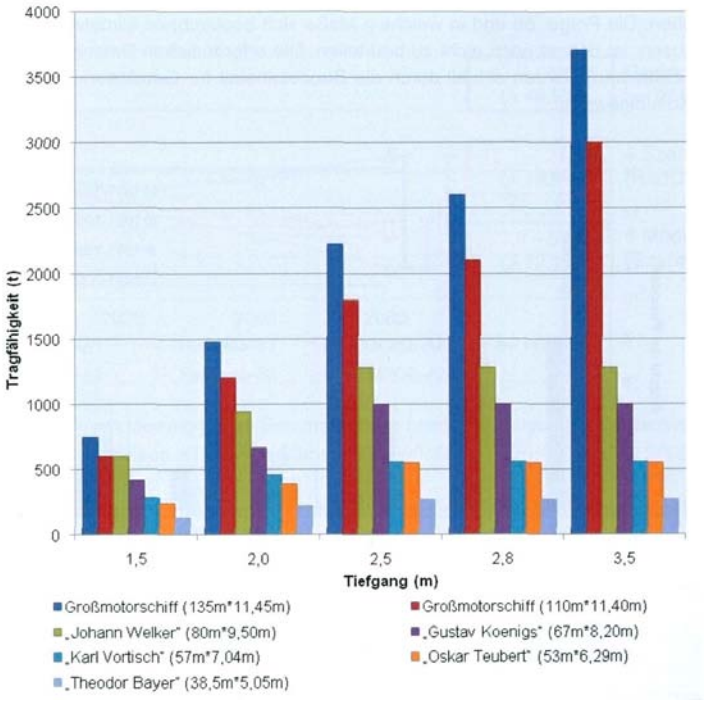


Abbildung 63: Tragfähigkeit exemplarischer Binnenschiffe nach Tiefgang (Rothstein et al. 2008 nach Weska 2006)

Im Sommer 2003 mussten verschiedene Schiffe auf dem Rheinabschnitt zwischen Duisburg und Karlsruhe einen Teil ihres Frachtraums unbeladen lassen, da der maximale Tiefgang lediglich 1,45 m in der Fahrrinne betrugen durfte (Rothstein et al. 2008, BUWAL 2004, Seidel 2003). Erhebliche Verschiebungen der Warenströme konnten festgestellt werden. Hinzu kam, dass die Bahn nicht in der Lage war, den zusätzlichen Transportbedarf zu bewältigen (BfG 2006).

An der Donau wurde der Regulierungswasserstand im Jahr 2003 an 94 Tagen unterschritten, was ebenfalls zu Verschiebungen der Warenströme führte (BfG 2006). Während der Niedrigwasserphase im Jahr 2003 ruhte der Güterverkehr auf der Oder voll-

ständig und ab Mitte Juni auch auf der Elbe (BfG 2006). Insgesamt konnten im Trockensommer 2003, überwiegend aufgrund lang andauernder Niedrigwasserperioden, rund 5,1 % weniger Güter auf den Wasserstraßen befördert werden als im Jahr 2002 (BfG 2006).

Bei der Personenschifffahrt hingen die Auswirkungen der Trockenwasserperiode 2003 überwiegend von der Größe der Schiffseinheiten ab. Größere Schiffe mit langen Reisewegen konnten auf dem Rhein, der Donau und der Elbe zeitweise nicht verkehren. Kleinere Schiffe hingegen konnten teilweise, aufgrund des schönen Wetters, sogar eine erhöhte Anzahl an Fahrgästen und damit ein Umsatzsteigerung verbuchen. Dies galt besonders auf den schiffbaren Seen (BfG 2006).

Bei Hochwasserereignissen, die über dem höchsten schiffbaren Wasserstand (HSW) liegen, wird ein genereller Transportstopp verhängt. Anpassungen an den Klimawandel sind daher kaum möglich.

3.5.2 Wasserbedarf und Wasserdargebot zukünftig

Szenarien des Bundesverkehrswegeplans (Mann et al. 2001) zeigen, dass infolge der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklung Deutschlands und Europas, der Osterweiterung der EU sowie der Globalisierung der Märkte, die Güterverkehrsleistung bis zum Jahr 2015 bezogen auf 1997 von rund 371 Milliarden Tonnenkilometer (Mrd. tkm) wahrscheinlich auf rund 608 Mrd. tkm um ca. 64 % ansteigen wird. Der darin enthaltene Güterverkehr auf Binnenschiffen steigt um 40 % von 62 Mrd. tkm auf rund 87 Mrd. tkm.

Das bedeutet eine Steigerung des Transportaufkommens der Binnenschifffahrt um ca. 25 % von 233,5 Millionen Tonnen (Mio. t) auf rund 293 Mio. t. Die Binnenschifffahrt wird somit auch in Zukunft eine wichtige Bedeutung des europäischen Verkehrssystems haben. Damit ist das reibungslose Funktionieren der Wasserstraßen, was sich durch lagestabile Fahrrinnen von ausreichender Tiefe und Breite sowie moderate Fließgeschwindigkeiten kennzeichnet, zukünftig von noch größerer Bedeutung (Moser et al. 2008).

Wie sich das Wasserdargebot nach derzeitigem Kenntnisstand ändern wird, wurde in Form von klimatischen Wasserbilanzkarten in Kapitel 2.1.4 dargestellt und in Kapitel 2.3 exemplarisch näher untersucht. Klimatische Wasserbilanzkarten eignen sich jedoch

nur eingeschränkt für die Interpretation zukünftiger Wasserstände in Fließgewässern. Um exakte Aussagen hierzu treffen zu können, müssen vollständige Flusseinzugsgebiete mit Hilfe von komplexen Wasserhaushaltsmodellen betrachtet werden.

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) untersucht derzeit im Rahmen des Forschungsvorhabens „Kliwas“ die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserstraßen und die Handlungsoptionen für Wirtschaft und Binnenschifffahrt. Die Untersuchungen laufen bis ins Jahr 2011 und werden durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung gefördert. Um zu belastbaren Aussagen zur Spannweite möglicher Klimaänderungen zu kommen, werden in diesem Projekt bis zu 10 regionale Klimamodelle mit unterschiedlichen Randbedingungen verwendet. Da diese Untersuchungen weitaus aufwändiger sind als es im vorliegenden Projekt möglich ist, wird an dieser Stelle auf dieses Forschungsvorhaben verwiesen (BfG 2009).

In dem bereits abgeschlossenen Forschungsvorhaben KLARA (siehe Kapitel 3.4.2) konnten für den Bereich Hochwasser keine eindeutigen Aussagen über die zukünftige Schiffbarkeit des Neckars getroffen werden. Die maximale Anzahl an Tagen mit eingeschränkter Schiffbarkeit steigt jedoch im ungünstigsten Fall von 6 auf 15 Tage pro Jahr (Stock 2005).

3.5.3 Anpassungskapazität

Anpassungsmöglichkeiten können auf Seiten des Wasserdargebotes wie auch -bedarfs genutzt werden. Treten Hochwasserereignisse auf, die den höchsten schiffbaren Wasserstand (HSW) übersteigen, wird ein Transportstop verhängt. Daher gibt es auf der Wasserbedarfsseite hinsichtlich Schiffstypen, Hafenanlagen oder am Binnenschiff selbst kaum Anpassungsmöglichkeiten. Lediglich die Lagerhaltung kann so angepasst werden, dass durch zeitlich ausreichende Vorwarnungen Hochwasserabflüsse umgangen werden können.

Im Bereich des Wasserdargebotes kann Hochwasserrückhalt zum Beispiel durch Polderanlagen, wie es am Rhein teilweise praktiziert wird, umgesetzt werden. Dadurch können Hochwasserspitzen gekappt und die Schiffbarkeit der Flussabschnitte verlängert werden. Die Umsetzung solcher Maßnahmen ist jedoch sehr aufwändig und langwierig. Festgelegt werden mögliche Rückhaltemaßnahmen durch die jeweiligen Länder. Hier liegen bereits umfangreiche Untersuchungen und teilweise Planungen vor bzw. sind bereits umgesetzt.

Im Niedrigwasserfall liegt die Verantwortung für die Transporte beim einzelnen Binnenschiffer bzw. Reeder. Eine Anpassung auf der Wasserbedarfsseite kann z.B. eine an die Abflussverhältnisse angepasste Lagerhaltung sein. Das setzt jedoch eine genaue Beobachtung und ein effektives und zeitnahes Vorhersagemanagement voraus. Auch ist denkbar, die Anzahl der mittelgroßen Schiffe gegenüber den großen zu erhöhen (Email Herr Spitzer 2008, Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V.).

In den staugeregelten Flussabschnitten können zudem die Schleusen modernisiert werden, so dass der Wasserverlust reduziert werden kann. Auch kann ein zeitlich befristetes Ausweichen während Extremsituationen auf beispielsweise den Schienenverkehr erfolgen. Das muss in Notfallplänen entsprechend vorbereitet werden.

Moser et al. (2008) führen eine Reihe von Anpassungsmaßnahmen auf, die in investive und operative Maßnahmen aufgeteilt werden kann. Bei den investiven Maßnahmen liegt der Schwerpunkt auf neuen, stabileren und leichteren Materialien, die den Tiefgang eines Schiffes reduzieren. Generell kann Gewicht durch moderne Konstruktionen und Aufbauten oder durch Einsparung verschiedener Ausrüstungsgegenstände verringert werden. Bei den operativen Maßnahmen werden Möglichkeiten in einer angepassten Betriebsform, beispielsweise durch die Umstellung des Tagesbetriebs auf Continuebetrieb, gesehen. Weiteres Potenzial ist in der verstärkten Zusammenarbeit mit anderen Verkehrsträgern und den Endkunden vorhanden. Durch die Weiterentwicklung der reinen Transport- zur Versorgungslogistik könnte der Transportbedarf optimiert werden (z.B. Übernahme der Lagerhaltung für Kraftwerke durch Logistiker). Zudem wird empfohlen, auf den Kleinwasserzuschlag zu verzichten und stattdessen eine Umlage auf die normale Fracht durchzuführen.

Talsperren dienen meistens auch zur Niedrigwasserregulierung. So wird beispielsweise mit Hilfe der Eder- und Diemeltalsperre in Hessen der Niedrigwasserabfluss an der Weser sichergestellt. Eine Anpassung an die aktuelle hydrologische Situation kann hier permanent erfolgen. Problematisch erweisen sich jedoch die unterschiedlichen konkurrierenden Nutzungsansprüche in Bezug auf Hochwasserschutz und Niedrigwasseraufhöhung (Brahmer et al. 2005).

3.6 Gewässerzustand

Die am 22. Dezember 2000 in Kraft getretene europäische Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) fordert die Erreichung eines guten ökologischen Zustands für alle Gewässer bis zum Jahr 2015. Das gilt für alle Oberflächengewässer sowie für das Grundwasser. Im Oberflächengewässer ist sowohl der gute ökologische als auch der gute chemische Zustand und im Grundwasser der gute chemische als auch der gute mengenmäßige Zustand zu erreichen (Europäisches Parlament 2000). Die EG-Wasserrahmenrichtlinie klammert den Hochwasserschutz bewusst aus, um den Zeitplan zur Umsetzung nicht zu belasten (Röttcher & Tönsmann 2004).

Für die Ermittlung des Gewässerzustandes sind verschiedene Bewertungskriterien erforderlich. Diese unterteilen sich in „Stoffliche Belastungen“ und „Nicht stoffliche Belastungen“ (Abbildung 64). Die stofflichen Belastungen können über die Saprobie und die Trophie eines Gewässers bestimmt werden. Hinzu kommen die spezifischen Schadstoffe, die Versalzung, die Versauerung und die Aufwärmung eines Gewässers. Die nichtstofflichen Belastungen werden anhand des Veränderungsgrades des zu untersuchenden Gewässers gegenüber dem potenziell natürlichen Zustand eingeordnet (BMU 2003). Wasserentnahmen, Abflussregulierungen und die morphologische Belastung eines Gewässers beeinflussen diesen Zustand. Die nichtstofflichen Belastungen werden in der Gewässerstrukturgütekarte dargestellt.

Kriterien der Gewässerbelastung

Stoffliche Belastung	Nicht stoffliche Belastung
• Saprobie • Trophie • Spezifische Schadstoffe • Versalzung • Versauerung • Aufwärmung	• Wasserentnahme • Abflussregulierung • Morphologie (= Gewässerstrukturgüte)

Abbildung 64: Kriterien der Gewässerbelastung (BMU 2004)

3.6.1 Gewässerzustand heute

Um die Umweltziele der europäischen Wasserrahmenrichtlinie bis zum Jahr 2015 erreichen zu können, wurde von den Bundesländern eine ökologische Bestandsaufnahme von ca. 9000 Flüssen, ca. 800 Seen, ca. 70 Küsten- und Übergangsgewässer und ca. 980 Grundwassermessstellen durchgeführt. Im Vorfeld wurde ein neues, der europäischen Wasserrahmenrichtlinie entsprechendes, Bewertungsverfahren eingeführt. Danach richtet sich die Bewertung nach folgenden Qualitätselementen (BMU 2004):

- Biologische Qualitätselemente
    - Zusammensetzung und Artenhäufigkeit der aquatischen Flore
    - Zusammensetzung und Artenhäufigkeit der Wirbellosenfauna
    - Zusammensetzung und Artenhäufigkeit der Fischfauna
- Hydromorphologische Qualitätselemente
    - Wasserhaushalt
    - Durchgängigkeit
    - Morphologie
    - Tidenregime
- Chemische und physikalisch-chemische Qualitätselemente
    - Temperatur
    - Sauerstoff
    - Leitfähigkeit
    - Nährstoffverhältnisse
    - Konzentration flussgebietsspezifischer Schadstoffe

Diese umfangreichen Untersuchungen wurden Ende 2004 abgeschlossen. Für die 10 großen Flussgebiete in Deutschland liegen Ergebnisse des ökologischen und des chemischen Zustands der Bestandsaufnahme vor (Abbildung 65):

Der ökologisch gute Zustand aller Flüsse wird wahrscheinlich zu 15 % erreicht, 24 % sind unsicher und 61 % werden die Zielerfüllung wahrscheinlich nicht erreichen. Der chemisch gute wird wahrscheinlich zu 63 % erreicht, zu ist die Zielerreichung 28 % unsicher, zu 9 % unwahrscheinlich. Die beurteilten Seen werden wahrscheinlich zu 38 % den guten Zustand erreichen, 24 % sind unsicher und 38 % erreichen den guten Zustand wahrscheinlich nicht (BMU 2005).

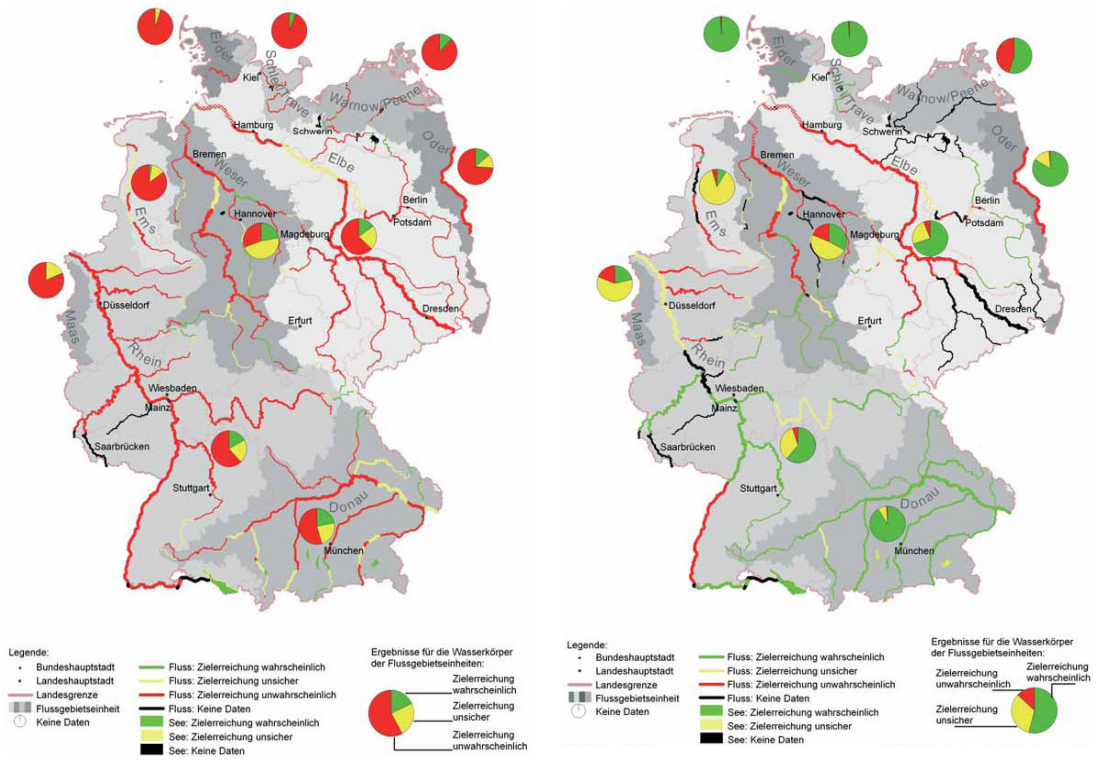


Abbildung 65: Ergebnisse der Bestandsaufnahme für den guten ökologischen (links) und chemischen (rechts) Zustand der Flüsse und Seen in Deutschland (BMU 2005)

Für die Oberflächengewässer (Flüsse und Seen) in Deutschland stellt sich zusammengefasst folgendes Bild dar (Abbildung 66):

- Etwa 14 % der bewerteten Wasserkörper erreichen die Umweltziele wahrscheinlich,
- für etwa 26 % der bewerteten Wasserkörper besteht Unsicherheit,
- etwa 60 % der bewerteten Wasserkörper erreichen die Umweltziele ohne weitere Maßnahmen wahrscheinlich nicht.

Der ökologisch gute Zustand wird demnach in weiten Teilen von Deutschland nicht erreicht werden (BMU 2005).

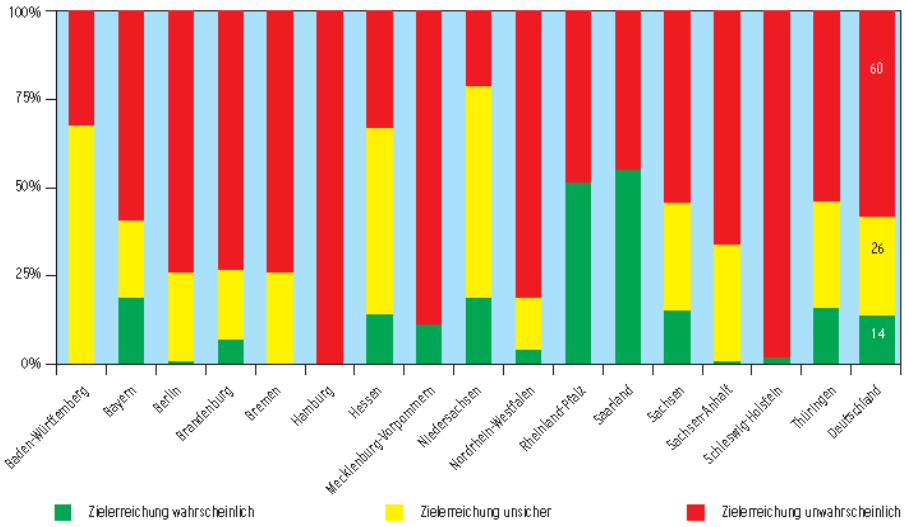


Abbildung 66: Ergebnisse der Bestandsaufnahme für Oberflächengewässer (Flüsse und Seen) getrennt nach Bundesländern, Stand: Januar 2005 (BMU 2005)

Für Abbildung 66 haben die Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz und Saarland ihre Gewässer lediglich in die Kategorien „wahrscheinlich“ oder „unwahrscheinlich“ eingeteilt. Für Bayern lagen nur Ergebnisse getrennt nach den Kategorien Saprobie, Trophie, Strukturgüte und chemische Belastung vor. Die Ergebnisse wurden vom BMU entsprechend aggregiert und an die anderen Bundesländer angepasst.

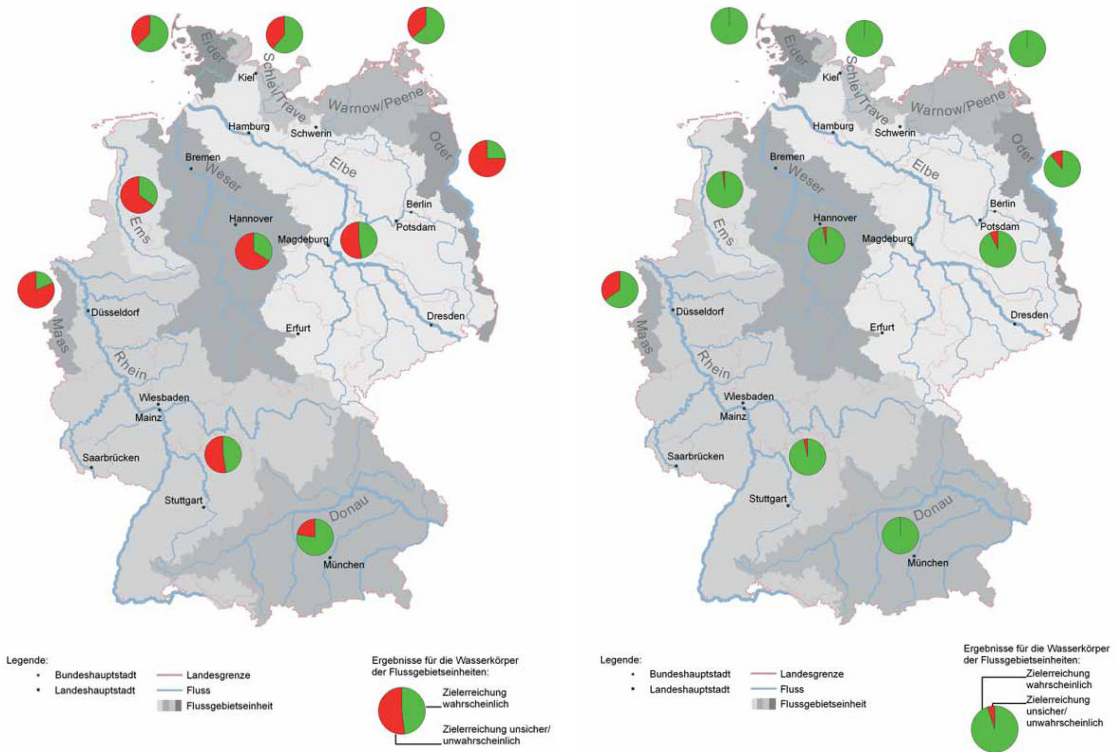


Abbildung 67: Ergebnisse der Bestandsaufnahme für den guten chemischen (links) und mengenmäßigen (rechts) Zustand des Grundwassers in Deutschland (BMU 2005)

Der chemisch gute Zustand des Grundwassers wird in Deutschland zu 48 % wahrscheinlich erreicht und zu 52 % ist die Zielerreichung unsicher bzw. unwahrscheinlich. Hingegen ist der mengenmäßige Zustand des Grundwassers in nahezu allen Flussgebieten zufriedenstellend (Abbildung 67). Nur etwa 5 % erreichen voraussichtlich den guten mengenmäßigen Zustand nicht (BMU 2005).

Für das Grundwasser in Deutschland stellt sich zusammengefasst folgendes Bild dar (Abbildung 68):

- Etwa 47 % der bewerteten Wasserkörper erreichen die Umweltziele wahrscheinlich,
- etwa 53 % der bewerteten Wasserkörper erreichen die Umweltziele ohne weitere Maßnahmen wahrscheinlich nicht.

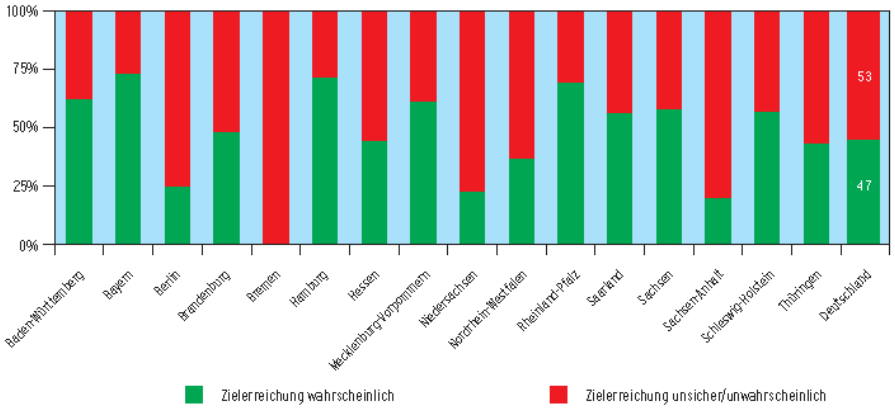


Abbildung 68: Ergebnisse der Bestandsaufnahme der Grundwasserkörper in den Bundesländern, Stand: Januar 2005 (BMU 2005)

3.6.2 Gewässerzustand zukünftig

Der Klimawandel beeinflusst die Gewässergüte aufgrund der prognostizierten Temperatur- und Niederschlagsänderungen (Größe und zeitliche Verteilung, vgl. Abschnitt 2.1). Damit verbunden ist die Änderung der Wassertemperatur und des Abflussregimes (Abschnitt 2.2). Anthropogen wird die Gewässergüte aufgrund von Gewässerstrukturänderungen, Wasseraus- und -einleitungen und Regulierungsmaßnahmen (z.B. Talsperren) verändert. Die Ausprägung der Gewässerstruktur wird ebenfalls durch den Klimawandel beeinflusst (z.B. Uferbewuchs), ist jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

Die Veränderung von Temperatur und der Niederschlag wurde in Kapitel 2.1.2 erläutert, die damit verbundene Abflussänderung wurde in Kapitel 2.3. Die Beschreibung der heutigen Gewässerstrukturgüte erfolgte in Kapitel 3.6.1. Heutige Wasserentnahmen wurden in Kapitel 3.3 aufgezeigt und eine mögliche zukünftige Entwicklung dargestellt. Wie sich die Wassereinleitungen zukünftig entwickeln werden, ist heute nur schwer absehbar. Verändern sich jedoch die Temperatur und der Niederschlag aufgrund des Klimawandels, kann man davon ausgehen, dass an den schon heute vorhandenen Einleitungspunkten Problemstellen entstehen.

Wassereinleiter in Deutschland (Tabelle 17) müssen differenziert betrachtet werden. So belasten Abwassereinleiter der öffentlichen Abwasserbeseitigung, aus dem Bergbau und dem verarbeitenden Gewerbe die Gewässer, indem das Abwasser eine er-

höhte Schadstoffkonzentration aufweist. Kühlwasser hingegen ist direkt aus dem Gewässer entnommenes Wasser, welches nach dem Gebrauch wieder in das Gewässer eingeleitet wird. Die Schadstoffkonzentration wird dabei nicht verändert, jedoch weist das Wasser eine erhöhte Temperatur auf, was sich wiederum nachteilig auf die Gewässergüte auswirkt. Die Länder Baden-Württemberg, Hessen und Schleswig-Holstein weisen demnach die höchste Kühlwassereinleitung in Deutschland auf (Tabelle 18).

Tabelle 17: Abwassereinleitungen in Deutschland (Statistisches Bundesamt 2007, verändert)

Jahr	Abwasser-einleitung insgesamt [Mill. m³]		Direkteinleitung				Indirekt-einleitung	Ungenutzt eingeleitetes Wasser
			zusammen	behandeltes Abwasser	unbehandeltes Abwasser			
					zusammen	dar. Kühlwasser		
2001	42.578		41.704	11.588	29.874	28.791	874	1.117
2004	39.185		38.320	10.453	27.575	26.316	865	1.156
Verteilung nach Einleitung (2004)								
Öffentliche Abwasserbeseitigung	9.410	24%	9.410	9.371	39			
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	1.969	5%	1.965	48	1.004	762	4	917
Verarbeitendes Gewerbe	5.758	15%	4.981	991	4.586	3.623	777	180
Wärmekraftwerke für die öffentliche Versorgung	22.048	56%	21.964	43	21.946	21.931	84	59
Gesamt	39.185		38.320	10.453	27.575	26.316	865	1.156

Tabelle 18: Abwassereinleitung der Industrie nach Länder (Statistisches Bundesamt 2007, verändert)

Abwassereinleitung der Industrie **Verteilung nach Ländern (2004)** (ohne öffentliche Abwasserbeseitigung)	**Insgesamt** x 1000 m³	davon **Kühlwasser** x 1000 m³	davon **Abwasser** x 1000 m³
Baden-Württemberg	4.524.136	4.302.063	222.073
Bayern	3.225.150	2.845.743	379.407
Berlin	400.173	393.240	6.933
Brandenburg	403.867	32.484	371.383
Bremen	1.043.914	1.024.923	18.991
Hamburg	437.914	411.509	26.405
Hessen	4.699.963	4.507.645	192.318
Mecklenburg-Vorpommern	20.366	6.830	13.536
Niedersachsen	3.125.542	2.925.746	199.796
Nordrhein-Westfalen	4.393.565	3.081.512	1.312.053
Rheinland-Pfalz	1.872.726	1.652.794	219.932
Saarland	136.344	109.119	27.225
Sachsen	250.142	13.358	236.784
Sachsen-Anhalt	243.884	85.245	158.639
Schleswig-Holstein	4.953.042	4.905.341	47.701
Thüringen	44.132	18.397	25.735
	29.774.860	26.315.949	3.458.911

Die EG-WRRL fordert bis zum Jahr 2015 den ökologisch guten Zustand aller Gewässer. Dieser ist dauerhaft durch entsprechende Maßnahmen zu sichern. Das beinhaltet auch entsprechende Anpassungen an die zukünftigen klimatischen Verhältnisse. Sollte dieses Ziel nicht erreicht werden können, ist eine zusätzliche Beeinträchtigung der Gewässerqualität aufgrund des Klimawandels wahrscheinlich.

Exemplarisch kann dies an den Auswirkungen des Extremsommers aus dem Jahre 2003 für die bereits einige Studien vorliegen: Der Sommer 2003 zeichnete sich besonders hinsichtlich lang anhaltender Hitzeperioden verbunden mit geringen Niederschlägen aus. Die daraus resultierten erhöhten Wassertemperaturen erzeugten an einzelnen Gewässern und Gewässerabschnitten kritische Werte für bestimmte Tierarten, was zu einem vermehrten Fisch- und Muschelsterben führte. Zudem fielen bestimmte Populationen aufgrund von ausgetrockneten Gewässern und größeren Ufer- und Flachwasserbereichen aus. Sauerstoffmangel konnte jedoch in den meisten Fließgewässern nicht nachgewiesen werden. Aufgrund der erhöhten Wassertemperatur kam es vor allem in Seen und Speichern zu verstärktem Algenwachstum mit teilweiser Sauerstoffübersättigung. Bei anschließenden Schlechtwetterlagen kam es zum Absterben der Algen und einer damit verbundenen Sauerstoffzehrung. Dies konnte jedoch beispielsweise am Necker durch gezielten Betrieb der Wehre vermindert werden. Eine zu erwartende erhöhte Konzentration von Sauerstoff zehrenden Stoffen, von Nährstoffen oder von Schadstoffen blieb weitestgehend aus. Gründe hierfür waren der geringere Niederschlag und geringere Einträge aus Siedlungs- und landwirtschaftlich genutzten Flächen. Durch verringerte Einleitungen aus Regen- und Mischwasserkanälen in die Kläranlagen kam es auch zu geringeren Ablauffrachten infolge verringerter Mischwasserzuflüsse und zu einer höheren Reinigungsleistung durch höhere Betriebstemperaturen. Außerdem führten die geringeren Niederschläge zu einem Rückgang der Einträge von Nährstoffen aus der Düngung landwirtschaftlicher Flächen in dieser Zeit (BfG 2006).

Treten Extremereignisse wie im Sommer 2003 zukünftig häufiger auf, ist mit umfangreicheren Folgen zu rechnen (u.a. BfG Mitteilung Nr. 27 „Niedrigwasserperiode 2003 in Deutschland – Ursachen-Wirkung-Folgen“ (BfG 2006)).

Zudem liegen Kläranlagen fast immer in hochwassergefährdeten Bereichen, wodurch sie zu den am ehesten überfluteten Anlagen der öffentlichen Infrastruktur gehören (Pinnekamp et al. 2008). Die Verschmutzung der sich in unmittelbarer Nähe befindende Gewässer ist dadurch meistens nicht vermeidbar. Durch Eindeichung oder Höherlegung könnte man dieser Gefahr jedoch teilweise beikommen. Die Erreichbarkeit sol-

cher Anlagen sollte auch während Hochwasserereignissen gewährleistet sein (Pinnekamp et al. 2008).

Das Land Nordrhein-Westfalen sieht als Auswirkungen des Klimawandels im Bereich der Wasserqualität ebenfalls die Problematik, dass es durch die prognostizierte geringere Wasserführung im Sommer bei unverminderter Einleitung von Schadstoffen zu einer Erhöhung der Konzentration von Wasserinhaltsstoffe kommen wird. Durch die zunehmenden Zeiten der direkten Sonneneinstrahlung und die ansteigende Lufttemperatur entsteht ein erhöhter natürlicher Wärmeeintrag in die Gewässer. Dadurch wird der Bedarf an Kühlwasser für Industriebetriebe und Kraftwerke steigen. Somit ist mit einer Zunahme der mittleren und maximalen Wassertemperatur zu rechnen, was wiederum zu einem negativ veränderten Sauerstoffhaushalt in den Fließgewässern führen wird. Durch die Gewässererwärmung werden Eutrophierungsprobleme in Stillgewässern und Seen zunehmen (MUNLV 2007).

Untersuchungen im Rahmen des KLIWA Projektes (Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft) zeigen, dass der Klimawandel Einfluss auf die chemischen-physikalischen Verhältnisse im Gewässer und auf die Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaften hat. Dies wurde ausführlich im KLIWA Heft 10 (Arbeitskreis KLIWA 2007) dargestellt. Dabei wird besonders auf den großen Einfluss einer Temperaturerhöhung hingewiesen, die sich auf die Selbstreinigungsprozesse negativ auswirken kann.

Bereits heute ist ein gravierender Wandel in der Tier- und Pflanzenwelt an den Gewässern zu erkennen, der teilweise den geänderten klimatischen Bedingungen zugeschrieben werden kann. Ob die Verdrängung heimischer Arten durch Neubesiedler erst durch den Klimawandel möglich geworden ist oder ob das Einschleppen fremder Arten über z.B. neue Schifffahrtswege ausreichte, ist dabei teilweise noch unklar. So lebt beispielsweise der nordamerikanische Kamberkrebs schon sehr lange in Deutschland, was darauf schließen lässt, dass die Klimaänderung keinen wesentlichen Einfluss hatte. Hingegen wurden bereits „jüngere“ Neuzuwanderer aus beispielsweise der Schwarzmeerküste, Südamerika und Asien entdeckt, wodurch man schließen könnte, dass die zunehmende Erwärmung der Gewässer die Ausbreitungsmöglichkeiten begünstigt (Arbeitskreis KLIWA 2007).

Beierkuhnlein (2008, Kurzfassung) hat im Jahr 2008 eine umfangreiche Studie mit dem Titel „Klimawandel in Bayern – Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten“ erstellt. Darin stellt der Verfasser fest, dass die Gewässerökologie von den Auswirkungen des Klimawandels erheblich betroffen sein wird. Die steigenden Wassertemperaturen wer-

den zu höheren Umsätzen und damit zu Sauerstoffzehrung in den Gewässern führen. Die wechselnden Wasserstände und die verstärkte Eutrophierung werden das sensible Gewässerökosystem belasten. Besonders nach einer längeren Trockenperiode und einem darauf folgenden Starkregenereignis entsteht ein hoher Direktabfluss, welcher Schadstoffe aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Gewässer leitet (Düngemittelaustrag). Folgen davon können Massenentwicklung von Algen und höheren Wasserpflanzen, Invasion nicht-einheimischer Arten, weiterer Verlust von Schilfbeständen und eine Beeinträchtigung des Erholungswertes sein. Hinzu kommt eine Verschiebung der Lebensräume vieler temperatursensibler Wassertiere, was zu Problemen für die aquatische Fauna führen wird (Laichgründe). Diese sind schon heute aufgrund der teilweise mangelnden Durchgängigkeit von Fließgewässern stark beeinträchtigt. Hinsichtlich der Fischfauna hat dies nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Bedeutung.

Die Änderung der Grundwasserneubildungsrate und des Grundwasserstands infolge des Klimawandels sind noch weiter zu analysieren. Speziell die Änderung der Grundwasserbeschaffenheit im Hinblick auf die Entwicklung der Nitratkonzentration muss weiter untersucht werden (MUNLV 2007).

3.6.3 Anpassungskapazität

Die maßgeblichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässergüte werden wahrscheinlich durch die Erhöhung der durchschnittlichen Wassertemperatur infolge der Temperaturerhöhung der Luft und einer quantitativ geänderten Wasserführung infolge eines geänderten Niederschlagverlaufs und –intensität bewirkt. Eine erhöhte Wassertemperatur wirkt sich vor allem durch eine direkte Beeinflussung des Sauerstoffgehaltes auf die gesamte Gewässerökologie aus. Mit einer Veränderung des Wasserdargebots (quantitativ und zeitliche Verteilung) ist eine Änderung der Wasserqualität verbunden, da sich die Schadstoffkonzentrationen im Gewässer entsprechend verändern werden. Daher ist zu klären, wie die Erhöhung der Wassertemperatur vermieden und die Schadstoffkonzentration innerhalb der Grenzwerte gehalten werden kann.

Wassertemperatur

Die Erhöhung der Wassertemperatur aufgrund des Klimawandels ist wahrscheinlich unvermeidbar. Jedoch sollten alle Möglichkeiten ausgeschöpft werden, die zusätzliche Erhöhung der Wassertemperatur aufgrund von Industrieeinleitungen (u.a. Kühlwasser) zu reduzieren.

Da sich an den Einleitungsstellen das Kühlwasser der Wärmekraftanlagen mit dem Abfluss im Gewässer vermischt, können sowohl auf Seiten der Anlagenbetreiber als auch auf Seiten der Wasserführung im Flussbett Maßnahmen getroffen werden. Die Einleitungsgrenzwerte für die Anlagenbetreiber können hinsichtlich der Temperatur als auch der Menge bzw. der zeitlichen Verteilung angepasst werden. Eine Veränderung dieser Grenzwerte ist jedoch aus ökologischer Sicht kritisch zu hinterfragen. Gegebenenfalls können durch Untersuchungen vor Ort, wie sie beispielsweise im Jahr 2008/2009 in Wuppertal durchgeführt werden, detaillierte Aussagen zu möglichen ökologisch verträglichen Grenzwerten getroffen werden.

Ebenso kann der Mindestwasserabfluss im Gewässer durch angepasste Grenzwerte erhöht werden. Dies geht natürlich nur dort, wo mittels Talsperren eine Regulierung des Mindestwasserabflusses möglich ist.

Je nach Kraftwerksstandort und Gewässertyp bestehen für die Kühlverfahren gesetzlich festgelegte Grenzwerte bezüglich der Kühlwasserentnahme und –einleitung (siehe Tabelle 19 und Tabelle 20). Diese basieren auf den Empfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 1991). Werden diese Grenzwerte erreicht, muss die Kraftwerksleistung reduziert werden, um den Wärmeeintrag in den Vorfluter zu senken (LAWA 1991, Maniak 2005, Rothstein et al. 2008, Beierkuhnlein et al. 2008, Kurzfassung). Die Einleitung von Wasser mit erhöhter Temperatur ist also heute in einem bestimmten Maß erlaubt. Steigen zukünftig die Flusswassertemperaturen an, ist über eine Reduzierung der Aufwärmspanne nachzudenken (Brahmer & Richter & Czesniak 2005).

Tabelle 19: Kühlwassergrenzwerte (Klammerwerte in Ausnahmefällen) (Rothstein et al. 2008, verändert nach Maniak 2005, LAWA 1991)

Kühlwasser	**Durchlaufkühlung**	**Kreislaufkühlung**	**Ablaufkühlung**
Wiedereinleittemperatur	30 °C (33 °C)	22 °C	35 °C
Aufwärmspanne	10 K (15 K)	10 K (15 K)	15 K

Tabelle 20: Grenzwerte bezüglich des Vorfluters (Klammerwerte in Ausnahmefällen) (Rothstein et al. 2008, verändert nach Maniak 2005, LAWA 1991)

Flusswasser	**Sommerwarme Gewässer**	**Sommerkühle Gewässer**	**Salmonide Gewässer**
Flusswassertemperatur (rechnerisch ermittelt)	28 °C	25 °C	18 °C
Aufwärmspanne	5 K (7 K)	3 K (5 K)	3 K

Durch die zu erwartende höhere Lufttemperatur wird zukünftig mit einem höheren Kühlungsbedarf zu rechnen sein. Da dennoch die Grenzwerte für die Wiedereinleitung nicht überschritten werden dürfen, sind Maßnahmen an den Wärmekraftanlagen erforderlich. Oft können diese z.B. durch ein Nah- oder Fernwärmenetz oder eine Kraft-Wärme-Kopplung optimiert werden. Auch kann der Kühlprozess z.B. durch die Verwendung von Kühltürmen optimiert werden (siehe Kapitel 3.3.3). Es muss dafür berücksichtigt werden, wie hoch die zukünftigen Grenzwerte für die Wärmebelastung der Gewässer liegen sollen (Göttle 2008).

Es wird weiterer Bedarf in der Vorhersage des Abflusskontinuums gesehen. Dieses sollte gekoppelt mit der Einrichtung eines bereits teilweise vorliegenden Niedrigwasser-Informationsdienstes ausgebaut werden. Gleichzeitig sollte die Gewässertemperatur flächendeckend erhoben und hinsichtlich der Wassereinleitungen aus Wärmekraftwerken kontrolliert werden.

Abwasser

Maßgeblich beeinflusst wird der Gewässerzustand durch die Wiedereinleitung von (Ab-)Wasser. Aufgrund der zwar meist geringen, jedoch noch vorhandenen Restverschmutzung, verschlechtert das überwiegend aus öffentlichen Abwasserbeseitigungsanlagen, dem Bergbau und aus dem verarbeitenden Gewerbe stammende (Ab-)Wasser die Gewässergüte. Die Reinigungsleistung von Kläranlagen kann beispielsweise durch folgende Maßnahmen verbessert werden:

- Membranfiltration
- Sorptionsverfahren (Pulveraktivkohle)
- Oxidative Verfahren (Ozonisierung)
- Photochemische Verfahren
- Stützung der Struktur des belebten Schlammes

Um Kläranlagen weiter optimieren zu können, ist die Trennung von Schmutz- und Niederschlagswasser weiter auszubauen. Um den Schmutzwasseraustritt zu reduzieren, sollte insbesondere das bestehende Leitungsnetz regelmäßig überprüft und entsprechend gewartet werden.

Der Schadstoffeintrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen stellt ebenfalls eine stoffliche Belastung der Gewässer dar. Oft sind Drainagen, die zur Entwässerung solcher Flächen verlegt wurden, zu nah an der Oberfläche positioniert, so dass die Filterwirkung des Bodens nicht voll ausgenützt werden kann. Eine Überprüfung ist daher anzuraten.

Mindestwasserabfluss

Neben der Optimierung der Einleitungsmengen aus Wärmekraft- und Kläranlagen kann die Wassertemperatur und die Schadstoffkonzentration durch die Sicherstellung bzw. Aufhöhung des vorgeschriebenen Mindestwasserabflusses oberhalb der Einleitungsstelle reduziert werden. Durch eine Vergrößerung vorhandener sowie durch den Bau neuer Speicher könnte vielerorts der Mindestwasserabfluss auch während zukünftig länger andauernder Niedrigwasserperioden sichergestellt werden. Das zeigt ein Beispiel aus Thüringen. Obwohl im Sommer 2003 eine Reduzierung des Abflusses um durchschnittlich 30 bis 40 % vorlag, konnten die Mindestwasserabgaben aufgrund einer ausreichenden Wasserspeicherung in den vorhandenen Talsperren über die Trockenzeit hinweg bereitgestellt werden (TMLNU 2004).

Ausgleich kann auch durch verbesserten Wasserrückhalt in der Fläche (dezentral) während Überschusszeiten erreicht werden, der in Bedarfssituationen den Basisabfluss stabilisieren kann. Durch mehrere kleinräumige naturnahe Retentionsmaßnahmen kann die Abflussbereitschaft von befestigten und unbefestigten Flächen reduziert werden. Natürliche Mulden und Gräben sind zu erhalten und nicht im Rahmen von Baumaßnahmen einzuebnen. Dezentrale Maßnahmen hängen jedoch wesentlich von der Flächennutzung im Einzugsgebiet ab und sind daher regional sehr unterschiedlich umsetzbar.

Für seenreiche Landschaften in Deutschland, wie in Mecklenburg-Vorpommern, wird empfohlen, die zahlreichen Seen durch entsprechende Wehrreglements für die Niedrigwasseraufhöhung verstärkt zu nutzen. In den Wintermonaten kann hierzu vermehrt Wasser in der Fläche zurückgehalten werden. Durch angepasste Flächenbewirtschaftung kann die Grundwasserneubildungsrate verbessert werden.

4 Konzept Entscheidungsunterstützungssystem

4.1 Regelbasiertes Entscheidungsunterstützungssystem (EUS)

Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass trotz aller Bemühungen zur Reduktion der anthropogenen Treibhausgase der Klimawandel nicht mehr aufzuhalten ist. Die Ergebnisse aus Kapitel 3 belegen zudem, dass gerade im Bereich der Wasserwirtschaft bereits heute deutliche Auswirkungen erkennbar und daher Anpassungsstrategien erforderlich sind. Für die Ermittlung von konkreten Anpassungsmaßnahmen ist jedoch die Analyse und Bewertung einer Vielzahl von Informationen und Daten erforderlich, die teilweise nur grob abgeschätzt bzw. unscharf erfasst werden können.

Ein **E**ntscheidungs**u**nterstützungs**s**ystem EUS (Decision Support System = DSS), das neben empirisch abgesicherten Daten auch unsichere Daten wie die zu erwartende Klimaänderung oder sich ändernde gesellschaftliche Rahmenbedingungen berücksichtigt, kann den Entscheidungsprozess erleichtern. Im Folgenden wird ein solches System unter dem Namen „WASKlim-EUS“ vorgestellt, das beispielhaft an drei ausgewählten Testgebieten erprobt wurde (Wupper, Salza, Obere Iller).

Das System ist folgendermaßen aufgebaut (Abbildung 69):

1) Wasserhaushaltsmodell
   a) Ermittlung der hydrologischen Belastungen auf der Basis von Klimaszenarien
   b) Statistische Auswertung der hydrologischen Belastung

2) Zustandsbewertung (Vergleich von Wasserdargebot zu Wasserbedarf)
   a) Bewertung des Wasserdargebotes – heute und zukünftig
   b) Bewertung des Wasserbedarfs - heute und zukünftig
   c) Bewertung des heutigen und zukünftigen Zustandes ohne Anpassungsmaßnahmen

3) Maßnahmenbewertung der Wassernutzungen
   a) Bewertung der Wirkung verschiedener, alternativer Maßnahmen
   b) Maßnahmenbewertung unter Berücksichtigung der Zustandsbewertung

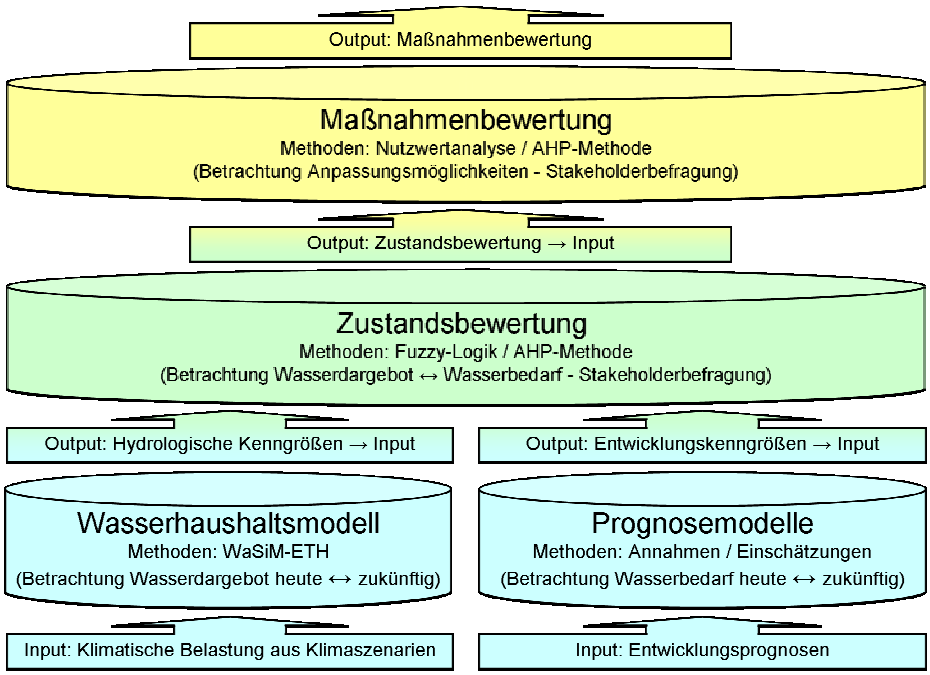


Abbildung 69: Aufbauschema des Entscheidungsunterstützungssystems

<u>Wasserhaushaltsmodell</u>

Mit Hilfe des **Wasserhaushaltsmodells** WaSiM-ETH wird der heutige und zukünftige potenziell natürliche Wasserhaushalt beispielhaft für die drei ausgewählten Einzugsgebiete berechnet. Die daraus resultierenden Kenngrößen (statistische Ermittlung) wie etwa Mittelwasser- (MQ) oder mittlerer Niedrigwasserabfluss (MNQ) der Zeitreihen 1971-2000 (IST), 2021-2050 (Z 1) und 2071-2100 (Z 2) dienen der Zustandsermittlung hinsichtlich des heutigen und zukünftigen **Wasserdargebotes**. Bewertet werden jedoch nicht die absoluten Kenngrößen aus den Ergebnissen der Wasserhaushaltsberechnungen, sondern die prozentuale Änderung der zukünftigen Kenngrößen (Z1, Z2) in Relation zu den heutigen Kenngrößen (IST) (siehe Gleichung 1).

$$\text{Hydrologische Kenngröße Z1 / Z2} = \frac{\text{Mittelwert der Kenngröße Z1 / Z2}}{\text{Mittelwert der Kenngröße IST}} \quad \text{, in [\%]}$$

Gleichung 1: Berechnung der hydrologischen Kenngrößen

Für die Berechnungen der Kenngrößen wurden die Regionalisierungsmodelle WETTREG (= statistisches regionales Klimamodell - feucht / trocken) und REMO (= dynamisches regionales Klimamodell), mit jeweils den IPCC-Szenarien A1B, A2, B1

verwendet (vgl. Kapitel 2.1.1). Insgesamt ergeben sich dadurch sechs WETTREG und drei REMO Berechnungen. Prinzipiell können aber auch fiktive Klimaszenarien eingegeben werden.

Zustandsbewertung

Für die Bewertung des heutigen und zukünftigen **Wasserdargebotes** sind die so errechneten hydrologischen Kenngrößen (= Indikatoren) nun von Vertretern der verschiedenen Wassernutzungen (Stakeholder) im Hinblick auf die Deckung des Wasserbedarfs zu bewerten. Die Bewertungsskala reicht von äußerst schlecht über sehr schlecht, schlecht, zufriedenstellend, gut, sehr gut bis äußerst gut. Bei der Bewertung wird den Bewertungsstufen eine prozentuale Änderung der jeweiligen hydrologischen Kenngröße zugeordnet. Daher ist bei der Einschätzung zu überlegen, bei welcher prozentualen Änderung der hydrologischen Kenngröße die jeweilige Bewertungsstufe erreicht wird (Tabelle 21).

Tabelle 21: Beispiel für die Bewertung der hydrologischen Kenngröße MQ

	Bewertungsstufen						
Hydrologische Kenngröße(n)	äußerst schlecht	sehr schlecht	schlecht	zufrieden-stellend	gut	sehr gut	äußerst gut
MQ [%]	< 80	-	90	95 - 105	110 - 115	120	> 125

Im vorliegenden Beispiel wird die Bewertungsstufe „äußerst schlecht“ erreicht, wenn der mittlere Abfluss MQ zukünftig auf ca. 80 % oder weniger zurückgehen würde. Die Bewertungsstufe „äußerst gut“ wird erreicht, wenn der mittlere Abfluss MQ zukünftig auf ca. 125 % oder mehr ansteigen würde. 100 % stellt dabei den Referenzzustand dar und entspricht dem heutigen Zustand.

Ausgewertet werden diese Eingaben mit Hilfe eines Fuzzy-Logik Systems. Aus den Bewertungen wird automatisch vom WASKlim-EUS ein Fuzzy-Entscheidungssystem aufgestellt, das mittels einfacher „WENN-DANN-Regeln“ die Bewertung der Klimaszenarien hinsichtlich des Wasserdargebotes ermöglicht. Dabei werden mit Hilfe der Angaben über die prozentuale Änderung aus den Bewertungsstufen sogenannte Zugehörigkeitsfunktionen erstellt („fuzzyfiziert“). Eine Zugehörigkeit μ gleich eins bedeutet,

dass die Kenngröße eindeutig erfüllt ist, während der Wert von null eine Zugehörigkeit ausschließt. Alle Werte zwischen null und eins kennzeichnen einen anteiligen Zugehörigkeitsgrad. Der Vorteil eines Fuzzy-Regelwerkes ist es, dass die vorhandenen Unsicherheiten bei den jeweiligen Bewertungen in das System explizit mit einfließen und berücksichtigt werden. Detaillierte Beschreibungen eines Fuzzy-Logik Systems und der Aufstellung hierfür benötigter Zugehörigkeits- und Antwortfunktionen sind in Zimmermann (1993) oder in Lippe (2006) dargestellt. Beispielhaft sei an dieser Stelle ein einfaches Fuzzy-Teilsystem für die hydrologische Kenngröße MQ mit der Bewertung aus Tabelle 21 gezeigt (Abbildung 70):

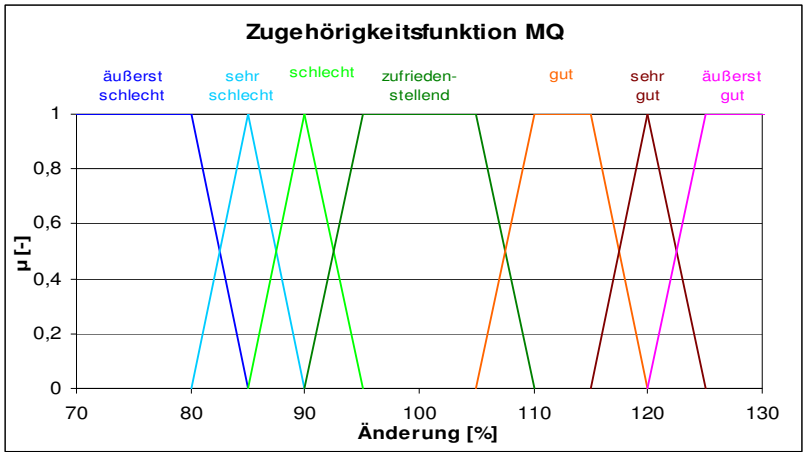


Abbildung 70: Graphische Darstellung der Zugehörigkeitsfunktionen des Fuzzy-Systems. Die einzelnen Funktionen werden mit Hilfe der Stakeholdereinschätzungen bspw. aus Tabelle 21 erstellt.

Die Bewertungsstufe „äußerst schlecht“ wurde im Beispiel mit 80 % bewertet (Tabelle 21). Daraus wurde die blaue Zugehörigkeitsfunktion in Abbildung 70 erstellt.

Über „WENN-DANN-Regel“ werden anschließend die Zugehörigkeitsfunktionen den Antwortfunktionen zugeordnet. Im Beispiel würde dies lauten: WENN Zugehörigkeitsfunktion „äußerst schlecht“ (Abbildung 70), DANN Antwortfunktion „-3“ (Abbildung 71). Der Verlauf der Antwortfunktionen ist im WASKlim-EUS durch die Bewertungsskala von -3 bis +3 fest vorgegeben. Die Zuordnung der einzelnen Zugehörigkeits- zu den Antwortfunktionen zeigt folgende Abbildung farblich:

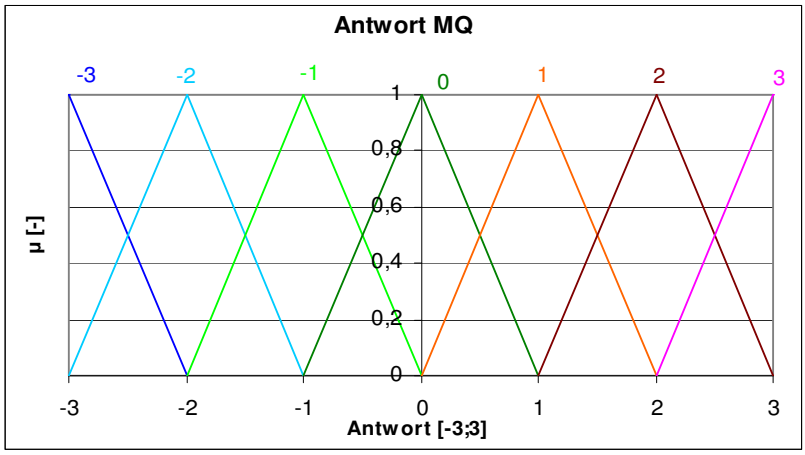


Abbildung 71: Farbliche Zuordnung der Zugehörigkeitsfunktionen aus Abbildung 70 zu den Antwortfunktionen -3 bis +3.

Für jede hydrologische Kenngröße wird ein eigenes Fuzzy-System mit jeweils sieben Zugehörigkeitsstufen (Antwortskala -3 bis +3) erstellt. Betrachtet man im Folgenden ein konkretes Klimaszenario, beispielsweise mit einem MQ-Wert von 87 %, so stellt sich folgendes Bild ein:

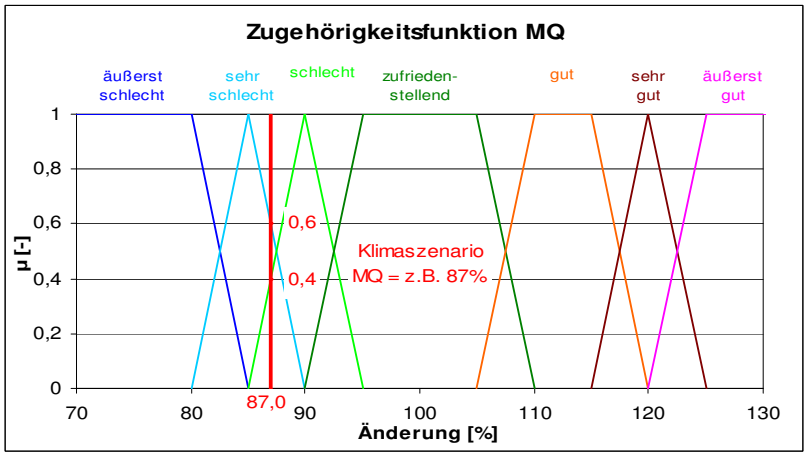


Abbildung 72: Graphische Darstellung der Zugehörigkeitsfunktionen und der hydrologischen Kenngröße MQ (87 %).

Abbildung 72 zeigt, dass der MQ-Wert von 87 % die Zugehörigkeitsfunktion „sehr schlecht“ zu 0,6, also zu 60 % und die Zugehörigkeitsfunktion „schlecht“ zu 40 % erfüllt. Diese Erfüllungsgrade werden in die Antwortfunktion übertragen (Abbildung 73):

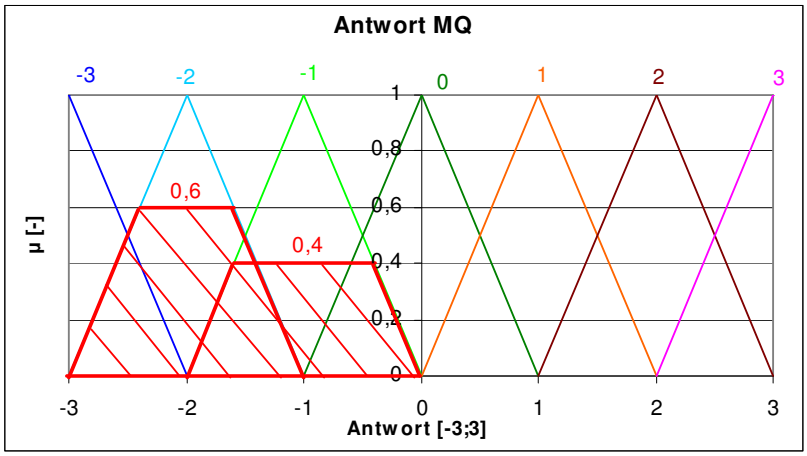


Abbildung 73: Ergebnisdarstellung der Antwort MQ (87 %)

Demnach wird die Antwortfunktion „-2“ mit 60 % und die Antwortfunktion „-1“ zu 40 % erfüllt. Daraus errechnet sich mit folgender Gleichung eine Antwort von -1,60, also einem Zustand zwischen „schlecht“ bis „sehr schlecht“.

$$A(x) = \frac{\mu_1 \cdot a_n + \mu_2 \cdot a_n}{\mu_1 + \mu_2}$$

Gleichung 2

mit:
A = Antwort
x = prozentuale Änderung
μ_n = Erfüllungsgrad
a_n = Antwortfunktion n

Hier:

$$\text{Antwort MQ}(87\,\%) = \frac{0{,}6 \cdot (-2) + 0{,}4 \cdot (-1)}{0{,}6 + 0{,}4} = -1{,}60$$

Dieser Vorgang wird nun für alle im Vorfeld festgelegten hydrologischen Kenngrößen wiederholt. Die Antwort für die Bewertung des Wasserdargebotes errechnet sich schließlich, indem die hydrologischen Kenngrößen prozentual gewichtet, mit der jeweiligen Antwort multipliziert und anschließend alle Ergebnisse aufaddiert werden. Unterstützend kann für die Gewichtung der Kenngrößen der Analytische-Hierarchie-Prozess (AHP) verwendet werden (Saaty 1980, Saaty 1990, Schneeweiß 1991). Über einfache Paarvergleiche werden dabei Einzelgewichte der Indikatoren ermittelt. Der sogenannte Inkonsistenzfaktor, der einen bestimmten Grenzwert nicht überschreiten darf, gibt da-

bei Auskunft über die Plausibilität der Bewertungen. Auch diese Berechnung wird automatisch von dem Programm vorgenommen.

Ebenso ist von Vertretern der jeweiligen Wassernutzung der zu erwartende **Wasserbedarf** hinsichtlich der Menge zu bewerten. Hier dienen jedoch keine hydrologischen Kenngrößen als Indikatoren, sondern meteorologische Kenngrößen (Temperatur) und Entwicklungsprognosen hinsichtlich der Bevölkerung und des ökonomischen Strukturwandels (Prognosemodell). Diese werden als Entwicklungs-Kenngrößen bezeichnet. Die Bewertungsskala reicht hier von „es wird zukünftig sehr viel mehr Wasser benötigt“, über „…viel mehr…“, „…mehr…“, „…gleich viel…“, „…weniger…“, „…viel weniger…“ bis „es wird sehr viel weniger Wasser als heute benötigt“. Für die Bewertung des Wasserbedarfs wird die gleiche Methodik verwendet wie bei der Bewertung des Wasserdargebotes.

Liegen die Bewertungen des Wasserdargebotes und des Wasserbedarfs für eine Wassernutzung vor, wird aus einem Vergleich beider Ergebnisse der Zustand in Abhängigkeit eines konkreten Szenarios berechnet und somit der Handlungsbedarf für die gewählte Wassernutzung ermittelt. Dieser Vorgang wird anschließend für möglichst alle Wassernutzungen im Einzugsgebiet wiederholt. Schließlich erhält man für jede Wassernutzung eine Zustandsbewertung. Im Folgenden können nun verschiedene Szenarien in das System eingegeben werden und man erhält, ohne größeren Aufwand, die dazugehörende Zustandsbewertung für alle ausgewählten Wassernutzungen.

Maßnahmenbewertung

In einem weiteren Schritt werden die Stakeholder nach konkreten, auf die Region abgestimmten Anpassungsmaßnahmen gefragt. Als Hilfestellung für die Befragten kann ein Maßnahmenkatalog herangezogen werden, der im Rahmen einer umfangreichen Literaturanalyse aufgestellt wurde (siehe Anhang). Die Bewertung der Anpassungsmaßnahmen erfolgt durch eine Nutzwert-Analyse. Die vorgeschlagenen Bewertungskriterien sind dabei der Nutzen kurz-/mittelfristig, der Nutzen langfristig, der Beitrag zum Klimaschutz, die Resilienz und die Nutzungskonflikte bzw. die Machbarkeit. Die Bewertungsskala verläuft, wie bei der Zustandsermittlung, von „äußerst schlecht (-3)“ bis „äußerst gut (+3)“. Die Kriterien können ebenfalls ergänzt und nach subjektivem Ermessen oder mit Hilfe des Analytischen-Hierarchie-Prozesses (AHP) prozentual gewichtet werden. Daraus wird vom WASKlim-EUS die Bewertung einer Maßnahme aus Sicht der jeweiligen Wassernutzung errechnet.

Nach einem Vergleich der Zustands- mit den Maßnahmenbewertungen kann festgestellt werden, welche Anpassungsmaßnahmen für die jeweilige Wassernutzung als am besten geeignet erscheint. Dabei ist allerdings darauf zu achten, dass einzelne Maßnahmen nicht übertrieben hoch bewertet werden. Um positive aber auch negative Synergieeffekte berücksichtigen zu können, werden die von einzelnen Stakeholdern vorgeschlagenen Maßnahmen anschließend von allen Vertretern der verschiedenen Wassernutzungen im Hinblick auf ihre Auswirkungen bewertet.

Soll nun aus Sicht der entscheidenden Behörde eine konkrete Maßnahme ermittelt werden, die für das Einzugsgebiet zu priorisieren ist, können die Wassernutzungen untereinander vom Entscheidungsträger gewichtet und der Gesamtnutzen einer Maßnahme unter Berücksichtigung dieser Gewichtung berechnet werden. Die Maßnahme mit dem größten Gesamtnutzen ist zu favorisieren. Im Rahmen dieser Bewertung sind die Kosten der verschiedenen Anpassungsmaßnahmen ergänzend als Größenordnung zu beschreiben.

Die Entscheidung über die tatsächliche Durchführung einer Anpassungsmaßnahme wird jedoch letztendlich Aufgabe der dafür vorbehaltenen politischen Gremien bleiben.

Im Anhang sind verschiedene Ausschnitte des WASKlim-EUS, alle Eingabedaten der drei Testregionen sowie die Ergebnisse enthalten.

4.2 Stakeholderbeteiligung

Da die Bewertung des Wasserbedarfs und des Wasserdargebotes sowie der möglichen Anpassungsmaßnahmen nicht „vom Schreibtisch“ aus getroffen werden können, ist die Einbindung der Experten vor Ort erforderlich. Es wurde daher ein Fragebogen erstellt, der die o.g. erforderlichen Einschätzungen der regionalen Stakeholder zum Wasserdargebot, Wasserbedarf und zu möglichen Anpassungsmaßnahmen erfasst (siehe Anhang).

Vorgestellt wurde dieser Fragebogen an der in jedem Testgebiet durchgeführten eintägigen Nutzerkonferenz. Hierzu wurden, mit Unterstützung von unserem jeweiligen Projektpartner im Einzugsgebiet (siehe Kapitel 2.3.1), Stakeholder anhand der vorkommenden Wassernutzungen ermittelt und eingeladen. So nahmen an der Nutzerkonferenz Wupper insgesamt 45 Personen, an der Konferenz Salza 37 Personen und an der

Illerkonferenz ebenfalls 45 Personen teil (incl. WASKlim-Team). Es konnten dadurch die wichtigsten Wassernutzungen vor Ort durch Vertreter abgedeckt werden. An den Konferenzen wurden jeweils die Ergebnisse aus den Wasserhaushaltsberechnungen, das WASKlim-EUS Konzept und der Fragebogen ausführlich vorgestellt. Bei Bedarf wurden im Nachgang sowohl persönliche als auch telefonische Interviews ergänzend angeboten und durchgeführt, so dass letztendlich für alle drei Testgebiete entsprechende Daten erhoben werden konnten. Die Ergebnisse werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt.

4.3 Testgebiet Wupper

4.3.1 Einzugsgebiet Wupper

Das Einzugsgebiet der Wupper hat eine Fläche von 813 km². Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt 1.293 mm (1971-2000) und es zeichnet sich durch eine sehr starke urbane Nutzung aus. Im Einzugsgebiet liegen die Städte Wuppertal, Remscheid, Solingen und Leverkusen mit einer Gesamteinwohnerzahl von ca. 950.000 Menschen. Das Einzugsgebiet weist eine hohe Dichte an Talsperren auf. Insgesamt sind 8 Brauchwasser- und 8 Trinkwassertalsperren vorhanden. Das gesamte Stauvolumen beträgt ca. 165,8 Mio. m³. Im Einzugsgebiet der Wupper befinden sich zudem 11 Klärwerke des Wupperverbandes. Über diese Klärwerke gelangt das zuvor aus den Talsperren abgeleitete Trinkwasser zurück in die Wupper (Abbildung 74).

Durch ein umfangreiches Verbundsystem der Anlagen ist eine Anpassung an die verschiedensten Wetterlagen permanent möglich. Über das Trinkwasserversorgungsnetz des Wupperverbandes werden pro Jahr mehrere Mio. Kubikmeter Wasser aus dem Einzugsgebiet der Dhünn in das Einzugsgebiet der Wupper übergeleitet. Die Stadtwerke Wuppertal und Solingen beziehen ein Teil ihres Trinkwassers über Wasserwerke, die ihr Rohwasser aus Uferfiltrat des Rheins gewinnen.

Durch das Talsperrennetz werden unterschiedliche Nutzungen wie die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung, die Bereitstellung von Brauchwasser für die Industrie, der Hochwasserschutz, die Gewährleistung einer Mindestwasserführung sowie Erholungsraum sichergestellt. Mittels einer permanenten Anpassung der Talsperrensteuerung versucht man der hierbei auftretenden Nutzungskonkurrenz gerecht zu werden. Gere-

gelt wird dies bei den meisten Anlagen durch den Wupperverband. Aufgrund einer komplexen Steuerung konnten die Talsperren nicht im Wasserhaushaltsmodell berücksichtigt werden. Somit beziehen sich die Angaben der Stakeholder jeweils auf den „potenziell natürlichen Zustand“ der Wupper und Dhünn (siehe Kapitel 2.3.6).

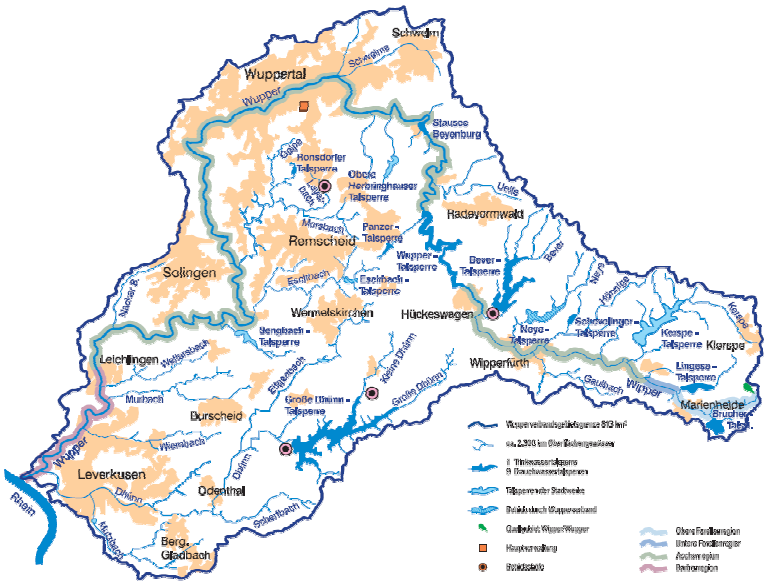


Abbildung 74: Einzugsgebiet der Wupper (Wupperverband 2008 a)

Im betrachteten Einzugsgebiet sind u.a. folgende Wassernutzungen an Wupper und der Dhünn vorhanden:

Energieerzeugung:

- Wasserkraftanlagen
- Kühlwasserentnahmen und –einleitungen

Wasserversorgung

- Trinkwasserversorgung aus Talsperren
- Brauchwasserversorgung aus Talsperren

Gewässerzustand (wird als Wassernutzung interpretiert)

- Gewässerzustand aus biologischer Sicht (allgemein)
- Abwassereinleitungen aus Kläranlagen
- Fischerei (Ober-, Mittel- und Unterlauf)

Konkurrierende Nutzungsansprüche

- Konkurrierende Nutzungsansprüche der Talsperren in den Bereichen Hochwasserschutz und (Trink-)Wasserversorgung

An der am 25.11.2008 stattgefundenen eintägigen Nutzerkonferenz in Wuppertal (Klärwerk Buchenhofen) erschienen Vertreter der jeweiligen oben genannten Wassernutzungen. Der Prototyp des Entscheidungsunterstützungssystems „WASKlim-EUS“ wurde vorgestellt und eine mögliche Anwendung im Einzugsgebiet der Wupper und Dhünn diskutiert. Im Nachgang der Nutzerkonferenz fanden mehrere persönliche Interviews mit Stakeholdern statt.

4.3.2 Ergebnisse Wupper

Zustandsbewertung

Insgesamt konnten durch die Befragung Daten für acht verschiedene Wassernutzungen erhoben werden. Für die Bewertung des Zustandes wurden von den Stakeholdern jeweils hydrologische Kenngrößen und Entwicklungs-Kenngrößen angegeben (Tabelle 22). Details zu der Bewertung sind im Anhang enthalten.

Tabelle 22: Verwendete hydrologische Kenngrößen und Entwicklungskenngrößen der Wassernutzer im EZG der Wupper

Obere Iller	**Hydrologische Kenngrößen**	**Entwicklungs-Kenngrößen**
Wasserkraftanlagen	• MQ (J) • MQ (S) • MQ (W) • MNQ (S) • UZ ND (S) < MNQ	
Kühlwasserentnahme/-einleitung	• MQ (S) • MQ (W) • GWN (J) • W-Temp (S) • W-Temp (W)	• Bevöl. Entw. • L-Temp (S) • L-Temp (W) • Ökon.Strukturw.
Trinkwasser aus Talsperren	• MHQ (J) • MQ (J) • L-Temp (S) • L-Temp (W)	• Bevöl.Entw. • L-Temp (S) • Ökon.Strukturw.
Brauchwasser aus Talsperren	• MQ (J)	• Bevöl.Entw. • Ökon.Strukturw.
Gewässerzustand allgemein	• MHQ (J) • MQ (J) • MNQ (J) • MNQ (S) • NNQ (J) • GWN (J) • L-Temp (S) • L-Temp (W)	

Abwassereinleitung aus Kläranlagen	• MNQ (S) • MNQ (W) • UZ ND (S) < MNQ • UZ ND (W) < MNQ • GWN (J)	• Bevöl.Entw. • L-Temp (S) • Ökon.Strukturw.
Fischerei	• W-Temp (S) • W-Temp (W)	
Nutzungskonflikt HWS – TW aus TS	• MHQ (J) • MHQ (S) • MHQ (W) • HHQ (J)	• Bevöl.Entw. • Ökon.Strukturw.

Nach der Eingabe der Daten in das WASKlim-EUS und der Berechnung der Ergebnisse unter Berücksichtigung von insgesamt neun Klimaszenarien ergab sich folgendes Bild für die Zustandsbewertung des Zeitraums 2021-2050 (Abbildung 75):

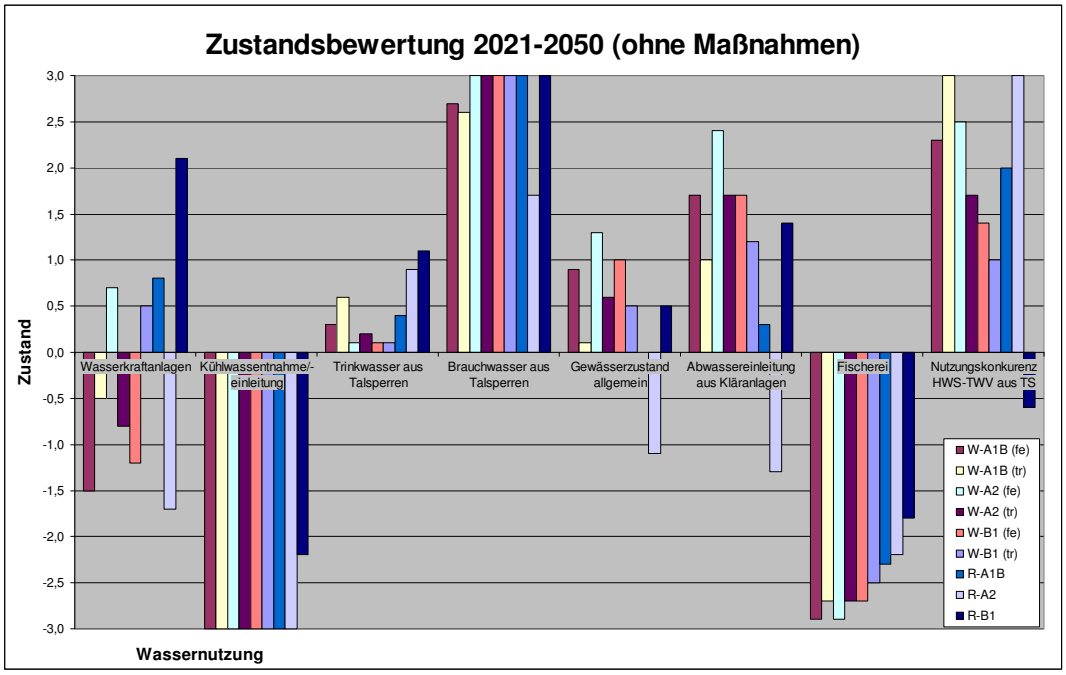


Abbildung 75:Zustandsbewertung 2021-2050 gegenüber 1971-2000

Jeder Balken stellt dabei ein anderes Klimaszenario dar. In der Legende stehen die Abkürzungen „W-“ für WETTREG und „R-“ für REMO. Die Bewertungsskala reicht von -3 als äußerst schlechten Zustand bis +3 als äußerst guten Zustand. Die Ergebnisse in den Bereichen Wasserkraftanlagen, Trinkwasserversorgung aus Talsperren und Gewässerzustand zeigen dabei ein teilweise kontroverses bzw. nicht eindeutiges Bild. Dagegen sind die Bereiche Kühlwasserentnahme und –einleitung (äußerst schlecht),

Brauchwasserversorgung aus Talsperren (gut bis äußerst gut), Fischerei (sehr schlecht bis äußerst schlecht) und die Nutzungskonkurrenz aus Hochwasserschutz und Trinkwasserversorgung (gut) eindeutig. Der Bereich Abwassereinleitungen aus Kläranlagen zeigt zwar einen Trend, kommt aber nicht deutlich über den guten Zustand hinaus.

In Zeitraum 2071-2100 ist der Trend für einige Wassernutzungen deutlicher (Abbildung 76). Alle Klimaszenarien zeigen nun für Wasserkraftanlagen einen schlechten Zustand auf. Auch wird der Zustand für den Gewässerzustand klarer abgebildet. Dieser liegt zwischen zufriedenstellend und gut (WETTREG).

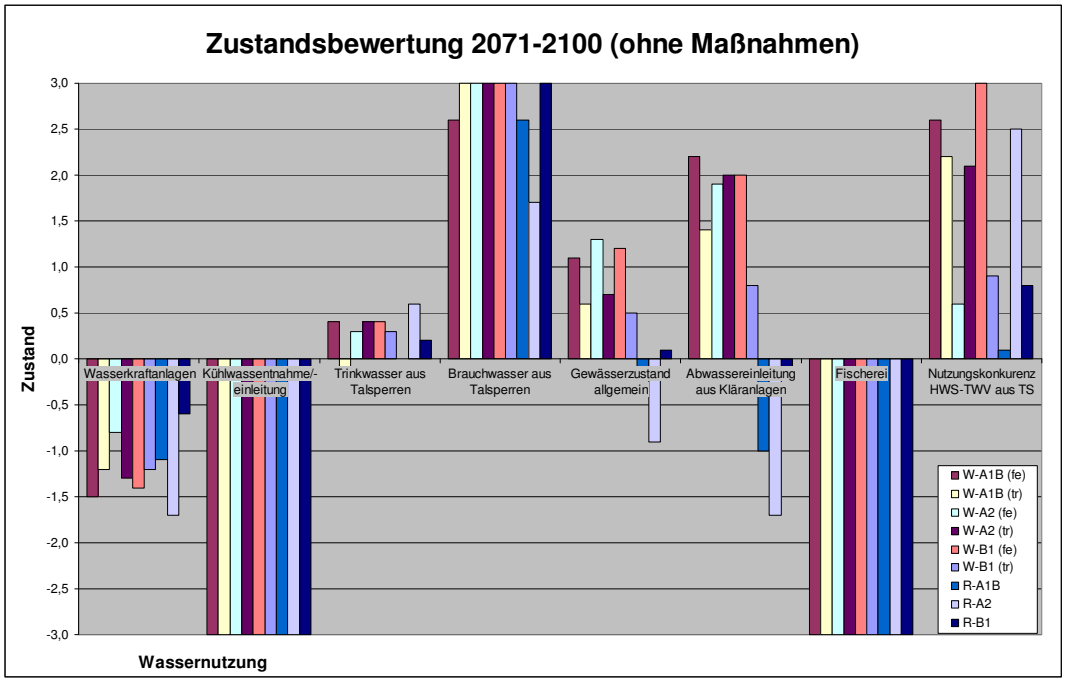


Abbildung 76:Zustandsbewertung 2071-2100 gegenüber 1971-2000

In Tabelle 23 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Die Steigung der Pfeile ist dabei ein Maß für die Ausprägung des Zustandes. Vulnerable Wassernutzungen im Einzugsgebiet der Wupper sind demnach Wasserkraftanlagen, Kühlwasserentnahmen und –einleitungen sowie die Fischerei. Bei den Nutzungen Gewässerzustand und Abwassereinleitungen zeigen die REMO Ergebnisse entgegen den WETTREG Ergebnissen, eine überwiegend negative Entwicklung voraus. Da die Eintrittswahrscheinlichkeit der Klimaszenarien für alle Szenarien gleich groß ist, ist der Trend nicht eindeutig.

Tabelle 23: Zusammenfassung Zustandsbewertung - Mittelwerte (roter Pfeil = negativ Zustandsentwicklung, grüner Pfeil = positive Zustandsentwicklung, ? = unklare Zustandsentwicklung)

Wassernutzung	**2021-2050**	**2071-2100**
Wasserkraftanlagen	**?**	↘
Kühlwasserentnahmen/-einleitungen	↘	↘
Trinkwasserversorgung aus Talsperren	↗	↗
Brauchwasserversorgung aus Talsperren	↑	↑
Gewässerzustand allgemein	**?**	↗
Abwassereinleitung aus Kläranlagen	↗	↗
Fischerei	↘	↘
Nutzungskonkurrenz HWS-TWV	↗	↗

<u>Maßnahmenbewertung</u>

In Tabelle 24 sind die verschiedenen Maßnahmen, die durch die Expertenbefragung erhoben wurden, dargestellt. Dabei ist anzumerken, dass nicht alle Synergieeffekte berücksichtigt werden konnten, da die Beantwortung des Fragebogens rein hypothetisch erfolgte. Erforderlich wurde dies, da lediglich der potenziell natürliche Wasserhaushalt zur Bewertung herangezogen werden konnte und nicht der für Maßnahmen ausschlaggebende Talsperreneinfluss berücksichtigt wurde. Die prozentuale Gewichtung der einzelnen Wassernutzungen wurde vom Projektteam durchgeführt und ist ebenfalls rein hypothetisch. Die Spalte „Bewertung“ gibt an, welche Maßnahme die beste Bewertung unter Berücksichtigung der Gewichtung aufzeigt. Die Bewertungsskala reicht von äußerst ungeeignet (-3) bis äußerst geeignet (+3). Diese Ergebnisse werden nun mit den Ergebnissen der Zustandsbewertung verglichen. Als vulnerabel wurden die Nutzungen Wasserkraftanlagen, Kühlwasserentnahmen und –einleitungen sowie die Fischerei ermittelt, so dass Maßnahmen aus diesen Bereichen bevorzugt werden sollten. Demnach ist die Maßnahme „Gewässerschutz (oberirdisch)“ zu priorisieren, da sie mit einer Bewertung von 1,85 die größte Punktezahl erreicht hat. Die rote Markierung in Tabelle 24 gibt die vulnerablen Wassernutzungen an.

Tabelle 24: Maßnahmenbewertung im EZG der Wupper (rot = vulnerabel)

	Bewertung	Wasserkraftanlagen	Kühlwasserentnahme/- einleitung	Trinkwasser aus Talsperren	Brauchwasser aus Talsperren	Gewässerzustand allgemein	Abwassereinleitung aus Kläranlagen	Fischerei	Nutzungskonkurrenz HWS-TWV aus TS
Anpassungsmaßnahmen	[-3;+3]	3%	5%	34%	10%	22%	6%	14%	7%
WKA Modernisierung Steuerung	0,08	3,0							
WKA Modernisierung Turbine	0,07	2,4							
Fernwärmenetz ausbauen	0,02		0,5						
Kühlturm bauen	-0,03		-0,7						
Speichersee optimieren	0,76			2,3					
Gewässerschutz (oberirdisch)	1,85			2,3		3,0		3,0	
Trennung von Schmutz- und Regenwasser	0,10						1,6		
Flächen entlang der Gewässer freihalten	0,13								2,0
Trinkwasserbedarf realistisch abschätzen	0,14								2,1

4.3.3 Unsicherheiten

Da die Ergebnisse sehr stark von Stakeholdereinschätzungen abhängen, welche überwiegend subjektiver Natur sind, ist die ebenfalls abgefragte Selbsteinschätzung der Stakeholder bezüglich der Beantwortung der Fragen von großer Bedeutung (Tabelle 25). Insgesamt gab es drei Bewertungsstufen, von unsicher (1) über ziemlich sicher (2) bis sicher (3). Zwei Vertreter von Wassernutzungen haben hierzu keine Angaben getätigt, daher sind diese Spalten nicht ausgefüllt.

Tabelle 25: Selbsteinschätzung der Stakeholder im Einzugsgebiet der Wupper. Dazugehörige Fragen siehe Anhang (unsicher (1), ziemlich sicher (2) und sicher (3))

	Wasserkraftanlagen	Kühlwasserentnahmen/-einleitungen	Trinkwasser aus Talsperren	Brauchwasser aus Talsperren	Gewässerzustand allgemein	Abwassereinleitung aus Kläranlagen	Fischerei	Nutzungskonkurrenz HWS – TWV aus TS
Frage (Kurzform)	[1-3]	[1-3]	[1-3]	[1-3]	[1-3]	[1-3]	[1-3]	[1-3]
1. Wassernutzungen im EZG	3	2	2	3	-	2	-	2
2. Wasserdargebot Kenngrößen	2	2	2	3	-	2	-	2
3. Wasserdargebot Bewertung	2	2	3	3	-	1	-	2
4. Wasserdargebot Gewichtung	3	1	3	3	-	2	-	2
5. Wasserbedarf Kenngrößen	-	1	2	3	-	2	-	2
6. Wasserbedarf Bewertung	-	2	3	3	-	3	-	2
7. Wasserbedarf Gewichtung	3	2	3	3	-	2	-	2
8. Maßnahmen Benennung	2	2	2	-	-	2,5	-	2
9. Maßnahmen Bewertung	3	3	3	-	-	3	-	2
10. Maßnahmen Gewichtung	2	3	3	-	-	3	-	2
11. Maßnahmen verbale Bewertung	2	3	3	-	-	-	-	2
Mittelwert	2,4	2,1	2,6	3,0	-	2,3	-	2,0

Welche ausführlichen Fragen tatsächlich hinter den Kurzbezeichnungen in Tabelle 25 stehen, ist dem Anhang zu entnehmen. Betrachtet man den jeweiligen Mittelwert, so liegen alle Selbsteinschätzungen zwischen „ziemlich sicher“ und „sicher“. Nun wenige Fragen wurden mit „unsicher“ bewertet. Daraus kann man schließen, dass die Unsicherheiten bei der Beantwortung relativ gering sind.

4.4 Testgebiet Salza

4.4.1 Einzugsgebiet Salza

Das Einzugsgebiet der Salza hat eine Fläche von 621 km². Im Durchschnitt fallen ca. 555 mm Niederschlag im Jahr (1971-2000). Die potenzielle Verdunstung beträgt

allerdings ca. 565 mm pro Jahr (STAU 1999), so dass sich im langjährigen Mittel eine negative klimatische Wasserbilanz einstellt.

Begrenzt wird das Einzugsgebiet der Salza im Westen durch die Ostausläufer des Harz und der Stadt Halle im Osten. Die Salza mündet bei Salzmünde wenige Kilometer unterhalb von Halle in die Saale und bildet sich aus dem südlichen Weida- und dem nördlichen Böse Sieben Einzugsgebiet (Abbildung 77). Das Gebiet der Salza mit den zugehörigen Mansfelder Seen wurde seit dem 17. Jahrhundert, sowohl durch den Tief- als auch den Tagebau, intensiv bergbaulich genutzt. Der Tagebau Amsdorf (Kohle) ist der letzte noch fördernde Tagebau im Einzugsgebiet der Salza. Durch die bergbauliche Tätigkeit wurde der Wasserhaushalt der Salza in vielerlei Hinsicht stark beeinflusst (Weiß 2000; Klapper 2000; Julich & Frühauf 2007). Für den Tiefbergbau wurden Förderanlagen installiert, die das einsickernde Grubenwasser herauspumpen.

In Abbildung 78 ist die derzeitige Situation im Bereich des süßen und des ehemaligen salzigen Sees dargestellt. Vom ehemaligen salzigen See sind nur noch verschiedene kleinere Seen zurückgeblieben. In diesem Gebiet treffen das nördliche Böse Sieben Einzugsgebiet mit dem aus südlicher Richtung kommenden Weida Einzugsgebiet zusammen. Zwischen Höhnstedt und Wansleben befindet sich das Pumpwerk, das das Wasser aus dem Mittelgraben in die Salza befördert.

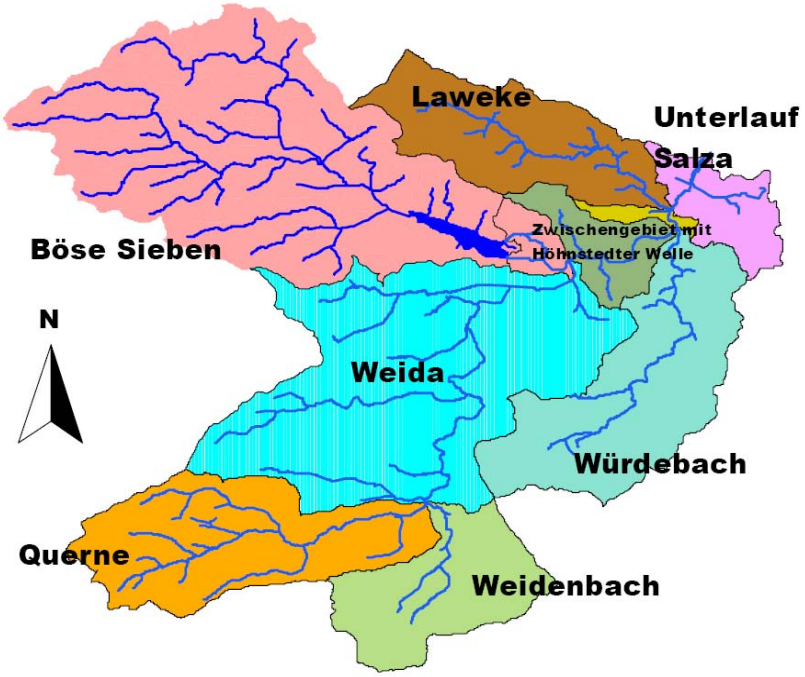


Abbildung 77: Einzugsgebiet Salza (BAH Berlin o.J.)

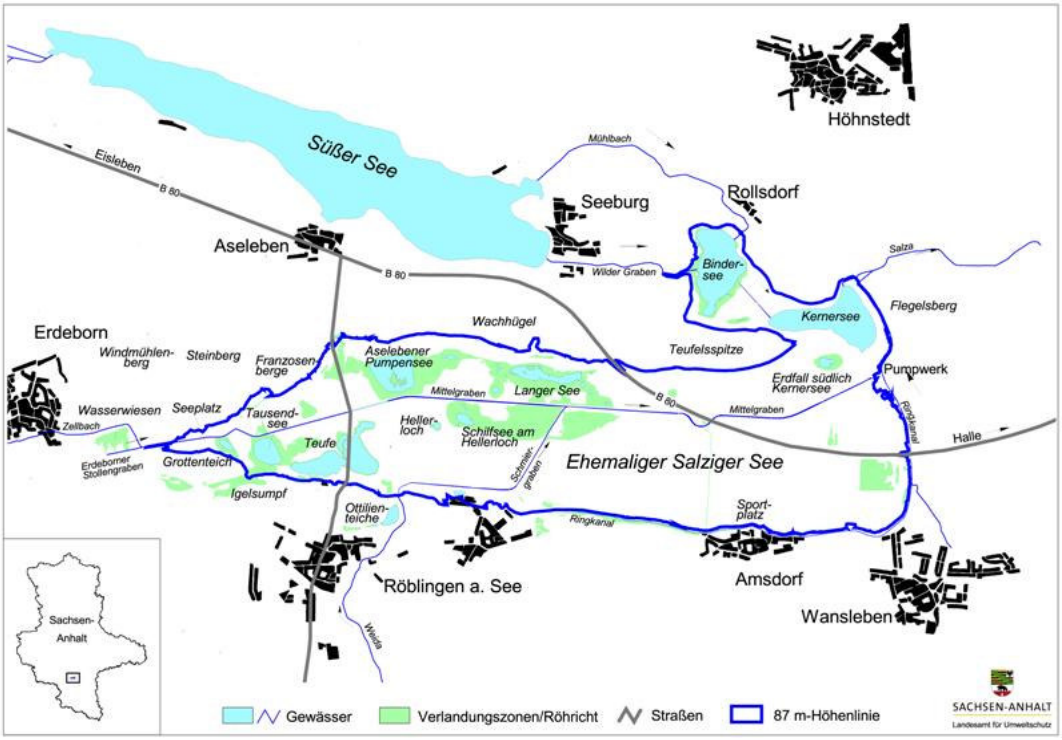


Abbildung 78: Bereich süßer See und ehemaliger salziger See (EVSA 2009)

Im Rahmen des WASKlim Projektes war es nicht möglich die Wassernutzungen des gesamten Einzugsgebiets zu betrachten, da die Unterstützung speziell für das Böse Sieben Einzugsgebiet ausblieb. Daher beziehen sich die Ergebnisse des WASKlim-EUS überwiegend auf das südliche Einzugsgebiet der Weida, indem u.a. folgende Wassernutzungen vorhanden sind:

Wasserversorgung

- Trinkwasserversorgung aus Grundwasser (Weida)
- Brauchwasserversorgung aus Grundwasser (Weida)
- Brauchwasserversorgung aus Oberflächenwasser (Weida)

Gewässerzustand (wird als Wassernutzung interpretiert)

- Gewässerzustand aus biologischer Sicht (allgemein)
- Abwassereinleitung aus Kläranlagen (Weide)
- Abwassereinleitung aus Trennsystem (Amsdorf)

An der Nutzerkonferenz in Halle/Saale (16.03.2009, Landesverwaltungsamt) nahmen u.a. Vertreter der oben genannten Wassernutzungen teil. Der Prototyp des Entscheidungsunterstützungssystems „WASKlim-EUS“ wurde vorgestellt und eine mögliche Anwendung im Einzugsgebiet der Salza diskutiert. Schon während der Konferenz wurde deutlich, dass die Bereitschaft zur Mitwirkung der Stakeholder aufgrund der Komplexität des Einzugsgebietes begrenzt ist. Gerade aufgrund der vielschichtigen Zusammenhänge durch den ehemaligen Tagebau und den damit verbundenen salzigen See sind Aussagen zu möglichen Folgen des Klimawandels sehr schwierig. Zudem wird der größte Teil der Wasserversorgung durch die benachbarte Rappbode-Talsperre gedeckt, die sich nicht im Einzugsgebiet der Salza befindet. Fragebögen aus den Bereichen Trinkwasser- und Brauchwasserversorgung aus Grundwasser- und Oberflächenwasser, Abwassereinleitungen aus Kläranlagen sowie Abwassereinleitungen aus Industrie (Oberflächen- und Produktionsabwässer) konnten im WASKlim-EUS berücksichtigt werden. Diese Daten stammen alle aus dem südlichen Einzugsgebiet der Weida. Zum Gewässerzustand konnten keine weiteren Daten erhoben werden. Daher wurden für diese Wassernutzung vom Projektteam Kenngrößen und Schwellenwerte festgelegt, die sich an den Ergebnissen des Wuppertestgebietes orientieren. Die Berechnungsergebnisse werden im folgenden Unterkapitel vorgestellt.

4.4.2 Ergebnisse Salza

Zustandsbewertung

Insgesamt konnten durch die Befragung und durch eigene Ermittlungen Daten für sechs verschiedene Wassernutzungen erhoben werden (Tabelle 26). Für die Bewertung des Gewässerzustandes wurden Indikatoren aus Erfahrungen vom Einzugsgebiet der Wupper übertragen. Folgende hydrologische Kenngrößen und Entwicklungs-Kenngrößen wurden für die Zustandsbewertung verwendet. Details zu den Bewertungen sind im Anhang enthalten.

Tabelle 26: Verwendete hydrologische Kenngrößen und Entwicklungskenngrößen der Wassernutzer im EZG der Salza (Weida)

Salza / Weida	**Hydrologische Kenngrößen**	**Entwicklungs-Kenngrößen**
Trinkwasser aus GW	• MHQ (J) • MQ (J) • MNQ (J) • GWN (J)	• Bevöl.Entw. • Ökon.Strukturw.
Brauchwasser aus GW	• MHQ (J) • MQ (J) • MNQ (J) • GWN (J)	• Ökon.Strukturw.
Brauchwasser aus Oberflächenwasser	• MQ (J) • MNQ (J)	• Ökon.Strukturw.
Abwassereinleitung aus Kläranlagen	• MQ (J) • MNQ (J)	• Bevöl.Entw. • Ökon.Strukturw.
Abwassereinleitung aus Trennsystemen	• MHQ (J) • HHQ (J)	
Gewässerzustand allgemein	• MQ (J) • MNQ (S) • MNQ (W) • UZ ND (S) < MNQ • UZ ND (W) < MNQ • GWN (J)	• L-Temp (S)

Nach der Eingabe der Daten in das WASKlim-EUS und der Berechnung der Ergebnisse unter Berücksichtigung von insgesamt neun Klimaszenarien ergab sich folgendes Bild für die Zustandsbewertung der Zeiträume 2021-2050 und 2071-2100 gegenüber 1971-2000 (Abbildung 79 und Abbildung 80). Erläuterung zur Graphik siehe Kapitel 4.3.2.

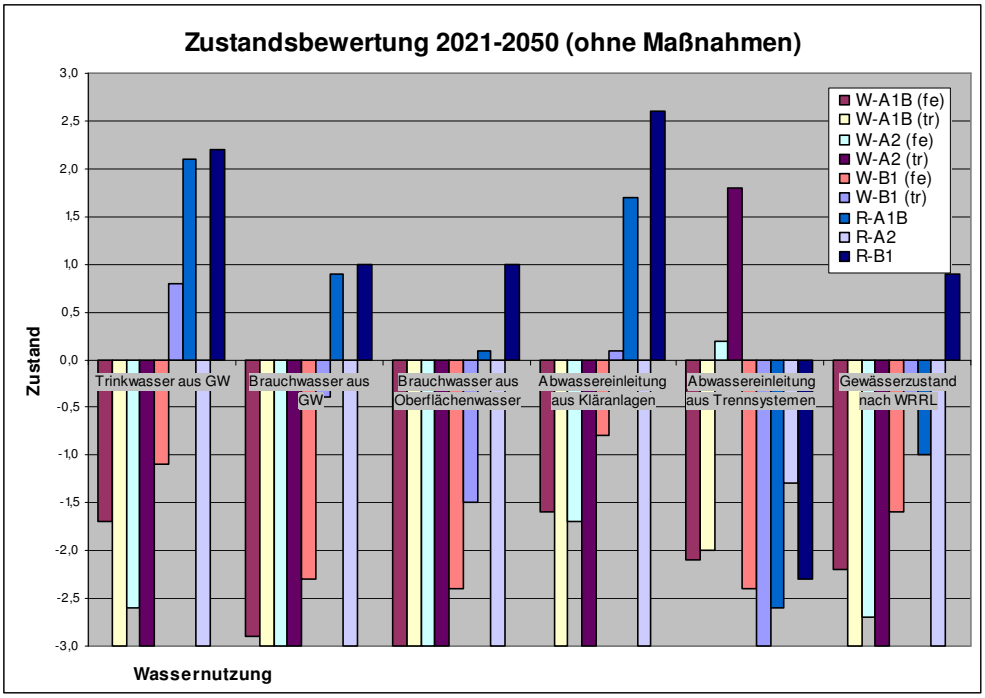


Abbildung 79:Zustandsbewertung 2021-2050 gegenüber 1971-2000

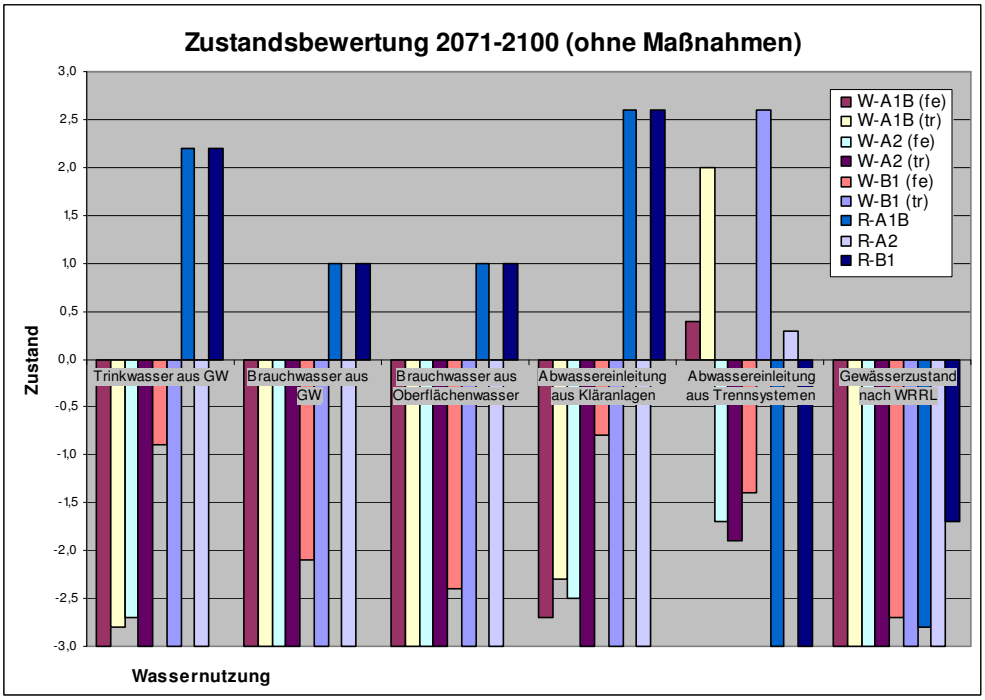


Abbildung 80:Zustandsbewertung 2071-2100 gegenüber 1971-2000

Die Ergebnisse der sechs betrachteten Wassernutzungen aus dem Einzugsgebiet der Weida zeigen in Abhängigkeit vom betrachteten Klimaszenario ein relativ kontroverses Bild. Auffällig ist, dass die Szenarien REMO A1B und REMO B1 den restlichen Klimaprojektionen widersprechen, was sich auf die hydrologischen Kenngrößen durchprägt. Beispielsweise zeigt die Kenngröße MQ (J) eine negative Entwicklung in den meisten Szenarien (Tabelle 27). Das heißt, prozentual gesehen wird sich der Mittelwasserabfluss MQ (J) gegenüber dem heutigen Zustand wahrscheinlich reduzieren (< 100%). Die beiden REMO Projektionen sagen hierzu jedoch eine positive Entwicklung voraus (> 100%, rot markiert). Da diese Kenngröße für die Bewertung von fast allen Wassernutzungen verwendet wurde und die Gewichtungen relativ hoch waren, ist der Einfluss sehr groß. Dadurch können die unterschiedlichen Ergebnisse in der WASKlim-EUS Auswertung begründet werden.

Tabelle 27: Prozentuale Änderung der hydrologischen Kenngröße MQ (J) in naher (Z 1: 2021-2050) und ferner Zukunft (Z 2: 2071-2100) zu IST (1971-2000)

	W_A1B_f	W_A1B_t	W_A2_f	W_A2_t	W_B1_f	W_B1_t	R_A1B	R_A2	R_B1
MQ (J), Z 1 [%]	88,9	64,9	83,4	65,5	95,5	107,0	123,6	73,9	160,9
MQ (J), Z 2 [%]	81,5	85,4	82,8	74,6	97,8	64,9	139,6	66,9	144,7

Vulnerable Wassernutzungen im Einzugsgebiet der Weida sind demnach alle betrachteten Nutzungen (Tabelle 28). Da aber auch hier die Eintrittswahrscheinlichkeit der Klimaszenarien für alle Szenarien gleich groß ist, ist der Trend aufgrund zweier REMO Projektionen nicht eindeutig.

Tabelle 28: Zusammenfassung Zustandsbewertung - Mittelwerte (roter Pfeil = negativ Zustandsentwicklung)

Wassernutzung	**2021-2050**	**2071-2100**
Trinkwasserversorgung aus Grundwasser	↘	↘
Brauchwasserversorgung aus Grundwasser	↘	↘
Brauchwasserversorgung aus Oberflächenwasser	↘	↘
Abwassereinleitungen aus Kläranlagen	↘	↘
Abwassereinleitungen aus Trennsystemen	↘	↘
Gewässerzustand allgemein	↘	↘

Maßnahmenbewertung

Folgende Tabelle 29 zeigt die verschiedenen Maßnahmen, die durch die Expertenbefragung vorgeschlagen wurden. Die Gewichtung der einzelnen Wassernutzungen wurde vom Projektteam „WASKlim“ durchgeführt und ist rein hypothetisch. Die Spalte „Bewertung“ gibt an, welche Maßnahme die beste Bewertung unter Berücksichtigung der Gewichtung aufzeigt. Die Bewertungsskala reicht von äußerst ungeeignet (-3) bis äußerst geeignet (+3). Die Maßnahme „Fernwassernetz ausbauen“ wurde am höchsten mit 0,75 Punkten bewertet und sollte daher priorisiert werden.

Tabelle 29: Maßnahmenbewertung im EZG der Weida (rot = vulnerabel)

	Bewertung	Trinkwasser aus Grundwasser	Brauchwasser aus Grundwasser	Brauchwasser aus Oberflächenwasser	Abwassereinleitung aus Kläranlagen	Abwassereinleitung aus Trennsystemen	Gewässerzustand allgemein
Anpassungsmaßnahmen	[-3;+3]	44%	6%	3%	6%	6%	34%
WKA Modernisierung Steuerung	0,08	1,7					
WKA Modernisierung Turbine	0,07		1,6	1,6	1,6		
Fernwärmenetz ausbauen	0,02					1,0	

4.4.3 Unsicherheiten

Tabelle 30 gibt Aufschluss über die Selbsteinschätzung der Stakeholder. Anzumerken ist hierzu, dass die Bewertungen lediglich von zwei Institutionen durchgeführt wurden. Daher ist bei den ersten vier Wassernutzungen jeweils die gleiche Selbsteinschätzung angegeben. Der Mittelwert der Selbsteinschätzungen liegt bei 2,1 und 1,7. Nur wenige Fragen wurden mit „unsicher“ bewertet.

Tabelle 30: Selbsteinschätzung der Stakeholder im Einzugsgebiet der Salza / Weida (unsicher (1), ziemlich sicher (2) und sicher (3)).

	Trinkwasser aus Grundwasser	Brauchwasser aus Grundwasser	Brauchwasser aus O-berflächenwasser	Abwassereinleitung aus Kläranlagen	Abwassereinleitung aus Trennsystemen	Gewässerzustand all-gemein
Frage (Kurzform)	[1-3]	[1-3]	[1-3]	[1-3]	[1-3]	[1-3]
1. Wassernutzungen im EZG	2	2	2	2	2	-
2. Wasserdargebot Kenngrößen	2	2	2	2	2	-
3. Wasserdargebot Bewertung	2	2	2	2	-	-
4. Wasserdargebot Gewichtung	2	2	2	2	2	-
5. Wasserbedarf Kenngrößen	1	1	1	1	2	-
6. Wasserbedarf Bewertung	2	2	2	2	2	-
7. Wasserbedarf Gewichtung	2	2	2	2	2	-
8. Maßnahmen Benennung	3	3	3	3	1	-
9. Maßnahmen Bewertung	3	3	3	3	2	-
10. Maßnahmen Gewichtung	1	1	1	1	1	-
11. Maßnahmen verbale Bewertung	3	3	3	3	1	-
Mittelwert	2,1	2,1	2,1	2,1	1,7	-

4.5 Testgebiet Iller

4.5.1 Einzugsgebiet Obere Iller

Die Iller bis zum Pegel Kempten besitzt ein Einzugsgebiet von rund 955 km². Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt 2160 mm (1971-2000). Das Einzugsgebiet erstreckt sich von 656 müNN bis auf über 2600 müNN in den Allgäuer Alpen. Ca. 110 km² der Einzugsgebietsfläche befinden sich im Kleinwalsertal, auf österreichischem Staatsgebiet. Im Einzugsgebiet liegen die Städte Kempten, Immenstadt und Sonthofen sowie Oberstdorf, die südlichste Gemeinde Deutschlands. Die Gesamteinwohnerzahl beträgt ca. 150.000 Menschen (Abbildung 81).

Abbildung 81: Einzugsgebiet der Oberen Iller bis Kempten (graue Markierung) (Wikipedia 2009)

Die Iller oberhalb des Pegels Kempten ist ein relativ gering anthropogen beeinflusstes Gewässer. Im Einzugsgebiet befinden sich keine Stauhaltungen und größere Brauchwassernutzer. Sämtliche größeren Städte gewinnen ihr Trinkwasser nicht aus den Oberflächengewässern sondern über Tiefbrunnen. Beispielsweise bezieht die Stadt Kempten ca. 80 % ihres Trinkwasserbedarfs vom Zweckverband Fernwasserversorgung Oberes Allgäu, welcher in Altstädten (liegt im EZG Obere Iller) Tiefbrunnen betreibt. Nördlich von Immenstadt befindet sich seit dem Jahr 2007 der Polder Weidachwiesen im Seifener Becken. Im Hochwasserfall können mit Hilfe dieses Polders bis zu

ca. 6 Mio. m³ Wasser einer Hochwasserwelle gekappt und zwischengespeichert werden.

Im betrachteten Einzugsgebiet konnten für folgende Wassernutzungen Daten erhoben werden:

Energieerzeugung:

- Wasserkraftanlagen

Wasserversorgung

- Trinkwasserversorgung aus Grundwasser
- Brauchwasserversorgung aus Grundwasser

Gewässerzustand (wird als Wassernutzung interpretiert)

- Gewässerzustand aus biologischer Sicht
- Abwassereinleitungen aus Kläranlagen
- Fischerei

Hochwasserschutz

- Hochwasserschutzanlagen

An der am 22.06.2009 stattgefundenen eintägigen Nutzerkonferenz in Kempten (WWA Kempten) erschienen Vertreter der jeweiligen oben genannten Wassernutzungen. Der Prototyp des Entscheidungsunterstützungssystems „WASKlim-EUS“ wurde vorgestellt und eine mögliche Anwendung im Einzugsgebiet der Oberen Iller diskutiert. Die Ergebnisse werden im folgenden Unterkapitel vorgestellt.

4.5.2 Ergebnisse Obere Iller

<u>Zustandsbewertung</u>

Insgesamt konnten durch die Befragung und durch eigene Ermittlungen Daten für sieben verschiedene Wassernutzungen erhoben werden (Tabelle 31). Für die Bewertung der Wassernutzung Abwassereinleitung aus Kläranlagen wurden Indikatoren aus Erfahrungen von den Einzugsgebieten der Wupper und Salza übertragen. Details zu der Bewertung sind im Anhang enthalten.

Tabelle 31: Verwendete hydrologische Kenngrößen und Entwicklungskenngrößen der Wassernutzer im EZG der Oberen Iller

Oberen Iller	**Hydrologische Kenngrößen**	**Entwicklungs-Kenngrößen**
Wasserkraftanlagen	• MQ (J) • MQ (S) • MQ (W)	
Brauchwasser aus Grundwasser	• GWN (J)	
Trinkwasser aus Grundwasser	• HHQ (J) • NNQ (J) • GWN (J)	• Bevöl.Entw.
Hochwasserschutz	• MHQ (J) • Niederschlag (W)	
Gewässerzustand allgemein	• MNQ (J) • UZ ND (J) < MNQ • W-Temp (S)	• L-Temp. (S)
Naturschutz / Fischerei	• W-Temp (S) • W-Temp (W)	• Ökon.Strukturw.
Abwassereinleitung aus Kläranlagen	• MNQ (S) • UZ ND (S) < MNQ • GWN (S)	

Nach der Eingabe der Daten in das WASKlim-EUS und der Berechnung der Ergebnisse unter Berücksichtigung von insgesamt neun Klimaszenarien ergab sich folgendes Bild für die Zustandsbewertung der Zeiträume 2021-2050 und 2071-2100 gegenüber 1971-2000 (Abbildung 82 und Abbildung 83). Erläuterung zur Graphik siehe Kapitel 4.3.2.

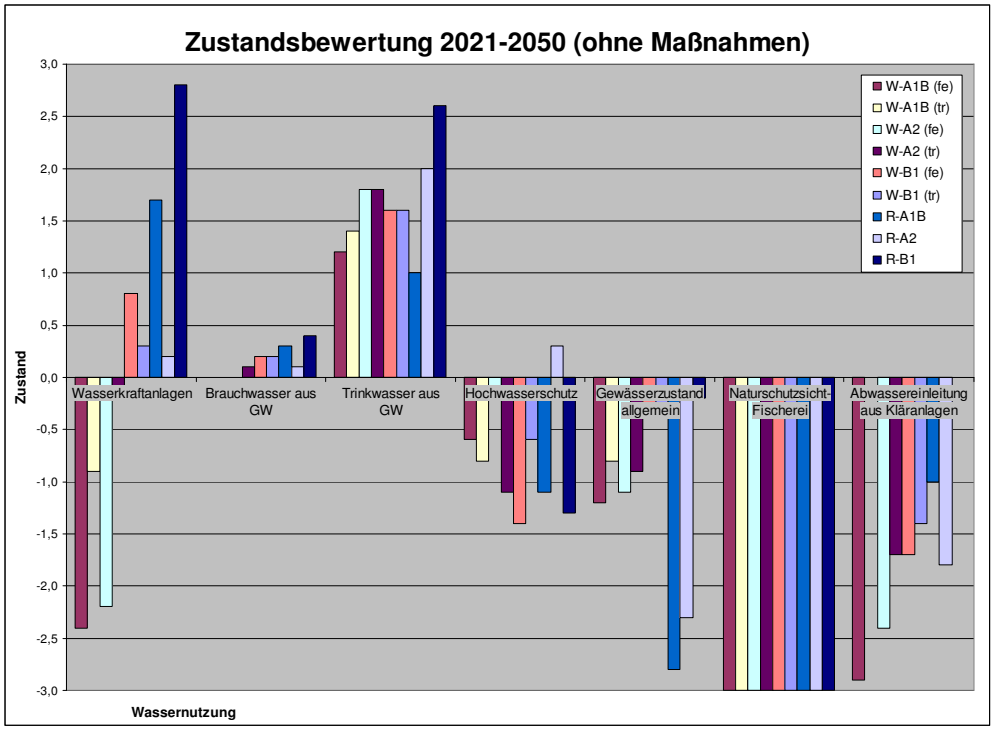


Abbildung 82: Zustandsbewertung 2021-2050 gegenüber 1971-2000

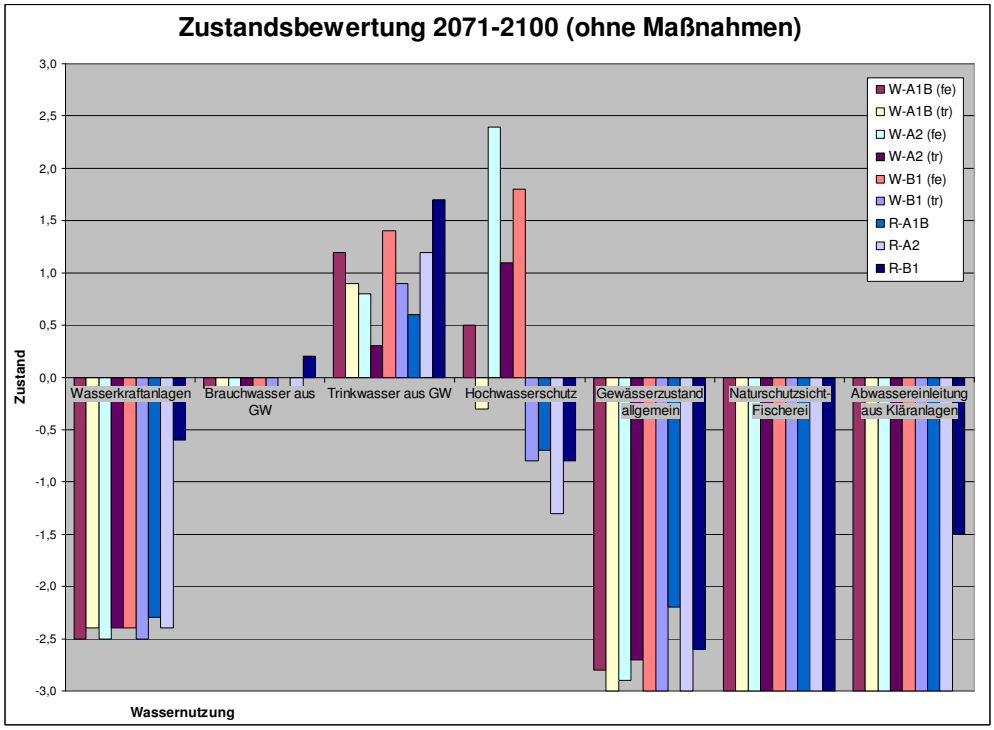


Abbildung 83:Zustandsbewertung 2071-2100 gegenüber 1971-2000

Die Ergebnisse der Wassernutzung Wasserkraftanlagen zeigen in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts noch ein kontroverses Bild. Gegen Ende des Jahrhunderts ist der Richtung jedoch eindeutiger (sehr schlecht). Für die restlichen Wassernutzungen ist der Trend schon in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts klarer. Vulnerable Wassernutzungen sind demnach der Hochwasserschutz (schlecht), der Gewässerzustand allgemein (schlecht), der Naturschutz/Fischerei (äußerst schlecht) und die Abwassereinleitungen aus Kläranlagen (schlecht). Zum Ende des Jahrhunderts (Abbildung 83) zeigt sich für den Hochwasserschutz ebenfalls ein kontroverses Bild. Hingegen ist der Trend für die Wassernutzungen Gewässerzustand allgemein (äußerst schlecht), der Naturschutz/Fischerei (äußerst schlecht) und die Abwassereinleitungen aus Kläranlagen (äußerst schlecht) in der zweiten Jahrhunderthälfte noch ausgeprägter (Tabelle 32).

Tabelle 32: Zusammenfassung Zustandsbewertung - Mittelwerte (roter Pfeil = negativ Zustandsentwicklung, grüner Pfeil = positive Zustandsentwicklung, schwarzer Pfeil = zufriedenstellender Zustand)

Wassernutzung	**2021-2050**	**2071-2100**
Wasserkraftanlagen	→	↘
Brauchwasser aus Grundwasser	→	→
Trinkwasser aus Grundwasser	↗	↗
Hochwasserschutz	↘	→
Gewässerzustand allgemein	↘	↓
Naturschutz / Fischerei	↓	↓
Abwassereinleitung aus Kläranlagen	↘	↓

<u>Maßnahmenbewertung</u>

Folgende

Tabelle 33 zeigt die verschiedenen Maßnahmen, die durch die Expertenbefragung vorgeschlagen wurden. Die Gewichtung der einzelnen Wassernutzungen wurde vom Projektteam „WASKlim“ durchgeführt und ist rein hypothetisch. Die Spalte „Bewertung“ gibt an, welche Maßnahme die beste Bewertung unter Berücksichtigung der Gewichtung aufzeigt. Die Bewertungsskala reicht von äußerst ungeeignet (-3) bis äußerst ge-

eignet (+3). Die Maßnahme „Düngemittel anpassen“ wurde unter den vulnerablen Wassernutzungen (rot markiert) am höchsten mit 0,22 Punkten bewertet und sollte daher priorisiert werden. Allerdings ist diese Maßnahmenliste nur ein Auszug aus den möglichen Anpassungsmaßnahmen und kann daher lediglich beispielhaft betrachtet werden.

Tabelle 33: Maßnahmenbewertung im EZG der Oberen Iller (rot = vulnerabel)

	Bewertung	Wasserkraftanlagen	Brauchwasser aus Grundwasser	Trinkwasser aus Grundwasser	Hochwasserschutz	Gewässerzustand allgemein	Naturschutz / Fi-scherei	Abwassereinleitung aus Kläranlagen
Anpassungsmaßnahmen	[-3;+3]	3%	3%	29%	14%	30%	15%	6%
Öffentlichkeitsarbeit im Umgang mit Trinkwasser	0,29			1,0				
Regenwassernutzung	0,43			1,5				
2-ten Polder errichten	-0,19				-1,4			
Speicher für NW-Aufhöhung errichten	-0,42					-1,4		
Einleitungsgrenzwerte an Wassertemperatur anpassen	0,11						0,7	
Düngemanagement anpassen	0,22							1,4

4.5.3 Unsicherheiten

Tabelle 34 gibt Aufschluss über die Selbsteinschätzung der Stakeholder. Welche ausführlichen Fragen tatsächlich hinter den Kurzbezeichnungen, ist dem Anhang zu entnehmen. Betrachtet man den jeweiligen Mittelwert, so liegen alle Selbsteinschätzungen zwischen „ziemlich sicher“ und „sicher“. Nun wenige Fragen wurden mit „unsicher“ bewertet. Daraus kann man schließen, dass die Unsicherheiten bei der Beantwortung relativ gering sind.

Tabelle 34: Selbsteinschätzung der Stakeholder im Einzugsgebiet der Oberen Iller (unsicher (1), ziemlich sicher (2) und sicher (3))

	Wasserkraftanlagen	Brauchwasser aus Grundwasser	Trinkwasser aus Grundwasser	Hochwasserschutz	Gewässerzustand allgemein	Naturschutz / Fischerei	Abwassereinleitung aus Kläranlagen
Frage (Kurzform)	[1-3]	[1-3]	[1-3]	[1-3]	[1-3]	[1-3]	[1-3]
1. Wassernutzungen im EZG	3	3	3	2	2	1	-
2. Wasserdargebot Kenngrößen	3	3	2	2	2	1	-
3. Wasserdargebot Bewertung	3	3	2	2	2	1	-
4. Wasserdargebot Gewichtung	3	3	2	2	2	2	-
5. Wasserbedarf Kenngrößen	3	3	2	2	2	1	-
6. Wasserbedarf Bewertung	3	3	2	1	1	1	-
7. Wasserbedarf Gewichtung	3	3	1	1	1	1	-
8. Maßnahmen Benennung	3	3	3	3	3	3	-
9. Maßnahmen Bewertung	3	3	3	2	2	3	-
10. Maßnahmen Gewichtung	3	3	2	2	2	3	-
11. Maßnahmen verbale Bewertung	3	3	2	2	2	3	-
Mittelwert	3,0	3,0	2,2	1,9	1,9	1,8	-

4.6 Qualität und Sensitivität der Ergebnisse

Die Ergebnisse der drei untersuchten Testgebiete zeigen, dass das neu entwickelte Entscheidungsunterstützungssystem WASKlim-EUS für die genannte Aufgabenstellung anwendbar ist. In allen drei Gebieten konnten Experteneinschätzungen erhoben, das WASKlim-EUS aufgestellt und vulnerable Wassernutzungen identifiziert werden.

Dabei zeigten die Ergebnisse ein recht deutliches Bild des zukünftigen Zustands der betrachteten Wassernutzung. Auch werden die Unterschiede bzw. die Unsicherheiten der Klimaszenarien (A1B, A2, B1) und dadurch die Sensitivität der Ergebnisse deutlich hervorgehoben.

Aus den Resultaten im Einzugsgebiet der Salza wird deutlich, dass die Ergebnisse der Downscaling Verfahren recht unterschiedlich sein können. So sagen beispielsweise die WETTREG Projektionen für nahezu alle Wassernutzungen eine negative Entwicklung voraus, wo hingegen die REMO Rechenläufe teilweise positive Ergebnisse liefern. Welche Downscalingmethode zutreffender sein könnte, ist jedoch meist nur schwer bis

gar nicht feststellbar. In einem solchen Fall sind so genannte no-regret Anpassungsmaßnahmen zu priorisieren. Das heißt Maßnahmen, die unabhängig vom Klimawandel, positive Effekte auf andere Nutzungen oder die Umwelt haben.

Im Einzugsgebiet der Oberen Iller konnte man anhand der statistischen Auswertungen feststellen, dass die REMO Projektionen für den IST-Zustand dieses Einzugsgebietes im Moment noch keine ausreichende Qualität liefern.

In allen drei Testgebieten zeigten überwiegend die WETTREG Berechnungen ein einheitliches Bild. Die REMO Rechenläufe sagen gegenüber den WETTREG Projektionen teilweise kontroverse Entwicklungen voraus. Daher sind die jeweiligen Regionalisierungsverfahren die sensitivsten Eingangsparameter. Anzumerken ist hierzu, dass bei jeder zukünftigen WASKlim-EUS Anwendung möglichst viele Klimaszenarien und unterschiedliche Downscalingmethoden in das System eingebunden werden sollten. Dadurch erhält man eine Vorstellung über die Sensitivität und eine größere Bandbreite der Ergebnisse. Von Vorteil erweist sich hier die Möglichkeit der Eingabe von synthetischen Klimaszenarien, welche auch händisch erzeugt werden können.

Wichtig für die Plausibilität der Ergebnisse ist die Trendeinschätzung der Stakeholder, ab wann ein Indikator als positiv oder als negativ zu bewerten ist. Das heißt, ob eine mögliche Erhöhung von beispielsweise dem Mittelwasserabfluss eine Verbesserung oder eine Verschlechterung des Zustandes der zu bewertenden Wassernutzung zur Folge hat. Die detaillierte Einschätzung der prozentualen Änderungen der jeweiligen Bewertungsstufen spielt dabei eine untergeordnete Rolle und ist lediglich ein Maß für die Stärke der Ausprägung des zukünftigen Zustandes. Will man dennoch die Sensitivität der Stakeholdereinschätzungen ermitteln, ist die Variation sehr groß, da prinzipiell an jedem Eingabewert (z.B. prozentuale Änderung oder Gewichtungen) die Sensitivität geprüft werden kann. Einschränken kann man diese, indem man entsprechend der Selbsteinschätzung der Stakeholder zuerst die Eingangsdaten variiert, die bei der Bewertung mit „unsicher“ eingestuft wurden.

4.7 Optimierungsmöglichkeiten des WASKlim-EUS

Die Ergebnisse zeigen, dass eine detaillierte Bewertung der prozentualen Änderungen der jeweiligen Bewertungsstufe nicht so bedeutsam ist, wie die eigentliche Festlegung der Kenngrößen (bspw. MQ oder MNQ) und derer Übergangsbereiche von einem positiven in einen negativen Zustand. Diese Übergangsbereiche stellen somit Schwellenwerte dar, ab wann Handlungsbedarf konstatiert wird. Daher ist es auch denkbar, dass zukünftig anhand von Erfahrungswerten die Festlegung und Bewertung der Kenngrößen erfolgen kann. Somit wären bereits erste Ergebnisse erzielbar, ohne dass umfangreiche Stakeholderbefragungen durchgeführt werden müssten. Stellt sich nun Handlungsbedarf ein, können die betroffenen Stakeholder eingebunden und das Entscheidungsunterstützungssystem mit Ihrer Hilfe verfeinert und optimiert werden.

Problematisch bei der Anwendung des WASKlim-EUS erwiesen sich im Wesentlichen folgende Punkte:

1) Viele Einzugsgebiete in Deutschland sind bereits stark anthropogen verändert. Deutlich zeigt sich dies im Einzugsgebiet der Wupper. Hier wird das natürliche Abflussregime durch ein umfangreiches Talsperrensystem so beeinflusst, dass Aussagen beispielsweise über Niedrigwassersituationen lediglich fiktiv betrachtet werden können, da die Nachbildung der Talsperrensteuerung für die Kalibrierung eines Wasserhaushaltsmodells nur mit sehr großem Aufwand möglich ist, sofern überhaupt die benötigten Unterlagen vorliegen.

2) Prinzipiell ist das Entscheidungsunterstützungssystem WASKlim-EUS für die Anwendung in Behörden gedacht, welche eine umfassende Bewertung potenzieller Anpassungsmaßnahmen durchzuführen haben. Da jedoch die maßgeblichen Eingaben, beispielsweise die Bewertungen der hydrologischen- und Entwicklungskenngrößen, von den Vertretern der Wassernutzungen anzugeben sind, ist hier die Mitarbeit von meist privaten Einrichtungen erforderlich. Die Motivation für die Mitwirkung ist jedoch recht gering, da der konkrete Nutzen aus ihrer Sicht nur schwer erkennbar ist.

4.8 Übertragbarkeit des EUS

Wesentlicher Bestandteil der Aufgabenstellung war es, ein Entscheidungsunterstützungssystem zu entwickeln, dessen methodischer Ansatz auf andere Bereiche übertragbar ist. Zebisch et al. (2005) geben hierzu eine Auswahl an möglichen Bereichen an. Dies könnten neben der Wasserwirtschaft u.a. die Land- und Forstwirtschaft, die Gesundheit, der Tourismus, der Verkehr oder die Biodiversität und der Naturschutz sein.

Die Übertragbarkeit des WASKlim-EUS als Methode ist dann gewährleistet, wenn der zu untersuchende Bereich anhand bestimmter meteorologischer oder hydrologischer Kenngrößen erfassbar ist. Sofern man beispielsweise sagen kann, dass die durchschnittliche Gesundheit von der zukünftigen Lufttemperatur abhängt, kann dies in einer Fuzzy-Regel erfasst, in das Entscheidungsunterstützungssystem eingegeben und der zukünftige Zustand im Bereich Gesundheit berechnet werden.

Das Prinzip, das (Wasser-)Dargebot dem (Wasser-)Bedarf gegenüber zu stellen, ist ebenfalls übertragbar. Allgemein formuliert kann das Dargebot als Angebot und der Bedarf als Nachfrage formulieren werden. Beispielsweise könnte die Touristenzahl in einer bestimmten Region steigen, falls sich die Temperatur entsprechend erhöht und der Niederschlag zurückgeht. Dies kann als Angebot bezeichnet werden. Die Nachfrage kann jedoch von ganz anderen Kriterien abhängen. Beispielsweise könnte auch hier der ökonomische Strukturwandel als Kenngröße herangezogen werden. Sollte die Kaufkraft beispielsweise zukünftig rückläufig sein, so wird man das vorhandene Angebot aufgrund einer negativen Nachfrageentwicklung nicht auslasten können.

Die Methodik der Maßnahmenbewertung ist unabhängig von der Wasserwirtschaft, daher ist auch hier die Übertragbarkeit gewährleistet.

5 Zusammenfassung / Ausblick

Die Vulnerabilität der Wasserwirtschaft gegenüber dem Klimawandel resultiert aus den Auswirkungen der klimatischen Belastungen und dem diesbezüglich nutzbaren Anpassungspotenzial. Die klimatische Belastung zeigt sich - neben der Zunahme von Extremwetterereignissen - insbesondere in der Umverteilung des Niederschlags von den Sommer- in die Wintermonate. Darüber hinaus wird ein Temperaturanstieg um 2,0° bis 2,5° C bis zum Ende des Jahrhunderts erwartet (WETTREG, Szenario A1B).

Im Rahmen der Literaturstudie wurden zahlreiche Untersuchungen zur Sensitivität des Wasserhaushaltes in Bezug auf den Klimawandel in Deutschland ausgewertet und verglichen. Hinsichtlich der *bisherigen* Entwicklung wurde deutlich, dass Trendberechnung und -signifikanz stark von der Länge der verwendeten Zeitreihe abhängig sind. Allgemein zeigt sich für die jüngere Vergangenheit meist ein Trend, während dieser für längere Zeitreihen nicht oder nur sehr schwach ausgeprägt ist. Ein Vergleich verschiedener Studien ist daher bei unterschiedlicher Datenbasis selbst bei gleichen Untersuchungsgebieten problematisch.

Die Heterogenität der Datenbasis ist bei den Untersuchungen zur *zukünftigen* Entwicklung des Wasserhaushaltes noch ausgeprägter. Dies betrifft einerseits die unterschiedlich verwendeten Global- und Regionalmodelle, andererseits die verschiedenen angewandten SRES Szenarien. Ein weiterer Faktor ist die Verwendung unterschiedlicher Wasserhaushaltsmodelle, was den Vergleich von Ergebnissen erschwert. Allgemein lässt der Vergleich jedoch die Aussage zu, dass sich in der Regel die Verfügbarkeit von Wasser für das Sommerhalbjahr verringert und für das Winterhalbjahr erhöht.

Zur detaillierteren Untersuchung der Sensitivität des Wasserhaushalts mit Hilfe von numerischen Modellsimulationen (WaSiM-ETH) wurden drei mesoskalige Testgebiete (Iller, Wupper, Salza) ausgewählt. Die Testgebiete befinden sich in unterschiedlichen Naturräumen und zeichnen sich durch eine unterschiedliche Ausprägung potenzieller Nutzungskonflikte aus. Das Wasserhaushaltsmodell wurde parametrisiert, kalibriert und validiert. Auf Grundlage von ECHAM5/WETTREG- und ECHAM5/REMO-Szenariendaten wurde die Entwicklung des potenziell-natürlichen Wasserhaushalts, d.h. ohne Berücksichtigung der wasserwirtschaftlichen Überprägung der Gebiete, für das 21. Jahrhundert projiziert.

Zunächst wurde die Plausibilität der verwendeten Klimaszenarien für die relevanten Eingangs- (Lufttemperatur, Niederschlag) und Zielgrößen (Hoch-, Mittel-, Niedrigwas-

serabfluss, Verdunstung, Grundwasserneubildung) untersucht: Für Temperatur und Niederschlag ist die WETTREG-Szenarioplausibilität auf der Zeitskala von Jahren vollständig und auf der Skala von Monaten weitestgehend gewährleistet, während bei REMO in allen Einzugsgebieten teilweise erhebliche signifikante Abweichungen auftreten. Analoges gilt für die Grundwasserneubildung und den mittleren Abfluss. Hinsichtlich der Extremwerte für Hoch- und Niedrigwasserabfluss ist die Szenarioplausibilität allerdings auch mit WETTREG nur mit Einschränkung gegeben: Insbesondere an Iller und Salza wird die Anzahl der Unterschreitungstage des so genannten mittleren Niedrigwasserabflusses und die maximale Dauer der Niedrigwasserperiode bei Verwendung der Klimadaten der Kontrollläufe des WETTREG-Szenarios – und noch graverender bei Nutzung des REMO-Kontrolllaufs – gegenüber dem Mess-Zustand deutlich überschätzt.

Die Ergebnisse der Projektionsrechnungen zeigen, dass die Lufttemperatur bis zum Ende des 21. Jahrhunderts in allen drei Testgebieten signifikant gegenüber dem IST-Zustand ansteigt. Am stärksten ausgeprägt ist die mit WETTREG projizierte Temperaturzunahme bis zum Jahr 2100 mit 2,6 K für das Gebiet der Wupper (Iller: + 2,3 K, Salza: + 2,1 K), bei Anwendung von REMO ist der Temperaturerhöhung am stärksten im Einzugsgebiet der Iller ausgeprägt (Iller: + 3,4 K, Wupper: + 2,5 K, Salza: + 2,7 K). Für das Wuppergebiet lassen die WETTREG- und die REMO-Simulationen im Mittel eine Zunahme des Niederschlags bis in ferne Zukunft um ca. 5 % (WETTREG: 60 mm/a, REMO: 66 mm/a) erwarten. Für die Salza zeichnet sich in WETTREG ein annähernd gleichbleibender bis leicht zurückgehender Trend ab, während in REMO der Niederschlag um ca. 10 % signifikant zunimmt. Für das Gebiet der Iller wird mit WETTREG ein signifikanter Rückgang des Jahresniederschlags um ca. 10 % (200 mm/a) bis 2100 berechnet, während er in REMO in ferner Zukunft nur leicht gegenüber IST abnimmt. Für alle drei Testgebiete übereinstimmend sagen die Klima-Projektionen eine deutliche Abnahme der Niederschläge im Sommerhalbjahr und (außer an der Iller) eine Zunahme der Winterniederschläge voraus. Die Jahressumme der Verdunstung wird in WETTREG für das Gebiet der Salza annähernd unverändert und für Wupper und Iller signifikant ansteigend projiziert, bei REMO steigt sie in allen drei Projektgebieten signifikant an. Die Jahressumme der Grundwasserneubildung bleibt nach beiden Projektionen in den Einzugsgebieten von Wupper (WETTREG: ca. 450 mm/a, REMO: ca. 524 mm/a) und Salza (W: ca. 70 mm/a, R: ca. 81 mm/a) zukünftig nahezu unverändert, im Bereich der oberen Iller ist nach WETTREG im Gegensatz zu REMO, bei dem sich auch hier keine erkennbare Veränderung ergibt, bis zum Ende des Jahrhunderts ein deutlicher, allerdings statistisch nicht signifikanter Rückgang zu erwarten. Für die

Wupper sind weder nach WETTREG noch nach REMO in Zukunft signifikante Veränderungen bei den Mittelwasserabflüssen zu erwarten. Auch im Gebiet der Salza werden auf Jahressicht kaum Veränderungen projiziert. Im Bereich der oberen Iller lassen die Simulationsergebnisse für den Zeitraum 2071 - 2100 eine signifikante Abnahme des mittleren Abflusses um ca. 8 m^3/s (-16 %, WETTREG) erwarten. Die mittleren Hochwasserereignisse (Bezugsgröße: Gesamtgebiet, Tageswerte) werden bei Verwendung der WETTREG-Projektionen in allen drei Testgebieten zukünftig niedriger liegen als heute, während sie bei Anwendung der REMO-Projektionen im Einzugsgebiet der Salza und der Iller leicht ansteigen. An der Salza zeichnet sich eine Verschärfung der Niedrigwassersituation ab. Die Hochwasserkennzahlen und Niedrigwasserparameter sind auf Grund der eingeschränkten Szenarioplausibilität nur bedingt aussagekräftig.

Die Bestimmung der Vulnerabilität der Wassernutzungen baut auf den im Bericht dargestellten hydrologischen Auswirkungen, weiteren Literaturrecherchen und eigenen Erhebungen auf. Problematisch erwies sich auch hier die Vielzahl an unterschiedlichen Klimamodellen und Szenarien mit teilweise kontroversen Ergebnissen.

Die Bestimmung der deutschlandweiten Vulnerabilität hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels in Bezug auf die verschiedenen Wassernutzungen zeigte, dass Deutschland ein wasserreiches Land ist, in dem ca. 19 % aller Wasserressourcen genutzt werden. Die zeitlich und regional unterschiedliche Verteilung kann jedoch bereits heute zu Engpässen in der Wasserversorgung führen. Während des Hitzesommers 2003 beispielsweise konnte die Wasserversorgung zwar deutschlandweit sichergestellt werden, es waren jedoch schon damals verschiedene Anpassungsmaßnahmen, wie angepasste Speichersteuerungen, erforderlich. Besonders empfindlich zeigen sich hier ostdeutsche Bundesländer, welche nicht nur im Sommer eine negative klimatische Wasserbilanz aufweisen, sondern zukünftig regional auch mit einem Rückgang im Winter rechnen müssen.

Fachleute gehen davon aus, dass die Energieerzeugung aus Wasserkraft aufgrund der Niederschlagsverschiebung in die Wintermonate bis zur Mitte des Jahrhunderts leicht zunehmen wird, anschließend jedoch, aufgrund des weiteren Temperaturanstiegs, wieder abnimmt. Bayern und Baden-Württemberg sind die Länder mit dem größten Potenzial und können mit moderneren Anlagen oder angepasster bzw. vergrößerter Stauhaltung in den Speicherseen auf den Klimawandel reagieren.

Die Binnenschifffahrt ist speziell an der Donau zwischen Straubing und Vilshofen, an der Elbe und an der Oder gefährdet. Auch am Rhein, unterhalb von Karlsruhe, traten

im Trockensommer 2003 Transportbeeinträchtigungen aufgrund geringer Wasserstände auf. Maßnahmen werden hier u.a. in einer optimierten Lagerhaltung (Logistik) und in moderneren Schiffstypen (Gewichtseinsparung) gesehen. Die Auswirkungen des Klimawandels auf den ökologischen Gewässerzustand sind komplex und noch nicht weit genug erforscht, um belastbare Aussagen treffen zu können. Jedoch wird die Erhöhung der Wasser- und Lufttemperatur als äußerst kritisch betrachtet. Inwiefern sich die Wassereinleitungen von Wärmekraftwerken (zusätzliche Erhöhung der Wassertemperatur) und die erhöhte Schadstoffkonzentration aufgrund geringerer Niedrigwasserführung während der Sommermonate auf die Gewässergüte auswirken wird, ist noch weiter zu erforschen. Schon heute werden strengere Regeln für Wasseraus- und -einleitungen und Niedrigwasseraufhöhungen durch angepasste Speichersteuerungen in Verbindung mit entsprechenden gesetzlichen Regelungen empfohlen.

Das Entscheidungsunterstützungssystem „WASKlim-EUS“ wurde entwickelt und anhand der drei Testgebiete erprobt. Dabei zeigte sich, dass im Einzugsgebiet der Wupper zukünftig mit negativen Auswirkungen des Klimawandels in den Bereichen Wasserkraftanlagen, Kühlwasserein- und ausleitungen sowie in der Fischerei zu rechnen ist. An der Salza sind alle untersuchten Bereiche stark vulnerabel und an der Iller die Wassernutzungen Wasserkraftanlagen, Gewässerzustand allgemein, Naturschutz/Fischerei und Abwassereinleitungen aus Kläranlagen.

Problematisch bei der Anwendung des WASKlim-EUS erwies sich die Einbindung der Stakeholder für die Bewertung des Wasserdargebotes, des Wasserbedarfs und der Anpassungsmaßnahmen, da die Auswirkungen der Klimaänderung nur schwer erfassbar sind. Zukünftig könnten für eine erste Einschätzung der Klimaänderungsauswirkungen Erfahrungswerte für das WASKlim-EUS verwendet werden, die bei Bedarf entsprechend durch Stakeholderbefragungen ergänzt werden.

Die Übertragbarkeit des WASKlim-EUS als Methode ist gewährleistet, wenn der zu untersuchende Bereich anhand bestimmter meteorologischer oder hydrologischer Kenngrößen erfassbar ist. Dadurch kann ein entsprechendes Fuzzy-System aufgestellt und das zukünftige Dargebot (Angebot) bewertet werden. Kann der zukünftige Bedarf bzw. die Nachfrage ebenfalls durch Indikatoren, die aus entsprechenden Szenarienrechnungen stammen, beurteilt werden, ist die Methode übertragbar. Die Übertragbarkeit der Maßnahmenbewertung ist also unabhängig von der Wasserwirtschaft und kann für Maßnahmenbewertungen aus allen Bereichen verwendet werden. Die Anwendung des Entscheidungsunterstützungssystems für die Entwicklung von wasserwirtschaftlichen Anpassungsstrategien an den Klimawandel konnte hiermit aufgezeigt werden.

6 Summary

The vulnerability of water management regarding climate change is resulting from the effects of climatic strain and the adaption potential of the affected. The impacts of climate change particularly appear as an increase of extreme events and a redistribution of precipitation from summer to winter. Furthermore a rise in temperature until the end of the century of between 2,0 °C and 2,5 °C (WETTREG, Scenario A1B) is expected.

Within a literature study several studies regarding the sensitivity of water balance related to climate change in Germany have been interpreted and compared. For the development until present conditions the calculation of trends and their statistic significance is highly depending on the length of the observed time series. We often see a trend in the near past, but using longer time series there is no or a very weak trend. Therefore a comparison of different studies with different data sets is not possible even when they are set in the same area.

In studies regarding future changes in water balance the heterogeneity of data is even distinctive. Thus the applied global circulation models and the regional models as well as the used SRES-scenarios are effected. The comparison of the results of the studies is further complicated by using different water balance models. In general, the literature survey leads us to the fact that compared to the present state the availability of water will be higher in winter and shorter in summer.

Three areas – the catchments of the rivers Wupper, Salza and the upper catchment of river Iller – were chosen to test the sensitivity of the water balance by applying the numerical simulation model WaSiM-ETH. The three study areas are located in different ecoregions and show differing conflicts of use, interests and resources. WaSiM-ETH has been parameterised, calibrated and validated. Using two sources of regionalized climatic input-data (ECHAM5/WETTREG and ECHAM5/REMO) the development of the potentially natural water balance has been simulated until 2100, i.e. the different anthropogenic changes in the catchment have been ignored.

Initially the plausibility of the used regional climate scenarios for the relevant input (temperature, precipitation) and output data (discharge (lowflow, average discharge, high water), evapotranspiration, groundwater recharge) has been checked by comparing a control run with measured data in every study area. WETTREG shows a high plausibility for temperature and precipitation in yearly sums and a good plausibility in monthly sums. REMO shows significant differences in all of the study regions between

scenario data and measured data. The same results have been obtained for groundwater recharge and average discharge. For extreme values (high and low water) the plausibility for WETTREG and to a higher degree REMO is restricted: In the Upper Iller and Salza the length of an average series of days with low water and the maximum length of a dry period is clearly overestimated.

The results of modelling the climate projections show a significant increase of air temperature until the end of the century (1971-2000 compared to 2071-2100). That means a rise in temperature of 2,6 K (WETTREG) / 2,5 K (REMO) in the water shed of Wupper, 2,3 K (WETTREG) / 3,4 K (REMO) in the catchment of Upper Iller and 2,1 K (WETTREG) / 2,7 K (REMO) in the catchment of Salza. For the river Wupper, both scenarios lead to a rise in precipiation of about 5 % (WETTREG: 60 mm/a, REMO: 66 mm/a). For the Salza precipitation is unchanged with a light tendency to decrease using WETTREG, whereas REMO projects a significant rise of about 10 %. In the Iller-region precipitation will decrease significantly until 2100 using WETTREG-data (10 %: 200 mm/a) whereas REMO-data only shows a light decrease. In every study area both datasets predict a decrease precipitation in summer and (with the exception of Upper Iller) an increase in precipitation in winter. The yearly sums of evapotranspiration using WETTREG-scenarios will be virtually constant in the catchment of Salza, but will increase significantly in the catchment of Wupper and Upper Iller. In REMO evapotranspiration rises significantly in all of the three regions. Groundwater recharge will be stable for Wupper (WETTREG: ca. 450 mm/a, REMO: ca. 524 mm/a) and Salza (WETTREG: ca. 70 mm/a, REMO: ca. 81 mm/a) and for Upper Iller using REMO, whereas using WETTREG a slight decrease (not significant) in ground water recharge until 2100 for the catchment of Upper Iller is simulated. Neither for Wupper nor for Salza there will be a significant change in average discharge. In the catchment of Upper Iller WETTREG leads to a significant decrease in discharge comparing 1971-2000 to 2071-2100 (- 8 m^3/s: - 16 %). Average high water (MHQ on a daily basis) will be lower than now using WETTREG-data in all of the study areas. Using REMO-data there will be an increase of MHQ in the regions of the rivers Salza and Iller. For Salza the situation of lowwater will be intensified. The plausibility of modelling extremes in high flow and low flow in both projections (WETTREG and REMO) does not allow specific statements.

The analysis of the vulnerability of water management practises is based upon the simulated hydrological changes, literature studies and own surveys. Again the differing results using different models and scenarios have been causing problems.

The analysis of vulnerability in Germany regarding impacts of climate change on different water management practises shows that Germany is abundant in water. 19 % of its water resources are presently used. Still, the differing distribution of water in time and space already induces shortages in water supply. For example in the hot summer of 2003 shortage of water supply in Germany could be avoided by several measures like an adaptive control of reservoirs. Especially eastern parts of Germany are very sensitive by showing a negative climatic water balance in summer and expecting a worsening climatic water balance in winter, too.

Experts claim that generation of hydroelectricity may increase because of more precipitation in winter but decrease due to higher temperatures. Bavaria and Baden-Wuerttemberg are the federal states showing the highest potential for hydroelectric power and may react with modernized equipment or adaptive control or/and enlargement of reservoirs to climate change.

Inland navigation is endangered especially at Elbe, Oder and Danube (between the cities of Straubing and Vilshofen). Even in the Rhine river (below Karlsruhe) there were problems for transportation in 2003 because of low flow. Optimised logistics and modern types of ships (lower weight) may be adequate measures. Impacts of climate change on the ecology are very complex and are not understood sufficiently to draw resilient conclusions. Rising temperatures in water and in the air are regarded to be very critical. More research also is needed in terms of discharge of warm waste water from power plants (cooling water) into rivers and the higher concentrations of pollutants in summer because of low flow. There already are strict rules for discharge of water into rivers and water withdrawal. A raise of low water by means of adaptive control of reservoirs is recommended.

The decision support system “WASKlim-EUS” was developed and trained in the three study areas. It was shown that there will be negative impacts of climate change in the Wupper catchment for hydroelectrical plants, cooling water discharge in and from the river and in fishery. In the Salza catchment every examined water mamagement are endangered.The vulnerable water management of the Iller are water power plants, the river itself, fishery and the discharge of sewage plants.

The problem in the process of applying the WASKlim-EUS to the study areas was the integration of stakeholders. The impact of climatic changes and their assessment regarding water supply, water demand and adaption measures are very difficult to capture. In future the experiences from the WASKlim-EUS can be used and then complemented with interrogation of the stakeholders.

The methodology of WASKlim-EUS is transferable if the area under investigation can be described by meteorological and hydrological parameters. Then a fuzzy-system can be built and future water yield can be rated. It should also be possible to rate the future water demand by means of indicators which are extracted from scenario calculations. Thus the transferability of the developed WASKlim-EUS does not depend on water management but can be used for the assessment of measures in every field. It has been shown that WASKlim-EUS can be used for development of adaption strategies for climate change in water management.

7 Literatur

AG Bodenkunde (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5). 5. Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.), Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 438 S.

Arbeitskreis KLIWA (2002): Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA Projekt A 2.1.3, KLIWA-Berichte, Heft. 2 S.53.

Arbeitskreis KLIWA (2003): Langzeitverhalten der mittleren Abflüsse in Baden-Württemberg und Bayern. KLIWA Projekt A 2.1.2, KLIWA-Berichte, Heft 3. S.48.

Arbeitskreis KLIWA (2006): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland – Abschätzung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. KLIWA-Berichte, Heft 9. S.15, 57,79 - 85.

Arbeitskreis KLIWA (2007): Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. KLIWA-Bericht Heft 10, S. 183.

Arbeitskreis KLIWA (2007): Zum Einfluss des Klimas auf den Bodensee . KLIWA-Berichte Heft 11. S. 34f.

BAH Berlin (o.J.): Hydrologische Grundlagenuntersuchungen im Einzugsgebiet der Salza, http://www.bah-berlin.de/Hydrologische_Grundlagenuntersuchungen __Salza .pdf, Zugriff am 29.06.2009.

Barth, E.; Molnar, T.; Øverland (2004): Simulation des Wasserhaushalts für das Obere Maingebiet. In: KLIWA-Heft 4: "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft -Fachvorträge beim KLIWA-Symposium am 3. und 4.5.2004 in Würzburg" ,S.115 - 119.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2008): Karten, Berichte, Veröffentlichungen, http://www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/fliessgewaesser_gewaesserqualitaet/karten_berichte_veroeffentlichungen/index.htm, Zugriff: 18.11.2008

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) (2007): Klimaprogramm Bayern 2020, München, S. 26.

BBR (2007): INKAR – Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung, Bonn.

BBR (2009): Raumordnungsprognose 2025/2050, Berichte, Band 29, http://www.bbsr.bund.de/cln_005/nn_22710/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/Ablage__Meldungen/Berichte29.html, Zugriff am 06.07.2009.

Beierkuhnlein, C.; Foken, T. (2008): Klimawandel in Bayern, Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten, Kurzfassung, Bayreuth, S. 23-25, 35-36.

Beierkuhnlein, C.; Foken, T. (2008): Klimawandel in Bayern, Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten, Bayreuth, S. 54-57

Belau, M.; Kleinhans, A.; Weber, H. (2006): Das EU-Projekt ESPACE: Berücksichtigung des Klimawandels in der flussgebietsbezogenen Planung. In: DWA Landesverband Bayern, Mitglieder-Rundbrief 1/2006. S. 32.

Belz, J.U.; Brahmer, G.; Buiteveld, H.; Engel, H.; Grabher, R.; Hodel, H.; Krahe, P.; Lammersen, R.; Larina, M.; Mendel, H.-G.; Meuser, A.; Müller, G.; Plonka, B.; Pfister, L.; Vuuren, W.v. (2007): Das Abflussregime des Rheins und seiner Nebenflüsse im 20. Jahrhundert – Analyse, Veränderung, Trends. Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR), Bericht Nr. I-22. S. 9f, 67f.

Belz, J.U.; Engel, H.; Krahe, P. (2004): Das Niedrigwasser 2003 in Deutschlands Stromgebieten. In: Hydrologie und Wasserwirtshaft, 48.Jahrgang, Heft 4.S.162 - 169.

Berthold, G & Hergesell, M. (2005): Flächendifferenzierte Untersuchungen zu möglichen Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Hessen. Klimafolgen in der Wasserwirtschaft (Grundwasser), INKLIM 2012, Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen, Projektbaustein II, Klimawandel und Klimafolgen in Hessen, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Abschlussbericht. S. 16 - 21.

Brahmer, G. (2006): Klimawandel und seine Konsequenzen für die Wasserwirtschaft in Hessen. In: KLIWA-Heft 10, Fachvorträge beim KLIWA-Symposium am 25. und 26.10.2006 in Stuttgart, S. 211 – 222.

Brahmer, G.; Richter, K.-G., Czesniak, R. (2005): Klimafolgen in der Wasserwirtschaft (Oberflächengewässer). In: INKLIM 2012, Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen, Projektbaustein II, Klimawandel und Klimafolgen in Hessen, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Abschlussbericht. S.23 - 28.

Bronstert, A., Kolokotronis, V., Schwandt, D.,Straub, H. (2006): Vergleich und hydrologische Wertung regionaler Klimaszenarien für Süddeutschland, HW 50. 2006, H. 6, 270- 287.

Bronstert, A.; Bardossy, A.; Bismuth, Ch.; Buitefeld, H.; Busch, N.; Disse, M.; Engel, H.; Fritsch, U.; Hundecha, Y.; Lammersen, R.; Niehoff, D.; Ritter, N. (2001): LAHoR – Quantifizierung des Einflusses der Landoberfläche und der Ausbaumaßnahmen am Gewässer auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet. S. 52 – 54.

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (2004): Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. – Schriftenreihe Umwelt, Nr. 369, Bern, S. 174.

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2009): KLIWAS-Projekt 4.01-„Hydrologie und Binnenschifffahrt“, Auswirkungen des Klimawandels auf die Hydrologie und Handlungsoptionen für Wirtschaft und Binnenschifffahrt, http://www.bafg.de/nn_163326/M2/DE/05__KLIWAS/kliwas__node.html?__nnn=true, Zugriff am 11.08.2009.

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2002): Das Augusthochwasser 2002 im Elbegebiet. Koblenz. S.3, 33.

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2003): GLOWA Elbe I, Teilaufgabe 2.3: Ballungsraum Berlin/Untere Havel, Schlussbericht, Koblenz, S 81-86.

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2006): Niedrigwasserperiode 2003 in Deutschland, Ursachen-Wirkung-Folgen. Mitteilung Nr. 27, Koblenz, S. 162-165, 167-169, 172, 176, 180, 181, 183, 185, 194.

Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung in Zusammenarbeit mit dem Statistischen Bundesamt (2008): Bevölkerung – Daten, Fakten, Trends zum demographischen Wandel in Deutschland, Wiesbaden.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland, 3. Lieferung 2003, Bonn.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2004): Die Wasserrahmenrichtlinie – Neues Fundament für den Gewässerschutz in Europa, Langfassung, Berlin, S. 33, 61.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2005): Die Wasserrahmenrichtlinie – Ergebnisse der Bestandsaufnahme 2004 in Deutschland, Berlin, S. 10, 36, 40-42, 49-51.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2006): Wasserwirtschaft in Deutschland – Teil 2: Gewässergüte.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2008a): Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung, Berlin, S. 15.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2008b): Grundwasser in Deutschland, Berlin, S. 27, 51.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2008c): Kurzüberblick zur Wasserkraftnutzung in Deutschland, http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/4644/, Zugriff: 18.11.2008.

Bundesverband der deutschen Binnenschiffahrt e.V. (BDB) (2008): Das deutsche Wasserstraßennetz, http://www.binnenschiff.de/, Zugriff: 18.11.2008

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) (2007): Die öffentliche Wasserversorgung in Deutschland, Berlin, S. 4, S. 5.

Bunge, T.; Dirbach, D.; Dreher, B.; Fritz, K.; Lell, O.; Rechenberg, B.; Rechenberg, J.; Schmitz, E.; Schwermer, S.; Steinhauer, M.; Steudte, C.; Voigt, T. (2001): Wasserkraftanlagen als erneuerbare Energiequelle – rechtliche und ökologische Aspekte, Berlin, S. 71, 87.

Caspary, H.J.; Bardossy, A. (1995): Markieren die Winterhochwässer 1990 und 1993 das Ende der Stationarität in der Hochwasserhydrologie infolge von Klimaveränderungen. In: Wasser&Boden, 47.Jahrgang, 3/1995. S.18 – 24.

Czegka, W.; Braune, S.; Behrends, K. (2005) Validierung der freien C-Band SRTM Höhendaten in Hinblick auf Anwendungsmöglichkeiten in den Geo- und Umweltwissenschaften. In: Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G. (Hrsg.) Angewandte Geoinformatik 2005. Beiträge zum 17. AGIT Symposium Salzburg 2005. Seiten 106-111

Deutsche Industrienorm (DIN) 38410-1: 2004-10 (2004): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung (Gruppe M) – Teil 1: Bestimmung des Saprobienindex in Fließgewässer (M 1), Berlin.

Diekmann, A. (2002): Soziologie und empirische Sozialforschung. Von den Siebziger Jahren bis heute. Zuma Nachrichten Spezial 8.

DVWK Merkblätter 238/1996: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen, Offenbach.

DWD (2009): Klimaszenarien – Rechnungen für Deutschland, http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_start&T998038271711963283542 69gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FHomepage%2FKlimawandel%2FKlimawandel__neu__Klimasz__D__node.html__nnn%3Dtrue, Zugriff am 30.03.2009

Enke, W., Deutschländer, T., Schneider, F., Küchler, W. (2005): Results of five regional climate studies applying a weather pattern based downscaling method to ECHAM4 climate simulation. Meteorologische Zeitschrift 14/2: 247-257

Enke et al (2007): Neuentwicklungen von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf Basis

von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2; Endbericht, Umwelt Bundesamt.

Eulenstein, F.; Willms, M.; Müller, L.; Schindler, U.; Mirschel, W.; Fischer, A. (2003): ZALF-Gutachten zur Sickerwasserqualität. In: Daten zum integrierten Klimaschutzmanagement im Land Brandenburg, Fachbeiträge des Landesumweltamtes, Heft Nr. 104. Anhang 3. S. 76 – 83.

Europäisches Parlament (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, o.O.

EVSA (2009): Entomologen-Vereinigung Sachsen-Anhalt e.V., http://www.evsa.de/entomologie/besonderheiten/salziger_see.htm, Zugriff am 06.07.2009

Finke, W.; Krause, S. (2005): Langzeitverhalten von Niedrigwasserkenngrößen von Pegeln des Havelgebietes und der Elbe. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 49.Jahrgang, Heft 5. S. 248-254.

Franke, J. ; Goldberg, V. & Bernhofer, C. (2006): Risiken des regionalen Klimawandels in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Wiss. Zeitschrift der TU Dresden 55 (2006).

Gaiser, T.; Printz, A.; Schwarz von Raumer, H.-G.; Schneider, M.; Lange, F-M.; Götzinger, M.; Barthel, R.; Henseler, M.; Bardossy, A.; Kaule, G.; Stahr, K. (2006): Das EU-Projekt RIVERTWIN – Neckar: Ein Beitrag zum integrierten Flussgebietsmanagement. In: KLIWA-Heft 10, Fachvorträge beim 3. KLIWA-Symposium am 25. und 26.10.2006 in Stuttgart, S. 206.

Gerlinger, K. (2004): Simulation des Wasserhaushalts im Neckareinzugsgebiet unter Verwendung regionaler Klimaszenarien. In: KLIWA-Heft 4: "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft -Fachvorträge beim KLIWA-Symposium am 3. und 4.5.2004 in Würzburg", S.93 - 100.

Gerstengarbe, F.-W.; Badeck, F.; Hattermann, F.; Krysanova V.; Lahmer, W.; Lasch, P.; Stock, M.; Suckow, F.; Wechsung, F.; Werner, P. C. (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven.

Gieseke, J.; Heimerl, S. (1999): Wasserkraftanteil an der elektrischen Stromerzeugung in Deutschland. In: Wasserwirtschaft Bd. 89 (7/8), S. 336-344.

Göttle, A. (2008): Konsequenzen für die wasserwirtschaftliche Infrastruktur, In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 24.08, Klimawandel – Was kann die Wasserwirtschaft tun?, Hennef, S. 157.

Haakh, F. (2008): Auswirkungen des Klimawandels auf die Trinkwasserversorgung, In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 24.08, Klimawandel – Was kann die Wasserwirtschaft tun?, Hennef, S. 175.

Hattermann, F. (2004): Folgen von Klimawandel und Landnutzungsänderungen für den Landschaftswasserhaushalt und die landwirtschaftlichen Erträge. Vortrag GLO-WA-Elbe Abschlusskonferenz 15./16. März 2004, Potsdam.

Hattermann, F. (2005): Integrated modelling of Global Change impacts in the german Elbe river basin. Dissertation, Universität Potsdam.

Hauff, M.; Kluth, K. (2006): Die energiewirtschaftliche Situation und Stand der Versorgungssicherheit in Deutschland während der Trockenperiode 2003, Diskussionsbeitrag 22-06, Kaiserslautern, S. 7.

Hennegriff, W. (2006): Handlungsempfehlungen bei der Festlegung des Bemessungshochwassers in Baden-Württemberg. In: KLIWA-Heft 10, Fachvorträge beim 3. KLIWA-Symposium am 25. und 26.10.2006 in Stuttgart, S. 91 – 104.

Hennegriff, W.; Ihringer, J.; Kolokotronis, V. (2008): Prognose von Auswirkungen des Klimawandels auf die Niedrigwasserverhältnisse in Baden-Württemberg. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung - Korrespondenz Wasserwirtschaft 2008 (1), Nr. 6, S. 310-314.

Hennegriff, W.; Kolokotronis, V.; Ihringer, J. (2007): Prognose der künftigen Entwicklung der Niedrigwasserverhältnisse in Baden-Württemberg infolge des Klimawandels. In: Einfluss von Bewirtschaftung und Klima auf Wasser- und Stoffhaushalt von Gewässern, Beiträge zum Tag der Hydrologie 2007; Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Heft 20.07, Band2. Poster. S. 95 - 98.

Hennegriff, W.; Kolokotronis, V.; Weber, H.; Bartels, H. (2006): Klimawandel und Hochwasser – Erkenntnisse und Anpassungsstrategien beim Hochwasserschutz. KA – Abwasser, Abfall 2006 (53) Nr.8. S.777 - 778.

Henrichs, Y.; Meuser, A.; Prellberg, D. (2005): Analyse der langjährigen Abflussverhältnisse im Hochwasserbereich vor dem Hintergrund eines Kimwandels. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (Hrsg.)

Hertwig, Th. (2004): Parametrisierung, Anpassung und Kalibrierung des Bodenwasserhaushaltsmodells WaSiM-ETH für das Einzugsgebiet der Parthe sowie Berech-

nung von drei Landnutzungsszenarien auf Grundlage der Klimaprognose für Sachsen, KliWEP, Teil 1, Abschlussbericht, S. 89 - 102.

Horlacher, H.-B. (2008): Auswirkung der Klimaveränderung auf die Wasserkraftnutzung, In: DWA-Expertengespräch – Folgen des Kimawandels und Handlungsoptionen der deutschen Wasserwirtschaft, Siegburg.

Ihringer, J. (2004): Ergebnisse von Klimaszenarien und Hochwasserstatistik. In: KLIWA-Heft 4: "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft - Fachvorträge beim KLIWA-Symposium am 3. und 4.5.2004 in Würzburg" .S.157 - 158,166.

IPCC (2007a): Klimaänderung 2007, Synthesebericht, Alfons P. M. Baede, Paul van der Linden, Aviel Verbruggen (2008): Glossar.- In: Kernautorenteam Synthesebericht IPCC, Rajendra K. Pachauri, Andy Reisinger (Hrsg.): Klimaänderung 2007. Synthesebericht.- Berlin (Übersetzung von der deutschen IPCC-Koordinierungsstelle; Original: Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO / UNEP (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report), S. 86-99.

IPCC (2007b): Vierter Sachstandsbericht des IPCC (AR4), Klimaänderung 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger, Bern/Wien/Berlin

IPCC (2007c): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Auswirkungen, Anpassung, Verwundbarkeiten. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, C.E. Hanson and P.J. van der Linden, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin.

IPCC Glossar (2001): Autoren und Experten-Gutachter, Glossar, Abkürzungen, Akronyme, Einheiten, Liste der wichtigsten IPCC Berichte, o.O.

Jacob D.; Lorenz P.; Göttel H.; Möller M.; Kotlarski S. (2006): Klimaänderungen in Deutschland, Österreich und der Schweiz bis 2100: erste Analysen des regionalen Klimamodells REMO – Mittelwerte und Extrema, Hamburg

Jonkeren, O. et al. (2007): Climate Change an Inland Waterway Transport – Welfare Effects of Low Water Level on the river Rhine. – In: Journal of Transport Economics and Policy 41, H. 3, S. 387-411.

Julich, S. und Frühauf, M (2007): Auswirkungen bergbaulicher Aktivitäten auf den Wasserhaushalt im Einzugsgebiet des Tagebaus Amsdorf. In Hallesches Jahrb. Geowiss., Band 29, S. 93-106, Halle.

Katzenberger, B. (2004): Bisherige Erkenntnisse aus KLIWA - Handlungsempfehlungen. In: KLIWA-Heft 4: "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft -Fachvorträge beim KLIWA-Symposium am 3. und 4.5.2004 in Würzburg", S.199.

Keil, M.; Kiefl, R.; Strunz, G. (2005): CORINE Land Cover 2000 - Europaweit harmonisierte Aktualisierung der Landnutzungsdaten für Deutschland. Abschlussbericht zum F+E Vorhaben UBA FKZ 201 12 209, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum Oberpfaffenhofen, Mai 2005

Klapper, H. (2000): Wiederherstellung des Salzigen Sees bei Seeburg – Erwartungen, Belastungen, Prognosen. In: Wasser und Boden, Heft 3, S. 22-30, Berlin.

Kleinhans, A. & Willems, W. (2006): Auswirkungen des Klimawandels auf das Hochwassergeschehen im bayerischen Maingebiet. In: KLIWA-Heft 10, Fachvorträge beim KLIWA-Symposium am 25. und 26.10.2006 in Stuttgart, S. 79 – 90.

Kleinn, J. (2002): Climate change and runoff statistics in the Rhine basin: a process study with a coupled climate-runoff model. - PhD thesis, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Diss. 14663, Zürich.

Koehler, G.M.; Schwab, W.; Finke, W.; Belz, J.U. (2007): Überblick zur Niedrigwasserperiode 2003 in Deutschland: Ursachen-Wirkungen-Folgen. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 3, Juni 2007. S.118-130.

Kompass Glossar (2008): Deutschsprachiges Glossar, www.anpassung.net

Köster, S. (2008): Veränderungen der Rohwasserqualität infolge des Klimawandels. In: 41. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, Aachen, S. 22/6, 22/11.

Krahe, P.; Busskamp, R. (2003): Flussgebiete. In: Hydrologischer Atlas von Deutschland, Oberirdische Gewässer, Herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Projektleitung: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Institut für Hydrologie der Universität Freiburg i.Br.. S. 136.

Krahe, P.; Eberle, M.; Richter, K.-G.; Wilke, K. (2004): Simulation des Wasserhaushaltes für das Rheingebiet. In: KLIWA-Heft 4: "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft -Fachvorträge beim KLIWA-Symposium am 3. und 4.5.2004 in Würzburg" ,S.129 – 133.

Kron, W.; Ellenrieder, T. (2008): Zunehmende Wetterschäden: Was kostet das die Versicherungswirtschaft? In: Klimawandel – Was kann die Wasserwirtschaft tun?, Hennef, S. 225f.

Küchler W. (2003): Die Dürreperiode 2003 in Sachsen, LfUG, R 41, Dresden.

Küchler W. (2005): Klimawandel in Sachsen – Sachstand und Ausblick, Dresden, S. 75, 90, 91.

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (1991): Grundlagen für die Beurteilung von Kühlwassereinleitungen in Gewässern, Berlin, S. 109.

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2003a): Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie, Berlin.

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2004): Gewässerstrukturkartierung in der Bundesrepublik Deutschland – Übersichtsverfahren, Berlin.

Landesumweltamt Brandenburg (LUA) (Hrsg.) (2006): Daten zum integrierten Klimaschutzmanagement im Land Brandenburg, Fachbeiträge des Landesumweltamtes, Heft Nr. 104., S.55 – 57.

Lange, A. & Eggelsmann, F. (2007): Klimawandel und Wasserwirtschaft im Harz. http://www.bwk-niedersachsen.de/Veranstaltung29/download/Lange_HWW.pdf.

Leuscher (2008): Wasserkraftwerke in Deutschland, http://www.udo-leuschner.de/basiswissen/SB107-vgkarte.htm, Zugriff: 13.11.2008

Lippe, W.-M. (2006): Soft-Computing mit Neuronalen Netzen, Fuzzy-Logic und Evolutionären Algorithmen, Berlin Heidelberg

Lönker, O. (2003): Hitzefrei für Atomstrom, In: Neue Energien 9/2003, S. 22-23.

Maniak, U. (2005): Hydrologie und Wasserwirtschaft – Eine Einführung für Ingenieure. Berlin, Heidelberg, New York, S. 666.

Mann, H.-U.; Ratzenberger, R.; Schubert, M.; Kollberg, B.; Gresser, K.; Konanz, W.; Schneider, W.; Platz, H.; Kotzagiorgis, S.; Tabor, P. (2001): Verkehrsprognose 2015 für die Bundesverkehrswegeplanung, http://www.bmvbs.de/Anlage/original_5914/Deckblatt-und-Inhaltsverzeichnis.pdf, Kurzfassung, S. IV, XIV.

Menzel, L.; Bürger, G. (2002): Climate change scenarios and runoff response in the Mulde catchment (Southern Elbe, Germany). In: Journal of Hydrology 267 (2002). S. 53 - 64.

Menzel, L.; Bürger, G.; Schwandt, D. (2001): Klimaänderungen und Hochwasser: Ergebnisse aus einer DFNK-Studie im Rheingebiet. Zweites Forum Katastrophenvorsorge 24. – 26. September 2001.

Meynen et al. (1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands, Bad Godesberg

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV) (2007): Klimawandel in Nordrhein-Westfalen – Wege zu einer Anpassungsstrategie, S. 15 – 18.

Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (MUFV-RLP) (Hrsg.) (2007): Klimabericht Rheinland-Pfalz 2007, S.55-60.

Moser, H.; Krahe, P.; Maurer, T.; Nilson, E. (2008): Wasserstraßen - Handlungsoptionen für Wirtschaft und Binnenschifffahrt. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 24.

Mrozik, H.; Hilger, T.; Piechniczek, S. (2007): Dargebotsprognose für eine Wasserfassung in Dresden. In: Einfluss von Bewirtschaftung und Klima auf Wasser- und Stoffhaushalt von Gewässern, Beiträge zum Tag der Hydrologie 2007; Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Heft 20.07, Band2.Poster. S.91 - 94.

Mudelsee, M.; Börngen, M.; Tetzlaff, G.; Grünewald, U. (2003): No upward trends in occurrence of extreme floods in central Europe. In: Nature Vol. 425. S. 166 – 168.

Mudelsee, M.; Deutsch, M.; Börngen, M.; Tetzlaff, G. (2006): Trends in flood risk of the river Werra (Germany) over the past 500 years. Hydrological Sciences Journal 51 (5). S. 818 – 833.

Müller, U. et al. (2007): Impacts on Water Temperatures of Selected German Rivers and on Electricity Production of Thermal Power Plants due to Climate Change. - Posterveröffentlichung 8. Forum DKKV/CEDIM: Disaster Reduction in Climate Change. 15.-16.10.2007, Karlsruhe, S. 4.

Müller, U. et al. (2008): Möglicher Einfluss des Klimawandels auf Flusswassertemperaturen und Elektrizitätserzeugung thermischer Kraftwerke. – Posterveröffentlichung Tag der Hydrologie 2008. 27.03.-28.03.2008. Hannover.

Neumann, J. & Gudera, T. (2006): Auswirkung der Klimaveränderung auf die Grundwasserneubildung in Süddeutschland. In: KLIWA-Heft 10, Fachvorträge beim KLIWA-Symposium am 25. und 26.10.2006 in Stuttgart, S. 163 – 173.

Peterwitz, U.; Böddeker, M. (2008): Aktuelle Tendenzen und mögliche Folgen des Klimawandels für die Wassergewinnung – Fallbeispiel aus NRW. In: 41. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, Aachen, S. 23/4.

Pfützner, B. (1996) : Hydrologische Grundlagenuntersuchungen im Einzugsgebiet der Salza; Projektbericht BAH, unveröffentlicht

Pinnekamp, J.; Köster, S.; Siekmann, M.; Staufer, P. (2008): Klimawandel und Siedlungswasserwirtschaft. In: 41. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, Aachen, S. 3/2.

Pöhler, H. (2006): Anpassung von WaSiM-ETH und die Erstellung und Berechnung von Landnutzungs- und Klimaszenarien für die Niederschlag-Abfluss-

Modellierung am Beispiel des Osterzgebirges. Dissertation, Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau, TU Bergakademie Freiberg, S.99 - 104.

Pöhler, H., Jasper, K., Müller, M., Scherzer, J. (2008): KliWEP - Abschätzung der Auswirkungen der für Sachsen prognostizierten Klimaveränderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet der Parthe. Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Nr. 13-0345.42/312. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.

Pöhler, H.; Chmielewski, F.; Jasper, K.; Henniges, Y.; Scherzer, J. (2007): KliWEP - Abschätzung der Auswirkungen der für Sachsen prognostizierten Klimaveränderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet der Parthe. Weiterentwicklung von WaSiM-ETH: Implikation dynamischer Vegetationszeiten und Durchführung von Testsimulationen für sächsische Klimaregionen. Abschlussbericht, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.

Popp, M.; Preußer J. (2008): Nachhaltige Wasserkraftnutzung an staatlichen Gewässern in Bayern – Eine Eckpunktevereinbarung als Rahmen für die weitere Entwicklung, In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 8/08, Hennef, S. 436.

Quast, J.; Dietrich, O.; Hentschel, M.; Kayser, M.; Redetzky, M.; Schilling, C.; Schramm, M.; Tauschke, M.; Wessolek, G.; Lorenz, M.; Schwärzel, K.; Kowarik, I.; Heimann, J.; Bangert, U.; Vater, G.; Hartje, V.; Grossmann, M.; Meyerhoff, J. (2003): Schlussbericht zum Teilgebietsprojekt Spreewald, GLOWA-Elbe. S.18,34.

Rademacher, S.; Burek, P.; Eberle, M. (2004): Niedrigwasservorhersage an Bundeswasserstraßen – Entwicklung und operationeller Betrieb. In: Niedrigwassermanagement, Beitrag zum Seminar am 11./12. November 2004 in Koblenz. Heft 07.04, S. 105.

Regionale Zusammenarbeit der Donauländer (RZD) (1986): Die Donau und ihr Einzugsgebiet – Eine hydrologische Monographie. Teil 1/ Texte, Teil 2/Tabellen, Teil 3/Karten. – Hrsg. Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, München und IHP/OHP-Sekretariat, Koblenz. S.19, 22, 166 - 178.

Regionale Zusammenarbeit der Donauländer (RZD) (2004): Die Donau und ihr Einzugsgebiet – Eine hydrologische Monographie. Folgeband VIII/2: Das Abflussregime der Donau und Ihres Einzugsgebietes – Aktualisierung des Kapitels II der Donaumonographie. Hrsg. IHP/UNESCO HWRP/WMO.S.28,46.

Richter, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. – Berichte des deutschen Wetterdienstes 194, Offenbach

Roth (2008): Was sind „No-regret-Maßnahmen“ im Klimaschutz?, http://www.energie-fakten.de/pdf/no-regret-massnahmen.pdf

Rothstein, B.; Müller, U.; Greis, S.; Scholten, A.; Schulz, J.; Nilson, E. (2008): Auswirkungen des Klimawandels auf die Elektrizitätsproduktion unter besonderer Berücksichtigung des Aspekts Wasser, In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 24.08, Klimawandel – Was kann die Wasserwirtschaft tun?, Hennef, S. 193.

Röttcher, K.; Tönsmann, F. (2004): Hochwasserschutzkonzepte und EU – Wasserrahmenrichtlinie – Beitrag zum Deutsch-Polnischen Workshop 'Integrierte Wasserbewirtschaftung', Kasseler Wasserbau-Mitteilungen Heft 14 / 2004, Herkules Verlag, Kassel.

Saaty, T. L. (1980): The Analytical Hierarchy Process, New York.

Saaty, T. L. (1990): How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. In: European Journal of Operational Research 48 (1990), S. 9-26, North Holland Publish.

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) (2005): Klimawandel in Sachsen. Sachstand und Ausblick, Dresden.

Schäfer, D.; Nillert, P. (2007): Modellgestützte Abschätzungen zur Auswirkung des Klimawandels auf den Wasserhaushalt und die geogen-salinäre Versalzung im Einzugsgebiet des Wasserwerks Potsdam-Leipziger Str. In: Einfluss von Bewirtschaftung und Klima auf Wasser- und Stoffhaushalt von Gewässern, Beiträge zum Tag der Hydrologie 2007; Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Heft 20.07, Band2.Poster. S. 87 - 90.

Scherzer, J., Schramm, D., Rang, J., Angermann, L., Schüler, G. (2004): METEODATA - verbesserter Lückenersatz von Klimadaten; Tagungsband Forstwissenschaftliche Tagung 2004; Freising/Weihenstephan; ISBN 3-9809307-1-8; S. 171

Scherzer, J.; Pöhler, H.; Jasper, K.; Sames, D. (2006b): KliWEP – Abschätzung der Auswirkungen der für Sachsen prognostizierten Klimaveränderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet der Parthe – Teil 2: Weiterentwicklung von WaSiM-ETH sowie Durchführung von Testsimulationen. Abschlussbericht. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Nr. 13-8802.3529/38.

Scherzer, J.; Wriedt, G.; Sames, D.; Müller, M.; Hesser, F.; Jasper, K.; Pöhler, H. (2006a): KLiWEP – Abschätzung der Auswirkungen der für Sachsen prognostizierten Klimaveränderung auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet der Parthe. Teil 3: Vorstudie zur Simulation der Stoffflüsse von Stickstoff und Kohlenstoff im Parthe-Einzugsgebiet. Sächsisches Landesamt für Umwelt und

Geologie. Abschlussbericht des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens Nr. 13-8802.3529/39.

Schneeweiß, H. (1991): Planung 1 – Systemanalytische und entscheidungstheoretische Grundlagen, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo

Schulla, J.; Jasper, K. (1998): Modelbeschreibung WaSiM-ETH. - Technischer Bericht, Institut für Atmosphäre und Klima, ETH Zürich.

Schulla, J.; Jasper, K. (2000): Model description WaSiM-ETH. - Technical report, Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zürich.

Schulla, J.; Jasper, K. (2007): Model description WaSiM-ETH. – http://www.wasim.ch/downloads/doku/wasim/wasim_2007_en.pdf

Schulla, J.; Zöllmann, K.; Kinzelbach, W. (1999): Sustainable agriculture and water management in semi arid regions. - 2nd Inter-Regional Conference on Environment-Water, 1-3 September 1999, Lausanne.

Schwandt, D. (2003): Abflussentwicklung in Teileinzugsgebieten des Rheins – Simulationen für den Ist-Zustand und für Klimaszenarien. PIK Report No. 88, Potsdam.

Seidel, H. (2003): Binnenschifffahrt leidet unter Niedrigwasser. In: Die Welt vom 23.07.2003, S. 1.

Sommer, Th.; Feige, H.; Klöcking, B.; Knoblauch, S.; Maier, U.; Müller, M.; Pfützner, B.; Wechsung, F.; Clausing, Th., (2003): Die Wirkung des Globalen Wandels im Unstrut-Einzugsgebiet, Abschlussbericht; GLOWA-Elbe Teilprojekt Unstrut; Förderprojekt des BMBF, Förderkennzeichen: 07 GWK 03, Dresden, S. 126 - 131.

Spekat, A.; Enke, W.; Kreienkamp F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Endbericht, Umweltbundesamt , S. 14-15-16, 63-97.

Spreafico, M.; Weingartner, R. (2005): Hydrologie der Schweiz – Ausgewählte Aspekte und Resultate. Berichte des BWG, Serie Wasser, Bern 2005, S.124 - 125.

Staatliches Amt für Umwelt und Arbeitsschutz OWL (StAfUA OWL) (2005): Hochwasser-Aktionsplan Weser (NRW). S.10, 21.

Statistisches Bundesamt (2004): Umwelt – Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung, Fachserie 19, Reihe 2.2, Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2006a): Umwelt – Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung, Fachserie 19, Reihe 2.1, Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt (2006b): Bevölkerung Deutschlands bis 2050 – 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung – Presseexemplar, Wiesbaden, S. 6, 7, 15, 19, 55ff.

Statistisches Bundesamt (2007): Statistisches Jahrbuch 2007 für die Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden.

STAU Staatliches Amt für Umweltschutz Halle (1999): Wasserbilanz der Mansfelder Seen – Ist-Zustand und Prognose, Unveröffentlicht.

Stemplewski, J.; Becker, M.; Pfister, A. (2008): Antworten der Wasserwirtschaft auf den Klimawandel – Strategien für die Flussgebiete von Emscher und Lippe, In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 8/08, Hennef, S. 432.

Stock, M. (Hrsg.) (2005): KLARA – Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassungen. PIK Report No 99, Potsdam. S. 3-4, 155–157.

Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt, TMLNU (2004): Umweltschutz in Thüringen, Erfurt, S. 20f.

Trepel, M.; Rinker, A.; Deunert, F. (2007): Wirkung des Klimawandels auf Wasser- und Nährstoffhaushalt landwirtschaftlich genutzter Ökosysteme in Schleswig-Holstein - Ergebnisse eines Modellexperimentes. In: Einfluss von Bewirtschaftung und Klima auf Wasser- und Stoffhaushalt von Gewässern, Beiträge zum Tag der Hydrologie 2007; Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Heft 20.07, Band2.Poster. S.75 - 78.

UBA (2006): Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert. Hintergrundpapier zum Klimaänderungsworkshop in Dessau in April 2006.

UBA Hintergrundpapier (2007): Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen – Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG, Dessau.

Umweltbundesamt, UBA (2006): Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert. Hintergrundpapier zum Klimaänderungsworkshop in Dessau in April 2006, Dessau.

Umweltbundesamt, UBA (2008): Öffentliche Wasserversorgung, http://www.env-it.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2302, Zugriff: 13.11.2008

Weber, H. (2006): Untersuchungsergebnisse zum Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Süddeutschland In: KLIWA-Heft 10, Fachvorträge beim KLIWA-Symposium am 25. und 26.10.2006 in Stuttgart, S. 131 – 143.

Wechsung, F.; Hanspach, A.; Hattermann, F.; Werner, P.C.; Gerstengarbe, F.-W. (2006): Klima- und Anthropogene Wirkung auf den Abfluss der mittleren Elbe, Konsequenzen für Unterhaltungsziele und Ausbaunutzen. PIK. S.7, 45.

Weiß, G. (2000): Die Siedlungs- und Nutzungsgeschichte der Landschaft der Mansfelder Seen. In: LAU LSA Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt – Der Salzige See, S. 8-16, Sonderheft, Halle.

Weska (2006): Europäischer Schifffahrts- und Hafenkalender. – 73. Jahrgang, Verein für europäische Binnenschifffahrt und Wasserstraßen e.V. Duisburg, S. 1448.

Wikipedia (2009): www.wikipedia.de, Suche: Iller, Zugriff am 24.08.2009.

Willems, W. (2006): Entwicklung der Niedrigwasserverhältnisse in Süddeutschland. In: KLIWA-Heft 10, Fachvorträge beim KLIWA-Symposium am 25. und 26.10.2006 in Stuttgart, S. 143 – 161.

Wolff, M. (2003): Hochwasserrisiko im mittleren Neckarraum: Charakterisierung unter Berücksichtigung regionaler Klimaszenarien sowie dessen Wahrnehmung durch befragte Anwohner. PIK Report No. 87, Potsdam.

World Meteorological Organisation (WMO) (1994): Guide to hydrologicalpractices; Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications. WMO-No. 168, 5th Edition.

Wupperverband (2008 a): Fische in der Wupper, http://www.wupperverband.de /internet/wupperverbandwys.nsf/files/2008_flyer_wupper_fische_lang_2.pdf/$FILE/2008_flyer_wupper_fische_lang_2.pdf, Zugriff: 18.06.2009.

Wupperverband (2008 b): Hochwasserschutzkonzept des Wupperverbandes, http://www.wupperverband.de/internet/wupperverbandwys.nsf/files/Hochwasserschutzkonzept_2.pdf/$FILE/Hochwasserschutzkonzept_2.pdf, Zugriff: 18.06.2009.

Wurbs, D. (2005): Vergleichende Untersuchungen zu den Folgewirkungen zu Klima- und Landnutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt in Flusseinzugsgebieten, Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, S. 84 - 92.

Zadeh, L.A. (1965): Fuzzy Sets. Information and Control, 8, 338-353.

Zebisch, M.; Grothmann, T.; Schröter, D.; Hasse, C.; Fritsch, U.; Cramer, W. (2005): Klimawandel in Deutschland – Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Umweltbundesamt, Climate Change 08/05 (UFOPLAN 201 41 253). Dessau (http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2947.pdf)

Zimmermann, H.-J. (1993): Fuzzy Technologien – Prinzipien, Werkzeuge, Potentiale, Düsseldorf

8 Glossar

Adaption

Adaption ~ Anpassung

Anfälligkeit (Glossar IPCC 2001)

Das Maß, in dem ein System auf nachteilige Auswirkungen des Klimawandels (inklusive Klimavariabilität und Extremereignisse) anfällig ist oder unfähig ist, sich solchen Auswirkungen anzupassen. Die Anfälligkeit ist eine Funktion der Art, des Ausmaßes und der Geschwindigkeit von Klimaschwankungen, denen ein System ausgesetzt ist, sowie dessen Empfindlichkeit und Anpassungsfähigkeit. Der Effekt kann direkt sein (z.B. eine Veränderung der landwirtschaftlichen Erträge als Reaktion auf eine Veränderung von Durchschnitt, Schwankungsbereich oder Variabilität der Temperatur) oder indirekt (z.B. Schäden aufgrund häufiger Küstenüberflutungen wegen des Meeresspiegelanstiegs).

Anpassung (IPCC Glossar 2001)

Anpassungen in natürlichen oder menschlichen Systemen, die als Reaktion auf gegenwärtige oder zu erwartende klimatische Stimuli oder deren Effekte Schaden mindern oder günstige Gelegenheiten nutzen. Es können verschiedene Arten von Anpassungen unterschieden werden, darunter vorausschauende und reaktive, private und öffentliche, autonome und geplante Anpassung:

<u>Vorausschauende Anpassung</u>

Anpassung, die vor der Beobachtung von Auswirkungen der Klimaänderungen stattfindet.

<u>Autonome Anpassung</u>

Anpassung, die nicht eine bewusste Antwort auf klimatische Stimuli darstellt, die aber von ökologischen Veränderungen in natürlichen Systemen und von Markt- oder Wohlstandsänderungen in gesellschaftlichen Systemen ausgelöst wird. Auch spontane Anpassung genannt.

Geplante Anpassung

Anpassung als Resultat einer wohlüberlegten politischen Entscheidung im Bewusstsein, dass die Bedingungen sich geändert haben oder daran sind, sich zu ändern, und dass Handeln notwendig ist, um einen gewünschten Zustand wiederherzustellen, zu erhalten oder zu erreichen.

Private Anpassung

Anpassung, die auf Initiative und Durchführung von Individuen, Haushalten oder privaten Unternehmen beruht. Private Anpassung liegt normalerweise im rationalen Eigeninteresse des Handelnden.

Öffentliche Anpassung

Anpassung, die von Regierungen aller Ebenen initiiert und durchgeführt wird.

Reaktive Anpassung

Anpassung, die nach der Beobachtung von Auswirkungen der Klimaänderung stattfindet.

Anpassungskapazität (IPCC 2007, AG II)

Anpassungskapazität bezeichnet die Fähigkeit eines Systems, sich auf Klimaänderungen (inklusive Klimaschwankungen und –extremen) einzustellen, um potenzielle Schäden abzuschwächen, Vorteile aus Möglichkeiten zu ziehen oder die Folgen zu bewältigen.

Anpassungskosten (Glossar IPCC 2001)

Die Kosten der Planung, Vorbereitung, Unterstützung und Durchführung von Anpassungsmaßnahmen, inklusive Übergangskosten.

Anpassungsnutzen (Glossar IPCC 2001)

Die vermiedenen Schadenskosten oder die erwachsenen Nutzen als Folge der Einführung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen.

Anpassungsfähigkeit (Glossar IPCC 2001)

Die Fähigkeit eines Systems, sich an Klimaänderungen (inklusive Klimavariabilität und Extreme) anzupassen, um potenzielle Schäden zu mildern, von Nutzen zu profitieren oder die Folgen zu bewältigen (siehe Anpassungskapazität, IPCC 2007).

Oder: Anpassungsfähigkeit (Glossar IPCC 2007)

Die Gesamtheit der Fähigkeiten, Ressourcen und Institutionen eines Landes oder einer Region, um wirksame Anpassungsmaßnahmen umzusetzen.

Anpassungsbeurteilung (IPCC Glossar 2001)

Der Vorgang der Identifikation von Möglichkeiten zur Anpassung an Klimaänderungen und deren Evaluation hinsichtlich Kriterien wie Verfügbarkeit, Nutzen, Kosten, Effektivität, Effizienz und Machbarkeit.

Anpassungskapazität (Fußnote aus der Ausschreibung)

Die Fähigkeit eines Systems, sich auf Klimaänderungen (inklusive Klimaschwankungen und –extremen) einzustellen, um potenzielle Schäden abzuschwächen, Vorteile aus Möglichkeiten zu ziehen oder die Folgen zu bewältigen.

Auswirkungen (klimabezogen) (Glossar IPCC 2001)

Folgen der Klimaänderung auf natürliche und gesellschaftliche Systeme. Abhängig von der Betrachtung der Anpassung kann man zwischen potenziellen und verbleibenden Auswirkungen unterscheiden.

<u>Potenzielle Auswirkungen</u>

Alle Auswirkungen, die bei einer gegebenen projizierten Klimaänderung auftreten können, ohne Anpassungen zu berücksichtigen.

<u>Verbleibende Auswirkungen</u>

Die Auswirkungen der Klimaänderung, die nach einer Anpassung auftreten würden.

(Gesamtwirkung: marktwirtschaftliche Auswirkungen und nicht marktwirtschaftliche Auswirkungen)

Emissionsszenario (Küchler 2005, S. 98)

Eine plausible Darstellung der zukünftigen Entwicklung der Emissionen von Substanzen, die den Strahlungshaushalt der Erde beeinflussen (z.B. Treibhausgase, Aerosole), basierend auf einer Reihe von Annahmen über die treibenden Kräfte (wie demographische und sozioökonomische Entwicklung oder Technologiewandel) und deren Schlüsselbeziehungen. 1992 präsentierte das IPCC eine Reihe von Emissionsszenarien, die als Basis für die Klimaprojektionen im Zweiten Wissensstandsbericht (IPCC 1996) dienten. Diese Emissionsszenarien werden als IS92-Szenarien bezeichnet. Im IPCC Special Report on Emission Scenarios, Februar 2001, werden neue Emissionsszenarien, die so genannten SRES-Szenarien empfohlen.

GCM (Küchler 2005, S. 98)

General Circulation Model: Allgemeines Zirkulationsmodell der Atmosphäre oder des Ozeans.

IPCC (Küchler 2005, S. 98)

Intergovernmental Panel on Climate Change: Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimafragen. Wurde 1988 von der WMO eingerichtet, um über den aktuellen Forschungsstand auf dem Gebiet der Klimaforschung und der Klimafolgenforschung zu berichten. Untergliedert sich in drei Arbeitsgruppen. Arbeitsgruppe I befasst sich mit den naturwissenschaftlichen Aspekten des Klimasystems, Arbeitsgruppe II bewertet die Auswirkungen des Klimawandels für Natur und Gesellschaft und Arbeitsgruppe III konzentriert sich auf mögliche Strategien, die resultierenden Probleme zu lösen. Im Jahr 2001 wurde der dritte Bericht vorgelegt. Er skizziert die in den nächsten Jahrzehnten zu erwartenden Klimaänderungen und deren voraussichtlichen Folgen und bestätigt den inzwischen dominierenden Einfluss des Menschen auf das Klima. Der vierte Bericht ist 2007 erschienen.

Kenntage (Spekat et al. 2007)

Eistag	Maximumtemperatur	≤ 0 °C
Frosttag	Minimumtemperatur	≤ 0 °C
Sommertag	Maximumtemperatur	≥ 25 °C
Heißer Tag	Maximumtemperatur	≥ 30 °C
Tropennacht	Minimumtemperatur	≥ 20 °C

Klima (IPCC Glossar 2001)

Klima im engen Sinn ist normalerweise definiert als das „Durchschnittswetter“, oder genauer als die statistische Beschreibung des Wetters in Form von Durchschnittswerten und der Variabilität relevanter Größen über eine Zeitspanne im Bereich von Monaten bis Tausenden von Jahren. Der klassische, von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) definierte Zeitraum sind 30 Jahre. Diese Größen sind meistens Oberflächenvariablen, wie **Temperatur**, **Niederschlag** und **Wind**. Klima im weiteren Sinn ist der Zustand des Klimasystems, einschließlich einer statistischen Beschreibung.

Klimaänderung (Fußnote aus der Ausschreibung)

Klimaänderung bezieht sich auf jene Änderung des Klimas im Verlauf der Zeit, sei dies aufgrund natürlicher Schwankungen oder menschlicher Aktivitäten. (Im Unterschied zur Definition in der Klimarahmenkonvention der UN).

Oder Klimaänderung (Glossar IPCC 2001)

Klimaänderung bezieht sich auf jede Änderung des Klimas im Verlauf der Zeit, sei dies aufgrund von natürlichen Schwankungen oder menschlichen Aktivitäten. Dieser Gebrauch unterscheidet sich von demjenigen des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC), das „Klimaänderungen“ definiert als „Änderungen des Klimas, die unmittelbar oder mittelbar auf menschliche Tätigkeiten zurückzuführen sind, welche die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändern, und die zu den über vergleichbare Zeiträume beobachteten natürlichen Klimaschwankungen hinzukommen.“

Oder Klimaänderung (Glossar IPCC 2007 Annex)

Klimaänderung bezieht sich auf jede Änderung des Klimas im Verlauf der Zeit, die aufgrund einer Änderung im Mittelwert oder im Schwankungsbereich seiner Eigenschaften identifiziert werden kann (z.B. mit Hilfe von statistischen Tests), und die über eine längere Periode von typischerweise Jahrzehnten oder noch länger andauert. Klimaänderung kann durch interne natürliche Schwankungen oder durch äußeren Antrieb oder durch andauernde anthropogene Veränderungen in der Zusammensetzung der Atmosphäre oder der Landnutzung zustande kommen. Es ist zu beachten, dass das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) im Artikel 1 Klimaänderungen definiert als „Änderungen des Klimas, die unmittelbar oder mittelbar auf menschliche Tätigkeit zurückzuführen sind, welche die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändern, und die zu den über vergleichbare Zeiträume beobachteten natürlichen Klimaschwankungen hinzukommen.“ Das UNFCCC unterscheidet also zwischen Klimaänderung verursacht durch die Veränderung der Zusammensetzung der Atmosphäre aufgrund menschlicher Aktivitäten und Klimavariabilität aufgrund natürlicher Ursachen.

Klimaänderung, Klimawandel (Glossar CEDIM 2005)

Bezeichnet eine statisch signifikante Variation entweder des mittleren Klimas oder seiner Variabilität, die über eine längere Periode (typischerweise Dekaden oder länger) anhält. Klimawandel kann auf natürliche interne Prozesse oder auf äußere Antriebskräfte oder auf anhaltende (persistente) anthropogene Veränderungen der Zusammensetzung der Atmosphäre oder der Landnutzung zurückgeführt werden (IPCC, 2001).

Übrigens legte die UN-Rahmenkonvention zum Klimawandel 1999 fest: „Klimawandel“ bezeichnet einen Wandel des Klimas, der direkt oder indirekt auf menschliche Aktivitäten zurückgeführt werden kann, die die Zusammensetzung der globalen Atmosphäre verändern, und der zusätzlich zur natürlichen Klimavariabilität in vergleichbaren Zeiträumen beobachtet werden kann.

Mitigation

Mitigation ~ Abschwächung

No-regret (verändert nach Stemplewski 2008, verändert nach Roth 2008)

No-regret Ansätze beschreiben effektive und kostengünstige Maßnahmen, die langfristig wirken und an sich verändernde Bedingungen anpassbar sind, so dass ihre Durchführung bei unvorhergesehenen Bedingungen in der Zukunft nicht bedauert werden muss.

Nutzwertanalyse (Wikipedia)

Nutzwertanalyse (NWA) als eine „*Analyse* einer *Menge* komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung der Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte (Gesamtwerte) der Alternativen.

Öffentliche Wasserversorgung (www.wasser-lexikon.de)

Die öffentliche Wasserversorgung, ein Teil der Wasserwirtschaft, fällt unter den Begriff der Daseinsvorsorge und ist kommunale Pflichtaufgabe. Gegenstück ist eine (meist private) Eigen- bzw. Einzeltrinkwasserversorgung. Aufgabe der öffentlichen Wasserversorgungsunternehmen (Stadtwerke, Gemeindewerke, Zweckverbände) ist die Sicherstellung von für menschlichen Genuss und Gebrauch geeignetem Wasser (Trinkwasser) in der durch die Trinkwasserverordnung vorgeschriebenen Qualität, in ausreichender Menge und mit dem notwendigen Druck. Dabei sind die örtlichen Wasservorkommen zu sichern (Grundwasserschutz).

Sensitivität (Fußnote aus der Ausschreibung)

Sensitivität bezeichnet den Grad, zu dem ein System – sowohl negativ als auch positiv – durch klimabezogene Impulse beeinflusst werden kann. Dies können direkte (z.B. Veränderung des Ernteertrags als Reaktion auf eine veränderte mittlere Temperatur, de Temperaturspanne oder Variabilität der Temperatur) oder indirekte (z.B. Schäden durch häufigere Überschwemmungen im Küstenbereich aufgrund des Meeresspiegelanstiegs) Effekte sein.

SRES-Szenarien (Stock 2005, PIK Report No. 99)

Die früheren IPCC-Berichten zugrundeliegenden Szenarien wurden ab 1996 gründlich überarbeitet. Das Ergebnis sind 40 neue sogenannte SRES-Szenarien (nach: Second Report on Emission Szenarios), die die möglichen Entwicklungen im 21. Jahrhundert in den Bereichen Bevölkerungswachstum, ökonomische und soziale Entwicklung, technologische Veränderungen, Ressourcen-Verbrauch und Umweltmanagement differenzierter als bisher berücksichtigen.

Unsicherheit (Glossar IPCC 2007 Anex)

Ein Ausdruck für das Ausmaß, in dem ein Wert ungewiss ist (z.B. der zukünftige Zustand des Klimasystems). Unsicherheit entsteht durch einen Mangel an Information oder durch Meinungsverschiedenheiten darüber, was bekannt ist oder überhaupt bekannt sein kann. Unsicherheit kann viele Quellen haben, von bezifferbaren Fehlern in Daten bis hin zu mehrdeutig formulierten Konzepten und Terminologien oder unsicheren Projektionen über menschliches Verhalten. Unsicherheit kann deshalb entweder quantitativ angegeben werden, z.B. durch eine Auswahl von berechneten Werten aus verschiedenen Modellen, oder durch qualitative Aussagen, die das Urteil eines Expertenteams wiedergeben.

Vulnerabilität (Glossar KomPass 2008)

Besondere Empfindlichkeit von zivilisatorischen Strukturen, Systemen und Institutionen gegenüber Auswirkungen des Klimawandels. Die Vulnerabilität wird durch die Gesamtheit der Indikatoren der Klimawirkungen bestimmt, mit denen **spezifische klimatische Belastungen**, damit verbundene **potenzielle Auswirkungen** sowie deren **Verminderung durch** das **nutzbare Anpassungspotenzial** beschrieben werden.

Oder Vulnerabilität (Fußnote aus der Ausschreibung)

Verwundbarkeit (Vulnerabilität, Anfälligkeit) bezeichnet das Maß, bis zu dem ein System anfällig für nachteilige Auswirkungen der Klimaänderungen ist oder unfähig, diese zu bewältigen, inklusive Klimavariabilität und Extremereignisse; d.h. die Verwundbarkeit ist abhängig von der Anfälligkeit und Anpassungskapazität des Systems sowie von der Art Größe und Rate der Klimavariation.

Oder Vulnerabilität (Glossar CEDIM 2005)

Anfälligkeit eines Systems (Bauwerk, Anlage, Land oder Staat, Unternehmen usw.) gegen äußere schädliche Einwirkungen. Katastrophenanfälligkeit setzt sich aus unterschiedlichen und sich oft wechselseitig bedingenden Faktoren zusammen. Die Einflussfaktoren können technischer, sozialer, ökonomischer und ökologischer Natur sein. Bei hoher Anfälligkeit ist die Widerstandskraft gegenüber den negativen Auswirkungen von extremen Ereignissen und deren Bewältigung unzureichend. Positive Faktoren, die die Fähigkeit der Menschen und der Gesellschaft, in der sie leben, Gefahren effektiv zu bewältigen, erhöhen und ihre Anfälligkeit reduzieren können, werden oft als Kapazitäten bezeichnet. Im Rahmen von Vulnerabilitäts-, Schadens- oder Risikoabschätzungen bezeichnet die Verletzbarkeit V oft den Verlustgrad ($0 \leq V \leq 1$) infolge eines Naturphänomens; 0: keine Schäden, 1: Totalschaden bzw. –verlust.

Verletzbarkeitsbewertung (Glossar CEDIM 2005)

Gewichtung aller katastrophenanfälligen Faktoren nach Schadensgröße und Wahrscheinlichkeit, voraussichtlichen Verlusten auf der Basis von Daten zur Katastrophenanfälligkeit.

Wassernutzungen (UBA 2004)

Wassernutzungen sind alle Handlungen und Aktivitäten, die signifikante Auswirkungen auf den Gewässerzustand haben. Als Hauptnutzergruppen sind dabei Industrie, Haushalte und Kleingewerbe zu sehen.

WMO (Küchler 2005, S. 98)

World Meteorological Organization: Organisation der Vereinten Nationen, die die weltweit meteorologische Zusammenarbeit organisiert. 1950 gegründet.

9 Anhang

9.1 Klimatische Wasserbilanzkarten

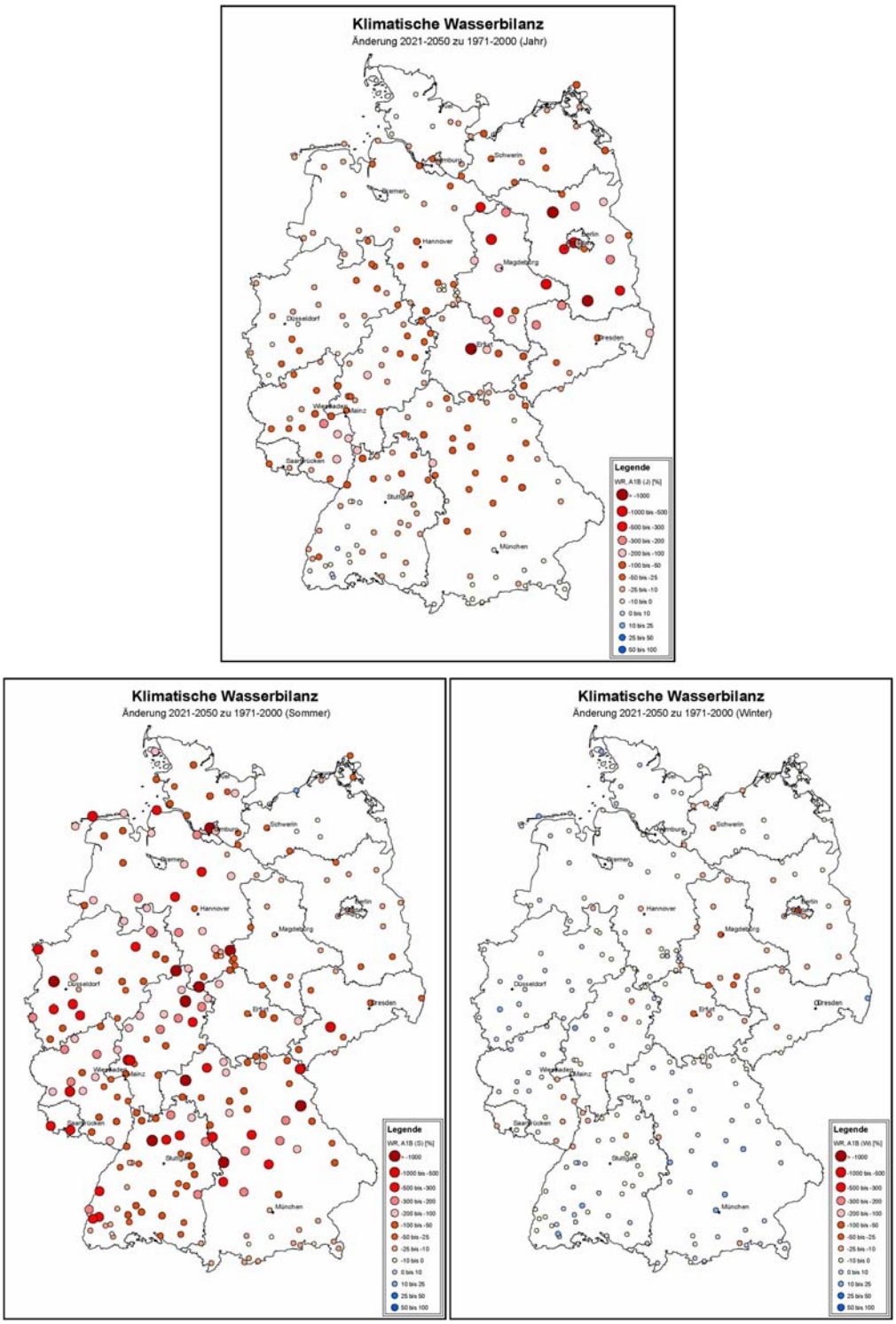


Abbildung 84: Änderung der klimatischen Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2021-2050 zu 1971-2000, WETTREG, A1B zu C20 [%]

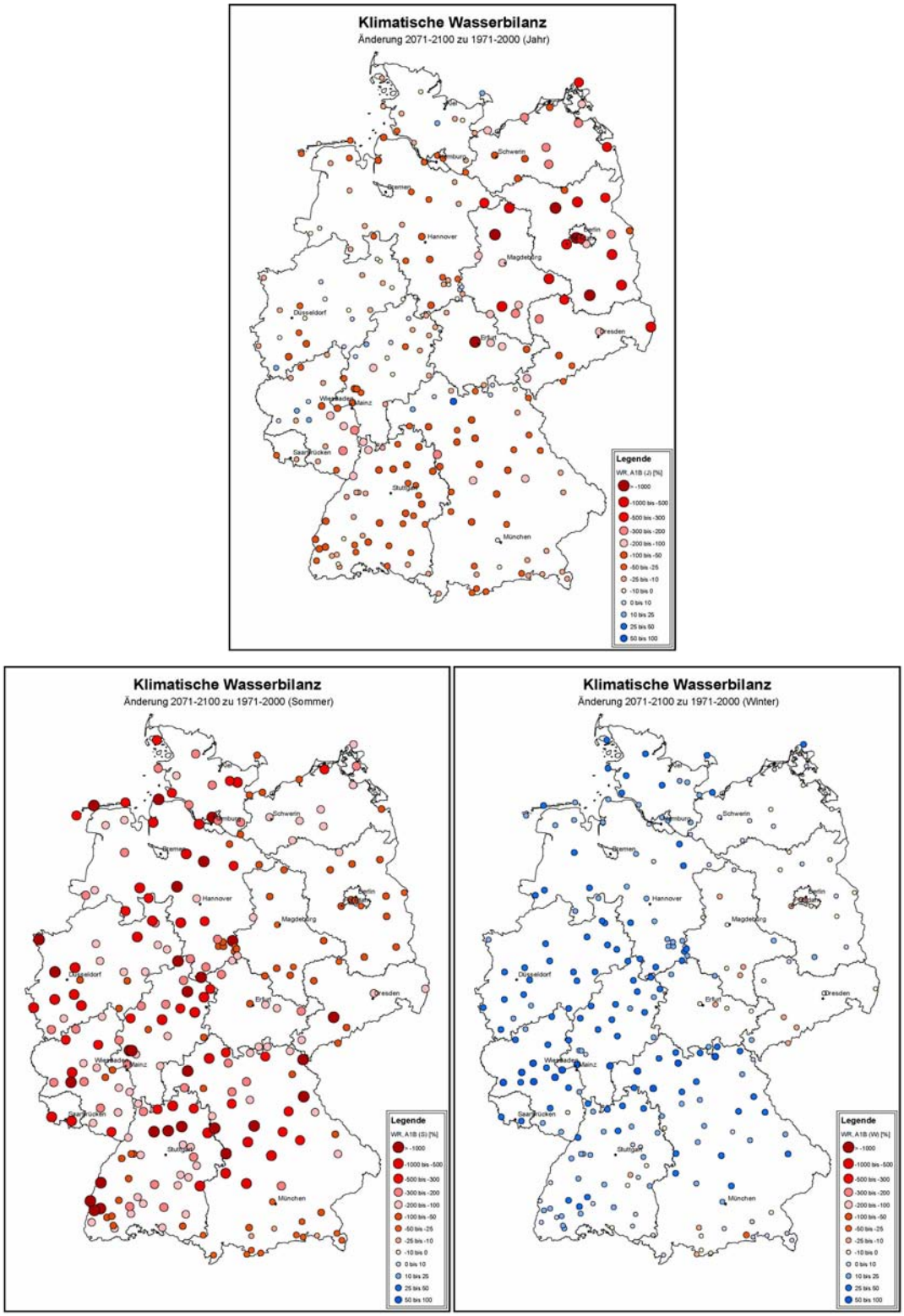


Abbildung 85: Änderung der klimatischen Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2071-2100 zu 1971-2000, WETTREG, A1B zu C20 [%]

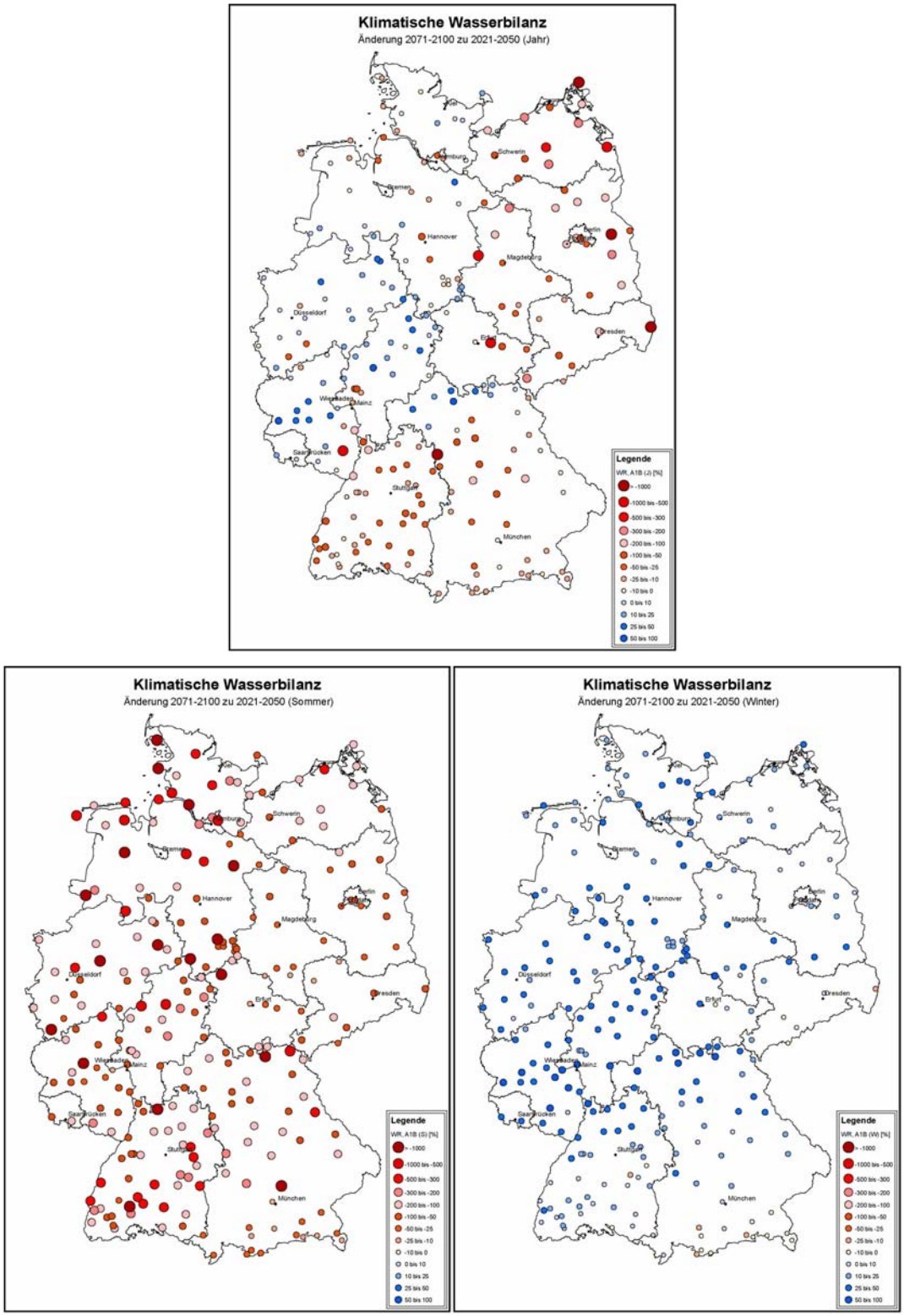


Abbildung 86: Änderung der klimatischen Wasserbilanz (Jahr, Sommer, Winter), 2071-2100 zu 2021-2050, WETTREG, A1B [%]

9.2 Modellsimulationen für die Testgebiete

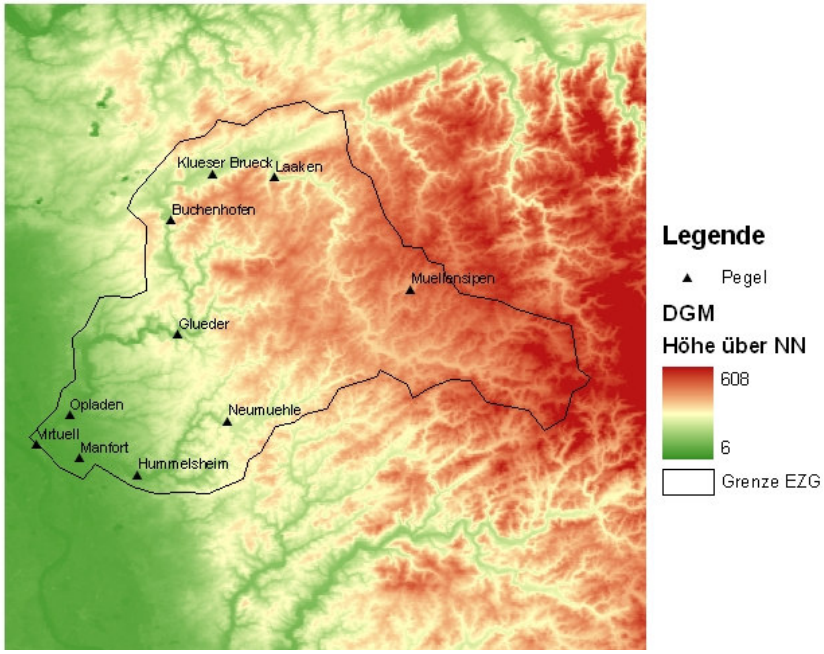


Abbildung 87: SRTM-3 DHM-Daten (Digitales Höhenmodell) des Wuppergebietes, Auflösung 500x500 m, schwarze Dreiecke: Abflusspegel

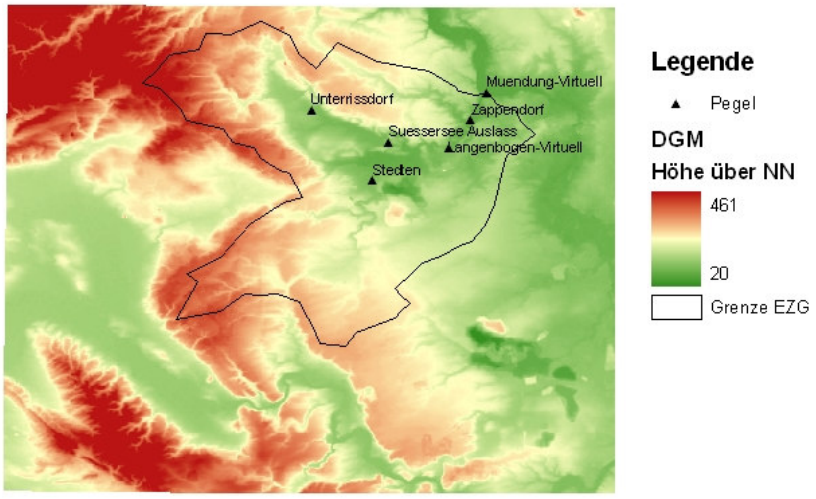


Abbildung 88: SRTM-3 DHM-Daten (Digitales Höhenmodell) des Salzagebietes, Auflösung 500x500 m, schwarze Dreiecke: Abflusspegel

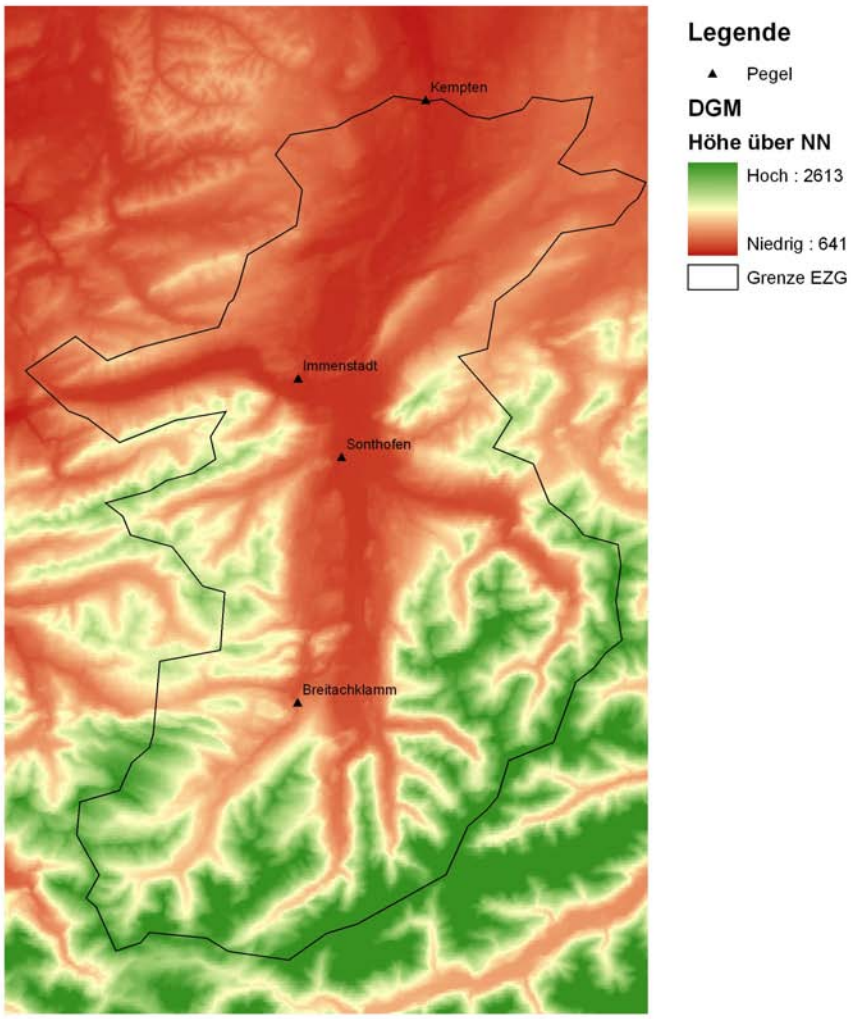


Abbildung 89: SRTM-3 DHM-Daten (Digitales Höhenmodell) des oberen Illergebietes, Auflösung 500x500 m, schwarze Dreiecke: Abflusspegel

Tabelle 35: WaSiM-ETH TOPMODEL Modellkomponenten und implementierte Ansätze (Version 7.10.3)

Modellkomponente	Verwendeter Ansatz
Niederschlagskorrektur	temperatur- und windabhängige Korrektur (Sevruk 1986); Korrektur erfolgt getrennt für Regen und Schnee
Interpolation der meteorologischen Eingangsdaten	(1) inverse distanzgewichtete Interpolation (IDW) (2) höhenabhängige Regression (3) Kombination aus (1) und (2) (4) Interpolation nach Thiessen-Polygon (5) bilineare Interpolation (6) bilineare Interpolation der Gradienten und Residuen (7) bikubische Spline-Interpolation (8) bikubische Spline-Interpolation der Gradienten und Residuen
Abschattungs-, Hangneigungs- und Expositionskorrektur für Strahlung und Temperatur	Oke (1987)
Evapotranspiration	(1) Penman-Monteith (Monteith und Unsworth 1990), hier auch mit Berücksichtigung von komplexen, mehrschichtigen Vegetationsstrukturen (2) Wendling (1975) (3) Hamon (1961) (4) Haude (1955)
Vegetationsentwicklung (Phänologie)	(1) statische Berechnung anhand vorgegebener saisonaler Entwicklungskurven (2) dynamische Berechnung nach Ansätzen aus Chmielewski et al. (2007): (a) ‚Thermal Time Model' für Wald (DP1) (b) ‚Sequential Model' für Wald (DP2) (c) ‚Thermal Time Model' für Ackerkulturen und Grasland (DP3)
Schneeakkumulation und Schneeschmelze	(1) (klassische) Temperatur-Index-Methode (2) Temperatur-Wind-Index-Methode (Braun 1985) (3) einfache Energiebilanz-Methode (Anderson 1973)
Gletscherschmelze und –abfluss	(1) (klassische) Temperatur-Index-Methode (2) Hock (1999)
Interzeption	einfaches Überlaufmodell
Bodenwasserdynamik	Infiltration nach Green und Ampt (1911) mit Erweiterung nach Peschke (1977, 1987); Um Kapillaraufstieg bzw. Ausgleich von Verdunstungsverlusten aus dem Grundwasser und Interflow erweiterter TOPMODEL-Ansatz nach Beven und Kirbky (1979)
Grundwasserdynamik	Finite Elemente Methode; iterative Lösung der Strömungs- und Transportgleichung; Berücksichtigung geschichteter Grundwasserleiter
Stofftransport	Berücksichtigung von radioaktiven und nichtradioaktiven Tracern; Berechnung von (Mischungs-)Konzentrationen in allen Teilmodellen
Abflusskonzentration	ELS-Kaskade mit Berücksichtigung von Translationszeiten
Abflussrouting	kinematischer Wellenansatz (Lighthill und Witham 1955)
Online-Datenaustausch mit externen Modellen	Variabler Datenaustausch mit Hilfe von Synchronisationsdateien; physikalisch korrekte Übernahme und Übergabe von Daten; Mitführung eines Bilanzengrids

Tabelle 36: Codierung der Landnutzungskarte für die Anwendung in WaSiM-ETH

Code	Bezeichnung	Bemerkungen
1	versiegelt_100%	
2	versiegelt_50%	
3	Gletscher	
4	Wasserfläche	
10	Obstbäume	Parametrisierung Apfelbaum (häufigste Sorte)
20	Nadelwald	Fichte, Kiefer je nach örtlichen Verhältnissen
21	Nadelwald_30%	
30	Laubwald	Buche, Eiche je nach örtlichen Verhältnissen
31	Laubschicht_30%	
40	Strauchschicht_50%	
41	Heide	
50	Gras_50%	
51	Gras_100%	
52	Krautschicht_30%	
53	Krautschicht_50%	
54	Grünland_Weide	
55	Wiese_natürlich	
56	Feuchtgrünland	
57	Sumpf_Moor	
58	Salzwiese	
60	Ackerland	Winterweizen

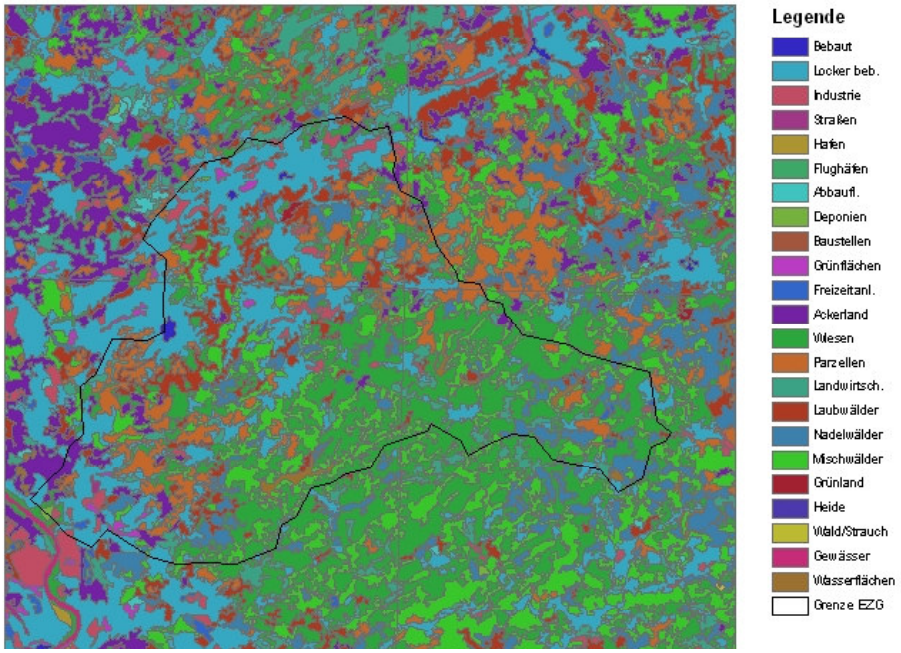


Abbildung 90: Landnutzung nach CORINE Landcover 2000 im Einzugsgebiet der Wupper

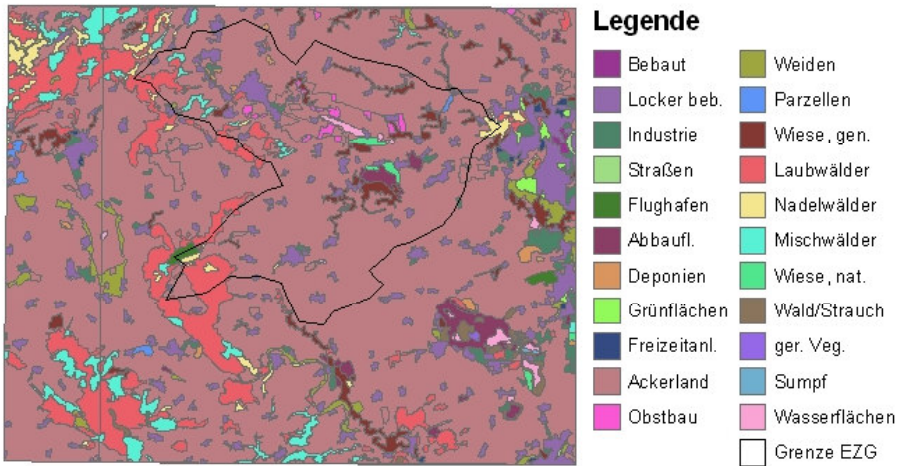


Abbildung 91: Landnutzung nach CORINE Landcover 2000 im Einzugsgebiet der Salza

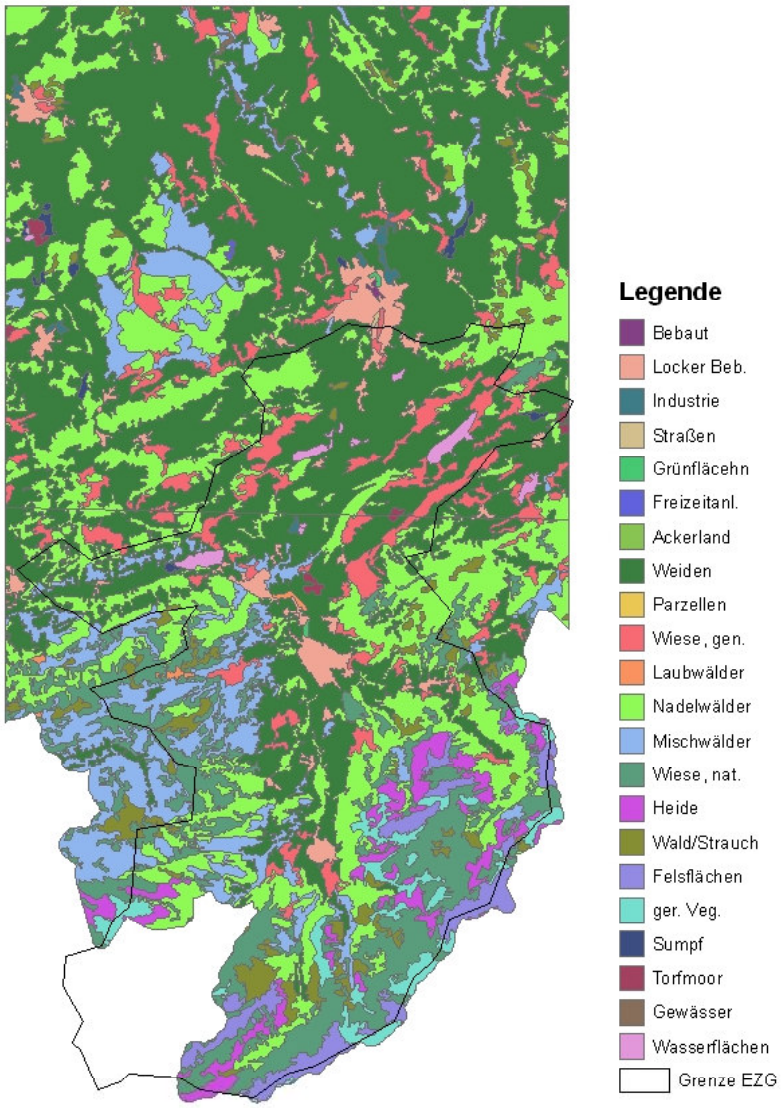


Abbildung 92: Landnutzung nach CORINE Landcover 2000 im Einzugsgebiet der oberen Iller, weise Fläche Staatsgebiet Österreich.

Tabelle 37: Bodenhydraulische Parameter für die 72 Leitbodenassoziationen der BÜK1000 (FC: nutzbare Feldkapzität, mSB: max. nutzbarer Bodenwassergehalt, ksat: ges. Hydraul. Leitfähigkeit, suction: Saugspannung an Feuchtefront)

LBA	KA5	FC(Vol.%)	mSB(Vol.%)	ksat(m/s)	suction	LBA	KA5	FC(Vol.%)	mSB(Vol.%)	ksat(m/s)	suction
1	Ss	11.00	39.00	3.935E-05	390	37	Ls2	34.00	25.40	2.662E-06	254
2	Lt2	36.00	21.00	1.505E-06	210	38	Ut3	37.00	32.50	1.389E-06	325
3	Lt2	36.00	21.00	1.505E-06	210	39	Uls	35.00	30.00	2.315E-06	300
4	Tu2	42.00	17.40	3.472E-07	174	40	Ut2	37.00	34.70	1.389E-06	347
5	Ut4	37.00	28.20	1.505E-06	282	41	Ls3	33.00	25.30	2.662E-06	253
6	H	47.31	75.00	8.250E-05	750	42	Uu	38.00	34.20	1.505E-06	342
7	H	47.31	75.00	8.250E-05	750	43	Ls2	34.00	25.40	2.662E-06	254
8	Lts	37.00	20.70	1.157E-06	207	44	Sl3(G3)	22.28	27.22	6.207E-06	272
9	Tu2	42.00	17.40	3.472E-07	174	45	Sl3	27.00	33.00	7.523E-06	330
10	Sl4	30.00	30.00	4.861E-06	300	46	Us	35.00	34.00	2.546E-06	340
11	Ls3	33.00	25.30	2.662E-06	253	47	Slu(G3)	27.23	25.91	2.674E-06	259
12	Ss	11.00	39.00	3.935E-05	390	48	Uu	38.00	34.20	1.505E-06	342
13	Sl4	30.00	30.00	4.861E-06	300	49	Lts	37.00	20.70	1.157E-06	207
14	Slu	33.00	31.40	3.241E-06	314	50	Tl	41.00	17.80	6.944E-07	178
15	Sl3	27.00	33.00	7.523E-06	330	51	Lts	37.00	20.70	1.157E-06	207
16	Su2	23.00	42.50	1.470E-05	425	52	Uu	38.00	34.20	1.505E-06	342
17	Ss	11.00	39.00	3.935E-05	390	53	Ls3(G4)	20.63	15.81	1.664E-06	158
18	Ls3	33.00	25.30	2.662E-06	253	54	Sl4(G3)	24.75	24.75	4.010E-06	247
19	Slu	33.00	31.40	3.241E-06	314	55	Sl4(G3)	24.75	24.75	4.010E-06	247
20	Uls	35.00	30.00	2.315E-06	300	56	Sl4(G3)	24.75	24.75	4.010E-06	247
21	Sl3	27.00	33.00	7.523E-06	330	57	Sl3(G3)	22.28	27.22	6.207E-06	272
22	Sl2	25.00	36.00	1.134E-05	360	58	Ls3(G3)	27.23	20.87	2.196E-06	209
23	Sl4	30.00	30.00	4.861E-06	300	59	Slu(G2)	31.02	29.52	3.046E-06	295
24	Lts	37.00	20.70	1.157E-06	207	60	Ls3(G3)	27.23	20.87	2.196E-06	209
25	Ls3	33.00	25.30	2.662E-06	253	61	Sl3	27.00	33.00	7.523E-06	330
26	Sl3	27.00	33.00	7.523E-06	330	62	Ss(G3)	9.08	32.18	3.247E-05	322
27	Sl3	27.00	33.00	7.523E-06	330	63	Sl2	25.00	36.00	1.134E-05	360
28	Ls3	33.00	25.30	2.662E-06	253	64	Ls2(G3)	28.05	20.96	2.196E-06	210
29	Sl2	25.00	36.00	1.134E-05	360	65	Slu(G2)	31.02	29.52	3.046E-06	295
30	Sl4(G3)	24.75	24.75	4.010E-06	247	66	Sl3	27.00	33.00	7.523E-06	330
31	Ss	11.00	39.00	3.935E-05	390	67	Tl	41.00	17.80	6.944E-07	178
32	Ss	11.00	39.00	3.935E-05	390	68	Ls3(G3)	27.23	20.87	2.196E-06	209
33	Ss	11.00	39.00	3.935E-05	390	69	Rb	14.00	15.00	5.560E-08	150
34	Ss	11.00	39.00	3.935E-05	390	70	VF	25.00	36.00	8.912E-08	360
35	Uu	38.00	34.20	1.505E-06	342	71	TB	25.00	36.00	8.912E-08	360
36	Ls2	34.00	25.40	2.662E-06	254	72	Gw	25.00	36.00	8.912E-08	360

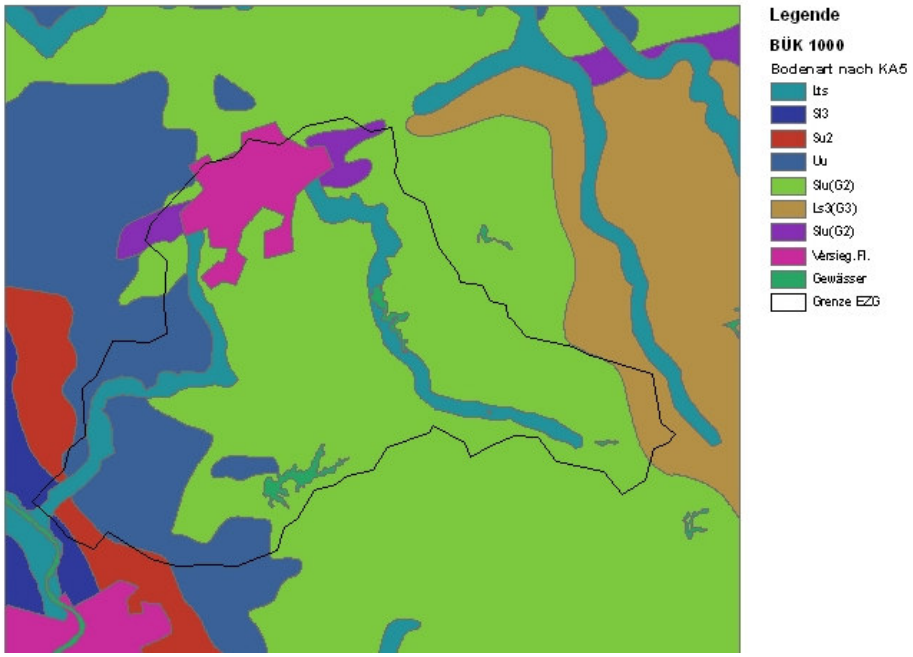


Abbildung 93: Leitbodenassoziationen (LBA) nach BÜK 1000 im Einzugsgebiet der Wupper

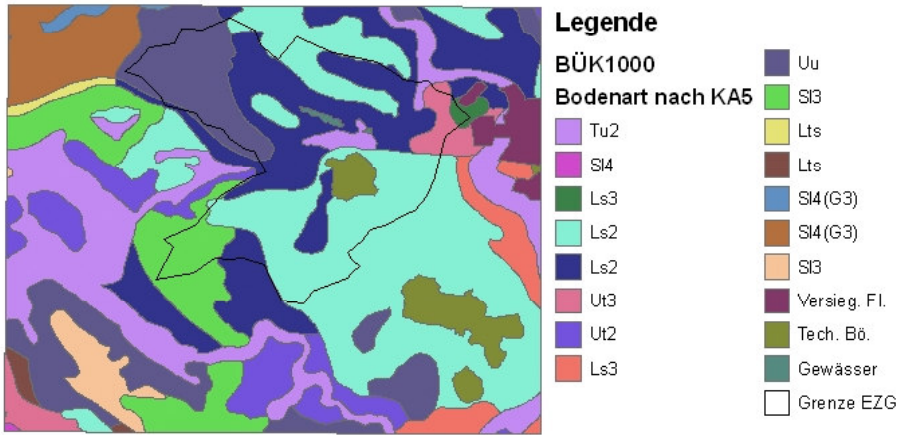


Abbildung 94: Leitbodenassoziationen (LBA) nach BÜK 1000 im Einzugsgebiet der Salza

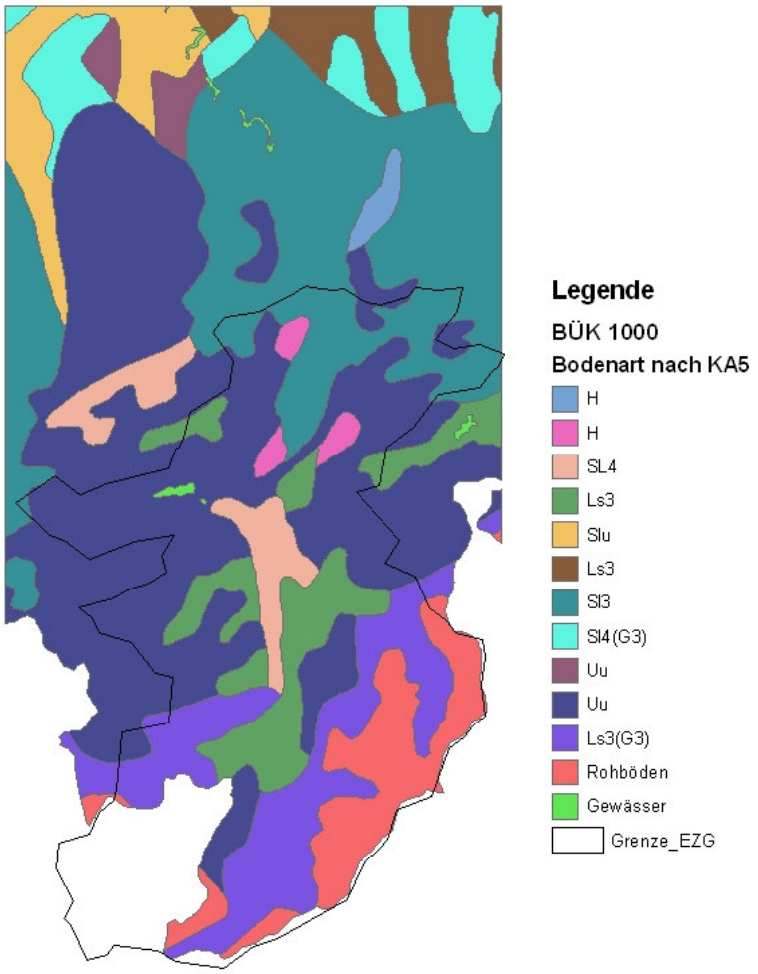


Abbildung 95: Leitbodenassoziationen (LBA) nach BÜK 1000 im Einzugsgebiet der oberen Iller, weise Fläche Staatsgebiet Österreich

9.3 WASKlim-EUS

9.3.1 Wupper

Entscheidungsunterstützungssystem - WASKlim-EUS

Entwicklung von wasserwirtschaftlichen Anpassungskonzepten an den Klimawandel - EZG Wupper

Zustandsbewertung - Wasserdargebot (ohne Maßnahmen)

Wasserdargebot Bewertung		Energieerzeuger Wasserkraftanlagen Änderung [%]	Energieerzeuger Kühlwasserentnahme/-einleitu Änderung [%]	Wasserversorgung Trinkwasser aus Talsperren Änderung [%]	Wasserversorgung Brauchwasser aus Talsperre Änderung [%]	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein Änderung [%]	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä Änderung [%]	Gewässerzustand Fischerei Oberlauf Änderung [%]	Talsperren Konkurrenz Nutzungskonkurenz HWS-T Änderung [%]
1971-2000 (heute)		100 0,00	100 0,00	100 0,00	100 0,00	100 0,00	100 0,00	100 0,00	100 0,00
MHQ (J)	-3	Bew. Bew.	Bew. Bew.	120 Bew. Bew.	Bew. Bew.	0 50 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	120 Bew. Bew.
	-2			0,57 0,76		50 70 0,00 0,00			0,57 0,76
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	70 90 Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
81,5 bis 110,2	0			100 0,30 0,30		90 110 0,20 0,20			100 0,17 0,17
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	110 120 Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2			0,17 0,23		120 130 0,00 0,00			0,10 0,13
2021-50 / 2071-2100: 96,2 95,0	3			80		130			80
MHQ (S)	-3	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	120 Bew. Bew.
	-2								0,27 2,81
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
74,3 bis 125,1	0								100 0,17 0,17
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2								0,05 0,47
2021-50 / 2071-2100: 98,2 74,9	3								80
MHQ (W)	-3	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	120 Bew. Bew.
	-2								0,25 0,17
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
78,9 bis 117,3	0								100 0,17 0,17
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2								0,04 0,03
2021-50 / 2071-2100: 98,3 98,9	3								80
MQ (J)	-3	70 Bew. Bew.	Bew. Bew.	60 Bew. Bew.	10 Bew. Bew.	70 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2	-0,07 -0,18		-0,05 -0,14	-0,07 -0,18	-0,07 -0,18			
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	80 90 Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
76,2 bis 122,3	0	100 0,20 0,20		100 0,15 0,15	100 1,00 1,00	100 0,15 0,15			
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2	-0,01 -0,04		-0,01 -0,02	-0,07 -0,18	-0,01 -0,03			
2021-50 / 2071-2100: 99,3 98,2	3	130		140	130	140			
MQ (S)	-3	90 Bew. Bew.	85 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2	-2,93 -3,00	-1,95 -3,00						
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
57,0 bis 132,7	0	100 0,40 0,40	100 0,20 0,20						
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2	-1,17 -1,20	-0,39 -0,60						
2021-50 / 2071-2100: 90,2 83,2	3	110	130						
MQ (W)	-3	60 Bew. Bew.	85 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2	0,28 0,41	0,37 0,55						
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
87,5 bis 122,8	0	100 0,10 0,10	100 0,20 0,20						
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2	0,03 0,04	0,07 0,11						
2021-50 / 2071-2100: 103,7 105,5	3	140	130						
MNQ (J)	-3	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	73 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2					73 81 0,00 1,00			
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	81 90 Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
47,7 bis 126,3	0					90 120 0,10 0,10			
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	120 150 Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2					150 200 0,00 0,10			
2021-50 / 2071-2100: 117,8 121,5	3					200			
MNQ (S)	-3	50 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	73 Bew. Bew.	60 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2	0,65 1,12				73 81 0,00 0,00	0,81 1,40		
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	81 90 Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
48,6 bis 121,3	0	100 0,15 0,15				90 120 0,05 0,05	100 0,40 0,40		
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	120 150 Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2	0,10 0,17				150 200 0,00 0,00	0,33 0,56		
2021-50 / 2071-2100: 110,8 118,6	3	150				200	140		
MNQ (W)	-3	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	50 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2						0,12 1,94		
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
93,0 bis 168,4	0						100 0,10 0,10		
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2						0,01 0,19		
2021-50 / 2071-2100: 101,2 119,4	3						130		
HHQ (J)	-3	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	120 Bew. Bew.
	-2								0,45 0,21
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
81,4 bis 162,2	0								100 0,50 0,50
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2								0,22 0,10
2021-50 / 2071-2100: 97,0 98,6	3								80
NNQ (J)	-3	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	50 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2					50 70 3,00 3,00			
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	70 90 Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
53,9 bis 370,2	0					90 120 0,10 0,10			
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	120 150 Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2					150 200 0,30 0,30			
2021-50 / 2071-2100: 335,5 370,2	3					200			
UZ ND (S) < MNQ	-3	50 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	300 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2	-2,76 -3,00					1,38 2,19		
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
22,2 bis 522,8	0	100 0,15 0,15					100 0,20 0,20		
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2	-0,41 -0,45					0,28 0,44		
2021-50 / 2071-2100: 54,0 27,0	3	150					0		
UZ ND (W) < MNQ	-3	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	300 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2	0,00 0,00	0,00 0,00	0,00 0,00	0,00 0,00	0,00 0,00	3,00 3,00	0,00 0,00	0,00 0,00
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
0,0 bis 325,0	0						100 0,10 0,10		
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2						0,30 0,30		
2021-50 / 2071-2100: 0,0 0,0	3						0		
GWN (J)	-3	Bew. Bew.	90 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	70 Bew. Bew.	60 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2		1,70 1,77				1,14 1,18	0,85 0,88	
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
85,5 bis 120,9	0		100 0,10 0,10			100 0,20 0,20	100 0,20 0,20		
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.			Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2		0,17 0,18				0,23 0,24	0,17 0,18	
2021-50 / 2071-2100: 111,4 111,8	3		120			130	140		
L-Temp (S)	-3	Bew. Bew.	Bew. Bew.	107 Bew. Bew.	Bew. Bew.	75 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2			-3,00 -3,00		75 85 1,00 2,00			
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	85 95 Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
102,4 bis 121,4	0			100 0,25 0,25		95 105 0,10 0,10			
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	105 115 Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2			-0,75 -0,75		115 125 0,10 0,20			
2021-50 / 2071-2100: 110,8 119,7	3			93		125			
L-Temp (W)	-3	Bew. Bew.	Bew. Bew.	122 Bew. Bew.	Bew. Bew.	75 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2			-3,00 -3,00		75 85 3,00 3,00			
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	85 95 Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
111,6 bis 175,3	0			100 0,30 0,30		95 105 0,10 0,10			
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	105 115 Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2			-0,90 -0,90		115 125 0,30 0,30			
2021-50 / 2071-2100: 132,0 175,3	3			78		125			
W-Temp (S) Mittellauf	-3	Bew. Bew.	105 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	116,7 111,9 Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2		-3,00 -3,00					-2,72 -3,00	
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
102,4 bis 121,4	0		100 0,25 0,25					100 0,50 0,50	
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2		-0,75 -0,75					-1,36 -1,50	
2021-50 / 2071-2100: 110,8 119,7	3		95					86	
W-Temp (W) Mittellauf	-3	Bew. Bew.	111 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	116,7 105,6 Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2		-3,00 -3,00					-3,00 -3,00	
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
111,6 bis 175,3	0		100 0,25 0,25					100 0,50 0,50	
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Klimaszenario:	2		-0,75 -0,75					-1,50 -1,50	
2021-50 / 2071-2100: 132,0 175,3	3		89					89	
Kontrolle Gewichtung:		1,00 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00

Abbildung 96: Bewertung Wasserdargebot Wupper

Zustandsbewertung - Wasserbedarf (ohne Maßnahmen)

Wasserbedarf Bewertung		Energieerzeuger Wasserkraftanlagen Änderung [%]	Energieerzeuger Kühlwassentnahme/-einleitu Änderung [%]	Wasserversorgung Trinkwasser aus Talsperren Änderung [%]	Wasserversorgung Brauchwasser aus Talsperr Änderung [%]	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein Änderung [%]	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä Änderung [%]	Gewässerzustand Fischerei Änderung [%]	Talsperren Konkurrenz Nutzungskonkurenz HWS-T Änderung [%]
heute		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bevöl.Entw.	-3	Bew. Bew.	120 Bew. Bew.	110 Bew. Bew.	110 Bew. Bew.	Bew. Bew.	110 Bew. Bew.	Bew. Bew.	120 Bew. Bew.
	-2		1,74 1,74	2,95 2,95	2,95 2,95		0,70 0,70		1,74 1,74
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
0,0 bis 0,0	0		100 0,10 0,10	100 0,30 0,30	100 0,80 0,80		100 0,45 0,45		100 0,50 0,50
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
	2		0,17 0,17	0,88 0,88	2,36 2,36		0,32 0,32		0,87 0,87
2021-50 / 2071-2100: 88,4 88,4	3		80	90	90		50		80
L-Temp (S)	-3	Bew. Bew.	103 Bew. Bew.	107 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	130 120 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2		-3,00 -3,00	-3,00 -3,00			-1,62 -2,96		
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
102,4 bis 121,4	0		100 0,30 0,30	100 0,10 0,10			100 0,09 0,09		
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
	2		-0,90 -0,90	-0,30 -0,30			-0,15 -0,27		
2021-50 / 2071-2100: 110,8 119,7	3		97	93			80		
L-Temp (W)	-3	Bew. Bew.	111 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2		-3,00 -3,00						
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
111,6 bis 175,3	0		100 0,30 0,30						
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
	2		-0,90 -0,90						
2021-50 / 2071-2100: 132,0 175,3	3		89						
Ökon.Strukturv.		Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
- Energieversorgung		0,00	-3,00 -3,00	2,00 2,00	2,00 2,00	0,00	1,00 1,00	0,00	2,00 2,00
- ...		Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
			0,30 0,30	0,60 0,60	0,20 0,20		0,45 0,45		0,50 0,50
		Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Punktbewertung:			-0,90 -0,90	1,20 1,20	0,40 0,40		0,45 0,45		1,00 1,00
2021-50 / 2071-2100:									
Kontrolle Gewichtung:		0,00 0,00	1,00 1,00	1,00 1,00	1,00 1,00	0,00 0,00	1,00 1,00	0,00 0,00	1,00 1,00

Bewertung: +3 (es wird **weniger** Wasser benötigt als heute vorhanden), +2, +1, 0 (zufriedenstellend), -1, -2, -3 (es wird **mehr** Wasser benötigt als heute vorhanden)

Wasserbedarf Auswertung	Energieerzeuger Wasserkraftanlagen	Energieerzeuger Kühlwassentnahme/-einleitu	Wasserversorgung Trinkwasser aus Talsperren	Wasserversorgung Brauchwasser aus Talsperr	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä	Gewässerzustand Fischerei	Talsperren Konkurrenz Nutzungskonkurenz HWS-T
Bedarf Heute:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bedarf 2021-2050:	0,0	-2,5	1,8	2,8	0,0	0,6	0,0	1,9
Bedarf 2071-2100:	0,0	-2,5	1,8	2,8	0,0	0,5	0,0	1,9

Ergebnisbandbreite: +3 (es wird **weniger** Wasser benötigt als heute vorhanden), +2, +1, 0 (zufriedenstellend), -1, -2, -3 (es wird **mehr** Wasser benötigt als heute vorhanden)

Zustandsbewertung	Energieerzeuger Wasserkraftanlagen	Energieerzeuger Kühlwassentnahme/-einleitu	Wasserversorgung Trinkwasser aus Talsperren	Wasserversorgung Brauchwasser aus Talsperr	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä	Gewässerzustand Fischerei	Talsperren Konkurrenz Nutzungskonkurenz HWS-T
Zustand heute (ohne Maßnahmen)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-1,5	-3,0	0,3	2,7	0,9	1,7	-2,9	2,3
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-1,5	-3,0	0,4	2,6	1,1	2,2	-3,0	2,6

Ergebnisbandbreite (**ohne** Maßnahme): **+3 (äußerst gut)**, **-3 (äußerst schlecht)**

Abbildung 97: Bewertung Wasserbedarf und Zustandsbewertung Wupper

Maßnahmenbewertung

Anpassungsmöglichkeit Bewertung	Energieerzeuger Wasserkraftanlagen	Energieerzeuger Kühlwassentnahme/-einleitu	Wasserversorgung Trinkwasser aus Talsperren	Wasserversorgung Brauchwasser aus Talsperr	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä	Gewässerzustand Fischerei	Talsperren Konkurrenz Nutzungskonkurenz HWS-T
1,00	Gewichtung: 0,03	Gewichtung: 0,05	Gewichtung: 0,34	Gewichtung: 0,10	Gewichtung: 0,22	Gewichtung: 0,06	Gewichtung: 0,14	Gewichtung: 0,07
Maßnahme 1:								
WKA-Modernisierung Steuerung	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig	3,0 0,20							
Nutzen langfristig	3,0 0,50							
Beitrag zum Klimaschutz	3,0 0,10							
Resilienz (langf.anpassbar)	1,0 0,15							
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)	3,0 0,05							
Bewertung: 0,08	**3,0 1,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**
Maßnahme 2:								
WKA-Modernisierung neue Turbine	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig	3,0 0,20							
Nutzen langfristig	3,0 0,50							
Beitrag zum Klimaschutz	0,0 0,10							
Resilienz (langf.anpassbar)	1,0 0,15							
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)	2,0 0,05							
Bewertung: 0,07	**2,4 1,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**
Maßnahme 3:								
Fernwärmenetz ausbauen	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig		1,0 0,15						
Nutzen langfristig		2,0 0,15						
Beitrag zum Klimaschutz		3,0 0,08						
Resilienz (langf.anpassbar)		-2,0 0,12						
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)		0,0 0,50						
Bewertung: 0,02	**0,0 0,00**	**0,5 1,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**
Maßnahme 4:								
Kühlturm bauen	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig		3,0 0,15						
Nutzen langfristig		3,0 0,15						
Beitrag zum Klimaschutz		-1,0 0,08						
Resilienz (langf.anpassbar)		0,0 0,12						
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)		-3,0 0,50						
Bewertung: -0,03	**0,0 0,00**	**-0,7 1,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**
Maßnahme 5:								
Speichersee optimieren	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig			3,0 0,40					
Nutzen langfristig			1,0 0,30					
Beitrag zum Klimaschutz			0,0 0,05					
Resilienz (langf.anpassbar)			3,0 0,20					
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)			3,0 0,05					
Bewertung: 0,76	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**2,3 1,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**
Maßnahme 6:								
Gewässerschutz (oberirdisch)	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig			2,0 0,40		3,0 0,20		3,0 0,20	
Nutzen langfristig			3,0 0,30		3,0 0,20		3,0 0,20	
Beitrag zum Klimaschutz			1,0 0,05		3,0 0,20		3,0 0,20	
Resilienz (langf.anpassbar)			3,0 0,20		3,0 0,20		3,0 0,20	
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)			-1,0 0,05		3,0 0,20		3,0 0,20	
Bewertung: 1,85	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**2,3 1,00**	**0,0 0,00**	**3,0 1,00**	**0,0 0,00**	**3,0 1,00**	**0,0 0,00**
Maßnahme 7:								
Trennung von Schmutz- und Regenwasser	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig						1,0 0,32		
Nutzen langfristig						3,0 0,21		
Beitrag zum Klimaschutz						0,0 0,11		
Resilienz (langf.anpassbar)						3,0 0,25		
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)						-1,0 0,11		
Bewertung: 0,10	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**1,6 1,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**
Maßnahme 8:								
Flächen entlang der Gewässer freihalten	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig								2,0 0,10
Nutzen langfristig								3,0 0,10
Beitrag zum Klimaschutz								0,0 0,10
Resilienz (langf.anpassbar)								3,0 0,50
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)								0,0 0,20
Bewertung: 0,13	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**2,0 1,00**
Maßnahme 9:								
Trinkwasserbedarf realistisch abschätzen	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig								2,0 0,10
Nutzen langfristig								3,0 0,10
Beitrag zum Klimaschutz								0,0 0,10
Resilienz (langf.anpassbar)								2,0 0,50
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)								3,0 0,20
Bewertung: 0,14	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**2,1 1,00**

Bewertung: **+3 (äußerst gut)**, +2 (sehr gut), +1 (gut), **0 (zufriedenstellend)**, -1 (schlecht), -2 (sehr schlecht), **-3 (äußerst schlecht)**

Abbildung 98: Maßnahmenbewertung Wupper

Übersicht Zustandsbewertung

Zustandsbewertung	Energieerzeuger Wasserkraftanlagen	Energieerzeuger Kühlwassentnahme/-einleitu	Wasserversorgung Trinkwasser aus Talsperren	Wasserversorgung Brauchwasser aus Talsperre	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä	Gewässerzustand Fischerei	Talsperren Konkurrenz Nutzungskonkurenz HWS-T
W-A1B (fe)								
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-1,5	-3,0	0,3	2,7	0,9	1,7	-2,9	2,3
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-1,5	-3,0	0,4	2,6	1,1	2,2	-3,0	2,6
W-A1B (tr)								
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-0,5	-3,0	0,6	2,6	0,1	1,0	-2,7	3,0
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-1,2	-3,0	-0,1	3,0	0,6	1,4	-3,0	2,2
W-A2 (fe)								
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	0,7	-3,0	0,1	3,0	1,3	2,4	-2,9	2,5
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-0,8	-3,0	0,3	3,0	1,3	1,9	-3,0	0,6
W-A2 (tr)								
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-0,8	-3,0	0,2	3,0	0,6	1,7	-2,7	1,7
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-1,3	-3,0	0,4	3,0	0,7	2,0	-3,0	2,1
W-B1 (fe)								
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-1,2	-3,0	0,1	3,0	1,0	1,7	-2,7	1,4
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-1,4	-3,0	0,4	3,0	1,2	2,0	-3,0	3,0
W-B1 (tr)								
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	0,5	-3,0	0,1	3,0	0,5	1,2	-2,5	1,0
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-1,2	-3,0	0,3	3,0	0,5	0,8	-3,0	0,9
R-A1B								
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	0,8	-3,0	0,4	3,0	0,0	0,3	-2,3	2,0
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-1,1	-3,0	0,0	2,6	-0,2	-1,0	-3,0	0,1
R-A2								
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-1,7	-3,0	0,9	1,7	-1,1	-1,3	-2,2	3,0
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-1,7	-3,0	0,6	1,7	-0,9	-1,7	-3,0	2,5
R-B1								
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	2,1	-2,2	1,1	3,0	0,5	1,4	-1,8	-0,6
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-0,6	-3,0	0,2	3,0	0,1	-0,2	-3,0	0,8
9 Szenarien (Mittelwert)								
Mittelwert - Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-0,2	-2,9	0,4	2,8	0,4	1,1	-2,5	1,8
Mittelwert - Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-1,2	-3,0	0,3	2,8	0,5	0,8	-3,0	1,6

Abbildung 99: Übersicht Zustandsbewertung Wupper

Entscheidungsunterstützungssystem - WASKlim-EUS

Entwicklung von wasserwirtschaftlichen Anpassungskonzepten an den Klimawandel - EZG Wupper

Gewichtung Wasserbedarf - Indikatoren

Abwassereinleitung aus Kläranlagen
Inkonsistenzfaktor = 0,00 < 0,1 !

Bewertungskriterien		Gew.	L_Temp(S)	Bev.Entw.	Öko.Str.W.	0		0	0	0
Lufttemperatur (S)	L_Temp(S)	9,1%	1,00	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bevölkerungsentwicklung	Bev.Entw.	45,5%	5,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ökonomischer Strukturwandel	Öko.Str.W.	45,5%	5,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,0%	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Anzahl = 3		100,0%	11,00	2,20	2,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Evaluationsergebnis (Eva)

Zeilen-summe Ri	Norm. Eig.-Vek. Wi	(Eva*Wi) Ri'	(Ri'/Wi) Xi
0,273	0,091	0,273	3,000
1,364	0,455	1,364	3,000
1,364	0,455	1,364	3,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
3,00	1,00		9,00

Xi_max	=	3,00
CI	=	0,00
CR	=	0,00

Konsistent !

Bewertung
3 = 7/1
2 = 5/1
1 = 3/1
0 = 1/1

Gewichtung Anpassungsmaßnahmen - Kriterien

Abwassereinleitung aus Kläranlagen
Inkonsistenzfaktor = 0,18 < 0,1 !

Bewertungskriterien		Gew.	Nutzen (K/M)	Nutzen (L)	Klimaschutz	Resilienz	N_Konflikte	0	0	0
Nutzen kurz/mittelfristig	Nutzen (K/M	32,2%	1,00	3,00	5,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Nutzen langfristig	Nutzen (L)	21,1%	0,33	1,00	3,00	1,00	3,00	0,00	0,00	0,00
Beitrag zum Klimaschutz	Klimaschutz	11,2%	0,20	0,33	1,00	0,33	3,00	0,00	0,00	0,00
Resilienz	Resilienz	24,8%	1,00	1,00	3,00	1,00	3,00	0,00	0,00	0,00
Nutzungskonflikte	N_Konflikte	10,7%	1,00	0,33	0,33	0,33	1,00	0,00	0,00	0,00
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Anzahl = 5		100,0%	3,53	5,67	12,33	3,67	11,00	1,00	1,00	1,00

Evaluationsergebnis (Eva)

Zeilen-summe Ri	Norm. Eig.-Vek. Wi	(Eva*Wi) Ri'	(Ri'/Wi) Xi
1,581	0,316	1,872	5,918
1,060	0,212	1,233	5,821
0,560	0,112	0,660	5,887
1,248	0,250	1,444	5,786
0,551	0,110	0,618	5,608
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
5,00	1,00		29,02

Xi_max	=	5,80
CI	=	0,20
CR	=	0,18

grenzwertig !

Bewertung
3 = 7/1
2 = 5/1
1 = 3/1
0 = 1/1

Gewichtung Wassernutzungen

Gewichtung
Inkonsistenzfaktor = 0,08 < 0,1 !

Bewertungskriterien		Gew.	WKA	Kühlwasser	TW aus TS	BW aus TS	Gew.zustand	Abw.Einl.	Fisch-OL	NK (HWS-TW)
Wasserkraftanlagen	WKA	2,8%	1,00	0,33	0,11	0,33	0,20	0,33	0,33	0,33
Kühlwassentnahme/-einleitung	Kühlwasser	4,7%	3,00	1,00	0,33	0,33	0,20	0,33	0,33	0,33
Trinkwasser aus Talsperren	TW aus TS	33,6%	9,00	3,00	1,00	5,00	3,00	5,00	3,00	5,00
Brauchwasser aus Talsperren	BW aus TS	10,2%	3,00	3,00	0,20	1,00	0,33	3,00	0,33	3,00
Gewässerzustand allgemein	Gew.zustan	22,0%	5,00	5,00	0,33	3,00	1,00	5,00	3,00	3,00
Abwassereinleitung aus Kläranl	Abw.Einl.	6,2%	3,00	3,00	0,20	0,33	0,20	1,00	0,33	1,00
Fischerei	Fisch-OL	14,1%	3,00	3,00	0,33	3,00	0,33	3,00	1,00	3,00
Nutzungskonkurenz Talsperren	NK (HWS-T	6,5%	3,00	3,00	0,20	0,33	0,33	1,00	0,33	1,00
Anzahl = 8		100,0%	30,00	21,33	2,71	13,33	5,60	18,67	8,67	16,67

Evaluationsergebnis (Eva)

Zeilen-summe Ri	Norm. Eig.-Vek. Wi	(Eva*Wi) Ri'	(Ri'/Wi) Xi
0,227	0,028	0,250	8,825
0,407	0,051	0,414	8,144
2,634	0,329	2,989	9,075
0,828	0,104	0,929	8,976
1,722	0,215	1,982	9,209
0,527	0,066	0,562	8,527
1,104	0,138	1,272	9,216
0,551	0,069	0,591	8,575
8,00	1,00		70,55

Xi_max	=	8,82
CI	=	0,12
CR	=	0,08

Konsistent !

Bewertung
3 = 7/1
2 = 5/1
1 = 3/1
0 = 1/1

Abbildung 100: Kriteriengewichtung Wupper

Wasserdargebot											
2021-2050	**W_A1B_f**	**W_A1B_t**	**W_A2_f**	**W_A2_t**	**W_B1_f**	**W_B1_t**	**R_A1B**	**R_A2**	**R_B1**	**Min**	**Max**
Pegel Wupper-Gebietsa	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
MHQ (J)	96,2	89,4	101,4	100,2	102,5	102,2	100,3	81,5	110,2	81,5	110,2
(S)	98,2	85,8	106,6	84,7	94,7	90,7	98,9	74,3	125,1	74,3	125,1
(W)	98,3	92,4	103,0	104,5	103,6	106,1	101,7	78,9	108,7	78,9	108,7
MQ (J)	99,3	98,2	103,2	103,1	103,4	108,6	108,8	76,2	122,3	76,2	122,3
(S)	90,2	94,2	107,4	93,8	92,4	101,6	101,8	61,2	132,7	61,2	132,7
(W)	103,7	100,3	101,2	107,9	108,8	112,2	114,1	87,5	114,5	87,5	114,5
MNQ (J)	117,8	115,4	126,3	120,5	109,1	118,9	72,3	56,3	84,3	56,3	126,3
(S)	110,8	121,3	120,0	119,6	105,2	118,9	78,8	56,2	109,2	56,2	121,3
(W)	101,2	137,5	123,6	144,5	137,8	150,5	134,2	93,0	126,4	93,0	150,5
HHQ (J)	97,0	92,5	88,5	105,9	106,2	112,6	98,0	81,4	133,1	81,4	133,1
(S)	100,8	94,5	91,2	104,5	97,6	91,4	84,4	81,8	109,2	81,8	109,2
(W)	97,0	92,5	88,5	105,9	106,2	112,6	98,0	81,4	133,1	81,4	133,1
NNQ (J)	335,5	187,4	336,3	212,9	335,4	153,8	73,4	57,6	64,3	57,6	336,3
(S)	335,5	193,2	336,3	212,9	335,4	153,8	73,9	57,6	64,3	57,6	336,3
(W)	257,0	161,5	239,4	291,1	155,3	230,3	41,7	45,9	52,3	41,7	291,1
UZ < MNQ (J)	49,0	109,0	33,8	55,5	49,0	96,9	128,2	239,5	116,9	33,8	239,5
(S)	54,0	102,0	37,2	55,6	45,3	90,7	150,8	306,9	131,2	37,2	306,9
(W)	0,0	325,0	0,0	50,0	85,7	287,5	90,2	125,9	92,9	0,0	325,0
GWN (J)	111,4	85,5	120,9	88,0	115,5	90,2	105,5	90,2	114,2	85,5	120,9
(S)	101,1	77,5	116,4	79,3	108,7	82,6	98,4	76,4	116,8	76,4	116,8
(W)	117,6	90,6	123,7	93,4	119,7	94,9	111,7	102,4	112,0	90,6	123,7
Luft-Temp (J)	115,7	116,5	117,3	116,7	114,8	113,5	109,5	109,2	104,5	104,5	117,3
(S)	110,8	109,7	111,0	109,6	109,3	107,7	106,7	105,9	102,4	102,4	111,0
(W)	132,0	138,7	138,2	140,4	132,9	133,0	118,5	119,5	111,6	111,6	140,4
W_Temp_Oberl. (J)	115,7	116,5	117,3	116,7	114,8	113,5	109,5	109,2	104,5	104,5	117,3
(S)	110,8	109,7	111,0	109,6	109,3	107,7	106,7	105,9	102,4	102,4	111,0
(W)	132,0	138,7	138,2	140,4	132,9	133,0	118,5	119,5	111,6	111,6	140,4
W_Temp_Mittell.(J)	115,7	116,5	117,3	116,7	114,8	113,5	109,5	109,2	104,5	104,5	117,3
(S)	110,8	109,7	111,0	109,6	109,3	107,7	106,7	105,9	102,4	102,4	111,0
(W)	132,0	138,7	138,2	140,4	132,9	133,0	118,5	119,5	111,6	111,6	140,4
W_Temp_Unterl.(J)	115,7	116,5	117,3	116,7	114,8	113,5	109,5	109,2	104,5	104,5	117,3
(S)	110,8	109,7	111,0	109,6	109,3	107,7	106,7	105,9	102,4	102,4	111,0
(W)	132,0	138,7	138,2	140,4	132,9	133,0	118,5	119,5	111,6	111,6	140,4
2071-2100											
MHQ (J)	95,0	108,5	97,0	94,2	95,9	97,1	102,6	84,2	98,9	84,2	108,5
(S)	74,9	79,6	110,4	85,0	92,2	87,2	107,6	83,5	99,2	74,9	110,4
(W)	98,9	117,3	94,7	94,5	100,8	98,1	100,3	86,1	97,7	86,1	117,3
MQ (J)	98,2	108,3	102,2	102,2	103,3	103,0	97,7	78,0	102,7	78,0	108,3
(S)	83,2	80,0	95,1	79,9	89,7	87,4	77,0	57,0	91,4	57,0	95,1
(W)	105,5	122,8	105,7	113,6	110,0	111,0	113,3	93,9	111,3	93,9	122,8
MNQ (J)	121,5	114,8	120,7	123,6	115,0	113,7	56,8	47,7	74,5	47,7	123,6
(S)	118,6	113,4	112,8	120,5	110,7	112,0	56,3	48,6	77,8	48,6	120,5
(W)	119,4	155,2	128,8	155,4	128,8	153,3	168,4	94,5	161,0	94,5	168,4
HHQ (J)	98,6	94,3	116,6	106,0	87,7	118,6	162,2	107,3	115,7	87,7	162,2
(S)	71,9	97,0	148,1	101,4	98,2	128,8	193,1	88,3	137,8	71,9	193,1
(W)	98,6	94,3	94,7	106,0	87,7	110,8	108,4	107,3	103,5	87,7	110,8
NNQ (J)	370,2	239,9	276,9	256,9	324,2	194,1	68,1	53,9	74,9	53,9	370,2
(S)	370,2	239,9	276,9	256,9	324,2	194,1	68,1	53,9	74,9	53,9	370,2
(W)	320,4	240,1	179,6	324,1	182,4	207,4	47,0	43,5	56,0	43,5	324,1
UZ MNQ (J) pro Jahr	24,5	49,6	51,0	21,5	35,1	84,0	298,3	401,0	202,7	21,5	401,0
(S)	27,0	49,2	50,4	22,2	35,0	76,2	423,8	522,8	269,3	22,2	522,8
(W)	0,0	62,5	57,1	0,0	35,7	325,0	86,6	195,5	90,2	0,0	325,0
GW (J)	111,8	86,5	118,6	87,2	117,5	87,2	96,8	87,9	102,9	86,5	118,6
(S)	100,8	68,2	103,0	71,1	103,8	69,9	75,2	65,7	90,7	65,7	103,8
(W)	118,5	97,8	128,1	97,2	125,9	97,9	115,9	107,7	113,8	97,2	128,1
Luft-Temp in °C (J)	132,6	131,2	130,4	130,1	126,8	128,7	131,1	129,0	119,4	119,4	132,6
(S)	119,7	118,2	118,3	118,6	116,9	117,5	121,4	119,3	112,8	112,8	121,4
(W)	175,3	174,1	170,5	167,7	159,7	165,7	162,5	160,5	140,9	140,9	175,3
W_Temp_Oberl. (J)	132,6	131,2	130,4	130,1	126,8	128,7	131,1	129,0	119,4	119,4	132,6
(S)	119,7	118,2	118,3	118,6	116,9	117,5	121,4	119,3	112,8	112,8	121,4
(W)	175,3	174,1	170,5	167,7	159,7	165,7	162,5	160,5	140,9	140,9	175,3
W_Temp_Mittell.(J)	132,6	131,2	130,4	130,1	126,8	128,7	131,1	129,0	119,4	119,4	132,6
(S)	119,7	118,2	118,3	118,6	116,9	117,5	121,4	119,3	112,8	112,8	121,4
(W)	175,3	174,1	170,5	167,7	159,7	165,7	162,5	160,5	140,9	140,9	175,3
W_Temp_Unterl.(J)	132,6	131,2	130,4	130,1	126,8	128,7	131,1	129,0	119,4	119,4	132,6
(S)	119,7	118,2	118,3	118,6	116,9	117,5	121,4	119,3	112,8	112,8	121,4
(W)	175,3	174,1	170,5	167,7	159,7	165,7	162,5	160,5	140,9	140,9	175,3
Wasserbedarf											
2021-2050											
Bevölkerungsentwicklung	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4
Luft-Temp in °C (J)	115,7	116,5	117,3	116,7	114,8	113,5	109,5	109,2	104,5	104,5	117,3
(S)	110,8	109,7	111,0	109,6	109,3	107,7	106,7	105,9	102,4	102,4	111,0
(W)	132,0	138,7	138,2	140,4	132,9	133,0	118,5	119,5	111,6	111,6	140,4
2071-2100											
Bevölkerungsentwicklung	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4
Luft-Temp in °C (J)	132,6	131,2	130,4	130,1	126,8	128,7	131,1	129,0	119,4	119,4	132,6
(S)	119,7	118,2	118,3	118,6	116,9	117,5	121,4	119,3	112,8	112,8	121,4
(W)	175,3	174,1	170,5	167,7	159,7	165,7	162,5	160,5	140,9	140,9	175,3

Abbildung 101: Übersicht Klimaszenarien Wupper

Bevölkerungsentwicklung

Variante	2005	2010	2020	2030	2040	2050
V1-W1	82.438.000	81.887.000	80.057.000	77.203.000	73.422.000	68.743.000
Abweichung [%]	100	99,3	97,1	93,6	89,1	83,4
V1-W2	82.438.000	82.039.000	81.328.000	79.750.000	77.288.000	73.958.000
Abweichung [%]	100	99,5	98,7	96,7	93,8	89,7
V2-W1	82.438.000	81.930.000	80.464.000	78.080.000	74.799.000	70.653.000
Abweichung [%]	100	99,4	97,6	94,7	90,7	85,7
V2-W2	82.438.000	82.082.000	81.735.000	80.630.000	78.676.000	75.895.000
Abweichung [%]	100	99,6	99,1	97,8	95,4	92,1
V3-W1	82.438.000	81.943.000	80.612.000	78.589.000	75.675.000	72.104.000
Abweichung [%]	100	99,4	97,8	95,3	91,8	87,5
V3-W2	82.438.000	82.095.000	81.896.000	81.190.000	79.652.000	77.516.000
Abweichung [%]	100	99,6	99,3	98,5	96,6	94
V4-W1	82.438.000	81.986.000	81.019.000	79.467.000	77.054.000	74.015.000
Abweichung [%]	100	99,5	98,3	96,4	93,5	89,8
V4-W2	82.438.000	82.138.000	82.304.000	82.071.000	81.041.000	79.454.000
Abweichung [%]	100	99,6	99,8	99,6	98,3	96,4
V5-W1	82.438.000	81.865.000	79.803.000	76.514.000	72.255.000	66.975.000
Abweichung [%]	100	99,3	96,8	92,8	87,6	81,2
V5-W2	82.438.000	82.017.000	81.070.000	79.030.000	76.055.000	72.071.000
Abweichung [%]	100	99,5	98,3	95,9	92,3	87,4
V6-W1	82.438.000	81.908.000	80.210.000	77.391.000	73.633.000	68.884.000
Abweichung [%]	100	99,4	97,3	93,9	89,3	83,6
V6-W2	82.438.000	82.060.000	81.478.000	79.910.000	77.442.000	74.007.000
Abweichung [%]	100	99,5	98,8	96,9	93,9	89,8
					Min	81,20
					Max	96,40
					Mittel	88,38

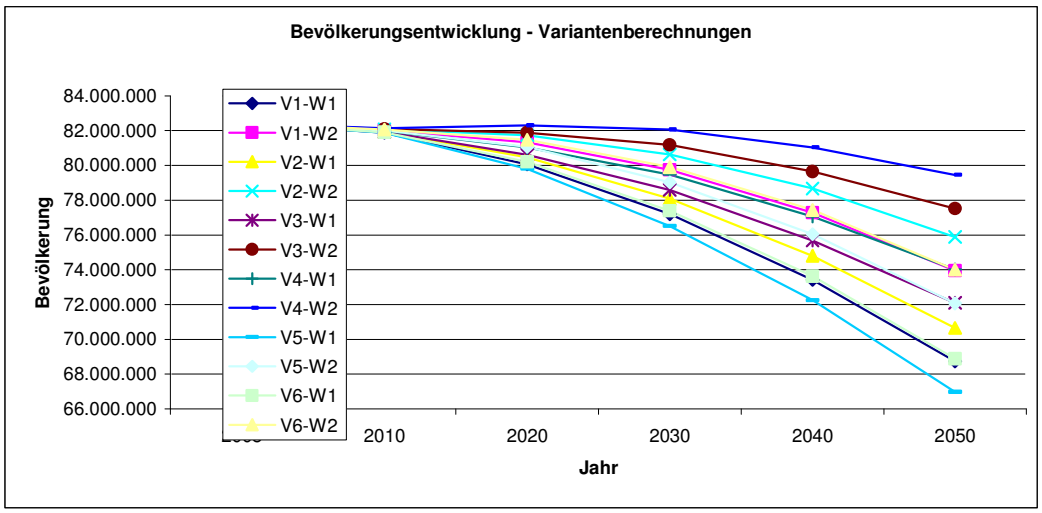


Abbildung 102: Übersicht Bevölkerungsentwicklung in Deutschland

9.3.2 Salza / Weida

Entscheidungsunterstützungssystem - WASKlim-EUS

Entwicklung von wasserwirtschaftlichen Anpassungskonzepten an den Klimawandel - EZG Salza / Weida

Zustandsbewertung - Wasserdargebot (ohne Maßnahmen)

Wasserdargebot Bewertung				Wasserversorgung Trinkwasser aus GW Änderung [%]			Wasserversorgung Brauchwasser aus GW Änderung [%]			Wasserversorgung Brauchwasser aus Oberfläc Änderung [%]			Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä Änderung [%]			Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Tre Änderung [%]			Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein Änderung [%]		
1971-2000 (heute)				100	0,00		100	0,00		100	0,00		100	0,00		100	0,00		100	0,00	
MHQ (J)			-3	80	Bew.	Bew.	80	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	130	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2		0,32	-3,00		0,32	-3,00								-0,21	2,31			
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
62,9	bis	151,2	0	100	0,10	0,10	100	0,10	0,10							100	0,25	0,25			
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2		0,03	-0,30		0,03	-0,30								-0,05	0,58			
2021-50 / 2071-2100:	102,1	76,9	3	120			120									70					
MQ (J)			-3	80	Bew.	Bew.	80	Bew.	Bew.	70	Bew.	Bew.	70	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	80	Bew.	Bew.
			-2		-1,67	-2,77		-1,67	-2,77		-1,11	-1,85		-1,11	-1,85					-1,67	-2,77
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
64,8	bis	160,9	0	100	0,40	0,40	100	0,40	0,40	100	0,30	0,30	100	0,20	0,20				100	0,05	0,05
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2		-0,67	-1,11		-0,67	-1,11		-0,33	-0,55		-0,22	-0,37					-0,09	-0,15
2021-50 / 2071-2100:	88,9	81,5	3	120			120			130			130						120		
MNQ (J)			-3	70	Bew.	Bew.	70	Bew.	Bew.	70	Bew.	Bew.	70	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2		-1,27	-2,42		-1,27	-2,42		-1,27	-2,42		-1,27	-2,42						
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
55,3	bis	156,8	0	100	0,10	0,10	100	0,10	0,10	100	0,70	0,70	100	0,80	0,80						
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2		-0,13	-0,24		-0,13	-0,24		-0,89	-1,69		-1,01	-1,94						
2021-50 / 2071-2100:	87,3	75,8	3	120			120			130			130								
MNQ (S)			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	70	Bew.	Bew.
			-2																	-1,04	-1,73
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.	90	Gew.	Gew.
56,7	bis	160,2	0																95 105	0,28	0,28
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.	110	Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2																	-0,29	-0,49
2021-50 / 2071-2100:	89,6	82,7	3																130		
MNQ (W)			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	70	Bew.	Bew.
			-2																	-1,56	-3,00
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
58,5	bis	163,1	0																95 105	0,07	0,07
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2																	-0,11	-0,22
2021-50 / 2071-2100:	82,0	66,6	3																130		
HHQ (J)			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	130	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2														-2,69	-0,20			
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
74,0	bis	223,7	0													100	0,75	0,75			
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2														-2,02	-0,15			
2021-50 / 2071-2100:	126,9	102,0	3													70					
UZ ND (S) < MNQ			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	130	Bew.	Bew.
			-2																	-3,00	-3,00
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
103,9	bis	422,4	0																100	0,35	0,35
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2																	-1,05	-1,05
2021-50 / 2071-2100:	205,9	383,5	3																70		
UZ ND (W) < MNQ			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	130	Bew.	Bew.
			-2																	-3,00	-3,00
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
126,0	bis	477,3	0																100	0,15	0,15
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2																	-0,45	-0,45
2021-50 / 2071-2100:	149,2	477,3	3																70		
GWN (J)			-3	70	Bew.	Bew.	70	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	80	Bew.	Bew.
			-2		-0,42	-1,26		-0,42	-1,26											-0,62	-1,90
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
57,1	bis	172,9	0	100	0,40	0,40	100	0,40	0,40										100	0,10	0,10
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2		-0,17	-0,51		-0,17	-0,51											-0,06	-0,18
2021-50 / 2071-2100:	95,8	87,4	3	120			120												120		
Kontrolle Gewichtung:					1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00

Bewertung: **+3 (äußerst gut)**, +2 (sehr gut), +1 (gut), **0 (zufriedenstellend)**, -1 (schlecht), -2 (sehr schlecht), **-3 (äußerst schlecht)**

Wasserdargebot Auswertung	Wasserversorgung Trinkwasser aus GW	Wasserversorgung Brauchwasser aus GW	Wasserversorgung Brauchwasser aus Oberfläc	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Tre	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein
Dargebot Heute:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Dargebot 2021-2050:	-0,9	-0,9	-1,2	-1,2	-2,1	-2,0
Dargebot 2071-2100:	-2,2	-2,2	-2,2	-2,3	0,4	-2,5

Ergebnisbandbreite: **+3 (äußerst gut)**, +2 (sehr gut), +1 (gut), **0 (zufriedenstellend)**, -1 (schlecht), -2 (sehr schlecht), **-3 (äußerst schlecht)**

Abbildung 103: Bewertung Wasserdargebot Salza / Weida

Zustandsbewertung - Wasserbedarf (ohne Maßnahmen)

Wasserbedarf Bewertung			Wasserversorgung Trinkwasser aus GW Änderung [%]		Wasserversorgung Brauchwasser aus GW Änderung [%]		Wasserversorgung Brauchwasser aus Oberfläc Änderung [%]		Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä Änderung [%]		Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Tre Änderung [%]		Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein Änderung [%]	
heute			0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
Bevöl.Entw.		-3	120	Bew. Bew.		Bew. Bew.		Bew. Bew.	120	Bew. Bew.		Bew. Bew.		Bew. Bew.
		-2		1,74 1,74						1,74 1,74				
Bandbreite [%]		-1		Gew. Gew.		Gew. Gew.		Gew. Gew.		Gew. Gew.		Gew. Gew.		Gew. Gew.
0,0	bis 0,0	0	100	0,60 0,60					100	0,60 0,60				
		1		Ges. Ges.		Ges. Ges.		Ges. Ges.		Ges. Ges.		Ges. Ges.		Ges. Ges.
		2		1,05 1,05						1,05 1,05				
2021-50 / 2071-2100:	88,4 88,4	3	80						80					
L-Temp (S)		-3		Bew. Bew.		Bew. Bew.		Bew. Bew.		Bew. Bew.		Bew. Bew.	120	Bew. Bew.
		-2												-0,24 -1,30
Bandbreite [%]		-1		Gew. Gew.		Gew. Gew.		Gew. Gew.		Gew. Gew.		Gew. Gew.		Gew. Gew.
102,2	bis 118,9	0											102 98	1,00 1,00
		1		Ges. Ges.		Ges. Ges.		Ges. Ges.		Ges. Ges.		Ges. Ges.		Ges. Ges.
		2												-0,24 -1,30
2021-50 / 2071-2100:	103,4 109,8	3											80	
Ökon.Strukturw.				Bew. Bew.		Bew. Bew.		Bew. Bew.		Bew. Bew.		Bew. Bew.		Bew. Bew.
- Energieversorgung				-2,00 -2,00		-2,00 -2,00		-2,00 -2,00		-1,00 -1,00		0,00		0,00
- …				Gew. Gew.		Gew. Gew.		Gew. Gew.		Gew. Gew.		Gew. Gew.		Gew. Gew.
				0,40 0,40		1,00 1,00		1,00 1,00		0,40 0,40				
				Ges. Ges.		Ges. Ges.		Ges. Ges.		Ges. Ges.		Ges. Ges.		Ges. Ges.
Punktbewertung:				-0,80 -0,80		-2,00 -2,00		-2,00 -2,00		-0,40 -0,40				
2021-50 / 2071-2100:														
Kontrolle Gewichtung:				1,00 1,00		1,00 1,00		1,00 1,00		1,00 1,00		0,00 0,00		1,00 1,00

Bewertung: +3 (es wird **weniger** Wasser benötigt als heute vorhanden), +2, +1, 0 (zufriedenstellend), -1, -2, -3 (es wird **mehr** Wasser benötigt als heute vorhanden)

Wasserbedarf Auswertung	Wasserversorgung Trinkwasser aus GW	Wasserversorgung Brauchwasser aus GW	Wasserversorgung Brauchwasser aus Oberfläc	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Tre	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein
Bedarf Heute:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bedarf 2021-2050:	0,2	-2,0	-2,0	0,6	0,0	-0,2
Bedarf 2071-2100:	0,2	-2,0	-2,0	0,6	0,0	-1,3

Ergebnisbandbreite: +3 (es wird **weniger** Wasser benötigt als heute vorhanden), +2, +1, 0 (zufriedenstellend), -1, -2, -3 (es wird **mehr** Wasser benötigt als heute vorhanden)

Zustandsbewertung	Wasserversorgung Trinkwasser aus GW	Wasserversorgung Brauchwasser aus GW	Wasserversorgung Brauchwasser aus Oberfläc	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Tre	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein
Zustand heute (ohne Maßnahmen)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-0,7	-2,9	-3,0	-0,6	-2,1	-2,2
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-2,0	-3,0	-3,0	-1,7	0,4	-3,0

Ergebnisbandbreite (**ohne** Maßnahme): **+3 (äußerst gut)**, **-3 (äußerst schlecht)**

Abbildung 104: Bewertung Wasserbedarf und Zustandsbewertung Salza / Weida

Maßnahmenbewertung

Anpassungsmöglichkeit Bewertung		Wasserversorgung Trinkwasser aus GW		Wasserversorgung Brauchwasser aus GW		Wasserversorgung Brauchwasser aus Oberfläc		Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä		Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Tre		Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein	
1,00		Gewichtung:	0,44	Gewichtung:	0,06	Gewichtung:	0,03	Gewichtung:	0,06	Gewichtung:	0,06	Gewichtung:	0,34
Maßnahme 1:													
Fernwasserversorgung ausbauen			Gew.		Gew.		Gew.		Gew.		Gew.		Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig		2,0	0,08										
Nutzen langfristig		2,0	0,70										
Beitrag zum Klimaschutz		2,0	0,08										
Resilienz (langf.anpassbar)		-1,0	0,08										
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)		1,0	0,08										
Bewertung:	**0,75**	**1,7**	**1,00**	**0,0**	**0,00**	**0,0**	**0,00**	**0,0**	**0,00**	**0,0**	**0,00**	**0,0**	**0,00**
Maßnahme 2:	z.B. durch Speicher im Oberlauf												
Fixierung des Restwasserabflusses			Gew.		Gew.		Gew.		Gew.		Gew.		Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig				2,0	0,30	2,0	0,30	2,0	0,30				
Nutzen langfristig				2,0	0,50	2,0	0,50	2,0	0,50				
Beitrag zum Klimaschutz				0,0	0,07	0,0	0,07	0,0	0,07				
Resilienz (langf.anpassbar)				-1,0	0,07	-1,0	0,07	-1,0	0,07				
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)				1,0	0,07	1,0	0,07	1,0	0,07				
Bewertung:	**0,25**	**0,0**	**0,00**	**1,6**	**1,00**	**1,6**	**1,00**	**1,6**	**1,00**	**0,0**	**0,00**	**0,0**	**0,00**
Maßnahme 3:													
Gewässerausbau			Gew.		Gew.		Gew.		Gew.		Gew.		Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig										1,0	0,50		
Nutzen langfristig										1,0	0,50		
Beitrag zum Klimaschutz													
Resilienz (langf.anpassbar)													
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)													
Bewertung:	**0,06**	**0,0**	**0,00**	**0,0**	**0,00**	**0,0**	**0,00**	**0,0**	**0,00**	**1,0**	**1,00**	**0,0**	**0,00**

Bewertung: **+3 (äußerst gut)**, +2 (sehr gut), +1 (gut), **0 (zufriedenstellend)**, -1 (schlecht), -2 (sehr schlecht), **-3 (äußerst schlecht)**

Abbildung 105: Maßnahmenbewertung Salza / Weida

Übersicht Zustandsbewertung

Zustandsbewertung	Wasserversorgung Trinkwasser aus GW	Wasserversorgung Brauchwasser aus GW	Wasserversorgung Brauchwasser aus Oberfläc	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Tre	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein
W-A1B (fe)						
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-1,7	-2,9	-3,0	-1,6	-2,1	-2,2
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-3,0	-3,0	-3,0	-2,7	0,4	-3,0
W-A1B (tr)						
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-2,0	-3,0
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-2,8	-3,0	-3,0	-2,3	2,0	-3,0
W-A2 (fe)						
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-2,6	-3,0	-3,0	-1,7	0,2	-2,7
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-2,7	-3,0	-3,0	-2,5	-1,7	-3,0
W-A2 (tr)						
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	1,8	-3,0
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-1,9	-3,0
W-B1 (fe)						
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-1,1	-2,3	-2,4	-0,8	-2,4	-1,6
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-0,9	-2,1	-2,4	-0,8	-1,4	-2,7
W-B1 (tr)						
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	0,8	-0,4	-1,5	0,1	-3,0	-0,5
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	2,6	-3,0
R-A1B						
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	2,1	0,9	0,1	1,7	-2,6	-1,0
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	2,2	1,0	1,0	2,6	-3,0	-2,8
R-A2						
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-1,3	-3,0
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	0,3	-3,0
R-B1						
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	2,2	1,0	1,0	2,6	-2,3	0,9
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	2,2	1,0	1,0	2,6	-3,0	-1,7
9 Szenarien (Mittelwert)						
Mittelwert - Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-1,0	-1,7	-2,0	-1,0	-1,5	-1,8
Mittelwert - Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-1,6	-2,0	-2,0	-1,3	-0,6	-2,8

Abbildung 106: Übersicht Zustandsbewertung Salza / Weida

Entscheidungsunterstützungssystem - WASKlim-EUS

Entwicklung von wasserwirtschaftlichen Anpassungskonzepten an den Klimawandel - EZG Salza / Weida

Gewichtung Wasserdargebot

Gewässerzustand allgemein
Inkonsistenzfaktor = 0,09 < 0,1 !

Bewertungskriterien		Gew.	MQ (J)	MNQ (S)	MNQ (W)	UZ ND (S)	UZ ND (W	GWN (J)
MQ (J)	MQ (J)	5,31%	1,00	0,20	0,33	0,20	0,33	1,00
MNQ (S)	MNQ (S)	28,13%	5,00	1,00	3,00	1,00	3,00	3,00
MNQ (W)	MNQ (W)	7,27%	3,00	0,33	1,00	0,20	0,33	0,33
UZ ND (S) < MNQ	UZ ND (S) <	34,88%	5,00	1,00	5,00	1,00	5,00	3,00
UZ ND (W) < MNQ	UZ ND (W)	14,87%	3,00	0,33	3,00	0,20	1,00	3,00
GWN (J)	GWN (J)	9,54%	1,00	0,33	3,00	0,33	0,33	1,00
		0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Anzahl = 6		100,0%	18,00	3,20	15,33	2,93	10,00	11,33

Zeilen-summe Ri	Norm. Eig.-Vek. Wi	(Eva*Wi) Ri'	(Ri'/Wi) Xi
0,330	0,055	0,353	6,428
1,692	0,282	1,872	6,640
0,467	0,078	0,487	6,254
2,022	0,337	2,327	6,906
0,899	0,150	1,005	6,703
0,591	0,098	0,643	6,534
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
6,00	1,00		39,47

Xi_max	=	6,58	(Xi_ges/n)
CI	=	0,12	((Xi_max-n)/(n-1))
CR	=	0,09	(CI / RI)
		Konsistent !	

Bewertung		
3	= 7/1	sehr viel wichtiger
2	= 5/1	viel wichtiger
1	= 3/1	wichtiger
0	= 1/1	gleichwertig

Wassernutzungen

Gewichtung
Inkonsistenzfaktor = 0,06 < 0,1 !

Bewertungskriterien		Gew.	TW aus G	BW aus G	BW aus G	Abwe.Klär	Abwe.Tren	Gew.zust.
Trinkwasser aus GW	TW aus GW	43,99%	1,00	7,00	9,00	5,00	5,00	3,00
Brauchwasser aus GW	BW aus GW	6,45%	0,14	1,00	3,00	1,00	1,00	0,20
Brauchwasser aus Oberflächen	BW aus OW	2,99%	0,11	0,33	1,00	0,33	0,33	0,14
Abwassereinleitung aus Kläranl	Abwe.Klära.	6,37%	0,20	1,00	3,00	1,00	1,00	0,11
Abwassereinleitung aus Trennsy	Abwe.Trenn	6,37%	0,20	1,00	3,00	1,00	1,00	0,11
Gewässerzustand allgemein	Gew.zust.	33,84%	0,33	5,00	7,00	9,00	9,00	1,00
		0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Anzahl = 6		100,0%	1,99	15,33	26,00	17,33	17,33	4,57

Zeilen-summe Ri	Norm. Eig.-Vek. Wi	(Eva*Wi) Ri'	(Ri'/Wi) Xi
2,540	0,423	2,894	6,837
0,412	0,069	0,430	6,263
0,186	0,031	0,196	6,320
0,421	0,070	0,424	6,043
0,421	0,070	0,424	6,043
2,021	0,337	2,301	6,832
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
6,00	1,00		38,34

Xi_max	=	6,39	(Xi_ges/n)
CI	=	0,08	((Xi_max-n)/(n-1))
CR	=	0,06	(CI / RI)
		Konsistent !	

Bewertung		
3	= 7/1	sehr viel wichtiger
2	= 5/1	viel wichtiger
1	= 3/1	wichtiger
0	= 1/1	gleichwertig

Abbildung 107: Kriteriengewichtung Salza / Weida

Wasserdargebot 2021-2050 Salza-Pegel Zappendorf	W_A1B_f %	W_A1B_t %	W_A2_f %	W_A2_t %	W_B1_f %	W_B1_t %	R_A1B %	R_A2 %	R_B1 %	Min [%]	Max [%]
MHQ (J)	102,13	90,07	74,24	68,76	105,22	151,20	112,57	71,66	133,43	68,8	151,2
(S)	104,96	75,24	91,13	69,65	114,44	127,28	131,37	79,46	191,21	69,7	191,2
(W)	98,15	86,08	69,57	65,67	99,57	132,35	95,43	71,58	108,94	65,7	132,4
MQ (J)	88,87	64,85	83,35	65,48	95,46	107,05	123,63	73,87	160,86	64,8	160,9
(S)	90,90	64,12	88,68	65,67	99,97	113,11	130,31	70,28	175,10	64,1	175,1
(W)	87,09	65,56	78,69	65,30	91,51	101,30	117,32	77,29	147,35	65,3	147,3
MNQ (J)	87,34	65,44	87,84	69,93	96,45	104,09	120,18	67,75	156,84	65,4	156,8
(S)	89,62	64,53	88,56	68,54	99,84	105,11	120,14	68,69	160,20	64,5	160,2
(W)	81,97	61,61	83,61	65,67	89,28	104,19	122,45	66,48	163,08	61,6	163,1
HHQ (J)	126,92	169,21	106,48	86,16	147,57	178,34	144,36	127,25	120,43	86,2	178,3
(S)	105,02	71,74	81,74	57,57	165,66	174,91	180,87	119,12	196,54	57,6	196,5
(W)	126,92	169,21	106,48	86,16	147,57	178,34	144,36	127,25	114,31	86,2	178,3
NNQ (J)	89,76	57,63	89,93	72,38	99,78	89,47	90,85	42,02	132,00	42,0	132,0
(S)	89,76	57,63	89,93	72,38	99,78	89,47	102,47	42,02	146,45	42,0	146,5
(W)	97,42	61,02	100,23	73,22	104,32	83,49	81,30	42,92	118,12	42,9	118,1
UZ MNQ (J) pro Jahr	188,42	191,86	165,25	189,86	161,67	116,95	191,86	189,86	116,95	117,0	191,9
(S)	205,91	166,20	176,11	168,63	165,76	103,92	166,20	168,63	103,92	103,9	205,9
(W)	149,17	241,22	140,88	230,67	152,49	142,02	241,22	230,67	142,02	140,9	241,2
GWN (J)	95,83	58,79	90,52	57,08	98,82	113,47	133,13	71,79	172,86	57,1	172,9
(S)	132,74	29,00	-12,25	176,10	46,02	-143,03	125,33	-27,53	139,75	-143,0	176,1
(W)	99,33	55,89	80,77	68,66	93,81	88,53	141,04	172,58	206,47	55,9	206,5
Luft-Temp in °C (J)	107,78	106,96	109,86	110,93	105,50	106,51	110,84	110,19	105,40	105,4	110,9
(S)	103,41	104,76	105,17	105,75	102,24	103,00	106,23	105,17	102,26	102,2	106,2
(W)	127,69	117,10	131,22	134,74	120,33	122,66	129,38	130,39	117,99	117,1	134,7
2071-2100											
MHQ (J)	76,88	84,59	77,46	87,60	86,43	62,90	150,16	67,31	132,37	62,9	150,2
(S)	102,15	99,58	101,05	92,69	99,48	72,95	236,86	96,00	188,03	72,9	236,9
(W)	64,79	67,51	69,55	77,68	86,76	56,88	91,64	59,33	99,57	56,9	99,6
MQ (J)	81,52	85,39	82,82	74,59	97,77	64,93	139,57	66,90	144,73	64,9	144,7
(S)	85,77	83,76	87,43	74,44	99,89	68,23	161,44	67,18	151,79	67,2	161,4
(W)	77,78	86,95	78,79	74,74	95,92	61,78	118,83	66,63	138,03	61,8	138,0
MNQ (J)	75,81	79,93	77,96	68,37	95,17	67,02	132,28	55,34	137,87	55,3	137,9
(S)	82,73	81,30	82,60	70,55	96,00	67,00	135,28	56,70	138,93	56,7	138,9
(W)	66,64	77,11	72,65	67,11	91,29	62,57	127,37	58,45	140,50	58,5	140,5
HHQ (J)	102,01	78,12	130,99	151,80	122,87	73,95	223,75	106,23	200,73	74,0	223,7
(S)	118,57	90,20	152,25	70,54	85,84	85,39	365,14	173,36	327,57	70,5	365,1
(W)	94,99	55,23	126,18	151,80	122,87	52,87	129,60	89,72	141,87	52,9	151,8
NNQ (J)	70,06	81,30	72,64	50,06	98,10	51,54	141,77	43,49	99,97	43,5	141,8
(S)	70,06	81,66	72,64	50,06	98,10	51,54	141,77	43,49	99,97	43,5	141,8
(W)	82,44	75,05	77,14	48,75	98,73	52,68	130,26	40,51	98,68	40,5	130,3
UZ MNQ (J) pro Jahr	412,44	137,09	434,07	176,38	137,14	179,36	137,09	176,38	179,36	137,1	434,1
(S)	383,50	131,71	422,41	159,84	142,12	153,03	131,71	159,84	153,03	131,7	422,4
(W)	477,35	147,44	460,22	208,20	125,97	230,01	147,44	208,20	230,01	126,0	477,3
GW (J)	87,36	82,15	90,59	66,98	104,98	64,14	133,13	71,79	172,86	64,1	172,9
(S)	219,91	383,82	290,96	125,28	142,11	-61,77	125,33	-27,53	139,75	-61,8	383,8
(W)	99,93	111,48	109,60	72,65	108,50	51,89	141,04	172,58	206,47	51,9	206,5
Luft-Temp in °C (J)	122,63	126,49	122,97	123,06	118,88	121,84	132,27	131,86	121,27	118,9	132,3
(S)	109,79	114,45	111,38	111,94	109,78	111,25	118,92	118,51	112,06	109,8	118,9
(W)	181,32	181,94	175,91	174,27	160,45	170,56	186,03	185,63	158,36	158,4	186,0
Wasserbedarf 2021-2050											
Bevölkerungsentwicklung	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,4	88,4
Luft-Temp in °C (J)	107,78	106,96	109,86	110,93	105,50	106,51	110,84	110,19	105,40	105,4	110,9
(S)	103,41	104,76	105,17	105,75	102,24	103,00	106,23	105,17	102,26	102,2	106,2
(W)	127,69	117,10	131,22	134,74	120,33	122,66	129,38	130,39	117,99	117,1	134,7
2071-2100											
Bevölkerungsentwicklung	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,4	88,4
Luft-Temp in °C (J)	122,63	126,49	122,97	123,06	118,88	121,84	132,27	131,86	121,27	118,9	132,3
(S)	109,79	114,45	111,38	111,94	109,78	111,25	118,92	118,51	112,06	109,8	118,9
(W)	181,32	181,94	175,91	174,27	160,45	170,56	186,03	185,63	158,36	158,4	186,0

Abbildung 108: Übersicht Klimaszenarien Salza / Weida

9.3.3 Obere Iller

Entscheidungsunterstützungssystem - WASKlim-EUS

Entwicklung von wasserwirtschaftlichen Anpassungskonzepten an den Klimawandel - EZG Obere Iller

Zustandsbewertung - Wasserdargebot (ohne Maßnahmen)

Wasserdargebot Bewertung				Energieerzeuger Wasserkraftanlagen Änderung [%]			Wasserversorgung Brauchwasser aus GW Änderung [%]			Wasserversorgung Trinkwasser aus GW Änderung [%]			Hochwasserschutz Hochwasserschutz Änderung [%]			Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein Änderung [%]			Gewässerzustand Naturschutzsicht-Fischerei Änderung [%]			Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klär Änderung [%]		
1971-2000 (heute)				100	0,00		100	0,00		100	0,00		100	0,00		100	0,00		100	0,00		100	0,00	
MHQ (J)			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	120	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2											-0,65	0,13									
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.	100	Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
76,5	bis	111,4	0										90	0,30	0,30									
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2											-0,25	0,04									
2021-50 / 2071-2100:	98,5	89,1	3										70											
MQ (J)			-3	95	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2		-3,00	-3,00																		
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
79,5	bis	109,9	0	100	0,80	0,80																		
			1	105	Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2		-2,40	-2,40																		
2021-50 / 2071-2100:	94,6	85,1	3	110																				
MQ (S)			-3	95	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2		-3,00	-3,00																		
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
60,8	bis	106,1	0	100	0,05	0,05																		
			1	105	Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2		-0,15	-0,15																		
2021-50 / 2071-2100:	86,7	63,4	3	110																				
MQ (W)			-3	95	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2		3,00	3,00																		
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
111,4	bis	198,8	0	100	0,05	0,05																		
			1	105	Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2		0,15	0,15																		
2021-50 / 2071-2100:	116,6	145,2	3	110																				
MNQ (J)			-3	80	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	70	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2		-0,02	-0,62										80	-0,01	-0,41						
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
93,2	bis	128,9	0	100	0,10	0,10										100	0,33	0,33						
			1	110	Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2		0,00	-0,06											0,00	-0,14						
2021-50 / 2071-2100:	99,9	95,9	3	150												110								
MNQ (S)			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	80	Bew.	Bew.
			-2																				-3,00	-3,00
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
62,1	bis	98,4	0																			100	0,58	0,58
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2																				-1,74	-1,74
2021-50 / 2071-2100:	79,5	72,5	3																			140		
HHQ (J)			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	120	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2								-0,80	2,92												
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.	100	Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
64,4	bis	180,8	0							90	0,14	0,14												
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2								-0,11	0,39												
2021-50 / 2071-2100:	98,0	80,3	3							80														
NNQ (J)			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	70	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2								-0,37	-1,20												
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
72,5	bis	136,6	0							100	0,28	0,28												
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2							120	-0,10	-0,34												
2021-50 / 2071-2100:	96,3	88,0	3							130														
UZ ND (J) < MNQ			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	120	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2														2,09	2,57						
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
25,8	bis	136,5	0													100	0,33	0,33						
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2														0,70	0,86						
2021-50 / 2071-2100:	62,7	77,0	3													90								
UZ ND (S) < MNQ			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	150	Bew.	Bew.
			-2																				-3,00	-3,00
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
0,0	bis	91333,3	0																			100	0,31	0,31
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2																				-0,93	-0,93
2021-50 / 2071-2100:	8000,0	57000,0	3																			50		
GWN (J)			-3		Bew.	Bew.	0	Bew.	Bew.	70	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2					-0,04	-0,13		-0,21	-0,67												
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.	50	Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
88,8	bis	111,8	0				100	1,00	1,00	100	0,58	0,58												
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2					-0,04	-0,13		-0,12	-0,39												
2021-50 / 2071-2100:	97,9	93,3	3				200			130														
GWN (S)			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	80	Bew.	Bew.
			-2																				-2,36	-3,00
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
58,4	bis	108,1	0																			100	0,11	0,11
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2																				-0,26	-0,33
2021-50 / 2071-2100:	84,3	67,2	3																			120		
W-Temp (S)			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	120	Bew.	Bew.	115	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2														-1,86	-2,76		-2,04	-3,00			
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.	100	Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
106,7	bis	139,9	0													80	0,33	0,33	95	0,50	0,50			
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2														-0,62	-0,92		-1,02	-1,50			
2021-50 / 2071-2100:	108,6	117,6	3													75			90					
W-Temp (W)			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	115	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2																	-3,00	-3,00			
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
193,6	bis	24948,0	0																95	0,50	0,50			
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2																	-1,50	-1,50			
2021-50 / 2071-2100:	219,8	443,3	3																90					
Niederschlag (W)			-3		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.	120	Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.		Bew.	Bew.
			-2											-0,50	0,68									
Bandbreite [%]			-1		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.		Gew.	Gew.
95,8	bis	109,4	0										100	0,70	0,70									
			1		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.		Ges.	Ges.
Klimaszenario:			2											-0,35	0,48									
2021-50 / 2071-2100:	103,3	98,9	3										95											
Kontrolle Gewichtung:					1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00

Bewertung: **+3 (äußerst gut)**, +2 (sehr gut), +1 (gut), **0 (zufriedenstellend)**, -1 (schlecht), -2 (sehr schlecht), **-3 (äußerst schlecht)**

Wasserdargebot Auswertung	Energieerzeuger Wasserkraftanlagen	Wasserversorgung Brauchwasser aus GW	Wasserversorgung Trinkwasser aus GW	Hochwasserschutz Hochwasserschutz	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein	Gewässerzustand Naturschutzsicht-Fischerei	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klär
Dargebot Heute:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Dargebot 2021-2050:	-2,4	0,0	-0,3	-0,6	0,1	-2,5	-2,9
Dargebot 2071-2100:	-2,5	-0,1	-0,3	0,5	-0,2	-3,0	-3,0

Ergebnisbandbreite: **+3 (äußerst gut)**, +2 (sehr gut), +1 (gut), **0 (zufriedenstellend)**, -1 (schlecht), -2 (sehr schlecht), **-3 (äußerst schlecht)**

Abbildung 109: Bewertung Wasserdargebot Obere Iller

Zustandsbewertung - Wasserbedarf (ohne Maßnahmen)

Wasserbedarf Bewertung		Energieerzeuger Wasserkraftanlagen Änderung [%]	Wasserversorgung Brauchwasser aus GW Änderung [%]	Wasserversorgung Trinkwasser aus GW Änderung [%]	Hochwasserschutz Hochwasserschutz Änderung [%]	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein Änderung [%]	Gewässerzustand Naturschutzsicht-Fischerei Änderung [%]	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä Änderung [%]
heute		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bevöl.Entw.	-3	Bew. Bew.	Bew. Bew.	110 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2			2,95 2,95				
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
81,2 bis 96,4	0			100 0,70 0,70				
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
	2			2,06 2,06				
2021-50 / 2071-2100: 88,4 88,4	3			90				
L-Temp (S)	-3	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	120 Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2					-1,29 -2,64		
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
106,7 bis 139,9	0					100 1,00 1,00		
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
	2					-1,29 -2,64		
2021-50 / 2071-2100: 108,6 117,6	3					97		
L-Temp (W)	-3	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
	-2							
Bandbreite [%]	-1	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
193,6 bis 24948,0	0							
	1	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
	2							
2021-50 / 2071-2100: 219,8 443,3	3							
Ökon.Strukturw.		Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.	Bew. Bew.
- Energieversorgung		0,00	0,00	-2,00 -2,00	0,00	0,00	-1,00 -1,00	0,00
- …		Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.	Gew. Gew.
				0,30 0,30			1,00 1,00	0,00
		Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.	Ges. Ges.
Punktbewertung:				-0,60 -0,60			-1,00 -1,00	
2021-50 / 2071-2100:								
Kontrolle Gewichtung:		0,00 0,00	0,00 0,00	1,00 1,00	0,00 0,00	1,00 1,00	1,00 1,00	0,00 0,00

Bewertung: +3 (es wird **weniger** Wasser benötigt als heute vorhanden), +2, +1, 0 (zufriedenstellend), -1, -2, -3 (es wird **mehr** Wasser benötigt als heute vorhanden)

Wasserbedarf Auswertung	Energieerzeuger Wasserkraftanlagen	Wasserversorgung Brauchwasser aus GW	Wasserversorgung Trinkwasser aus GW	Hochwasserschutz Hochwasserschutz	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein	Gewässerzustand Naturschutzsicht-Fischerei	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä
Bedarf Heute:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bedarf 2021-2050:	0,0	0,0	1,5	0,0	-1,3	-1,0	0,0
Bedarf 2071-2100:	0,0	0,0	1,5	0,0	-2,6	-1,0	0,0

Ergebnisbandbreite: +3 (es wird **weniger** Wasser benötigt als heute vorhanden), +2, +1, 0 (zufriedenstellend), -1, -2, -3 (es wird **mehr** Wasser benötigt als heute vorhanden)

Zustandsbewertung	Energieerzeuger Wasserkraftanlagen	Wasserversorgung Brauchwasser aus GW	Wasserversorgung Trinkwasser aus GW	Hochwasserschutz Hochwasserschutz	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein	Gewässerzustand Naturschutzsicht-Fischerei	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä
Zustand heute (ohne Maßnahmen)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-2,4	0,0	1,2	-0,6	-1,2	-3,0	-2,9
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-2,5	-0,1	1,2	0,5	-2,8	-3,0	-3,0

Ergebnisbandbreite (**ohne** Maßnahme): **+3 (äußerst gut)**, **-3 (äußerst schlecht)**

Abbildung 110: Bewertung Wasserbedarf und Zustandsbewertung Obere Iller

Maßnahmenbewertung

Anpassungsmöglichkeit Bewertung	Energieerzeuger Wasserkraftanlagen	Wasserversorgung Brauchwasser aus GW	Wasserversorgung Trinkwasser aus GW	Hochwasserschutz Hochwasserschutz	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein	Gewässerzustand Naturschutzsicht-Fischerei	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klä
1,00	Gewichtung: 0,03	Gewichtung: 0,03	Gewichtung: 0,29	Gewichtung: 0,14	Gewichtung: 0,30	Gewichtung: 0,15	Gewichtung: 0,06
Maßnahme 1:							
Öffentlichkeitsarbeit im Umgang mit TW	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig			0,0 0,20				
Nutzen langfristig			1,0 0,30				
Beitrag zum Klimaschutz			2,0 0,30				
Resilienz (langf.anpassbar)			1,0 0,10				
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)			0,0 0,10				
Bewertung: 0,29	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**1,0 1,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**
Maßnahme 2:							
Regenwassernutzung	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig			1,0 0,20				
Nutzen langfristig			2,0 0,30				
Beitrag zum Klimaschutz			2,0 0,30				
Resilienz (langf.anpassbar)			1,0 0,10				
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)			0,0 0,10				
Bewertung: 0,43	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**1,5 1,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**
Maßnahme 3:							
2-ten Polder bauen	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig				0,0 0,00			
Nutzen langfristig				3,0 0,20			
Beitrag zum Klimaschutz				0,0 0,00			
Resilienz (langf.anpassbar)				1,0 0,10			
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)				-3,0 0,70			
Bewertung: -0,19	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**-1,4 1,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**
Maßnahme 4:							
Speicher für NW-Aufhöhung bauen	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig					0,0 0,00		
Nutzen langfristig					3,0 0,20		
Beitrag zum Klimaschutz					0,0 0,00		
Resilienz (langf.anpassbar)					1,0 0,10		
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)					-3,0 0,70		
Bewertung: -0,42	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**-1,4 1,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**
Maßnahme 5:							
Einleitungsgrenzwerte Wasser_Temp anpassen	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig						1,0 0,25	
Nutzen langfristig						3,0 0,20	
Beitrag zum Klimaschutz						3,0 0,05	
Resilienz (langf.anpassbar)						3,0 0,20	
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)						-3,0 0,30	
Bewertung: 0,11	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,7 1,00**	**0,0 0,00**
Maßnahme 6:							
Düngemanagement anpassen	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.	Gew.
Nutzen kurz/mittelfristig						3,0 0,25	
Nutzen langfristig						3,0 0,20	
Beitrag zum Klimaschutz						3,0 0,05	
Resilienz (langf.anpassbar)						1,0 0,20	
Nutzungskonflikte (Umsetzbarkeit)						-1,0 0,30	
Bewertung: 0,22	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**0,0 0,00**	**1,4 1,00**	**0,0 0,00**

Bewertung: **+3 (äußerst gut)**, +2 (sehr gut), +1 (gut), **0 (zufriedenstellend)**, -1 (schlecht), -2 (sehr schlecht), **-3 (äußerst schlecht)**

Abbildung 111: Maßnahmenbewertung Obere Iller

Übersicht Zustandsbewertung

Zustandsbewertung	Energieerzeuger Wasserkraftanlagen	Wasserversorgung Brauchwasser aus GW	Wasserversorgung Trinkwasser aus GW	Hochwasserschutz Hochwasserschutz	Gewässerzustand Gewässerzustand allgemein	Gewässerzustand Naturschutzsicht-Fischerei	Gewässerzustand Abwassereinleitung aus Klär
W-A1B (fe)							
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-2,4	0,0	1,2	-0,6	-1,2	-3,0	-2,9
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-2,5	-0,1	1,2	0,5	-2,8	-3,0	-3,0
W-A1B (tr)							
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-0,9	0,0	1,4	-0,8	-0,8	-3,0	0,0
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-2,4	-0,1	0,9	-0,3	-3,0	-3,0	-3,0
W-A2 (fe)							
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-2,2	0,0	1,8	-0,2	-1,1	-3,0	-2,4
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-2,5	-0,2	0,8	2,4	-2,9	-3,0	-3,0
W-A2 (tr)							
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	-0,1	0,1	1,8	-1,1	-0,9	-3,0	-1,7
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-2,4	-0,2	0,3	1,1	-2,7	-3,0	-3,0
W-B1 (fe)							
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	0,8	0,2	1,6	-1,4	-0,3	-3,0	-1,7
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-2,4	-0,2	1,4	1,8	-3,0	-3,0	-3,0
W-B1 (tr)							
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	0,3	0,2	1,6	-0,6	-0,3	-3,0	-1,4
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-2,5	-0,1	0,9	-0,8	-3,0	-3,0	-3,0
R-A1B							
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	1,7	0,3	1,0	-1,1	-2,8	-3,0	-1,0
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-2,3	0,0	0,6	-0,7	-2,2	-3,0	-3,0
R-A2							
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	0,2	0,1	2,0	0,3	-2,3	-3,0	-1,8
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-2,4	-0,1	1,2	-1,3	-3,0	-3,0	-3,0
R-B1							
Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	2,8	0,4	2,6	-1,3	-0,2	-3,0	0,0
Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-0,6	0,2	1,7	-0,8	-2,6	-3,0	-1,5
9 Szenarien (Mittelwert)							
Mittelwert - Zustand 2021-2050 (ohne Maßnahmen)	0,0	0,1	1,7	-0,8	-1,1	-3,0	-1,4
Mittelwert - Zustand 2071-2100 (ohne Maßnahmen)	-2,2	-0,1	1,0	0,2	-2,8	-3,0	-2,8

Abbildung 112: Übersicht Zustandsbewertung Obere Iller

Entscheidungsunterstützungssystem - WASKlim-EUS

Entwicklung von wasserwirtschaftlichen Anpassungskonzepten an den Klimawandel - EZG Obere Iller

Gewichtung Wasserbedarf - Indikatoren

Trinkwasser aus GW
Inkonsistenzfaktor = 0,12 < 0,1 !

Bewertungskriterien		Gew.	HHQ (J)	NNQ (J)	GWN (J)	0		0	0	Zeilen-summe	Norm. Eig.-Vek. Wi	(Eva*Wi) Ri'	(Ri'/Wi) Xi
HHQ (J)	HHQ (J)	13,5%	1,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,429	0,140	0,427	3,049
NNQ (J)	NNQ (J)	28,1%	3,00	1,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,859	0,286	0,897	3,133
GWN (J)	GWN (J)	58,4%	3,00	3,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,721	0,574	1,853	3,230
		0,0%	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
Anzahl = 3		100,0%	7,00	4,33	1,67	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00		9,41

Xi_max	=	3,14	(Xi_ges/n)
CI	=	0,07	((Xi_max-n)/(n-1))
CR	=	0,12	(CI / Ri)
grenzwertig !			

Bewertung		
3	= 7/1	sehr viel wichtiger
2	= 5/1	viel wichtiger
1	= 3/1	wichtiger
0	= 1/1	gleichwertig

Naturschutzsicht-Fischerei
#DIV/0! < 0,1 !

Bewertungskriterien		Gew.	W-Temp (S)	W-Temp (W)	0		0	0	0	Zeilen-summe Ri	Norm. Eig.-Vek. Wi	(Eva*Wi) Ri'	(Ri'/Wi) Xi
W-Temp (S)	W-Temp (S)	50,0%	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,000	0,500	1,000	2,000
W-Temp (W)	W-Temp (W	50,0%	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,000	0,500	1,000	2,000
		0,0%	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,0%	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
Anzahl = 2		100,0%	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00		4,00

Xi_max	=	2,00	(Xi_ges/n)
CI	=	0,00	((Xi_max-n)/(n-1))
CR	=	#DIV/0!	(CI / Ri)
#			

Bewertung		
3	= 7/1	sehr viel wichtiger
2	= 5/1	viel wichtiger
1	= 3/1	wichtiger
0	= 1/1	gleichwertig

Abwassereinleitung aus Kläranlagen
Inkonsistenzfaktor = 0,00 < 0,1 !

Bewertungskriterien		Gew.	MNQ (S)	UZ ND (S) <	GWN (S)	0		0	0	Zeilen-summe Ri	Norm. Eig.-Vek. Wi	(Eva*Wi) Ri'	(Ri'/Wi) Xi
MNQ (S)	MNQ (S)	58,2%	1,00	2,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,744	0,581	1,747	3,006
UZ ND (S) < MNQ	UZ ND (S) <	30,9%	0,50	1,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,927	0,309	0,929	3,004
GWN (S)	GWN (S)	10,9%	0,20	0,33	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,329	0,110	0,329	3,001
		0,0%	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
Anzahl = 3		100,0%	1,70	3,33	9,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00		9,01

Xi_max	=	3,00	(Xi_ges/n)
CI	=	0,00	((Xi_max-n)/(n-1))
CR	=	0,00	(CI / Ri)
Konsistent !			

Bewertung		
3	= 7/1	sehr viel wichtiger
2	= 5/1	viel wichtiger
1	= 3/1	wichtiger
0	= 1/1	gleichwertig

Gewichtung Wassernutzungen

Gewichtung
Inkonsistenzfaktor = 0,04 < 0,1 !

Bewertungskriterien		Gew.	WKA	Kühlwasser	TW aus GW	HWS	Gew.zustand	Fischerei	AW aus KA	Zeilen-summe Ri	Norm. Eig.-Vek. Wi	(Eva*Wi) Ri'	(Ri'/Wi) Xi
Wasserkraftanlagen	WKA	3,2%	1,00	1,00	0,20	0,20	0,14	0,20	0,33	0,237	0,034	0,241	7,104
Brauchwasser aus GW	Kühlwasser	2,7%	1,00	1,00	0,14	0,14	0,11	0,14	0,33	0,196	0,028	0,198	7,084
Trinkwasser aus GW	TW aus GW	28,7%	5,00	7,00	1,00	3,00	1,00	3,00	5,00	1,968	0,281	2,142	7,617
Hochwasserschutz	HWS	13,8%	5,00	7,00	0,33	1,00	0,33	1,00	3,00	0,981	0,140	1,040	7,427
Gewässerzustand allgemein	Gew.zustan	30,3%	7,00	9,00	1,00	3,00	1,00	3,00	5,00	2,100	0,300	2,266	7,554
Naturschutzsicht-Fischerei	Fischerei	15,4%	5,00	7,00	0,33	1,00	0,33	1,00	5,00	1,082	0,155	1,165	7,534
Abwassereinleitung aus Kläranl	AW aus KA	5,9%	3,00	3,00	0,20	0,33	0,20	0,20	1,00	0,436	0,062	0,442	7,093
		0,0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
Anzahl = 7		100,0%	27,00	35,00	3,21	8,68	3,12	8,54	19,67	7,00	1,00		51,41

Xi_max	=	7,34	(Xi_ges/n)
CI	=	0,06	((Xi_max-n)/(n-1))
CR	=	0,04	(CI / Ri)
Konsistent !			

Bewertung		
3	= 7/1	sehr viel wichtiger
2	= 5/1	viel wichtiger
1	= 3/1	wichtiger
0	= 1/1	gleichwertig

Abbildung 113: Kriteriengewichtung Obere Iller

Wasserdargebot											
2021-2050	**W_A1B_f**	**W_A1B_t**	**W_A2_f**	**W_A2_t**	**W_B1_f**	**W_B1_t**	**R_A1B**	**R_A2**	**R_B1**	**Min**	**Max**
Pegel Kempten	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
MHQ (J)	98,49	100,94	94,40	108,59	109,99	93,33	110,71	106,74	111,37	93,3	111,4
(S)	95,47	97,95	95,15	111,25	110,99	94,16	104,37	105,64	104,51	94,2	111,2
(W)	102,52	109,91	94,96	97,73	104,95	106,27	105,21	89,44	107,91	89,4	109,9
MQ (J)	94,64	97,90	95,34	99,59	104,06	101,15	106,83	100,22	109,91	94,6	109,9
(S)	86,72	93,04	89,21	94,57	97,01	93,49	100,52	97,62	106,08	86,7	106,1
(W)	116,60	111,45	112,36	113,58	123,63	122,57	137,46	112,91	128,57	111,4	137,5
MNQ (J)	99,88	108,62	105,30	106,76	110,95	116,00	126,99	111,55	122,70	99,9	127,0
(S)	79,52	94,22	85,47	91,20	92,46	94,79	98,38	90,51	98,36	79,5	98,4
(W)	109,15	108,83	110,58	110,79	118,88	116,32	132,20	116,71	124,80	108,8	132,2
HHQ (J)	98,04	106,85	80,96	110,23	101,55	90,72	127,77	118,98	175,15	81,0	175,2
(S)	98,04	106,85	80,96	110,23	101,55	90,72	127,77	110,41	136,27	81,0	136,3
(W)	68,64	118,60	74,61	88,49	68,35	99,18	122,53	122,55	180,40	68,4	180,4
NNQ (J)	96,27	101,19	96,79	114,21	99,33	92,06	77,12	125,77	136,55	77,1	136,6
(S)	76,00	104,15	72,93	88,41	81,45	87,29	98,22	94,62	128,39	72,9	128,4
(W)	96,27	101,19	96,79	114,21	99,33	92,06	77,12	125,77	136,55	77,1	136,6
UZ MNQ (J) pro Jahr	62,70	49,84	32,79	42,52	25,82	45,22	126,42	136,46	68,78	25,8	136,5
(S)	8000,00	30,30	7333,33	148,48	2000,00	184,85	6333,33	7000,00	0,00	0,0	8000,0
(W)	52,87	50,92	23,77	36,64	23,36	37,48	122,27	131,88	68,78	23,4	131,9
GWN (J)	97,90	101,61	99,90	102,92	105,19	105,12	109,42	102,08	111,75	97,9	111,8
(S)	84,28	93,80	89,26	95,02	95,37	98,89	103,98	95,70	108,07	84,3	108,1
(W)	114,04	110,17	112,51	111,59	116,82	111,96	118,77	113,06	118,09	110,2	118,8
Luft-Temp in °C (J)	115,19	114,63	115,03	115,92	112,58	113,44	122,15	118,36	115,96	112,6	122,1
(S)	108,62	110,05	109,14	109,54	106,69	107,92	113,37	110,88	108,79	106,7	113,4
(W)	219,83	193,58	208,84	225,90	206,33	208,48	6576,32	5617,16	5380,85	193,6	6576,3
W_Temp (J)	115,19	114,63	115,03	115,92	112,58	113,44	122,15	118,36	115,96	112,6	122,1
(S)	108,62	110,05	109,14	109,54	106,69	107,92	113,37	110,88	108,79	106,7	113,4
(W)	219,83	193,58	208,84	225,90	206,33	208,48	6576,32	5617,16	5380,85	193,6	6576,3
Niederschlag (J)	96,54	99,37	96,88	100,81	103,07	101,11	105,66	102,20	107,36	96,5	107,4
(S)	90,24	95,18	92,97	97,36	98,69	97,64	106,40	106,86	108,65	90,2	108,6
(W)	103,34	104,14	101,10	104,74	107,79	105,07	105,03	98,18	106,25	98,2	107,8
2071-2100											
MHQ (J)	89,14	91,32	76,50	80,39	86,95	103,16	98,58	100,37	109,96	76,5	110,0
(S)	70,02	67,30	66,88	72,82	72,68	81,70	76,73	87,63	98,86	66,9	98,9
(W)	131,52	137,47	110,78	117,79	121,98	133,75	140,32	127,44	118,75	110,8	140,3
MQ (J)	85,05	86,09	79,52	83,38	83,48	86,57	89,40	93,87	98,33	79,5	98,3
(S)	63,40	61,98	60,81	64,57	63,17	67,57	66,98	74,93	85,14	60,8	85,1
(W)	145,18	153,39	131,49	135,91	139,87	139,60	198,80	186,31	162,66	131,5	198,8
MNQ (J)	95,86	104,13	93,18	101,21	96,93	96,31	112,38	101,63	128,91	93,2	128,9
(S)	72,51	74,92	66,56	72,19	70,76	72,75	67,19	62,14	96,27	62,1	96,3
(W)	124,16	130,74	114,22	114,42	129,30	115,80	152,39	135,15	145,01	114,2	152,4
HHQ (J)	80,28	115,28	64,43	87,00	81,39	103,26	180,85	137,06	145,87	64,4	180,8
(S)	66,20	78,19	57,35	87,00	81,39	103,26	111,76	99,69	116,66	57,3	116,7
(W)	117,46	170,00	94,27	112,71	104,46	131,99	186,26	141,16	150,23	94,3	186,3
NNQ (J)	87,99	103,29	86,15	72,52	101,97	99,81	86,46	107,86	109,73	72,5	109,7
(S)	57,57	84,49	56,37	54,63	67,18	79,93	59,38	74,09	85,73	54,6	85,7
(W)	100,43	103,29	113,37	102,34	101,97	99,81	124,31	131,00	109,73	99,8	131,0
UZ MNQ (J) pro Jahr	77,05	47,13	72,95	75,16	53,69	73,73	74,24	91,70	36,03	36,0	91,7
(S)	57000,00	590,91	48333,33	833,33	35666,67	921,21	80666,67	91333,33	9666,67	590,9	91333,3
(W)	6,97	16,97	13,52	33,11	9,84	26,72	21,40	31,88	29,69	7,0	33,1
GW (J)	93,28	94,50	88,75	91,25	91,70	93,37	98,50	97,25	105,32	88,8	105,3
(S)	67,20	67,77	61,61	64,71	69,00	65,60	62,13	58,38	83,44	58,4	83,4
(W)	124,19	123,83	120,92	120,39	118,60	123,86	161,04	164,09	142,94	118,6	164,1
Luft-Temp in °C (J)	136,81	140,64	134,60	134,06	131,47	134,76	173,58	168,95	147,22	131,5	173,6
(S)	117,59	121,50	117,38	118,25	117,12	119,10	139,93	137,83	125,65	117,1	139,9
(W)	443,33	470,91	409,23	406,91	360,46	404,87	24947,97	23075,04	16020,77	360,5	24948,0
W_Temp (J)	136,81	140,64	134,60	134,06	131,47	134,76	173,58	168,95	147,22	131,5	173,6
(S)	117,59	121,50	117,38	118,25	117,12	119,10	139,93	137,83	125,65	117,1	139,9
(W)	443,33	470,91	409,23	406,91	360,46	404,87	24947,97	23075,04	16020,77	360,5	24948,0
Niederschlag (J)	89,86	92,07	85,70	89,54	88,51	92,00	93,38	100,16	99,56	85,7	100,2
(S)	81,52	82,64	76,39	81,79	81,57	81,44	80,97	89,48	96,57	76,4	96,6
(W)	98,86	102,81	95,75	98,36	95,98	104,02	104,10	109,39	102,15	95,8	109,4
Wasserbedarf											
2021-2050											
Bevölkerungsentwicklung	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,4	88,4
Luft-Temp in °C (J)	115,19	114,63	115,03	115,92	112,58	113,44	122,15	118,36	115,96	112,6	122,1
(S)	108,62	110,05	109,14	109,54	106,69	107,92	113,37	110,88	108,79	106,7	113,4
(W)	219,83	193,58	208,84	225,90	206,33	208,48	6576,32	5617,16	5380,85	193,6	6576,3
2071-2100											
Bevölkerungsentwicklung	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,38	88,4	88,4
Luft-Temp in °C (J)	136,81	140,64	134,60	134,06	131,47	134,76	173,58	168,95	147,22	131,5	173,6
(S)	117,59	121,50	117,38	118,25	117,12	119,10	139,93	137,83	125,65	117,1	139,9
(W)	443,33	470,91	409,23	406,91	360,46	404,87	24947,97	23075,04	16020,77	360,5	24948,0

Abbildung 114: Übersicht Klimaszenarien Obere Iller