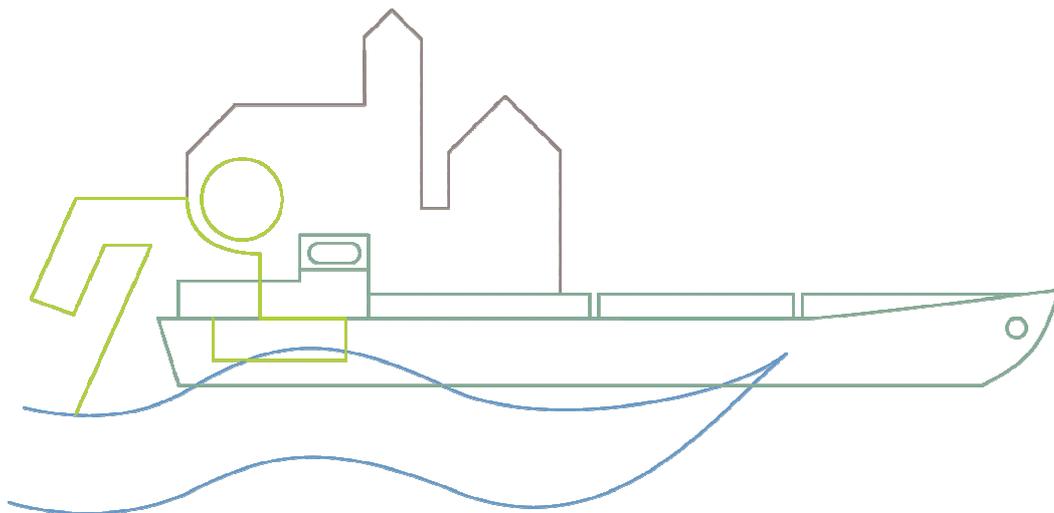


BfG-1777

BfG-Bericht

Wasserwirtschaftliche Verhältnisse des
Projektes 17 für den Bereich des WNA Berlin

6. Fassung, 2. Teilbericht



BfG-1777

BfG-Bericht

Wasserwirtschaftliche Verhältnisse des Projektes 17 für den Bereich des WNA Berlin 6. Fassung, 2. Teilbericht

Auftraggeber: Wasserstraßen-Neubauamt Berlin
Auftrag vom: 07.03.2011 (BfG)

BfG-Auftrags-Nr: M39610204021

Bearbeiter in der BfG:

Dr.-Ing. Anna-Dorothea Ebner von Eschenbach (Leitung des Gesamtprojektes)
Diplom-Hydrologe Jochen Hohenrainer

Bearbeiter bei DHI-WASY, Niederlassung Dresden

Dr.-Ing. Michael Kaltofen (Projektleitung)
Diplom-Hydrologe Fabian Müller
Diplom-Hydrologin Martina Schramm

Koblenz/ Dresden, 10. Dezember 2013

*Vervielfältigungen oder Veröffentlichungen des Berichts - auch auszugsweise -
bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BfG.*

Die Untersuchungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt im Havel-Spreegebiet unter Berücksichtigung der Wasserbewirtschaftung wurden durch DHI-WASY, Niederlassung Dresden im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) im Zeitraum von Dezember 2010 bis Juni 2013 (M2/Z1/064.31-009/10) durchgeführt. Die fachliche Begleitung des Auftrages in der BfG übernahm das Sachgebiet Wasserbewirtschaftung im Referat Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen in der Abteilung Quantitative Gewässerkunde.

Der Abschlussbericht von DHI-WASY (2013) bildete ebenso die Grundlage für diesen Bericht (BfG-1777) wie die weiterführenden Analysen der Bundesanstalt für Gewässerkunde zu den Wassernutzungsszenarien und zu den simulierten Dargeboten.

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	14
Abkürzungsverzeichnis	20
Kapitel 1 Zusammenfassung.....	23
1.1 Vorgehensweise	23
1.2 Auswahl der Klimaprojektionen	24
1.3 Festlegung von fünf Szenarien zu Wassernutzungsänderungen	25
1.4 Auswertungskonzept und Ergebnisdarstellung	26
1.5 Kernaussage	33
Kapitel 2 Veranlassung und Zielstellung.....	35
2.1 Veranlassung und Schnittstelle zum 1. Teilbericht.....	35
2.2 Gliederung und methodisches Vorgehen im 2. Teilbericht	37
Kapitel 3 Stochastisches meteorologisches Modell	39
3.1 Zielstellung	39
3.2 Meteorologie für die Referenz und für die Zukunft.....	40
3.2.1 Datengrundlagen	40
3.2.1.1 Beobachtungen bzw. Simulationen für die Referenz (Bezugszeitspanne)	40
3.2.1.2 Klimaprojektionen für die Zukunft	40
3.2.2 Definition von Zeit- und Raumstruktur.....	45
3.2.2.1 Zeitstruktur.....	45
3.2.2.2 Raumstruktur.....	46
3.2.3 Meteorologische Prozessgrößen.....	47
3.2.3.1 Niederschlagsdargebot	47
3.2.3.2 Potenzielle Verdunstung nach TURC/ IVANOV	51
3.2.3.3 Relative Luftfeuchte und Lufttemperatur.....	52
3.3 Stochastische Simulation der meteorologischen Prozesse.....	54
3.3.1 Modellstruktur.....	54
3.3.2 Überprüfung der Simulationsgüte	61
3.4 Hydrologie für die Referenz	64

3.5	Stochastische Simulation der hydrologischen Prozesse.....	64
Kapitel 4	Wasserhaushaltsmodell zur Simulation des quasi natürlichen Dargebotes	69
4.1	Zielstellung	69
4.2	Raumstruktur.....	70
4.3	Wasserhaushaltsmodell EGMO-D.....	74
4.4	Datengrundlagen	76
4.4.1	Geographische Daten für den Modellaufbau.....	76
4.4.2	Verdunstungsdaten von Seenflächen	77
4.4.3	Abflussdaten und Nutzerdaten zur Kalibrierung/ Validierung des hydrologischen Modells.....	78
4.5	Modellkalibrierung und -validierung	83
4.5.1	Kalibrierstrategie.....	83
4.5.2	Gütekriterien und Ergebnisdarstellung.....	89
4.5.2.1	Gütekriterien	89
4.5.2.2	Kalibrierung / Validierung in der oberen Havel.....	90
4.5.2.3	Kalibrierung / Validierung in den Berliner Teilgebieten.....	95
4.5.3	Zusammenfassung.....	97
4.6	Verbesserte Kalibrierung am Pegel Bautzen-Weite Bleiche / Spree	102
4.7	Anpassung der Parametersätze bezüglich der Grundwasserabsenkung ...	103
Kapitel 5	Bewirtschaftungsmodell zur Simulation des bewirtschafteten Dargebots.....	105
5.1	Verknüpfung der gebietsspezifischen Modellbausteine zum Bewirtschaftungsmodell WBalMo Havel-Spree.....	105
5.2	Beschreibung der Modellbausteine und der Bewirtschaftungsgrundsätze sowie der notwendigen modelltechnischen Anpassungen	109
5.2.1	Spreegebiet.....	109
5.2.1.1	WBalMo Spree/ Schwarze Elster	109
5.2.1.2	WBalMo Berlin.....	110
5.2.2	WBalMo Havel (ohne Spreegebiet)	111
5.2.3	WBalMo für die Havelnebenzuflüsse	112
5.3	Szenarien der Wassernutzung für die Zukunft.....	113
5.3.1	Grundlegendes zur den Daten der Wassernutzung.....	113
5.3.2	Wasserversorgung und Abwasserentsorgung für Berlin	115
5.3.3	Kraftwerke	122
5.3.4	Schleusen	125
5.3.5	Tagebaue.....	131

5.3.6	Überblicksartige Zusammenfassung zu den Wassernutzungsszenarien.....	131
5.4	Zeitstruktur & Auswertungskonzept.....	132
5.5	Simulationsgüte.....	137
5.6	Ergebnisdarstellung.....	139
5.6.1	Auflistung der Fragestellungen, die in Abschnitt 5.6 diskutiert werden.....	139
5.6.2	Wie verändern sich die bewirtschafteten Abflüsse im Havelgebiet in naher und ferner Zukunft unter Berücksichtigung verschiedener Wassernutzungsszenarien?.....	140
5.6.2.1	Auswertungskonzept für Abschnitt 5.6.2.....	140
5.6.2.2	Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse in der Oberen Havel-Wasserstraße.....	141
5.6.2.3	Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse in der Spree-Oder-Wasserstraße (bzw. in der Spree).....	144
5.6.2.4	Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse in der Unteren Havel-Wasserstraße.....	152
5.6.2.5	Zusammenfassung: Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse infolge der Wassernutzungsszenarien (mit Wasserbewirtschaftung, ohne Klimawandel).....	159
5.6.3	Wie verändern sich die bewirtschafteten Abflüsse im Havel- und Spreegebiet in naher und ferner Zukunft unter Berücksichtigung verschiedener Wassernutzungsszenarien und des Klimawandels?.....	161
5.6.3.1	Auswertungskonzept für Abschnitt 5.6.3.....	161
5.6.3.2	Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse der Zuflusspegel zur Haltung Brandenburg sowie des Pegels Ketzin in der nahen Zukunft (2018-2052).....	162
5.6.3.3	Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse der Zuflusspegel zur Haltung Brandenburg sowie des Pegels Ketzin in der fernen Zukunft.....	172
5.6.3.4	Saisonalen Betrachtungen zum Pegel Ketzin.....	182
5.6.3.5	Zusammenfassung: Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse der Zuflusspegel zur Haltung Brandenburg in der nahen und fernen Zukunft (mit Bewirtschaftung, mit Klimawandel).....	185
5.6.4	Welchen Effekt können der Klimawandel und die gewählten Wassernutzungsszenarien auf ausgewählte Nutzer haben?.....	188
5.6.4.1	Beispiel: Schleusenstandorte.....	188
5.6.4.2	Beispiel: Heizkraftwerke.....	193
Literatur	197
Anhang A	Simulationsteilgebiete in den einzelnen WBalMo-Bausteinen und Zuordnung zu den meteorologischen Teilgebieten.....	201
Anhang B	Hydrografische Flächenparameter.....	208

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb. 1.1 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten Abflüssen an ausgewählten Pegeln im Havel-Spreengebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Dargestellt sind die Ergebnisse für vier Pegel. Die Ergebnisse basieren auf unterschiedlichen Wassernutzungsszenarien und verschiedenen Klimaszenarien. Die französische Modellkette unterstützt in der nahen Zukunft den positiven Effekt der gewählten Wassernutzungsszenarien im Mittel- und Niedrigwasserbereich. Die englische Modellkette wirkt diesem Effekt in der nahen Zukunft entgegen. In der fernen Zukunft führen sowohl die englische als auch die französische Modellkette zu einem Rückgang der Mittel- und Niedrigwasserabflüsse. Dem positiven Effekt durch die gewählten Wassernutzungsszenarien wird damit entgegen gewirkt. Der Einfluss der deutschen Modellkette ist (insbesondere am Pegel Ketzin) so gering, dass die positiven Effekte durch die gewählten Bewirtschaftungsszenarien weder gemindert noch gesteigert werden. Zu erkennen ist weiterhin die dämpfende Wirkung der Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Berlin und in der Oberen Havel-Wasserstraße auf den Abfluss in Ketzin. 28
- Abb. 1.2 Prozentuale Änderung der Quantile der Abflussdauerlinie (Unterschreitungswahrscheinlichkeiten) für den Pegel Ketzin in der nahen (links) und fernen (rechts) Zukunft bezogen auf den Referenzlauf (Status Quo). Dargestellt ist der Wertebereich von 10 bis 90 % der Unterschreitungswahrscheinlichkeiten. Da in den Extrembereichen der Abflussdauerlinie, d.h. bei den niedrigsten und höchsten Unterschreitungswahrscheinlichkeiten Abweichungen zwischen unterschiedlichen Zeitfenstern (z.B. Status Quo und nahe Zukunft) allein aufgrund methodisch bedingter Unterschiede in den Reihenlängen (unterschiedliche Anzahl von Jahren) auftreten können, wurden die oberen und unteren 10 % der Dauerlinie nicht betrachtet. Die dargestellten Ergebnisse basieren auf unterschiedlichen Wassernutzungsszenarien und verschiedenen Klimaszenarien. Es wird deutlich, dass in der nahen Zukunft die größten Änderungen in den unteren Quantilen zu erwarten sind, wobei die Bewirtschaftungsmaßnahmen sowohl allein als auch im Zusammenspiel mit der deutschen bzw. französischen Modellkette zu einer Verbesserung in diesem Abflussbereich führen werden, wohingegen die englische Modellkette auf eine Verschärfung der Situation hindeutet. In der fernen Zukunft bewirkt die Wasserbewirtschaftung allein sowie in Kombination mit der deutschen Modellkette eher geringe bzw. moderate Änderungen von maximal ca. -5 bis +15 %. Deutliche Änderungen vor allem in den niedrigeren Quantilen mit einem Rückgang von bis zu -60 % projizieren dagegen die französische und die englische Modellkette. 32
- Abb. 2.1 Darstellung der Modellkette und ihrer einzelnen Elemente sowie Auflistung der Eingangsdaten bzw. der Szenarien für Klimawandel und Wassernutzungsänderungen für die Gegenwart und für die Zukunft. Angabe der entsprechenden Gliederungspunkte im Bericht. Die Modellkette besteht aus drei einzelnen Modellbausteinen..... 38

- Abb. 3.1 Modellketten von KLIWAS, die für die Untersuchungen im Elbegebiet verwendet werden. Sichtbar wird der Multi-Modell-Ansatz. Alle (weiß und blau) dargestellten Elemente bzw. Verfahren wurden untersucht bzw. angewendet. Die weiß markierten Klimaprojektionen wurden nach ihrer Überprüfung aufgrund der starken Abweichungen zwischen der Simulation der Gegenwart und der Beobachtung verworfen. LARSIM_ME befindet sich noch in der Entwicklung. Die rot umrandeten Modellketten (3 Klimaprojektionen) wurden im Rahmen des vorliegenden Projektes verwendet und stellen eine Teilmenge der in KLIWAS-Elbe verwendeten Modellketten (blaue Markierung) dar 42
- Abb. 3.2 Änderungssignale des Niedrigwasserkennwertes NM7Q auf Basis von 20 (nahe Zukunft, 2021-2050) bzw. 17 (ferne Zukunft, 2071-2100) Abflussprojektionen (HBV-D, Verdunstungsberechnung nur Temperaturbasiert). Einordnung der ausgewählten drei Modellketten aus Tabelle 2.1 (auf die ersten 6 Zeichen der Abkürzung wurde verzichtet). * Einige Klimaprojektionen decken nicht die vollständige Zeitspanne bis 2100 ab, sondern enden bereits 2099. Für diese Projektionen wurde die 30jährige Zeitspanne in der fernen Zukunft entsprechend angepasst (2070-2099). .. 43
- Abb. 3.3 Emissionsszenarien (4. IPCC-Bericht (2007)). Entwicklung des Klimas in Abhängigkeit von der Entwicklung der Treibhausgasemissionen und –konzentrationen. A1B (hier gewählt) symbolisiert eine mittlere Treibhausgasemission bis 2100. SRES ist die Abkürzung von Special Report on Emissions Scenarios und stellt somit die publizierte Literatur dar, in der die Emissionsszenarien beschrieben werden (SRES, 2000). 44
- Abb. 3.4 Einteilung des Untersuchungsgebietes in meteorologische Teilgebiete. Es wurden 28 Teilgebiete festgelegt. Die Ziffer entspricht der Nummer des Teilgebietes. EZG ist die Abkürzung für Einzugsgebiet. 47
- Abb. 3.5 Prinzipskizze der Schneemodellierung. Die Beispielwerte stammen aus dem Modell HBV-D, Teilgebiet Rathenow und wurden auf das gesamte Havel-Spreengebiet übertragen..... 49
- Abb. 3.6 Vergleich der vieljährig gemittelten Gebietswerte der korrigierten Niederschlagsjahressummen, die auf der Basis des HYRAS-Datensatzes und auf der Basis von Stationswerten des DWD im Spree/ Schwarze Elstergebiet ermittelt wurden. Gute Übereinstimmung ist zu erkennen. Geringe Abweichungen resultieren aus unterschiedlichen Methodiken zur Ermittlung der Gebietsmittel und der abflusswirksamen Niederschläge... 50
- Abb. 3.7 Vergleich der vieljährig gemittelten Gebietswerte der potenziellen Verdunstungssummen nach TURC/ IVANOV (zum einen ermittelt auf der Basis des HYRAS-Datensatzes und zum anderen ermittelt auf der Basis von Stationswerten des DWD im Spree/ Schwarze Elstergebiet). Verdunstungswerte im Spree/ Schwarze Elstergebiet (Teilgebiete 1 bis 18) variieren nicht so stark wie die Niederschlagswerte. Abweichungen sind erkennbar, liegen jedoch im Bereich von -2 bis + 2 %. 52
- Abb. 3.8 Box-Plot der Gebietsmittelgrößen Niederschlag und Verdunstung für die Haltung Brandenburg. Die Eingangsdaten umfassen die Zeitspanne 1951-2006, also 55 Jahre. Die Simulationen umfassen jeweils 30000 Jahre.

	Maximum der Ordinaten entsprechend der oberen Grenzwerte in Tabelle 3.6. Der Jahresgang in der Simulation (SIM) entspricht dem Jahresgang der Beobachtung (BEO). In der Simulation (SIM) sind extremere Ereignisse generiert worden als in der Beobachtung (BEO) identifiziert wurden (Punkte in der Darstellung). Die hohe Anzahl an Extremwerten in der Simulation (SIM) liegt in dem Stichprobenumfang (30000 Jahre) begründet. 62
Abb. 3.9	Kolmogorov-Smirnov-Test p-Werte für die Referenz (1951-2006), für die nahe Zukunft (2021-2050) und für die ferne Zukunft (2071-2100), Klimaszenario: C20-A1B-ARP-ALD51, Prozessgröße Niederschlagsdargebot. Es ist zu erkennen, dass alle p-Werte $>$ als das Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ sind, was bedeutet, dass keine statistisch signifikanten Unterschiede in den Verteilungen beider Reihen feststellbar waren (Annahme der Nullhypothese). 63
Abb. 3.10	Vergleich der Unterschreitungswahrscheinlichkeit der Eingangswerte bezüglich der Eingangsreihe und der stochastisch simulierten Reihe für den Grundwasserzufluss für den Grenzgraben. Die maximalen Differenzen zwischen den simulierten und stochastisch generierten Eingangsreihen betragen ca. $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ und $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$. In der stochastisch simulierten Reihe stehen dem Elbe-Havel-Kanal ca. $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ mehr Wasser zur Verfügung, was aufgrund der geringen Menge zu vernachlässigen ist. 66
Abb. 4.1	Gebietsgliederung für die Wasserhaushaltsmodellierung mit dem Modell EGMO-D. Die Gliederung entstand unter Berücksichtigung der Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell. Wasserhaushaltsmodelle mussten nur für einzelne Teilgebiete (Berliner Spreegebiet, in der Oberen Havel bis Borgsdorf, Teile der Nuthe, Plane, Buckau, Dosse und des Elbe-Havel-Kanal) aufgebaut werden. 71
Abb. 4.2	Prinzipskizze des Wasserhaushaltsmodell EGMO-D. Mehrkomponentenmodell. Abflussbildung und -konzentration werden durch 10 Modellparameter beschrieben (meteorologische Eingangsgrößen: Korrigierter Niederschlag nach Richter (1995), potenzielle Verdunstung nach Turc/ Ivanov) 75
Abb. 4.3	Scatterplot der potenziellen Verdunstung (aus den Beobachtungen des HYRAS-Datensatzes) und der Seenverdunstung vom DWD. Die potenzielle Verdunstung nach Turc/ Ivanov (aus dem HYRAS-Datensatz) unterschätzt mit ca. 10% die Verdunstung von den Wasserflächen. 78
Abb. 4.4	Kalibrierungsstrategie. Der Buchstabe P symbolisiert eine Abflussreihe. Die Daten sind verfügbar, wenn der Buchstabe farblich hervor gehoben ist. NV symbolisieren anthropogene Nutzungen (Nutzungsverluste), die den unterhalb liegenden Pegel jeweils beeinflussen können. Für alle Grafiken gilt, wenn das Symbol grau dargestellt ist, dann findet es keine Verwendung in der entsprechenden Kalibrier- und Validiermethode. Die Datenverfügbarkeit und der Grad der anthropogenen Beeinflussung der Einzugsgebiete im Havelgebiet ist so heterogen, dass fünf verschiedene Methoden zur Kalibrierung/ Validierung herangezogen werden mussten. 84

Abb. 4.5	Darstellung der ausgewählter Pegel zum Kalibrieren/ Validieren und zur Ergebnisauswertung. Die hellgrün unterlegten Pegel wurden zum Kalibrieren/ Validieren verwendet. Die Konzentration der Kalibrier- und Validierpegel im Havel- und unteren Spreegebiet resultiert aus der Tatsache, dass nur für diese Gebiete Wasserhaushaltsmodelle aufgebaut wurden. Die Wasserhaushaltsmodelle für die Spree lagen vor. Hier erfolgte ein Vergleich der simulierten Ganglinien mit unterschiedlichen Niederschlagsbelastungen (Stationsdaten des DWD, HYRAS-Datensatz). Am Pegel Bautzen-Weite Bleiche erfolgte eine Nachkalibrierung. Detaillierte Informationen dazu im Abschnitt 4.6. Anhand der braun unterlegten Pegel erfolgt die Ergebnisdarstellung in Abschnitt 5.6.....	88
Abb. 4.6	Simulationsteilgebiete in der Oberen Havel. Beispielhaft ausgewertet wurden die Simulationsteilgebiete 2 Ravensbrück, 301 Pegel Steinhavel und 302 Zwischengebiet Liebenwalde.....	91
Abb. 4.7	Kalibrierung, Validierung des Pegels Ravensbrück (links Gangliniendarstellung, rechts Dauerlinie über den Zeitraum der Validierung und Kalibrierung). Validierung (NSE = 0,70) etwas besser als Kalibrierung (NSE = 0,65). Kalibrierung erfolgte an beobachteten Abflüssen, die anthropogen nicht beeinflusst sind. Befriedigende Modellanpassung im mittleren Abflussbereich. Unterschätzung der Hochwasserbereiche durch das Modell.....	92
Abb. 4.8	Kalibrierung, Validierung des Pegels Steinhavel (links Gangliniendarstellung, rechts Dauerlinie über den Zeitraum der Validierung und Kalibrierung). Validierung (NSE = 0,62) ist etwas schlechter als die Kalibrierung (NSE = 0,66). Kalibrierung erfolgte an beobachteten um Nutzereinflüsse bereinigten Abflüssen. Im Mittel befriedigende Anpassung. Niedrigwasser und Hochwasser werden durch das Modell jedoch unterschätzt.....	93
Abb. 4.9	Kalibrierung, Validierung des Zwischengebietes Liebenwalde (links Gangliniendarstellung, rechts Dauerlinie über den Zeitraum der Validierung und Kalibrierung). Kalibrierung (NSE = 0,76) ist etwas besser als die Kalibrierung (NSE = 0,74). Kalibrierung erfolgte an beobachteten Zwischengebietsabflüssen. Im Mittel befriedigende Anpassung. Niedrigwasser werden durch das Modell überschätzt.....	94
Abb. 4.10	Plausibilisierung der Modellanpassung am Pegel Liebenwalde (oben) und am Pegel Borgsdorf (unten). Eine befriedigende Anpassung ist am Pegel Liebenwalde im Niedrig- und Mittelwasserbereich zu erkennen. Am unterhalb liegenden Pegel Borgsdorf ist eine befriedigende Anpassung im Niedrigwasserbereich und eine leichte Unterschätzung durch das Modell im Mittelwasserbereich zu erkennen.....	95
Abb. 4.11	Kalibrierung, Validierung des Pegels Röntgenthal (links Gangliniendarstellung, rechts Dauerlinie über den Zeitraum der Validierung und Kalibrierung). Kalibrierung (NSE = 0,63) ist schlechter als die Validierung (NSE = 0,78). Kalibrierung erfolgte an quasi natürlichen simulierten Abflüssen aus früheren Wasserhaushaltssimulationen. Im Mittel befriedigende Anpassung.....	96

Abb. 4.12	Plausibilisierung der Modellanpassung am Pegel Bautzen Weite-Bleiche. Die neue Kalibrierung führt zu einer verbesserten Simulation.....	103
Abb. 5.1	Modellverbund zur Simulation der Wasserbewirtschaftung. Die WBalMo-Bausteine Spree/ Schwarze Elster, Berlin, Havel und Havelnebenflüsse werden zu einem Gesamtmodell WBalMo Havel-Spree verknüpft.....	106
Abb. 5.2	Vereinfachte Modellstruktur. Die rot umrandeten Gebiete entsprechen den WBalMo-Bausteinen und die grüne Punkte symbolisieren die Schnittstellen der einzelnen Modelle.	107
Abb. 5.3	Schematische Darstellung des Flussgebietes der Havel. Dargestellt sind die wichtigsten Nebenflüsse, Pegel und Speicher.....	108
Abb. 5.4	Systemskizze Berlin mit Wassernutzern. Dargestellt ist die Lage von verschiedenen Wasserwerken.	115
Abb. 5.5	Prognostizierte Grundwasserfördermenge für drei Varianten Schrumpfung, Basis und Steigerung für unterschiedliche Zeitabschnitte. Die Varianten Schrumpfung und Basis beschreiben im Gegensatz zur Variante Steigerung einen Rückgang der Entnahmemengen bis 2040. Aufgrund der allgemeinen Tendenz des geringeren Wasserverbrauchs in den letzten dreißig Jahren wurde hier den Annahmen in der Variante Basis gefolgt. FRI = Friedrichshagen, STO = Stolpe, BEE = Beelitzhof, TIE = Tiefwerder ...	117
Abb. 5.6	Prognostizierter Grundwasserförderbedarf ausgewählter Wasserwerke aus dem Wasserversorgungskonzept von Berlin (Szenario Basis) für Zeitspanne WBalMo-Periode 3 bis 10, Annahmen entsprechend des Zeithorizontes 2020 und für die Zeitspanne WBalMo-Periode 11 bis 20, Annahme entsprechend des Zeithorizontes 2040. Ein Rückgang der Fördermengen bis zur fernen Zukunft wird deutlich.	118
Abb. 5.7	Systemskizze Berlin mit Wassernutzern. Lage einzelner Kläranlagen....	119
Abb. 5.8	Annahmen zu den Rückleitungsmengen der Kläranlagen für die nahe Zukunft (2020) und für die ferne Zukunft (2040) für ausgewählte Kläranlagen. Die Annahmen zur Entwicklung der Rückleitungsmengen wurden auf indirektem Wege aus dem Wasserversorgungskonzept ermittelt. Ein Rückgang aller Einleitungsmengen wird deutlich bis 2100.	121
Abb. 5.9	Systemskizze Berlin mit Wassernutzern. Lage einzelner Heizkraftwerke	122
Abb. 5.10	Aktualisierung der Kraftwerksentnahmen für die Perioden 1 (2003) bis 2 (2012) entsprechend der Beobachtungsdaten von 1990 bis 2011, mit Ausnahme des Heizkraftwerkes Charlottenburg in den behördlichen Modellen. Fortschreibung der Annahmen für den Status Quo bis 2100 mit Ausnahme des Kraftwerkes Lichterfelde.....	123
Abb. 5.11	Darstellung der Verdunstungsverluste bezogen auf die tatsächliche Entnahme. Deutlich werden die technologiebedingten Unterschieden im Niveau der Verdunstungsverluste. Die Methode im Szenario	

	KRAFTWERK generiert im Kraftwerk Jänschwalde (repräsentativ für Lausitz) höhere Verdunstungsverluste als die Annahme im Szenario BASIS. Im Heizkraftwerk Moabit (repräsentativ für Berliner Raum) drehen sich die Verhältnisse um.	124
Abb. 5.12	Systemskizze Berlin mit Wassernutzern. Lage einzelner Schleusenstandorte.....	125
Abb. 5.13	Aktualisierung der Schleusungswasserbedarfsmengen für die Perioden 1 (2003) bis 2 (2012) für die Schleusenstandorte in Berlin entsprechend der Beobachtungen von 2000 bis 2010. Status Quo wird unverändert bis 2100 fortgeschrieben.....	126
Abb. 5.14	Aktualisierung der Schleusungswasserbedarfsmengen für die Schleusenstandorte nördlich von Berlin (u.a. Müritz-Havel-Wasserstraße, Obere Havel-Wasserstraße, Ruppiner Gewässer) für die Perioden 1 (2003) bis 2 (2012) anhand von Bootszählungen, mittleren Hubhöhen und mittleren Spaltwassermengen von 2000 (2001, 2006) bis 2010. Diese Aktualisierungen beinhalten die Szenarien BASIS, KRAFTWERK und TAGEBAU und werden vom Status Quo unverändert in die Zukunft bis 2100 fortgeschrieben.....	128
Abb. 5.15	Schleusungswasserbedarfsmengen für die Schleusen Wolfsbruch und Ruhlsdorf in der Gegenwart (2000 bis 2010) sowie in den Varianten WIN 1 und WIN 2. Die Annahmen in den WIN-Varianten sind höher als die Beobachtungen.....	129
Abb. 5.16	Schleusungswasserbedarfsmengen für die Schleusen Bischofswerder, Eichhorst, Malz und Ruhlsdorf in der Gegenwart (2000 bis 2010) sowie in den Varianten WIN 1 und WIN 2. Die Annahmen in der WIN 1 - Variante führt zu einer Reduzierung des Wasserdargebots in der Scheitelhaltung des Oder-Havel-Kanals.	130
Abb. 5.17	Leicht veränderte Abb. 5.3 aus Abschnitt 5.1. Veränderungen (braun markiert sind die ausgewerteten Pegel, zusätzliche Angabe der ausgewerteten Schleusenstandorte und der Lage der ausgewerteten Heizkraftwerke) erhöhen durch die kompakte Darstellung das Leseverständnis.....	136
Abb. 5.18	Gegenüberstellung von beobachteten und simulierten Abflüssen an den Pegeln Borgsdorf, Sophienwerder, Ketzin und Rathenow zur Einschätzung der Modellgüte. Eine befriedigende bis gute Anpassung ist erkennbar...	138
Abb. 5.19	Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete Abflüsse (MQ (oben links) und MNQ (unten links)) am Pegel Borgsdorf im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft. Diese Abflüsse werden in der rechten Abbildung jeweils auf den Status Quo bezogen. Dargestellt sind die prozentualen Änderungen. Die Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsvarianten sind sehr gering.	142
Abb. 5.20	Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete Abflüsse (MQ (links)) an ausgewählten Spree-Pegeln im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft. Diese Abflüsse werden als prozentuale	

	Änderung bezogen auf den Status Quo in der rechten Abbildungen dargestellt. Anstieg der mittleren Abflüsse in der nahen Zukunft, außer am Pegel Kleinmachnow. Rückgang der mittleren Abflüsse in der fernen Zukunft.....	146
Abb. 5.21	Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete niedrige Abflüsse (MNQ) an ausgewählten Spree-Pegeln im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft. Diese Abflüsse werden als prozentuale Änderung bezogen auf den Status Quo in der rechten Abbildungen dargestellt. Starker Anstieg der mittleren Niedrigwasserabflüsse in der nahen Zukunft, außer am Pegel Kleinmachnow. Leichter Anstieg der mittleren Niedrigwasserabflüsse in der fernen Zukunft, außer am Pegel Kleinmachnow.	148
Abb. 5.22	Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete Abflüsse (MQ) an ausgewählten Havel-Pegeln im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft. Diese Abflüsse werden als prozentuale Änderung jeweils bezogen auf den Status Quo in den rechten Abbildungen dargestellt. Überlagerung und Dämpfung der Bewirtschaftungseffekte aus der Spree und oberen Havel. Geringe Veränderungen im MQ-Bereich. .	154
Abb. 5.23	Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete niedrige Abflüsse (MNQ) an ausgewählten Havel-Pegeln im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft. Diese Abflüsse werden als prozentuale Änderung bezogen auf den Status Quo in den rechten Abbildungen dargestellt. Überlagerung und Dämpfung der Bewirtschaftungseffekte aus der Spree und oberen Havel. Anstieg der MNQ in der nahen und ferne Zukunft, wobei der Anstieg in der fernen Zukunft etwas geringer ist als in der nahen Zukunft.	155
Abb. 5.24	Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete monatliche Abflüsse am Pegel Ketzin im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft unter Annahme des Wassernutzungsszenarios BASIS (linke obere Abbildung). Diese Abflüsse werden als prozentuale Änderung bezogen auf den Status Quo in der rechten oberen Abbildungen dargestellt. Zusätzlich dargestellt sind die Überschreitungswahrscheinlichkeiten bei einem Abflussschwellenwert von 10 m ³ /s (untere linke Abbildung) und Dauerlinien für die drei Zeiträume (untere rechte Abbildung). Nur geringe Unterschiede sind zwischen der fernen und nahen Zukunft im Bewirtschaftungsszenario BASIS erkennbar. Die Unterschiede zeigen sich in den Sommermonaten, in denen es durch die Bewirtschaftung zu einer Verbesserung der Abflussverhältnisse in der nahen und fernen Zukunft kommt.	158
Abb. 5.25	Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete monatliche Abflüsse und Niedrigwasserabflüsse für den Spreezufluss zu Berlin und für den Pegel Ketzin in der nahen und fernen Zukunft bezogen auf den Status Quo. Es liegen die fünf gewählten Wassernutzungsszenarien zu Grunde. Eine Klimaveränderung wird nicht angenommen. Fast keine Änderung bzw. ein leichter Anstieg der mittleren Abflüsse in der nahen Zukunft ist zu erkennen. Ein Anstieg der Niedrigwasserabflüsse in der nahen Zukunft ist aufgrund der zusätzlichen Speicher in der Lausitz und der Sumpfungswässer zu erkennen. In der fernen Zukunft reduzieren sich	

- die mittleren Abflüsse leicht. Die Niedrigwasserabflüsse steigen in der fernen Zukunft noch an, jedoch nicht so stark wie die Niedrigwasserabflüsse in der nahen Zukunft. Das liegt darin begründet, dass die Sumpfungswässer zur Aufhöhung der Spree nicht mehr zu Verfügung stehen. Weiterhin ist die dämpfende Wirkung der Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Berlin zu erkennen..... 159
- Abb. 5.26 Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittleren bewirtschaftete Abflüsse an verschiedenen Pegeln in der nahen Zukunft unter Annahme verschiedener Wassernutzungsszenarios und entsprechende prozentuale Änderung des MQ bezogen auf den Status Quo. Die deutsche Modellkette führt zu fast keiner Veränderung, die englische Modellkette führt zu einem Rückgang und die französische Modellkette zu einem Anstieg der mittleren Abflüsse in der nahen Zukunft bezogen auf den Status Quo. 164
- Abb. 5.27 Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete Niedrigwasserabflüsse an ausgewählten Pegeln in der nahen Zukunft unter Annahme verschiedener Wassernutzungsszenarien und Klimawandelprojektionen sowie entsprechende prozentuale Änderung des MNQ bezogen auf den Status Quo. Die deutsche Modellkette führt zu fast keiner Veränderung. Die englische Modellkette führt zu einem Rückgang und die französische Modellkette zu einem Anstieg der mittleren Niedrigwasserabflüsse in der nahen Zukunft bezogen auf den Status Quo, außer bei den Pegeln Borgsdorf und Kleinmachnow..... 168
- Abb. 5.28 Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete Abflüsse an ausgewählten Pegeln in der fernen Zukunft unter Annahme verschiedener Wassernutzungs- und Klimawandelszenarien und entsprechende prozentuale Änderung des MQ bezogen auf den Status Quo. Die deutsche Modellkette führt zu einem Anstieg der mittleren Abflüsse, außer am Pegel Kleinmachnow. Die französische wie auch die englische Modellkette führen zu einem Rückgang der mittleren Abflüsse. 174
- Abb. 5.29 Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete Niedrigwasserabflüsse an ausgewählten Pegeln in der fernen Zukunft unter Annahme verschiedener Wassernutzungs- und Klimawandelszenarien und entsprechende prozentuale Änderung des MNQ bezogen auf den Status Quo. Die deutsche Modellkette führt zu einem Anstieg der mittleren Niedrigwasserabflüsse (außer am Pegel Kleinmachnow). Die französische Modellkette führt bei allen Pegeln zu den stärksten Rückgängen. 178
- Abb. 5.30 Innerjährliche Betrachtungen der Veränderungen am Pegel Ketzin (mittlere monatliche Abflüsse aus jeweils 300 stochastischen Realisierungen) im Status Quo, in der nahen (2014-2052) in der fernen (2068-2102) Zukunft (resultierend aus den Klimaprojektionen sowie dem zugrunde liegenden Wassernutzungsszenario BASIS). Die stärksten positiven Veränderungen sind im Sommer bei der französischen Modellkette in der nahen Zukunft festzustellen. In der fernen Zukunft führt nur die deutsche Modellkette zu einem Anstieg der mittleren monatlichen Abflüsse..... 183
- Abb. 5.31 Innerjährliche Betrachtungen zum Pegel Ketzin. Dargestellt sind Überschreitungswahrscheinlichkeiten eines Abflussgrenzwertes von 10 m³/s und Dauerlinien jeweils für den Status Quo, für die ferne und nahe

- Zukunft basierend auf drei Klimaszenarien und dem Wassernutzungsszenario BASIS. Verbesserung der Abflussverhältnisse im nahen Sommer in der französischen und deutschen Modellkette. Die englische Modellkette führt zu einer Verschlechterung der sommerlichen Abflüsse der nahen Zukunft. In der fernen Zukunft führen alle Modellketten zu einer Verschlechterung der Abflussverhältnisse..... 185
- Abb. 5.32 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten Abflüssen an ausgewählten Pegeln im Havel-Spreengebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Dargestellt sind die Ergebnisse für vier Pegel. Die Ergebnisse basieren auf unterschiedlichen Wassernutzungsszenarien und verschiedenen Klimaszenarien. Die französische Modellkette unterstützt in der nahen Zukunft den positiven Effekt der gewählten Wassernutzungsszenarien im Mittel- und Niedrigwasserbereich. Die englische Modellkette wirkt diesem Effekt in der nahen Zukunft entgegen. In der fernen Zukunft führen sowohl die englische als auch die französische Modellkette zu einem Rückgang der Mittel- und Niedrigwasserabflüsse. Dem positiven Effekt durch die gewählten Wassernutzungsszenarien wird damit entgegen gewirkt. Der Einfluss der deutschen Modellkette ist (insbesondere am Pegel Ketzin) so gering, dass die positiven Effekte durch die gewählten Bewirtschaftungsszenarien weder gemindert noch gesteigert werden. Zu erkennen ist weiterhin die dämpfende Wirkung der Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Berlin und in der Oberen Havel-Wasserstraße auf den Abfluss in Ketzin. 187
- Abb. 5.33 Mittleres monatliches Defizit der Schleuse Spandau auf der Basis der drei Klimaszenarien und auf dem zugrunde liegenden Wassernutzungsszenario BASIS. Abflussänderung infolge Wassernutzungsszenario BASIS ist geringer als die Änderungen infolge des Klimawandels. Die deutsche Modellkette führt zu leichten Veränderungen (Verschlechterung in der nahen Zukunft, Verbesserung in der fernen Zukunft). In der fernen Zukunft führen sowohl die französische als auch die englische Modellkette zu einem Anstieg des mittleren monatlichen Defizits, insbesondere in den Sommermonaten. 189
- Abb. 5.34 Mittleres monatliches Defizit der Schleuse Mühlendamm auf der Basis der drei Klimaszenarien und auf dem zugrunde liegenden Wassernutzungsszenario BASIS. Die deutsche Modellkette führt zu geringen Veränderungen in der nahen Zukunft und zu leichten Verschlechterungen in der fernen Zukunft. Sowohl die französische als auch die englische Modellkette führen zu einem deutlichen Anstieg des mittleren monatlichen Defizits in der fernen Zukunft, insbesondere in den Sommermonaten. 190
- Abb. 5.35 Mittleres monatliches Defizit der Schleuse Plötzensee auf der Basis der drei Klimaszenarien und auf dem zugrunde liegenden Wassernutzungsszenario BASIS. In der fernen Zukunft führen sowohl die französische als auch die englische Modellkette zu einem Anstieg des mittleren monatlichen Defizits, insbesondere in den Sommermonaten... 191

- Abb. 5.36 Mittleres monatliches Defizit der Schleuse Schönwalde auf der Basis der drei Klimaszenarien und auf dem zugrunde liegenden Wassernutzungsszenario BASIS. Die Schleuse Schönwalde stellt im Vergleich zu den übrigen betrachteten Schleusen eine Ausnahme dar, da sie in den Sommermonaten bereits im Status Quo deutliche Defizite aufweist. Das ist darin begründet, dass zur Entnahme von Schleusungswasser zunächst ein Mindestabfluss von 6 m³/s in der Havel erfüllt sein muss. 192
- Abb. 5.37 Mittleres monatliches Defizit des Heizkraftwerkes Moabit auf der Basis der drei Klimaszenarien sowie auf der Basis der Wassernutzungsszenarien BASIS und KRAFTWERK. Die deutsche Modellkette führt zu fast keinen Veränderungen. Die englische und die französische Modellkette führen zu einem Anstieg der Defizite in der fernen Zukunft insbesondere im Sommer in dem Szenario KRAFTWERK. 194
- Abb. 5.38 Mittleres monatliches Defizit des Heizkraftwerkes Lichterfelde auf der Basis der drei Klimaszenarien sowie auf der Basis der Wassernutzungsszenarien BASIS und KRAFTWERK. Deutlich werden die großen Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsvarianten BASIS und KRAFTWERK insbesondere für den Status Quo. Aufgrund einer technischen Veränderung des Kraftwerks wird in der Zukunft mit einem geringeren Verbrauch gerechnet, was sich in einem verringerten Defizit widerspiegelt. 195

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3.1	Klimamodellketten. Auswahl von 3 Klimaprojektionen (verschiedene Globalmodelle in Verbindung mit jeweils einem anderen Regionalmodell) aus dem rund 20 Klimaprojektionen des EU-Forschungsprojektes ENSEMBLES.	44
Tabelle 3.2	Zeitstruktur der stochastischen Modelle. Es wurden 10 stochastische Modelle aufgebaut.	46
Tabelle 3.3	Teilgebiete für die Ermittlung der Gebietsmittel von Lufttemperatur und relativer Feuchte. Diese Daten wurden ausschließlich für die Annahmen in Wassernutzungsszenarium KRAFTWERK benötigt. Lage der meteorologischen Teilgebiete in Abb. 3.4.	53
Tabelle 3.4	Jahresmittel von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte der HYRAS-Daten für ausgewählte meteorologische Teilgebiete. Keine starke Variation zwischen den betreffenden Teilgebieten. Lage der meteorologischen Teilgebiete in Abb. 3.4.	54
Tabelle 3.5	Theoretische Verteilungsfunktionen zur Beschreibung der meteorologischen Prozessgrößen. Die LN3 kam zur stochastischen Generierung des Niederschlagsdargebotes zur Anwendung und die JV zur Simulation der potenziellen Verdunstung, der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte.	55
Tabelle 3.6	Grenzwerte für die meteorologische stochastische Simulation und Extremwerte der Eingangsreihen. Durch die Festlegung von Grenzwerten wurde die Simulation von unsinnigen und sehr extremen Ereignissen unterbunden. Für alle Simulationsmodelle wurden einheitliche Grenzwerte festgelegt. Die Extremwerte wurden sowohl aus den Beobachtungen als auch als den Klimaprojektionen abgeleitet.	56
Tabelle 3.7	Simulationsbeziehungen für das Niederschlagsdargebot (P) und die potenzielle Verdunstung (ETP) im Spreegebiet. Aufgrund der hohen Kreuzkorrelationen war eine Unterteilung der Prozesse in Haupt- und Nebenprozesse notwendig.	59
Tabelle 3.8	Simulationsbeziehungen für relative Luftfeuchte (RH) und Lufttemperatur (T) im Spreegebiet.	60

Tabelle 3.9	Simulationsbeziehungen für Niederschlag (P), pot. Verdunstung (ETP), rel. Luftfeuchte (RH) und Lufttemperatur (T) im Havelgebiet (außer Spree). Die Havelhauptprozesse wurden u.a. aus den Prozessen des Spreegebietes generiert.	60
Tabelle 3.10	Simulationsbeziehungen für den Abfluss (Q) und den Grundwasserzufluss (GW). Die zeitliche Verschiebung um 4 Monate (- 4) bei der stochastischen Generierung des Abflusses am Pegel Barby liegt in der Persistenz („Gedächtnis des Einzugsgebietes“) begründet.	65
Tabelle 3.11	Grenzwerte für die hydrologische stochastische Simulation und Extremwerte der Eingangsreihen. GW = Grundwasserzufluss. Die Extremwerte stammen aus den Beobachtungen oder Simulationen. Auf der Basis der Extremwerte wurden die Grenzwerte ermittelt. Die Grenzwerte verhindern in der stochastischen Simulation die Generierung von zu extremen Ereignissen. Stochastisch generierte Ereignisse, die über dem Grenzwert liegen, werden modelltechnisch auf den Grenzwert gesetzt. ...	65
Tabelle 4.1	Auswahl der Simulationsteilgebiete im Modell WBalMo Havel. Auf diese Simulationsteilgebiete wird im weiteren Textverlauf noch Bezug genommen.	72
Tabelle 4.2	Auswahl der Simulationsteilgebiete in den WBalMo-Modellen für die Havelnebenflüsse. Auf diese Simulationsteilgebiete wird im weiteren Textverlauf noch Bezug genommen.	73
Tabelle 4.3	Auswahl der Simulationsteilgebiete in den Modellen WBalMo Berlin und WBalMo Spree. Auf diese Simulationsteilgebiete wird im weiteren Textverlauf noch Bezug genommen.	73
Tabelle 4.4	Datenquellen für die flächendeckend benötigten Geodaten. Die Ableitung der Geofachdaten erfolgte mit einem geographischen Informationssystem.	76
Tabelle 4.5	Übersicht zu den hydrologischen Daten für die Simulationsteilgebiete im WBalMo Havel. Aufgelistet sind die Abflussreihen, die zur Kalibrierung und Validierung des hydrologischen Modells zur Verfügung standen. Angegeben sind zusätzlich die Nutzerdaten, die notwendig waren, um die anthropogen geprägten Abflüsse zu bereinigen. Hellgrün markiert sind die Pegel, für die im Bericht eine detaillierte Auswertung zur Modellgüte erfolgt.	79

Tabelle 4.6	Übersicht zu den hydrologischen Daten für die Simulationsteilgebiete in den WBalMo-Bausteinen für die Havel-Nebenflüssen. Aufgelistet sind die Abflussreihen, die zur Kalibrierung und Validierung des hydrologischen Modells zur Verfügung standen. Angegeben sind zusätzlich die Nutzerdaten, die notwendig waren, um die anthropogen geprägten Abflüsse zu bereinigen.....	81
Tabelle 4.7	Übersicht zu den hydrologischen Daten für die Simulationsteilgebiete im WBalMo Berlin. Aufgelistet sind die Abflussreihen, die zur Kalibrierung und Validierung des hydrologischen Modells zur Verfügung standen. Hellgrün markiert sind die Pegel, für die im Bericht eine detaillierte Auswertung zur Modellgüte erfolgt.	82
Tabelle 4.8	Übersicht zu den hydrologischen Daten für ein Simulationsteilgebiet in der oberen Spree. Eine erneute Kalibrierung wurde hier notwendig. Hellgrün markiert ist der Pegel, da im Bericht eine detaillierte Auswertung zur Modellgüte erfolgt	82
Tabelle 4.9	Methoden zur Modellkalibrierung. Fünf unterschiedliche Methoden kamen zur Anwendung. Für jede Methode wurden ein (bzw. mehrere) Beispiel(e) ausgewählt (hier wiederum hellgrün markiert). Die entsprechenden Abbildungen bzw. Tabelle, in denen die Ergebnisse darstellt werden, sind jeweils angegeben.	85
Tabelle 4.10	Abflussspendenvergleich in Berliner Teilgebieten. In den Teilgebieten 54 und 55 ergeben sich sehr ähnliche Abflussspenden. Die Abflussspenden der Gebiete 100 und 66 reihen sich in den Wertebereich der nach Methode 4 der Kalibrierung berechneten Gebiete ein. Grau markiert sind die Gebiete, in denen Methode 5 der Kalibrierung/ Validierung zu Anwendung kam.....	97
Tabelle 4.11	Anpassungsgüte (NSE) im Kalibrierungs- und Validierungszeitraum. Im Havelgebiet (ohne Spree) konnte eine befriedigende (hell gelb markiert, NSE in der Validierung $\geq 0,5$) bis gute (dunkel grün markiert, NSE in der Validierung $\geq 0,8$) Modellgüte erreicht werden. Das hell orange markierte Simulationsteilgebiet hat eine NSE ≥ 0.2 . Die Modellgüte kann als ausreichend beschrieben werden. Dies gilt nicht mehr für die Simulation des Teilgebietes 4. Hinweise dazu im Text. Hellgrün markiert sind die Simulationsteilgebiete (Spalte 1), für die im Bericht eine detaillierte Auswertung zur Modellgüte erfolgte.	99

Tabelle 4.12	Vergleich der mittleren Jahresabflüsse (beobachtet, simuliert). Die prozentualen Abweichungen zwischen beobachteten und simulierten mittleren Jahresabflüssen liegen für alle Simulationsteilgebiete im Mittel bei -1,3 % (Kalibrierungszeitraum) und 3,0 % (Validierungszeitraum) und bekräftigen mit einigen Ausnahmen (wie STG 1 und STG 4) das zufriedenstellende Ergebnis.	100
Tabelle 4.13	Vergleich der mittleren jährlichen Abflusspenden. Überwiegend gute Übereinstimmung zwischen beobachteten und simulierten Werten.	101
Tabelle 5.1	Überblick zu den gewählten Wassernutzungsszenarien. Es wurden ein Basisszenario (BASIS) und davon abweichend jeweils vier veränderte Wassernutzungsszenarien festgelegt	114
Tabelle 5.2	Wahl der Bewirtschaftungsperioden (Status Quo, nahe und ferne Zukunft) unter Berücksichtigung der Zeitstruktur der stochastischen Modelle. Die Bewirtschaftung der Gegenwart (Status Quo) entspricht Periode 2, nahe Zukunft Periode 4 bis 10, ferne Zukunft Periode 14 bis Periode 20.	133
Tabelle 5.3	Kopplung von Szenarien der Wasserbewirtschaftung mit denen des Klimawandels für Gegenwart und Zukunft. Untersuchungen erfolgen zum einen nur unter Berücksichtigung der Wassernutzungsänderungen und zum anderen zusätzlich unter Berücksichtigung verschiedener Klimawandelszenarien.	140
Tabelle 5.4	Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten MQ und MNQ am Pegel Borgsdorf in der nahen und fernen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Fast keine Veränderungen im Wasserhaushalt entstehen durch die angenommenen Wassernutzungsszenarien.	143
Tabelle 5.5	Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten MQ und MNQ an ausgewählten Pegeln im Spreengebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Ein Anstieg der MQ und MNQ in der nahen Zukunft ist zu erkennen (Ausnahme Kleinmachnow). Die Anstiege im Niedrigwasserbereich sind größer als im Mittelwasserbereich aufgrund der Inbetriebnahme zusätzlicher Speicher in der Lausitz (u.a. Cottbusser See, Lohsa II) und durch die Sumpfungswässer.	151

Tabelle 5.6	Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten MQ und MNQ an ausgewählten Pegeln im Spreegebiet in der fernen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. In der fernen Zukunft kommt es zu einem Rückgang der MQ bedingt durch den Rückgang der Sumpfungswassermengen in der Spree. Die MNQ nehmen in der fernen Zukunft (wie auch in der nahen Zukunft) zu, wobei die Zunahme in der fernen Zukunft geringer ist, da entsprechend der Modellannahme in der fernen Zukunft keine Sumpfungswässer mehr in das System eingeleitet werden. 152
Tabelle 5.7	Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten MQ und MNQ an ausgewählten Pegeln im Havelgebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Die mittleren Abflüsse erfahren keine Veränderung und die Niedrigwasserabflüsse steigen aufgrund der Inbetriebnahme zusätzlicher Speicher in der Lausitz und aufgrund der noch bestehenden Sumpfungswässer. 156
Tabelle 5.8	Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten MQ und MNQ an ausgewählten Pegeln im Havelgebiet in der fernen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Es kommt zu einem leichten Rückgang der mittleren Abflüsse in der fernen Zukunft bedingt durch den Rückgang der Sumpfungswassermengen in der Spree. Die MNQ steigen auch in der fernen Zukunft an, jedoch nicht so stark wie in der nahen Zukunft, was an den fehlenden Sumpfungswässern in der Spree in der fernen Zukunft begründet liegt. 157
Tabelle 5.9	Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten Abflüssen an ausgewählten Pegeln im Havel-Spreegebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Es kommt zu einem Anstieg der mittleren Abflüsse in der französischen Modellkette (außer Borgsdorf) und zu einem Rückgang in der englischen Modellkette. Die deutsche Modellkette für zu fast keinen bzw. geringen Rückgängen..... 167
Tabelle 5.10	Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten Niedrigwasserabflüssen an ausgewählten Pegeln im Havel-Spreegebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Dargestellt sind die Ergebnisse für vier Pegel. Die Ergebnisse basieren auf unterschiedlichen Wassernutzungsszenarien und verschiedenen Klimaszenarien. Es einheitliches Bild ist nicht erkennbar.171

Tabelle 5.11 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten Abflüssen an ausgewählten Pegeln im Havel-Spreengebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Dargestellt sind die Ergebnisse für vier Pegel. Die Ergebnisse basieren auf unterschiedlichen Wassernutzungsszenarien und verschiedenen Klimaszenarien. Die deutsche Modellkette führt zu einem Anstieg der mittleren Abflüsse, außer am Pegel Kleinmachnow. Die französische wie auch die englische Modellkette führen zu einem Rückgang der mittleren Abflüsse. 177

Tabelle 5.12 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten Abflüssen an ausgewählten Pegeln im Havel-Spreengebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Dargestellt sind die Ergebnisse für vier Pegel. Die Ergebnisse basieren auf unterschiedlichen Wassernutzungsszenarien und verschiedenen Klimaszenarien. Die englische und französische Modellkette führen zu einem Rückgang der Niedrigwasserabflüsse. Die deutsche Modellkette führt (außer am Pegel Kleinmachnow) zu einem Anstieg der Niedrigwasserabflüsse. 181

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AEP	Agrarstrukturelle Entwicklungsplanung
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
BEO	Beobachtung
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BSK	Berlin-Spandauer-Schiffahrtskanal
BVK	Britzer Verbindungskanal
BWB	Berliner Wasserbetriebe
CNRM	Centre National de Recherche Météorologiques
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser, und Abfall e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.
EHK	Elbe-Havel-Kanal
ETP	Potenzielle Verdunstung
EZG	Einzugsgebiet
GHHK	Großer Havelländischer Hauptkanal
GW	Grundwasserzufluss
HAD	Hydrologischer Atlas von Deutschland
HC	Met Office Hadley Centre
HKW	Heizkraftwerk
HOW	Havel-Oder-Wasserstraße
HvK	Havelkanal
KW	Klärwerk
IPCC	International Panel on Climate Change
LUGV	Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (Brandenburg)
LUNG	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (Mecklenburg- Vorpommern)
Mdg.	Mündung
MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluss
MOS	Mecklenburger Oberseen
MPI-M	Max-Planck-Institut für Meteorologie
MQ	Mittelwasserabfluss
N	Niederschlagsdargebot (alternativ auch P)
NMxQ	Niedrigstes arithmetisches Mittel von x aufeinanderfolgenden Tageswerten des Abflusses
NSE	Nash-Sutcliffe-Modelleffizienz
NVB	Niederschlags-Verdunstungs-Bilanz
OHW	Obere Havel-Wasserstraße
OP	Oberpegel

OSK	Oder-Spree-Kanal
P	Niederschlagsdargebot (alternativ auch N)
Q	Durchfluss, Abfluss
RH	Relative Luftfeuchte
SIM	Simulation
SOW	Spree-Oder-Wasserstraße
SRES	Special Report on Emissions Scenarios
STG	Simulationsteilgebiet
T	Lufttemperatur
TeK	Teltowkanal
TS	Talsperre
UBA	Umweltbundesamt
UHW	Untere Havel-Wasserstraße
UP	Unterpegel
VDE	Verkehrsprojekte Deutsche Einheit
VEM	Vattenfall Europe Mining AG
WIN	Wasserinitiative Nordbrandenburg (aus 2006)
WNA	Wasserstraßen-Neubauamt
WVK	Wasserversorgungskonzept
WW	Wasserwerk
ZG	Zwischeneinzugsgebiet

Verwendeten Klimamodellketten:

Land	Modellkette	Institution
	C20-A1B-ARP-ALD51 (im Weiteren französische Modellkette genannt)	Centre National de Recherche Météorologiques (CNRM)
	C20-A1B-EH5r3_RE-ENS (im Weiteren deutsche Modellkette genannt)	Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M)
	C20-A1B-HCQ0-HRQ0 (im Weiteren englische Modellkette genannt)	Met Office Hadley Centre (HC)

Die Begriffe “**Wassernutzungsszenarien**” und “**Bewirtschaftungsszenarien**” werden in diesem Bericht synonym verwendet.

BfG-1777

*Wasserwirt-
schaftliche
Verhältnisse
VDE 17
6. Fassung
2. Teilbericht*

Kapitel 1

Zusammenfassung

Die Zusammenfassung ist gegliedert in die Abschnitte: *Vorgehensweise, Auswahl der Klimaprojektionen, Festlegung von fünf Szenarien zu Wassernutzungsänderungen, Auswertungskonzept und Ergebnisdarstellung* sowie *Kernaussage*.

1.1 Vorgehensweise

Die Untersuchungen zu den wasserwirtschaftlichen Verhältnissen des Projektes 17 für den Bereich des Wasserstraßen-Neubauamtes Berlin gliedern sich in zwei Teilberichte. Im 1. Teilbericht wurde der **Einfluss von bedeutenden Wassernutzern und Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen** auf das Wasserdargebot im unteren Havel- und Spreegebiet von der **Vergangenheit bis zur Gegenwart** sowohl anhand von meteorologischen und hydrologischen Beobachtungsdaten als auch auf der Basis von Nutzerdaten analysiert. Darauf aufbauend wurden die Untersuchungen zum Wasserdargebot für die **Zukunft** durchgeführt, die in **vorliegendem 2. Teilbericht** dokumentiert sind. Das Kernthema hier war die Analyse der **Auswirkungen des Klimawandels** auf den Wasserhaushalt im unteren Spreegebiet (Pegel Leibsch bis Mündung der Spree in die Havel) und die Untere Havel-Wasserstraße unter **Berücksichtigung der Wasserbewirtschaftung**.

Zur Analyse der Auswirkungen des Klimawandels unter Berücksichtigung sich ändernder anthropogener Nutzung auf das wasserwirtschaftliche Dargebot mussten meteorologische Größen (wie zum Beispiel Niederschlag und potenzielle Verdunstung) schlussendlich in bewirtschaftete Abflüsse transformiert werden. Hierzu wurde folgende Modellkette gewählt:

- (1) **Aufbau von zehn stochastischen Simulationsmodellen** zur Generierung von stochastischen meteorologischen und hydrologischen Monatswertreihen, Modellsystem: SIKO/ SIMO. Im Ergebnis stehen 300 statistische Realisierungen eines jeden Szenariojahres zur Verfügung.
- (2) **Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells**, welches die in (1) erzeugten Zeitreihen in stochastische quasi natürliche monatliche Abflussreihen transformiert, Anwendung des Modellsystems EGMO-D¹. Für die Kalibrierung und Validierung des Wasserhaushaltsmodells wurde ein Konzept speziell für anthropogen geprägte

¹ EGMO-D (GLOS 1984) ist ein Mehrkomponentenmodell, welches speziell für längere Zeitschritte konzipiert wurde.

Gebiete entwickelt, welches die jeweiligen Besonderheiten der ausgewählten Pegel berücksichtigt (Datenverfügbarkeit, Datenqualität, anthropogene Beeinflussung).

- (3) Aktualisierung und Anpassung des bestehenden **Wasserbewirtschaftungsmodells** Havel-Spree, welches die implementierte Wasserbewirtschaftung den in (2) erzeugten Zeitreihen gegenüberstellt und somit im Ergebnis stochastisch bewirtschaftete Abflussreihen generiert, Modellsystem WBalMo².

WBalMo Havel-Spree setzt sich aus verschiedenen Modellbausteinen für die jeweiligen Teileinzugsgebiete zusammen (Spree/ Schwarze Elster; Havel; Havelnebenflüsse Nuthe, Plane, Buckau, Dosse-Jäglitz; Berlin). Für die Simulationsrechnungen mit dem Bewirtschaftungsmodell WBalMo Havel-Spree wurden die parametrisierten und abgestimmten behördlichen Ländermodelle verwendet. Die Bereitstellung der Modelle erfolgte durch die Länder Freistaat Sachsen, Brandenburg, Berlin und Sachsen-Anhalt.

1.2 Auswahl der Klimaprojektionen

Die vorliegenden Untersuchungen zu den Auswirkungen des Klimawandels und der Wasserbewirtschaftung auf den Wasserhaushalt im Havel-Spreegebiet sind eingebettet in das Ressortforschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung KLIWAS³ „Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen“. Das bedeutet im Speziellen, dass bei den Untersuchungen zu den Auswirkungen des Klimas auf den Wasserhaushalt dem Multi-Modell-Ansatz gefolgt wird.

² WBalMo ist ein Simulationssystem für die Bewirtschaftungs- und Rahmenplanung von Flussgebieten. www.dhi-wasy.de

³ www.kliwas.de, Aufruf: 11.09.2013

Um die Unsicherheiten, die den Klimaprojektionen innewohnen, aufzuzeigen, wurden im Rahmen von KLIWAS eine Vielzahl von Zukunftssimulationen hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Abflussgeschehen ausgewertet. Aus den rund 20 Klimaprojektionen des EU-Forschungsprojektes ENSEMBLES (Van der Linden und Mitchell, 2009) wurden **drei Klimaprojektionen** ausgewählt, so dass eine (Teil)-Bandbreite möglicher (klimatischer) Zukunftsentwicklungen abgebildet werden kann:

- (1) **C20-A1B-ARP-ALD51** vom Centre National de Recherche Météorologiques (im Weiteren französische Modellkette genannt),
- (2) **C20-A1B-EH5r3_RE-ENS** vom Max-Planck-Institut für Meteorologie (im Weiteren deutsche Modellkette genannt) und
- (3) **C20-A1B-HCQ0-HRQ0** vom Met Office Hadley Centre (im Weiteren englische Modellkette genannt)

Die drei Modellketten beruhen auf drei verschiedenen globalen Modellen in Verbindung mit jeweils einem anderen Regionalmodell und repräsentieren somit einen Querschnitt der europäischen Klimamodellierung. Hinsichtlich der Niedrigwasserprojektionen geben diese für die Untere Havel-Wasserstraße (Pegel Rathenow) in der nahen Zukunft (2021-2050) die Gesamtbandbreite hydrologischer Projektionen gut wieder, für die ferne Zukunft (2071-2100) liegen die Projektionen eher am „trockenen Ende“ des Ensembles (s. Kapitel 2.2.1.2 Klimaprojektionen für die Zukunft).

1.3 Festlegung von fünf Szenarien zu Wassernutzungsänderungen

Neben der Auswahl der Klimaszenarien war es notwendig, Wasserbewirtschaftungsszenarien (im Folgenden auch Wassernutzungsszenarien genannt) zu entwickeln, welche Annahmen zur möglichen Entwicklung des Wasserbedarfes bis 2100 enthalten. Im Rahmen des Havel-Spree-Projektes wurden **ein Basisszenario** (BASIS) und davon abweichend jeweils vier veränderte Wassernutzungsszenarien festgelegt (TAGEBAU, KRAFTWERK, SCHIFFFAHRT, INTEGRAL). Das BASIS-Szenario enthält im Wesentlichen:

- Planung zur Weiterführung der Braunkohletagebaue der Vattenfall Europe Mining AG. Anschlussfelder von Welzow-Süd und Nochten wurden beachtet (Vattenfall Europe Mining, 2011).
- Entwicklung der kommunalen Wasserver- und Abwasserentsorgung aus dem Wasserversorgungskonzept für Berlin (BWB 2008), hier Wahl des dort dargestellten Szenarios Basis bis 2040, danach keine Änderung des Zustandes.
- Schifffahrt entsprechend Status Quo (Bewirtschaftung der Gegenwart) und
- Bewirtschaftung der Mecklenburger Oberseen entsprechend Status Quo.

Im Szenario 1 TAGEBAU wurden eine veränderte Tagebaubewirtschaftung und bergbaubedingte Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen (hier keine Inanspruchnahme des Anschlussfeldes Nochten) angenommen. Im Szenario 2 KRAFTWERK wurden mit einem externen Modell die Verdunstungsverluste der Kraftwerke in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und der relativen Feuchte ermittelt. Szenario 3 SCHIFFFAHRT zeichnet sich durch einen erhöhten Schleusungswasserbedarf der Schleusen in der Oberen Havel-Wasserstraße aus. Szenario 4 INTEGRAL integriert alle Annahmen aus dem Basisszenario und den Szenarien 1 bis 3, die zu einer Verschärfung der Abflusssituation in der Unteren Havel-Wasserstraße führen.

1.4 Auswertungskonzept und Ergebnisdarstellung

Das Bewirtschaftungsmodell WBalMo kann in der hier verwendeten Konfiguration nur vollständige Fünfjahresperioden bilanzieren (d. h. 20 Perioden zu je fünf Jahren). Das hat zur Folge, dass die Auswertungszeiträume des Bewirtschaftungsmodells den Zeiträumen der Klimaprojektion (Referenz, Klima_Ist, nahe Zukunft, ferne Zukunft) entsprechend angepasst werden mussten.

- Die **Bewirtschaftung der Gegenwart** (Status Quo) wird repräsentiert durch den Zeitraum der Bewirtschaftungsperiode 2 **von 2008 bis 2012**.
- Die Bewirtschaftung der **nahen Zukunft (orange Farbe für die Ergebnisdarstellung in der nahen Zukunft)** wird abgebildet durch den Zeitraum von 2018 (Beginn Periode 4) bis 2052 (Ende Periode 10).
- Die Bewirtschaftung **der fernen Zukunft (violette Farbe für die Ergebnisdarstellung in der fernen Zukunft)** wird definiert durch den Zeitraum von 2068 (Beginn Periode 14) bis 2102 (Ende Periode 20).

Folgende Fragestellungen sind im Bericht für verschiedene **Pegel im Spreegebiet** (Leibsch Wehr UP/ Spree; Große Tränke Wehr UP und Sophienwerder / beide Spree-Oder-Wasserstraße, Kleinmachnow Schleuse OP / Teltowkanal) und im **Havelgebiet** (Borgsdorf/ Obere-Havel-Wasserstraße, Ketzin und Rathenow/ beide Untere Havel-Wasserstraße) untersucht worden:

1. Wie verändern sich die bewirtschafteten Abflüsse im Havelgebiet in naher und ferner Zukunft unter Berücksichtigung verschiedener Wassernutzungsszenarien?

Bei dieser Fragestellung wird postuliert, dass sich das Referenzklima (HYRAS-Datensatz) bis 2100 nicht ändert. Ziel ist es den **alleinigen Einfluss der angenommenen Wassernutzungsänderungen** zu simulieren.

2. Wie verändern sich die bewirtschafteten Abflüsse im Havel- und Spreegebiet in naher und ferner Zukunft unter Berücksichtigung verschiedener Wassernutzungsszenarien und des Klimawandels?

Bei dieser Fragestellung werden neben dem Einfluss der Wassernutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt auch die **Auswirkungen verschiedener Klimaprojektionen** untersucht. Dadurch kann anschließend bewertet werden, welcher Einfluss (der Einfluss der gewählten **Wasserbewirtschaftungsszenarien** oder der Einfluss der ausgewählten Klimawandelprojektionen) auf den Wasserhaushalt an ausgewählten Pegeln stärker ist.

Im Bericht werden die erzielten Ergebnisse (u.a. Abflussentwicklungen im Mittel- und Niedrigwasserbereich) in Form verschiedener Grafiken und Tabellen dargestellt. An dieser Stelle werden vier zusammenfassende Ergebnisgrafiken präsentiert (wobei die ersten beiden Grafiken auch im Bericht erläutert werden).

Die Abb. 1.1 zeigt die prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten Abflüsse (Niedrigwasser MNQ und Mittelwasser MQ) am Gesamtzufluss der Spree zu Berlin (als fiktiver Pegel, der sich zusammensetzt aus den Abflüssen an den Pegeln Große Tränke UP, Wernsdorf und Neue Mühle) sowie am Pegel Ketzin / Untere Havel-Wasserstraße in der nahen Zukunft 2018 (Beginn Periode 4) bis 2052 (Ende Periode 10) und fernen Zukunft 2068 (Beginn Periode 14) bis 2102 (Ende Periode 20) jeweils bezogen auf den Status Quo (Periode 2, 2008-2012).

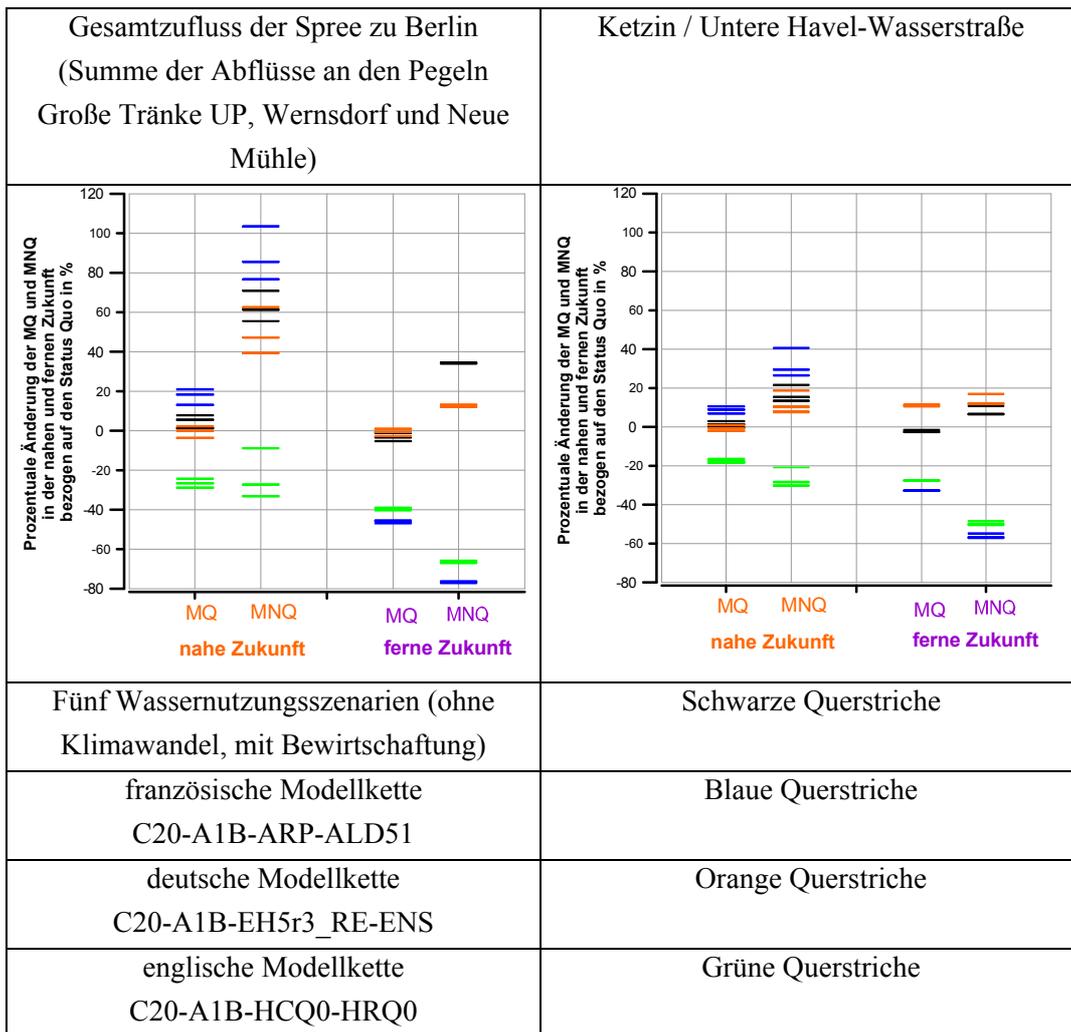


Abb. 1.1 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten Abflüssen an ausgewählten Pegeln im Havel-Spreegebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Dargestellt sind die Ergebnisse für vier Pegel. Die Ergebnisse basieren auf unterschiedlichen Wassernutzungsszenarien und verschiedenen Klimaszenarien. Die französische Modellkette unterstützt in der nahen Zukunft den positiven Effekt der gewählten Wassernutzungsszenarien im Mittel- und Niedrigwasserbereich. Die englische Modellkette wirkt diesem Effekt in der nahen Zukunft entgegen. In der fernen Zukunft führen sowohl die englische als auch die französische Modellkette zu einem Rückgang der Mittel- und Niedrigwasserabflüsse. Dem positiven Effekt durch die gewählten Wassernutzungsszenarien wird damit entgegen gewirkt. Der Einfluss der deutschen Modellkette ist (insbesondere am Pegel Ketzin) so gering, dass die positiven Effekte durch die gewählten Bewirtschaftungsszenarien weder gemindert noch gesteigert werden. Zu erkennen ist weiterhin die dämpfende Wirkung der Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Berlin und in der Oberen Havel-Wasserstraße auf den Abfluss in Ketzin.

Die **schwarzen Querstriche** in Abb. 1.1 symbolisieren die prozentualen Änderungen auf der Basis **der fünf gewählten Wassernutzungsszenarien** (BASIS, TAGEBAU, KRAFTWERK, SCHIFFFAHRT und INTEGRAL). Es wird zusätzlich postuliert, dass sich das Klima der Gegenwart bis 2100 nicht ändert (Annahme: kein Klimawandel, mit Bewirtschaftungsänderung). Es zeigt sich folgendes Bild:

- Fast keine Änderung bzw. ein leichter Anstieg der mittleren Abflüsse (1 bis 10 % am Spreegesamtzufluss, 0 bis 3 % in Ketzin) und ein starker Anstieg der Niedrigwasserabflüsse in der **nahen Zukunft** (56 bis 71 % am Spreegesamtzufluss, 14 % bis 22 % in Ketzin). Letzteres ist bedingt durch die zusätzlichen Speicher in der Lausitz (Speichersystem Lohsa II im Jahr 2018 sowie Speicher Cottbuser See im Jahr 2023) und die Einleitung weiterer Sumpfungswässer.
- In der fernen Zukunft reduzieren sich die mittleren Abflüsse (-1 bis -5 % am Spreegesamtzufluss, -1 bis -3 % in Ketzin) leicht. Die Niedrigwasserabflüsse steigen in der **fernen Zukunft** noch an (34 % beim Spreegesamtzufluss, 7 % bis 11 % in Ketzin), jedoch nicht so stark wie die Niedrigwasserabflüsse in der nahen Zukunft. Das liegt darin begründet, dass die Sumpfungswässer zur Aufhöhung der Spree nicht mehr zu Verfügung stehen.

Die **Unterschiede** zwischen den hier gewählten **Bewirtschaftungsvarianten** (auch Wassernutzungsszenarien genannt: BASIS, TAGEBAU, KRAFTWERK, SCHIFFFAHRT, INTEGRAL) sind **gering**, da hier Konzepte eingeflossen sind, die bereits unter Beachtung des wasserwirtschaftlichen Potentials der Einzugsgebiete entwickelt wurden. Zusätzlich bewirken die Speicher in der Lausitz eine Vergleichmäßigung der Abflüsse.

Des Weiteren sind in der Abb. 1.1 **als farbige Querstriche** die Auswirkungen der **gewählten Klimaprojektionen** dargestellt (französische Modellkette C20-A1B-ARP-ALD51, blaue Querstriche; deutsche Modellkette C20-A1B-EH5r3_RE-ENS, orange Querstriche und englische Modellkette C20-A1B-HCQ0-HRQ0, hellgrüne Querstriche).

- Die **französische Modellkette** führt zu einem Anstieg der Mittelwasser- und Niedrigwasserabflüsse **in der nahen Zukunft** (MQ: 13 bis 21 % am Spreegesamtzufluss, 7 bis 10 % in Ketzin, MNQ: 77 bis 103 % am Spreegesamtzufluss, 27 bis 41 % in Ketzin) und unterstützt den bereits nachgewiesenen positiven Effekt der gewählten Bewirtschaftungsszenarien (schwarze Querstriche). Die **englische Modellkette** führt in der nahen Zukunft zu einem **Rückgang der Mittel- und Niedrigwasserabflüsse** und wirkt somit dem positiven Effekt der gewählten Bewirtschaftungsszenarien entgegen (MQ: -24 bis -29 % am Spreegesamtzufluss, -16 bis -18 % in Ketzin, MNQ: -9 bis -33 % am Spreegesamtzufluss, -21 bis -30 % in Ketzin). Die Wirkung der **deutschen Modellkette** in der **nahen Zukunft** ist insbesondere am Pegel Ketzin **so gering**,

dass der Einfluss der gewählten Wassernutzungsszenarien (schwarze Querstriche) weiterhin prägend bleibt (MQ: -4 bis 2 % am Spreegesamtzufluss, -2 bis 1 % in Ketzin, MNQ: 39 bis 62 % am Spreegesamtzufluss, 8 bis 19 % in Ketzin). Es ist fast keine Verbesserung oder Verschlechterung der Auswirkungen zu erkennen, die aus den gewählten Wassernutzungsszenarien resultieren.

- In der **fernen Zukunft** wird deutlich, dass sowohl durch die **französische** als auch durch die **englische Modellkette**, dem **positiven Effekten auf den Wasserhaushalt** durch die gewählten Wassernutzungsszenarien **entgegengewirkt** wird (französische Modellkette: MQ: -46 % am Spreegesamtzufluss, -33 % in Ketzin, MNQ: -77 % am Spreegesamtzufluss, -57 % in Ketzin; englische Modellkette: MQ: -40 % am Spreegesamtzufluss, -28 % in Ketzin, MNQ: -67 % am Spreegesamtzufluss, -50 % in Ketzin). Die Rückgänge in der französischen Modellkette sind stärker als in der englischen Modellkette. Das ist insofern interessant, da die französische Modellkette in der nahen Zukunft noch zu einem Anstieg der Mittel- und Niedrigwasser führt. Die deutsche Modellkette ist auch in der fernen Zukunft mit moderatem Einfluss erkennbar. Am Pegel Ketzin sind die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die nur durch die gewählten Wassernutzungsszenarien hervorgerufen werden, in der gleichen Größenordnung wie die Effekte, die durch Wassernutzungsszenarien gekoppelt mit deutscher Modellkette (orange Querstriche) hervorgerufen werden (10 bis 17 %). Am Bilanzprofil (Gesamtzufluss Spree) zeigt sich in der fernen Zukunft bei den Niedrigwasserabflüssen eine leichte Dämpfung der positiven Bewirtschaftungseffekte durch die deutsche Modellkette (1 bis -3% bei MQ, 12 % - 13 % bei MNQ).

Weiterhin wird deutlich, dass die **Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Berlin** (wie zum Beispiel die Wassermengenverteilung innerhalb von Berlin in Abhängigkeit vom Zufluss) als auch der Zufluss der **Oberen Havel-Wasserstraße** zu einer Überlagerung und damit **Dämpfung der Einzeleffekte** auf den Wasserhaushalt (bedingt durch Klimawandelprojektionen und Wassernutzungsszenarien) in der Flusshavel (repräsentiert durch den Pegel Ketzin) führen.

Die Spannweite der positiven wie negativen Auswirkungen auf den Mittelwasserabfluss in der nahen Zukunft liegt am Bilanzprofil Spreegesamtzufluss bei ca. +20 % (mittlere Abflüsse, französische Modellkette) bis ca. -25 % (englische Modellkette) und reduziert sich am Pegel Ketzin auf +8 % (französische Modellkette) bis -18 % (englische Modellkette). Dieser Effekt ist auch bei den mittleren Abflüssen in der fernen Zukunft sowie bei den Niedrigwasserabflüssen in der nahen und fernen Zukunft zu erkennen.

In Ergänzung bzw. zur Untermauerung der Erkenntnisse zu den Kennwerten MQ und MNQ sind in Abb. 1.2 die prozentualen Änderungssignale der Quantile der Abflussdauerlinie (Unterschreitungswahrscheinlichkeiten) für den Pegel Ketzin in der nahen und fernen Zukunft bezogen auf den jeweiligen Referenzlauf (Status Quo) dargestellt, wie sie sich allein anhand der Bewirtschaftungsänderung (schwarz) als auch in der Kombination von unterschiedlichen Wassernutzungs- und Klimaszenarien ergeben.

Da in den Extrembereichen der Abflussdauerlinie, d.h. bei den niedrigsten und höchsten Unterschreitungswahrscheinlichkeiten Abweichungen zwischen unterschiedlichen Zeitfenstern (z.B. Status Quo und nahe Zukunft) allein aufgrund methodisch bedingter Unterschiede in den Reihenlängen (unterschiedliche Anzahl von Jahren) auftreten können, wurden die oberen und unteren 10 % der Dauerlinie nicht betrachtet und nur der Wertebereich von 10 bis 90 % der Unterschreitungswahrscheinlichkeiten dargestellt.

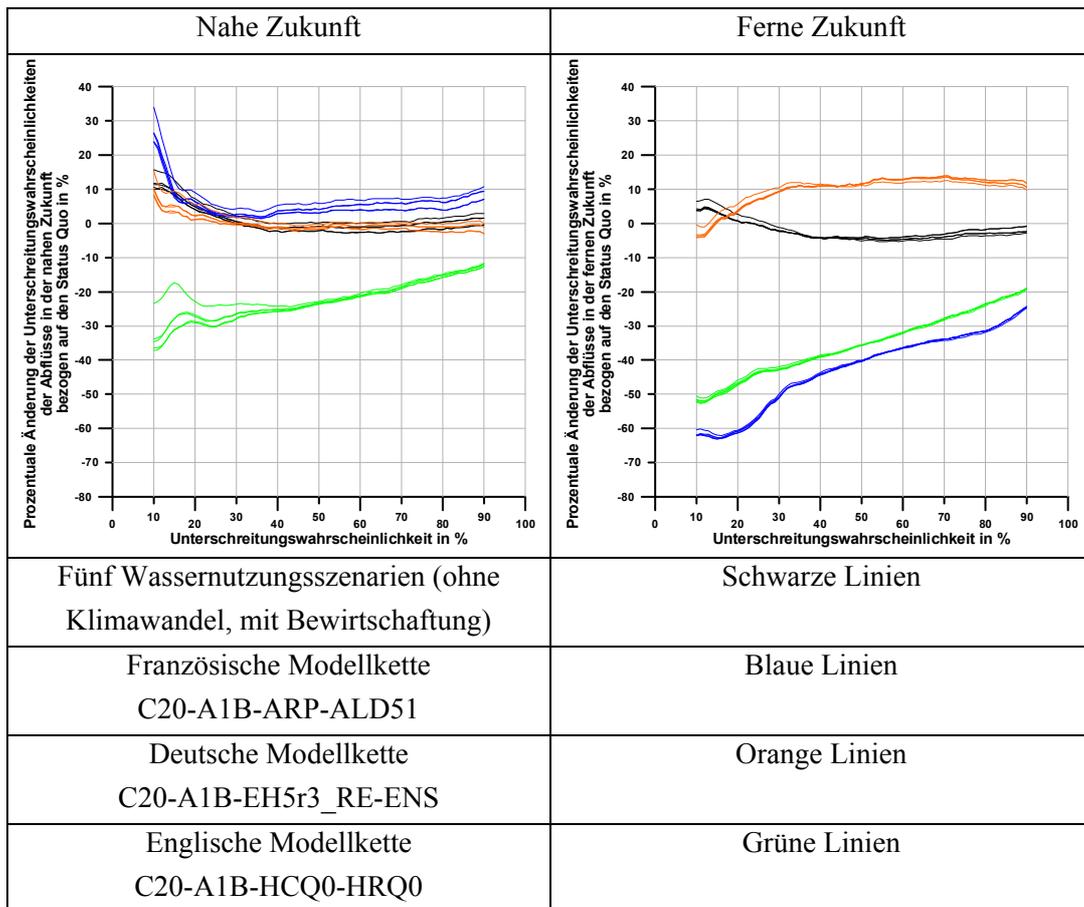


Abb. 1.2 Prozentuale Änderung der Quantile der Abflussdauerlinie (Unterschreitungswahrscheinlichkeiten) für den Pegel Ketzin in der nahen (links) und fernen (rechts) Zukunft bezogen auf den Referenzlauf (Status Quo). Dargestellt ist der Wertebereich von 10 bis 90 % der Unterschreitungswahrscheinlichkeiten. Da in den Extrembereichen der Abflussdauerlinie, d.h. bei den niedrigsten und höchsten Unterschreitungswahrscheinlichkeiten Abweichungen zwischen unterschiedlichen Zeitfenstern (z.B. Status Quo und nahe Zukunft) allein aufgrund methodisch bedingter Unterschiede in den Reihenlängen (unterschiedliche Anzahl von Jahren) auftreten können, wurden die oberen und unteren 10 % der Dauerlinie nicht betrachtet. Die dargestellten Ergebnisse basieren auf unterschiedlichen Wassernutzungsszenarien und verschiedenen Klimaszenarien. Es wird deutlich, dass in der nahen Zukunft die größten Änderungen in den unteren Quantilen zu erwarten sind, wobei die Bewirtschaftungsmaßnahmen sowohl allein als auch im Zusammenspiel mit der deutschen bzw. französischen Modellkette zu einer Verbesserung in diesem Abflussbereich führen werden, wohingegen die englische Modellkette auf eine Verschärfung der Situation hindeutet. In der fernen Zukunft bewirkt die Wasserbewirtschaftung allein sowie in Kombination mit der deutschen Modellkette eher geringe bzw. moderate Änderungen von maximal ca. -5 bis +15 %. Deutliche Änderungen vor allem in den niedrigeren Quantilen mit einem Rückgang von bis zu -60 % projizieren dagegen die französische und die englische Modellkette.

Es wird deutlich, dass in der nahen Zukunft die größten Änderungen in den unteren Quantilen (niedrigere Abflusswerte) zu erwarten sind, wobei die Bewirtschaftungsmaßnahmen sowohl allein betrachtet als auch im Zusammenspiel mit der deutschen bzw. französischen Modellkette zu einer Verbesserung in diesem Abflussbereich führen würden, wohingegen die englische Modellkette auf eine Verschärfung der Situation hindeutet. In der fernen Zukunft bewirken die Wasserbewirtschaftung allein sowie in Kombination mit der deutschen Modellkette eher geringe bzw. moderate Änderungen von maximal ca. -5 bis +15 %. Deutliche Änderungen, vor allem in den niedrigeren Quantilen mit einem Rückgang von bis zu -60 %, projizieren dagegen die französische und die englische Modellkette. Hinsichtlich der Richtung der Signale, insbesondere bezüglich der ausgewählten Modellketten, besteht somit ein Konsens zwischen der kennwertbezogenen Betrachtung (MQ und MNQ) und der quantilsbezogenen Betrachtung (Abflussdauerlinie).

1.5 Kernaussage

Im Ergebnis des Projektes stehen Spannweiten von sich unter den gewählten Randbedingungen einstellenden Abflüssen und Unterschreitungsdefiziten. Da zukünftige Entwicklungen (sowohl im Bereich des Klimawandels als auch in der Wasserbewirtschaftung) bis Ende des 21. Jahrhunderts nicht vorher gesehen werden können, ist es notwendig diesbezügliche Annahmen (Szenarien) zu treffen. Auf Basis der gewählten Szenarien ergeben sich Spannweiten verschiedener hydrologischer Größen.

Die erzielten Ergebnisse aus den gewählten Szenarien sind jedoch zu heterogen in der Entwicklung (sowohl **Verbesserung** als auch **Verschärfung** der Abflussverhältnisse), so dass auf deren **Basis keine konkreten Anpassungsmaßnahmen** empfohlen werden können. Bei weiterem Erkenntnisgewinn zu den gewählten Randbedingungen sollte eine erneute Modellierung vorgenommen werden.

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse aus dem 1. und 2. Teilbericht kann davon ausgegangen werden, dass die aufgrund der geplanten Anpassungsmaßnahmen zu erwartenden **ausbaubedingten Veränderungen** im Niedrig- und Mittelwasserbereich in der Haltung Brandenburg von nachgeordneter Bedeutung sind gegenüber den zu erwartenden Veränderungen, die durch die zukünftigen Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen bzw. den Klimawandel bedingt sind.

Generell sind die vorgestellten Ergebnisse **nur** unter den **angegeben Randbedingungen** (Pegelauswahl, gewählte Klima- und Bewirtschaftungsszenarien) gültig und **nicht verallgemeinerbar**. Es können pegelspezifische Effekte (wie in Kleinmachnow sichtbar) auftreten, so dass die Aussagen zum Einfluss der Wasserbewirtschaftung auf den Abfluss nur unter Angabe der jeweiligen Randbedingungen (hier: Bewirtschaftungsszenarien) und des Pegels erfolgen sollten.

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

BfG-1777

*Wasserwirt-
schaftliche
Verhältnisse
VDE 17
6. Fassung
2. Teilbericht*

Kapitel 2

Veranlassung und Zielstellung

2.1 Veranlassung und Schnittstelle zum 1. Teilbericht

Der Anlass für die aktuell vorliegende 6. Fassung des Berichtes zu den wasserwirtschaftlichen Verhältnissen (1. Teilbericht publiziert durch die Bundesanstalten für Gewässerkunde und Wasserbau (BfG und BAW, 2013)) ist die Überarbeitung der Planung der Fahrrinnenanpassung für die Berliner Nordtrasse und für die Flusshavel sowie die Berücksichtigung der Planungsveränderungen aus dem gerichtlichen Vergleich zum Sacrow-Paretzer-Kanal. Diese Baumaßnahmen machen es notwendig, die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse für die betroffenen Bereiche in der Stauhaltung Brandenburg: Untere Havel-Wasserstraße UHW-km 0,00 – 55,00; Spree-Oder-Wasserstraße SOW-km 0,00 – 6,00; Südstrecke Havelkanal HvK-km 22,90 bis 33,80) aktuell zu beschreiben und mögliche Veränderungen aus *Fahrrinnenanpassung*, *Klimawandel* und *Bergbausanierung* darzustellen.

Zum Erreichen dieser Untersuchungsziele waren sowohl hydrologische und hydraulische Analysen als auch Wasserbeschaffenheitsuntersuchungen des Havelgebietes mit Fokus auf die Stauhaltung Brandenburg notwendig. Bereits zu Beginn der Bearbeitung (also bei Auftragserteilung durch das Wasserstraßen-Neubauamt Berlin an die Bundesanstalten für Gewässerkunde und Wasserbau Anfang des Jahres 2011) wurde festgelegt, dass die Berichtserstellung und somit die Darstellung der Vorgehensweise und die Dokumentation der Ergebnisse in zwei Teilberichten (1. Vergangenheit/ Gegenwart und 2. Zukunft) erfolgen soll:

1. VERGANGENHEIT & GEGENWART

- **In dem 1. Teilbericht der 6. Berichtsfassung** (BfG und BAW, 2013) wurden die (vergangenen und) gegenwärtigen wasserwirtschaftlichen Verhältnisse unter Berücksichtigung der Veränderungen in den wasserwirtschaftlichen Nutzungsarten (d.h. Bergbau- und Bergbaufolgebewirtschaftung, Änderungen der Wasserentnahmen und Rückleitungen in Industrie, Landwirtschaft, öffentliche und nicht öffentliche Wasserver- und -entsorgung) analysiert sowie die daraus und aus der Fahrrinnenanpassung resultierenden Veränderungen der Abfluss- und Wasserstandsentwicklung beschrieben.

Die hydrologischen Untersuchungen zur zeitlichen Entwicklung des (vergangenen und gegenwärtigen) wasserwirtschaftlichen Dargebots erfolgten anhand von meteorologischen und hydrologischen Beobachtungsdaten. Auf der Basis statistischer Analysen des Niedrigwasserabflusses wurde ein neuer aktueller Istzustand (Zeitraum mit quasi homogenen Abflussverhältnissen, d. h. Abflussverhältnisse bei gleich bleibender bzw. nur gering sich ändernder Wasserbewirtschaftung) von Oktober 2000 bis November 2010 definiert. Dieser Zeitraum gab den Rahmen (1) für die wasserwirtschaftliche Bilanz der Haltung Brandenburg (d. h. für die durch die geplanten Baumaßnahmen betroffene Haltung) sowie (2) für die Festlegung der Randbedingungen zur hydraulischen Modellierung der Haltung im Niedrig-, Mittel- und Hochwasserbereich. Untersuchungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse in diesem Gebiet erfolgten hier noch nicht. Diese bilden den thematischen Schwerpunkt im 2. Teilbericht der 6. Berichtsfassung.

2. ZUKUNFT

- Im vorliegenden **2. Teilbericht der 6. Berichtsfassung** werden mögliche zukünftige Verhältnisse untersucht. Dies sind insbesondere die **Auswirkungen des Klimawandels** und **verschiedener anthropogener Szenarien** auf die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse im Havelgebiet und damit auch auf die interessierende Stauhaltung Brandenburg.

Die benötigten Eingangsdaten und Szenarienannahmen (Klimaprojektionen in Abschnitt 3.2, Wassernutzungsszenarien in Abschnitt 5.3) sowie das Vorgehen (also der Aufbau der Modellkette und ihrer einzelnen Elemente (Modelle): stochastisches Modell (Kapitel 3), Wasserhaushaltsmodell (Kapitel 4) und Bewirtschaftungsmodell (Kapitel 5)) werden ausführlich in dem Bericht vorgestellt. Alternativ für den Begriff „Wassernutzungsszenarien“ wird im Bericht auch „Bewirtschaftungsszenarien“ verwendet.

Diese umfangreichen Untersuchungen erfolgten durch DHI-WASY, Niederlassung Dresden im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Zeitraum von Dezember 2010 bis März 2013 (Projektleitung: Dr. Michael Kaltofen, Projektbearbeiter: Martina Schramm, Fabian Müller). Die fachliche Begleitung des Auftrages in der Bundesanstalt für Gewässerkunde übernahmen die BfG-Autoren dieses Berichtes. Der Abschlussbericht von DHI-WASY (2013) bildet die Grundlage dieses Berichtes. Viele Textbausteine wurden ohne Kennzeichnung direkt in diesen Bericht übernommen. Durch die BfG erfolgten weitergehende und zusätzliche Analysen zu den Eingangsgrößen des Wasserbewirtschaftungsmodells und zu den simulierten Ergebnissen (dargestellt insbesondere in den Abschnitten 4.3 und 4.6).

2.2 Gliederung und methodisches Vorgehen im 2. Teilbericht

Um die Effekte des Klimawandels im Kontext sich verändernder anthropogener Nutzung auf die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse untersuchen zu können, müssen meteorologische Größen (zum Beispiel Niederschlag, potenzielle Verdunstung) schlussendlich in bewirtschaftete Abflüsse transformiert werden. Hierzu wurde nachfolgende Modellkette gewählt, die auch gleichzeitig die Gliederung dieses Berichtes darstellt:

- Aufbau von verschiedenen stochastischen Simulationsmodellen zur Generierung von stochastischen meteorologischen und hydrologischen Monatswertreihen, Modellsystem: SIKO/ SIMO⁴ (SIKO/ SIMO, 2001), siehe hierzu Kapitel 3,
- Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells, welches die in (1) erzeugten Zeitreihen in stochastische quasi natürliche monatliche Abflussreihen transformiert, Modellsystem: EGMO-D⁵ (GLOS 1984) siehe hierzu Kapitel 4 und
- Aktualisierung und Anpassung des bestehenden Wasserbewirtschaftungsmodells Havel-Spree, welches die implementierte Wasserbewirtschaftung den in (2) erzeugten Zeitreihen gegenüberstellt und somit im Ergebnis stochastisch bewirtschaftete Abflussreihen generiert, Modellsystem WBalMo⁶, siehe hierzu Kapitel 5.

WBalMo Havel-Spree setzt sich aus verschiedenen Modellbausteinen für die jeweiligen Teileinzugsgebiete zusammen (Spree/ Schwarze Elster; Havel; Havelnebenflüsse Nuthe, Plane, Buckau, Dosse-Jäglitz; Berlin). Für die Simulationsrechnungen mit dem Bewirtschaftungsmodell WBalMo Havel-Spree wurden die parametrisierten und abgestimmten behördlichen Ländermodelle verwendet. Die Bereitstellung der Modelle erfolgte durch die Länder Freistaat Sachsen, Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Berlin. Entsprechende Nutzungsvereinbarungen wurden getroffen: Modellsystem Spree/ Schwarze Elster mit dem Arbeitskreis Wassermenge in der Arbeitsgemeinschaft Flussgebietsbewirtschaftung Spree/ Schwarze Elster (BfG, 2010a) und für die übrigen Havelgebiete mit dem Land Brandenburg (BfG, 2010b).

⁴ SIKO/ SIMO ist ein mehrdimensionales Autoregressionsmodell zur Generierung vieljähriger synthetischer Monatswertreihen von meteorologischen und hydrologischen Größen.

⁵ EGMO-D (GLOS 1984) ist ein Mehrkomponentenmodell, welches speziell für längere Zeitschritte konzipiert wurde.

⁶ WBalMo ist ein Simulationssystem für die Bewirtschaftungs- und Rahmenplanung von Flussgebieten. www.dhi-wasy.de

In Abb. 2.1 sind die einzelnen Elemente der Modellkette und ihre Verknüpfung dargestellt. Zusätzlich ersichtlich sind die notwendigen Eingangsdaten sowohl für die Referenz (Gegenwart, orange unterlegt entsprechend der Farbwahl in Abb. 1.2 zum Zusammenwirken der verschiedenen Modelle im 1. Teilbericht) als auch für die Zukunft (grün unterlegt, entsprechend der Farbwahl in selbiger Abb. 1.2 im 1. Teilbericht). Die notwendigen meteorologischen Daten als Eingangsgrößen für die stochastischen Modelle werden detailliert erläutert in den Abschnitten 3.2.1.1 und 3.2.1.2. Darüber hinaus erfordern Aussagen über die Auswirkungen des Klimawandels auf die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse in einem anthropogen geprägten Gebiet notwendigerweise auch Daten bzw. Annahmen über die anthropogene Nutzung/Beeinflussung des Wasserdargebotes. Im 1. Teilbericht wurden die tatsächlichen/ genehmigten Nutzerdaten für die Referenz ausführlich in Abschnitt 3.3 analysiert und ausgewertet. Die Annahmen für mögliche zukünftige Entwicklungen werden nutzergruppenspezifisch in Abschnitt 5.3 in diesem Teilbericht erläutert.

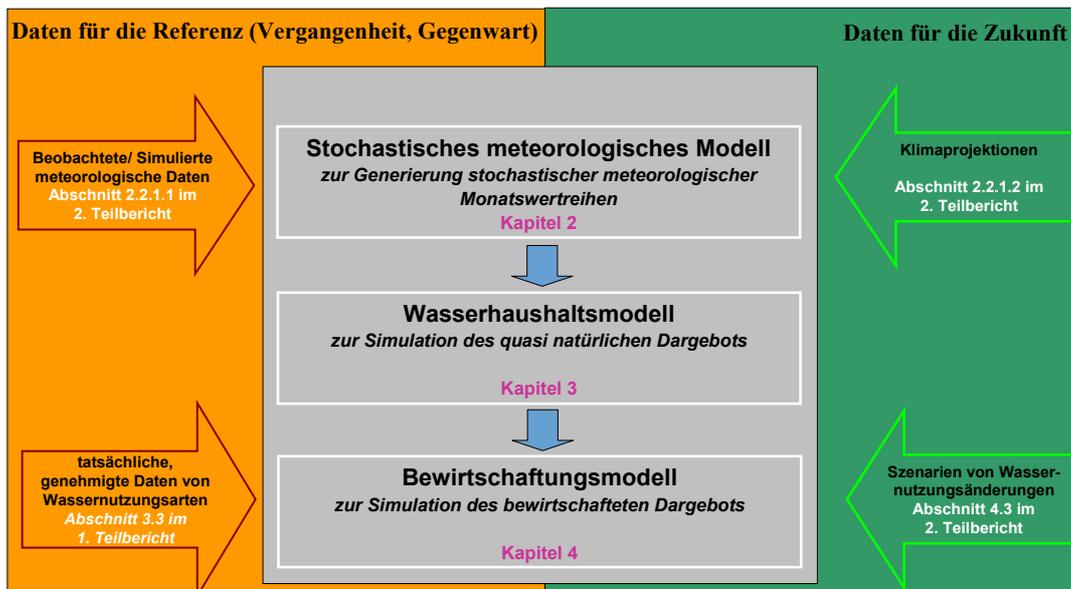


Abb. 2.1 Darstellung der Modellkette und ihrer einzelnen Elemente sowie Auflistung der Eingangsdaten bzw. der Szenarien für Klimawandel und Wassernutzungsänderungen für die Gegenwart und für die Zukunft. Angabe der entsprechenden Gliederungspunkte im Bericht. Die Modellkette besteht aus drei einzelnen Modellbausteinen.

Kapitel 3

Stochastisches meteorologisches Modell

3.1 Zielstellung

Ziel ist die Generierung vieljähriger stochastischer Monatswertreihen von meteorologischen und hydrologischen Größen, die dann als Eingangsgrößen für das Wasserhaushaltsmodell fungieren. Mit der stochastischen Generierung sollten meteorologische und hydrologische Situationen abgebildet werden, die im Beobachtungszeitraum nicht erfasst sind. Beobachtungsdaten als äußere Randbedingungen für ein Modell sind nur eingeschränkt repräsentativ, da das anhand von Beobachtungsdaten abgeschätzte Wasserdargebot meistens nur einen Ausschnitt aus der hydrologischen Grundgesamtheit darstellt (Loucks und Van Beek, 2005). Das bedeutet, dass die Untersuchungen mit dem Modell nur für den Zeitraum der Stichprobe repräsentativ wären, nicht aber für die Grundgesamtheit, so dass die simulierten Ergebnisse und deren Auswertungen insbesondere für die Extremwerte unter Umständen nicht aussagekräftig sind.

Die Grundlagen zur Generierung der synthetischen Datenreihen sind vieljährige Reihen der benötigten Prozessgrößen. Dazu zählen die meteorologischen Größen:

- Niederschlagsdargebot
- potenzielle Verdunstung nach Turc/ Ivanov
- Lufttemperatur
- relative Luftfeuchte

sowie die hydrologischen Größen:

- Abfluss am Pegel Barby/ Elbe
- Grundwasserzufluss für die Stauhaltungen Zerben und Wusterwitz sowie für den Grenzgraben.

Zur Generierung der synthetischen Monatswertreihen wurde das mehrdimensionale Autoregressionsmodell SIKO/ SIMO (2001) verwendet.

Eine detaillierte **Beschreibung der meteorologischen Größen** ist sowohl im 1. Teilbericht in Abschnitt 3.2 und ergänzend in diesem 2. Teilbericht in **Abschnitt 3.2** zu finden. Die **hydrologischen Größen** werden im 2. Teilbericht in **Abschnitt 3.4** beschrieben.

3.2 Meteorologie für die Referenz und für die Zukunft

3.2.1 Datengrundlagen

Die **meteorologischen Prozessgrößen** wie Niederschlagsdargebot (N), potenzielle Verdunstung (ETP) nach Turc-Ivanov, Lufttemperatur (T) und relative Luftfeuchte (RH) bilden die Eingangsdaten für das stochastischen Modell.

3.2.1.1 Beobachtungen bzw. Simulationen für die Referenz (Bezugszeitspanne)

Die **meteorologische Beobachtung** (N, ETP, T und RH) **für die Referenz** (Zeitspanne 1951 bis 2006) bildet der HYRAS-Datensatz (Rauthe et al., 2011). Dieser Datensatz ist ein rasterbasiertes Produkt mit Tageswerten meteorologischer Größen über den Zeitraum von 1951 bis 2006 und einer räumlichen Auflösung von 5 km x 5 km für internationale Flusseinzugsgebiete mit deutschem Gebietsanteil. Die Rasterdaten wurden anhand einer Regionalisierung von Stationsdaten des Deutschen Wetterdienstes und der jeweiligen meteorologischen Dienste der Nachbarstaaten erstellt.

Die **Simulation** für die Referenz über dieselbe Zeitspanne wird durch den Klimakontrolllauf der jeweils gewählten Klimaprojektion abgebildet (im Weiteren KLIMA_Ist genannt). Die Kontrollläufe basieren auf Verkettungen von globalen und regionalen Klimamodellen, die – im Unterschied zu den Szenarienläufen (Klimaprojektionen, siehe Abschnitt 3.2.1.2) – mit beobachteten atmosphärischen Bedingungen (als CO₂-Gehalt ect.) angetrieben werden. Sie dienen der Bewertung der Fähigkeit der Klimamodellketten zur Simulation der Gegenwart und als Vergleichsgrundlage für zukünftige Veränderungen. Streng genommen endet der Kontrollzeitraum mit dem 20. Jahrhundert (daher im Weiteren die Bezeichnung „C20“).

3.2.1.2 Klimaprojektionen für die Zukunft

Die Untersuchungen zu den zukünftigen Veränderungen des wasserwirtschaftlichen Dargebots sind eingebettet in das Ressortforschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung KLIWAS „Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen“ (www.kliwas.de, Abruf 16. Mai 2013).

Eine sehr gute Darstellung zu den methodischen Ansätzen im Projekt „KLIWAS“ sind auf der Internetseite des Projektes (www.kliwas.de) zu finden. Die nachfolgenden Textbausteine zur Modellphilosophie („Multimodellansatz“) wurde aufgrund der eingehenden Darstellung davon (Rubrik: Methoden) entnommen:

„Die Projektion des zukünftigen Klimas, d.h. die Berechnung eines möglichen zukünftigen Witterungsverlaufes, ist naturgemäß mit Unsicherheiten behaftet: Zum einen können die mathematisch-physikalischen Werkzeuge, d.h. die „Klimamodelle“ das Klimasystem der Erde nicht hinreichend genau beschreiben. Zum anderen sind die zukünftigen Randbedingungen für die Klimaentwicklung nicht bekannt. Für letztere wurden daher vom „International Panel on Climate Change (IPCC, auch Weltklimarat bezeichnet) mittels plausibler Annahmen, zum Beispiel über die Entwicklung der anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen, sogenannte Emissionsszenarien (SRES-Report (2000)) vorgegeben. Eine Klimaprojektion ist folglich ein möglicher zukünftiger klimatischer Zustand, der aufbauend auf angenommenen Emissionsentwicklungen von Treibhausgasen mit Hilfe mathematischer Klimamodelle errechnet wurde.

Jedes einzelne Klimamodell liefert andere Ergebnisse, also andere Klimaprojektionen. Um die Sicherheit oder Unsicherheit eines einzelnen Ergebnisses abschätzen zu können, ist es notwendig, Klimaprojektionen, die auf möglichst vielen, unterschiedlichen Klimamodellen basieren, zu generieren und miteinander zu vergleichen. KLIWAS berücksichtigt deshalb – wann immer dies verfahrenstechnisch möglich ist – alle verfügbaren Klimaprojektionen, um die Bandbreite möglicher zukünftiger klimatischer Entwicklungen aufzuzeigen. Dieser Prozess wird mit möglichst vielen Regionalisierungsverfahren und mit möglichst vielen Wirkmodellen wiederholt. Dieses Verfahren, in jedem Schritt der Modellkette mehrere Modelle zu berücksichtigen, wird als „**Multi-Modell-Ansatz**“ bezeichnet.

Ziel des Forschungsprogramms KLIWAS ist es, Aussagen über mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserstraßen und die Schifffahrt zu treffen. Die globalen Klimamodelle mit ihrer räumlichen Auflösung (derzeit etwa 200 km) können regionale meteorologische Effekte kaum wiedergeben, sodass in einem zweiten Schritt anhand von regionalen Klimamodellen regionale Klimaprojektionen errechnet werden. KLIWAS greift daher auch auf die Ergebnisse regionaler Klimaprojektionsrechnungen zurück, die über nationale und europäische Forschungsprogramme (z.B. ENSEMBLES publiziert in Van der Linden und Mitchell, 2009) bereitgestellt wurden. Anschließend werden relevante hydrologische und hydrometeorologische Parameter aus den regionalen Klimaprojektionen mit Hilfe von Skalierungs- und Interpolationsverfahren (subsumiert unter dem Begriff – BIAS-Korrekturverfahren in der Abb. 3.1) auf die betrachteten Flusseinzugsgebiete projiziert. Sie dienen dann mit Hilfe von Wasserhaushaltsmodellen zur Bestimmung zum Beispiel von Abfluss-Szenarien. Schließlich werden diese Daten in weiteren Modellen, die sich im vorliegenden Fall mit Fragen der Wasserbewirtschaftung beschäftigen, verwendet.

Diese hierarchische Verknüpfung aller genannten Komponenten wird „Modellkette“ genannt. Nicht nur auf Ebene der Klimamodelle, sondern auch in anderen Schritten dieser Modellkette werden - soweit verfügbar - mehrere Modelle berücksichtigt. Ein Ergebnis der KLIWAS-Forschung ist also eine möglichst gute Schätzung der Bandbreite möglicher zukünftiger Zustände unserer Gewässer. Im Binnenland werden im Rahmen von KLIWAS vor allem die Flussgebiete Rhein, Elbe und Donau untersucht (Methoden dargestellt in www.kliwas.de)“.

Die Modellphilosophie von KLIWAS sowie die Modellkette von KLIWAS Elbe, dargestellt in Abb. 3.1, bilden die Grundlagen für die hier dargestellten Untersuchungen im Havel-Spreengebiet. Es wurden drei Klimaprojektionen (siehe rote Umrandung Abb. 3.1 und zusätzlich Informationen in Tabelle 3.1) von den rund 20 Klimaprojektionen des EU-Forschungsprojektes ENSEMBLES (Van der Linden und Mitchell, 2009) ausgewählt, so dass eine (Teil)-Bandbreite möglicher (klimatischer) Zukünfte abgebildet werden kann.

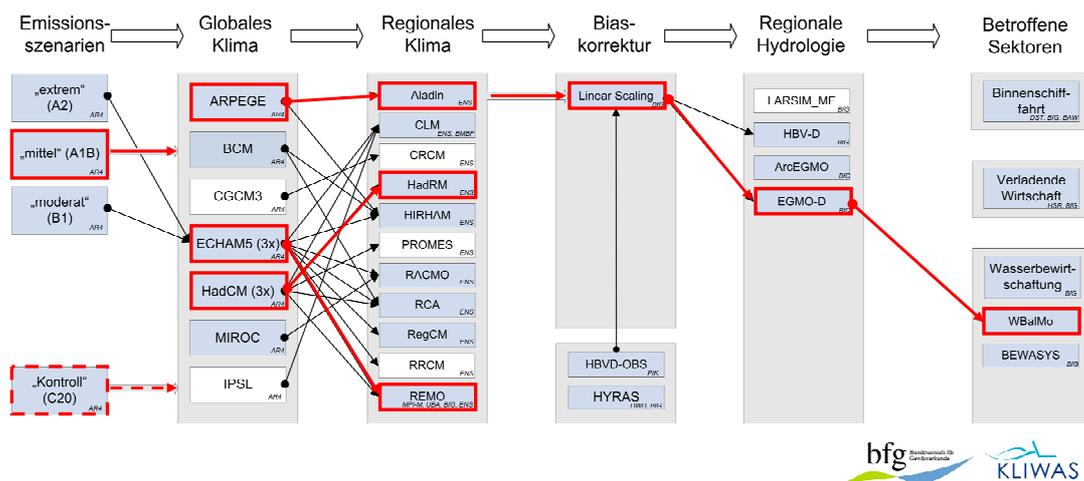


Abb. 3.1 Modellketten von KLIWAS, die für die Untersuchungen im Elbegebiet verwendet werden. Sichtbar wird der Multi-Modell-Ansatz. Alle (weiß und blau) dargestellten Elemente bzw. Verfahren wurden untersucht bzw. angewendet. Die weiß markierten Klimaprojektionen wurden nach ihrer Überprüfung aufgrund der starken Abweichungen zwischen der Simulation der Gegenwart und der Beobachtung verworfen. LARSIM_ME befindet sich noch in der Entwicklung. Die rot umrandeten Modellketten (3 Klimaprojektionen) wurden im Rahmen des vorliegenden Projektes verwendet und stellen eine Teilmenge der in KLIWAS-Elbe verwendeten Modellketten (blaue Markierung) dar

In Lingemann et al. (2013) werden die verschiedenen Klimaprojektionen (dargestellt in Abb. 3.1) hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Abflussgeschehen im Elbegebiet ausgewertet und deren Unsicherheiten aufgezeigt. Aus der Abb. 9 in diesem Artikel ist nachfolgende linke Abb. 3.2 entnommen.

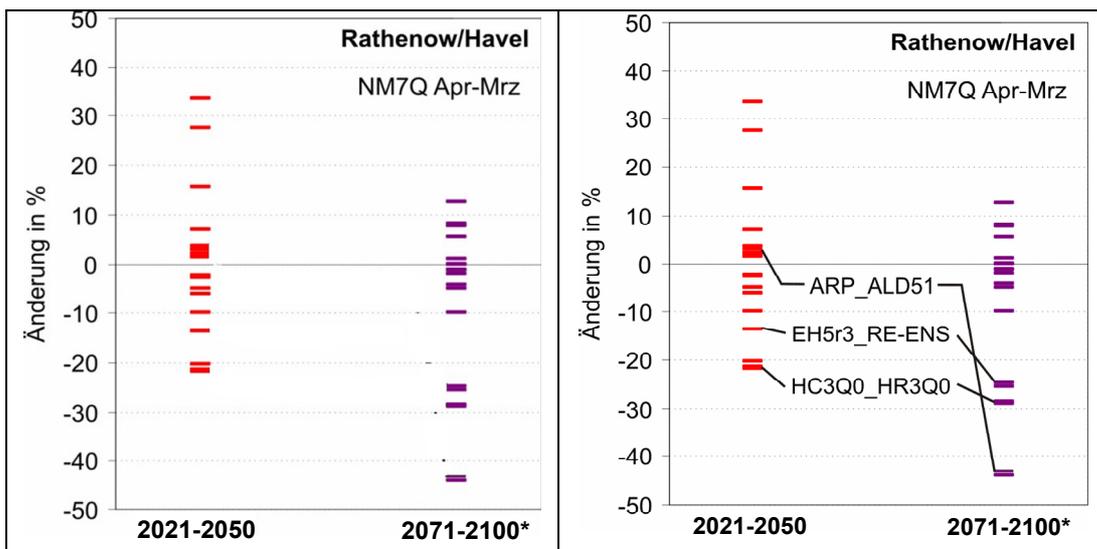


Abb. 3.2 Änderungssignale des Niedrigwasserkennwertes NM7Q auf Basis von 20 (nahe Zukunft, 2021-2050) bzw. 17 (ferne Zukunft, 2071-2100) Abflussprojektionen (HBV-D, Verdunstungsberechnung nur Temperatur-basiert). Einordnung der ausgewählten drei Modellketten aus Tabelle 2.1 (auf die ersten 6 Zeichen der Abkürzung wurde verzichtet). * Einige Klimaprojektionen decken nicht die vollständige Zeitspanne bis 2100 ab, sondern enden bereits 2099. Für diese Projektionen wurde die 30jährige Zeitspanne in der fernen Zukunft entsprechend angepasst (2070-2099).

Die linke Abb. 3.2 zeigt die Bandbreite (waagerechte Striche) der Ergebnisse für den Niedrigwasserkennwert NM7Q am Pegel Rathenow (Untere Havel-Wasserstraße), die sich auf Grundlage von 20 bzw. 17 Klimaprojektionen für die „nahe“ (orange) bzw. „ferne“ (violett) Zukunft nach einer linearen Biaskorrektur unter Verwendung des hydrologischen Modells HBV-D (Verdunstungsberechnung nur Temperatur-basiert) ergibt. Es ist darauf hinzuweisen, dass dieser Prozessierungspfad aufgrund des Verdunstungsansatzes im Vergleich zu anderen eher zu mehr Trockenheit tendiert. Aus diesem sogenannten Multi-Modell-Ensemble, wurden im Rahmen des Havelprojektes drei Klimaprojektionen in der unteren Hälfte des Ensembles (für die ferne Zukunft) ausgewählt (rechte Abb. 3.2). Diese beruhen auf drei verschiedenen globalen Klimamodellen (alle Emissionsszenario A1B, mittleres Entwicklungsszenario siehe Abb. 3.3) in Verbindung mit jeweils einem anderen regionalen Klimamodell und repräsentieren somit einen Querschnitt der europäischen Forschungslandschaft im Bereich der Klimamodellierung (vgl. Tabelle 3.1). Hinsichtlich der Niedrigwasserprojektionen geben sie in der nahen Zukunft (2021-2050) die Gesamtcharakteristik des HBV-D-Ensembles gut wieder; unplausible Simulationen und Ausreißer werden dabei nicht berücksichtigt. Für die ferne Zukunft (2071-2100) liegen die Projektionen eher am „trockenen Ende“ des Ensembles.

Tabelle 3.1 Klimamodellketten. Auswahl von 3 Klimaprojektionen (verschiedene Globalmodelle in Verbindung mit jeweils einem anderen Regionalmodell) aus dem rund 20 Klimaprojektionen des EU-Forschungsprojektes ENSEMBLES.

Land	Modellkette	Institution
	C20-A1B-ARP-ALD51 (im Weiteren französische Modellkette genannt)	Centre National de Recherche Météorologiques (CNRM)
	C20-A1B-EH5r3_RE-ENS (im Weiteren deutsche Modellkette genannt)	Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M)
	C20-A1B-HCQ0-HRQ0 (im Weiteren englische Modellkette genannt)	Met Office Hadley Centre (HC)

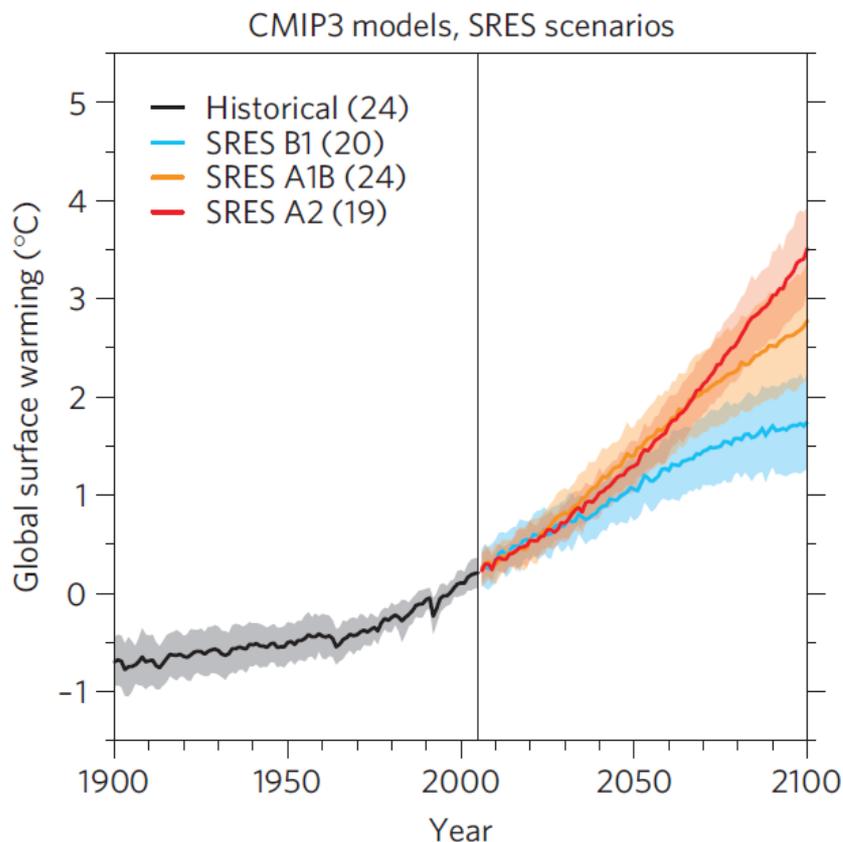


Abb. 3.3 Emissionsszenarien (4. IPCC-Bericht (2007)). Entwicklung des Klimas in Abhängigkeit von der Entwicklung der Treibhausgasemissionen und -konzentrationen. A1B (hier gewählt) symbolisiert eine mittlere Treibhausgasemission bis 2100. SRES ist die Abkürzung von Special Report on Emissions Scenarios und stellt somit die publizierte Literatur dar, in der die Emissionsszenarien beschrieben werden (SRES, 2000).

Für die Aufbereitung der meteorologischen und hydrologischen Daten musste zuerst die zeitliche (siehe Abschnitt 3.2.2.1) und räumliche Struktur (siehe Abschnitt 3.2.2.2) der stochastischen Modelle festgelegt werden. In den Abschnitten 3.2.3.1 bis 3.2.3.3 erfolgt die detaillierte Beschreibung zur Aufbereitung der einzelnen Prozessgrößen.

3.2.2 Definition von Zeit- und Raumstruktur

3.2.2.1 Zeitstruktur

Der Aufbau der stochastischen Modelle erfolgte für unterschiedliche Zeitspannen, in denen jeweils quasi stationäre Verhältnisse angenommen wurden:

- a) 1951-2006: Referenz (HYRAS-Datensatz (Rauthe et al., 2011))
- b) 1951-2006: Klima_Ist (Klimakontrollläufe)
- c) 2021-2050: nahe Zukunft
- d) 2071-2100: ferne Zukunft

Die Annahme, dass die letztgenannten Zeitabschnitte in der Zukunft quasi stationär sind, wurde mit Hilfe von statistischen Verfahren geprüft. Hierzu wurde geprüft, ob relevante Abweichungen von Mittelwerten und Standardabweichungen der klimatischen Wasserbilanz (also korrigierter Niederschlag minus potenzieller Verdunstung) bezogen auf die Hauptgebiete Havel und Spree zwischen dem Beginn (2006 bis 2035) und dem Ende der nahen Zukunft (2036 bis 2065) jeweils im Vergleich zum Gesamtzeitraum der nahen Zukunft (2021 bis 2050) bestehen. Methodisch ähnlich wurde bei der fernen Zukunft vorgegangen. Von dem Ergebnis hängt die Festlegung der zeitlichen Struktur und somit der Aufbau der stochastischen Modelle ab. Durchgeführt wurden statistische Tests für die Übereinstimmung der Verteilung, der Mittelwerte und der Standardabweichung zwischen den verschiedenen Zeithorizonten. Für alle drei Klimaprojektionen konnte auf Basis der Testergebnisse festgestellt werden, dass keine statistisch signifikanten Abweichungen (auf einem Signifikanzniveau von 5 %) in der klimatischen Wasserbilanz zwischen Beginn bzw. Ende der nahen und fernen Zukunft vorliegen. Somit können die stochastischen Modelle basierend auf den Reihen von 2021 bis 2050 (nahe Zukunft) und 2071 bis 2100 (ferne Zukunft) aufgebaut werden. Dementsprechend wurden zehn stochastische Modelle aufgebaut. Die Zeiträume sind in der Tabelle 3.2 angegeben.

Tabelle 3.2 Zeitstruktur der stochastischen Modelle. Es wurden 10 stochastische Modelle aufgebaut.

Datenbasis	stochastisches Modell	Länge der synthetischen Reihen	300 Realisierungen für Wasserhaushalts- und Bewirtschaftungsmodell
1951-2006 Referenz	1 Modell Referenz HYRAS-Datensatz	30 000 a	Beginn Periode 1 (2003) bis Ende Periode 20 (2102) (100 a)*
1951-2006 KLIMA_Ist	3 Modelle Kontrollläufe der Klimaprojektionen	30 000 a	Beginn Periode 1 (2003) bis Ende Periode 20 (2102) (100 a)*
2021-2050 Nahe Zukunft	3 Modelle Klimaprojektionen	13 500 a	Beginn Periode 3 (2013) bis Ende Periode 11 (2057) (45 a)*
2071-2100 (2099) Ferne Zukunft	3 Modelle Klimaprojektionen	13 500 a	Beginn Periode 12 (2058) bis Ende Periode 20 (2102) (45 a)*

* Die jeweiligen Zeitspannen entsprechen den Perioden des Bewirtschaftungsmodells. Detailliertere Informationen sind in Abschnitt 5.4 und Tabelle 5.2 enthalten.

3.2.2.2 Raumstruktur

Für die räumliche Aufbereitung der meteorologischen Prozessgrößen ist es zunächst erforderlich sinnvolle meteorologische Teilgebiete zu definieren, für die die jeweiligen monatlichen Gebietsmittelwerte ermittelt werden mussten. Es wurden 28 meteorologische Teilgebiete festgelegt (siehe Abb. 3.4). Für diese Gebiete (bzw. für eine Anzahl ausgewählter Gebiete) mussten für alle meteorologischen Größen (Niederschlagsangebot, potenzielle Verdunstung, Lufttemperatur und relative Luftfeuchte) die Gebietsmittelwerte erstellt werden.

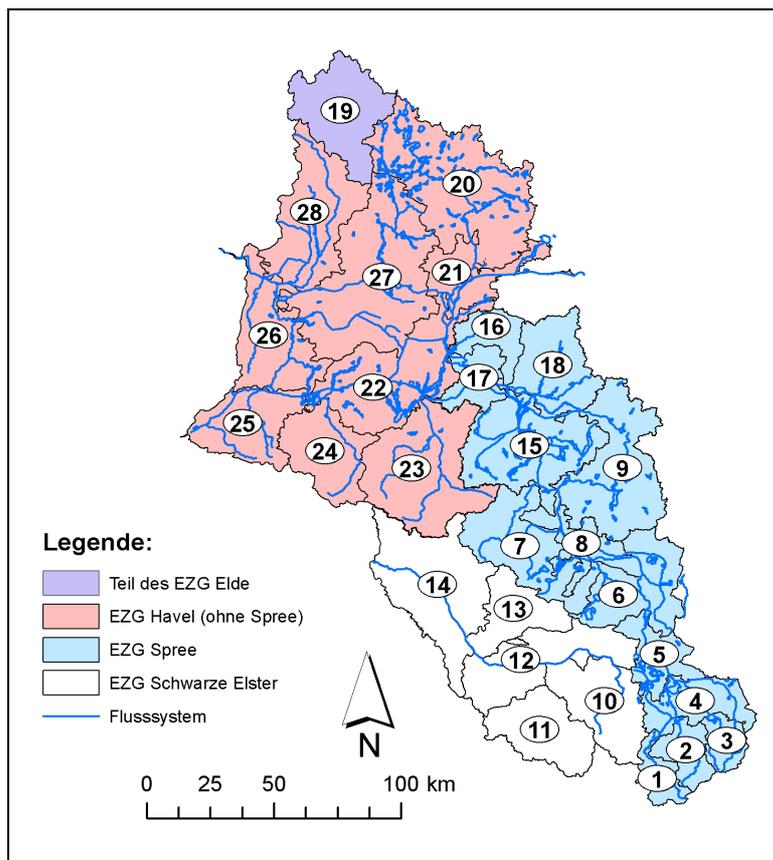


Abb. 3.4 Einteilung des Untersuchungsgebietes in meteorologische Teilgebiete. Es wurden 28 Teilgebiete festgelegt. Die Ziffer entspricht der Nummer des Teilgebietes. EZG ist die Abkürzung für Einzugsgebiet.

3.2.3 Meteorologische Prozessgrößen

3.2.3.1 Niederschlagsdargebot

Zur Ermittlung des **Niederschlagsdargebotes** wurden zuerst die täglichen Niederschlagsrasterdaten (nur flüssiger Anteil, also Regen) auf die meteorologischen Teilgebiete (siehe hierzu Abb. 3.4 zur Einteilung des Untersuchungsgebietes in 28 meteorologische Teilgebiete) durch flächengewichtete Mittelung aggregiert und in einem zweiten Schritt um den systematischen Niederschlagsmessfehler gemäß monatlicher Korrekturfaktoren nach Richter (dokumentiert in der Tabelle 3.2 im 1. Teilbericht, entnommen aus HAD, 2003) korrigiert.

Da die noch aufzubauenden Wasserhaushaltsmodelle (siehe hierzu Kapitel 4) kein Modul zur Ermittlung des Niederschlagsanteiles, der als Schnee wirksam wird, enthält, ist dieser Anteil bereits bei der Ermittlung der meteorologischen Eingangszeitreihen zu ermitteln. Daher wurden mit Hilfe des Schneemoduls (aus Bergström, 1992) die ermittelten

Gebietswerte des Niederschlages (nur flüssiger Anteil) um den Anteil des Schnees erweitert und dann zu Monatssummen aggregiert.

Die Schneemodellierung ist der Schneeroutine des Niederschlag-Abflussmodells HBV entliehen (Bergström, 1992). Die Parameterwerte des Schneemodells sind dem Modell HBV-D Elbe, Teileinzugsgebiet Rathenow entnommen:

<i>TRainSnow</i>	=	0.0	Grenztemperatur für Unterscheidung, ob Regen oder Schnee vorliegt [°C]
<i>TMelt</i>	=	-1.0	Grenztemperatur für Schneeschmelze [°C]
<i>MWRetFac</i>	=	0.08	Maximaler Anteil des flüssigen Wassers im Schnee [-]
<i>DayDegrFac</i>	=	2.0	Grad-Tag-Faktor [mm/°C]
<i>RefrFac</i>	=	0.01	Faktor für Rückgefrieren von flüssigem Wasser in der Schneedecke [-]

Zur hier angewandten Vorgehensweise ist anzumerken, dass im Gegensatz zum klassischen HBV-Ansatz die Schneesimulation innerhalb eines Simulationsteilgebietes nicht höhenabhängig und vegetationspezifisch erfolgt, sondern einheitlich über die mittlere Gebietshöhe für alle Landnutzungsklassen gleich berechnet wird.

Nachfolgend wird die Funktionsweise des Schneemodells kurz erläutert (Prinzipiskizze Abb. 3.5).

- Im ersten Schritt wird anhand der Grenztemperatur *TRainSnow* unterschieden, ob der Niederschlag des betreffenden Tages als Regen oder Schnee fällt. Ist die Tagesmitteltemperatur niedriger als *TRainSnow*, fällt der Niederschlag als Schnee und der vorhandene Schneedeckenspeicher (trocken) *SnowStorage* erhöht sich um den Niederschlag. Fällt der Niederschlag als Regen, erhöht dieser entsprechend den Flüssigwasserspeicher der Schneedecke *LiqWater*.
- Im nächsten Schritt wird die potentielle Schneeschmelze *MeltWater* bzw. die Menge des rückgefrierenden flüssigen Wassers *RefrWater* in der Schneeschmelze berechnet. Ist die Tagesmitteltemperatur größer als die Grenztemperatur für Schneeschmelze *TMelt*, so errechnet sich die Schneeschmelze nach der Formel:

$$MeltWater = DayDegrFac * (T - TMelt)$$

- Ist die Tagesmitteltemperatur niedriger als die Grenztemperatur *TMelt*, so gefriert in der Schneedecke zurückgehaltenes flüssiges Wasser (falls vorhanden) wieder zu festem Schnee, nach der Formel:

$$RefrWater = RefrFac * DayDegrFac * (TMelt - T)$$

- Überschreitet die Menge des in der Schneedecke zurückgehaltenen flüssigen Wassers $LiqWater$ einen bestimmten maximal möglichen Anteil ($MWRetFac$) am trockenen Schnee ($SnowStorage$) in der Schneedecke, $LiqWaterMax$, so wird das überschüssige Wasser $WaterFromSnow$ aus dem Schneespeicher abgegeben.

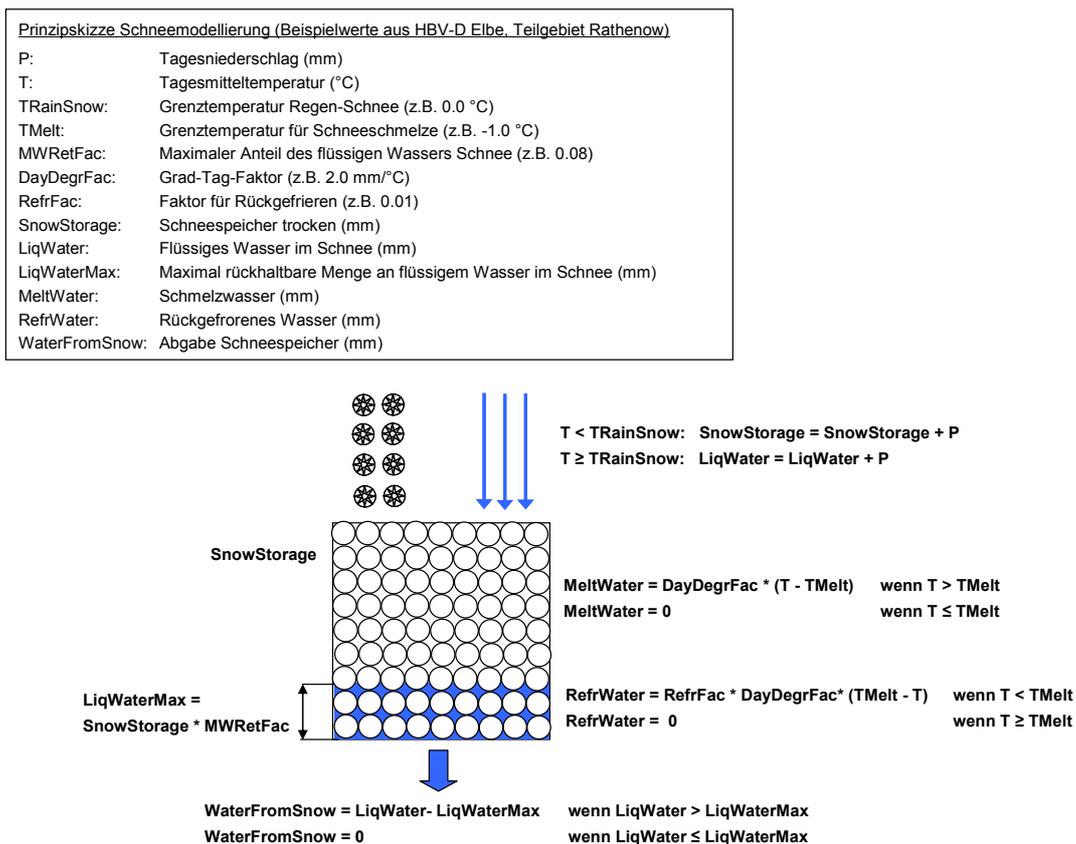


Abb. 3.5 Prinzipskizze der Schneemodellierung. Die Beispielwerte stammen aus dem Modell HBV-D, Teilgebiet Rathenow und wurden auf das gesamte Havel-Spreeggebiet übertragen.

Zur **Validierung der Gebietsmittel der Niederschläge** (nur für die Referenz) wurden die korrigierten vieljährig gemittelten Jahressummen, die auf der Basis des HYRAS-Datensatzes ermittelt wurden, verglichen mit den Gebietsmitteln, die auf der Basis von Stationswerten des DWD abgeschätzt wurden. Dieser Vergleich erfolgte für die Teilgebiete der Schwarzen Elster und der Spree (bis zum Pegel Große Tränke, Teilgebiete 1 bis 18), da aufgrund der relativen aktuellen Überarbeitung der Dargebotsmodellierung durch DHI-WASY in diesen Gebieten (DHI-WASY, 2010) Daten für dieselbe Gebietsgliederung und Reihenlänge (1951-2006) vorhanden waren.

In Abb. 3.6 ist der Vergleich als Scatterplot⁷ dargestellt. Eine gute Übereinstimmung wird deutlich. Die geringen Abweichungen resultieren aus den unterschiedlichen Methodiken zur Ermittlung der Gebietsmittel und des abflusswirksamen Niederschlages.

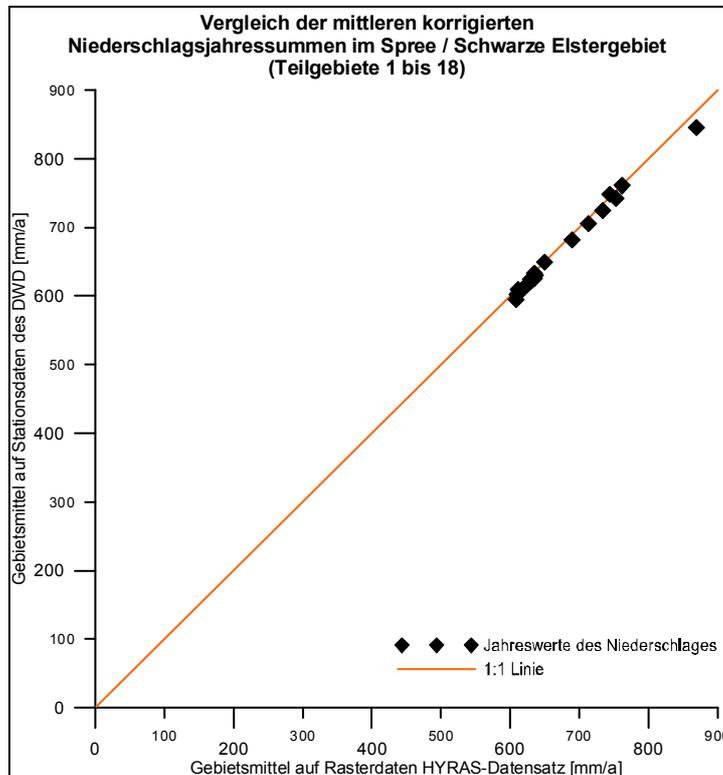


Abb. 3.6 Vergleich der vieljährig gemittelten Gebietswerte der korrigierten Niederschlagsjahressummen, die auf der Basis des HYRAS-Datensatzes und auf der Basis von Stationswerten des DWD im Spree/ Schwarze Elstergebiet ermittelt wurden. Gute Übereinstimmung ist zu erkennen. Geringe Abweichungen resultieren aus unterschiedlichen Methodiken zur Ermittlung der Gebietsmittel und der abflusswirksamen Niederschläge.

Eine Validierung für die restlichen Havel-Gebiete (Teilgebiete 19 bis 28) konnte nicht durchgeführt werden, da keine Vergleichswerte vorlagen.

⁷ Scatterplot: einfaches graphisches Hilfsmittel zur Veranschaulichung der bestehenden Beziehungen zwischen zwei Variablen

3.2.3.2 Potenzielle Verdunstung nach TURC/ IVANOV

Die Monatssummen der potenziellen Verdunstung nach TURC/ IVANOV wurden für die meteorologischen Teilgebiete 1 bis 28 ermittelt. Hierzu wurden die täglichen Rasterdaten von Temperatur, Globalstrahlung und relativer Luftfeuchte korrigiert (siehe Abschnitt 3.2.3.3) und auf die meteorologischen Teilgebiete durch flächengewichtete Mittelung übertragen. Die Berechnung der täglichen potentiellen Verdunstung nach TURC erfolgte für Tage mit einer mittleren Temperatur $\geq 5^{\circ}\text{C}$ unter Berücksichtigung des für Deutschland empfohlenen Korrekturfaktors von 1,1 sowie nach IVANOV für Tage mit einer mittleren Temperatur $< 5^{\circ}\text{C}$ (nach DVWK-M 238, 1996, siehe auch detaillierte Erläuterung im 1. Teilbericht in Abschnitt 3.2.2). Im Anschluss erfolgte die Aggregation der täglichen potentiellen Verdunstung zu Monatssummen.

Zur **Validierung der Gebietsmittel** (für die Referenz) wurden (analog zum Vergleich der Niederschläge) die auf der Basis des HYRAS-Datensatzes berechneten Gebietsmittel der potenziellen Verdunstung mit denen verglichen, die auf der Basis der Stationswerte ermittelt wurden. In Abb. 3.7 sind die vieljährig gemittelten Gebietswerte der potenziellen Verdunstung (ermittelt auf Basis des HYRAS-Datensatzes und ermittelt auf Basis von Stationswerten des DWD) dargestellt. Es wird deutlich, dass die Verdunstungswerte im Spree/Schwarze Elstergebiet nicht so stark variieren wie die Niederschlagswerte. Abweichungen sind erkennbar, diese liegen jedoch im Bereich von -2 bis + 2 %.

Eine Validierung der Gebietsmittel der potenziellen Verdunstung für die Havel-Gebiete (Teilgebiete 19 bis 28) konnte nicht erfolgen, da keine Vergleichswerte vorlagen.

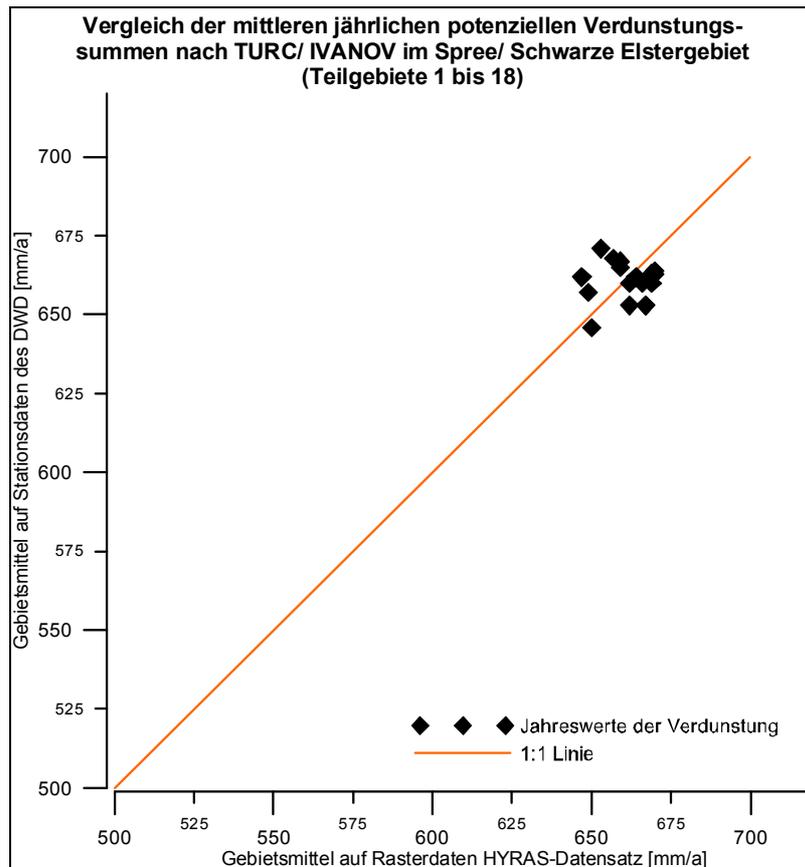


Abb. 3.7 Vergleich der vieljährig gemittelten Gebietswerte der potenziellen Verdunstungssummen nach TURC/ IVANOV (zum einen ermittelt auf der Basis des HYRAS-Datensatzes und zum anderen ermittelt auf der Basis von Stationswerten des DWD im Spree/ Schwarze Elstergebiet). Verdunstungswerte im Spree/ Schwarze Elstergebiet (Teilgebiete 1 bis 18) variieren nicht so stark wie die Niederschlagswerte. Abweichungen sind erkennbar, liegen jedoch im Bereich von -2 bis + 2 %.

3.2.3.3 Relative Luftfeuchte und Lufttemperatur

Die Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchte und der Lufttemperatur mussten nur für die sieben meteorologischen Teilgebiete (5, 6, 12, 17, 22, 25, 26, siehe Tabelle 3.3) ermittelt werden, in denen sich Kraftwerke befinden. Diese Größen werden ausschließlich für die Abschätzung der Verdunstungsverluste durch den Kraftwerksbetrieb (siehe detaillierte Beschreibung zur Wahl der Wassernutzungsszenarien im späteren Abschnitt 5.3.3, Szenarium KRAFTWERK) benötigt.

Tabelle 3.3 Teilgebiete für die Ermittlung der Gebietsmittel von Lufttemperatur und relativer Feuchte. Diese Daten wurden ausschließlich für die Annahmen in Wassernutzungsszenarium KRAFTWERK benötigt. Lage der meteorologischen Teilgebiete in Abb. 3.4.

Meteorologisches Teilgebiet	Kraftwerk
5	Boxberg, Schwarze Pumpe
6	Jänschwalde
12	Chemische Industrie Schwarzheide
17	Klingenberg, Mitte, Moabit, Charlottenburg, Lichterfelde
22	Reuter, Reuter West
25	Kirchmöser
26	Premnitz

Die Werte der täglichen relativen Feuchte mussten mit Hilfe von Monatsfaktoren korrigiert werden. Die Daten (HYRAS-Rasterdatensatz Version 0.1) enthielten im Vergleich zu Beobachtungsdaten (siehe hierzu Ergebnisdarstellung im Bericht des BAH Berlin „Wasserhaushaltsmodellierung mit ArcEGMO im Einzugsgebiet der Havel, 2011) zu niedrige Werte, so dass eine Korrektur notwendig wurde. Dazu wurden die Korrekturfaktoren aus dem Projekt ArcEGMO Havel-Spree (BAH-Berlin, 2011) übernommen und ergänzt. Die Korrekturfaktoren wurden aus dem Verhältnis der 30jährigen Monatsmittelwerten von Stationsdaten und HYRAS-Daten für die ArcEGMO-Teileinzugsgebiete berechnet und auf das HYRAS-Raster (5 km x 5 km) über flächengewichtete Mittelung übertragen. Für die meteorologischen Teilgebiete 1 und 14 fehlten insgesamt in 47 Rasterzellen Korrekturfaktoren. Für diese Rasterzellen wurde der Mittelwert der Korrekturfaktoren (aus den mit Korrekturfaktoren belegten Rasterzellen aus dem jeweiligen meteorologischen Teilgebiet) verwendet.

Die Monatsmittelwerte der Temperatur entstanden durch Aggregierung der täglichen Temperaturreasterdaten auf die meteorologischen Teilgebiete durch flächengewichtete Mittelung und aus der anschließenden Aggregierung der täglichen mittleren Temperatur zu Monatsmittelwerten.

Auch diese beiden Größen wurden plausibilisiert. Es wurde deutlich, dass diese meteorologischen Größen nur geringfügig im Jahresmittel zwischen den betreffenden Teilgebieten (s. Tabelle 3.4) variieren. Im Jahresgang zeigte sich bei der Temperatur (wie zu erwarten war) das Maximum im Juli mit einer geringeren Variabilität in den Sommermonaten sowie für die relative Luftfeuchte ein gegenteiliges Verhalten. Die Autokorrelation wies keinen typischen Jahresgang auf, zwischen ca. der Hälfte der Monate bestand eine signifikante aber dennoch nur mäßig ausgeprägte Korrelation. Der Jahresgang ist hier nicht dargestellt.

Tabelle 3.4 Jahresmittel von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte der HYRAS-Daten für ausgewählte meteorologische Teilgebiete. Keine starke Variation zwischen den betreffenden Teilgebieten. Lage der meteorologischen Teilgebiete in Abb. 3.4.

Meteorologische Teilgebiete	Jahresmittel	
	Lufttemperatur [°C]	relative Luftfeuchte [%]
05	8.6	76.1
06	8.7	75.9
12	8.7	76.6
17	9.0	75.0
22	8.9	77.4
25	8.8	77.9
26	8.8	79.2

3.3 Stochastische Simulation der meteorologischen Prozesse

3.3.1 Modellstruktur

Die stochastische Simulation der meteorologischen Prozesse (Niederschlagsdargebot, potenzielle Verdunstung, Lufttemperatur, relative Luftfeuchte) erfolgte nach folgenden fünf Schritten:

(1) Transformation der Prozessgrößen in eine Normalverteilung

Nach einer **primärstatistischen Auswertung** erfolgte die **Anpassung einer transformierten Normalverteilung** an die empirische Verteilung der betreffenden Prozessgrößen je Monat (also 12) und Teilgebiet. Drei Verteilungsfunktionen standen zur Auswertung zur Verfügung (3-parametrische logarithmische Normalverteilung (LN3); 4-parametrische Johnson-Verteilung (JV); 4-parametrische Potenznormalverteilung (PNV). Die PNV zeigte die Eigenschaft, dass sie teilweise im unteren Extrembereich zu einem Abfall auf das Niveau des Minimalwertes neigt, was die Generierung von Extremwerten außerhalb der Grenzen der Eingangswerte unterbindet. Daher wird diese Verteilungsfunktion (siehe auch Ziele der stochastischen Generierung in Abschnitt 3.1) nicht verwendet. Darum kamen für die vorliegenden Prozesse letztendlich die LN3 bzw. die JV zur Anwendung.

Entsprechend der **Festlegung der Gütemaße** (Anpassungsmaß D nach Kolmogorov, ω^2 Anpassungsmaß und Quantilkorrelationskoeffizient r_p) **zur Anpassung** der theoretischen Verteilungsfunktionen an die plotting position wurde die Verteilungsfunktion mit der besten Approximation ausgewählt. Für die Beurteilung wurde vorrangig das ω^2 -Kriterium herangezogen, das Abweichungen über den gesamten Verlauf der Eingangswerte zusammenfasst. Aus theoretischen und praktischen Erfordernissen wurde für jeden Prozessstyp (Niederschlagsdargebot, potenzielle Verdunstung, Lufttemperatur, relative Luftfeuchte) eine einheitliche Verteilungsfunktion für jeden Monat, jedes Teilgebiet und jeden Zeitabschnitt des Untersuchungszeitraumes gewählt. Die ω^2 -Werte für die einzelnen Prozesse sind im Abschlussbericht von DHI-WASY zu finden (DHI-WASY, 2013).

In Tabelle 3.5 sind zusammenfassend die Verteilungsfunktionen dargestellt, die zur Beschreibung der meteorologischen Größen verwendet wurden.

Tabelle 3.5 Theoretische Verteilungsfunktionen zur Beschreibung der meteorologischen Prozessgrößen. Die LN3 kam zur stochastischen Generierung des Niederschlagsdargebotes zur Anwendung und die JV zur Simulation der potenziellen Verdunstung, der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte.

Prozesse / Verteilungs- funktion	Meteorologische Größen		
	Nieder- schlags- dargebot	Potenzielle Verdunstung nach Turc/ Ivanov	Lufttemperatur / relative Luftfeuchte
3-parametrische logarithmische Normal- verteilung (LN3)	X	-	-
4-parametrische Johnson- Verteilung (JV)	-	X	X

Bevor mit der eigentlichen Simulation begonnen werden konnte, mussten für jede Prozessgröße geeignete obere und untere Grenzwerte festgelegt werden. Diese waren notwendig, um die stochastische Generierung von sehr extremen bzw. unsinnigen Ereignissen zu verhindern (zum Beispiel negative Niederschläge oder relative Feuchte über 100 %). Die Festlegung von Grenzwerten hat zur Folge, dass stochastisch simulierte Ereignisse, die diese Werte unter- bzw. überschreiten, auf den Grenzwert gesetzt werden.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden für alle 10 stochastischen Simulationsmodelle (siehe auch Tabelle 3.2) einheitliche Grenzwerte angenommen. Dazu wurden anhand der primärstatistischen Analyse die auftretenden Extremwerte aus den Beobachtungsdaten ermittelt und für jeden Prozesstyp ausgehend von den größten und kleinsten Werten innerhalb aller Eingangsreihen die Grenzwerte festgelegt (siehe hierzu Tabelle 3.6).

Tabelle 3.6 Grenzwerte für die meteorologische stochastische Simulation und Extremwerte der Eingangsreihen. Durch die Festlegung von Grenzwerten wurde die Simulation von unsinnigen und sehr extremen Ereignissen unterbunden. Für alle Simulationsmodelle wurden einheitliche Grenzwerte festgelegt. Die Extremwerte wurden sowohl aus den Beobachtungen als auch als den Klimaprojektionen abgeleitet.

Prozessgröße	Grenzwerte		Extremwerte*	
	unterer	oberer	Minimum	Maximum
Niederschlagsdargebot	0 mm	350 mm	0 mm	328 mm
Potenzielle Verdunstung	0 mm	200 mm	3 mm	174 mm
Relative Luftfeuchte	20 %	100 %	27 %	95 %
Temperatur	- 15 °C	35 °C	- 11 °C	30 °C

* *Extremwerte aus den zu Monatswerten aggregierten Beobachtungen und Klimaprojektionen*

(2) Schätzung der Auto- bzw. Kreuzkorrelationsstruktur der normaltransformierten Prozessgrößen

Nach der Transformation der Prozessgrößen in eine Normalverteilung wurden die betreffenden Auto- bzw. Kreuzkorrelationskoeffizienten bestimmt. Es ergaben sich folgende Ergebnisse, die stichwortartig zusammengefasst sind:

(A) Niederschlagsdargebot

- Fast alle Autokorrelationen der Verschiebung 1 liegen im Zufallsbereich um Null → d.h. keine signifikante Korrelation zum Vormonat.
- Die Kreuzkorrelationskoeffizienten zwischen den Teilgebieten gleicher Monate (Verschiebung 0) sind stark und liegen gemittelt über die 12 Monate zwischen 0,58 und 0,98 → d.h. hohe Korrelation des Niederschlagsdargebotes zu anderen TG im selben Zeitschritt.
- Erwartungsgemäß nehmen die Kreuzkorrelationskoeffizienten in der Regel mit wachsender Entfernung zwischen den Teilgebieten ab.

- Die Kreuzkorrelationen weisen einen innerjährlichen Gang auf, oft mit höheren Werten in den Herbst- und Wintermonaten und kleineren Werten in einigen Frühjahrs- und Sommermonaten.

(B) Potentielle Verdunstung

- Die Autokorrelationen in den Teilgebieten zwischen benachbarten Monaten liegen zwischen Mai bis Juli sowie August bis Dezember im Zufallsbereich um Null, zwischen den anderen Monaten (also Januar bis April) treten je nach Teilgebiet signifikante Autokorrelationen auf, wobei nur selten Werte über 0,40 erreicht werden → d.h. keine bzw. geringe Korrelationen in der potenziellen Verdunstung zum Vormonat.
- Die Kreuzkorrelationen der Verschiebung 0 sind zwischen den Teilgebieten sehr hoch. Sie liegen gemittelt über die 12 Monate zwischen 0,82 und 1,00. → d.h. hohe Korrelation der potenziellen Verdunstung zu anderen Teilgebieten im selben Zeitschritt.
- Die Kreuzkorrelationskoeffizienten der potentiellen Verdunstung nehmen mit zunehmender Entfernung ab. Der Rückgang ist jedoch weniger stark als beim Niederschlag.

(C) Relative Luftfeuchte und Lufttemperatur

- Die Autokorrelationen der Verschiebung 1 sind zwischen den Monaten teilweise signifikant, teils im Zufallsbereich um Null und liegen zwischen -0,04 und 0,59 für die relative Luftfeuchte bzw. zwischen -0,09 und 0,45 für die Lufttemperatur. Über die Beträge aller 12 Monate gemittelt liegen sie für die Luftfeuchte zwischen 0,23 und 0,28 bzw. für die Temperatur zwischen 0,18 und 0,23 → d.h. teilweise moderate Korrelationen zum Vormonat.
- Die Kreuzkorrelationskoeffizienten mit der Verschiebung 0 sind sehr hoch und liegen gemittelt über die 12 Monate zwischen 0,83 und 0,97 für die relative Luftfeuchte und 0,97 bis 1,00 für die Lufttemperatur → d.h. hohe Korrelation zu anderen Teilgebieten im selben Zeitschritt.
- Die Kreuzkorrelationskoeffizienten nehmen mit wachsender Entfernung zwischen den Teilgebieten nur geringfügig ab.

(3) Festlegung der Simulationsbeziehungen (multiple Regressionsbeziehungen) für jeden Prozess, welche die konkrete Korrelationsstrukturen berücksichtigen

Im nächsten Arbeitsschritt erfolgte die **Aufstellung der Simulationsbeziehungen** für jede Prozessgröße. Es wurden multiple lineare Regressionsbeziehungen aufgestellt, die die statistischen Zusammenhänge zwischen einer Zielgröße (auch Regressand genannt, zum Beispiel Niederschlagsdargebot für ein Teilgebiet oder potenzielle Verdunstung für ein

Teilgebiet) und mehreren, sie erklärenden Variablen (Einflussgrößen, auch Regressor genannt) beschreiben. Beispiele hierfür sind in nachfolgender Tabelle 3.7 angegeben.

Ziel der stochastischen Simulation ist, neben der Beibehaltung der statistischen Kennwerte, die innerhalb der Eingangsreihen herrschende Korrelationsstruktur auch in den synthetischen Reihen zu bewahren.

Die 70 zu betrachtenden Prozessen (Niederschlagsangebot und potenzielle Verdunstung für jeweils 28 Teilgebiete (in Summe 56 Prozesse); Lufttemperatur und relative Luftfeuchte für jeweils 7 Teilgebiete (in Summe 14 Prozesse)) weisen teilweise sehr hohe Kreuzkorrelationen (siehe obige Erläuterungen) auf. Das bedeutet, dass eine Einflussgröße nicht nur für sich allein auf die Zielgröße wirkt, sondern zusätzlich auch über die anderen Einflussgrößen. Dieser Effekt wird auch Kollinearität der Einflussgrößen genannt. Erreichen die Korrelationskoeffizienten hohe Werte (größer 0,9), so führt dies zu fehlerhaften Schätzungen der Regressionskoeffizienten in Form sehr großer Werte mit unterschiedlichen Vorzeichen. Von den hoch korrelierten Einflussgrößen darf daher nur eine in die multiple Regression einbezogen werden (DWA, 2009). Daher wurden **Hauptprozesse** festgelegt, die über ein vollständiges Markov-Schema⁸ generiert werden (d.h. alle darin vereinigten Prozesse werden gleichberechtigt generiert). An diese Hauptprozesse wurden in geeigneter Weise die verbleibenden Prozesse als **Nebenprozesse** angebunden. Die Auswahl der Hauptprozesse (dies umfasst auch die Auswahl entsprechender Teilgebiete für die entsprechende Prozessgröße) erfolgte anhand einer gleichmäßigen Verteilung im Untersuchungsgebiet und anhand der Kreuzkorrelationsstruktur. Die Nebenkomponten wurden unter Einbeziehung mindestens einer Haupt- und ggf. vorher simulierter Nebenkomponten generiert. In der Simulationsreihenfolge wurden zuerst die Prozesse im Spreegebiet simuliert und darauf folgend die Prozesse im restlichen Havelgebiet unter Einbeziehung von schon simulierten Prozessen im Spreegebiet.

⁸ Jede Zeitreihe wird als endliche Realisation einer Folge von korrelierten Zufallsvariablen aufgefasst. Die Ereignisfolge lässt sich mit Hilfe bedingter Wahrscheinlichkeiten als Ausdruck einer stochastischen Beziehung zwischen den Ereignissen (Übergangswahrscheinlichkeiten) beschreiben. Eine Ereignisfolge, bei der die Übergangswahrscheinlichkeiten nur vom Ergebnis vorangegangener Beobachtungen bedingt ist, heißt Markov Kette (Markov-Schema). Jeder Wert kann aus den übrigen Werten der Zeitreihe selbst erklärt werden.

Für das **Spreengebiet** (Teilgebiete 1 bis 18, siehe Abb. 3.4) wurde versucht, die 2009 auf Grundlage von DWD-Daten aufgestellten Simulationsbeziehungen (DHI-WASY, 2009) direkt zu übernehmen, was jedoch, wegen der notwendigen numerischen Stabilität und wegen der erforderlichen Gültigkeit für die unterschiedlichen Zeiträume und Datensätze, nicht ohne Veränderungen möglich war. In Tabelle 3.7 sind die verwendeten Simulationsbeziehungen dargestellt. Die Tabelle ist folgendermaßen zu lesen: Das Niederschlagsdargebot des Teilgebietes 02 (P02, gelb markiert, Zielgröße) wird als Hauptprozess mit Hilfe von multiplen Regressionsbeziehungen abgeschätzt aus dem Niederschlagsdargebots des Vormonats (des selben Gebietes, Verschiebung um -1, Einflussgröße 1), aus dem Niederschlagsdargebots des Vormonats des Gebietes 17 (P17, Einflussgröße 2) sowie aus der potenziellen Verdunstung des Vormonats der Gebiete 02 (ETP02, Einflussgröße 3) und 17 (ETP17, Einflussgröße 4). Danach wird das Niederschlagsdargebot aus Teilgebiet 17 entsprechend der Angaben in Tabelle 3.7 generiert. Der letzte Hauptprozess, der generiert wird, ist das Niederschlagsdargebot in Teilgebiet 12 (P12). Jetzt können die Nebenprozesse generiert werden. Die Niederschlagsdargebote der Teilgebiete 1 und 3 und die entsprechenden potenziellen Verdunstungswerte (hier grün markiert) werden generiert aus dem Niederschlagsdargebot des gleichnamigen Monats aus dem Teilgebiet 02 und aus der potenziellen Verdunstung des gleichnamigen Monats des Gebietes 02.

Tabelle 3.7 Simulationsbeziehungen für das Niederschlagsdargebot (P) und die potenzielle Verdunstung (ETP) im Spreengebiet. Aufgrund der hohen Kreuzkorrelationen war eine Unterteilung der Prozesse in Haupt- und Nebenprozesse notwendig.

Simulationsbeziehungen	erklärende Variable (Einflussgröße, Regressor)											
	P02		P08		P12		P17		ETP02		ETP17	
	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
P02		*						*		*		*
P17	*	*						*		*		*
ETP02	*	*					*	*		*		*
ETP17	*	*					*	*	*	*		*
P08	*						*		*		*	
P12	*						*		*		*	
P01, ETP01, P03, ETP03	*								*		*	
P04, ETP04, P05, ETP05, P10, ETP10, P11, ETP11	*				*				*		*	
P06, ETP06, P07, ETP07, P13, ETP13			*		*				*		*	
ETP08			*						*		*	
P09, ETP09, P15, ETP15			*				*		*		*	
ETP12					*				*		*	
P14, ETP14			*		*		*		*		*	
P16, ETP16, P18, ETP18							*		*		*	

Zusätzlich mussten, gegenüber den Arbeiten von 2009, noch multiple Regressionsbeziehungen (also Simulationsbeziehungen) für die relative Luftfeuchte und die Lufttemperatur in einigen Teilgebieten der Spree bestimmt werden (siehe Tabelle 3.8).

Tabelle 3.8 Simulationsbeziehungen für relative Luftfeuchte (RH) und Lufttemperatur (T) im Spreegebiet.

Simulationsbeziehung		erklärende Variable (Einflussgröße, Regressor)							
		P06		ETP06		T06		RH06	
		0	0	0	-1	0	-1		
Zielgröße (Regressand)	T06	*	*		*				
	RH06	*	*				*		
	T05, T12, T17			*					
	RH05, RH12, RH17					*			

Im verbleibende Havelgebiet (TG 19-28) wurden die Hauptprozesse unter Einbeziehung einiger Prozesse aus dem Spreegebiet nach dem vollständigen Markov-Schema generiert (siehe Tabelle 3.9). Die Simulationsbeziehungen für einige Nebenprozesse verwenden teilweise auch in der Simulationsreihenfolge vorhergehende generierte Nebenprozesse als Regressoren (erklärende Variable, Einflussgrößen), um eine bessere Simulationsgüte zu erzielen.

Tabelle 3.9 Simulationsbeziehungen für Niederschlag (P), pot. Verdunstung (ETP), rel. Luftfeuchte (RH) und Lufttemperatur (T) im Havelgebiet (außer Spree). Die Havelhauptprozesse wurden u.a. aus den Prozessen des Spreegebietes generiert.

Simulationsbeziehung		erklärende Variable (Einflussgröße, Regressor)																								
		Prozesse Spreegebiet					HauptprozesseHavel					Nebenprozesse Havel														
		P12	P17	ETP17	RH17	T17	P23	P27	ETP27	RH22	T22	P21	P28	P20	P24	P26										
Zielgröße (Regressand)	P23	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*										
	P27	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*										
	ETP27	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*										
	RH22	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*										
	T22	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*										
	P21, ETP21, P22, ETP22, ETP23, P24, ETP24, P26, ETP26						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*										
	P28, ETP28							*	*	*	*	*	*	*	*	*										
	P20, ETP20								*	*	*	*	*	*	*	*	*									
	P19, ETP19									*	*	*	*	*	*	*		*	*							
	P25, ETP25								*	*	*	*	*	*	*	*			*	*				*	*	*
	T25, T26													*	*	*										
	RH25, RH26												*	*	*	*										

(4) Stochastische Generierung aller Prozessgrößen

Nach der Ermittlung der multiplen Regressionsbeziehungen (Simulationsbeziehungen) erfolgt die stochastische Generierung aller Prozessgrößen. Die unter (1) durchgeführte Transformation in eine Normalverteilung muss nun invertiert werden, um wieder physikalisch interpretierbare Ergebnisse zu erhalten

(5) Überprüfung der Simulationsgüte

Die Überprüfung der Simulationsgüte umfasst Vergleiche der statistischen Kennwerte (Mittelwert, Standardabweichung, Minima, Maxima, Auto-/Kreuzkorrelationen) von Eingangsreihen und stochastisch generierten Reihen. Aufgrund der hohen Bedeutung der

Überprüfung der Simulationsgüte werden die Ergebnisse des Punktes 5 in folgendem Abschnitt dargestellt. **Aufgrund der Vielzahl an Ergebnissen wird in dem nachfolgenden Abschnitt das gewählte Vorgehen anhand ausgewählter Beispielgrafiken vorgestellt.** Für die Dokumentation aller Ergebnisse wird auf den Abschlussbericht verwiesen (DHI-WASY, 2013).

3.3.2 Überprüfung der Simulationsgüte

Die Überprüfung der Simulationsgüte erfolgte anhand eines Vergleiches beobachteter (bzw. simulierter) und stochastisch generierter Zeitreihen mit Hilfe von statistischen Verfahren, deren Methodik und Ergebnisse im Weiteren beschrieben werden:

- (1) Primärstatistische Analyse der synthetischen Reihen,
- (2) Kolmogorov-Smirnov-Test zur Prüfung der Verteilung der Funktionen und
- (3) Vergleichstest der Korrelationskoeffizienten (Kreuz- und Autokorrelationskoeffizienten).

Zur Beurteilung der Simulationsgüte wurde zunächst **eine primärstatistische Analyse** der synthetischen Reihen vorgenommen. In Abb. 3.8 sind beispielhaft die Gebietsmittelwerte für das meteorologische Teilgebiet 22 (u.a. Bereich Haltung Brandenburg) für das Niederschlagsdargebot sowie für die potenzielle Verdunstung, die sich aus der Beobachtung (HYRAS-Datensatz, Stichprobenumfang 55 Jahre) und aus der stochastischen Simulation (Stichprobenumfang 30000 Jahre, siehe auch Tabelle 3.2) ergeben, als Box-Whisker-Plot⁹ dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sowohl der Jahresgang (insbesondere bei der potenziellen Verdunstung) der Quartile (x_{25} , x_{50} und x_{75}) als auch der Mittelwerte der Beobachtungen (als Zielgröße) in der stochastischen Simulation gewahrt bleibt. Weiterhin wird deutlich, dass durch die stochastische Simulation extremere Ereignisse (als in der Beobachtung zu erkennen waren) entstanden sind. Die Vielzahl der Extremwerte bei der simulierten Reihe liegt in dem großen Stichprobenumfang (30000 Jahre) begründet.

⁹ Erklärung zur Box-Whisker-Plot Darstellung: Die umrandete Box wird begrenzt durch das untere Quartil (x_{25}) und durch das obere Quartil (x_{75}). Damit enthält die Box 50 % der Werte der Eingangsreihe. Die horizontale durchgezogene Linie in der Box ist der Median (x_{50}). Der Median ist dadurch charakterisiert, dass jeweils genau die gleiche Anzahl von Beobachtungswerten größer bzw. kleiner als dieser Wert ist. Die dargestellten Antennen (auch Whisker genannt) reichen bis zum größten Wert des 1,5-fachen des Interquartilsranges (Interquartilsabstand). Der Interquartilsabstand entspricht der Differenz von unterem und oberem Quartil. Die Werte, die außerhalb des 1,5fachen Interquartilsabstandes liegen, sind Extremwerte und werden als Punkte dargestellt.

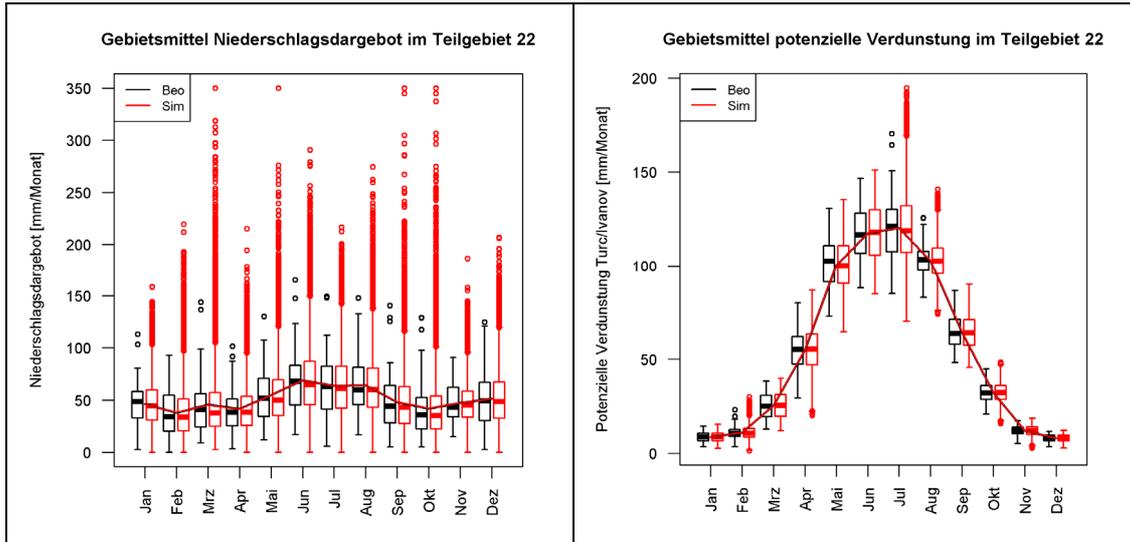


Abb. 3.8 Box-Plot der Gebietsmittelgrößen Niederschlag und Verdunstung für die Haltung Brandenburg. Die Eingangsdaten umfassen die Zeitspanne 1951-2006, also 55 Jahre. Die Simulationen umfassen jeweils 30000 Jahre. Maximum der Ordinaten entsprechend der oberen Grenzwerte in Tabelle 3.6. Der Jahresgang in der Simulation (SIM) entspricht dem Jahresgang der Beobachtung (BEO). In der Simulation (SIM) sind extremere Ereignisse generiert worden als in der Beobachtung (BEO) identifiziert wurden (Punkte in der Darstellung). Die hohe Anzahl an Extremwerten in der Simulation (SIM) liegt in dem Stichprobenumfang (30000 Jahre) begründet.

Weiterhin wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test für die einzelnen Prozesse durchgeführt (Storm, 1969). Dabei wurde die Nullhypothese geprüft, dass zwei Zufallsvariablen, hier die Eingangsreihe gegenüber der synthetischen Reihe, die **gleiche Verteilung** besitzen. Dieser Test erfordert keine Normalverteilung der Zufallsvariablen. Er kann im originalen Wertebereich angewendet werden. Das Ergebnis des Tests ist ein Signifikanz- bzw. p-Wert welcher durch Gegenüberstellung zu einem Signifikanzniveau α Aussagen zur Gültigkeit der Nullhypothese erlaubt. Liegt der p-Wert über dem Signifikanzniveau (in der Regel $\alpha = 0,05$) kann die Nullhypothese nicht abgelehnt werden. Detaillierte Informationen zum p-Wert sind dem 1. Teilbericht Abschnitt 3.1 zu entnehmen. In Abb. 3.9 sind beispielhaft die p-Werte für die Größe Niederschlagsdargebot für verschiedene Zeiträume für die Meteorologie der französischen Modellkette (C20-A1B-ARP-ALD51) dargestellt. Es ist zu erkennen, dass alle p-Werte $>$ als 0,05 sind, was bedeutet, dass keine statistisch signifikanten Unterschiede in den Verteilungen beider Reihen festzustellen sind (Annahme der Nullhypothese). Weitere Ergebnisse sind dem Zwischenbericht von DHI-WASY (2011) zu entnehmen.

Zusammenfassend kann eine gute Übereinstimmung der Verteilungen in den Eingangsreihen und in den synthetischen Reihen festgestellt werden.

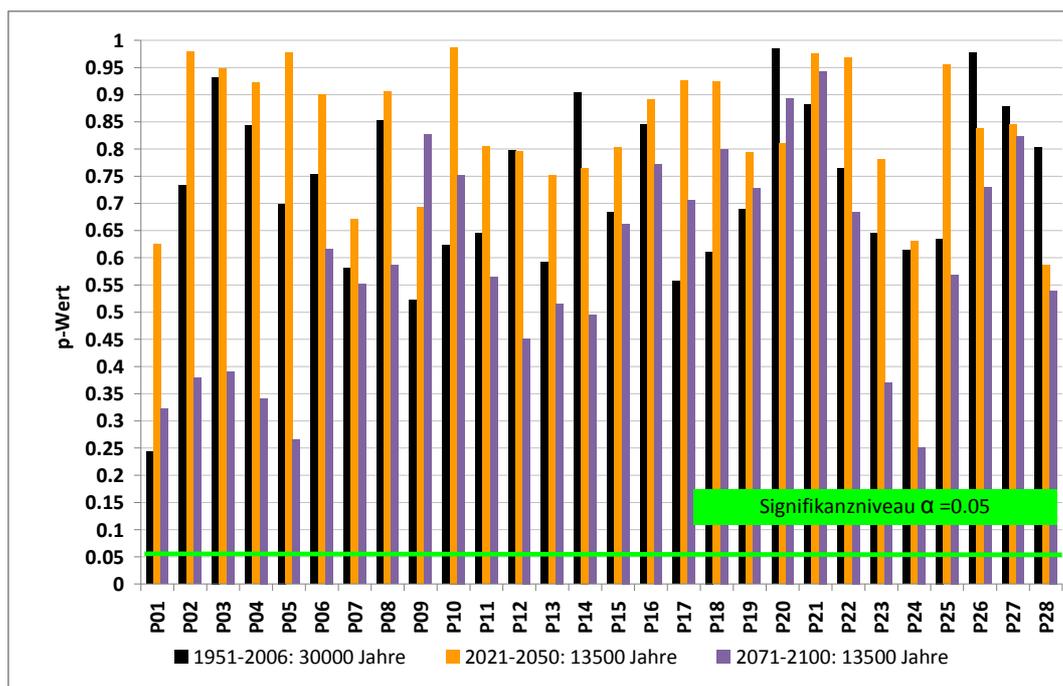


Abb. 3.9 Kolmogorov-Smirnov-Test p-Werte für die Referenz (1951-2006), für die nahe Zukunft (2021-2050) und für die ferne Zukunft (2071-2100), Klimaszenario: C20-A1B-ARP-ALD51, Prozessgröße Niederschlagsdargebot. Es ist zu erkennen, dass alle p-Werte > als das Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ sind, was bedeutet, dass keine statistisch signifikanten Unterschiede in den Verteilungen beider Reihen feststellbar waren (Annahme der Nullhypothese).

Zur Prüfung der **Gleichheit der Auto- und Kreuzkorrelationen** in den Eingangsreihen gegenüber den synthetischen Reihen wurde ein Vergleichstest der Korrelationskoeffizienten (auch als Steigers Z-Test bezeichnet) durchgeführt (Sachs, 1992; Sachs, 1997). Die Nullhypothese des Tests besagt, dass die zu vergleichenden Korrelationskoeffizienten gleich sind. Ergebnis des Tests ist ebenfalls ein Signifikanz- bzw. p-Wert.

Die p-Werte des Tests wurden für alle Auto- und Kreuzkorrelationswertepaare statistisch ausgewertet und sind in Box-Plot-Grafiken dargestellt. Für die Autokorrelationen wurden die Verschiebung -1 und -2 analysiert, wobei in der Modellstruktur nur die Verschiebung - 1 explizit Berücksichtigung fand. Die p-Werte der Kreuzkorrelationen wurden für die Verschiebung 0 betrachtet. Für die Ergebnisdarstellung wird auf den Zwischenbericht von DHI-WASY (2011) verwiesen.

3.4 Hydrologie für die Referenz

Für die Bewirtschaftungssimulation waren stochastische Reihen für den (1) Abfluss am Pegel Barby/Elbe (Q_Barby) sowie Grundwasserzuflussreihen für die Stauhaltungen (2) Zerben (GW_Zerb), (3) Wusterwitz (GW_Wust) und (4) den Grenzgraben (GW_Grenzgr) erforderlich.

Folgende Zeitreihen lagen vor:

- Abfluss am Pegel Barby/ Elbe von 1951 bis 2006
- Grundwasserzufluss zur Stauhaltung Zerben, Wusterwitz und den Grenzgraben von 1966 bis 1996 (aus Simulationsrechnungen)

Diese Zeitreihen waren notwendig, da durch sie die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse im Elbe-Havel-Kanal und somit in der Unteren Havel-Wasserstraße (unterhalb von Brandenburg) beeinflusst werden.

3.5 Stochastische Simulation der hydrologischen Prozesse

Entsprechend des vorliegenden Zeitraumes der Abflussreihen wurden zunächst primärstatistische Analysen dieser vier Prozesse (siehe Abschnitt 3.4) sowie der korrespondierenden meteorologischen Prozesse (Basis: HYRAS-Datensatz) durchgeführt.

Die meteorologischen Prozesse (siehe Abschnitt 3.2.3) dienen als Regressoren (erklärende Variablen, Einflussgrößen) bei der Generierung der langen synthetischen hydrologischen Reihen. Die zeitliche Entwicklung der meteorologischen Prozessgrößen bis 2100 wird dabei auf die synthetischen hydrologischen Prozesse übertragen. Detailliertere Informationen zur stochastischen Simulation der hydrologischen Größen auf der Basis der meteorologischen Eingangsdaten sind dem Abschlussbericht von DHI-WASY (2013) zu entnehmen. Die stochastische Simulation der hydrologischen Prozesse erfolgt in gleicher Weise wie die stochastische Simulation der meteorologischen Prozesse. Für die Generierung der vier hydrologischen Prozesse wurde die Johnson-Verteilung verwendet und die in Tabelle 3.10 enthaltenen Simulationsbeziehungen (multiple Regression) aufgestellt.

Tabelle 3.10 Simulationsbeziehungen für den Abfluss (Q) und den Grundwasserzufluss (GW). Die zeitliche Verschiebung um 4 Monate (- 4) bei der stochastischen Generierung des Abflusses am Pegel Barby liegt in der Persistenz („Gedächtnis des Einzugsgebietes“) begründet.

Zielgröße (Regressand)		erklärende Variable (Einflussgröße, Regressor)																			
		Simulations- beziehung		P10	P11	P14	ETP14		Q_Barby				P25	ETP25		GW_Zerb		GW_Wust		GW_Grenzgr	
		-1	-2	-1	-2	0	0	-1	-2	-1	-2	-3	-4	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1
Q_Barby		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								
GW_Zerb														*	*	*	*	*			
GW_Wust																*				*	
GW_Grenzgr																		*			*

Im Vorfeld der Simulation mussten (wie schon bei den meteorologischen Prozessgrößen, siehe Tabelle 3.6) Grenzwerte (in Tabelle 3.11 gelistet) festgelegt werden.

Tabelle 3.11 Grenzwerte für die hydrologische stochastische Simulation und Extremwerte der Eingangsreihen. GW = Grundwasserzufluss. Die Extremwerte stammen aus den Beobachtungen oder Simulationen. Auf der Basis der Extremwerte wurden die Grenzwerte ermittelt. Die Grenzwerte verhindern in der stochastischen Simulation die Generierung von zu extremen Ereignissen. Stochastisch generierte Ereignisse, die über dem Grenzwert liegen, werden modelltechnisch auf den Grenzwert gesetzt.

Prozessgröße	Grenzwert		Extremwert*	
	unterer [in m³/s]	oberer [in m³/s]	Minimum [in m³/s]	Maximum [in m³/s]
Abfluss in Barby Q_Barby	100	2200	136	2106
Grundwasserzufluss Haltung Zerben GW_Zerben	-0.05	1.5	-0.03	1.09
Grundwasserzufluss Haltung Wusterwitz GW_Wust	0	2	0.31	1.51
Grenzgraben GW_Grenzgr	0	1	0.15	0.68

* Extremwerte aus den zu Monatswerten aggregierten Ergebnissen von Beobachtungen (Abfluss in Barby Q_Barby) bzw. Simulationen (Grundwasserzuflüsse).

Die Überprüfung der Modellgüte für die Hydrologie erfolgte in analoger Weise zur Meteorologie. Es wurde zuerst eine primärstatistische Analyse vorgenommen und anschließend der Kolmogorov-Smirnov-Tests (zur Prüfung der Verteilung) durchgeführt. Dieser ergab folgende p-Werte:

- Abfluss in Barby (Q_Barby): 0,989
- Grundwasserzufluss zum Elbe-Havel-Kanal über den Grenzgraben (GW_Grenzgr): 0,004
- Grundwasserzufluss zur Haltung Wusterwitz (GW_Wust): 0,416
- Grundwasserzufluss zur Haltung Zerben (GW_Zerb): 0,209

Aufgrund des geringen p-Wertes für den Grundwasserzufluss (GW) Grenzgraben, der unterhalb des Signifikanzniveaus von 0,05 liegt (d.h. Ablehnung der Nullhypothese, unterschiedliche Verteilungen), wurde dieser Prozess genauer analysiert (s. Abb. 3.10).

Es zeigte sich, dass die oberhalb der oberen Konfidenzgrenze (bei einer Differenz von simulierten und stochastisch generierten Eingangsdaten von 7,04 %) liegenden p-Differenzen (violett umrandete Box) zwischen den Unterschreitungswahrscheinlichkeiten 30 % und 40 % (orange umrandete Box) auftreten. Die sich in diesem Bereich ergebenden maximalen Abweichungen der Grundwasserzuflüsse GW Grenzgraben (simulierter Zufluss im Vergleich zum stochastisch generierten Zufluss) betragen zwischen ca. 0,01 m³/s und 0,02 m³/s. In der stochastisch simulierten Reihe stehen also in diesem Wahrscheinlichkeitsbereich dem Elbe-Havel-Kanal 0,01 m³/s geringfügig mehr Wasser aus dem Grenzgraben zur Verfügung, als dies in der Eingangsreihe der Fall ist. Die Unterschiede sind aber, auch mit Blick auf die im WBalMo verankerten Bewirtschaftungsregeln (2011) vernachlässigbar.

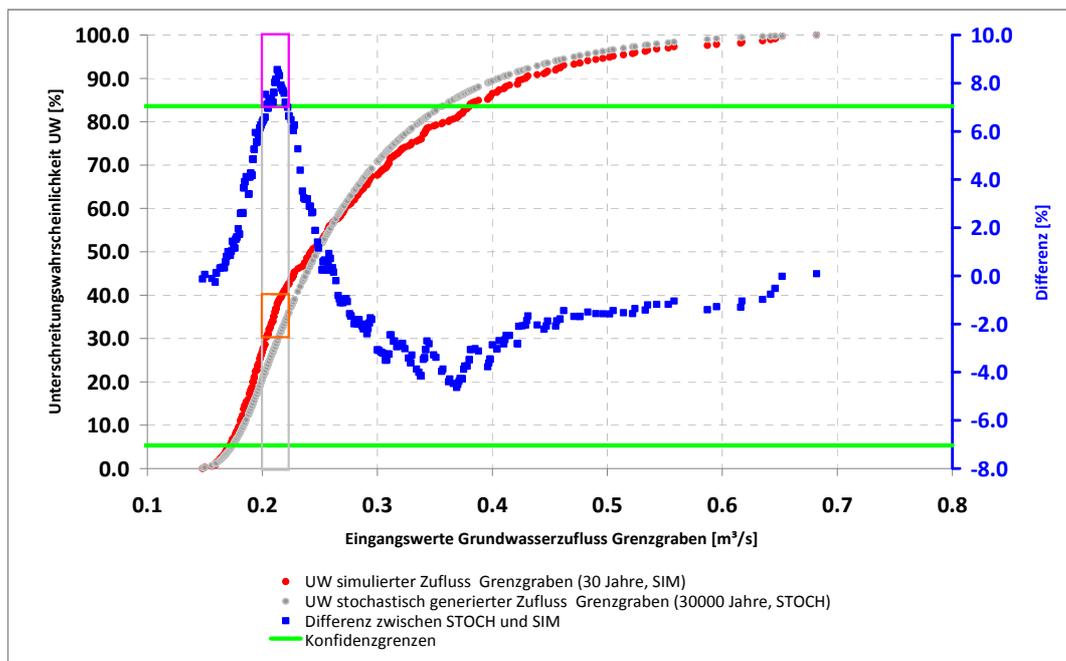


Abb. 3.10 Vergleich der Unterschreitungswahrscheinlichkeit der Eingangswerte bezüglich der Eingangsreihe und der stochastisch simulierten Reihe für den Grundwasserzufluss für den Grenzgraben. Die maximalen Differenzen zwischen den simulierten und stochastisch generierten Eingangsreihen betragen ca. 0,01 m³/s und 0,02 m³/s. In der stochastisch simulierten Reihe stehen dem Elbe-Havel-Kanal ca. 0,01 m³/s mehr Wasser zur Verfügung, was aufgrund der geringen Menge zu vernachlässigen ist.

Der Vergleich der Korrelationsstruktur zwischen Eingangsreihen und synthetischen Reihen zeigte größtenteils eine befriedigende Übereinstimmung. Der Vergleichstest für Korrelationskoeffizienten lieferte aufgrund der sehr hohen Auto- und Kreuzkorrelationen innerhalb bzw. zwischen den Grundwasserzuflussreihen teilweise nur sehr niedrige p-Werte. Die p-Werte der Autokorrelationen für den Abfluss in Barby liegen stets über dem Signifikanzniveau von 0,05.

Die detaillierten Ergebnisse sind dem Zwischenbericht von DHI-WASY (2011) zu entnehmen.

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

BfG-1777

*Wasserwirt-
schaftliche
Verhältnisse
VDE 17
6. Fassung
2. Teilbericht*

Kapitel 4

Wasserhaushaltsmodell zur Simulation des quasi natürlichen Dargebotes

4.1 Zielstellung

Zielstellung dieses Arbeitspunktes war die Ermittlung des quasi natürlichen Dargebotes für das Havel-Spreegebiet. Dies erfolgte mittels hydrologischer Modellierung. Als **Wasserhaushaltsmodell wurde EGMO-D** (Glos, 1984) verwendet. Informationen zum Aufbau des Wasserhaushaltsmodells sind dem Abschnitt 4.3 zu entnehmen. Bereits bei der **hydrologischen Modellierung** muss die **räumliche und zeitliche Struktur** des nachfolgend angewendeten **Wasserbewirtschaftungsmodells berücksichtigt** werden. Das bedeutet im Speziellen,:

- dass die hydrologischen Teilgebiete, für die das quasi natürliche Dargebot simuliert wird, mit den räumlichen Einheiten im Bewirtschaftungsmodell (auch Simulationsteilgebiete) harmonisieren müssen (siehe hierzu Abschnitt 4.2 zur Raumstruktur) und
- dass die zeitliche Veränderung der Bewirtschaftung des Gebietes (zum Beispiel die Bergbau- und Bergbaufolgebewirtschaftung in der Lausitz) zu Veränderungen im unterirdischen- und oberirdischen Abflussverhalten führen, die entsprechend rückkoppelnd im Wasserhaushaltsmodell berücksichtigt werden müssen (siehe hierzu Abschnitt 4.3 zum Wasserhaushaltsmodell).

Aufgrund der engen Verzahnung beider Modelle werden bereits in diesem Abschnitt viele Bezüge zum Bewirtschaftungsmodell WBalMo erstellt. Die Modelleigenschaften sowie die Ergebnisse der Modellanwendung werden jedoch zusammenhängend im nachfolgenden Kapitel 5 erläutert. Der an einigen Stellen notwendige Vorgriff auf das Bewirtschaftungsmodell in diesem Kapitel 4 ist jedoch ohne Verständniseinbußen möglich.

Wasserhaushaltsmodelle mussten für die Teilgebiete im Berliner Spreegebiet, in der Oberen Havel-Wasserstraße bis Borgsdorf, sowie für Teilgebiete der Nuthe, der Plane, der Buckau, dem Elbe-Havel-Kanal und der Dosse aufgebaut werden. Für die übrigen Gebiete (insbesondere im Spree/ Schwarze Elstergbiet) lagen bereits hydrologische Modelle (basierend auf dem Modellsystem EGMO-D) vor.

Eingangsdaten für das Wasserhaushaltsmodell sind die stochastisch generierten meteorologischen Prozessgrößen, die ausführlich in Kapitel 3 vorgestellt wurden.

4.2 Raumstruktur

Das aufzubauenden Wasserhaushaltsmodell EGMO-D und das im Anschluss zur Anwendung kommenden Bewirtschaftungsmodell (WBalMo Havel-Spree¹⁰ als drittes und letztes Element der Modellkette, nähere Informationen in Kapitel 5) müssen bezüglich der räumlichen Auflösung aufeinander angestimmt werden. Das bedeutet, dass die Simulationsteilgebiete (Gebietsstruktur von WBalMo) der bestehenden WBalMo-Bausteine (**Spree/Schwarze Elster, Berlin, Havel sowie der Havelzuflussgebiete Nuthe, Plane, Buckau und Dosse-Jäglitz**) die Basis für die hydrologische Gebietsstruktur des Wasserhaushaltsmodells EGMO-D (Einzugsgebiete) bilden.

In einem ersten Schritt wurde die vorhandene **hydrologische Gebietsstruktur** (auch Simulationsteilgebiete genannt) der WBalMo-Bausteine **überprüft** und in einem zweiten Schritt teilweise **weiter feiner untergliedert**. Dies erfolgte zum Beispiel im großen Simulationsteilgebiet 3 in der oberen Havel (Quelle bis Pegel Liebenwalde (ohne Hegensteinfließ und ohne Schnelle Havel)) mit einer Größe von ca. 2200 km². Dieses wurde weiter untergliedert in (siehe hierzu auch Abb. 4.1) :

- STG 301 - Havel, Quelle/Mirow/Bolt bis Einmündung Hegensteinfließ,
- STG 302 - ZG Havel, Hegensteinfließ bis Liebenwalde
(ohne Templiner Gewässer)
- STG 303 - Templiner Gewässer, Quelle bis Mündung und

Eine weitere Unterteilung der bereits bestehenden Simulationsteilgebieten in den WBalMo-Modellen der Havelzuflussgebieten und Berlin wurde als nicht erforderlich angesehen.

Die finale hydrologische Gebietsstruktur ist in Abb. 4.1 zu finden.

¹⁰ WBalMo Havel-Spree als gewähltes Bewirtschaftungsmodell setzt sich auch verschiedenen WBalMo-Bausteinen zusammen (WBalMo Havel, WBalMo Spree/Schwarze Elster, WBalMo Berlin, WBalMo Nuthe, WBalMo Plane, WBalMo Buckau, WBalMo Dosse-Jäglitz). Aufgrund der gewählten Berichtsgliederung (also: entsprechend der abzuarbeitenden Modellkette) sind die weiteren Informationen zu dem Bewirtschaftungsmodell erst in Kapitel 5 zu finden. Die Einzugsgebiete entsprechen in dem Bewirtschaftungsmodell Simulationsteilgebiete (STGs).

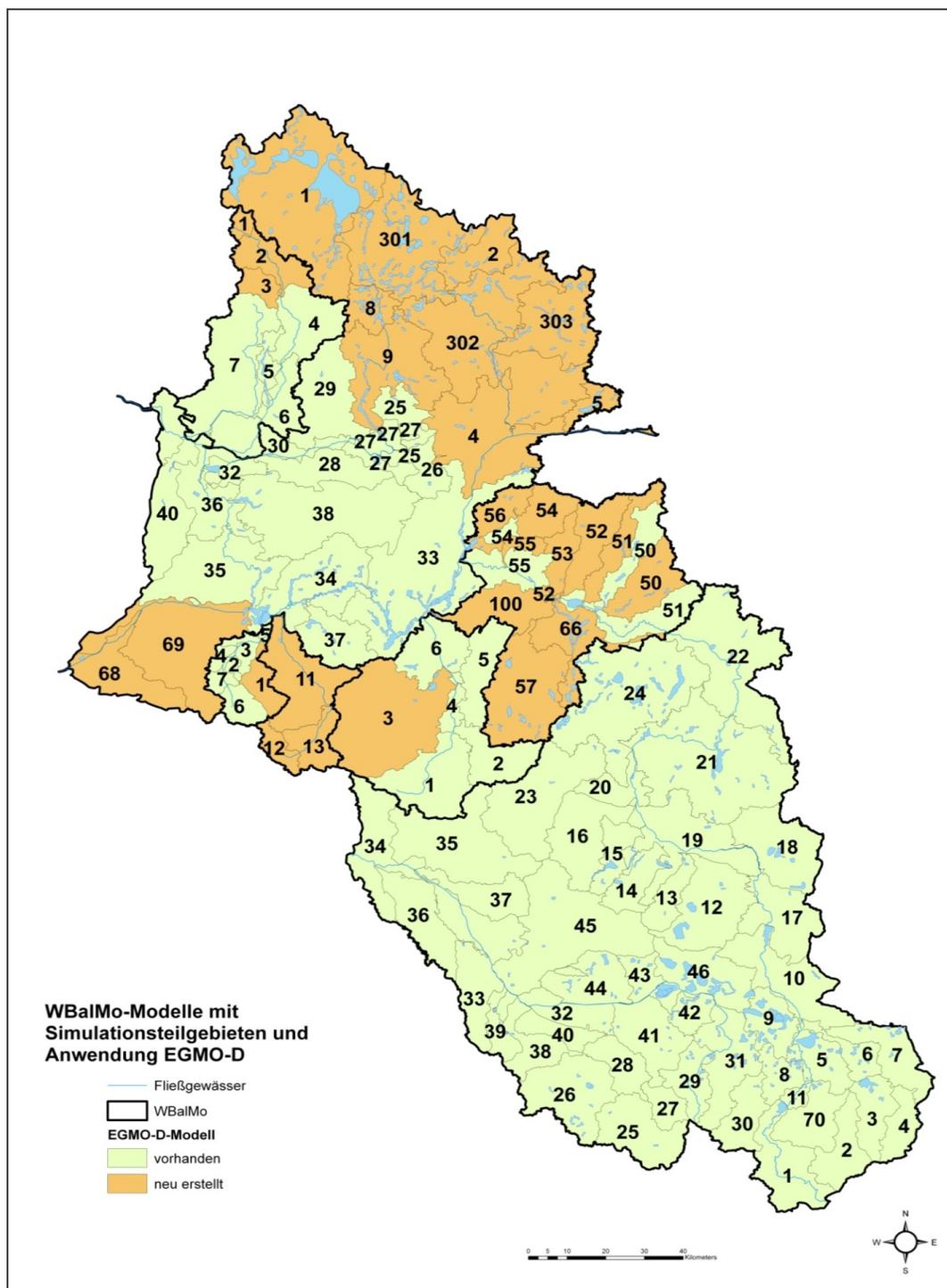


Abb. 4.1 Gebietsgliederung für die Wasserhaushaltsmodellierung mit dem Modell EGMO-D. Die Gliederung entstand unter Berücksichtigung der Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell. Wasserhaushaltsmodelle mussten nur für einzelne Teilgebiete (Berliner Spreegebiet, in der Oberen Havel bis Borgsdorf, Teile der Nuthe, Plane, Buckau, Dosse und des Elbe-Havel-Kanal) aufgebaut werden.

Im Anhang A sind die Nummern, die Gebietsbezeichnung sowie die räumliche Ausdehnung des Gebietes aller in Abb. 4.1 angegebenen Simulationsteilgebiete sowie die Angabe zu den entsprechenden meteorologischen Teilgebieten (28 Teilgebiete, siehe hierzu frühere Abb. 3.4) zu entnehmen.

Für ein leichteres Leseverständnis enthalten die Tabelle 4.1 bis Tabelle 4.3 einen Auszug aus diesen Informationen für die Simulationsteilgebiete, auf die im weiteren Text noch Bezug genommen wird.

Tabelle 4.1 Auswahl der Simulationsteilgebiete im Modell WBalMo Havel. Auf diese Simulationsteilgebiete wird im weiteren Textverlauf noch Bezug genommen.

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo Havel			
STG-Nummer	Gebietsbezeichnung	EZG in km ²	MET Gebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
1	Mecklenburger Oberseen (Elde und Zuflüsse)	1187	19
2	Ravensbrück/Hegensteinfließ	211	20
301	ZG Havel, Quelle bis Hegensteinfließ	689	20
302	ZG Havel, Hegensteinfließ bis Liebenwalde (ohne Templiner Gewässer)	1073	20
303	Templiner Gewässer, Quelle bis Mdg.	416	20
4	ZG Havel, Liebenwalde bis Borgsdorf (ohne Werbellingewässser)	585	21
8	Rhin, Quelle bis Rheinsberg	138	27
9	ZG Rhin, Rheinsberg bis Auslass Ruppiner See (Wustrau und Altfriesack)	491	27
68	Zufluss Haltung Zerben (Ihle und Eigeneinzugsgebiet)	287	25
69	Zufluss Haltung Wusterwitz (Tucheimer Bach und Eigeneinzugsgebiet)	670	25

Tabelle 4.2 Auswahl der Simulationsteilgebiete in den WBalMo-Modellen für die Havelnebenflüsse. Auf diese Simulationsteilgebiete wird im weiteren Textverlauf noch Bezug genommen.

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo Nuthe			
STG-Nummer	Gebietsbezeichnung	EZG in km ²	MET Gebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
3	Nieplitz, Quelle bis Mdg.	716	23
Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo Plane			
12	Plane, Quelle bis Pegel Rädigke	77	24
13	ZG Plane, Pegel Rädigke bis Pegel Trebitz	147	24
11	ZG Plane, Pegel Trebitz bis Pegel Golzow (bis Mdg. über Flächenfaktoren)	190	24
Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo Buckau			
1	Verlorenwasser, Wenzlow (bis Mdg. über Flächenfaktoren)	101	24
Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo Dosse-Jäglitz			
1	Dosse, Quelle bis Pegel Freyenstein	40	28
2	ZG Dosse, Freyenstein bis Pegel Wittstock	172	28
3	Glinze, Quelle bis Wittstock/Glinze	74	28

Tabelle 4.3 Auswahl der Simulationsteilgebiete in den Modellen **WBalMo Berlin** und **WBalMo Spree**. Auf diese Simulationsteilgebiete wird im weiteren Textverlauf noch Bezug genommen.

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo Berlin			
STG-Nummer	Gebietsbezeichnung	EZG in km ²	MET Gebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
50	Löcknitz bis Mündung in den Dämeritzsee (sim) und Rüdersdorfer Gewässer	229	18
51	Fredersdorfer Fließ (sim) und Spree, Große Tränke bis Mündung Neuenhagener Fließ (Erpe)	164	18

Fortsetzung Tabelle 4.3

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo Berlin			
STG-Nummer	Gebietsbezeichnung	EZG in km ²	MET Gebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
52	Neuenhagener Fließ (sim) und Spree, uh. Neuenhagener Fließ bis oh. BVK (Britzer Verbindungskanal)	221	18
53	Wuhle, Quelle bis Mündung	114	16
54	Panke bis Abzweigung Nordgraben (sim) und Nordgraben bis Mdg. sowie einige Spree-Bilanzprofile	157	16
55	Panke (uh. des Verteilerwehres) (sim) und Spree einschl. und Landwehrkanal, BVK bis Pegel Sophienwerder	45	17
56	Tegeler Fließ, Quelle bis Mündung (ohne Nordgraben)	147	16
57	Nottekanal, Quelle bis Mündung	502	15
66	Dahme, Neue Mühle bis Mündung in die Spree einschl. OSK	258	15
100	Teltowkanal	240	17
Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo Spree			
1	Spree uh. TS Bautzen bis Löbauer Wasser	310	1

4.3 Wasserhaushaltsmodell EGMO-D

Das Einzugsgebietsmodell EGMO-D (Glos, 1984) ist ein Mehrkomponentenmodell (Grundwasser, hypodermischer Abfluss, Niederungsflächen- und Direktabfluss) und wurde speziell für längere Zeitschritte (Monat - Dekade) konzipiert. Es wurde bereits für frühere Abflusssimulation in der Spree, der Havel und deren Zuflüsse (Rhin, Nuthe, Buckau, Dosse, Jäglitz) angewendet (u.a. WASY, 2000; WASY, 2001)

Abb. 4.2 ist das Modellschema zu entnehmen. Meteorologische Eingangsgrößen sind Niederschlag und potenzielle Verdunstung nach Turc-Ivanov. Die Abflussbildung und -konzentration werden in EGMO-D durch 10 Modellparameter (u.a. Direktabfluss, Abfluss aus Wasserflächen, hypodermischer Abfluss für grundwassernahe und grundwasserferne Flächen, Grundwasserabfluss) beschrieben. Grundwassernahe Flächen (Abkürzung AN,

Niederungsflächen) kennzeichnet ein Grundwasserflurabstand von weniger als 1 m und grundwasserferne Flächen (Abkürzung AF, Hochflächen) dementsprechend ein Grundwasserflurabstand von mehr als 1 m. Zusätzlich gibt es noch Wasserflächen (Abkürzung AW).

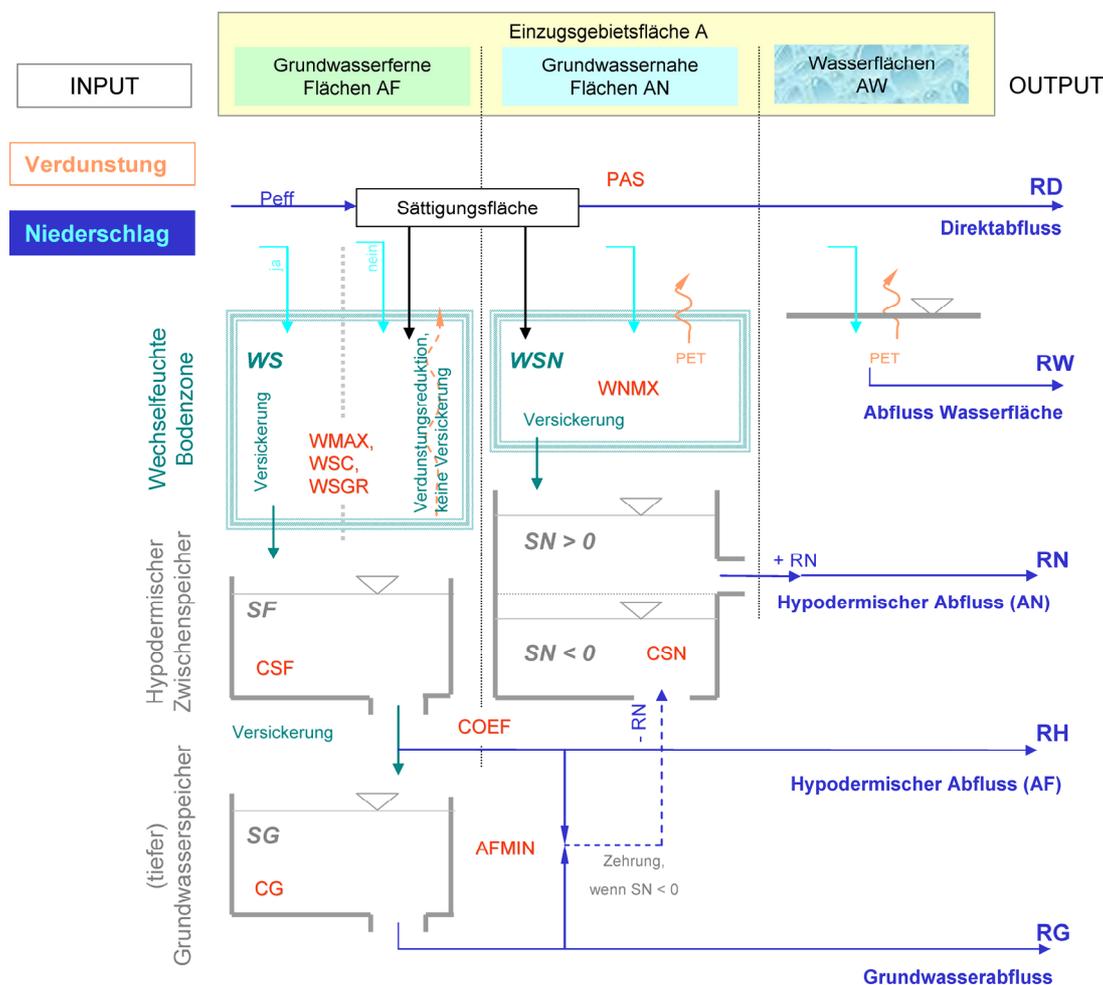


Abb. 4.2 Prinzipskizze des Wasserhaushaltsmodell EGMO-D. Mehrkomponentenmodell. Abflussbildung und -konzentration werden durch 10 Modellparameter beschrieben (meteorologische Eingangsgrößen: Korrigierter Niederschlag nach Richter (1995), potenzielle Verdunstung nach Turc/ Ivanov)

Für die hydrografischen Einheiten (grundwasserernahe Flächen, grundwasserferne Flächen und Wasserflächen) gelten jeweils unterschiedliche vertikale Modellstrukturen mit ihren spezifischen Parametern. Die Einteilung der hydrografischen Flächeneinheiten (detaillierte Informationen siehe Anhang B) erfolgten auf der Basis der vorliegenden Geodaten (siehe hierzu Abschnitt 4.4.1 zu den Geodaten).

Zusätzlich können mit EGMO-D auch **Fremdabflussflächen** berücksichtigt werden, die z.B. durch große Unterschiede zwischen ober- und unterirdischen Einzugsgebieten oder durch bergbaulich bedingte Absenktrichter im Gebiet entstehen. Durch die Bergbau- und Bergbaufolgebewirtschaftung in der Lausitz kommt es im Laufe der Zeit zur Veränderung der Größe des Absenktrichters und damit zu unterschiedlichen unterirdischen Fließverhältnissen. Dieser Effekt kann durch den zeitlich definierten Wechsel der entsprechenden Parameter berücksichtigt werden, ohne dass die Simulation unterbrochen wird. Die Anwendung dieser Parametersätze erfolgt im EGMO-D zyklisch für jede Realisation des Untersuchungszeitraumes. Der Zeitpunkt der Wechsel der Parametersätze innerhalb einer Realisation hängt von den Bewirtschaftungsregeln z. B. der Flutung der Tagebauseen und vom verfügbaren Dargebot ab. Die hierfür notwendige Rückkopplung vom Bewirtschaftungsmodell WBalMo wird gewährleistet.

4.4 Datengrundlagen

4.4.1 Geographische Daten für den Modellaufbau

Tabelle 4.4 gibt einen Überblick über die digitalen Datenquellen der flächendeckend benötigten Geofachdaten, die für den Aufbau des Wasserhaushaltsmodells EGMO-D verwendet wurden.

Tabelle 4.4 Datenquellen für die flächendeckend benötigten Geodaten. Die Ableitung der Geofachdaten erfolgte mit einem geographischen Informationssystem.

Thema	Datenquelle	Ausdehnung
Topografie	Rasterdaten der Topographische Karte (TK 25)	Modellgebiet
Fließ- und Standgewässer	Digitales Landschaftsmodell (DLM 1000)	Modellgebiet
Einzugsgebiete	Digitales Flächenverzeichnis Brandenburg	Brandenburg, Berlin
Landnutzung	Biotop- und Landnutzungstypenkartierung (CIR-Daten)	Brandenburg
	Corine Landcover (CLC-Daten)	Modellgebiet
Bodenformen	Bodenübersichtskarte 1 : 200000 (BÜK 200)	Kartenblätter Neubrandenburg, Magdeburg, Berlin
	Bodenübersichtskarte 1 : 1000000 (BÜK 1000)	Modellgebiet

Die Ableitung der Geodaten erfolgte mit geographischen Informationssystemen. Auf diesem Weg erfolgte auch die Einteilung in die hydrografischen Einheiten (grundwassernahe Flächen, grundwasserferne Flächen und Wasserflächen).

Im Anhang B sind die Flächenparameter als relative Flächenanteile an der Gebietsgröße für die Simulationsteilgebiete (aus Tabelle 4.1 bis Tabelle 4.3 im vorangegangenen Abschnitt 4.2) dargestellt. Den größten Anteil mit ca. 87 % nehmen die grundwasserfernen Flächen mit einem Grundwasserflurabstand von mehr als einem Meter ein. Die grundwassernahen Flächen machen einen Anteil von knapp 10 % aus, während die Wasserflächen etwa 3 % der Flächen einnehmen.

4.4.2 Verdunstungsdaten von Seenflächen

Im oberen Havelgebiet gibt es viele Seen bzw. seenartige Erweiterung. Deshalb wurde mit Hilfe eines grafischen Vergleiches geprüft, (1) ob die monatlichen Verdunstungssummen der Seen (mit unterschiedlicher Tiefe im Havelgebiet), die gegenwärtig über Beobachtungsdaten des HYRAS-Datensatzes abgeschätzt werden (siehe hierzu Abschnitt 3.2.3.2 zur potenziellen Verdunstung) zu erhöhen sind und (2) ob die ermittelten Korrekturfaktoren in Abhängigkeit der Seentiefe beschrieben werden sollten.

Verdunstungshöhen standen jedoch nur für Seen im Berliner Raum mit unterschiedlicher Tiefe (Breitlingsee 4 m Tiefe, Seddinsee 3,80 m Tiefe, Tegeler See und Großer Müggelsee 6 m Tiefe und Sacrower See 15 m Tiefe) zur Verfügung. Die Daten wurden vom DWD zur Verfügung gestellt. Das Ergebnis der Analysen kann jedoch aufgrund der räumlichen Nähe auch auf die Seen im oberen Havelgebiet übertragen werden.

Die Verdunstungshöhen der Seen wurden mit den ermittelten potenziellen Verdunstungshöhen, die sich aus den Beobachtungen des HYRAS-Datensatzes ableiten lassen, verglichen. Im Scatterplot¹¹ in Abb. 4.3 ist die potenzielle Verdunstung (aus den Beobachtungen des HYRAS-Datensatzes) der Seen bis zu einer maximalen Tiefe von 6 m der Seenverdunstung vom DWD gegenübergestellt. Die Daten des Sacrower Sees wurden ebenfalls ausgewertet, jedoch hier nicht dargestellt. Es ist bei allen Seen (auch beim Sacrower See) zu erkennen, dass die potenzielle Verdunstung (ermittelt aus dem HYRAS-Datensatz) im Mittel um 10 % geringer ist als die entsprechende Seenverdunstung. Daher wurde für die Verdunstung von Wasserflächen eine 10 % Erhöhung der potenziellen

¹¹ Scatterplot: einfaches graphisches Hilfsmittel zur Veranschaulichung der bestehenden Beziehungen zwischen zwei Variablen

Verdunstungshöhe angenommen. Eine Abhängigkeit dieser Faktoren von der Seentiefe konnte nicht erkannt werden.

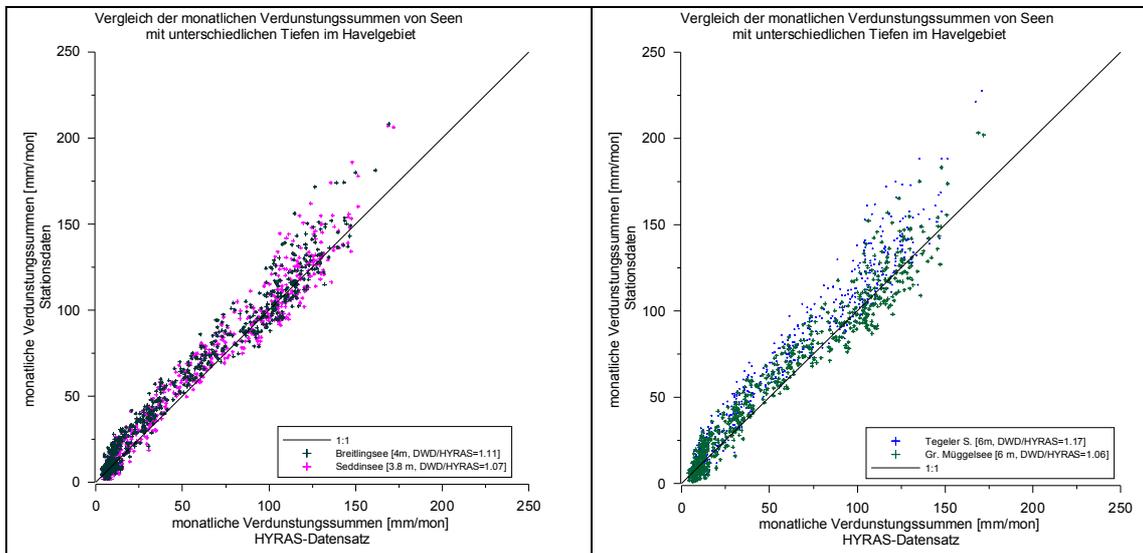


Abb. 4.3 Scatterplot der potenziellen Verdunstung (aus den Beobachtungen des HYRAS-Datensatzes) und der Seenverdunstung vom DWD. Die potenzielle Verdunstung nach Turc/ Ivanov (aus dem HYRAS-Datensatz) unterschätzt mit ca. 10% die Verdunstung von den Wasserflächen.

4.4.3 Abflussdaten und Nutzerdaten zur Kalibrierung/ Validierung des hydrologischen Modells

Zur Kalibrierung und Validierung des Wasserhaushaltsmodells werden Abflussdaten und zum Teil auch Nutzerdaten zur Bereinigung der anthropogenen Abflüsse benötigt.

Folgende Abflussdaten und Nutzerdaten standen als Monatsmittelwerte zur Verfügung. Die Auflistung der Daten in den nachfolgenden Tabellen erfolgt entsprechend der

Simulationsteilgebiete in den jeweiligen WBalMo-Bausteinen:

- Tabelle 4.5: Havel
- Tabelle 4.6: Havelnebenflüsse (Nuthe, Plane, Buckau, Dosse-Jäglitz)
- Tabelle 4.7: Berlin
- Tabelle 4.8: Spree

Hellgrün markiert sind die Pegel, für die im Bericht eine Auswertung zur Modellgüte erfolgt. Detaillierte Informationen (auch zur Lage der Pegel und einzelner Nutzer) sind hierzu im Abschnitt 4.5 zu finden.

Tabelle 4.5 Übersicht zu den hydrologischen Daten für die Simulationsteilgebiete im **WBalMo Havel**. Aufgelistet sind die Abflussreihen, die zur Kalibrierung und Validierung des hydrologischen Modells zur Verfügung standen. Angegeben sind zusätzlich die Nutzerdaten, die notwendig waren, um die anthropogen geprägten Abflüsse zu bereinigen. Hellgrün markiert sind die Pegel, für die im Bericht eine detaillierte Auswertung zur Modellgüte erfolgt.

Name des Simulations- teilgebietes	Daten / Pegel	Gewässer	Beginn	Ende
			der Beobachtung	
Mecklenburger Oberseen	Effektiv- Dargebot* der Mecklenburger Oberseen (MOS)	Mecklen- burger Oberseen**	Jan 1996	Dez 2010
Ravensbrück/ Hegensteinfließ	Ravensbrück	Hegen- steinfließ	Jan 1996	Okt 2008
Zwischengebiet (ZG) Liebenwalde	Bolt Schleuse OP	Bolter Kanal	Jan 1991	Dez 2010
	Mirow OP	Mirower Kanal	Jan 1991	Dez 2010
	Liebenwalde OP	UHW	Jan 1991	Okt 2010
	Steinhavel OP	OHW	Nov 1985	Okt 2009
	Kannenburg OP	Templiner Gewässer	Nov 1965	Okt 2009
	Nutzungsdaten: Schleuse Wolfsbruch (Jan 1994- Okt 2009)			

Fortsetzung Tabelle 4.5

Name des Simulations- teilgebietes	Daten / Pegel	Gewässer	Beginn	Ende
			der Beobachtung	
ZG Liebenwalde - Borgsdorf	Borgsdorf	OHW	Jan 1991	Dez 2009
	Sachsenhausen Teerofen	Teschen- dorfer Graben	Jan 1996	Dez 2007
	Eichhorst***	Werbellin- kanal	Nov 1994	Okt 2009
Rhin, Quelle bis Auslass Ruppiner See ¹²	Rheinsberg Wehr OP	Rheinsberger Gewässer	Jan 1996	Okt 2010
	Altfriesack Schleuse OP	Rhin	Jan 1994	Okt 2010
	Altruppin Schleuse OP	Rhin	Jan 1994	Okt 2010
	Wustrau Mühle OP	Rhin	Jan 1994	Okt 2010
	Nutzungsdaten: Speicherinhalte Ruppiner See, Gudelack See, Zermützelsee, Tetzensee, Molchowsee, Wutzsee, Rheinsberger See, Grienericksee, Twernsee, Rochowsee, Giesenschlagsee, Schleuse Wolfsbruch (Jan 1994- Okt 2009), Schleuse Hohenbruch (Nov 1994 bis Okt 2010)			
Elbe-Havel-Kanal	Grabow	Ihle	Jan 1996	Dez 2010
	Genthin-Hagen	Tuchheim- Parchener Bach	Jan 1996	Dez 2010
	Barby	Elbe	Jan 1951	Dez 2006

* berechnete Werte aus Niederschlag, Seenverdunstung, Seewasserständen und Abgaben Richtung Plau/Elde und Richtung Mirow/Bolt/Havel

** Das Eigendargebot der Mecklenburger Oberseen (MOS) wurde vom Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) Mecklenburg-Vorpommern zur Verfügung gestellt.

*** Werte aus früheren Simulationen

¹² Bereitstellung der Nutzerdaten erfolgte durch das LUGV Brandenburg

Tabelle 4.6 Übersicht zu den hydrologischen Daten für die Simulationsteilgebiete in den WBalMo-Bausteinen für die Havel-Nebenflüssen. Aufgelistet sind die Abflussreihen, die zur Kalibrierung und Validierung des hydrologischen Modells zur Verfügung standen. Angegeben sind zusätzlich die Nutzerdaten, die notwendig waren, um die anthropogen geprägten Abflüsse zu bereinigen.

WBalMo Baustein & Name des Simulationsteilgebietes	Daten / Pegel	Gewässer	Beginn	Ende
			der Beobachtung	
WBalMo Nuthe Nuthe	Woltersdorf I, Wehr OP	Nuthe	Jan 1996	Mai 2008
	Woltersdorf II	Hammerfließ	Jan 1996	Mai 2008
	Nutzungsdaten: Ansatz der Daten für Beregnung und Staubewässerung von 1996			
WBalMo Plane Plane	Golzow	Plane	Jan 1996	Okt 2010
	Trebitz UP		Jan 1996	Okt 2009
	Brandenburg- Wilhelmsdorf	Temnitz	Jan 1996	Okt 2009
	Nutzungsdaten: keine, jedoch Berücksichtigung von Grundwasserzu- und -abstrom aus der agrarstrukturellen Entwicklungspalung (AEP) Plane			
WBalMo Buckau Buckau	Herrenmühle, Forellenanlage	Buckau	Jan 1996	Dez 2010
	Birkenreismühle			
	Wenzlow, Forellenanlage	Verloren Wasser		
WBalMo Dosse-Jäglitz Dosse	Freyenstein	Dosse	Nov 1995	Okt 2006
	Wittstock	Glinze		
	Wittstock UP	Dosse		
	Blankensee	Nieplitz		

Tabelle 4.7 Übersicht zu den hydrologischen Daten für die Simulationsteilgebiete im **WBalMo Berlin**. Aufgelistet sind die Abflussreihen, die zur Kalibrierung und Validierung des hydrologischen Modells zur Verfügung standen. Hellgrün markiert sind die Pegel, für die im Bericht eine detaillierte Auswertung zur Modellgüte erfolgt.

Name des Simulationsteilgebietes	Daten / Pegel	Gewässer	Beginn	Ende
			der Beobachtung	
Berliner Gewässer	Grünheide 2	Löcknitz	Nov 1977	Okt 2009
	Fredersdorf	Fredersdorfer Fließ	Nov 1970	Okt 2008
	Dahlwitz- Hoppegarten	Erpe	Nov 1959	Okt 2007
	Alt und Neu Tegel	Nordgraben	Nov 1960	Dez 2009
	Röntgenthal	Panke	Nov 1985	Feb 2011
	Honsfelder Brücke	Wuhle	Nov 1967	Okt 2009
	Am Bahndamm St. Josef-Steg	Tegeler Fließ	Nov 1962	Dez 2009
	Königswuster- hausen	Nottekanal	Nov 1987	Okt 2009
	Mittenwalde Schleuse OP	Nottekanal	Nov 1987	Okt 2010
	Neue Mühle	Dahme	Okt 1971	Okt 2006
	Kleinmachnow	Teltowkanal	Okt 1951	Okt 2006

Tabelle 4.8 Übersicht zu den hydrologischen Daten für ein Simulationsteilgebiet in der oberen Spree. Eine erneute Kalibrierung wurde hier notwendig. Hellgrün markiert ist der Pegel, da im Bericht eine detaillierte Auswertung zur Modellgüte erfolgt.

WBalMo & Name des Simulationsteilgebietes	Daten / Pegel	Gewässer	Beginn	Ende
			der Beobachtung	
WBalMo Spree Spree	Bautzen – Weite Bleiche	Spree	Okt 1995	Okt 2006

4.5 Modellkalibrierung und -validierung

4.5.1 Kalibrierstrategie

Es erfolgte eine **kontinuierliche Kalibrierung** mit dem Softwaresystem PEST (2010) mit Blick auf alle drei Abflussbereiche (Niedrig-, Mittel- und Hochwasser). Die Gütekriterien werden in Abschnitt 4.5.2 beschrieben.

Bedingt durch die differenzierte Datenlage und der starken anthropogenen Prägung dieses Gebietes wurden unterschiedliche Methoden bei der Kalibrierung/ Validierung verwendet, die nachfolgend beschrieben werden:

- Methode 1: Kalibrierung auf der Basis von **beobachteten (unbereinigten)** Pegelabflüssen (**16 Gebiete**), *Anwendung des Softwaresystems PEST (2010)*
- Methode 2: Kalibrierung auf der Basis von **beobachteten (bereinigten)** Pegelabflüssen (**3 Gebiete**), *Anwendung des Softwaresystems PEST (2010)*
- Methode 3: Kalibrierung auf der Basis von beobachteten (unbereinigten) Zwischengebietsabflüssen (**Differenzreihe** aus Unterliegerpegel minus Oberliegerpegel) (**3 Gebiete**), *Anwendung des Softwaresystems PEST (2010)*
- Methode 4: Kalibrierung auf der Basis von quasi natürlichen **simulierten Abflüssen** aus früheren Wasserhaushaltssimulationen und anschließende Plausibilisierung anhand der mittleren jährlichen Abflusshöhen aus dem Hydrologischen Atlas von Deutschland (HAD, 2003) (**3 Gebiete**), *Anwendung des Softwaresystems PEST (2010)*
- Methode 5: **Übertragung** eines vorhandenen Modellparametersatzes und anschließende Plausibilisierung u.a. anhand der mittleren jährlichen Abflusshöhen aus dem Hydrologischen Atlas von Deutschland (HAD, 2003) (**3 Gebiete**)

In Abb. 4.4 sind diese fünf Kalibriermethoden noch einmal grafisch dargestellt. Die Erklärung der Symbole ist unterhalb der Abbildung zu finden.

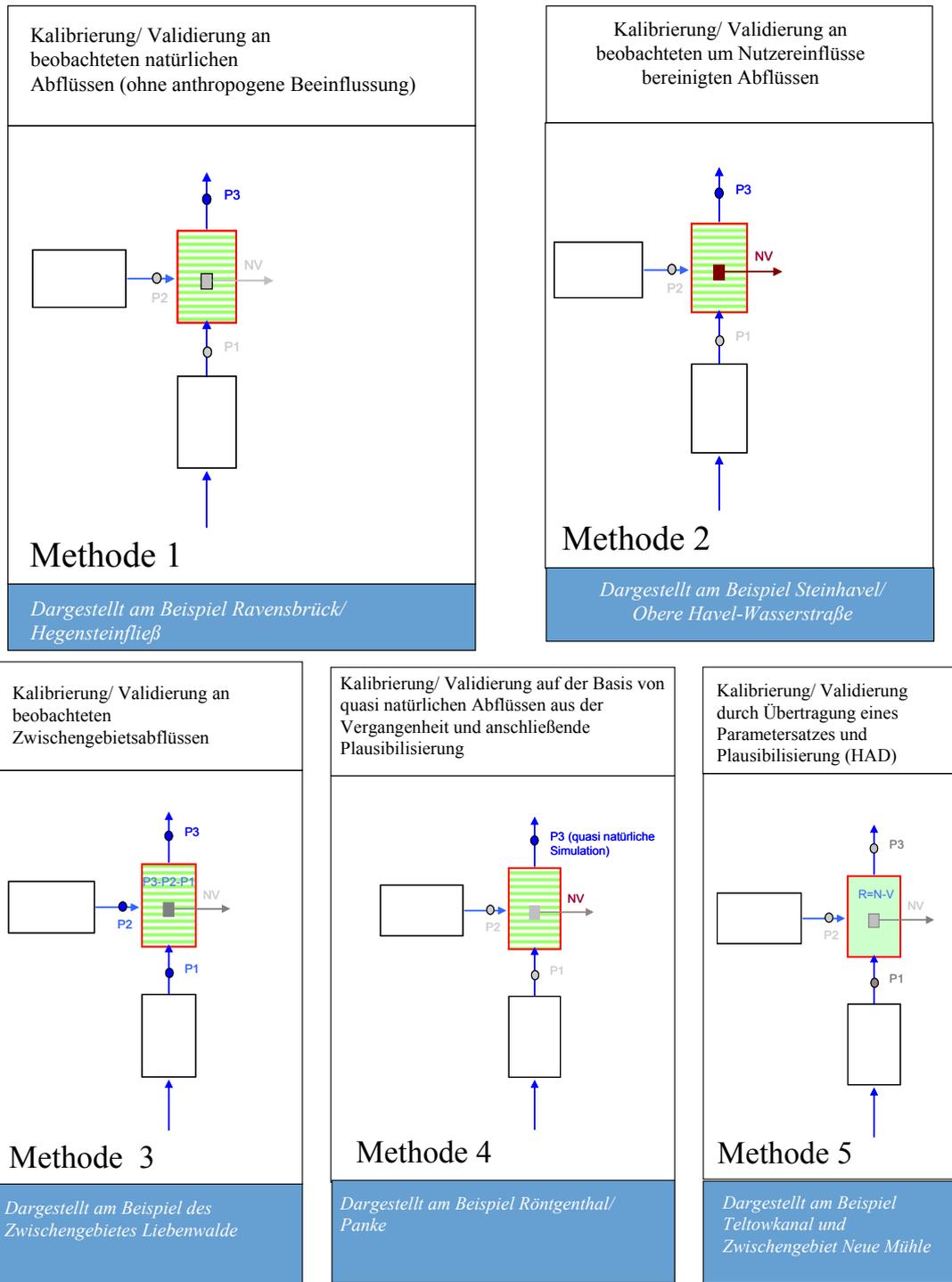


Abb. 4.4 Kalibrierungsstrategie. Der Buchstabe P symbolisiert eine Abflussreihe. Die Daten sind verfügbar, wenn der Buchstabe farblich hervor gehoben ist. NV symbolisieren anthropogene Nutzungen (Nutzungsverluste), die den unterhalb liegenden Pegel jeweils beeinflussen können. Für alle Grafiken gilt, wenn das Symbol grau dargestellt ist, dann findet es keine Verwendung in der entsprechenden Kalibrier- und Validiermethode. Die Datenverfügbarkeit und der Grad der anthropogenen Beeinflussung der Einzugsgebiete im Havelgebiet ist so heterogen, dass fünf verschiedene Methoden zur Kalibrierung/ Validierung herangezogen werden mussten.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die kontinuierliche Kalibrierung für die Teilgebiete erfolgte, für die eine zuverlässige, vieljährig beobachtete oder simulierte Abflussreihe vorlag, die entweder anthropogen **relativ unbeeinflusst** (in der Regel Kopfgebiete) oder aufgrund der bekannten **Nutzungseinflüssen zu bereinigen** war (Methode 1 bis 4). Waren keine Beobachtungsdaten verfügbar, wurde der **Modellparametersatz** aus einem hydrologisch gleichartigen Teilgebiet **übertragen** (Methode 5).

Am häufigsten wurden die Wasserhaushaltsmodelle nach der Methode 1 kalibriert. Das wird auch in Tabelle 4.9 sichtbar. Für jede Methode ist (sind) nachfolgend ein (bzw. mehrere) Beispielgebiet(e) dargestellt.

Tabelle 4.9 Methoden zur Modellkalibrierung. Fünf unterschiedliche Methoden kamen zur Anwendung. Für jede Methode wurden ein (bzw. mehrere) Beispiel(e) ausgewählt (hier wiederum hellgrün markiert). Die entsprechenden Abbildungen bzw. Tabelle, in denen die Ergebnisse dargestellt werden, sind jeweils angegeben.

Nr. des STGs	Name des Simulationsteilgebietes (STGs)	Methode zum Kalibrieren	Darstellung im Bericht
WBalMo Havel			
1	Mecklenburger Oberseen	1	
2	Ravensbrück/ Hegensteinfließ	1	Abb. 4.7
301	Steinhavel OP / OHW	2	Abb. 4.8
302	ZG Liebenwalde/ OHW	3	Abb. 4.9
303	Templiner Gewässer	1	
4	ZG Havel, Liebenwalde bis Borgsdorf (ohne Werbellingewässer)	3	
8	Rhin, Quelle bis Rheinsberg	2	
9	ZG Rhin, Rheinsberg bis Auslass Ruppiner See (Wustrau und Altfriesack)	2	
68	Zufluss Haltung Zerben (Ihle und Eigeneinzugsgebiet)	1	
69	Zufluss Haltung Wusterwitz (Tucheimer Bach und Eigeneinzugsgebiet)	1	
WBalMo Nuthe			
3	Nieplitz, Quelle bis Mündung	1	

Fortsetzung Tabelle 4.9

Nr. des STGs	Name des Simulationsteilgebietes (STGs)	Methode zum Kalibrieren	Darstellung im Bericht
WBalMo Plane			
12-13	Plane, Quelle bis Pegel Trebitz*	1	
11	ZG Plane, Pegel Trebitz bis Pegel Golzow**	5	
WBalMo Buckau			
1	Verlorenwasser, Wenzlow (bis Mdg. über Flächenfaktoren)	1	
WBalMo Dosse-Jäglitz			
1	Dosse, Quelle bis Pegel Freyenstein	1	
2	Glinze, Quelle bis Wittstock/Glinze	3	
3	Glinze, Quelle bis Wittstock/Glinze	1	
WBalMo Berlin			
50	Löcknitz bis Mündung in den Dämeritzsee (sim) und Rüdersdorfer Gewässer	1	
51	Fredersdorfer Fließ (sim) und Spree, Große Tränke bis Mündung Neuenhagener Fließ (Erpe)	1	
52	Neuenhagener Fließ (sim) und Spree, uh. Neuenhagener Fließ bis oh. BVK (Britzer Verbindungskanal)	1	
53	Wuhle, Quelle bis Mündung	4	Tabelle 4.10
54	Panke bis Abzweig Nordgraben (sim) und Nordgraben bis Mündung	4	Abb. 4.10
55	Panke (uh. des Verteilerwehres) (sim) und Spree einschl. und Landwehrkanal, BVK bis Pegel Sophienwerder	4	Tabelle 4.10
56	Tegeler Fließ, Quelle bis Mündung (ohne Nordgraben)	1	
57	Nottekanal, Quelle bis Mündung	1	
66	Dahme, Neue Mühle bis Mündung in die Spree einschl. OSK	5	Tabelle 4.10
100	Teltowkanal	5	
WBalMo Spree/ Schwarze Elster			
1	Bautzen-Weite Bleiche (* Nachkalibrierung, weitere Informationen Abschnitt 4.6)	1	Abb. 4.12

** Kalibrierung am Gesamtabfluss der STG 12 und 13 (Pegel Trebitz) aufgrund der Tatsache, dass die Abflussdaten des Kopfgebietes STG 12 (Pegel Rädigke) nach Rücksprache mit dem LUGV Brandenburg nicht plausibilisiert werden konnten.*

*** Die vorliegenden Abflussdaten am Pegel Golzow sind nach Rücksprache mit dem LUGV Brandenburg im Sommer krautbeeinflusst und konnten daher nicht für die Kalibrierung verwendet werden.*

Die Abflussdaten mussten für die Anwendung von PEST aufbereitet werden. Dabei wurde der beobachtete Zeitraum in einen Kalibrierungs- und einen Validierungszeitraum unterteilt. Als Startwerte für die Optimierung wurden vorhandene EGMO-D-Modellparameter (WASY, 2000) aus benachbarten oder hydrologisch vergleichbar reagierenden Gebieten aus dem Haveleinzugsgebiet angesetzt.

In der Abb. 4.5 sind die Kalibrier- und Validierpegel dargestellt, für die in diesem Bericht die Auswertung erfolgt. Zusätzlich sind in der Abbildung die Pegel zu erkennen die zur Ergebnisdarstellung verwendet werden.

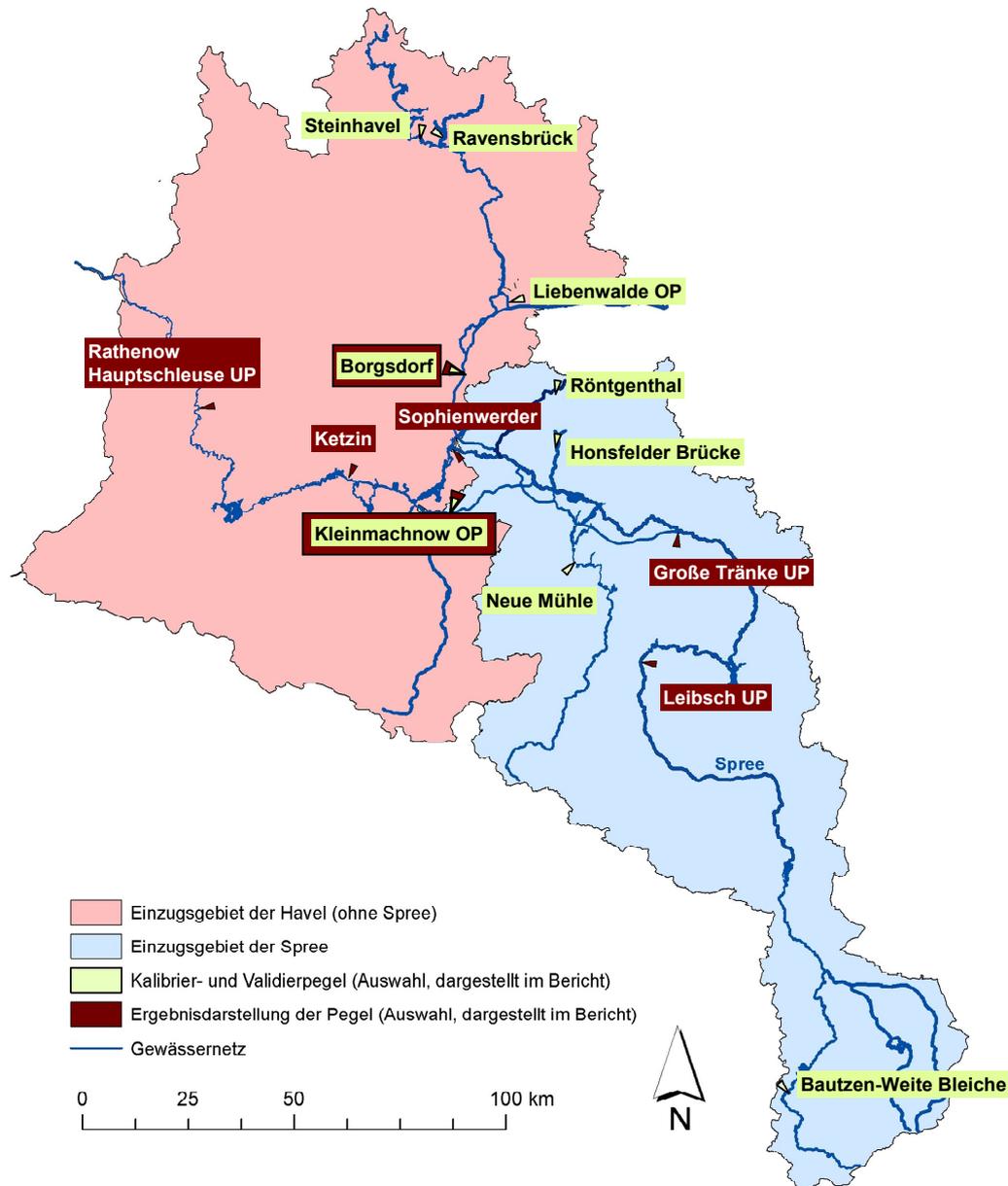


Abb. 4.5

Darstellung der ausgewählter Pegel zum Kalibrieren/ Validieren und zur Ergebnisauswertung. Die hellgrün unterlegten Pegel wurden zum Kalibrieren/ Validieren verwendet. Die Konzentration der Kalibrier- und Validierpegel im Havel- und unteren Spreegebiet resultiert aus der Tatsache, dass nur für diese Gebiete Wasserhaushaltsmodelle aufgebaut wurden. Die Wasserhaushaltsmodelle für die Spree lagen vor. Hier erfolgte ein Vergleich der simulierten Ganglinien mit unterschiedlichen Niederschlagsbelastungen (Stationsdaten des DWD, HYRAS-Datensatz). Am Pegel Bautzen-Weite Bleiche erfolgte eine Nachkalibrierung. Detaillierte Informationen dazu im Abschnitt 4.6. Anhand der braun unterlegten Pegel erfolgt die Ergebnisdarstellung in Abschnitt 5.6.

4.5.2 Gütekriterien und Ergebnisdarstellung

4.5.2.1 Gütekriterien

Die Ergebnisse der Modellkalibrierung und -validierung wurden mit Hilfe folgender Auswertungen beurteilt:

- Ganglinien der beobachteten und simulierten monatlichen Abflüsse mit den monatlichen Niederschlägen,
- Tabellarische Gegenüberstellung des mittleren Abflusses und der mittleren Abflusspende für das Gesamtjahr sowie der mittleren Abflüsse für das Winter- und Sommerhalbjahr, weiterhin die Ganglinien des mittleren Jahresganges sowie MQ und Abflusspende aus dem HAD (2003),
- Dauerlinien der Unterschreitung.

Der Ganglinienvergleich über den gesamten Kalibrierungs- und Validierungszeitraum gibt einen ersten Überblick über die Modellanpassung. Als quantitatives Gütemaß wird dazu der Effizienz-Koeffizient nach Nash und Sutcliffe (1970) angegeben, der nachfolgend als Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE bezeichnet wird (siehe Gleichung (1)). Durch diesen Koeffizienten wird der mittlere quadratische Fehler auf das Intervall $(-\infty, 1]$ normiert, wobei der Maximalwert 1 ein perfektes Modell charakterisiert und der Wert 0 ein Modell, dessen Prognose genauso gut (oder schlecht) ist wie der beobachtete Mittelwert. Nach Uhl und Henrichs (2008) ist eine Prognose dann brauchbar (ausreichend), wenn die NSE mindestens 0,25 beträgt. Prognosen mit einem $NSE \geq 0,5$ können als befriedigend und Prognosen mit einem $NSE \geq 0,8$ als gut bezeichnet werden.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{BEO,i} - Q_{SIM,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{BEO,i} - \overline{Q_{BEO}})^2} \quad (1)$$

mit Q_{BEO} = beobachteter Abfluss, Q_{SIM} = simulierter Abfluss, $\overline{Q_{BEO}}$ Mittelwert der beobachteten Abflüsse

Die tabellarische Gegenüberstellung der Mittelwerte ermöglicht weiterhin eine Einschätzung der grundlegenden Eignung des Modells zur Beschreibung des mittleren Abflussregimes. Durch den Vergleich der Ganglinien der mittleren monatlichen Abflüsse wird die Fähigkeit des Modells, die inner- und überjährlichen Abflussschwankungen wiederzugeben, grafisch veranschaulicht. Außerdem wurden die Dauerlinien der Unterschreitung, die das Abflussregime über den gesamten Abflussbereich vom Niedrigwasser bis zum Hochwasser charakterisieren, ausgewertet.

Es werden in diesem Bericht nur ausgewählte Ergebnisse gezeigt.

4.5.2.2 Kalibrierung / Validierung in der oberen Havel

Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Wasserhaushaltsmodellierung im Einzugsgebiet der oberen Havel bis Pegel Borgsdorf gelegt. Zum einen deshalb, weil für die gesamte obere Havel Wasserhaushaltsmodelle aufgestellt wurden. Zum anderen umfasst die Havel am Pegel Borgsdorf bereits eine Fläche von 3114 km². Neben den **Kopfgebieten**:

- STG 2 - Ravensbrück / Hegensteinfließ (Abb. 4.7),
- STG 301 - Steinhavel / Obere Havel-Wasserstraße (Abb. 4.8) und
- STG 303 - Kannenburg / Templiner Gewässer

waren die **Havelzwickengebiete** bis Pegel Liebenwalde:

- STG 302 - Zwischengebiet Havel, unterhalb Pegel Steinhavel OP bis Pegel Liebenwalde OP (ohne Hegensteinfließ und Templiner Gewässer)

und unterhalb von Liebenwalde bis Pegel Borgsdorf:

- STG 4 - ZG Havel, Pegel Liebenwalde bis Borgsdorf (mit Oder-Havel-Kanal, Schnelle Havel, Oranienburger und Malzer Kanal, ohne Werbellingewässer)

zu modellieren.

Die geografische Lage dieser Pegel ist zum einen der vorherigen Abb. 4.5 (ohne Kannenburg/ Templiner Gewässer) und schematisch mit den Simulationsteilgebieten der nachfolgenden Abb. 4.6 zu entnehmen.

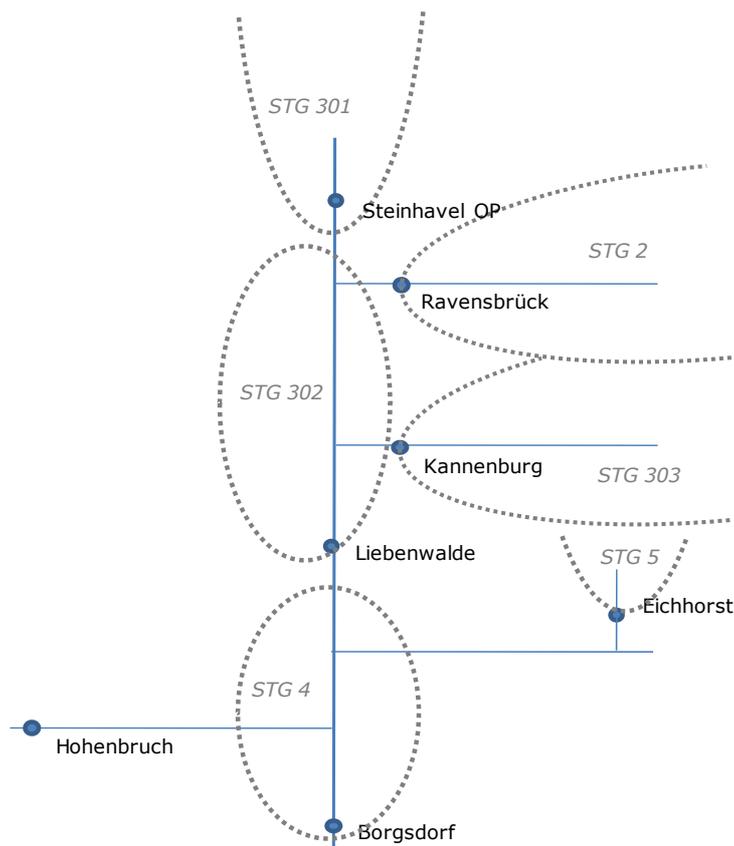


Abb. 4.6 Simulationsteilgebiete in der Oberen Havel. Beispielhaft ausgewertet wurden die Simulationsteilgebiete 2 Ravensbrück, 301 Pegel Steinhavel und 302 Zwischengebiet Liebenwalde.

Abb. 4.7 zeigt eine Gegenüberstellung der beobachteten und simulierten Abflüsse am Pegel **Ravensbrück / Hegensteinfließ (STG 2, Methode 1, Kalibrierung/ Validierung an beobachteten natürlichen Abflüssen)**. Die simulierten Abflüsse sind das Ergebnis der Optimierung mit PEST. Für die Kalibrierung standen 12 Jahre (1989 bis 2000) und für die Validierung 6 Jahre (2001 bis 2006) zur Verfügung. Der Vergleich zwischen den beobachteten und simulierten Abflüssen zeigt eine befriedigende Modellanpassung, die sich auch in den NSE-Koeffizienten von 0,65 (Kalibrierung) und 0,70 (Validierung) widerspiegelt. Im Allgemeinen gibt EGMO-D alle Abflussbereiche befriedigend wieder, wobei allerdings die höchsten beobachteten monatlichen Abflusswerte häufiger durch die Simulation unterschätzt werden (siehe rechte Abb. 4.7).

Die Vergleiche der mittleren Abflüsse (bezogen auf den mittleren Jahresabfluss und die mittleren Abflüsse im Winter- und Sommerhalbjahr) sowie die Jahressgänge fallen gut aus. Die prozentuale Abweichung des simulierten mittleren Jahresabflusses beträgt im Kalibrierungszeitraum -4,9 % und im Validierungszeitraum 10,4 %.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass für die Modellvalidierung nur 6 Beobachtungsjahre zur Verfügung standen, kann auch für den Validierungszeitraum von einer befriedigenden Modellanpassung ausgegangen werden. Das Wasserhaushaltsmodell EGMO-D ist demzufolge dazu geeignet, für das Hegensteinfließ monatliche Abflüsse, die das natürliche Abflussregime charakterisieren, zu erzeugen.

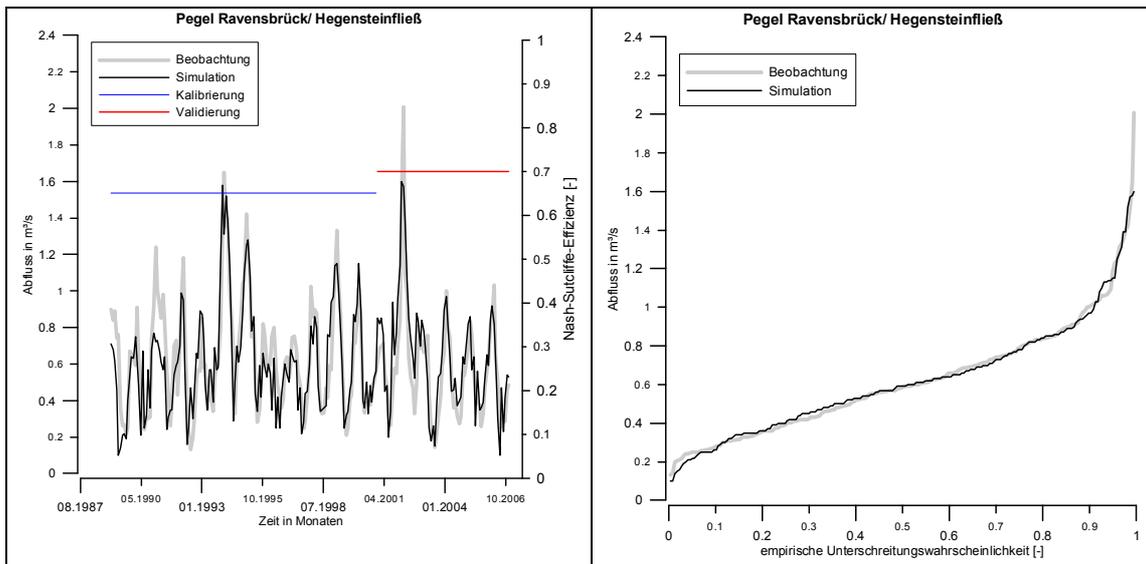


Abb. 4.7 Kalibrierung, Validierung des Pegels Ravensbrück (links Gangliniendarstellung, rechts Dauerlinie über den Zeitraum der Validierung und Kalibrierung). Validierung (NSE = 0,70) etwas besser als Kalibrierung (NSE = 0,65). Kalibrierung erfolgte an beobachteten Abflüssen, die anthropogen nicht beeinflusst sind. Befriedigende Modellanpassung im mittleren Abflussbereich. Unterschätzung der Hochwasserbereiche durch das Modell.

Abb. 4.8 zeigt eine Gegenüberstellung der beobachteten und simulierten Abflüsse am Pegel **Steinhavel / Obere-Havel-Wasserstraße (STG 301, Methode 2, Kalibrierung/Validierung an beobachteten und um Nutzereinflüsse bereinigten Abflüssen)**. Die beobachteten Abflüsse wurden bereinigt um die Überleitungsmengen ins Rhingebiet (Schleuse Wolfsbruch) und um die Abgabe aus den Mecklenburger Oberseen (über Bolt und Mirow). Die Kalibrierung erfolgte über den Zeitraum 1994 bis 2001 und die Validierung über den Zeitraum 2002 bis 2006. Die NSE mit 0,66 (Kalibrierung) und 0,62 (Validierung) zeigen im Mittel eine befriedigende Anpassung. Ersichtlich ist, dass die aufgetretenen niedrigen und hohen monatlichen Beobachtungen durch das Modell unterschätzt werden.

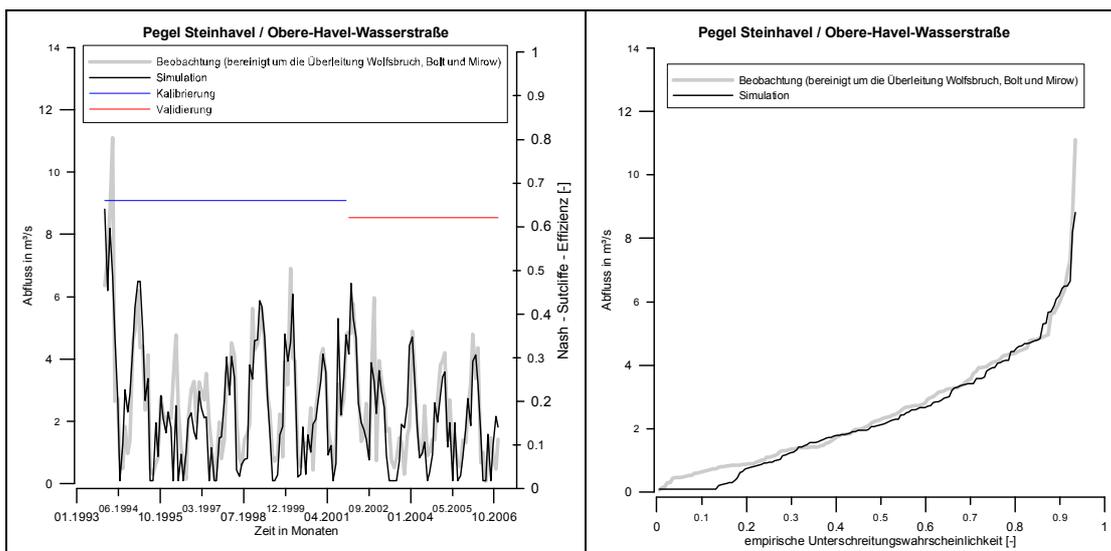


Abb. 4.8 Kalibrierung, Validierung des Pegels Steinhavel (links Gangliniendarstellung, rechts Dauerlinie über den Zeitraum der Validierung und Kalibrierung). Validierung (NSE = 0,62) ist etwas schlechter als die Kalibrierung (NSE = 0,66). Kalibrierung erfolgte an beobachteten um Nutzereinflüsse bereinigten Abflüssen. Im Mittel befriedigende Anpassung. Niedrigwasser und Hochwasser werden durch das Modell jedoch unterschätzt.

Abb. 4.9 zeigt eine Gegenüberstellung der beobachteten und simulierten Abflüsse des Zwischeneinzugsgebietes **Liebenwalde / Obere-Havel-Wasserstraße (STG 302, Methode 3, Kalibrierung/ Validierung an beobachteten Zwischengebieten)**. Die Modellkalibrierung erfolgte für dieses Zwischengebiet mit PEST anhand der beobachteten Differenzreihe (Abfluss in Liebenwalde minus Abfluss in Steinhavel OP minus Abfluss in Ravensbrück minus Abfluss in Kannenburg). Die Kalibrierung erfolgte im Zeitraum von 1992 bis 1997. die Validierung erfolgte im Zeitraum von 1998 bis 2001. Die NSE mit 0,76 (Kalibrierung) und 0,74 (Validierung) zeigen im Mittel eine befriedigende Anpassung. Ersichtlich ist aber auch, dass die Niedrigwasser durch das Modell überschätzt werden. Die Ursache für die Überschätzung könnte evtl. in der Ausleitung in die Schnelle Havel vor dem Pegel Liebenwalde begründet sein, die im Modell bzw. in der Bereinigung der Abflüsse am Pegel Liebenwalde nicht berücksichtigt ist.

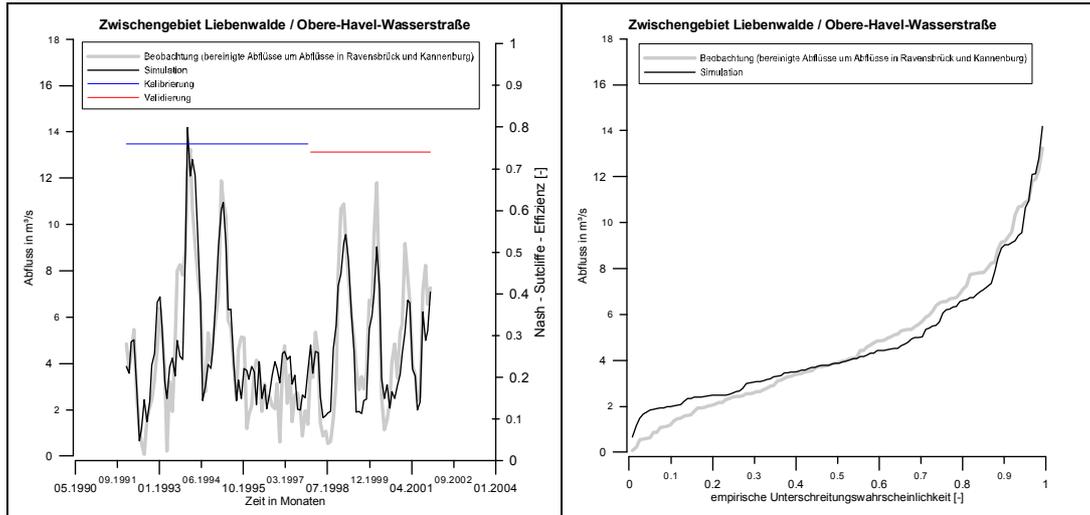


Abb. 4.9 Kalibrierung, Validierung des Zwischengebietes Liebenwalde (links Gangliniendarstellung, rechts Dauerlinie über den Zeitraum der Validierung und Kalibrierung). Kalibrierung ($NSE = 0,76$) ist etwas besser als die Validierung ($NSE = 0,74$). Kalibrierung erfolgte an beobachteten Zwischengebietsabflüssen. Im Mittel befriedigende Anpassung. Niedrigwasser werden durch das Modell überschätzt.

Zur **Plausibilisierung** wurden die simulierten Abflüsse aus den Teileinzugsgebieten bis Liebenwalde (STG 2, STG 301, STG 302 und STG 303) und bis Borgsdorf (zusätzlich STG 5 und STG 4, Zwischengebiet in Borgsdorf ist die Differenz des Abflusses in Liebenwalde minus den Abflüssen in Eichhorst und den Abflüssen in Hohenbruch) aufsummiert und jeweils dem beobachteten Gesamtabfluss gegenübergestellt. Diese Gegenüberstellung ist für den Pegel Liebenwalde und für den Pegel Borgsdorf in der Abb. 4.10 dargestellt. Eine befriedigende Anpassung im Niedrigwasser- und Mittelwasserbereich zeigt sich am Pegel Liebenwalde. Ebenso ist eine befriedigende Anpassung am Pegel Borgsdorf im Niedrigwasserbereich zu erkennen. Der Mittel- und Hochwasserbereich wird am Pegel Borgsdorf durch das Modell leicht unterschätzt.

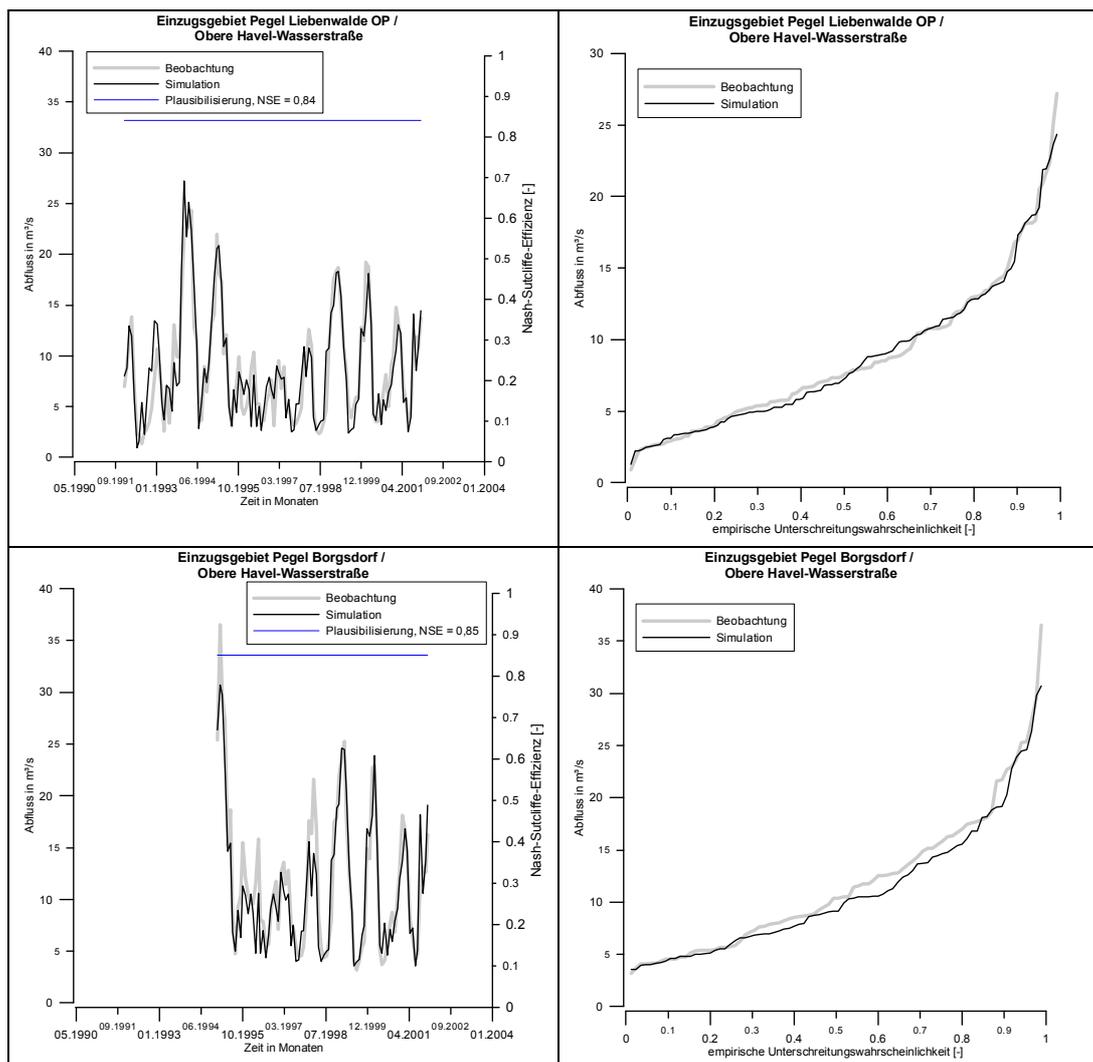


Abb. 4.10 Plausibilisierung der Modellanpassung am Pegel Liebenwalde (oben) und am Pegel Borgsdorf (unten). Eine befriedigende Anpassung ist am Pegel Liebenwalde im Niedrig- und Mittelwasserbereich zu erkennen. Am unterhalb liegenden Pegel Borgsdorf ist eine befriedigende Anpassung im Niedrigwasserbereich und eine leichte Unterschätzung durch das Modell im Mittelwasserbereich zu erkennen.

4.5.2.3 Kalibrierung / Validierung in den Berliner Teilgebieten

Für einige Berliner Teilgebiete wurde die Modellkalibrierung anhand vorliegender quasi natürlicher simulierter Abflüsse (verfügbar für den Zeitraum 1951-1996) (siehe Abschnitt 4.5.1) vorgenommen. Dazu wurde übergegangen, wenn entweder keine Pegelabflüsse vorlagen (zum Beispiel STG 55 - Panke unterhalb des Verteilerwehrs) oder wenn die beobachteten Abflüsse nicht plausibilisiert werden konnten (STG 54 - Röntgenthal/Panke, siehe Darstellung in Abb. 4.11). Zur Anwendung kamen in beiden Simulationsteilgebieten die Methode 4, d.h. Kalibrierung und Validierung auf der Basis von quasi natürlichen simulierten Abflüssen und anschließende Plausibilisierung. Zur Plausibilisierung der Modellanpassung wurde mit dem kalibrierten Wasserhaushaltsmodell die Jahre 1997 bis

2006 simuliert und anschließend die Abflusspenden mit denen aus anderen Berliner Teilgebieten verglichen. Diese Gegenüberstellung ist in Tabelle 4.10 dargestellt.

Abb. 4.11 zeigt eine Gegenüberstellung der quasi natürlichen und simulierten Abflüsse des Pegels Röntgenthal/ Panke (STG 54, Methode 4, Kalibrierung und Validierung auf der Basis von quasi natürlichen simulierten Abflüssen aus der Vergangenheit (frühere Simulation) und anschließende Plausibilisierung). Die Kalibrierung erfolgte im Zeitraum von 1954 bis 1982 und die Validierung im sich anschließenden Zeitraum von 1983 bis 1996. Der Ganglinienvergleich zeigt eine befriedigende Anpassung in mittleren Bereich, jedoch wird auch deutlich, dass die Niedrigwasserabflüsse durch das Modell überschätzt werden (insbesondere in den 70er Jahren).

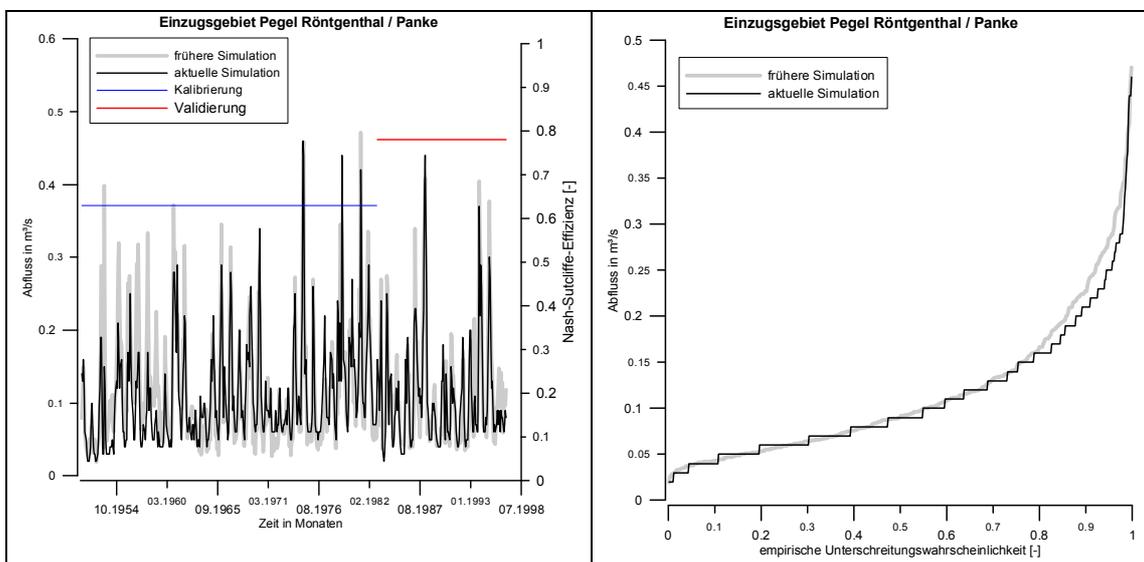


Abb. 4.11 Kalibrierung, Validierung des Pegels Röntgenthal (links Gangliniendarstellung, rechts Dauerlinie über den Zeitraum der Validierung und Kalibrierung). Kalibrierung (NSE = 0,63) ist schlechter als die Validierung (NSE = 0,78). Kalibrierung erfolgte an quasi natürlichen simulierten Abflüssen aus früheren Wasserhaushaltssimulationen. Im Mittel befriedigende Anpassung.

Die simulierten Abflusspenden für die Jahre 1997 bis 2006 sind für die Simulationsteilgebiete 54 und 55 sehr ähnlich (Tabelle 4.10). Für das STG 53 (Wuhle, ebenfalls Methode 4 der Kalibrierung und Validierung) ergibt sich eine höhere Abflusspende.

Für die beiden Berliner Teilgebiete STG 100 (Teltowkanal) und STG 66 (ZG Dahme, Neue Mühle bis Mündung in die Spree einschl. Oder-Spree-Kanal) wurde keine neue Modellkalibrierung vorgenommen, sondern es wurden vorhandene Modellparametersätze aus nahe gelegenen Gebieten (Woltersdorf 1 / Nuthe wurde übertragen auf STG 100, Mittenwalde / Nottekanal wurde übertragen auf STG 66) übertragen (**Methode 5** der Kalibrierungsstrategie). Die simulierten Abflusspenden der Gebiete 100 und 66 reihen

sich in den Wertebereich der nach Methode 4 der Kalibrierung berechneten Gebiete (STG 53, 54 und 55) ein (Tabelle 4.10).

Tabelle 4.10 Abflussspendenvergleich in Berliner Teilgebieten. In den Teilgebieten 54 und 55 ergeben sich sehr ähnliche Abflussspenden. Die Abflussspenden der Gebiete 100 und 66 reihen sich in den Wertebereich der nach Methode 4 der Kalibrierung berechneten Gebiete ein. Grau markiert sind die Gebiete, in denen Methode 5 der Kalibrierung/ Validierung zu Anwendung kam.

STG-Nr. und (Name des Gebietes)	Simulierte mittlere Abflussspende [l/(s*km ²)] (1997-2006)
53 (Wuhle)*	4,2
54 (Röntgenthal/ Panke)*	2,5
55 (Zwischengebiet Panke)*	2,2
66 (Zwischengebiet Neue Mühle bis Mündung Dahme) **	4,2
100 (Teltowkanal)**	2,4

* Methode 4 der Kalibrierung: Kalibrierung und Validierung auf der Basis von quasi natürlichen Abflüssen aus der Vergangenheit und anschließende Plausibilisierung

** Methode 5 der Kalibrierung: Kalibrierung und Validierung durch Übertragung eines Parametersatzes und Plausibilisierung

4.5.3 Zusammenfassung

Die folgenden drei Tabellen geben einen zusammenfassenden Überblick zu allen Ergebnissen der Modellkalibrierung und -validierung:

- Tabelle 4.11 zeigt die NSE-Koeffizienten,
- Tabelle 4.12 zeigt einen Vergleich der beobachteten und simulierten mittleren Jahresabflüsse einschließlich der prozentualen Abweichung und
- Tabelle 4.13 zeigt die beobachteten und simulierten mittleren jährlichen Abflussspenden im Vergleich mit den Werten aus dem HAD (2003).

Hell grün unterlegt sind wiederum die Gebiete, deren Modellgüte anhand von Ganglinien- und Dauerliniendarstellungen bereits detaillierter in Abschnitt 4.5.2 dargestellt wurde.

Die Auswertungen belegen, dass insgesamt eine **befriedigende (NSE ≥ 0,5) bis gute (NSE ≥ 0,8) Modellanpassung im Havelgebiet (ohne Spreengebiet)** erreicht werden konnte. Für das große Havelzwischengebiet (STG 4) liegt der NSE-Koeffizient im Validierungszeitraum allerdings unter 0,5. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die beobachteten Abflüsse aus einer berechneten Differenzreihe resultieren und die

Pegelabflüsse in Liebenwalde und Borgsdorf mit Unsicherheiten behaftet sind. Außerdem standen für die Validierung nur 4 Jahre zur Verfügung. Die Plausibilisierung für das Gesamteinzugsgebiet des Pegels Borgsdorf anhand der aufsummierten Teilgebietsabflüsse zeigt jedoch befriedigende Modellergebnisse (Abb. 4.10).

Bei den Berliner Teilgebieten traten Schwierigkeiten bei der Modellanpassung (vor allem bei den Hoch- und Niedrigwasserspitzen) auf, was sich in den teilweise niedrigeren NSE-Koeffizienten von 0,42 bis 0,24 (STG 51, STG 53, STG56) widerspiegelt.

Tabelle 4.11 zeigt auch, dass die Zeiträume für Kalibrierung/Validierung in den STG letztlich sehr unterschiedlich waren. Das liegt darin begründet, dass eine Randbedingung bei der Modellanpassung war, einen möglichst lange Abflussreihe zu verwenden, um eine gesicherte modellbasierte Einschätzung des Abflussgeschehens in einem STG treffen zu können. Da die Abflusssimulation für jedes STG getrennt erfolgt und erst im WBalMo die Abflüsse im Flusslängsschnitt zusammengefügt werden, war es nicht erforderlich einheitliche Reihenlängen bei der Modellkalibrierung und -validierung zu verwenden, sondern möglichst der gesamte Beobachtungszeitraum herangezogen. Im Mittel standen für die Kalibrierung 14 Jahre und für die Validierung 6 Jahre zur Verfügung.

Tabelle 4.11 Anpassungsgüte (NSE) im Kalibrierungs- und Validierungszeitraum. Im Havelgebiet (ohne Spree) konnte eine befriedigende (hell gelb markiert, NSE in der Validierung $\geq 0,5$) bis gute (dunkel grün markiert, NSE in der Validierung $\geq 0,8$) Modellgüte erreicht werden. Das hell orange markierte Simulationsteilgebiet hat eine NSE ≥ 0.2 . Die Modellgüte kann als ausreichend beschrieben werden. Dies gilt nicht mehr für die Simulation des Teilgebietes 4. Hinweise dazu im Text. Hellgrün markiert sind die Simulationsteilgebiete (Spalte 1), für die im Bericht eine detaillierte Auswertung zur Modellgüte erfolgte.

STG-Nr.	Zeitraum		NSE		Parametersatz
	Kalibrierung	Validierung	Kalibrierung	Validierung	
WBalMo Havel					
1	1998-2003	2004-2006	0,86	0,86	MOS
2	1989-2000	2001-2006	0,65	0,70	Ravensbrück
301	1994-2001	2002-2006	0,66	0,62	Steinhavel
302	1992-1997	1998-2001	0,76	0,74	ZG Liebenwalde
303	1992-2001	2004-2006	0,57	0,57	Kannenburg
4	1995-2002	2003-2006	0,56	0,22	ZG Borgsdorf
8	1990-2000	2001-2006	0,52	0,56	Rheinsberg
9	1990-2000	2001-2006	0,52	0,41	ZG Wustrau/Altfriesack
68	1989-2002	2003-2006	0,83	0,82	Grabow
69	1989-2002	2003-2006	0,87	0,87	Genthin-Hagen
WBalMo Nuthe					
3	1990-2001	2002-2006	0,77	0,78	Blankensee
WBalMo Plane					
12-13	1975-1996	1997-2006	0,58	- *	Trebitz
WBalMo Buckau					
1	1990-2001	2002-2006	0,42	0,58	Wenzlow
WBalMo Dosse-Jäglitz					
1	1977-1996	1997-2005	0,75	0,75	Freyenstein
2	1994-2001	2002-2005	0,87	0,88	ZG Wittstock UP
3	1989-1999	2000-2005	0,73	0,90	Wittstock/Glinze
1	1977-1996	1997-2005	0,75	0,75	Freyenstein
2	1994-2001	2002-2005	0,87	0,88	ZG Wittstock UP
3	1989-1999	2000-2005	0,73	0,90	Wittstock/Glinze
WBalMo Berlin					
50	1992-2001	2002-2006	0,66	0,51	Grünheide
51	1992-2001	2002-2006	0,42	0,69	Fredersdorf
52	1974-1994	1999-2006	0,56	0,47	Dahlwitz-Hoppegarten
53	1951-1980	1981-1996	0,46	0,52	Wuhle
54	1954-1982	1983-1996	0,63	0,78	Röntgenthal
55	1951-1980	1981-1996	0,63	0,70	ZG Panke
56	1989-2000	2001-2006	0,67	0,24	St.-Josef-Steg
57	1977-1996	1997-2006	0,62	0,62	Mittenwalde
66	- **	- **	- **	- **	Mittelwalde
100	- **	- **	- **	- **	Woltersdorf 1

* Die Validierung für den Pegel Trebitz wurde nicht durchgeführt, da die beobachteten Abflussdaten nach 1996 einen Sprung aufweisen, dessen Ursache gegenwärtig noch nicht geklärt ist (farbliche Markierung hier nach Modellgüte im Kalibrierungszeitraum).

** Ermittlung des NSE ist nicht möglich, da hier entsprechend Methode 5 der Parametersatz eines nahegelegenen Gebietes übertragen wurde.

Tabelle 4.12 Vergleich der mittleren Jahresabflüsse (beobachtet, simuliert). Die prozentualen Abweichungen zwischen beobachteten und simulierten mittleren Jahresabflüssen liegen für alle Simulationsteilgebiete im Mittel bei -1,3 % (Kalibrierungszeitraum) und 3,0 % (Validierungszeitraum) und bekräftigen mit einigen Ausnahmen (wie STG 1 und STG 4) das zufriedenstellende Ergebnis.

STG-Nr.	Mittlerer Jahresabfluss [m³/s]				Proz. Abweichung [%]	
	Kalibrierung		Validierung		Kalibrierung	Validierung
	beobachtet	simuliert	beobachtet	simuliert		
WBalMo Havel						
1	3,65	4,20	3,08	2,39	15,1	-22,4
2	0,641	0,610	0,579	0,639	-4,8	10,4
301	2,72	2,57	2,18	2,03	-5,8	-6,7
302	4,41	4,70	4,96	4,52	6,6	-8,8
303	0,858	0,938	0,759	0,752	9,4	-0,9
4	2,99	2,62	1,61	2,50	-12,3	55,3
8	0,938	0,883	0,924	0,929	-5,8	0,5
9	1,83	1,84	1,82	1,87	0,4	2,7
68	0,426	0,416	0,346	0,383	-2,3	10,6
69	0,573	0,594	0,550	0,506	3,7	-8,1
WBalMo Nuthe						
3	2,93	2,91	2,92	2,96	-0,5	1,4
WBalMo Plane						
12-13	0,760	0,752	- *	- *	-1,0	- *
WBalMo Buckau						
1	0,174	0,177	0,183	0,191	1,8	4,4
WBalMo Dosse-Jäglitz						
1	0,215	0,191	0,167	0,191	-11,2	14,8
2	0,686	0,709	0,666	0,661	3,3	-0,7
3	0,451	0,438	0,486	0,499	-3,0	2,6
WBalMo Berlin						
50	0,641	0,637	0,613	0,661	-0,7	7,8
51	0,204	0,167	0,139	0,147	-18,0	5,3
52	0,417	0,403	0,297	0,317	-3,6	6,6
53	0,514	0,506	0,549	0,523	-1,6	-4,7
54	0,121	0,116	0,112	0,109	-4,4	-3,2
55	0,138	0,131	0,142	0,128	-5,2	-10,0
56	0,327	0,357	0,381	0,398	9,2	4,5

STG-Nr.	Mittlerer Jahresabfluss [m³/s]				Proz. Abweichung [%]	
	Kalibrierung		Validierung		Kalibrierung	Validierung
	beobachtet	simuliert	beobachtet	simuliert		
57	1,11	1,09	0,895	0,959	-2,3	7,2
66	- **	- **	- **	1,084	- **	- **
100	- **	- **	- **	0,576	- **	- **

* Die Validierung für den Pegel Trebitz wurde nicht durchgeführt, da die beobachteten Abflussdaten nach 1996 einen Sprung aufweisen, dessen Ursache gegenwärtig noch nicht geklärt ist.

** Keine Kalibrierung möglich, da hier entsprechend Methode 5 der Parametersatz eines nahegelegenen Gebietes übertragen wurde. Validierung entspricht einer Plausibilisierung. Angabe des Wertes zur Einordnung im Vergleich zu den nahegelegenen Gebieten.

Tabelle 4.13 Vergleich der mittleren jährlichen Abflusspenden. Überwiegend gute Übereinstimmung zwischen beobachteten und simulierten Werten.

STG-Nr	Mittlere jährliche Abflusspende (l/s * km²)				HAD (2003)
	Kalibrierung		Validierung		
	Beobachtung	Simulation	Beobachtung	Simulation	
WBalMo Havel					
1	3,1	3,5	2,6	2,0	3,1
2	3,6	3,4	3,2	3,5	3,7
301	3,9	3,7	3,2	2,9	2,9
302	3,9	4,1	4,4	4,0	2,9
303	2,9	3,2	2,6	2,6	3,0
4	5,1	4,5	2,7	4,3	2,6
8	6,8	6,4	6,7	6,7	2,7
9	3,7	3,7	3,7	3,8	2,7
68	2,9	2,8	2,4	2,6	3,9
69	2,2	2,3	2,1	1,9	2,3
WBalMo Nuthe					
3	4,2	4,2	4,2	4,3	2,2
WBalMo Plane					
12-13	3,4	3,4	- *	- *	3,6
WBalMo Buckau					
1	1,9	1,9	1,9	2,0	3,0
WBalMo Dosse-Jäglitz					
1	5,4	4,8	4,2	4,8	3,8
2	4,0	4,1	3,9	3,8	3,5
3	6,1	5,9	6,6	6,7	4,2

STG-Nr	Mittlere jährliche Abflusspende (l/s * km ²)				HAD (2003)
	Kalibrierung		Validierung		
	Beobachtung	Simulation	Beobachtung	Simulation	
WBalMo Berlin					
50	3,8	3,7	3,6	3,9	2,7
51	1,8	1,4	1,2	1,3	3,8
52	2,2	2,2	1,6	1,7	5,3
53	4,5	4,4	4,8	4,6	6,2
54	3,3	3,1	3,0	2,9	7,5
55	3,1	2,9	3,2	2,9	7,2
56	2,7	2,9	3,1	3,3	4,3
57	4,5	4,4	3,6	3,9	2,3
66	- **	- **	- **	4,2	- **
100	- **	- **	- **	2,4	- **

* Die Validierung für den Pegel Trebitz wurde nicht durchgeführt, da die beobachteten Abflussdaten nach 1996 einen Sprung aufweisen, dessen Ursache gegenwärtig noch nicht geklärt ist.

** Keine Kalibrierung möglich, da hier entsprechend Methode 5 der Parametersatz eines nahegelegenen Gebietes übertragen wurde. Validierung entspricht einer Plausibilisierung. Angabe des Wertes zur Einordnung im Vergleich zu den nahegelegenen Gebieten.

Der Vergleich der mittleren jährlichen Abflusspenden zeigt ebenfalls überwiegend eine gute Übereinstimmung zwischen beobachteten und simulierten Werten. Die Gegenüberstellung der simulierten Abflusspenden mit den Werten des HAD (2003) fällt allerdings differenzierter aus. Dabei wird deutlich, dass die (modellbasierten) Abflusspenden des HAD (2003) im Vergleich zu den beobachteten Pegelabflusspenden im Havelgebiet oft sehr gering (kleiner 3 l/(s*km²)), im Berliner Gebiet hingegen oft sehr hoch sind (größer 5 l/(s*km²)). Eine mögliche Ursache der Unterschiede zwischen den beobachteten bzw. simulierten Abflusspenden und denen des HAD könnte in den unterschiedlichen zugrunde liegenden Zeiträumen begründet sein.

4.6 Verbesserte Kalibrierung am Pegel Bautzen-Weite Bleiche / Spree

Weiterhin wurde für das bereits vorliegende Modell des Einzugsgebietes des Pegels Bautzen-Weite Bleiche/ Spree die EGMO-D Simulation verbessert, indem die Modellparameter mittels PEST neu bestimmt wurden. Die Kalibrierung wurde anhand der beobachteten Abflüsse des Zeitraumes 1995-2000 durchgeführt und die Validierung anhand der beobachteten Abflüsse des Zeitraumes 2001-2006. Die Abb. 4.12 zeigt den Ganglinienvergleich der simulierten Abflüsse, berechnet mit altem Parametersatz

(schwarze gestrichelte Linie) und mit neuem Parametersatz (schwarze durchgezogene Linie) und mit den beobachteten Abflüssen. Die hohen NSE-Werte von 0,89 (Kalibrierungszeitraum) und 0,84 (Validierungszeitraum) belegen die gute Modellanpassung.

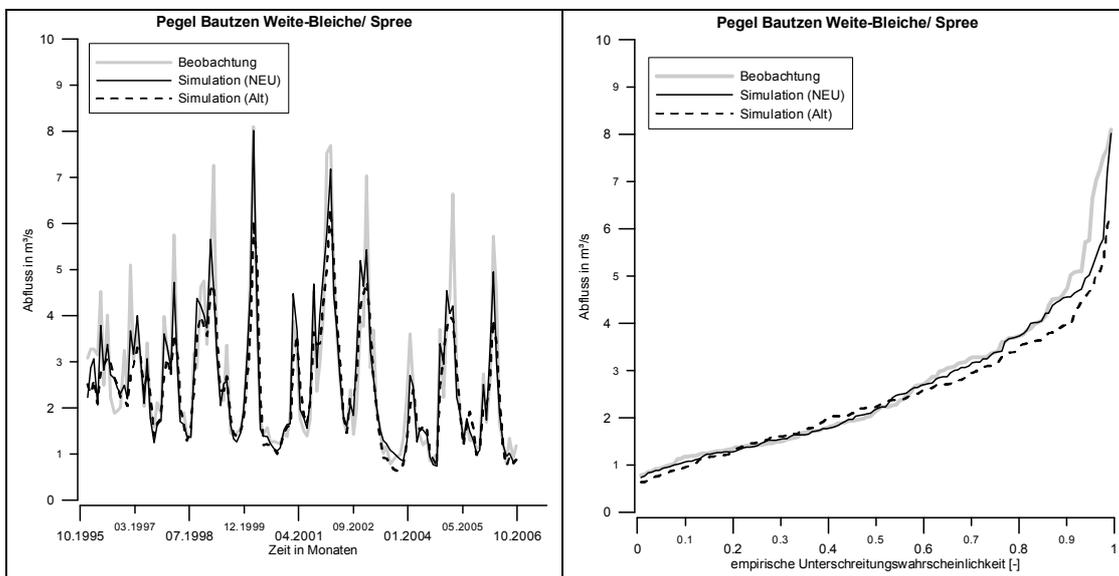


Abb. 4.12 Plausibilisierung der Modellanpassung am Pegel Bautzen Weite-Bleiche. Die neue Kalibrierung führt zu einer verbesserten Simulation.

4.7 Anpassung der Parametersätze bezüglich der Grundwasserabsenkung

Bei der Abflusssimulation im Spree-Schwarze Elster-Gebiet wird die Grundwasserabsenkung in den bergbaubeeinflussten Gebieten ursprünglich bis 2050 berücksichtigt. Im Rahmen des Modellverbundes KLIWAS wird die Abflusssimulation jedoch bis 2100 durchgeführt. Dafür wurde auf der Beratung am 26.05.2011 in Cottbus zwischen Vattenfall Europe Mining AG (VEM) und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) abgestimmt, dass die der VEM vorliegenden Daten zur Entwicklung der Grundwasserabsenkung bis 2100 für das KLIWAS Projekt WBalMo Havel-Spree übernommen werden können.

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

BfG-1777

*Wasserwirt-
schaftliche
Verhältnisse
VDE 17
6. Fassung
2. Teilbericht*

Kapitel 5

Bewirtschaftungsmodell zur Simulation des bewirtschafteten Dargebots

Wasserbewirtschaftungsmodelle dienen zur Simulation des anthropogenen Einflusses in Gewässern. Im Wasserbewirtschaftungsmodell werden die Wassernutzungen (quantitative Angaben zu Einleitungen und Entnahmen sowie mathematische Algorithmen zur Darstellung der Speicherbewirtschaftung, der Wehrstellung oder der Pumpensteuerung) dem quasi natürlichen Wasserdargebot gegenübergestellt. Das **quasi natürliche Dargebot als hydrologische Randbedingung** (siehe auch Ausführungen in Kapitel 4) kann anhand von stochastisch simulierten meteorologischen Eingangsdaten (siehe Ausführungen in Kapitel 3) ermittelt werden.

5.1 Verknüpfung der gebietsspezifischen Modellbausteine zum Bewirtschaftungsmodell WBalMo Havel-Spree

Der Modellverbund zur Simulation der Wasserbewirtschaftung im Havel-Spreegebiet besteht aus sieben WBalMo-Bausteinen, die jeweils folgende Teilgebiete abdecken (siehe Abb. 5.1):

1. **WBalMo Spree/ Schwarze Elster** liefert den Zufluss von der Spree (Pegel Große Tränke UP), der Dahme (Pegel Neue Mühle) und den von der Spree abzweigenden Teil des Oder-Spree-Kanals für das WBalMo Berlin.
2. Im **WBalMo Berlin** wird der Berliner Teil der Spree sowie ein Teilstück der Havel (vom Pegel Borgsdorf bis unterhalb Mündung Teltowkanal) modelliert.
3. **WBalMo Havel** beinhaltet die Havel von ihrem Quellgebiet bis zu ihrer Mündung in die Elbe.
4. **WBalMo Nuthe** liefert den Zufluss für den Havelnebenzufluss Nuthe.
5. **WBalMo Plane** liefert den Zufluss für den Havelnebenzufluss Plane.
6. **WBalMo Buckau** liefert den Zufluss für den Havelnebenzufluss Buckau.
7. **WBalMo Dosse-Jäglitz** liefert den Zufluss für die Havelnebenzuflüsse Dosse und Jäglitz.

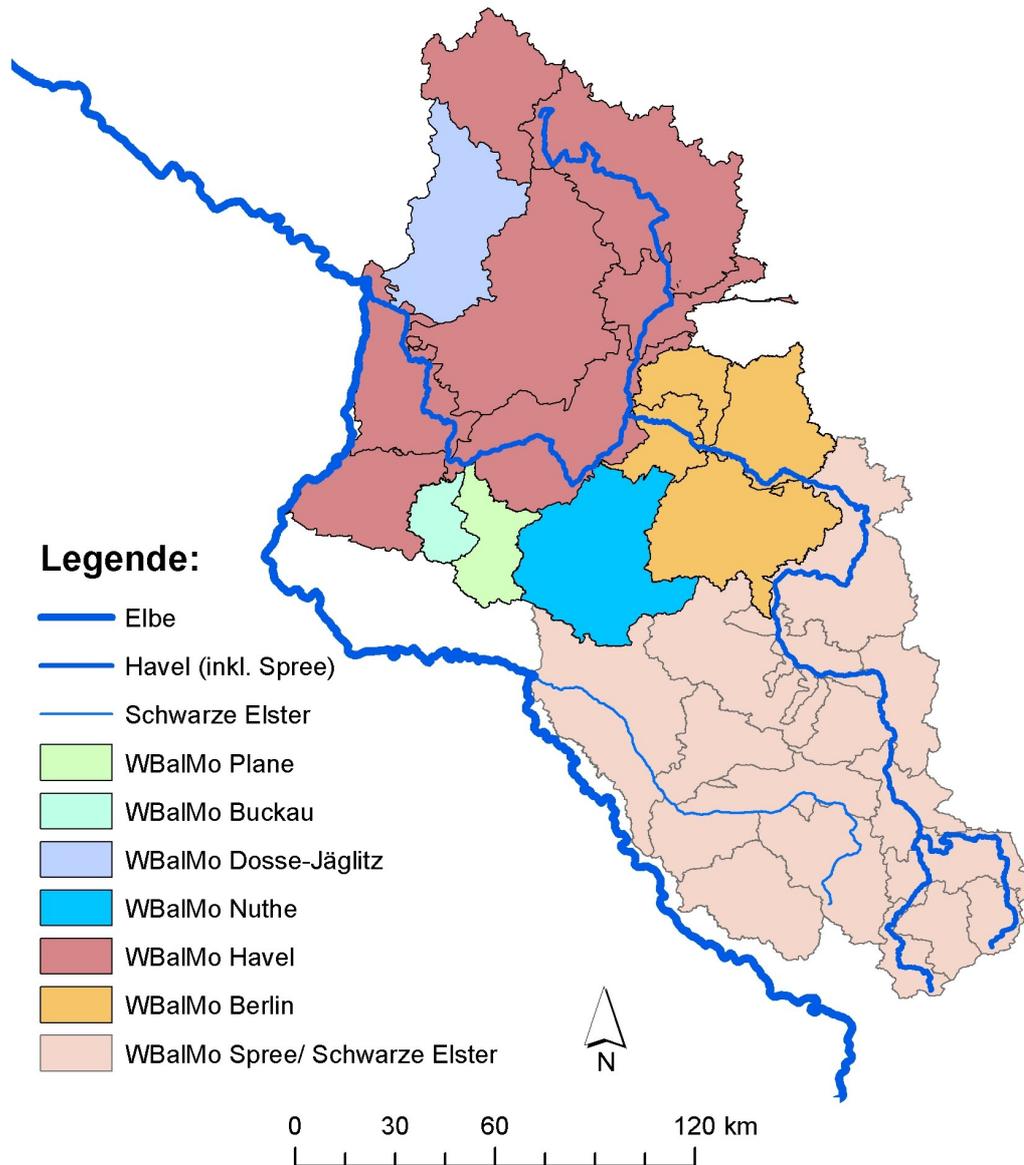


Abb. 5.1 Modellverbund zur Simulation der Wasserbewirtschaftung. Die WBalMo-Bausteine Spree/ Schwarze Elster, Berlin, Havel und Havelnebenflüsse werden zu einem Gesamtmodell WBalMo Havel-Spree verknüpft.

Die vereinfachte Modellstruktur ist in Abb. 5.2 dargestellt, wobei die grünen Punkte die Schnittstellen der einzelnen Modelle symbolisieren. Die zeitliche Struktur ist in allen Ausgangsvarianten der Teilmodelle identisch, sie beziehen sich auf den Zeitraum vom 01/2003 – 12/2052 - in Summe 50 Jahre – mit einer Unterteilung in 10 Perioden á 5 Jahre. Eine zeitliche Erweiterung der Modelle bis 2100 war im Rahmen des Auftrages notwendig (siehe hierzu auch Ausführungen in Abschnitt 5.2). Hinsichtlich der Bereitstellung der Schnittstellen zwischen den einzelnen Modellen ist eine klare Reihenfolge im

Simulationsablauf erforderlich: (1) WBalMo Spree-Schwarze Elster, (2) WBalMo Nuthe, (3) WBalMo Plane, (4) WBalMo Buckau, (5) WBalMo Dosse-Jäglitz und (6) WBalMo Havel inkl. WBalMo Berlin (dieses ist in der Modellversion als aktives Modul im WBalMo Havel eingebunden und wird zur Laufzeit zeitschrittsynchron ausgeführt).

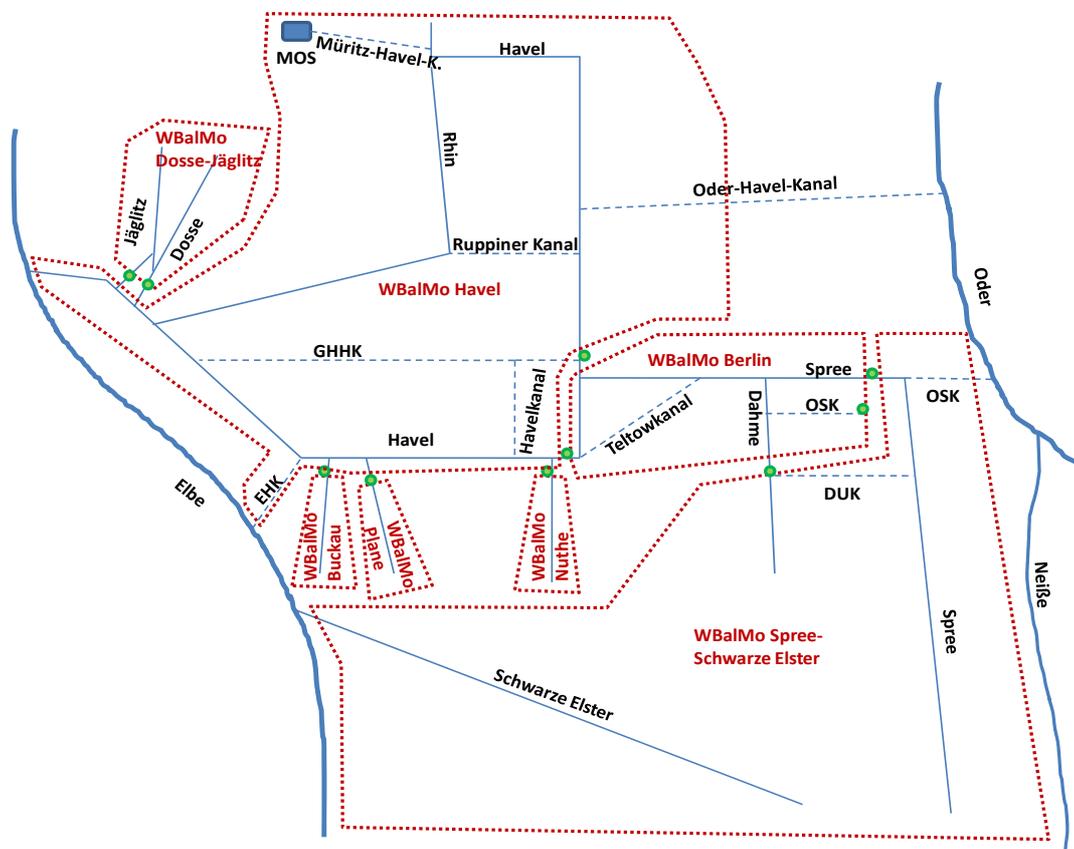


Abb. 5.2 Vereinfachte Modellstruktur. Die rot umrandeten Gebiete entsprechen den WBalMo-Bausteinen und die grüne Punkte symbolisieren die Schnittstellen der einzelnen Modelle.

In den folgenden Abschnitten werden die Modellbausteine detailliert beschrieben und die bestehenden, in den Modellen integrierten Bewirtschaftungsgrundsätze und -regeln erläutert. Zur besseren Orientierung ist in Abb. 5.3. die Lage der wichtigsten Nebenflüsse der Havel, der Speicher und der Pegel schematisch dargestellt.

Schematische Darstellung des Flussgebietes der Havel mit wichtigen Nebenflüssen und Pegeln sowie den Hochwasserspeichern im Havelgebiet

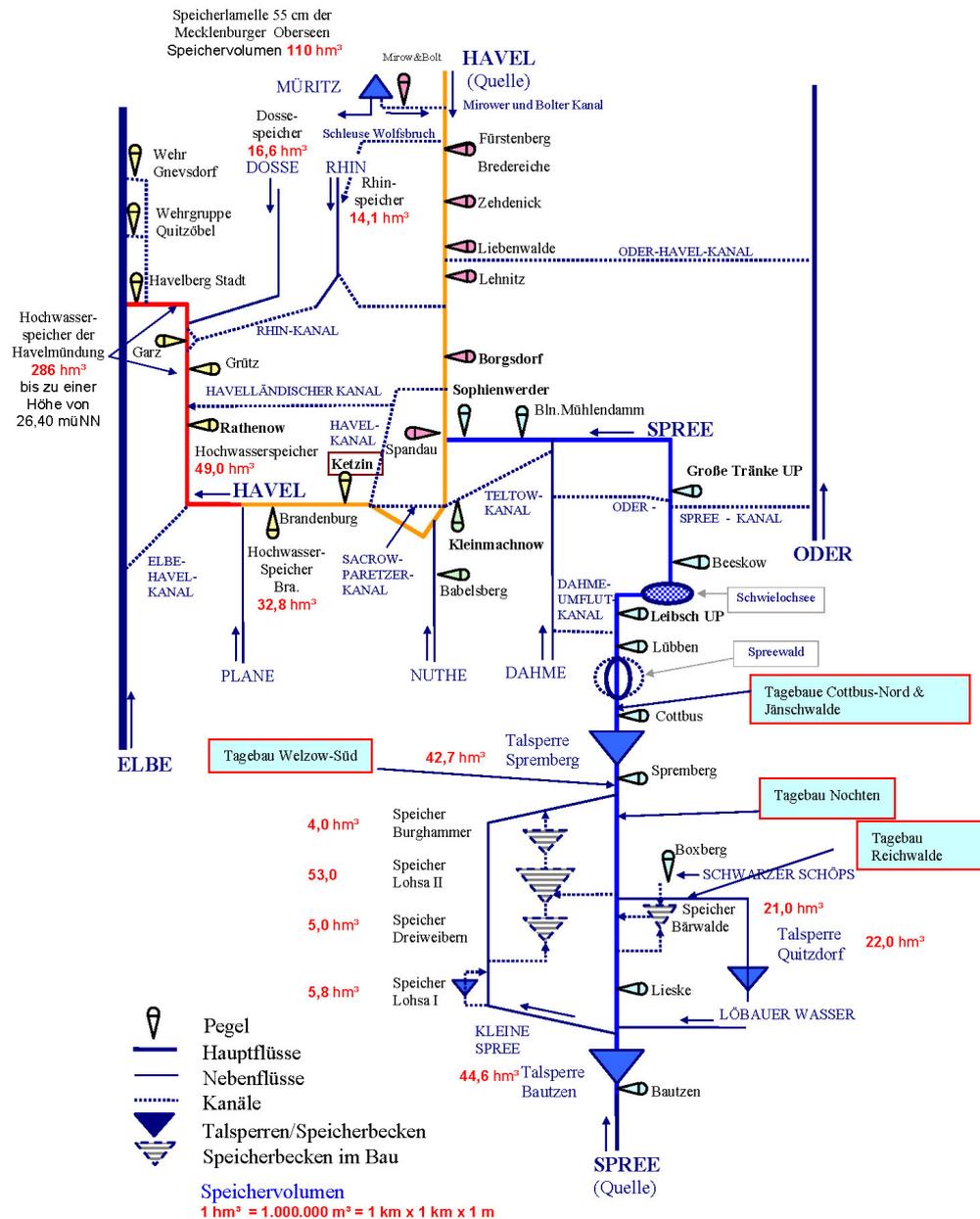


Abb. 5.3

Schematische Darstellung des Flussgebietes der Havel. Dargestellt sind die wichtigsten Nebenflüsse, Pegel und Speicher.

5.2 Beschreibung der Modellbausteine und der Bewirtschaftungsgrundsätze sowie der notwendigen modelltechnischen Anpassungen

5.2.1 Spreegebiet

5.2.1.1 WBalMo Spree/ Schwarze Elster

Die derzeit aktuelle Modellvariante (LM2008_091127_13) des WBalMo Spree/Schwarze Elster entstand im Zuge der 13. Bearbeitungsetappe (DHI-WASY, 2010) des GRMSteu (Flutungssteuerungsmodell). Dieser Modellbaustein umfasst 54 Fließgewässerabschnitte mit 104 Bilanzprofilen und 15 Speicher. Die anthropogene Beeinflussung wird abgedeckt über ca. 360 Nutzer¹³ und ca. 100 dynamische Elemente zur Modellierung weiterer spezieller Bewirtschaftungsregelungen und zur Organisation des Modellverbundes.

Berücksichtigt sind in dieser Modellvariante u.a.: (1) die Einflüsse durch aktiven und Sanierungsbergbau (d. h. die zeitliche und/oder räumliche Veränderung der Grundwasserabsenkungstrichter, die Einleitung der Sumpfungswassermengen sowie die Flutung und Nachsorge der Tagebaufolgeseen), (2) das hydrologische Dargebot und die Staubewässerung im Spreewald sowie (3) die Überleitung aus dem Schwarze/ Elster-Gebiet ins Spreegebiet mit Abgaben aus der Erweiterten Restlochkette (Tagebauseen im Schwarze Elstergbiet: Geierswalder See (Koschen), Partwitzer See (Skado), Sedlitzer See (Sedlitz), Ilse-See (Meuro), Spreetaler See (Spreetal-Nordost), Neuwieser See (Bluno), Blunoer Südsee (Nordschlauch), Sabrodter See (Nordrandschlauch), Bergener See (Südostschlauch)).

Für die Bewirtschaftung des natürlichen Wasserdargebotes der Flussgebiete Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße gilt unter der Maßgabe, dass die Speicher betriebsbereit sind, folgende Rangfolge:

- **Rang 1:** Sicherung der Wasserentnahmeforderungen (mit Ausnahme der Schifffahrt und der Flutung und Nachsorge der Tagebauseen) und der erforderlichen Mindestabflüsse unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit.
- **Rang 2:** Wiederauffüllung der Speicher zur Sicherung ihrer Betriebsbereitschaft nach dem Prinzip Oberlieger vor Unterlieger.

¹³ 360 Nutzer: 26 x Bewässerung/Beregnung, 80 x Binnenfischerei, 12 x Flutung, 1 x Grundwasser, 12 x Industrie, 11 x Kläranlage, 4 x Kraftwerk, 1 x Pumpwerk, 56 x Mindestabfluss, 19 x Tagebaufolgeseesee, 2 x Schleuse, 19 x Tagebau, 69 x Überleitung, 31 x Versickerung, 9 x Wasserwerke, 7 x Nutzungsbilanzen für Entnahme/Einleitungen in Polen

- **Rang 3:** Speisung der Scheitelhaltung des Oder-Spree-Kanals aus dem Spreegebiet.
- **Rang 4:** Flutung oder Nachsorge der Tagebauseen (Prinzip: Nachsorge vor Flutung).

Eine Wasserentnahme ist demnach für einen rangniederen Nutzer möglich, solange flussabwärts liegende, ranghöhere Nutzer ihren Wasserbedarf decken können.

Ein entscheidender Faktor für den Zufluss über die Spree zur Havel während Niedrigwasser stellt der geforderte Mindestdurchfluss von 8 m³/s am Pegel Große Tränke UP dar. Diese Forderung wird durch die Abgaben aus den Talsperren Bautzen, Quitzdorf, und Spremberg sowie aus den Speichern Lohsa I, Lohsa II, Bärwalde, Burghammer, Dreiweibern und Cottbuser See gestützt. Die Lage der Speicher und des Pegels Große Tränke ist der Abb. 5.3 zu entnehmen.

Im Rahmen des Projektes erfolgten (1) eine Erweiterung des Simulationshorizontes von 2003-2052 (10 Perioden á 5 Jahre) auf 2003-2102 (20 Perioden á 5 Jahre), (2) eine Übernahme von Modellkomponenten aus dem Vattenfall Europe Mining Modell (Flutung/Nachsorge Tagebau Nochten, Welzow-Süd, Reichwalde, Cottbus-Nord; entsprechend BfG, 2011) und (3) notwendige modelltechnische Umstrukturierungen, die im Weiteren nicht erläutert werden.

5.2.1.2 WBalMo Berlin

Die zugrunde liegende Modellvariante (051115) des WBalMo Berlin wurde im Gewässerrandstreifenprojekt „Untere Havelniederung zwischen Pritzerbe und Gnevsdorf“ (DHI-WASY, 2008) entwickelt. Das Modellgebiet umfasst 16 Fließgewässer mit 43 Bilanzprofilen, 135 Nutzer¹⁴ und 11 dynamische Elemente zur Modellierung weiterer spezieller Bewirtschaftungsregelungen und zur Organisation des Modellverbundes.

In dieser Modellvariante werden der Grundwassereinfluss (in Abhängigkeit vom Durchfluss im Oberflächengewässer und dem Verhältnis zwischen oberirdischem und unterirdischem Einzugsgebiet am betrachteten Bilanzprofil) sowie die Regenüberläufe der Berliner Kanalisation zur Erhöhung des Dargebotes in den Oberflächengewässern berücksichtigt.

¹⁴ 135 Nutzer, davon: 29 x Grundwassereinfluss, 22 x Industrie (davon 19 x Kraftwerke), 13 x Kläranlage, 4 x Kraftwerk, 2 x Mindestabfluss, 6 x Schleuse, 1 x Tagebaueinleitung, 7 x Überleitung/Ableitung, 32 x Wasserwerk, 23 x Regenüberlauf

Die Deckung des Kühlwasserbedarfes der Heizkraftwerke im Berliner Raum wird ebenso wie die auftretenden Nutzungsverluste berücksichtigt. Im Modell zusätzlich verankert sind (1) die Durchflusssaufteilung (Dämeritzsee) zwischen Spree (Zufluss Müggelsee) und Gosener Kanal (Zufluss zur Dahme), (2) die Ableitung von 20% des Durchflusses am Entnahmeprofil in der Dahme in den Teltowkanal, (3) Überleitung von der Panke in den Nordgraben am Verteilerwehr Blankenburg von 80 % des Durchflusses in der Panke sowie (4) die Überleitung zwischen Spree über den Britzer Verbindungskanal (BvK) und Teltowkanal bzw. von der Spree in den Landwehrkanal. Die Aufteilung der Durchflüsse innerhalb der Wasserstraßen von Berlin (auch „Berlin Steuerung“ genannt, detailliert erläutert im Abschnitt 3.3.8 des 1. Teilberichtes) wird auf Basis einer polynomischen Regressionsgleichung mit der Summe aus den Durchflüssen in Spree (Bilanzprofil Mühlendamm), Landwehrkanal (Unterschleuse) und Teltowkanal (Schleuse Kleinmachnow) als Regressor bestimmt.

Im Rahmen des Projektes erfolgte eine Erweiterung des Simulationshorizontes von 2003-2052 (10 Perioden á 5 Jahre) auf 2003-2102 (20 Perioden á 5 Jahre).

5.2.2 WBalMo Havel (ohne Spreengebiet)

Die zugrunde liegende Modellvariante (090_hav_071205) des WBalMo Havel entstand im Zuge des Gewässerrandstreifenprojektes „Untere Havelniederung zwischen Pritzerbe und Gnevsdorf“ (DHI-WASY, 2008). Im Modell enthalten sind 100 Fließgewässer (davon ca. 30-40 ausschließlich zur Modellierung der Bewirtschaftung von Niederungsgebieten) mit 235 Bilanzprofilen und 8 Speichern. Die anthropogene Nutzung ist abgebildet über ca. 330 Nutzer¹⁵ und ca. 50 dynamische Elemente zur Modellierung weiterer spezieller Bewirtschaftungsregelungen und zur Organisation des Modellverbundes.

¹⁵ 328 Nutzer davon (6 x Ableitung, 4 x Abstrom (Druckverluste), 44 x Bewässerung/Beregnung, 4 x Bevölkerung (kommunale Einrichtungen), 8 x Binnenfischerei, 12 x Industrie, 9 x Kläranlagen, 26 x Mindestabfluss, 18 x Schleuse, 7 x Überleitung, 181 x Nutzer zur Bewirtschaftung von Niederungsgebieten, 8 x Wasserwerk, 6 x Sonstige

In der aktuellen Variante enthalten sind die Speicherbewirtschaftung der Mecklenburger Oberseen (MOS)¹⁶, des Werbellinsees¹⁷ und der Rhin-Speicher¹⁸. Weiterhin berücksichtigt sind Überleitungen¹⁹ und die Bewirtschaftung des EHK²⁰.

Im Rahmen des Projektes erfolgte (1) eine Erweiterung des Simulationshorizontes von 2003-2052 (10 Perioden á 5 Jahre) auf 2003-2102 (20 Perioden á 5 Jahre) sowie (2) die Berücksichtigung der Niederschlags-Verdunstungs-Bilanz (NVB) auf bedeutenden Wasserflächen.

5.2.3 WBalMo für die Havelnebenzuflüsse

Die nachfolgend erläuterten WBalMo Modelle bzw. deren Varianten wurden gleichfalls im Rahmen des Gewässerrandstreifenprojektes „Untere Havelniederung zwischen Pritzerbe und Gnevsdorf“ entwickelt. Detailliertere Informationen sind dem Zwischenbericht (DHI-WASY, 2011) zu entnehmen.

- WBalMo Nuthe (091_nut_071213)
- WBalMo Plane (092_pla_071213)
- WBalMo Buckau (093_buc_071213)
- WBalMo Dosse-Jäglitz (095_doj_071213)

¹⁶ Die Bestimmung der maximalen Abgabemengen - im Sommer (Mai bis September) anhand von Vorgaben für Abgabe in Abhängigkeit des Wasserstandes je Monat bzw. im Winter die Überschreitungsmengen des vorgegebenen monatlichen Stauzieles. Die tatsächlichen Abgaben aus den Mecklenburger Oberseen in das Havelgebiet erfolgen unter anderem unter Berücksichtigung der maximal möglichen Abgabe, des Mindestdurchfluss in Plau/Elde, zur Versorgung der Fischerei Bolt, Schleuse Mirow, Schleuse Wolfsbruch, Mindestdurchfluss Müritz-Havel-Wasserstraße

¹⁷ Der Zufluss erfolgt aus dem natürlichen Dargebot (STG 5 - Werbellin-Gewässer). Die Abgabe erfolgt zur Stützung der Schleuse Eichhorst/Rosenheck.

¹⁸ Die Abgaben erfolgen zur Stützung der Bedarfsforderungen im gesamten Rhin-Gebiet mit der Regelung Oberlieger vor Unterlieger hinsichtlich Bedarfsdeckung.

¹⁹ Überleitung von MHW ins Rhin-Gebiet über die Schleuse Wolfsbruch, Ableitung in Schnelle Havel, Überleitung von Kremmener Rhin in Ruppiner Kanal über die Schleuse Hohenbruch, Ableitung vom Havelkanal in Großen Havelländischen Hauptkanal (GHHK)

²⁰ Überleitung in Stremme, Berücksichtigung des Schleusenbetriebswassers in Hohenwarte und des geforderten Abflusses am Bilanzprofil Tieckow/ Havel)

Im Modell enthalten ist die Bedarfsdeckung in der Form Oberlieger vor Unterlieger, die Bewirtschaftung von Niederungsgebieten sowie schlussendlich die Ausgabe der Abflüsse der Gewässer als Schnittstellen zum WBalMo Havel. Im Rahmen des Projektes erfolgte eine Erweiterung des Simulationshorizontes von 2003-2052 (10 Perioden á 5 Jahre) auf 2003-2102 (20 Perioden á 5 Jahre) sowie die Berücksichtigung der Niederschlags-Verdunstungs-Bilanz (NVB) im WBalMo Dosse-Jäglitz auf bedeutenden Wasserflächen.

5.3 Szenarien der Wassernutzung für die Zukunft

5.3.1 Grundlegendes zur den Daten der Wassernutzung

Das Bewirtschaftungsmodell beinhaltet u.a. quantitative Annahmen zur Wassernutzung (Einleitungen, Rückleitungen). Für die **Gegenwart** werden tatsächliche oder genehmigte Nutzerdaten verwendet. Diese sind ausführlich im 1. Teilbericht in dem Abschnitt 3.3 beschrieben worden. Für die **Zukunft** (also bis 2100) müssen Szenarien zur Wassernutzung angenommen werden.

Im Rahmen des Projektes wurden ein Basisszenario (BASIS) und davon abweichend jeweils vier veränderte Wassernutzungsszenarien festgelegt (siehe Tabelle 5.1). In den Szenarien 1 bis 3 ist jeweils eine Annahme zur Wassernutzung im Vergleich zur BASIS-Variante verändert worden:

- Veränderte Tagebaubewirtschaftung und bergbaubedingte Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Szenario 1, TAGEBAU. Keine Inanspruchnahme des Anschlussfeldes des Tagebaus Nochten (Vattenfall Europe Mining, 2011).
- Ermittlung der Nutzungsverluste durch den Kraftwerksbetrieb mit einem externen Modell in Szenario 2, KRAFTWERK und
- erhöhter Schleusungswasserbedarf in Szenario 3, SCHIFFFAHRT.
- Szenario 4 integriert alle Annahmen aus dem Basisszenario und den Szenarien 1 bis 3, die zu einer Verschärfung der Abflusssituation führen (INTEGRAL).

Einen Überblick zu den gewählten Wassernutzungsszenarien zeigt Tabelle 5.1.

Tabelle 5.1 Überblick zu den gewählten Wassernutzungsszenarien. Es wurden ein Basisszenario (BASIS) und davon abweichend jeweils vier veränderte Wassernutzungsszenarien festgelegt.

Szenarien der Wassernutzungsänderungen	Szenario 0 BASIS	Szenario 1 TAGE- BAU	Szenario 2 KRAFT- WERKE	Szenario 3 SCHIFF- FAHRT	Szenario 4 INTEGRAL
Wasserversorgung und Abwasserbehandlung für Berlin Abschnitt 5.3.2	Wasserversorgungskonzept für Berlin, moderater Rückgang der Fördermengen der Wasserwerke und entsprechende Übertragung auf die Einleitungsmengen der Kläranlagen				
Kraftwerke Abschnitt 5.3.3	Behördliche Modelle (statischer Ansatz)		KASIM (dynamischer Ansatz)	Behördliche Modelle (statischer Ansatz)	
Schleusen (WIN 1 nur Schleusen in der OHW) Abschnitt 5.3.4	Annahmen aus Status Quo werden unverändert fortgeschrieben bis 2100			WIN 1 (höhere Verluste für die UHW)	
Tagebau Inanspruchnahme des Anschlussfeldes des Tagebaus Nochten (ja = 1, nein = 2) Abschnitt 5.3.5	1	2	1	2	
MOS Abschnitt 5.2.2	Speicherbewirtschaftung der Mecklenburger Oberseen entsprechend Status Quo (siehe Ausführungen in Teilbericht 1)				

Eine detaillierte Erläuterung zu den zugrunde liegenden Annahmen sind in den nachfolgenden Abschnitten 5.3.2 bis 5.3.5 zu finden. Eine überblicksartige Zusammenfassung aller Annahmen zu den Wassernutzungsszenarien ist in Abschnitt 5.3.6 zu finden.

Das vorliegende Wasserbewirtschaftungsmodell kann nur in vollständigen fünf Jahresperioden (beginnend mit der ersten Periode von 2003 bis 2008) bilanzieren, sodass die weiteren Angaben sich jeweils auf Perioden zur Aktualisierung bzw. Weiterentwicklung der Wasserentnahmen bzw. -einleitungen beziehen. Der verwendete Zeitstrang wird detailliert in Tabelle 5.2 in Abschnitt 5.4 dargestellt.

5.3.2 Wasserversorgung und Abwasserentsorgung für Berlin

Zur besseren Orientierung und für ein leichteres Leseverständnis ist die nachfolgende Abbildung aus dem 1. Teilbericht entnommen worden. Abb. 5.4 zeigt die Lage einiger im Weiteren beispielhaft vorgestellter Wasserwerke. Neben den hier dargestellten Wasserwerken sind auch die hier nicht erwähnten Anlagen im Modell berücksichtigt worden, die einen Einfluss auf den Wasserhaushalt der Gewässer im Untersuchungsgebiet haben.

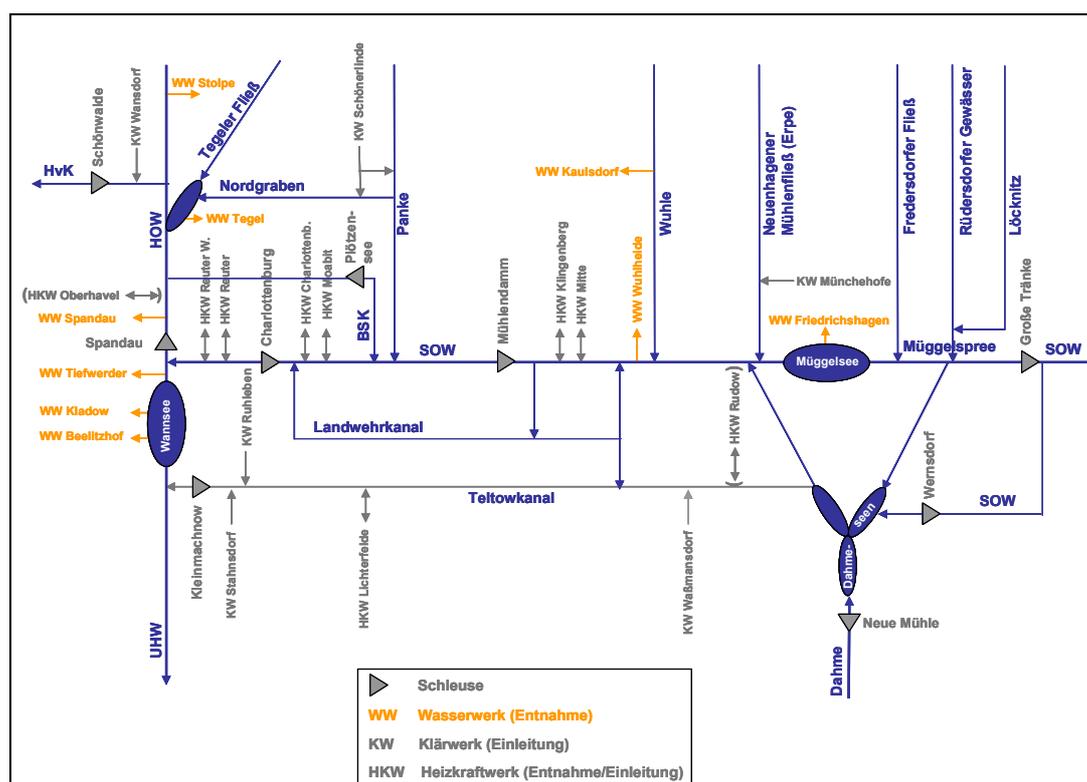


Abb. 5.4 Systemskizze Berlin mit Wassernutzern. Dargestellt ist die Lage von verschiedenen Wasserwerken.

Die **Fördermengen der Wasserwerke (WW)** wurden auf Grundlage von Beobachtungswerten (Wasserwerke *Kleinmachnow* und *Königswusterhausen* von 2008 bis 2011 für die Bewirtschaftungsperiode 2, Wasserwerk *Henningsdorf* von 2008 bis 2010 für Bewirtschaftungsperiode 2 und Wasserwerke *Erkner* und *Eichwalde* von 2003 bis 2007 für Bewirtschaftungsperiode 1) aktualisiert. Die Fördermengen der Wasserwerke *Potsdam* und *Nedlitz* wurden ebenso auf der Basis der Beobachtungsdaten von 2008 bis 2011 für die Periode 2 aktualisiert. Da für den Zeitraum bis 2100 keine Szenarien für die Entwicklung des Wasserbedarfes für diese Wasserwerke vorlagen, wurden die Fördermengen für den Status Quo unverändert bis zur Bewirtschaftungsperiode 20 (also 2098 bis 2102) fortgeschrieben.

Die Aktualisierung der Fördermengen der **Wasserwerke in und um Berlin** (Stolpe, Spandau, Tegel, Tiefwerder, Beelitzhof, Kladow, Friedrichshagen, Wuhlheide, Kaulsdorf, Johannisthal, Altglienicke, Jungfernheide und Buch) erfolgte für die Periode 1 von 2003 bis 2007 aus den Beobachtungsdaten. Die Angaben zu den Fördermengen von 2008 bis 2100 wurden aus dem Wasserversorgungskonzept für Berlin und für das von den BWB versorgte Umland (BWB, 2008) entnommen. Hier ist der prognostische Grundwasserförderbedarf für drei Varianten Schrumpfung, Basis und Steigerung für die Zeitscheiben 2010, 2020 und 2040 angegeben. Da eine dieser Varianten in den hier vorgestellten Berechnungen berücksichtigt werden sollte, musste eine Auswahl getroffen werden. Hierzu wurden die Varianten in einem ersten Schritt analysiert und ausgewertet. In Abb. 5.5 ist der prognostizierte Förderbedarf der vier Wasserwerke, die bereits im Teilbericht 1 im Abschnitt 3.3.5 vorgestellt wurden, für die drei Varianten in den entsprechenden Zeitschienen dargestellt. Sichtbar wird, dass sowohl die Varianten Schrumpfung als auch Basis im Gegensatz zur Variante Steigerung zu einer Reduzierung der Fördermengen führen. Folgende Annahmen liegen den Varianten zu Grunde: In der Variante Basis geht die gesamte geförderte Rohwassermenge von 218 Mio. m³ im Jahr 2006 auf 184 Mio. m³ im Jahr 2040 zurück. In der Variante Steigerung nimmt die gegenüber 2006 geförderte Wassermenge auf 235 Mio. m³ in 2040 zu. In den einzelnen Varianten (Basis, Schrumpfung und Steigerung) sind wasserwerksspezifische Annahmen zur Entwicklung der Entnahmemengen enthalten. Aufgrund der Tatsache, dass der tägliche Wasserverbrauch im privaten Bereich an Trinkwasser im Jahr 2007 122 Liter pro Einwohner und Tag betrug und sich somit von 1990 auf 2007 um 25 Liter pro Person verringerte (aus UBA, 2010), wurde die moderate Rückgangsvariante Basis für die hier dargestellten Untersuchungen verwendet.

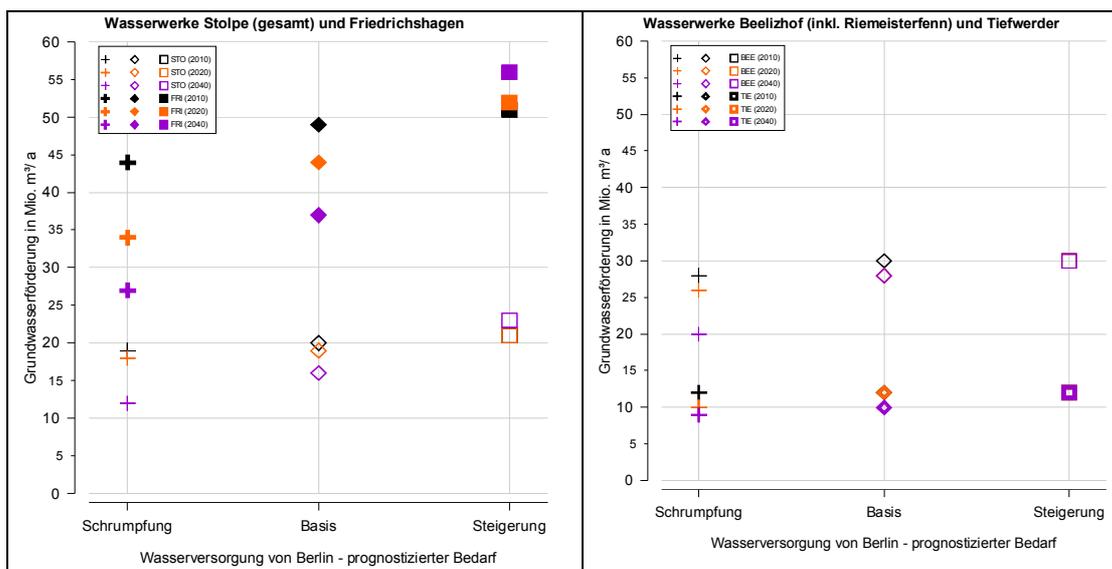


Abb. 5.5 Prognostizierte Grundwasserfördermenge für drei Varianten Schrumpfung, Basis und Steigerung für unterschiedliche Zeitabschnitte. Die Varianten Schrumpfung und Basis beschreiben im Gegensatz zur Variante Steigerung einen Rückgang der Entnahmemengen bis 2040. Aufgrund der allgemeinen Tendenz des geringeren Wasserverbrauchs in den letzten dreißig Jahren wurde hier den Annahmen in der Variante Basis gefolgt. FRI = Friedrichshagen, STO = Stolpe, BEE = Beelitzhof, TIE = Tiefwerder

Im Speziellen bedeutet die Wahl dieser Bewirtschaftungsvariante für die auch im ersten Teilbericht dargestellten Wasserwerke einen deutlichen Rückgang der Fördermengen in der nahen und fernen Zukunft für die Wasserwerke Friedrichshagen (Rückgang in 2020 um ca. - 10 %, Rückgang in 2040 um ca. -24 %; Referenz jeweils Zeitraum 2010) und Stolpe (Rückgang in 2020 um ca. -6 %, in 2040 um ca. -24 %; Referenz jeweils Zeitraum 2010) sowie einen perspektivisch leichten Rückgang der Fördermengen für die Wasserwerke Tiefwerder (keine Änderung zu 2020, Rückgang in 2040 um ca. -24 %; Referenz jeweils Zeitraum 2010) und Beelitzhof (Rückgang in 2020 um ca. -7 %, in 2040 um ca. -7 %, Referenz jeweils Zeitraum 2010).

In Abb. 5.6 ist der prognostizierte Grundwasserförderbedarf aus dem Wasserversorgungskonzept für Berlin (Szenario Basis) für vier Wasserwerke (bereits beschrieben im 1. Teilbericht in Abschnitt 3.3.5) in Berlin dargestellt. Sichtbar ist ein Rückgang aller Fördermengen bis zur fernen Zukunft.

Die Übertragung der Angaben zu den Fördermengen von 2010, 2020 und 2040 (aus dem Wasserversorgungskonzept für Berlin und für das von den Berliner Wasserbetrieben versorgte Umland (BWB, 2008) auf die Perioden des Bewirtschaftungsmodells war wie folgt notwendig: Status Quo (Variante Basis, **WBalMo-Periode 2, Zeithorizont 2010**), für die Zeitspanne **WBalMo-Periode 3 bis 10**, Annahmen entsprechend **des Zeithorizontes**

2020 und für die Zeitspanne **WBalMo-Periode 11 bis 20, Annahme entsprechend Zeithorizont 2040**²¹. Die Angaben für 2040 werden im Bewirtschaftungsmodell WBalMo bis 2100 fortgeschrieben.

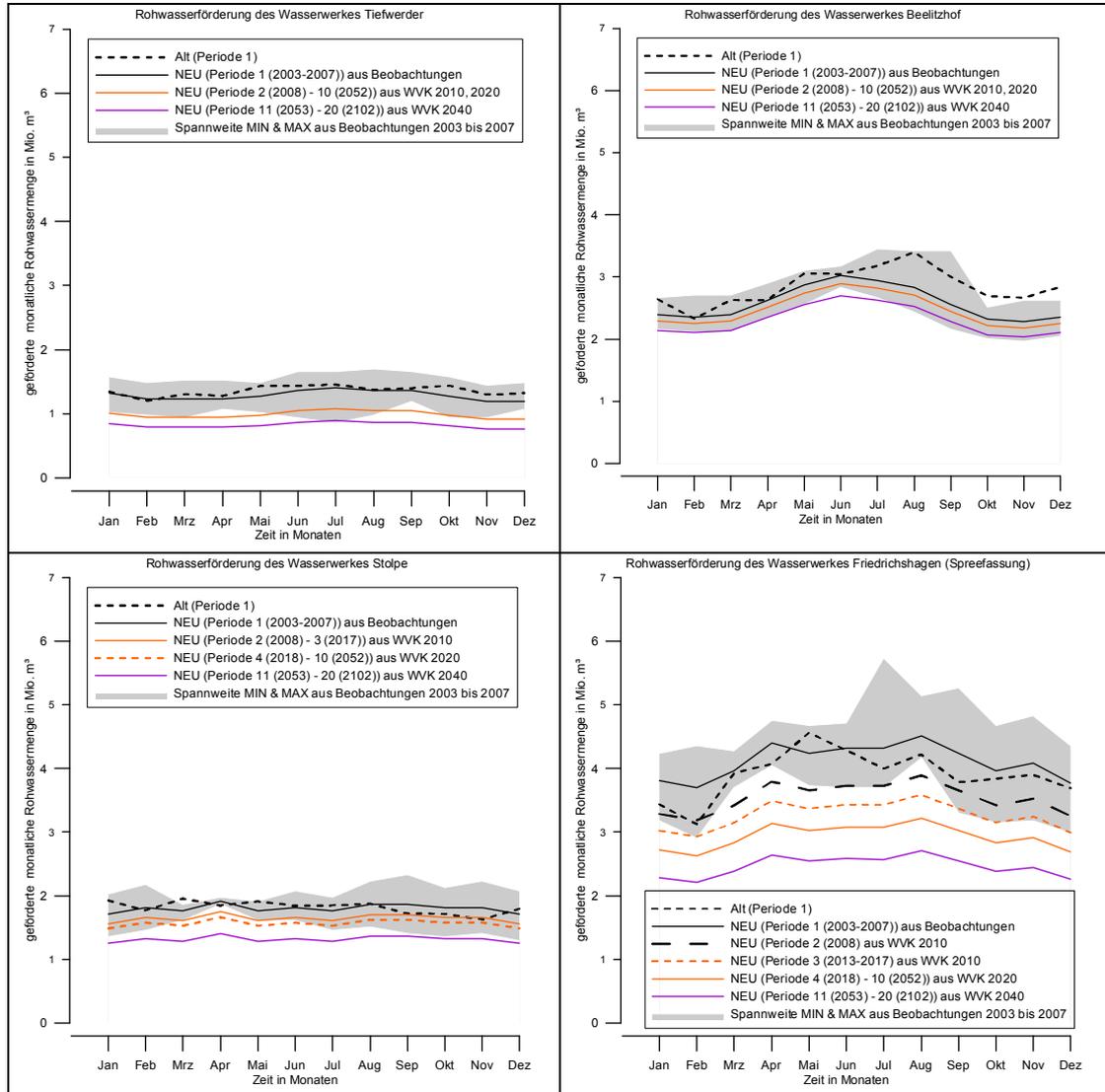


Abb. 5.6 Prognostizierter Grundwasserförderbedarf ausgewählter Wasserwerke aus dem Wasserversorgungskonzept von Berlin (Szenario Basis) für Zeitspanne **WBalMo-Periode 3 bis 10, Annahmen entsprechend des Zeithorizontes 2020** und für die Zeitspanne **WBalMo-Periode 11 bis 20, Annahme entsprechend des Zeithorizontes 2040**. Ein Rückgang der Fördermengen bis zur fernen Zukunft wird deutlich.

²¹ Detaillierte Darstellung des Zeitstranges in Tabelle 5.2 in Abschnitt 5.4.

Entsprechend der Entwicklung der Grundwasserfördermengen der Wasserwerke waren die Rückleitungsmengen der Kläranlagen anzupassen. Aus dem 1. Teilbericht ist nachfolgende Abbildung Abb. 5.7 zur Lage der Kläranlagen entnommen. Auch hier gilt, dass neben den dargestellten Kläranlagen auch die hier nicht erwähnten Anlagen im Modell berücksichtigt worden sind, die einen Einfluss auf den Wasserhaushalt der Gewässer im Untersuchungsgebiet haben (siehe hierzu Angaben in Abschnitt 5.2).

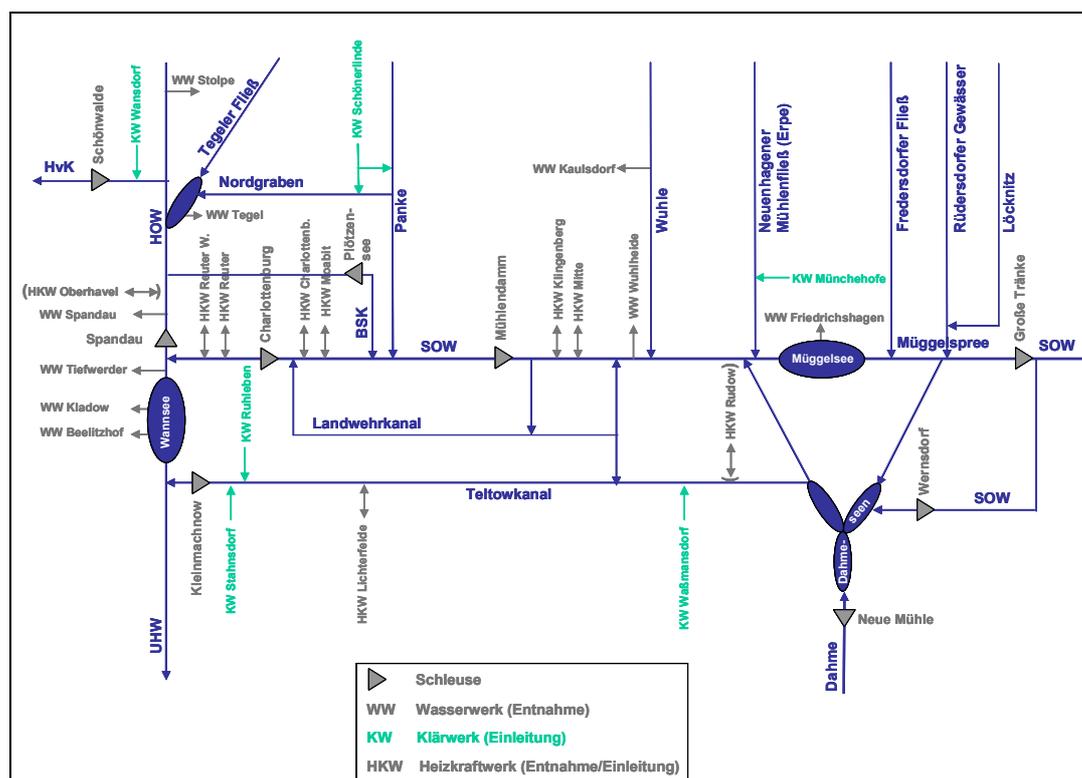


Abb. 5.7 Systemskizze Berlin mit Wassernutzern. Lage einzelner Kläranlagen.

Die **Aktualisierung** der Rückleitungsmengen **der Kläranlagen** in Berlin (Ruhleben, Waßmannsdorf, Schönerlinde, Stahnsdorf, Münchehofe, Wandsdorf und Falkenberg (stillgelegt seit 2003)) für den Status Quo erfolgte entsprechend der im Wasserversorgungskonzept für Berlin ausgewerteten Jahre 2003, 2005 und 2006. Die Angaben zur Entwicklung der Rückleitungsmengen in der nahen und fernen Zukunft, konnten nicht direkt aus dem Wasserversorgungskonzept entnommen werden, da hier keine diesbezüglichen Informationen enthalten sind. Daher musste ein pragmatischer Ansatz zur Ermittlung von Rückleitungsmengen für die Zukunft gefunden werden.

Nach der wasserwirtschaftlichen Erhebung des Statistischen Bundesamtes waren im Bezugsjahr 2007 ca. 96 % der Gesamtbevölkerung in Deutschland an die öffentliche Kanalisation und die übrigen 4 % der Bevölkerung entweder an Kleinkläranlagen oder an abflusslose Gruben angeschlossen (siehe Daten zur Umwelt auf der Internetseite des Umweltbundesamtes²²).

Aufgrund dieser Tatsache kann angenommen werden, dass die heutigen Wasserwerksentnahmen den Kläranlagen fast vollständig wieder zugeführt werden.

Daher wurde zur Ermittlung der Rückleitungsmengen in der nahen und fernen Zukunft folgender Übertragungsansatz gewählt:

- (1) Ermittlung der mittleren jährlichen Rückleitungsmengen aller Kläranlagen (Ruhleben, Waßmannsdorf, Schönerlinde, Stahnsdorf, Münchehofe, Wandsdorf und Falkenberg (bis zur Stilllegung nach 131 Tagen in 2003) und Ermittlung der mittleren jährlichen Gesamtfördermengen aller Wasserwerke jeweils für 2003, 2005 und 2006 (Auswahl dieser Jahre, da nur für diesen Zeitraum Angaben zu Rückleitungsmengen der Kläranlagen im Wasserversorgungskonzept verfügbar sind),
- (2) Berechnung eines Anteilsfaktors je Kläranlage aus dem Verhältnis der Jahresrückleitungsmenge zur Gesamtfördermenge aller Wasserwerke,
- (3) Ermittlung der jährlichen Rückleitungsmenge je Periode (Periode 1: Angaben aus Punkt 1, Periode 2 bis 20: Multiplikation des Anteilsfaktors mit der Annahme zur Entwicklung der Jahresgesamtfördermenge).
- (4) Falls in den Daten der WBalMo Ausgangsvarianten ein Jahresgang für die Kläranlage vorhanden war, wurde dieser relativ auf die im Punkt 3 ermittelte jährliche Einleitungsmenge bezogen.

In Abb. 5.8 sind die angenommenen Rückleitungsmengen für zwei Kläranlagen (siehe hierzu auch Ausführungen im Teilbericht 1 in Abschnitt 3.3.5) dargestellt. Zur Validierung dieser Annahmen sind zusätzlich die Beobachtungsdaten im Zeitraum 2003 bis 2007 ausgewertet worden. Sichtbar wird, dass die Annahmen in Periode 1 (aus Mittelwert aus 2003, 2005, 2006) die Beobachtungen (Periode 1 von 2003 bis 2007) in Stahnsdorf leicht (linke Abb. 5.8) und in Waßmannsdorf (rechte Abb. 5.8) stärker überschreiten, was in der unterschiedlichen Anzahl der Stichprobenelemente begründet ist. Trotz dieser Unterschreitung wird dem oben vorgestellten Ansatz (auch mangels an Alternativen) gefolgt. Sichtbar in Abb. 5.8 ist ein Rückgang der Einleitungsmengen, analog zur gewählten Bewirtschaftungsvariante Basis bei den Wasserwerken.

²² www.uba.de, Abruf 29.05.2013; Daten zur Umwelt

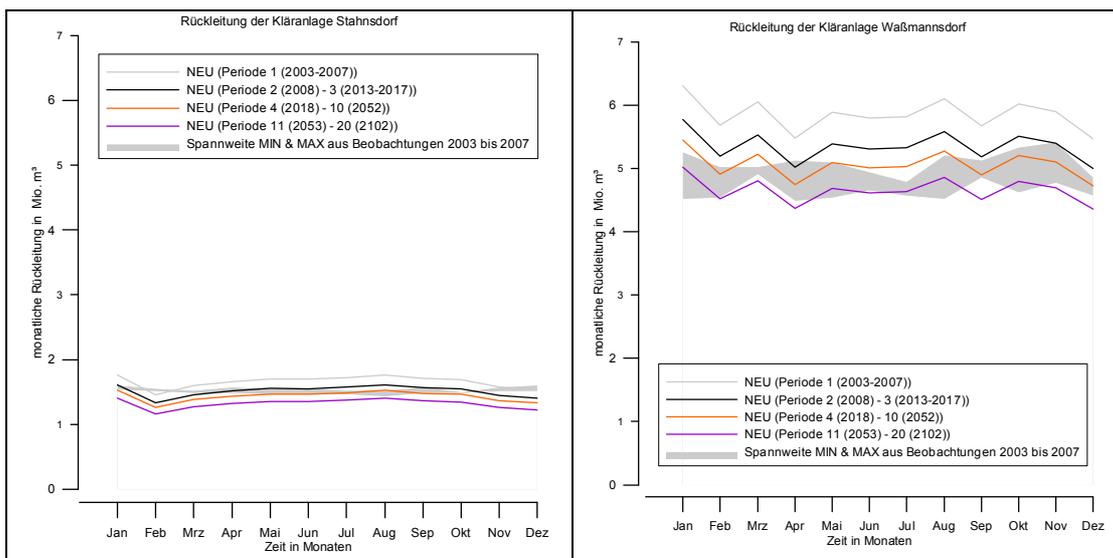


Abb. 5.8 Annahmen zu den Rückleitungsmengen der Kläranlagen für die nahe Zukunft (2020) und für die ferne Zukunft (2040) für ausgewählte Kläranlagen. Die Annahmen zur Entwicklung der Rückleitungsmengen wurden auf indirektem Wege aus dem Wasserversorgungskonzept ermittelt. Ein Rückgang aller Einleitungsmengen wird deutlich bis 2100.

Die Aktualisierung der Rückleitungsmengen der *Kläranlage Potsdam Nord* erfolgte auf der Grundlage von Beobachtungswerten von 2001 bis 2007 für die Periode 1. Da für den Zeitraum bis 2100 keine Szenarien für die Entwicklung der Einleitungsmengen vorlagen, wurden die Annahmen für den Status Quo unverändert bis zur Bewirtschaftungsperiode 20 (also 2098 bis 2102) fortgeführt.

5.3.3 Kraftwerke

In Abb. 5.9 (entnommen aus dem 1. Teilbericht) ist die Lage der einzelnen im Weiteren beschriebenen Heizkraftwerke dargestellt.

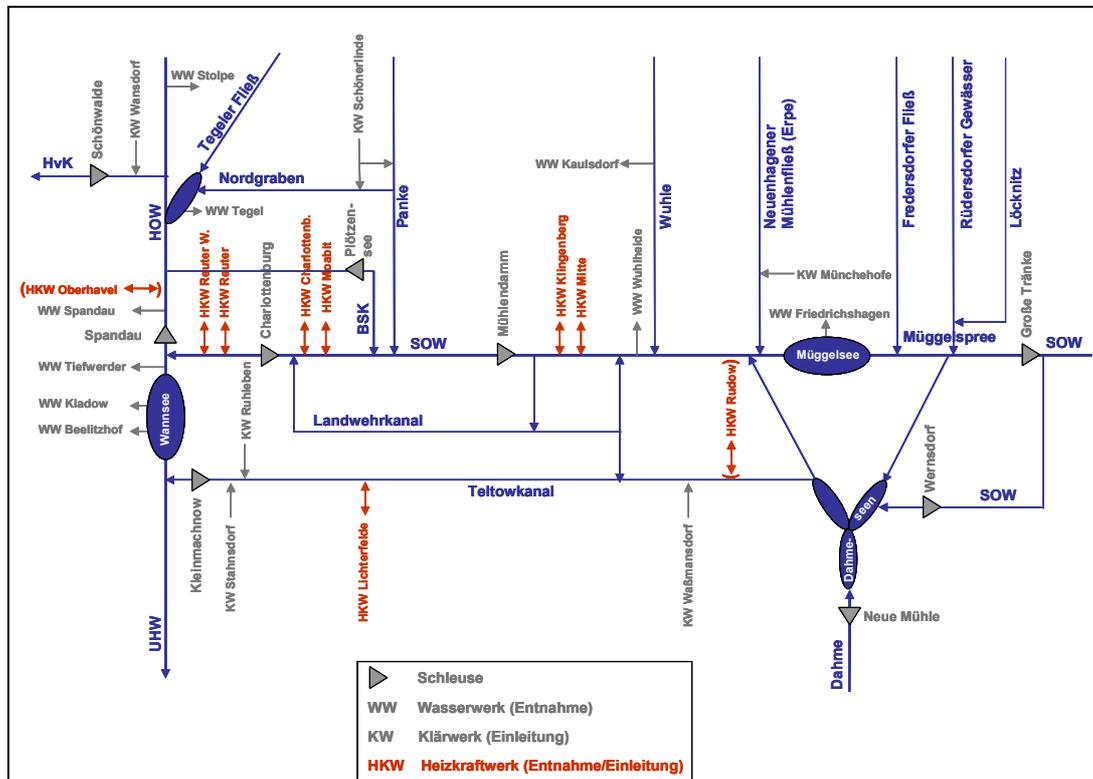


Abb. 5.9 Systemskeizze Berlin mit Wassernutzern. Lage einzelner Heizkraftwerke

Der Kraftwerkswasserbedarf und die Rückleitungsmengen wurden anhand der Beobachtungsdaten von 1992 bis 2011 für die Heizkraftwerke Reuter, Reuter West, Klingenberg, Mitte, Moabit in den Perioden 1 (2003) bis 2 (2012) in den behördlichen Modellen (Ländermodelle, detaillierte Beschreibung zu den verwendeten Versionen in Abschnitt 5.2) aktualisiert (siehe hierzu auch Ausführungen in Teilbericht 1 im Abschnitt 3.3.6, und nachfolgende Abb. 5.10). Die Ausnahme bildet das Kraftwerk Charlottenburg. Da die Entnahmen und Rückleitungen nach 2001 stark zurück gegangen sind, wurde der Zeitraum 2001 bis 2010 zur Aktualisierung verwendet (obere linke Abb. 5.10). Für das Heizkraftwerk Lichtenfelde (obere rechte Abb. 5.10) wurde zusätzlich für den Zeitraum nach 2018 eine Reduzierung der gegenwärtigen Entnahme- und Rückleitungsmengen um ca. 50 % aufgrund des zur Zeit in der Durchführung befindlichen Ersatzes der Altanlage durch eine Gas- und Dampfturbinen-Anlage angenommen. Für alle anderen Kraftwerke lagen keinen Szenarien zur Entwicklung der Entnahme- und Rückleitungsmengen vor, so dass die Annahmen für den Status Quo unverändert bis zur Bewirtschaftungsperiode 20 (also 2098 bis 2102) fortgeführt wurden.

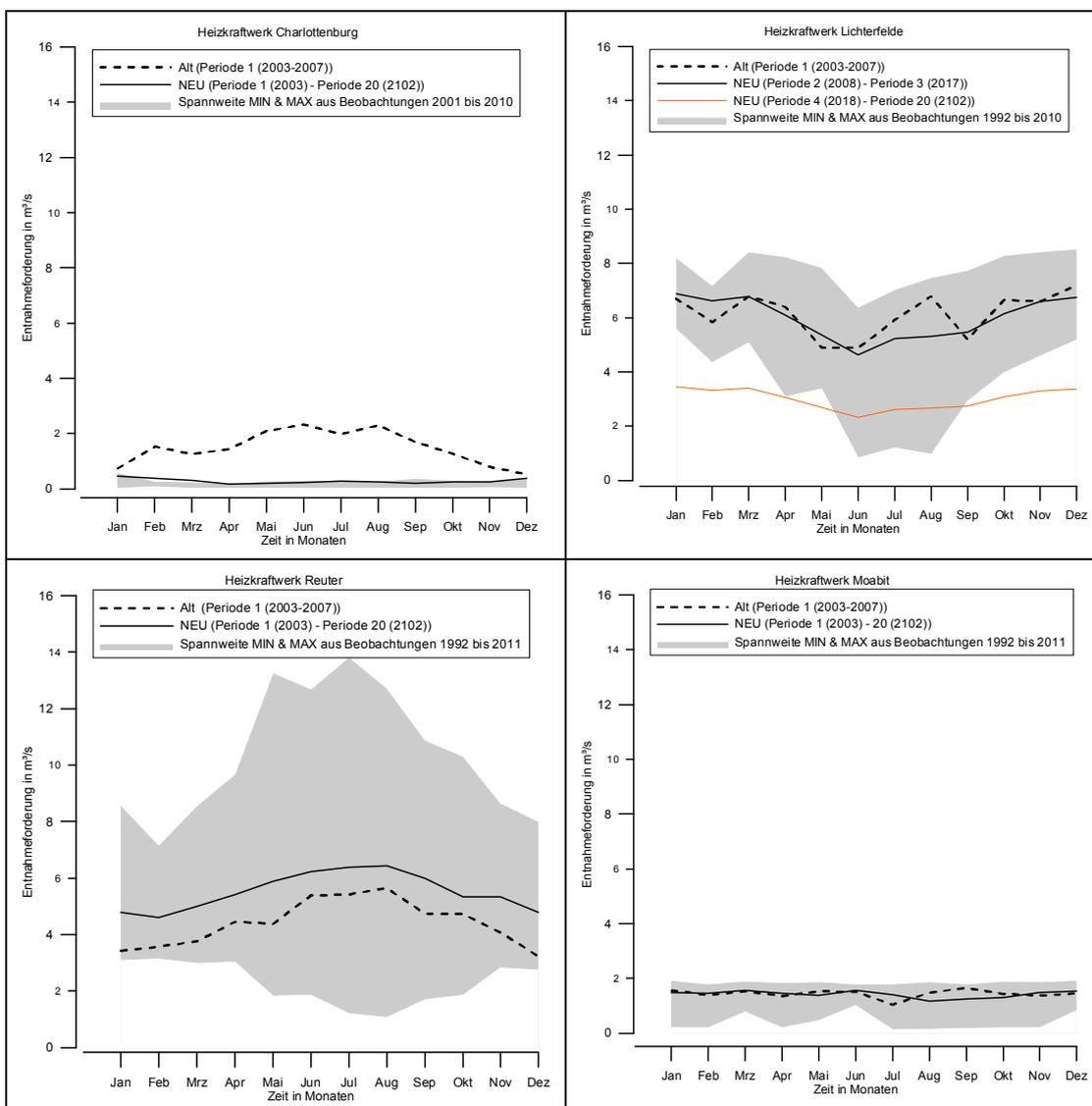


Abb. 5.10 Aktualisierung der Kraftwerksentnahmen für die Perioden 1 (2003) bis 2 (2012) entsprechend der Beobachtungsdaten von 1990 bis 2011, mit Ausnahme des Heizkraftwerkes Charlottenburg in den behördlichen Modellen. Fortschreibung der Annahmen für den Status Quo bis 2100 mit Ausnahme des Kraftwerkes Lichterfelde.

Für die Kraftwerke im Spreengebiet (*Boxberg, Schwarze Pumpe, Jänschwalde*) ebenso wie für die Kraftwerke *Premnitz* und *Kirchmöser* wurden die Werte der Ausgangsvarianten in den behördlichen Modellen beibehalten und ggf. bis zur Periode 20 verlängert. Es wurde zusätzlich darauf geachtet, dass der Kraftwerksbetrieb im Spreengebiet mit den Annahmen im Wassernutzungsszenario TAGEBAU harmonisiert.

In einem weiteren Wassernutzungsszenario (KRAFTWERK) kam, im Gegensatz zu den eher statischen Annahmen im behördlichen Modell (siehe obige Beschreibungen), das Kraftwerkssimulationstool KASIM, welches vom Institut für Energie- und Klimaforschung

- Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEK-STE) des Forschungszentrums Jülich entwickelt und im GLOWA Elbe Projekt bereits verwendet wurde, zur Anwendung. Der zugrunde liegende Ansatz berechnet dabei in Abhängigkeit von Annahmen zur technologischen Entwicklung der Kraftwerke sowie den meteorologischen Bedingungen in Bezug auf Temperatur und Luftfeuchte den Wasserbedarf bzw. die entsprechenden Rückleitungen der im Untersuchungsgebiet befindlichen Kraftwerke (siehe auch Koch und Vögele, 2009).

Beide Szenarien (statische Annahmen zu Entnahme- und Rückleitungsmengen in den behördlichen Modellen und ihre dynamische Ermittlung in Abhängigkeit von der technologischen Entwicklung und der meteorologischen Bedingungen) wurden hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Wasserhaushalt untersucht. Eine besondere Rolle spielen hierbei die Verdunstungsverluste, die technologiebedingt bei den Kraftwerken in der Lausitz um ein Vielfaches höher sind als bei den Kraftwerken in Berlin (siehe hierzu Abb. 5.11). Die Verdunstungsverluste bezogen auf die tatsächliche Entnahme bei den Kraftwerken in der Lausitz (hier am Beispiel des Kraftwerkes Jänschwalde) liegt im Szenario KRAFTWERK bei 80 % (Verdunstungsverluste von 1,6 m³/s) und somit etwas höher als im Szenario BASIS (bei 78 %, Verdunstungsverluste von 1,4 m³/s). Die Heizkraftwerke im Berliner Raum (hier am Beispiel des Kraftwerkes Moabit) weisen viel geringere Verdunstungsverluste in Bezug auf die tatsächliche Entnahme auf (im Mittel 1 % im Szenario BASIS und 2 % im Szenario KRAFTWERK).

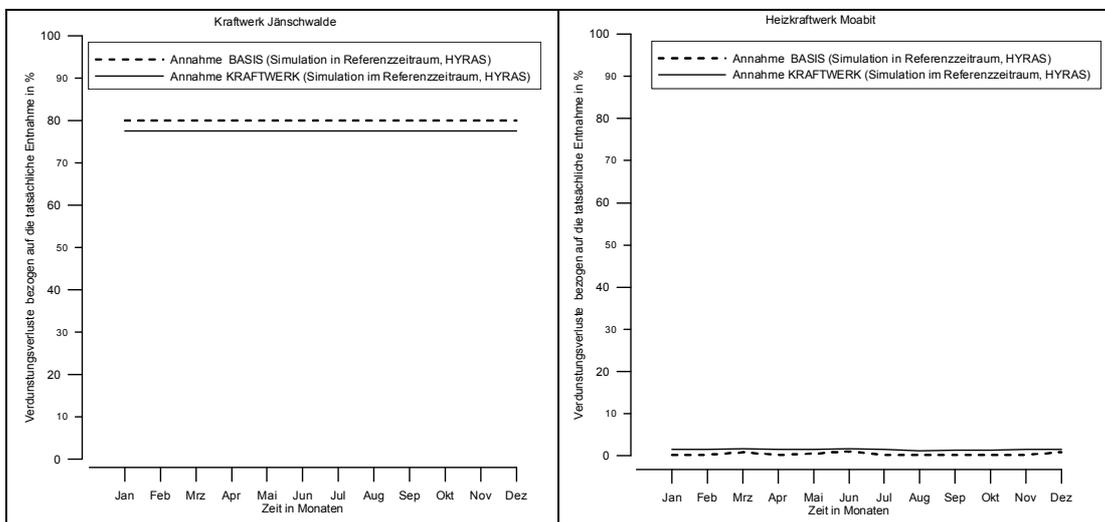


Abb. 5.11 Darstellung der Verdunstungsverluste bezogen auf die tatsächliche Entnahme. Deutlich werden die technologiebedingten Unterschieden im Niveau der Verdunstungsverluste. Die Methode im Szenario KRAFTWERK generiert im Kraftwerk Jänschwalde (repräsentativ für Lausitz) höhere Verdunstungsverluste als die Annahme im Szenario BASIS. Im Heizkraftwerk Moabit (repräsentativ für Berliner Raum) drehen sich die Verhältnisse um.

5.3.4 Schleusen

In Abb. 5.12 ist die Lage einzelner im Weiteren diskutierter Schleusenstandorte dargestellt. Diese Grafik wurde dem 1. Teilbericht entnommen.

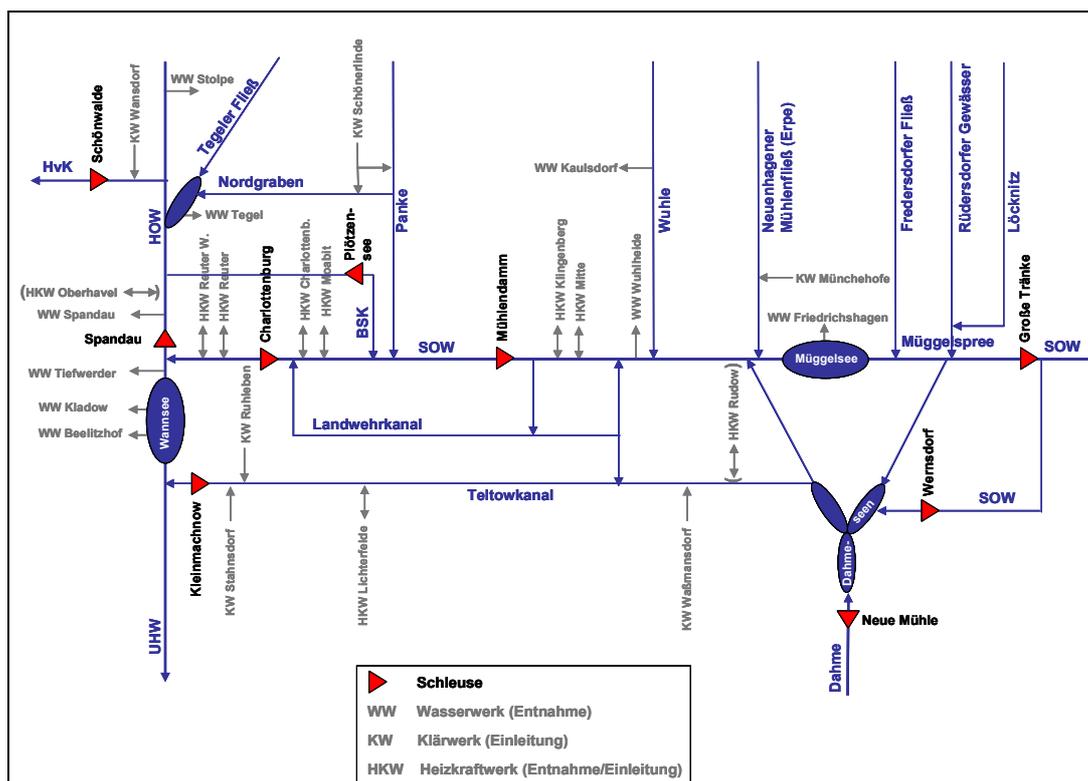


Abb. 5.12 Systemskizze Berlin mit Wassernutzern. Lage einzelner Schleusenstandorte

In nachfolgender Abb. 5.13 sind die beispielhaft ausgewählte Schleusenstandorte (analog zu Teilbericht 1) dargestellt, um die Annahmen für die zeitliche Entwicklung bis 2100 zu zeigen.

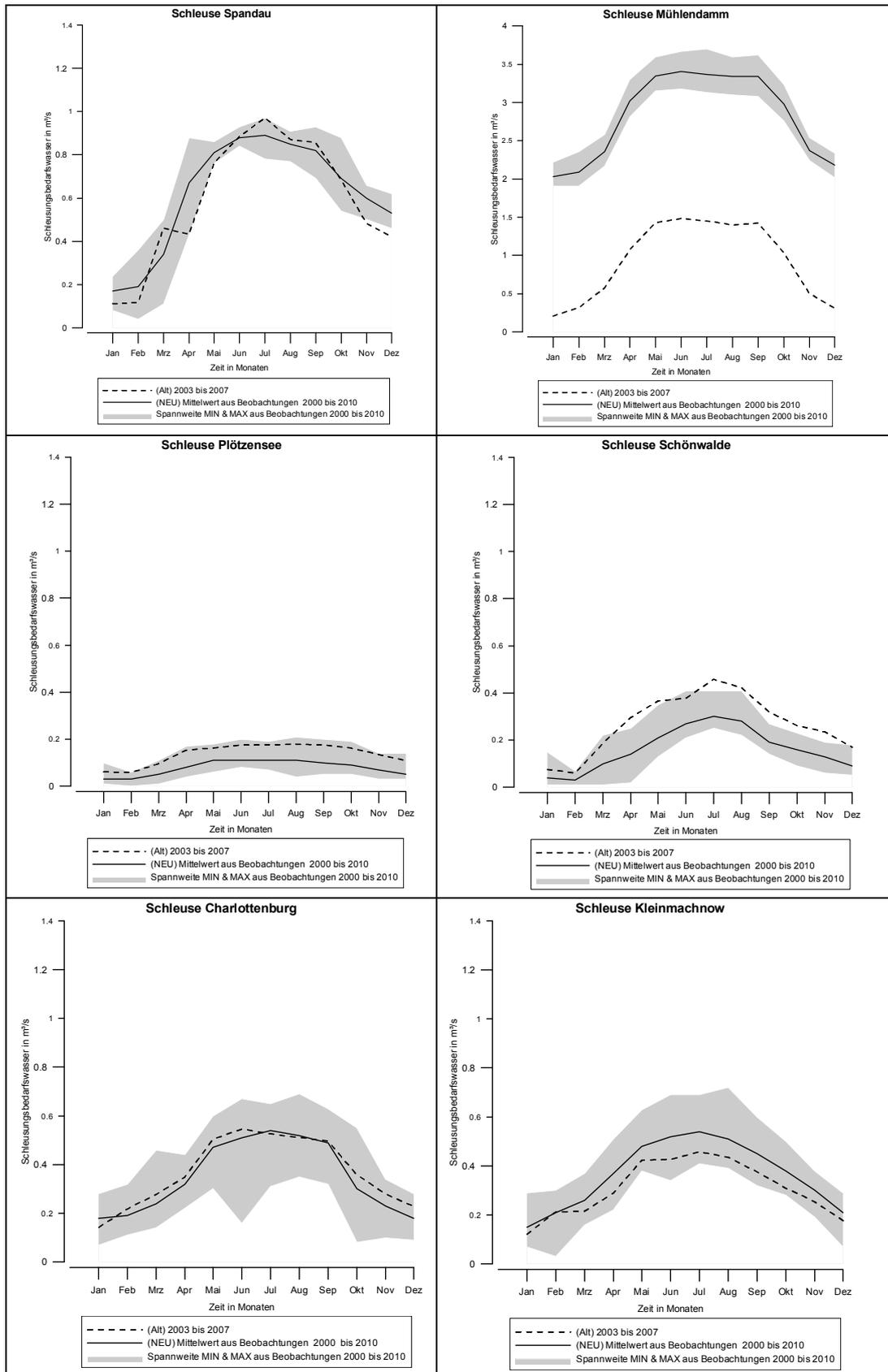


Abb. 5.13 Aktualisierung der Schleusungswasserbedarfsmengen für die Perioden 1 (2003) bis 2 (2012) für die Schleusenstandorte in Berlin entsprechend der Beobachtungen von 2000 bis 2010. Status Quo wird unverändert bis 2100 fortgeschrieben.

Die Aktualisierung der **Schleusungswasserbedarfsmengen** für die Schleusenstandorte **Spandau** (HOW), **Mühlendamm** (SOW), **Plötzensee** (BSK), **Schönwalde** (HvK), **Charlottenburg** (SOW) und **Kleinmachow** (TeK) erfolgte anhand von Beobachtungswerten im Zeitraum 2000 bis 2010 (siehe hierzu Abb. 5.13, Aufzählung entsprechend der Lage in der Abbildung von oben links nach unten rechts, andere Skalierung der Ordinate bei der Schleuse Mühlendamm). Detaillierte Ausführungen zur zeitlichen Entwicklung der Schleusungswassermengen sind dem Abschnitt 3.3.7 im 1. Teilbericht zu entnehmen. Da für den Zeitraum bis 2100 keine Szenarien für die Entwicklung der Schleusungswasserbedarfsmengen vorlagen, wurden die Annahmen für den Status Quo unverändert bis zur Bewirtschaftungsperiode 20 (also 2098 bis 2102) fortgeschrieben.

Eine Aktualisierung der **Schleusungswasserbedarfsmengen** in den Bundeswasserstraßen nördlich von Berlin (**Müritz-Havel-Wasserstraße** (Schleusenstandorte Mirow, Strasen, Canow), **Obere Havel-Wasserstraße** (Schleusenstandorte Bredereiche, Zehdenick, Bischofswerder), **Werbellinkanal** (Schleusenstandorte Rosenbeck, Eichhorst), **Wolfsbrucher Kanal** (Schleuse Wolfsbruch) und **Finowkanal** (Schleusen Ruhlsdorf und Leesenbrück) erfolgte für die Perioden 1 (2003) und 2 (2012) anhand von Bootszählungen, mittleren Hubhöhen und Spaltwasserangaben im Zeitraum 2000 bis 2010. Die Aktualisierung der Schleusungswasserbedarfsmengen in den **Ruppiner Gewässern** (Alt Ruppin, Altfriesack, Hohenbruch) erfolgte aufgrund der Datenlage von 2001 bis 2010. Für die Schleuse Lehnitz wurde der Zeitraum 2006 bis 2010 verwendet. Die Angaben zu den Schleusungswasserbedarfsmengen sind in der Abb. 5.14 zu finden. Die zusätzlich im Modell enthaltenen Schleusen Malz, Sachsenhausen und Zerpenschleuse (rechte Abb. 5.14, jeweils mit einem Stern gekennzeichnet) sind gegenwärtig nicht in Betrieb.

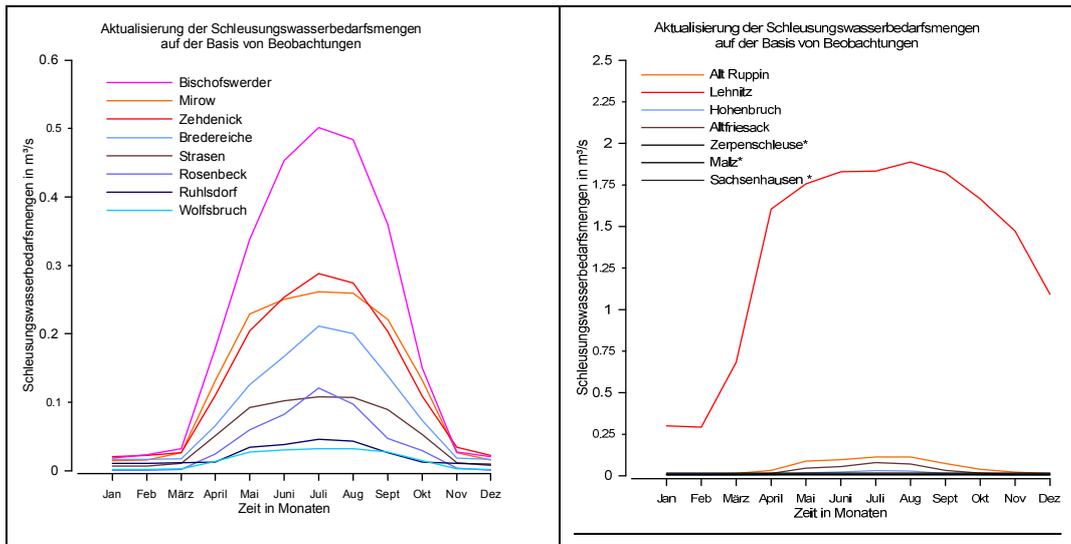


Abb. 5.14 Aktualisierung der Schleusungswasserbedarfsmengen für die Schleusenstandorte nördlich von Berlin (u.a. Müritz-Havel-Wasserstraße, Obere Havel-Wasserstraße, Ruppiner Gewässer) für die Perioden 1 (2003) bis 2 (2012) anhand von Bootszählungen, mittleren Hubhöhen und mittleren Spaltwassermengen von 2000 (2001, 2006) bis 2010. Diese Aktualisierungen beinhalten die Szenarien BASIS, KRAFTWERK und TAGEBAU und werden vom Status Quo unverändert in die Zukunft bis 2100 fortgeschrieben.

Die Schleusungswasserbedarfsmengen wurden für die Perioden 1 (2003) bis 2 (2012) aktualisiert und ohne Veränderung bis 2100 in den Szenarien BASIS, KRAFTWERK und TAGEBAU fortgeschrieben. In den Szenarien SCHIFFFAHRT und INTEGRAL sind die Angaben zur Entwicklung des Schleusungswasserbedarfes aus dem Projekt „Wasserinitiative Nordbrandenburg“ aus 2006 (WIN, 2006) verankert. Die Arbeitsgemeinschaft WIN wurde 2004 zur Entwicklung wassertouristischer Infrastrukturen und zur Initiierung von touristischen Angeboten gegründet. Ziel war die Vernetzung von Wasserstraßen bestehender Reviere zu einem Gesamtnetz mit ca. 345 km Länge. Die WIN-Initiative umfasste vier Teilprojekte ((1) Ausbau des Werbellinkanals (fertiggestellt 2011), (2) den Ausbau „Langer Trödel“ zwischen Liebenwalde und Zerpenschleuse, (3) die Anbindung der Ruppiner Gewässer an Oranienburg und (4) die Nordumfahrung Oranienburgs). Detaillierte Informationen sind der Internetseite www.win-brandenburg.de zu entnehmen. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde hat in diesem Projekt mitgearbeitet, so dass Zahlen für zwei mögliche Entwicklungen des Schleusenwasserbedarfs (WIN 1 und WIN 2) vorliegen. Dieses Projekt betrifft nur die Schleusen in Nordbrandenburg, nicht die Schleusen im Spree- und Unteren Havelgebiet. In einem ersten Schritt musste entschieden werden, welche Variante (WIN 1 oder WIN 2) für die Untersuchungen genutzt werden kann. Welche Annahmen hinter den Varianten lagen, konnte nicht geklärt werden. Die Auswertung der Schleusungswassermengen zeigte jedoch keine einheitliche Entwicklungen (also kein einheitlicher Anstieg oder Rückgang der Schleusungszahlen), standortspezifische Annahmen müssten demzufolge im Rahmen des Projektes getroffen

worden sein. Die gewählte Variante sollte zu stärkeren Verlusten für die Stauhaltung Brandenburg (Schwerpunkte (A), (B)) führen. Entsprechend dieser Zielstellung wurden nachfolgende Schleusenstandorte untersucht:

(A) Überleitungen aus dem Havelgebiet, d.h. Verlust für die Haltung Brandenburg

Über die Schleuse Wolfsbruch (siehe linke Abb. 5.15) wird Wasser aus dem Havelgebiet ins Rhingebiet geleitet. Diese Überleitung stellt eine Verlustgröße für die Stauhaltung Brandenburg dar (siehe hierzu auch Ausführungen in Teilbericht in Abschnitt 3.3.4 Wasserüberleitungen). Die Anzahl der Schleusungen verringert sich von WIN 1 zu WIN 2, so dass bei WIN 2 ein leicht geringerer Schleusungswasserbedarf besteht. WIN 1 führt zu leicht höheren Verlusten in der Oberen und Unteren Havel-Wasserstraße. Die Schleuse Ruhlsdorf (rechte Abb. 5.15) führt Wasser aus dem Havelgebiet in das Odergebiet. Das bedeutet, dass ein erhöhter Schleusungswasserbedarf (in WIN 1) zu höheren Verlusten führt. Entsprechend dieser Auswertungen wird den Annahmen in der Varianten WIN 1 gefolgt.

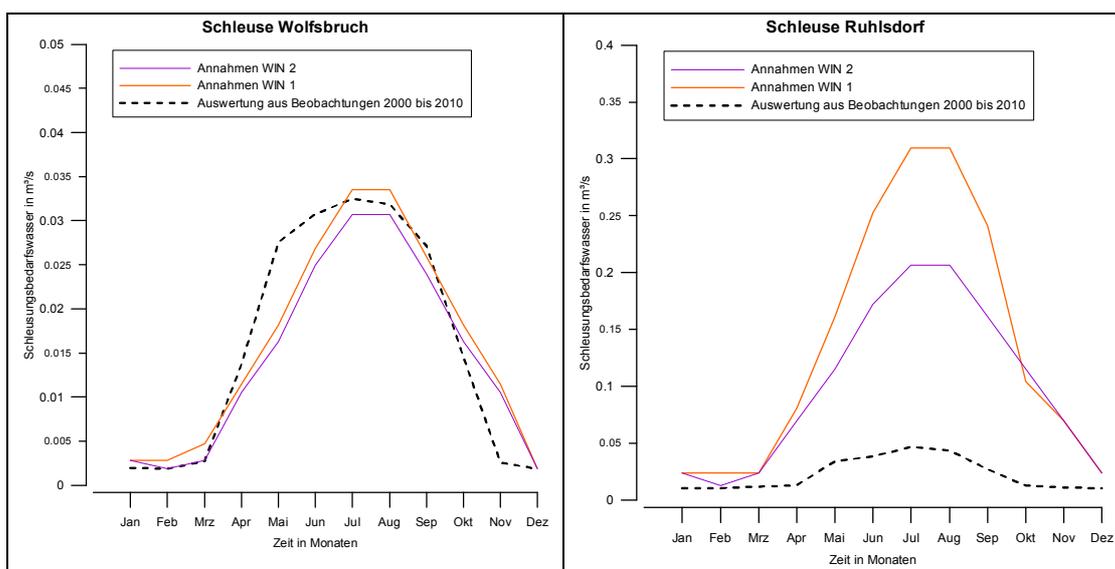


Abb. 5.15 Schleusungswasserbedarfsmengen für die Schleusen Wolfsbruch und Ruhlsdorf in der Gegenwart (2000 bis 2010) sowie in den Varianten WIN 1 und WIN 2. Die Annahmen in den WIN-Varianten sind höher als die Beobachtungen.

(B) Dargebotsreduzierung in der Scheitelhaltung des Oder-Havel-Kanals

Die Bedarfssicherung der Schleuse Lehnitz (siehe auch Abb. 5.16) hängt vom Zufluss zur Scheitelhaltung aus der Oberen Havel-Wasserstraße (Schleuse Bischofswerder) und dem Werbellinkanal (Schleuse Eichhorst) sowie vom Wasserbedarf der Schleusen Ruhlsdorf (Überleitung in Oder – Verlustgröße, siehe Punkt (A)) und Malz (Ausleitung aus Havel in Oranienburger Kanal, heute außer Betrieb, hier nur Ansatz von Spaltwasser) ab. In der Varianten WIN 1 sind höhere Verluste durch die Überleitung

und geringere Zuflüsse zur Dargebotserhöhung zu verzeichnen, daher wird auch unter der Zielgröße (B) Variante WIN 1 gewählt.

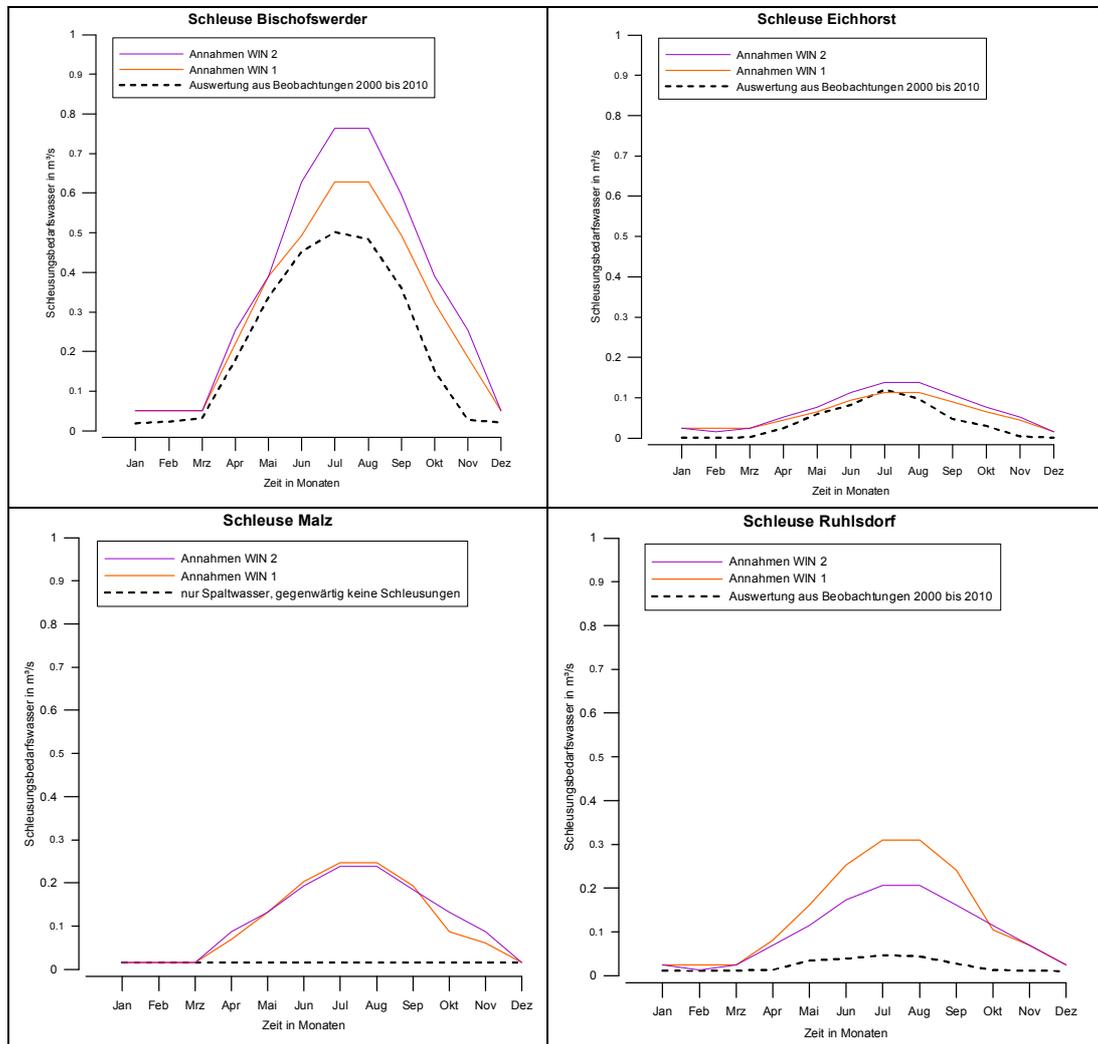


Abb. 5.16 Schleusungswasserbedarfsmengen für die Schleusen Bischofswerder, Eichhorst, Malz und Ruhlsdorf in der Gegenwart (2000 bis 2010) sowie in den Varianten WIN 1 und WIN 2. Die Annahmen in der WIN 1 - Variante führt zu einer Reduzierung des Wasserdargebots in der Scheitelhaltung des Oder-Havel-Kanals.

Die Annahmen zur Entwicklung des Schleusungswasserbedarfs der Schleusen in Nordbrandenburg entsprechend der Variante WIN 1 (Status Quo) wird bis 2100 fortgeschrieben und verankert in den Szenarien SCHIFFFAHRT und INTEGRAL.

5.3.5 Tagebaue

Folgende Entwicklungen der aktiven Tagebaue im Spreengebiet sind in dem Modellsystem Havel-Spree enthalten:

- Welzow-Süd: Flutungsbeginn 01/2047 (Teilabschnitt II wird genehmigt)
- Reichwalde: Flutungsbeginn 01/2053
- Cottbus-Nord: Flutungsbeginn 01/2020
- Jänschwalde: Tagebaubetrieb bis 2030
- Nochten: → Mit Vorranggebiet: Flutungsbeginn 01/2052
→ Ohne Vorranggebiet: Flutungsbeginn 01/2028

Diese Angaben basieren auf durch Vattenfall Europe Mining (VEM) übergebenen Szenarienannahmen. In gleicher Weise sind die zu erwartenden Einleitungen von Sumpfungswässern angesetzt worden.

5.3.6 Überblicksartige Zusammenfassung zu den Wassernutzungsszenarien

(A) Berücksichtigung von Wasserversorgung und Abwasserreinigung für Berlin in den Wassernutzungsszenarien:

Die Annahmen zur Entwicklung der Fördermengen der Berliner Wasserwerke (*moderate Abnahme bis 2100*) und entsprechend die Entwicklung der Rückleitungen der Berliner Kläranlagen sind verankert in allen Szenarien (also BASIS, KRAFTWERK, TAGEBAU, SCHIFFFAHRT und INTEGRAL).

→ aus **Abschnitt 5.3.2: Wasserversorgung und Abwasserreinigung für Berlin**

(B) Berücksichtigung der Entnahmen und Rückleitungen (bzw. der Verdunstungsverluste als Differenz von Entnahme und Rückleitung) der Kraftwerke in den Wassernutzungsszenarien:

Die Annahmen zu Entnahme- und Rückleitungsmengen der Kraftwerke für die Perioden 1 (2003) bis Periode 2 (2012) basieren auf Beobachtungswerten von 1992 bis 2011 und werden unverändert bis 2102 fortgeschrieben (Ausnahme: Heizkraftwerk Lichterfelde, Reduzierung Entnahme und Rückleitung nach 2018). Diese statischen Annahmen sind verankert in den Wassernutzungsszenarien BASIS, TAGEBAU, SCHIFFFAHRT und INTEGRAL.

Im Wassernutzungsszenario KRAFTWERK kommt das Modell KASIM (dynamischer Ansatz) zur Anwendung. Hier werden die Verdunstungsverluste generiert in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte.

→ aus **Abschnitt 5.3.3: Kraftwerke**

(C) Berücksichtigung der Schleusungswasserbedarfsmengen in den Wassernutzungsszenarien

Die Aktualisierung der Schleusungswasserbedarfsmengen für den Berliner Raum für die Perioden 1 (2003) bis 2 (2012) erfolgte auf der Basis von Beobachtungen (bzw. Bootszählungen, mittleren Hubhöhen, Spaltwasserangaben) aus den letzten zehn Jahren. Diese Werte werden unverändert bis 2100 fortgeschrieben. Diese Annahmen sind verankert in den Wassernutzungsszenarien BASIS, TAGEBAU, KRAFTWERK.

Die Annahmen zur Entwicklung der Schleusungswassermengen in den Schleusungsstandorten in Nordbrandenburg (Obere Havel-Wasserstraße) stammen aus der Variante WIN 1 und führen zu leichteren Verlusten in der Stauhaltung Brandenburg. Diese Annahmen gelten für die Perioden 1 (2003) bis 2 (2012) und werden bis 2100 unverändert fortgeschrieben. Diese Annahmen sind verankert in den Wassernutzungsszenarien SCHIFFFAHRT und INTEGRAL.

→ aus **Abschnitt 5.3.4: Schleusenstandorte**

(D) Berücksichtigung der Entwicklung der Tagebaue in den Wassernutzungsszenarien:

Die Annahmen der durch Vattenfall Europe Mining übergebenen Szenarien für die Entwicklung der Tagebaue sowie die Berücksichtigung des Vorranggebietes (Anschlussfeldes) Nochten sind in den Wassernutzungsszenarien BASIS, KRAFTWERK und SCHIFFFAHRT verankert. Der Unterschied zu den Wassernutzungsszenarien TAGEBAU und INTEGRAL besteht in der Nichtberücksichtigung des Anschlussfeldes, was zu einem früheren Flutungsbeginn und somit zu einem früheren Rückgang der Sumpfungswässer führt.

aus **5.3.5: Tagebaue**

5.4 Zeitstruktur & Auswertungskonzept

In Abschnitt 3.2.2.1 ist der Aufbau der zehn stochastischen Modelle für quasi stationäre Abschnitte in der Gegenwart (1 Modell: Referenz ist der HYRAS-Datensatz von 1951 bis 2006, (3 Modelle: Klima_Ist entspricht den Kontrollläufen jeweils von 1951 bis 2006) und in der Zukunft (3 Modelle der Klimaprojektionen für die nahe Zukunft von 2021 bis 2050, 3 Modelle der Klimaprojektionen für die ferne Zukunft von 2071 bis 2100) beschrieben worden. Diese Angaben sind in Tabelle 5.2 grafisch dargestellt.

Das Bewirtschaftungsmodell WBalMo kann in der hier verwendeten Konfiguration nur vollständige Fünfjahresperioden bilanzieren (d. h. 20 Perioden zu je fünf Jahren). Das hat

zur Folge, dass die Auswertungszeiträume des Bewirtschaftungsmodells den Zeiträumen der Klimaprojektion (Referenz, Klima_Ist, nahe Zukunft, ferne Zukunft) angepasst werden mussten. Verschiedene Kombinationen der Überlagerung der Zeitstruktur der stochastischen Modelle mit der Struktur der Bewirtschaftungsmodelle wären denkbar. Daher wurde in einem ersten Schritt geprüft, ob relevante Änderungen des Bewirtschaftungseinflusses **innerhalb** der Zukunftszeiträume in den bestehenden Bewirtschaftungsmodellen (d.h. innerhalb der nahen Zukunft von 2021 bis 2050 bzw. innerhalb der fernen Zukunft von 2071 bis 2100) bestehen. Dieses war nicht der Fall (siehe hierzu erläuternd die Angaben zur Tagebau- und Bergbaufolgebewirtschaftung in der Lausitz), so dass folgendes festgelegt wurde:

- Die **Bewirtschaftung der Gegenwart** (Status Quo) wird repräsentiert durch den Zeitraum der Bewirtschaftungsperiode 2 **von 2008 bis 2012**.
- Die Bewirtschaftung der **nahen Zukunft (orange Farbe für Ergebnisse in der nahen Zukunft in Abschnitt 5.6)** wird abgebildet durch den Zeitraum von 2018 (Beginn Periode 4) bis 2052 (Ende Periode 10) und
- die Bewirtschaftung **der fernen Zukunft (violette Farbe für Ergebnisse in der fernen Zukunft in Abschnitt 5.6)** wird definiert durch den Zeitraum von 2068 (Beginn Periode 14) bis 2102 (Ende Periode 20) (siehe Tabelle 5.2).

Tabelle 5.2 Wahl der Bewirtschaftungsperioden (Status Quo, nahe und ferne Zukunft) unter Berücksichtigung der Zeitstruktur der stochastischen Modelle. Die Bewirtschaftung der Gegenwart (Status Quo) entspricht Periode 2, nahe Zukunft Periode 4 bis 10, ferne Zukunft Periode 14 bis Periode 20.

WBalMo- Perioden (Beginn-Ende)	P1	P2	P3	P4	P5	...	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	...	P19	P20	
	2003- 2007	2008- 2012	2013- 2017	2018- 2022	2023- 2027	...	2043- 2047	2048- 2052	2053- 2057	2058- 2062	2063- 2067	2068- 2072	2073- 2077	...	2093- 2097	2098- 2102	
Auswertung		Status Quo		nahe Zukunft						ferne Zukunft							
Zeitstruktur der Meteorologie (Grundlage für den Aufbau der stochastischen Modelle)	Referenzzeitraum, HYRAS- Datensatz 1951-2006																
	Klimakontrollläufe* (Klima_Ist, 1951 - 2006): C20-A1B-ARP-ALD51, C20-A1B-EH5r3_RE-ENS, C20-A1B-HCQ0-HRQ0.																
				Klimaprojektionen* (2021-2050): nahe Zukunft C20-A1B-ARP-ALD51, C20-A1B-EH5r3_RE-ENS, C20-A1B-HCQ0-HRQ0.													
													Klimaprojektionen* (2071-2100): ferne Zukunft C20-A1B-ARP-ALD51, C20-A1B-EH5r3_RE-ENS, C20-A1B-HCQ0-HRQ0.				

* Detaillierte Informationen zu den gewählten Klimaszenarien sind in Abschnitt 3.2.1.2 enthalten.

Die Auswertung der Ergebnisse stand im engen Zusammenhang mit der Generierung des quasi-natürlichen Dargebotes v. a. bei der stochastischen Simulation der meteorologischen und hydrologischen Größen. Im Ergebnis der stochastischen Simulation und anschließenden Wasserhaushaltsmodellierung stehen 10 Dargebotsszenarien zur Verfügung, welche auf unterschiedlichen Datengrundlagen (HYRAS, ENSEMBLE) und/oder Zeiträumen beruhen (siehe Tabelle 5.2) und die Bewirtschaftungssimulation über den Simulationshorizont von 2003 – 2102 mit jeweils 300 Realisierungen je Szenariojahr belegen.

Aufgrund der Fülle der zu erwartenden Ergebnisse war es im Vorfeld notwendig, Festlegungen zur Auswertung zu treffen:

- **Pegel**²³ (wie zum Beispiel: Bredereiche/ OHW, Borsdorf/ OHW, Ketzin/ UHW, Rathenow/ UHW, Havelberg Stadt/ UHW, Babelsberg / Nuthe, Große Tränke UP/ SOW, Sophienwerder/ SOW, Kleinmachnow/ TeK, Wernsdorf/ OSK, Neue Mühle/ Dahme, Leibsch UP, Spree),
- **Nutzer**²⁴ (Schleusenstandorte: Spandau, Schönwalde, Mühlendamm, Brandenburg, Kleinmachnow; Heizkraftwerke: Lichterfelde, Mitte, Charlottenburg, Jänschwalde),
- **Variablen zur Auswertung** (zum Beispiel: Niedrig- und Mittelwasserabflüsse an den ausgewählten Pegeln, Unterschreitungsdauerlinien, Überschreitungswahrscheinlichkeiten, Schleusungswassermenge und Kraftwerkseinnahme als mittleres monatliches prozentuales Defizit)

Da die hier interessierende **Haltung Brandenburg** (repräsentiert durch den **Pegel Ketzin**) beeinflusst ist durch den Zufluss (1) aus der Spree (über **Pegel Sophienwerder** und **Kleinmachnow**) sowie (2) aus der Oberen Havel-Wasserstraße (über den **Pegel Borgsdorf**), wurden **diese Pegel** ausgewählt, um die Auswirkungen ausgewählter Klimawandelprojektionen und Wassernutzungsszenarien auf deren Abflussverhalten detailliert darzustellen. In diesem Bericht werden die nachfolgend beschriebenen Pegel und Variablen (jeweils Mittelwasser und Niedrigwasser) dargestellt (siehe hierzu Abschnitt 5.6).

Da der Spreezufluss über Sophienwerder und Kleinmachnow bereits durch die Steuerung der Wassermengen innerhalb von Berlin (siehe Ausführungen in Abschnitt 1 zur Aufteilung des Durchflusses innerhalb von Berlin im 1. Teilbericht) beeinflusst ist, wird zusätzlich ein im Oberstrom liegender, jedoch durch die Wassernutzungsszenarien bereits beeinflusster Pegel (hier: **Leibsch, Spreewehr UP**) untersucht. Ein wichtiger Pegel für den Spreezufluss ist der **Pegel Große Tränke**, der zusätzlich in die Analyse mit aufgenommen

²³ zur Lage der Pegel siehe Abb. 5.3

²⁴ zur Lage der Nutzer siehe Abbildungen in Abschnitt 5.3

wurde (siehe hierzu die Ausführungen in Abschnitt 5.2.1.1). Diese Pegel (außer Leibsch UP) sind im 1. Teilbericht bereits ausführlich hinsichtlich ihrer zeitlichen Abflussentwicklung im Niedrigwasserbereich und ihrer anthropogenen Beeinflussung untersucht worden.

Hier wird (wie bereits auch bei den Nutzern) die enge Verknüpfung vom 1. und vorliegenden 2. Teilbericht sichtbar. Die Lage der Pegel ist prinzipiell der Abb. 4.5 und der Abb. 5.3 zu entnehmen. An dieser Stelle wird die **leicht veränderte** (Auswertepiegel sind braun markiert, zusätzliche Angabe der ausgewerteten Schleusenstandorte und der Lage der ausgewerteten Heizkraftwerke) **Abb. 5.3 noch einmal dargestellt**, um durch die **zusammenfassende Darstellung von Nutzern und Pegeln** ein besseres Leserverständnis gewährleisten zu können.

Schematische Darstellung des Flussgebietes der Havel mit wichtigen Nebenflüssen und Pegeln sowie den Hochwasserspeichern im Havelgebiet

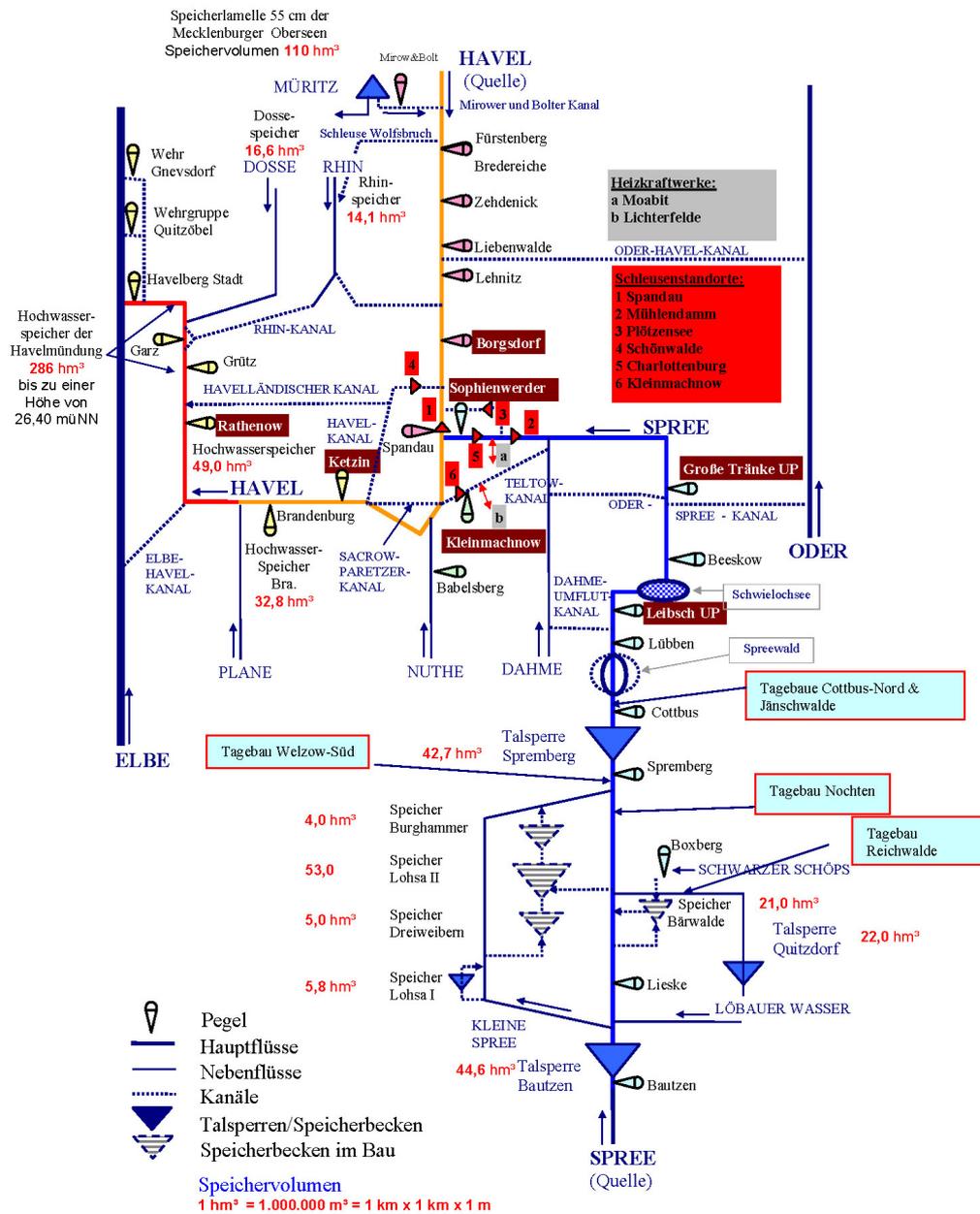


Abb. 5.17

Leicht veränderte Abb. 5.3 aus Abschnitt 5.1. Veränderungen (braun markiert sind die ausgewerteten Pegel, zusätzliche Angabe der ausgewerteten Schleusenstandorte und der Lage der ausgewerteten Heizkraftwerke) erhöhen durch die kompakte Darstellung das Leseverständnis.

5.5 Simulationsgüte

Zur Einschätzung der Simulationsgüte wurden die mit den Bewirtschaftungsmodellen **simulierten Abflüsse** an den Pegeln Borgsdorf/Havel, Sophienwerder/Spree, Ketzin/Havel, Rathenow/Havel und Havelberg Stadt/Havel basierend auf den HYRAS-Daten für den Status Quo den **beobachteten Durchflüssen für den Zeitraum von 1990-2010** gegenübergestellt (siehe Abb. 5.18). Der Vergleich der beobachteten Abflüsse von 1990 bis 2010 zeigt eine befriedigende bis gute Übereinstimmung zu den simulierten Abflüssen für den Zeitraum der Periode 2 (2008 bis 2012, Status Quo). Bei den sommerlichen Abflüssen sind bis auf den Pegel Borgsdorf/Havel die simulierten Abflüsse geringer als die beobachteten Abflüsse. Mögliche Ursachen dafür sind:

- Geringere mittlere Sumpfungwassermengen im Zeitraum von 2008 bis 2012 im Vergleich zu 1990-2010.
- Höhere simulierte Verluste durch die Staubewässerung von Wasserflächen im Sommer, geringere Verluste im Winter.

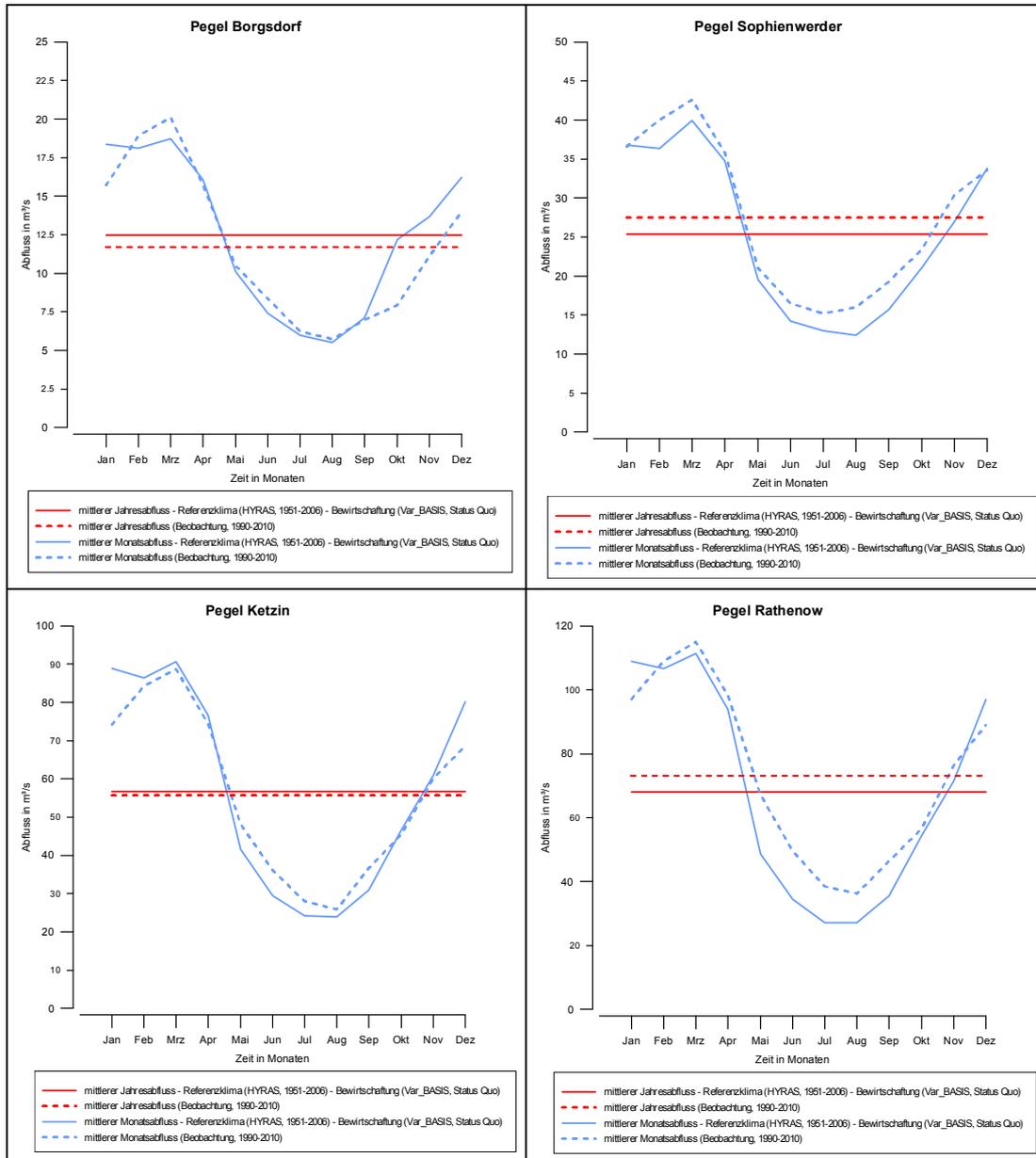


Abb. 5.18 Gegenüberstellung von beobachteten und simulierten Abflüssen an den Pegeln Borgsdorf, Sophienwerder, Ketzin und Rathenow zur Einschätzung der Modellgüte. Eine befriedigende bis gute Anpassung ist erkennbar.

5.6 Ergebnisdarstellung

5.6.1 Auflistung der Fragestellungen, die in Abschnitt 5.6 diskutiert werden

Die Ergebnisse werden im Folgenden unter dem Blickwinkel von drei Fragestellungen betrachtet:

3. Wie verändern sich die bewirtschafteten Abflüsse im Havelgebiet in naher und ferner Zukunft unter Berücksichtigung verschiedener Wassernutzungsszenarien?

Bei dieser Fragestellung wird postuliert, dass sich das Referenzklima (HYRAS-Datensatz) bis 2100 nicht ändert. Ziel ist es den **alleinigen Einfluss der angenommenen Wassernutzungsänderungen** zu simulieren.

4. Wie verändern sich die bewirtschafteten Abflüsse im Havel- und Spreegebiet in naher und ferner Zukunft unter Berücksichtigung verschiedener Wassernutzungsszenarien und des Klimawandels?

Bei dieser Fragestellung werden neben dem Einfluss der Wassernutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt auch die **Auswirkungen verschiedener Klimaprojektionen** untersucht. Dadurch kann anschließend bewertet werden, welcher Einfluss (der Einfluss der gewählten **Wasserbewirtschaftungsszenarien** oder der Einfluss der ausgewählten Klimawandelprojektionen) auf den Wasserhaushalt an ausgewählten Pegeln stärker ist.

5. Welchen Effekt können der Klimawandel und die gewählten Wassernutzungsszenarien auf ausgewählte Nutzer haben?

Bei dieser Fragestellung werden neben dem Einfluss der Wassernutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt auch die Auswirkungen verschiedener Klimaprojektionen diesmal bezogen auf die Nutzer (im Gegensatz zu Punkt 2) untersucht.

In Tabelle 5.3 sind die grundlegenden Annahmen aller Fragestellungen (also die Kopplung der Szenarien der Wasserbewirtschaftung mit denen des Klimawandels für die Gegenwart und Zukunft) dargestellt.

Tabelle 5.3 Kopplung von Szenarien der Wasserbewirtschaftung mit denen des Klimawandels für Gegenwart und Zukunft. Untersuchungen erfolgen zum einen nur unter Berücksichtigung der Wassernutzungsänderungen und zum anderen zusätzlich unter Berücksichtigung verschiedener Klimawandelszenarien.

Szenarien der Wasserbewirtschaftung	Szenario 0 BASIS	Szenario 1 TAGE- BAU	Szenario 2 KRAFT- WERKE	Szenario 3 SCHIFF- FAHRT	Szenario 4 INTE- GRAL
Meteorologie					
HYRAS-Datensatz, Referenz	Wie verändern sich die bewirtschafteten Abflüsse im Havelgebiet in naher und ferner Zukunft unter Berücksichtigung verschiedener Wassernutzungsszenarien? Abschnitt 5.6.2				
Klimaprojektionen					
C20-A1B-ARP-ALD51 	Wie verändern sich die bewirtschafteten Abflüsse im Havel- und Spreegebiet in naher und ferner Zukunft unter Berücksichtigung verschiedener Wassernutzungsszenarien und des Klimawandels? Abschnitt 5.6.3				
C20-A1B-EH5r3_RE-ENS 					
C20-A1B-HCQ0-HRQ0 					
	Welchen Effekt können der Klimawandel und die gewählten Wassernutzungsszenarien auf ausgewählte Nutzer haben? Abschnitt 5.6.4				

5.6.2 Wie verändern sich die bewirtschafteten Abflüsse im Havelgebiet in naher und ferner Zukunft unter Berücksichtigung verschiedener Wassernutzungsszenarien?

5.6.2.1 Auswertungskonzept für Abschnitt 5.6.2

- Die Auswirkungen der **verschiedenen Bewirtschaftungsvarianten** auf den Wasserhaushalt von Havel und Spree (ohne Berücksichtigung des Klimawandels, hierzu siehe Ausführungen in 5.6.3) werden anhand der aus **300 stochastischen Realisierungen** gemittelten mittleren bewirtschafteten Abflüsse (**mittlere Abflüsse (MQ)** und **mittlere Niedrigwasserabflüsse (MNQ)**) im **Status Quo**, in der **nahen und fernen Zukunft** bewertet. Hierfür wird postuliert, dass sich die Charakteristik des Referenzklimas aus dem HYRAS-Datensatz (1951-2006) bis 2100 nicht verändert. Dadurch kann der Einfluss der Veränderungen der Wassernutzungen (Szenarien BASIS, TAGEBAU, KRAFTWERK, SCHIFFFAHRT, INTEGRAL) auf den Wasserhaushalt quantifiziert werden. Die

hier u.a. auch dargestellten prozentualen Änderungen beziehen sich jeweils auf den Referenzzeitraum von 2008 bis 2012.

- Die Ergebnisdarstellung ist auf die Haltung Brandung fokussiert. Da der Wasserhaushalt dieser Haltung jedoch maßgeblich von den Zuflüssen aus der Oberen Havel-Wasserstraße und aus der Spree beeinflusst ist, wird folgendem Auswertungsschema gefolgt: **(1) Veränderung der Abflüsse in der Oberen Havel-Wasserstraße, (2) Veränderung der Abflüsse in der Spree-Oder-Wasserstraße (bzw. Spree) und (3) Veränderung der Abflüsse in der Unteren Havel-Wasserstraße.**
- Aufgrund der Fülle der Ergebnisse erfolgt am Ende des jeweiligen Abschnittes eine **Zusammenfassung der wesentlichen Resultate.**
- Ergebnisdarstellungen erfolgen in Form von **Diagrammen** (absolute Werte in m³/s und entsprechende relative Werte in % in Bezug um Status Quo) und zusätzlich **in tabellarischer Form.**
- Folgende Farbwahl für die Ergebnisdarstellung wurde gewählt: **orange** für die nahe Zukunft, **violett** für die ferne Zukunft.
- **Einheitliche pegelspezifische Skalierung für die Ordinaten**, um die direkte Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

5.6.2.2 Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse in der Oberen Havel-Wasserstraße

Im oberen Havelgebiet bis Borgsdorf sind die Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsvarianten gering. In der linken Abb. 5.19 sind die aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten mittleren bewirtschafteten Abflüsse MQ (oben links) und MNQ (unten links) am Pegel Borgsdorf im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft dargestellt. Diese Abflüsse werden in der entsprechenden rechten Abb. 5.19 jeweils auf den Status Quo bezogen. Dargestellt sind die prozentualen Änderungen.

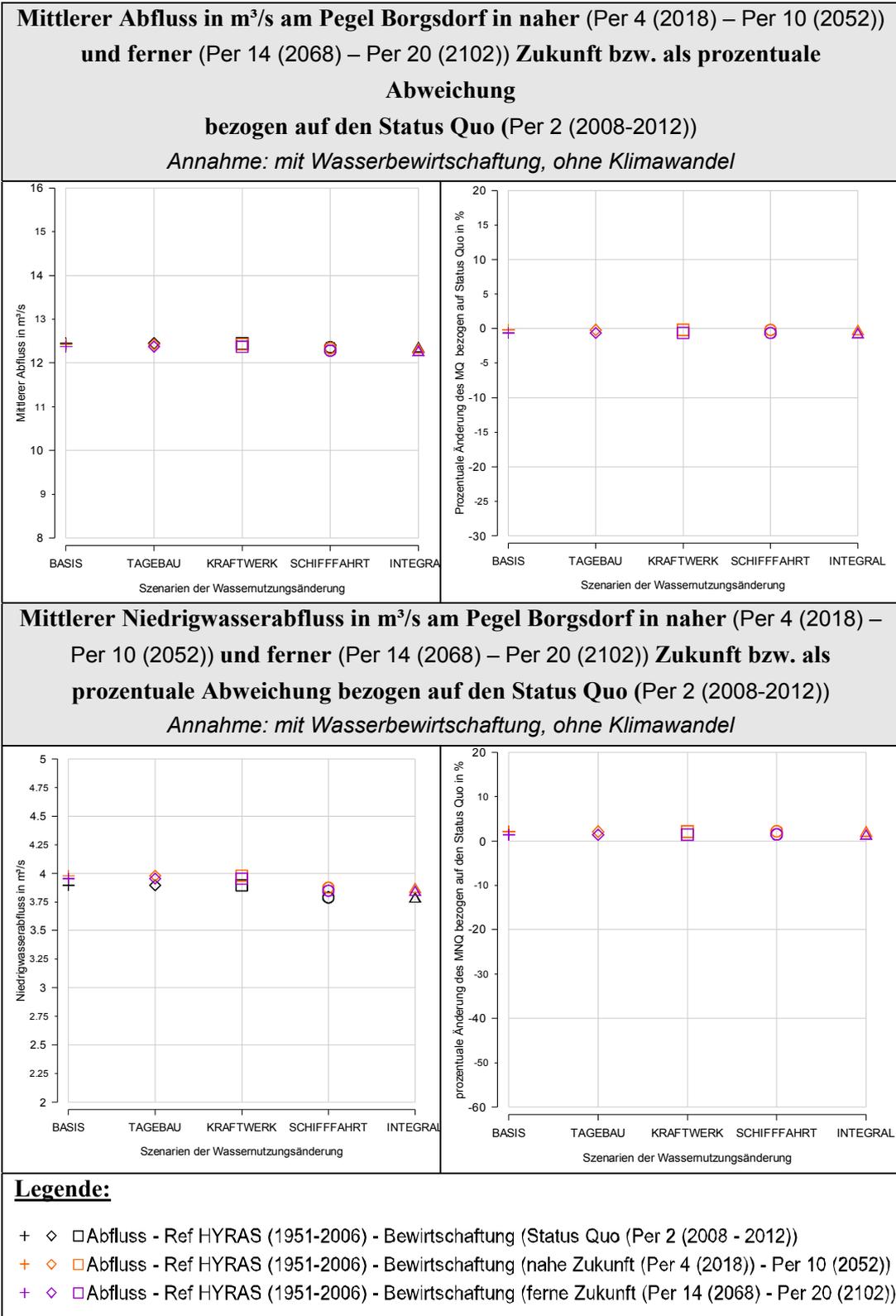


Abb. 5.19 Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete Abflüsse (MQ (oben links) und MNQ (unten links)) am Pegel Borgsdorf im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft. Diese Abflüsse werden in der rechten Abbildung jeweils auf den Status Quo bezogen. Dargestellt sind die prozentualen Änderungen. Die Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsvarianten sind sehr gering.

Es zeigt sich in Abb. 5.19 und Tabelle 5.4, dass die Szenarien BASIS, TAGEBAU und KRAFTWERK keine Unterschiede aufweisen, weil die jeweils zugrunde liegenden Annahmen in der oberen Havel nicht wirksam werden. Weiterhin wird deutlich, dass fast keine Veränderungen bei den mittleren Abflüssen in der nahen und in der fernen Zukunft zu erkennen sind. Die mittleren Niedrigwasserabflüsse nehmen in der nahen und fernen Zukunft ganz leicht zu. Geringe Unterschiede treten auf, wenn für die Schleusen die WIN1-Werte verwendet werden, wie dies in den Varianten SCHIFFFAHRT und INTEGRAL der Fall ist. Der etwas höhere Bedarf an Schleusungswasser führt zu veränderten Umverteilung von Wasser. So reduziert sich der Mittelwasserabfluss im Status Quo von 12,5 m³/s (BASIS) auf 12,4 m³/s (SCHIFFFAHRT) bzw. der mittlere Niedrigwasserabfluss von 3,90 m³/s (im Status Quo, BASIS) auf 3,79 m³/s (im Status Quo, SCHIFFFAHRT).

Tabelle 5.4 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten MQ und MNQ am Pegel Borgsdorf in der nahen und fernen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Fast keine Veränderungen im Wasserhaushalt entstehen durch die angenommenen Wassernutzungsszenarien.

Wassernutzungsszenarien	Mittlerer Abfluss	Mittlerer Niedrigwasserabfluss
Prozentuale Änderung des MQ und MNQ bezogen von der nahen Zukunft (Per 4 (2018) – Per 10 (2052)) auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012)) in % <i>Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, ohne Klimawandel</i>		
BASIS= TAGEBAU= KRAFTWERK	0	2
SCHIFFFAHRT= INTEGRAL	0	2
Prozentuale Änderung des MQ und MNQ bezogen von der fernen Zukunft (Per 14 (2068) – Per 20 (2102)) auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012)) in % <i>Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, ohne Klimawandel</i>		
BASIS= TAGEBAU= KRAFTWERK	- 1	1
SCHIFFFAHRT= INTEGRAL	- 1	2

5.6.2.3 Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse in der Spree-Oder-Wasserstraße (bzw. in der Spree)

Die **Auswertungen für die Spree** erfolgen an den Pegeln Leibsch UP, Große Tränke UP, Sophienwerder und Kleinmachnow OP. Dazu sind die aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten mittleren bewirtschafteten Abflüsse (MQ linke 0, MNQ linke 0) an den Spreepegeln im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft dargestellt. Diese Abflüsse werden als prozentuale Änderung bezogen auf den Status Quo in den entsprechenden rechten Abbildungen dargestellt.

Die nachfolgenden Abbildungen zum Mittel- und zum Niedrigwasser werden so zusammengesetzt, dass sie jeweils auf einem Blick (also ohne Umblättern) zu erkennen sind.

Diese Leeseite wurde eingesetzt, damit die nachfolgenden Abbildungen zum Mittel- und zum Niedrigwasser jeweils auf einem Blick (ohne Umblättern) zu erkennen sind.

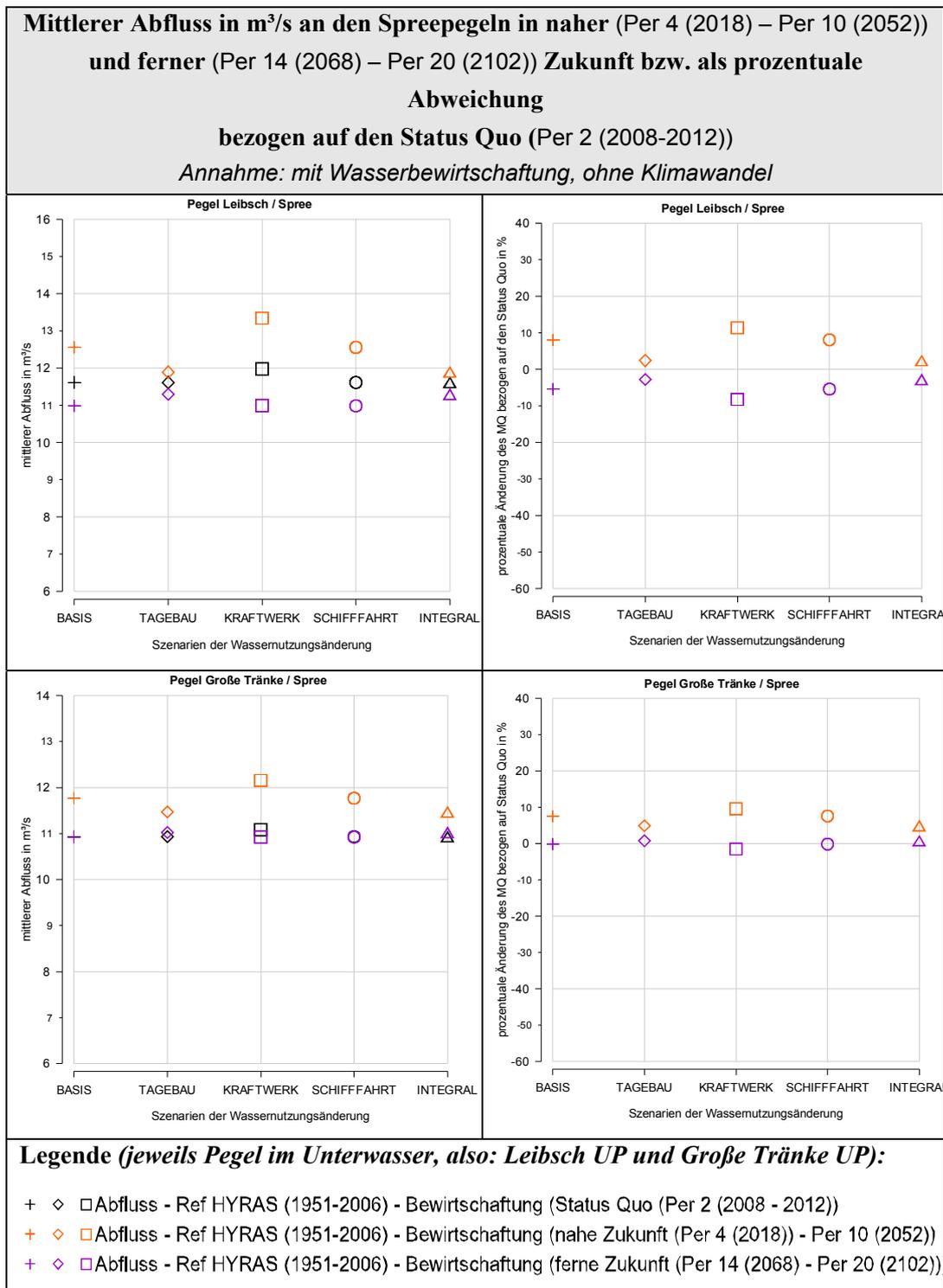
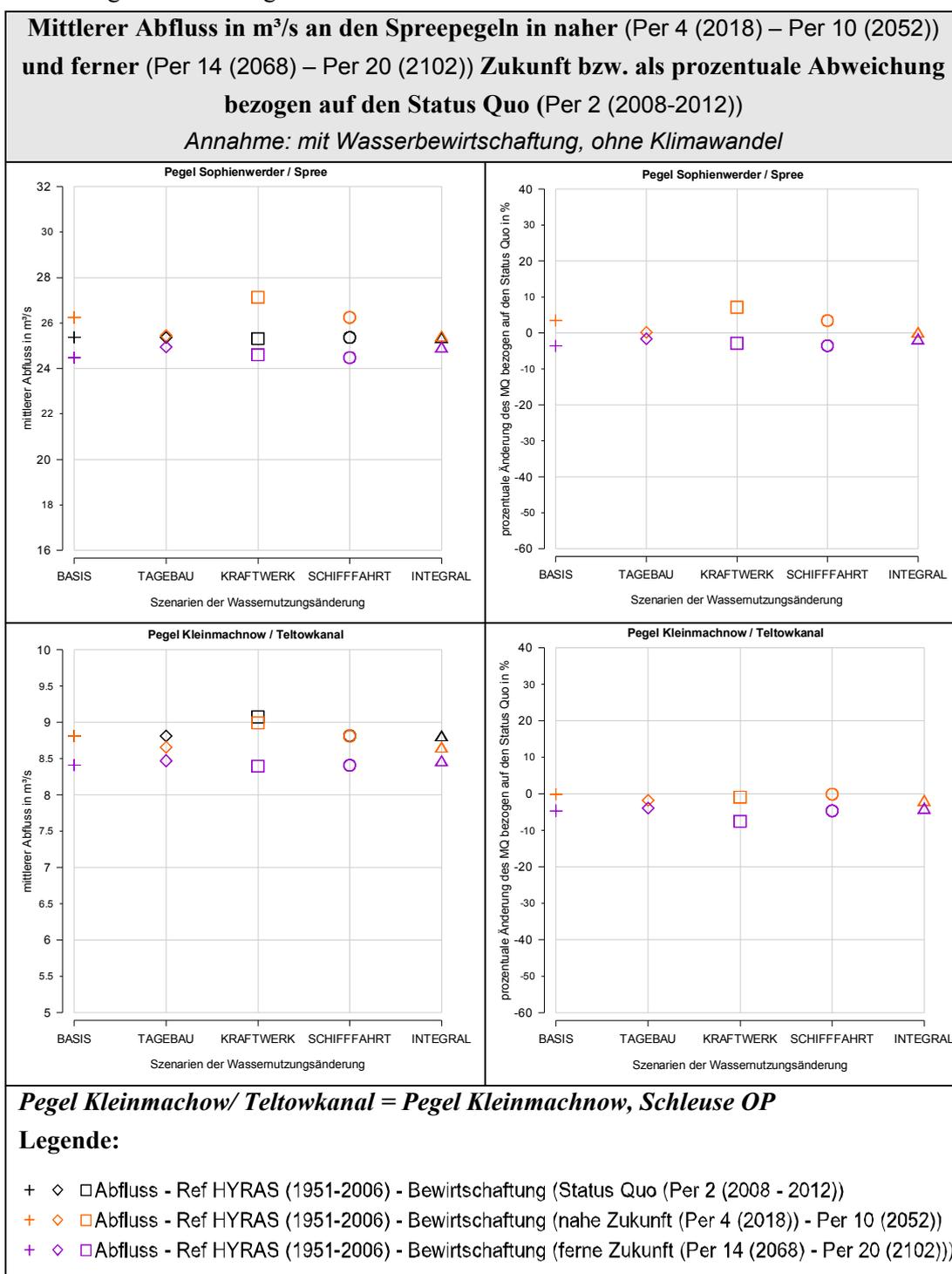


Abb. 5.20 Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete Abflüsse (MQ (links)) an ausgewählten Spree-Pegeln im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft. Diese Abflüsse werden als prozentuale Änderung bezogen auf den Status Quo in der rechten Abbildungen dargestellt. Anstieg der mittleren Abflüsse in der nahen Zukunft, außer am Pegel Kleinmachnow. Rückgang der mittleren Abflüsse in der fernen Zukunft.

Fortsetzung der Abbildung:



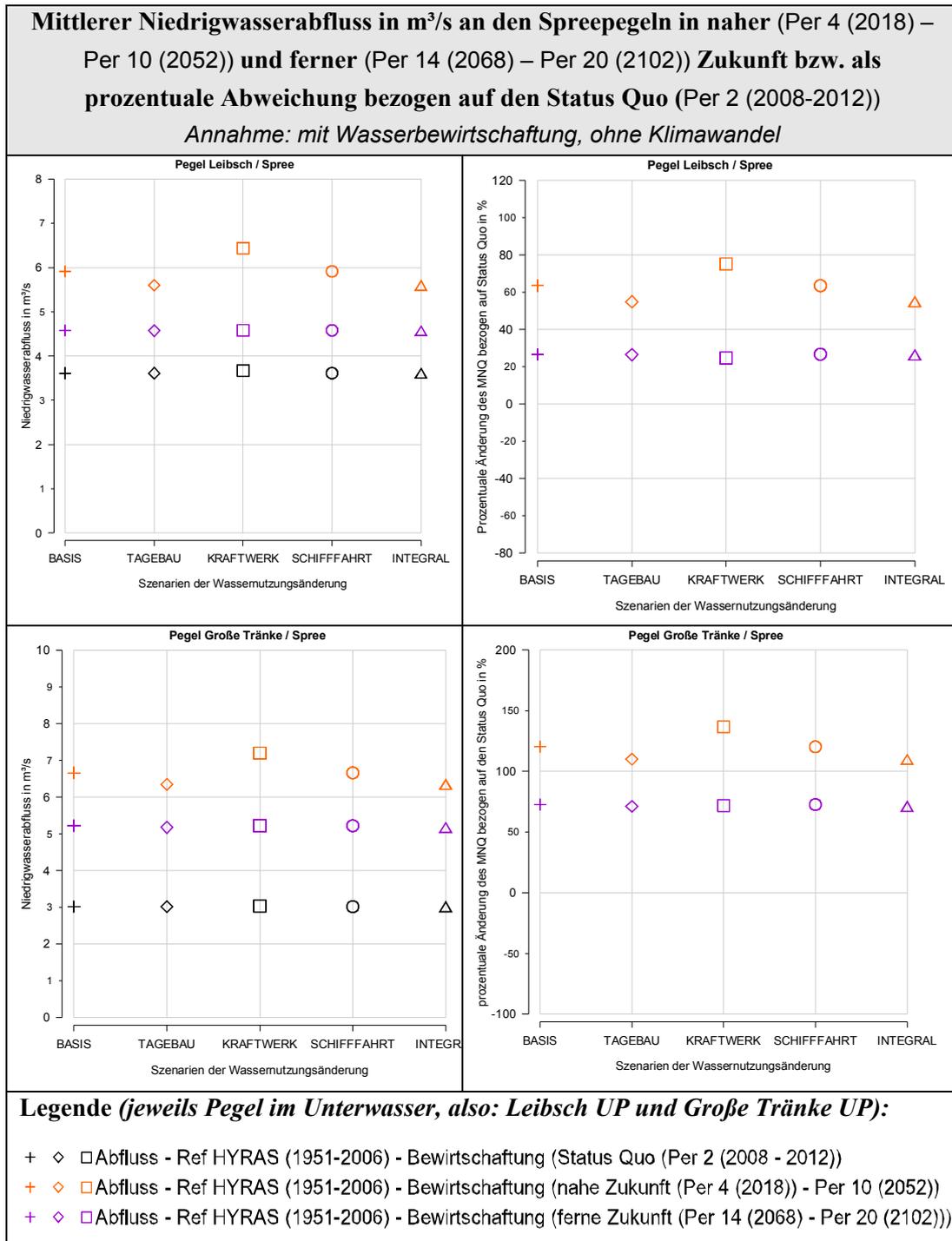
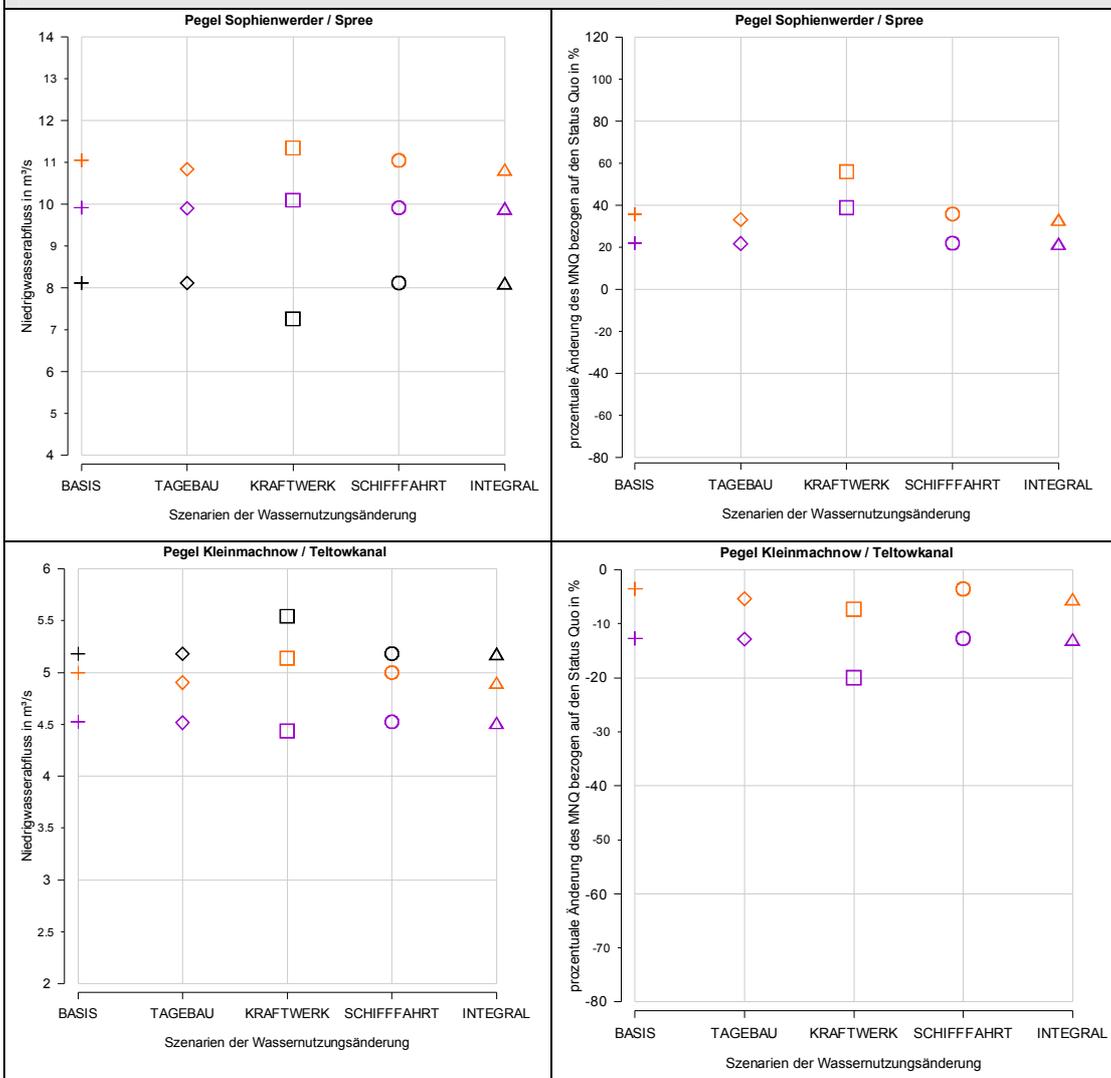


Abb. 5.21

Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete niedrige Abflüsse (MNQ) an ausgewählten Spree-Pegeln im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft. Diese Abflüsse werden als prozentuale Änderung bezogen auf den Status Quo in der rechten Abbildungen dargestellt. Starker Anstieg der mittleren Niedrigwasserabflüsse in der nahen Zukunft, außer am Pegel Kleinmachnow. Leichter Anstieg der mittleren Niedrigwasserabflüsse in der fernen Zukunft, außer am Pegel Kleinmachnow.

Fortsetzung der Abbildung:

Mittlerer Niedrigwasserabfluss in m³/s an den Spreepiegeln in naher (Per 4 (2018) – Per 10 (2052)) und ferner (Per 14 (2068) – Per 20 (2102)) Zukunft bzw. als prozentuale Abweichung bezogen auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012))
Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, ohne Klimawandel



Pegel Kleinmachow/ Teltowkanal = Pegel Kleinmachnow, Schleuse OP

Legende :

- + ◇ □ Abfluss - Ref HYRAS (1951-2006) - Bewirtschaftung (Status Quo (Per 2 (2008 - 2012)))
- + ◇ □ Abfluss - Ref HYRAS (1951-2006) - Bewirtschaftung (nahe Zukunft (Per 4 (2018)) - Per 10 (2052))
- + ◇ □ Abfluss - Ref HYRAS (1951-2006) - Bewirtschaftung (ferne Zukunft (Per 14 (2068) - Per 20 (2102)))

Bei **allen Pegeln in der Spree** gibt es zwischen den Szenarien BASIS und SCHIFFFAHRT bzw. TAGEBAU und INTEGRAL keine Änderungen in allen drei Zeiträumen, da diese Szenarien für das Spreegebiet zu keinen veränderten Annahmen führen.

In allen Szenarien kommt es in der **nahen Zukunft** zu einem **Anstieg der mittleren Abflüsse und der Niedrigwasserabflüsse** (siehe hierzu Zahlenwerte in Tabelle 5.5). Die größten Anstiege sind im Szenario KRAFTWERK (MQ 11 %, MNQ 75 % am Pegel Leibsch) und die geringste Anstiege sind im Szenario TAGEBAU (MQ 2 %, MNQ 55 % am Pegel Leibsch) zu verzeichnen. Der Anstieg der mittleren Abflüsse reduziert sich stromab (d.h. von 11 % im Szenario KRAFTWERK am Pegel Leibsch auf 7 % am Pegel Sophienwerder). Das trifft ebenso auf die mittleren Niedrigwasserabflüsse im Vergleich der Pegel Leibsch und Sophienwerder zu. Es ist jedoch festzustellen, dass die mittleren Niedrigwasserabflüsse stärker in der nahen Zukunft ansteigen als die mittleren Abflüsse zu nehmen. Der Anstieg ist begründet durch die **Inbetriebnahme zusätzlicher Speicher** in der Lausitz (u.a. **Cottbuser See** (in der Abb. 5.17 Tagebau Cottbus Nord während der aktiven Tagebaubewirtschaftung, danach: Cottbuser See; **Lohsa II**) und durch die **Sümpfungswässer, die in die Spree** eingeleitet werden. Die geringen Anstiege im Szenario TAGEBAU liegen im früheren Flutungsbeginn des Tagesbaus Nochten begründet. KASIM führt zu geringeren Verdunstungsverlusten insbesondere in den Kraftwerken in der Lausitz und daher zu höheren Abflüsse.

Die Ausnahme (Rückgang der MQ und MNQ in der fernen Zukunft) bildet der Pegel Kleinmachnow, der durch die Steuerung der Wassermengen innerhalb von Berlin beeinflusst ist.

Tabelle 5.5 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten MQ und MNQ an ausgewählten Pegeln im Spreegebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Ein Anstieg der MQ und MNQ in der nahen Zukunft ist zu erkennen (Ausnahme Kleinmachnow). Die Anstiege im Niedrigwasserbereich sind größer als im Mittelwasserbereich aufgrund der Inbetriebnahme zusätzlicher Speicher in der Lausitz (u.a. Cottbusser See, Lohsa II) und durch die Sumpfungswässer.

Prozentuale Änderung des MQ bezogen von der nahen Zukunft (Per 4 (2018) – Per 10 (2052)) auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012)) in %				
<i>Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, ohne Klimawandel</i>				
Pegel	Leibsch UP	Große Tränke UP	Sophienwerder	Kleinmachnow OP
Wassernutzungsszenarien				
KRAFTWERK	11	10	7	-1
BASIS= SCHIFFFAHRT	8	8	3	0
TAGEBAU= INTEGRAL	2	5	0	-2
Prozentuale Änderung des MNQ bezogen von der nahen Zukunft (Per 4 (2018) – Per 10 (2052)) auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012)) in %				
<i>Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, ohne Klimawandel</i>				
Pegel	Leibsch UP	Große Tränke UP	Sophienwerder	Kleinmachnow OP
Wassernutzungsszenarien				
KRAFTWERK	75	137	56	-7
BASIS= SCHIFFFAHRT	64	120	36	-4
TAGEBAU= INTEGRAL	55	110	33	-5

In allen Szenarien kommt es in der **fernen Zukunft** zu einem Rückgang der **mittleren Abflüsse**, wobei der geringste Rückgang im Szenario TAGEBAU (Pegel Leibsch 3 %) und der stärkste Rückgang im Szenario KRAFTWERK zu verzeichnen ist (Zahlenwerte in Tabelle 5.6). Der Rückgang der mittleren Abflüsse in der fernen Zukunft ist bedingt durch den Rückgang der Sumpfungswassermengen in der Spree. Die Rückgänge reduzieren sich wiederum stromab (Pegel Sophienwerder im Szenario TAGEBAU -2 % und im Szenario KRAFTWERK -3 %). Es treten keine Änderungen am Pegel Große Tränke auf, da hier auf den Abfluss von 8 m³/s gesteuert wird.

Die **Niedrigwasserabflüsse nehmen in der fernen Zukunft** (wie auch in der nahen Zukunft) zu, wobei die Zunahme in der fernen Zukunft geringer ist, da entsprechend der Modellannahme in der fernen Zukunft keine Sumpfungswässer mehr in das System eingeleitet werden.

Tabelle 5.6 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten MQ und MNQ an ausgewählten Pegeln im Spreengebiet in der fernen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. In der fernen Zukunft kommt es zu einem Rückgang der MQ bedingt durch den Rückgang der Sumpfungswassermengen in der Spree. Die MNQ nehmen in der fernen Zukunft (wie auch in der nahen Zukunft) zu, wobei die Zunahme in der fernen Zukunft geringer ist, da entsprechend der Modellannahme in der fernen Zukunft keine Sumpfungswässer mehr in das System eingeleitet werden.

Prozentuale Änderung des MQ bezogen von der fernen Zukunft (Per 14 (2068) – Per 20 (2102)) auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012)) in %				
<i>Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, ohne Klimawandel</i>				
Pegel	Leibsch UP	Große Tränke UP	Sophienwerder	Kleinmachnow OP
Wassernutzungsszenarien				
KRAFTWERK	-8	-1	-3	-7
BASIS= SCHIFFFAHRT	-5	0	-3	-5
TAGEBAU= INTEGRAL	-3	1	-2	-4
Prozentuale Änderung des MNQ bezogen von der fernen Zukunft (Per 14 (2068) – Per 20 (2102)) auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012)) in %				
<i>Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, ohne Klimawandel</i>				
Pegel	Leibsch UP	Große Tränke UP	Sophienwerder	Kleinmachnow OP
Wassernutzungsszenarien				
KRAFTWERK	25	72	39	-20
BASIS= SCHIFFFAHRT	27	73	22	-13
TAGEBAU= INTEGRAL	27	71	22	-13

5.6.2.4 Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse in der Unteren Havel-Wasserstraße

Die **Auswertungen für die Havel** erfolgen anhand der Pegel Ketzin und Havelberg. Dazu sind die aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten mittleren bewirtschafteten Abflüsse (MQ linke Abb. 5.22, MNQ linke Abb. 5.23) an den Havelpegeln im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft dargestellt. Diese Abflüsse werden als prozentuale Änderung bezogen auf den Status Quo in den entsprechenden rechten Abbildungen dargestellt.

Diese Leeseite wurde eingesetzt, damit die nachfolgenden Abbildungen zum Mittel- und zum Niedrigwasser jeweils auf einem Blick (ohne Umblättern) zu erkennen sind.

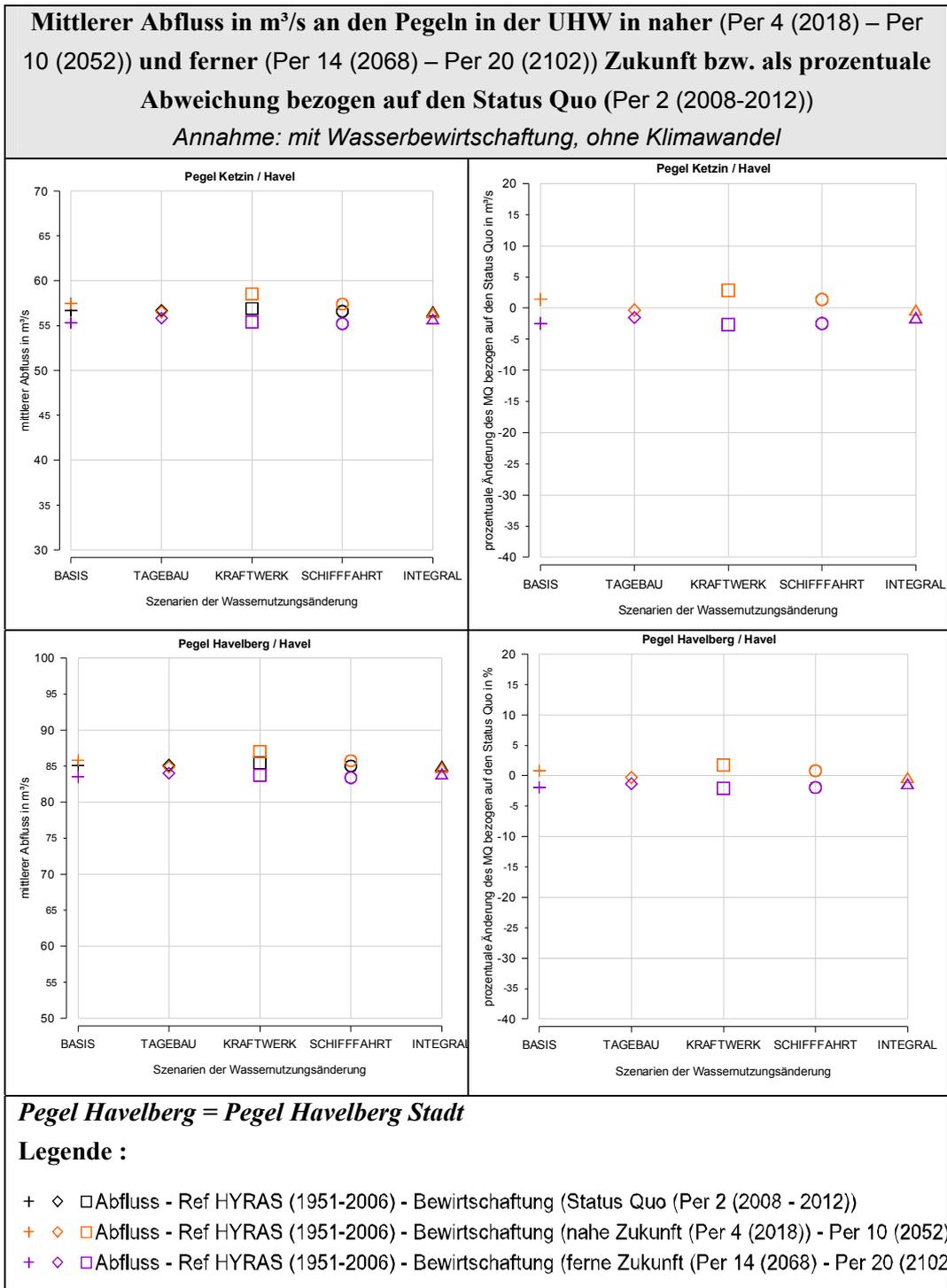


Abb. 5.22 Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete Abflüsse (MQ) an ausgewählten Havel-Pegeln im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft. Diese Abflüsse werden als prozentuale Änderung jeweils bezogen auf den Status Quo in den rechten Abbildungen dargestellt. Überlagerung und Dämpfung der Bewirtschaftungseffekte aus der Spree und oberen Havel. Geringe Veränderungen im MQ-Bereich.

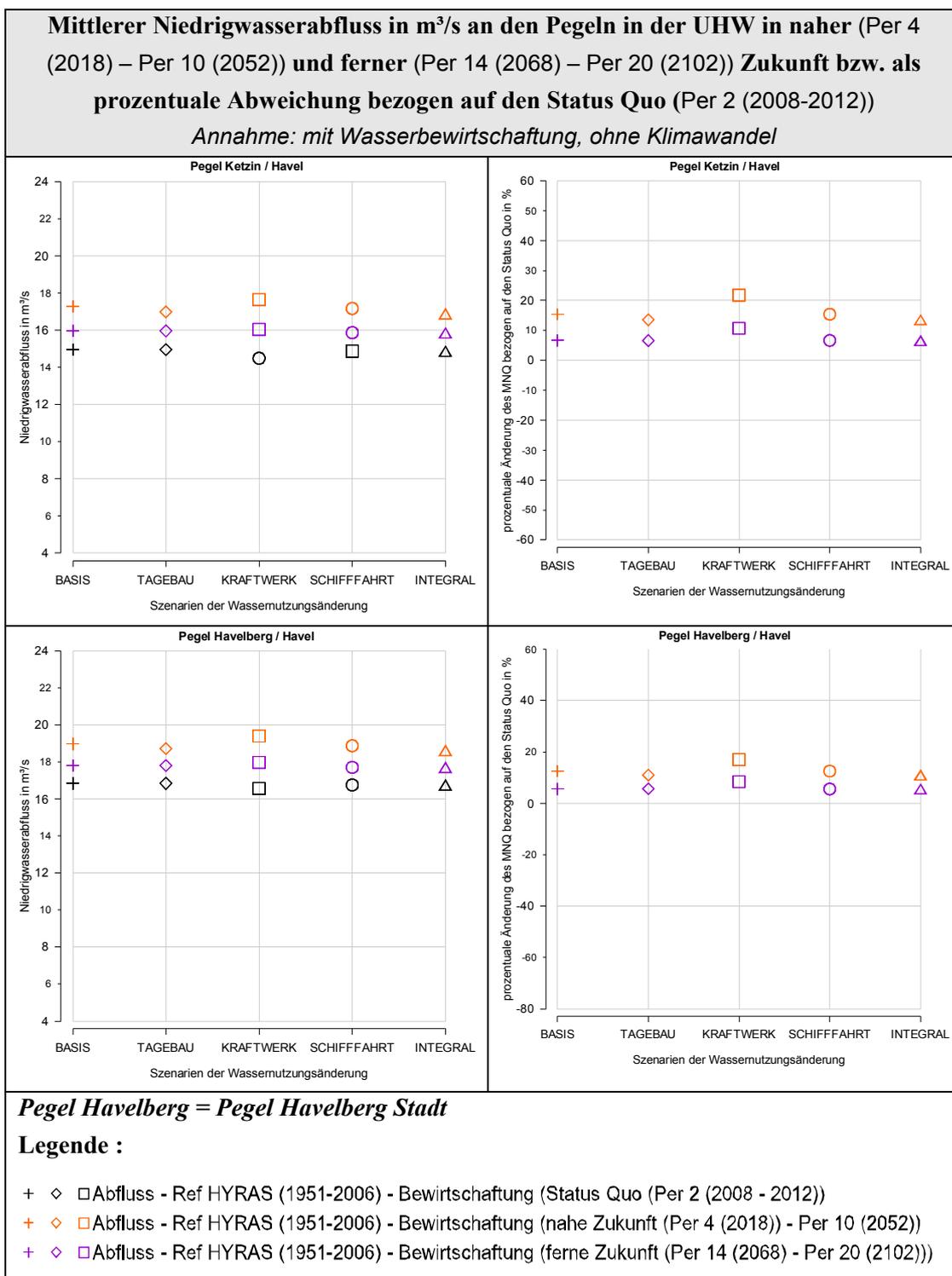


Abb. 5.23 Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete niedrige Abflüsse (MNQ) an ausgewählten Havel-Pegeln im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft. Diese Abflüsse werden als prozentuale Änderung bezogen auf den Status Quo in den rechten Abbildungen dargestellt. Überlagerung und Dämpfung der Bewirtschaftungseffekte aus der Spree und oberen Havel. Anstieg der MNQ in der nahen und ferne Zukunft, wobei der Anstieg in der fernen Zukunft etwas geringer ist als in der nahen Zukunft.

In der **unteren Havel an den Pegeln Havelberg Stadt und Ketzin** kommt es zu einer Überlagerung und aufgrund der Größe des Einzugsgebietes zu einer **Abschwächung aller Bewirtschaftungseffekte** (die am Pegel Borgsdorf und an den Pegeln in der Spree sichtbar wurden). Die generellen Tendenzen bleiben jedoch weitgehend erhalten.

Die **mittleren Abflüsse** in der nahen Zukunft führen zu keinen Änderungen (in den Szenarien TAGEBAU und INTEGRAL) und zu leichten Anstiegen in den Szenarien BASIS und SCHIFFFAHRT. Der stärkste Anstieg ist im Szenario KRAFTWERK zu erkennen. Die Zahlenwerte sind der Tabelle 5.7 zu entnehmen. Es kommt zu einem **deutlichen Anstieg der Niedrigwasserabflüsse** in der nahen Zukunft durch die Inbetriebnahme zusätzlicher Speicher in der Lausitz und durch die noch bestehenden Sumpfungswässer.

Tabelle 5.7 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten MQ und MNQ an ausgewählten Pegeln im Havelgebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Die mittleren Abflüsse erfahren keine Veränderung und die Niedrigwasserabflüsse steigen aufgrund der Inbetriebnahme zusätzlicher Speicher in der Lausitz und aufgrund der noch bestehenden Sumpfungswässer.

Prozentuale Änderung des MQ bezogen von der nahen Zukunft (Per 4 (2018) – Per 10 (2052)) auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012)) in % <i>Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, ohne Klimawandel</i>		
Wassernutzungszenarien/ Pegel	Ketzin	Havelberg Stadt
BASIS	1	1
TAGEBAU	0	0
KRAFTWERK	3	2
SCHIFFFAHRT	1	1
INTEGRAL	0	0
Prozentuale Änderung des MNQ bezogen von der nahen Zukunft (Per 4 (2018) – Per 10 (2052)) auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012)) in % <i>Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, ohne Klimawandel</i>		
Wassernutzungszenarien/ Pegel	Ketzin	Havelberg Stadt
BASIS	15	13
TAGEBAU	14	11
KRAFTWERK	22	17
SCHIFFFAHRT	15	13
INTEGRAL	14	11

Es kommt zu einem leichten **Rückgang der mittleren Abflüsse** in der fernen Zukunft bedingt durch den Rückgang der Sumpfungswassermengen in der Spree. **Der Anstieg der mittleren Niedrigwasserabflüsse** in der Unteren Havel-Wasserstraße ist in der fernen Zukunft etwas geringer als in der nahen Zukunft, da entsprechend der Modellannahme in

der fernen Zukunft keine Sumpfungswässer mehr in das System eingeleitet werden würden. Die Zahlenwerte sind der Tabelle 5.8 zu entnehmen.

Tabelle 5.8 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten MQ und MNQ an ausgewählten Pegeln im Havelgebiet in der fernen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Es kommt zu einem leichten Rückgang der mittleren Abflüsse in der fernen Zukunft bedingt durch den Rückgang der Sumpfungswassermengen in der Spree. Die MNQ steigen auch in der fernen Zukunft an, jedoch nicht so stark wie in der nahen Zukunft, was an den fehlenden Sumpfungswässern in der Spree in der fernen Zukunft begründet liegt.

Prozentuale Änderung des MQ bezogen von der fernen Zukunft (Per 14 (2068) – Per 20 (2102)) auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012)) in % <i>Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, ohne Klimawandel</i>		
Wassernutzungsszenarien/ Pegel	Ketzin	Havelberg Stadt
BASIS	-2	-2
TAGEBAU	-1	-1
KRAFTWERK	-3	-2
SCHIFFFAHRT	-2	-2
INTEGRAL	-1	-1
Prozentuale Änderung des MNQ bezogen von der fernen Zukunft (Per 14 (2068) – Per 20 (2102)) auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012)) in % <i>Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, ohne Klimawandel</i>		
Wassernutzungsszenarien/ Pegel	Ketzin	Havelberg Stadt
BASIS	7	6
TAGEBAU	7	6
KRAFTWERK	11	9
SCHIFFFAHRT	7	6
INTEGRAL	7	6

Die geringen Unterschiede zwischen den **jährlichen mittleren bewirtschafteten Abflüssen** am Pegel Ketzin zeigen sich auch bei **Betrachtung des Jahresganges**. Dargestellt sind in der Abb. 5.24 sowohl die monatlichen mittleren Abflüsse für den Status Quo, für die nahe und ferne Zukunft (linke Abbildung) als auch die prozentuale Änderung der mittleren monatlichen Abflüsse mit Bezug zur Referenz (Status Quo). Aufgrund der geringen Unterschiede im Mittelwasserbereich in der nahen und fernen Zukunft (siehe Werte in Tabelle 5.7 für die nahe Zukunft, in Tabelle 5.8 für die ferne Zukunft) zwischen den Wassernutzungsszenarien wird hier nur ein **Szenario (BASIS)** zu Grunde gelegt. In der nahen und fernen Zukunft ist in **den Sommermonaten ein leichter Anstieg und in den Wintermonaten ein leichter Rückgang zu erkennen**. Die Änderungen liegen im **Bereich von +10 % bis -5 %**.

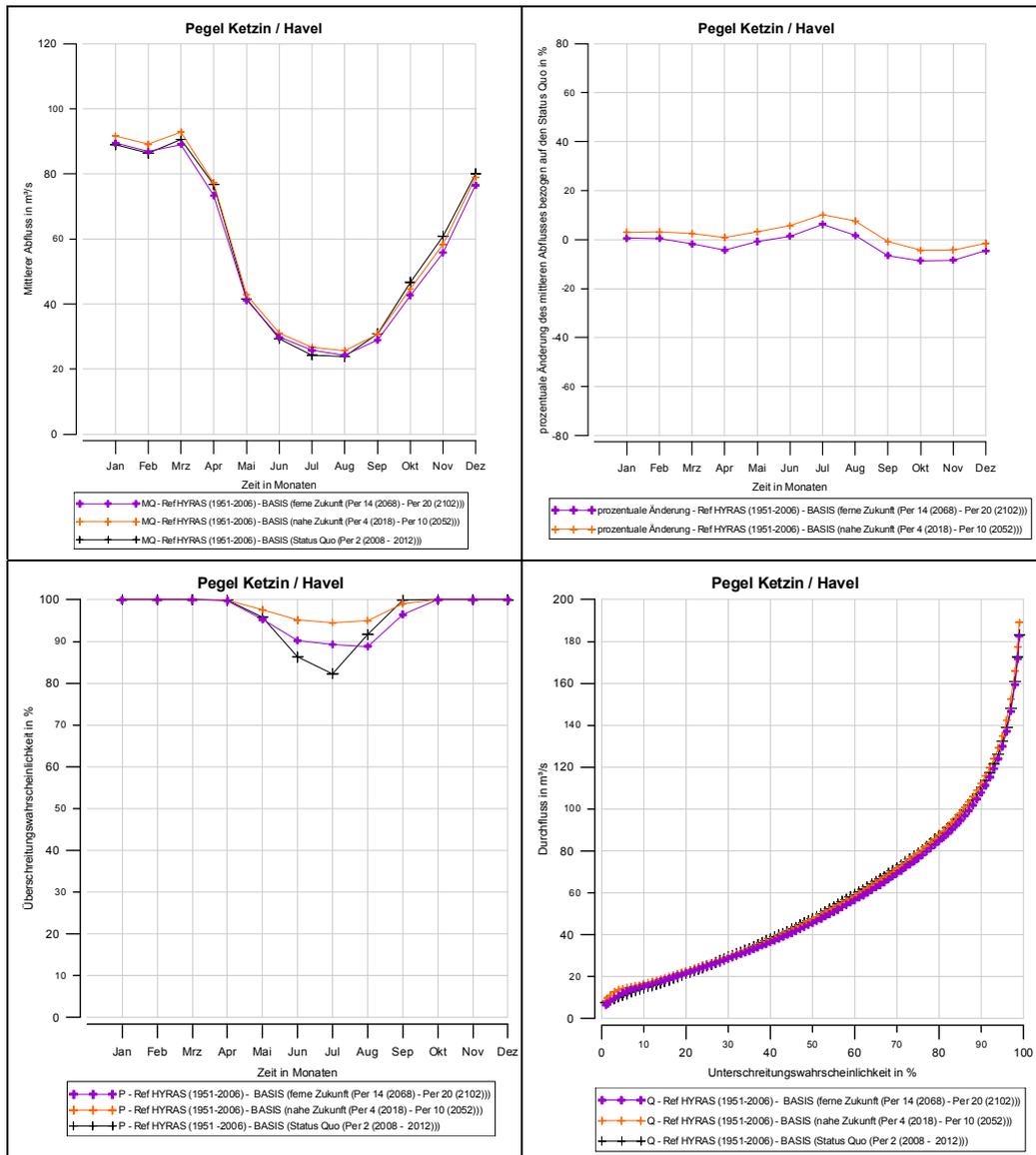


Abb. 5.24 Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete monatliche Abflüsse am Pegel Ketzin im Status Quo, in der nahen und fernen Zukunft unter Annahme des Wassernutzungsszenarios BASIS (linke obere Abbildung). Diese Abflüsse werden als prozentuale Änderung bezogen auf den Status Quo in der rechten oberen Abbildungen dargestellt. Zusätzlich dargestellt sind die Überschreitungswahrscheinlichkeiten bei einem Abflussschwellenwert von 10 m³/s (untere linke Abbildung) und Dauerlinien für die drei Zeiträume (untere rechte Abbildung). Nur geringe Unterschiede sind zwischen der fernen und nahen Zukunft im Bewirtschaftungsszenario BASIS erkennbar. Die Unterschiede zeigen sich in den Sommermonaten, in denen es durch die Bewirtschaftung zu einer Verbesserung der Abflussverhältnisse in der nahen und fernen Zukunft kommt.

5.6.2.5 Zusammenfassung: Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse infolge der Wassernutzungsszenarien (mit Wasserbewirtschaftung, ohne Klimawandel)

Die Zusammenfassung erfolgt für die **Abflussentwicklungen im Mittel- und Niedrigwasserbereich** für die nahe und ferne Zukunft an zwei aussagekräftigen Bilanzprofilen: (1) **Gesamtzufluss der Spree zu Berlin**, als fiktiver Pegel, der sich zusammensetzt aus den Abflüssen an den Pegeln Große Tränke UP, Wernsdorf und Neue Mühle) und (2) Pegel Ketzin/ Untere Havel-Wasserstraße. Die Entwicklung der Abflüsse basiert auf den angenommenen fünf Wassernutzungsszenarien und ist als prozentuale Änderung bezogen auf den Status Quo in der Abb. 5.25 dargestellt. Es wird postuliert, dass sich das Klima von der Gegenwart bis 2100 nicht ändert.

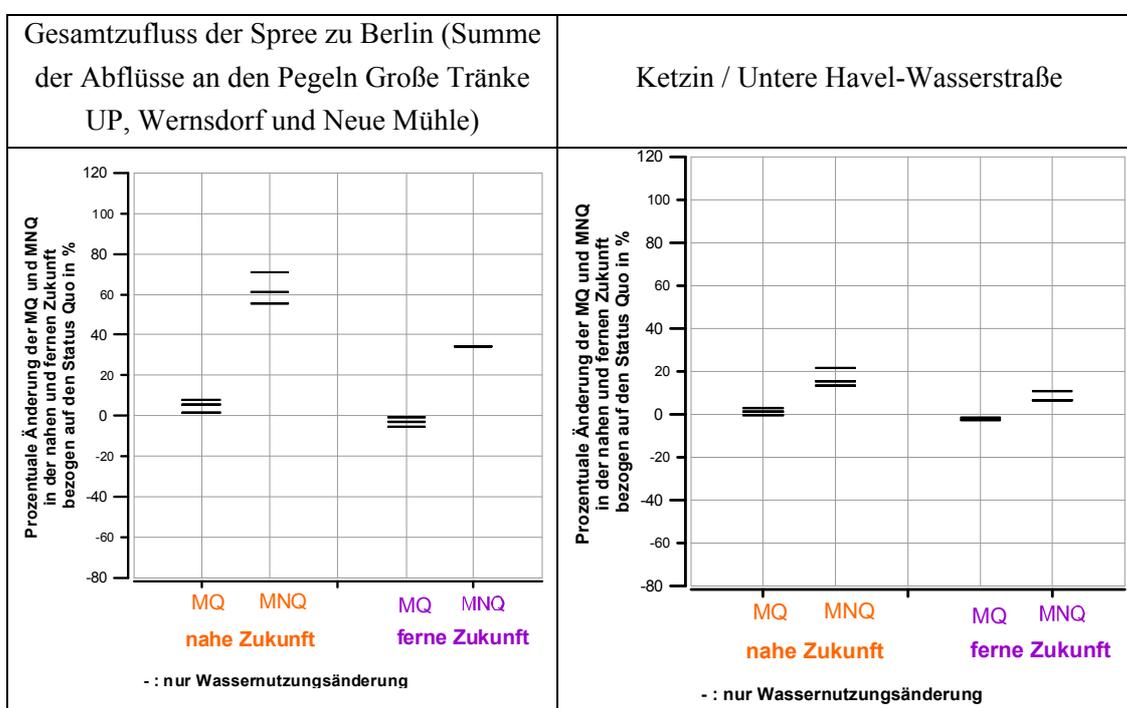


Abb. 5.25 Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete monatliche Abflüsse und Niedrigwasserabflüsse für den Spreezufluss zu Berlin und für den Pegel Ketzin in der nahen und fernen Zukunft bezogen auf den Status Quo. Es liegen die fünf gewählten Wassernutzungsszenarien zu Grunde. Eine Klimaveränderung wird nicht angenommen. Fast keine Änderung bzw. ein leichter Anstieg der mittleren Abflüsse in der nahen Zukunft ist zu erkennen. Ein Anstieg der Niedrigwasserabflüsse in der nahen Zukunft ist aufgrund der zusätzlichen Speicher in der Lausitz und der Sumpfungswässer zu erkennen. In der fernen Zukunft reduzieren sich die mittleren Abflüsse leicht. Die Niedrigwasserabflüsse steigen in der fernen Zukunft noch an, jedoch nicht so stark wie die Niedrigwasserabflüsse in der nahen Zukunft. Das liegt darin begründet, dass die Sumpfungswässer zur Aufhöhung der Spree nicht mehr zu Verfügung stehen. Weiterhin ist die dämpfende Wirkung der Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Berlin zu erkennen.

In Abb. 5.25 ist zu erkennen, dass die **mittleren Abflüsse** im Havel- und Spreegebiet sich fast nicht verändern bzw. leicht ansteigen. Die mittleren Niedrigwasserabflüsse nehmen in der **nahen Zukunft** sowohl im Spree- als auch im unterem Havelgebiet aufgrund **der Inbetriebnahme zusätzlicher Speicher** in der Lausitz (Speichersystem Lohsa II im Jahr 2018 sowie Speicher Cottbuser See im Jahr 2023) und **der Einleitung der Sumpfungswässer zu**.

In der **fernen Zukunft** ist sowohl im Spree- als auch unterem Havelgebiet ein leichter **Rückgang der mittleren Abflüsse (außer beim Szenario KRAFTWERK in Ketzin) und ein Anstieg der mittleren Niedrigwasserabflüsse** zu erkennen. Der Anstieg der Niedrigwasserabflüsse in der fernen Zukunft ist geringer als der Anstieg in der nahen Zukunft, aufgrund der Tatsache, dass die Modellannahme darin besteht, dass in der fernen Zukunft keine Sumpfungswässer (keine aktiven Tagebaue in der fernen Zukunft) mehr in das System geleitet werden.

Weiterhin wird deutlich, dass die **Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Berlin** (wie zum Beispiel die Wassermengenverteilung innerhalb von Berlin in Abhängigkeit des Zuflusses) als auch der Zufluss der **Oberen Havel-Wasserstraße** zu einer Überlagerung und damit **Dämpfung der Einzeleffekte** auf den Wasserhaushalt (bedingt durch Klimawandelprojektionen und Wassernutzungsszenarien) in der Flusstauhavel (repräsentiert durch den Pegel Ketzin) führen.

Die **Unterschiede** zwischen den hier gewählten **Bewirtschaftungsvarianten** (Wassernutzungsszenarien BASIS, TAGEBAU, KRAFTWERK, SCHIFFFAHRT, INTEGRAL) sind **gering**, da hier Konzepte eingeflossen sind, die bereits unter Beachtung des wasserwirtschaftlichen Potentials der Einzugsgebiete entwickelt wurden. Zusätzlich bewirken die Speicher in der Lausitz eine Vergleichmäßigung der Abflüsse.

Diese Ergebnisse sind nur unter den angegebenen Randbedingungen (verschiedene Bewirtschaftungsszenarien) gültig und nicht verallgemeinerbar. Es können pegelspezifische Effekte (wie in Kleinmachnow sichtbar) auftreten, so dass die Aussagen zum Einfluss der Wasserbewirtschaftung auf den Abfluss nur unter Angabe der Randbedingungen (hier: Bewirtschaftungsszenarien) und des Pegels erfolgen sollten.

5.6.3 Wie verändern sich die bewirtschafteten Abflüsse im Havel- und Spreengebiet in naher und ferner Zukunft unter Berücksichtigung verschiedener Wassernutzungsszenarien und des Klimawandels?

5.6.3.1 Auswertungskonzept für Abschnitt 5.6.3

- In diesem Abschnitt werden die **Auswirkungen des Klimawandels** (Annahme drei verschiedene Klimaprojektionen aus dem Gesamt-Ensemble: Französische, deutsche und englische Modellkette, detailliertere Informationen dazu in Abschnitt 3.2) auf die bewirtschafteten mittleren Abflüsse und mittleren Niedrigwasserabflüsse (aus 300 stochastischen Realisierungen stammend) unter Berücksichtigung von verschiedenen **Wassernutzungsänderungen** (BASIS, TAGEBAU, KRAFTWERK, SCHIFFFAHRT, INTEGRAL, siehe hierzu detaillierte Informationen in Abschnitt 5.3) untersucht.
- Die Ergebnisdarstellung in diesem Abschnitt fokussiert auf die vier Pegel **Borgsdorf/ Obere-Havel-Wasserstraße**, **Sophienwerder/ Spree-Oderwasserstraße**, **Kleinmachnow OP/ Teltowkanal** und **Ketzin/ Untere Havel-Wasserstraße**. Einen Überblick zur Lage der Pegel gibt Abb. 5.17. Dafür sind die prozentualen Änderungen der bewirtschafteten mittleren Abflüsse und mittleren Niedrigwasserabflüsse dieser ausgewählten Pegel in der nahen und fernen Zukunft jeweils bezogen auf den Bewirtschaftungszeitraum von 2008 bis 2012 (Status Quo und auf das Referenzklima gemäß des Datensatzes HYRAS) dargestellt. Das Änderungssignal für die nahe und ferne Zukunft ergibt sich jeweils durch Gegenüberstellung der zukünftigen mittleren Abflüsse und mittleren Niedrigwasserabflüsse mit den entsprechenden Werten des Status Quo (Klima_IST bei den Klimaprojektionen, Referenzzeitraum bei HYRAS, s. Tabelle 5.2). Die Projektionen für die nahe und ferne Zukunft ergeben sich durch Multiplikation des jeweiligen Klimaänderungssignals mit dem Abfluss der Gegenwart bzw. dem Status Quo (also bezogen auf den HYRAS-Datensatz). Neben der Angabe von relativen Werten für die Veränderungen der bewirtschafteten Abflüsse werden auch die entsprechenden absoluten Werte angegeben.
- In der Zusammenschau (also Wassernutzungsszenarien und Klimawandel) der Entwicklungen der bewirtschafteten Abflüsse (Mittelwasser MQ, mittleres Niedrigwasser MNQ) an diesen Pegel werden nachfolgend **zuerst** die Änderungen **in der nahen** (WBalMo Per 4 (2018) – Per 10 (2052)) **und danach in der fernen** (WBalMo Per 14 (2068) – Per 20 (2102)) **Zukunft** diskutiert.
- Die Ergebnisdarstellung erfolgt analog zum vorherigen Abschnitt sowohl in grafischer als auch tabellarischer Form. Die Ergebnisse für die nahe Zukunft sind in orange und die Resultate für die ferne Zukunft sind in violett dargestellt.

- Zusätzlich sind in allen Diagrammen (zur nahen und zur fernen Zukunft) als Vergleichswert in schwarz die prozentualen Änderungen dargestellt, die sich allein aus dem Einfluss der Bewirtschaftung ergeben würden. Diese Ergebnisse sind bereits ausführlich in Abschnitt 5.6.2 diskutiert und auch dargestellt worden (jedoch dort in den Farben orange und violett). Durch die Verknüpfung beider Ergebnisse (also in Abschnitt 5.6.2: Auswirkungen, die nur aus den Annahmen der Wassernutzungsszenarien resultieren und in Abschnitt 5.6.3: Auswirkungen, die sowohl auf den Annahmen der Wassernutzungsszenarien als auch auf den Annahmen zur Entwicklung des Klimas beruhen) kann die Frage beantwortet werden, welche Randbedingung (Szenarien von Klimawandel oder Wassernutzungsänderungen) den Wasserhaushalt stärker beeinflussen.

5.6.3.2 Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse der Zuflusspegel zur Haltung Brandenburg sowie des Pegels Ketzin in der nahen Zukunft (2018-2052)

In der Abb. 5.26 ist die prozentuale Änderung der **bewirtschafteten mittleren Abflüsse** der Pegel Borgsdorf, Sophienwerder, Kleinmachnow und Ketzin (aus jeweils 300 stochastischen Realisierungen stammend) in der **nahen (2018-2052) Zukunft** (resultierend aus der Spannweite der gewählten Klimaprojektionen und den zugrunde liegenden Wassernutzungsszenarien BASIS, TAGEBAU, KRAFTWERK, SCHIFFFAHRT, INTEGRAL) bezogen auf den Status Quo (2008-2012) dargestellt.

Diese Leeseite wurde eingesetzt, damit die nachfolgenden Abbildungen zum Mittel- und zum Niedrigwasser jeweils auf einem Blick (ohne Umblättern) zu erkennen sind.

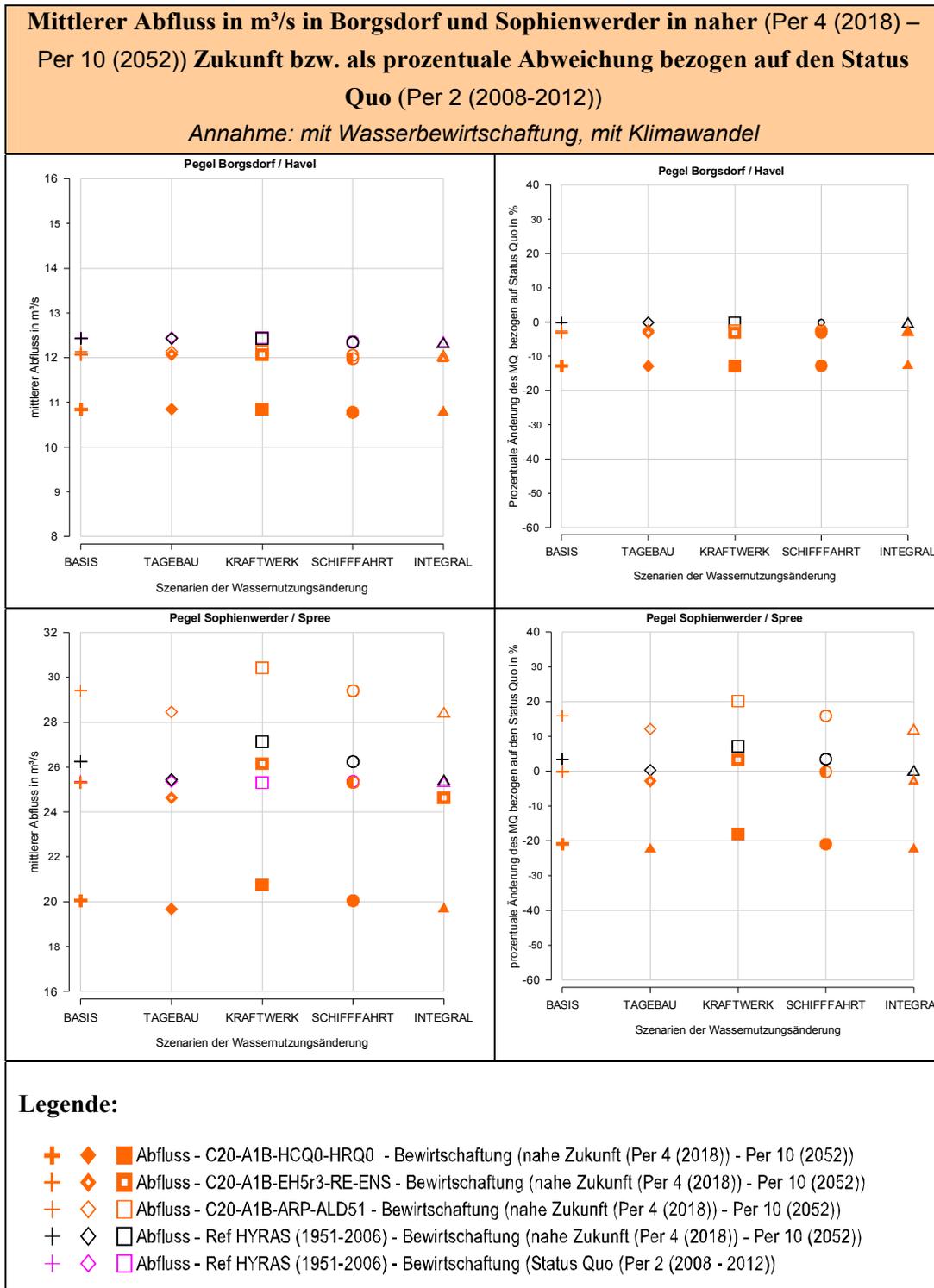
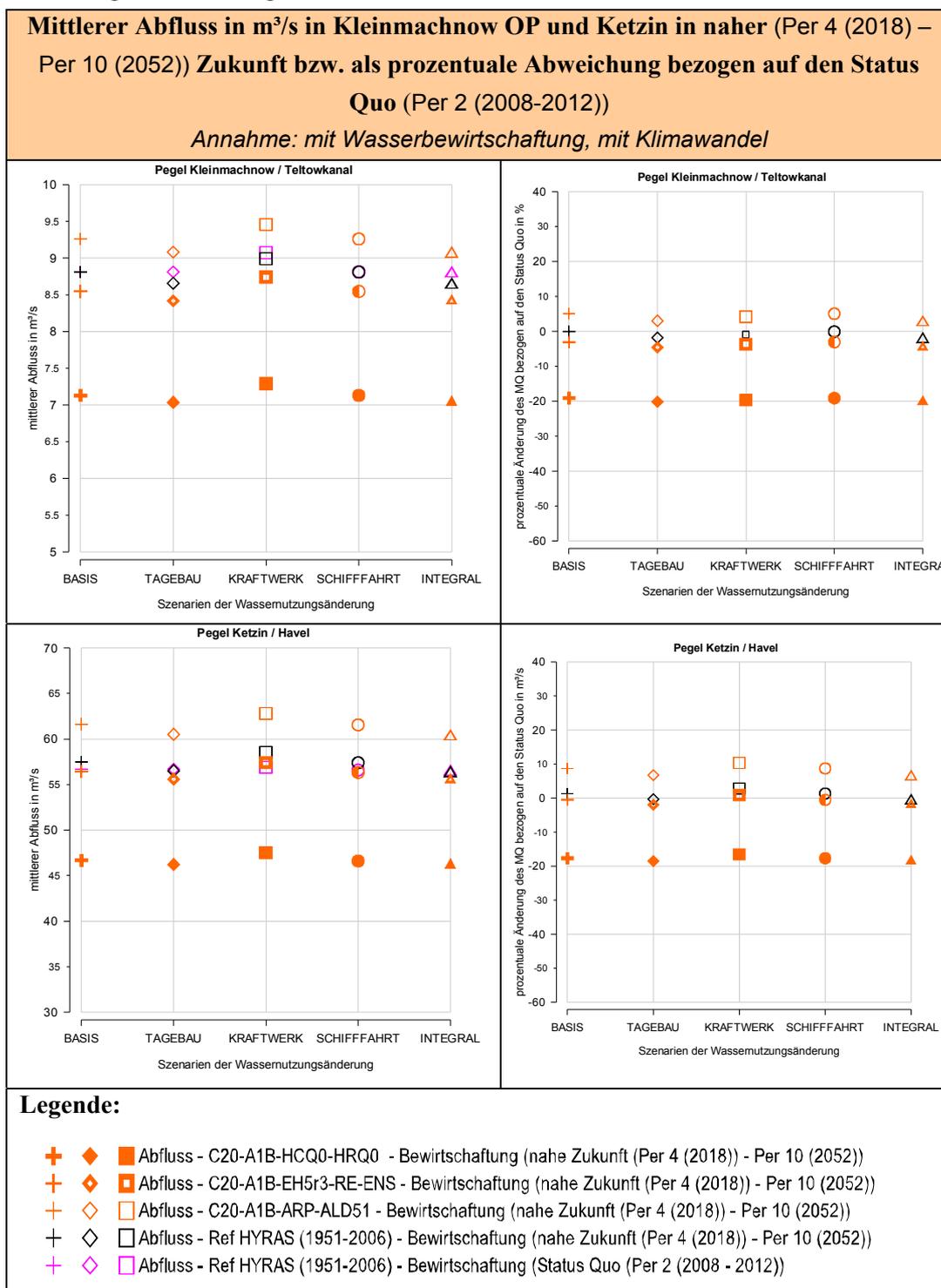


Abb. 5.26 Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittleren bewirtschaftete Abflüsse an verschiedenen Pegeln in der nahen Zukunft unter Annahme verschiedener Wassernutzungsszenarios und entsprechende prozentuale Änderung des MQ bezogen auf den Status Quo. Die deutsche Modellkette führt zu fast keiner Veränderung, die englische Modellkette führt zu einem Rückgang und die französische Modellkette zu einem Anstieg der mittleren Abflüsse in der nahen Zukunft bezogen auf den Status Quo.

Fortsetzung der Abbildung:



Zusammenfassend ist festzustellen (aus Abb. 5.26 und Tabelle 5.9), dass es zu fast **keiner Veränderung bzw. zu einem leichten Rückgang (Spannweite -1 bis - 4%) bei den mittleren Abflüssen in der nahen Zukunft** (jeweils mit Bezug zum Status Quo) **in der deutschen Modellkette (EH5r3-RE-ENS) kommt. Die Abflüsse in der englischen Modellkette (HCQ0-HRQ0) reduzieren sich maximal um bis zu 22 % am Pegel Sophienwerder (von 25 m³/s auf 20 m³/s) und steigen maximal um bis zu ca. 10 % am Pegel Ketzin (von 57 m³/s auf 61 m³/s) in der französischen Modellkette (ARP-ALD51) an.**

Am Pegel Borgsdorf ist fast **keine Änderung bzw. ein sehr leichter Rückgang der mittleren Abflüsse** in der **deutschen (EH5r3-RE-ENS) bzw. französischen Modellkette (ARP-ALD51)** zu erkennen bzw. ein **Rückgang der mittleren Abflüsse in der englischen Modellkette um ca. 13 % (von 12 m³/s auf 11 m³/s).**

Tabelle 5.9 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten Abflüssen an ausgewählten Pegeln im Havel-Spreegebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Es kommt zu einem Anstieg der mittleren Abflüsse in der französischen Modellkette (außer Borgsdorf) und zu einem Rückgang in der englischen Modellkette. Die deutsche Modellkette für zu fast keinen bzw. geringen Rückgängen.

Mittlerer Abfluss von ausgewählten Pegeln in naher (Per 4 (2018) – Per 10 (2052)) Zukunft als prozentuale Abweichung bezogen auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012))						
<i>Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, mit Klimawandel</i>						
Pegel	Borgsdorf			Sophienwerder		
Wasser- nutzungs- szenario	ARP- ALD51	EH5r3-RE -ENS	HCQ0- HRQ0	ARP- ALD51	EH5r3-RE- ENS	HCQ0- HRQ0
	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette
	[%]					
BASIS	-3	-3	-13	16	0	-21
TAGE- BAU	-3	-3	-13	12	-3	-22
KRAFT- WERK	-3	-3	-13	20	3	-18
SCHIFF- FAHRT	-2	-3	-13	16	0	-21
INTE- GRAL	-2	-3	-13	12	-3	-22

Pegel	Kleinmachnow OP			Ketzin		
Wasser- nutzungs- szenario	ARP- ALD51	EH5r3-RE -ENS	HCQ0- HRQ0	ARP- ALD51	EH5r3-RE- ENS	HCQ0- HRQ0
	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette
	[%]					
BASIS	5	-3	-19	9	0	-18
TAGE- BAU	3	-5	-20	7	-2	-18
KRAFT- WERK	4	-4	-20	10	1	-16
SCHIFF- FAHRT	5	-3	-19	9	0	-18
INTE- GRAL	3	-5	-20	7	-2	-18

In der Abb. 5.27 ist die prozentuale Änderung der **bewirtschafteten mittleren Niedrigwasserabflüsse** der Pegel Borgsdorf, Sophienwerder, Kleinmachnow und Ketzin (aus jeweils 300 stochastischen Realisierungen stammend) **in der nahen (2018-2052) Zukunft** (resultierend aus der Spannweite der gewählten Klimaprojektionen und den zugrunde liegenden Wassernutzungsszenarien BASIS, TAGEBAU, KRAFTWERK, SCHIFFFAHRT, INTEGRAL bezogen auf den Status Quo (2008-2012) dargestellt.

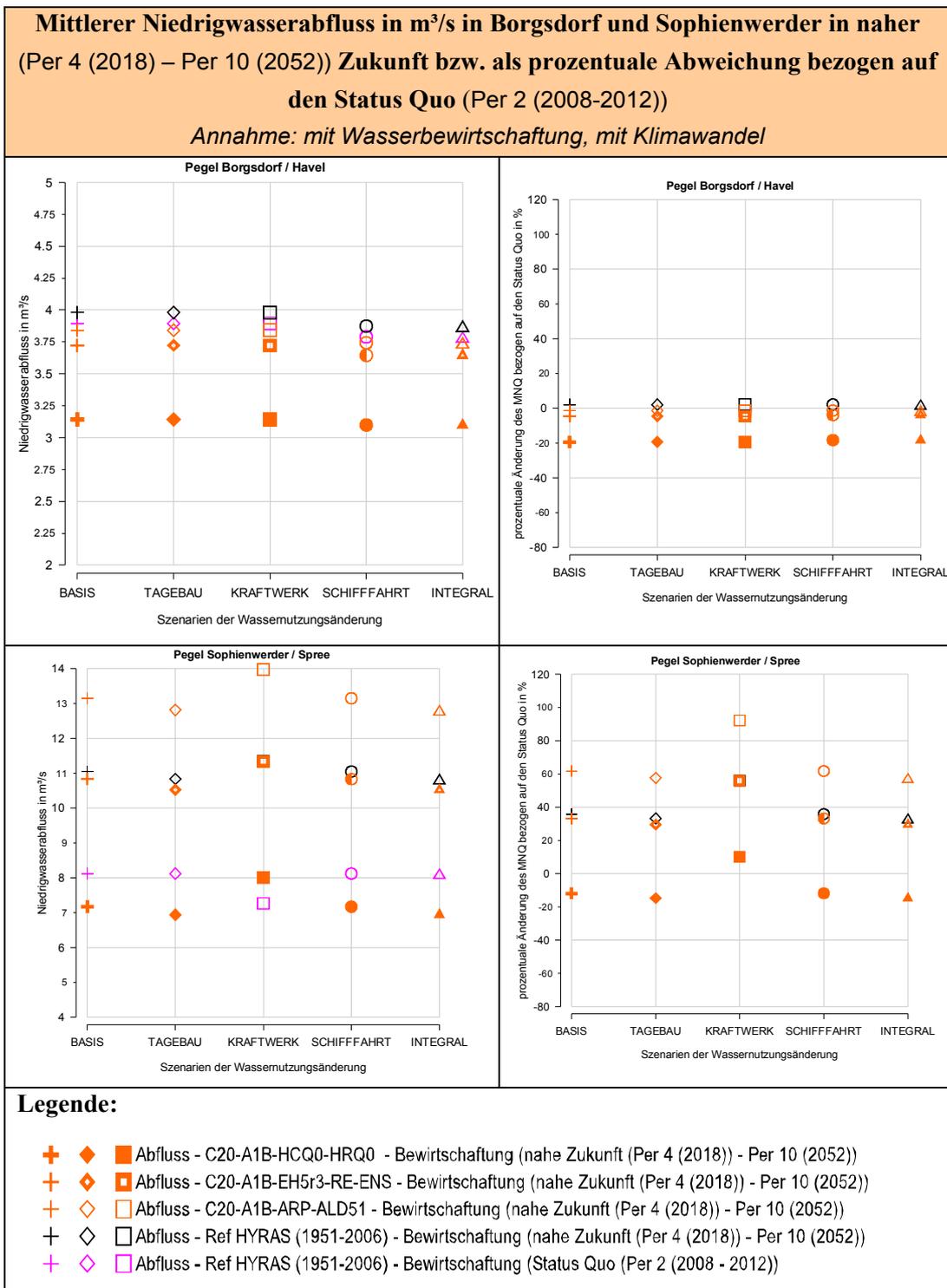
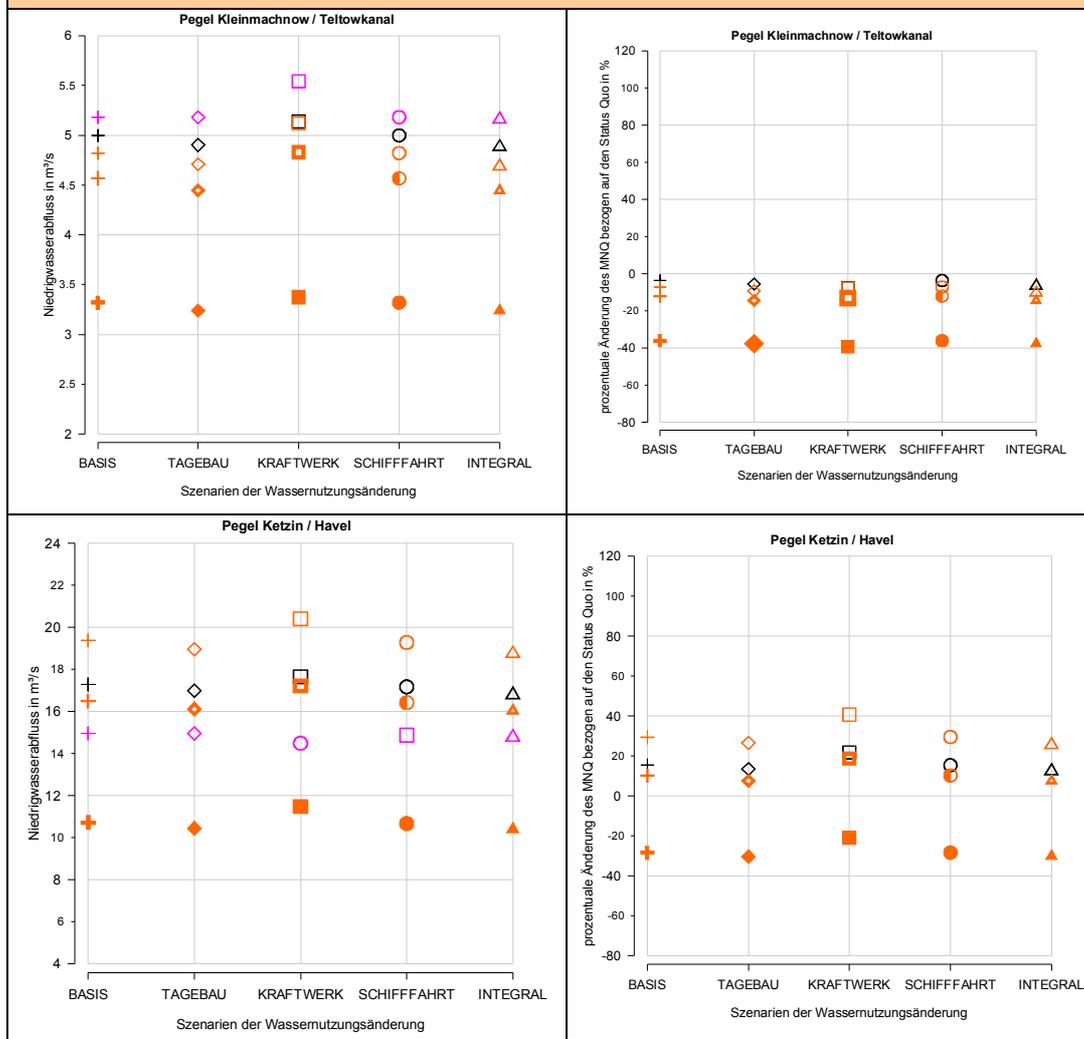


Abb. 5.27 Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete Niedrigwasserabflüsse an ausgewählten Pegeln in der nahen Zukunft unter Annahme verschiedener Wassernutzungsszenarien und Klimawandelprojektionen sowie entsprechende prozentuale Änderung des MNQ bezogen auf den Status Quo. Die deutsche Modellkette führt zu fast keiner Veränderung. Die englische Modellkette führt zu einem Rückgang und die französische Modellkette zu einem Anstieg der mittleren Niedrigwasserabflüsse in der nahen Zukunft bezogen auf den Status Quo, außer bei den Pegeln Borgsdorf und Kleinmachnow.

Fortsetzung der Abbildung:

Mittlerer Niedrigwasserabfluss in m³/s in Kleinmachnow OP und Ketzin in naher (Per 4 (2018) – Per 10 (2052)) Zukunft bzw. als prozentuale Abweichung bezogen auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012))
Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, mit Klimawandel



Legende:

- + ◆ ■ Abfluss - C20-A1B-HCQ0-HRQ0 - Bewirtschaftung (nahe Zukunft (Per 4 (2018)) - Per 10 (2052))
- + ◆ ■ Abfluss - C20-A1B-EH5r3-RE-ENS - Bewirtschaftung (nahe Zukunft (Per 4 (2018)) - Per 10 (2052))
- + ◆ ■ Abfluss - C20-A1B-ARP-ALD51 - Bewirtschaftung (nahe Zukunft (Per 4 (2018)) - Per 10 (2052))
- + ◆ ■ Abfluss - Ref HYRAS (1951-2006) - Bewirtschaftung (nahe Zukunft (Per 4 (2018)) - Per 10 (2052))
- + ◆ ■ Abfluss - Ref HYRAS (1951-2006) - Bewirtschaftung (Status Quo (Per 2 (2008 - 2012)))

Zusammenfassung ist festzustellen (Ergebnisdarstellung in Abb. 5.27 und Tabelle 5.10), dass die **mittleren Niedrigwasserabflüsse** in Sophienwerder in der französischen Modellkette (außer KRAFTWERK) um ca. 60 % (von zum Beispiel 25 m³/s auf 29 m³/s im Szenario BASIS) **ansteigen**. In Ketzin zeigt sich der gleiche Effekt, nur das der Anstieg hier bei ca. 30 % (von zum Beispiel 15 m³/s auf 19 m³/s im Szenario BASIS) liegt (außer KRAFTWERK).

Ein **Rückgang** ist an beiden Pegeln in der **englischen Modellkette** um ca. 12 % in Sophienwerder (von 8 m³/s auf 7 m³/s im Szenario BASIS) bzw. ca. 27 % in Ketzin (von 15 m³/s auf 11 m³/s) zu verzeichnen. Die deutsche Modellkette führt ebenso wie die französische Modellkette zu einem Anstieg der Niedrigwasserabflüsse, wobei dieser Anstieg bei der deutschen Modellkette nicht so stark ausgeprägt ist wie in der französischen Modellkette.

Die mittleren **Niedrigwasserabflüsse** an den Pegeln Borgsdorf und Kleinmachnow reduzieren sich bei allen Klimawandelszenarien. Die stärksten Rückgänge sind in der englischen Modellkette festzustellen. Dieser Effekt wird auch bei den anderen beiden Pegeln deutlich. Der Rückgang der mittleren Niedrigwasserabflüsse in Borgsdorf in der deutschen Modellkette mit bis zu 4 % wird als schwach angesehen. Der Rückgang der Niedrigwasserabflüsse am Pegel Kleinmachnow ist stärker (mit bis 14 % in der deutschen Modellkette). Diese gegensätzliche Verhalten bei der französischen und deutschen Modellkette am Pegel Kleinmachnow zu der Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse am Pegel Sophienwerder und Ketzin könnte an der Steuerung der Abflüsse in Berlin liegen.

Tabelle 5.10 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten Niedrigwasserabflüssen an ausgewählten Pegeln im Havel-Spreegebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Dargestellt sind die Ergebnisse für vier Pegel. Die Ergebnisse basieren auf unterschiedlichen Wassernutzungsszenarien und verschiedenen Klimaszenarien. Es einheitliches Bild ist nicht erkennbar.

Mittlerer Niedrigwasserabfluss von ausgewählten Pegeln in naher (Per 4 (2018) – Per 10 (2052)) Zukunft als prozentuale Abweichung bezogen auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012))						
<i>Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, mit Klimawandel</i>						
Pegel	Borgsdorf			Sophienwerder		
Wasser- nutzungs- szenario	ARP- ALD51	EH5r3-RE -ENS	HCQ0- HRQ0	ARP- ALD51	EH5r3-RE- ENS	HCQ0- HRQ0
	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette
	[%]					
BASIS	-1	-4	-19	62	33	-12
TAGE- BAU	-1	-4	-19	58	30	-15
KRAFT- WERK	-1	-4	-19	92	56	10
SCHIFF- FAHRT	-1	-4	-18	62	33	-12
INTE- GRAL	-1	-4	-18	58	30	-15

Pegel	Kleinmachnow OP			Ketzin		
Wasser- nutzungs- szenario	ARP- ALD51	EH5r3-RE -ENS	HCQ0- HRQ0	ARP- ALD51	EH5r3-RE- ENS	HCQ0- HRQ0
	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette
	[%]					
BASIS	-7	-12	-36	29	10	-28
TAGE- BAU	-9	-14	-37	27	8	-30
KRAFT- WERK	-8	-13	-39	41	19	-21
SCHIFF- FAHRT	-7	-12	-36	30	10	-28
INTE- GRAL	-9	-14	-37	27	8	-30

5.6.3.3 Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse der Zuflusspegel zur Haltung Brandenburg sowie des Pegels Ketzin in der fernen Zukunft

In der Abb. 5.28 ist die prozentuale Änderung der **bewirtschafteten mittleren Abflüsse** der Pegel Borgsdorf, Sophienwerder, Kleinmachnow und Ketzin (aus jeweils 300 stochastischen Realisierungen stammend) **in der fernen (2068-2102) Zukunft** (resultierend aus der Spannweite der gewählten Klimaprojektionen und den zugrunde liegenden Wassernutzungsszenarien BASIS, TAGEBAU, KRAFTWERK, SCHIFFFAHRT, INTEGRAL) bezogen auf den Status Quo (2008-2012) dargestellt.

Diese Leeseite wurde eingesetzt, damit die nachfolgenden Abbildungen zum Mittel- und zum Niedrigwasser jeweils auf einem Blick (ohne Umblättern) zu erkennen sind.

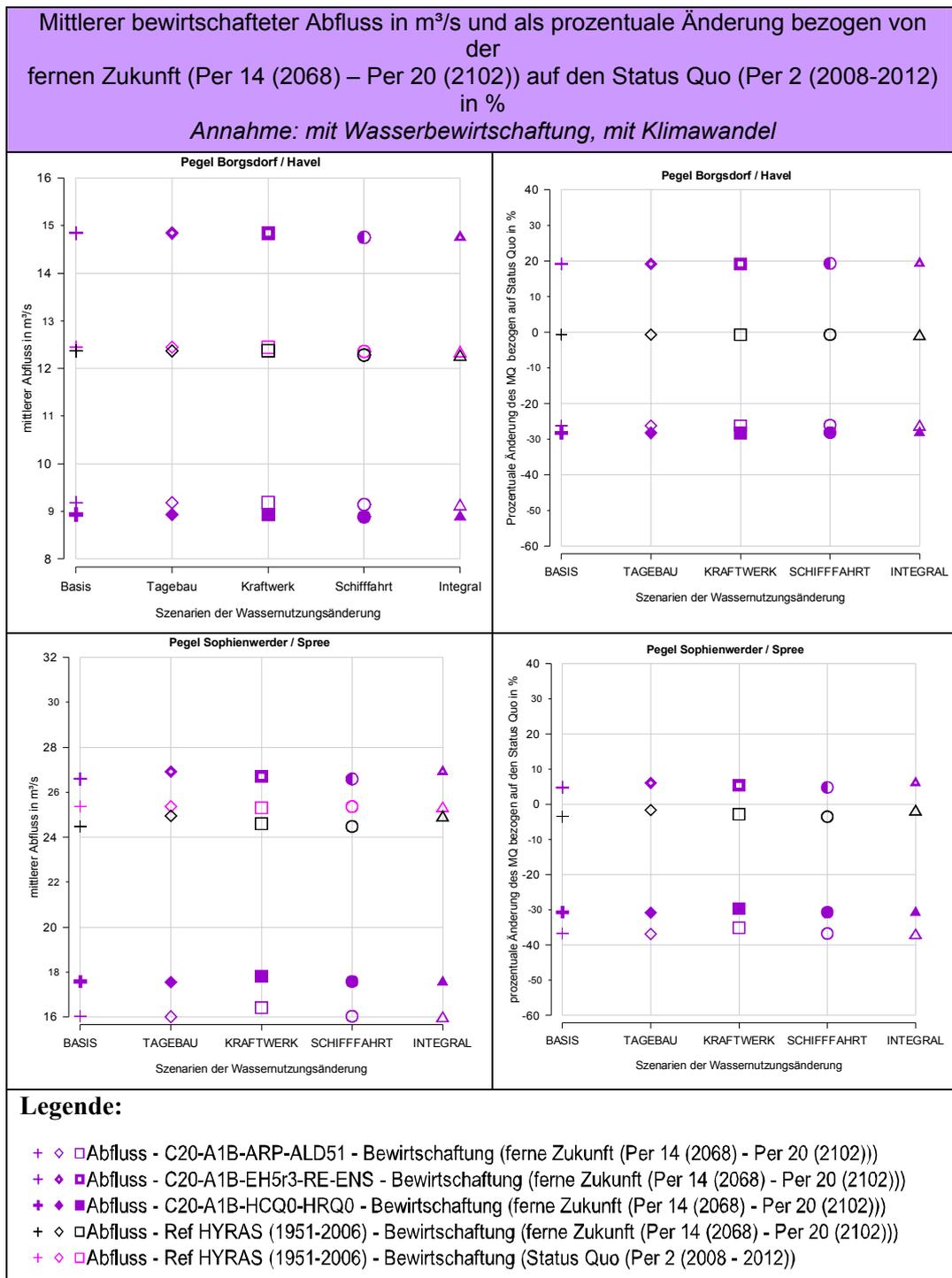
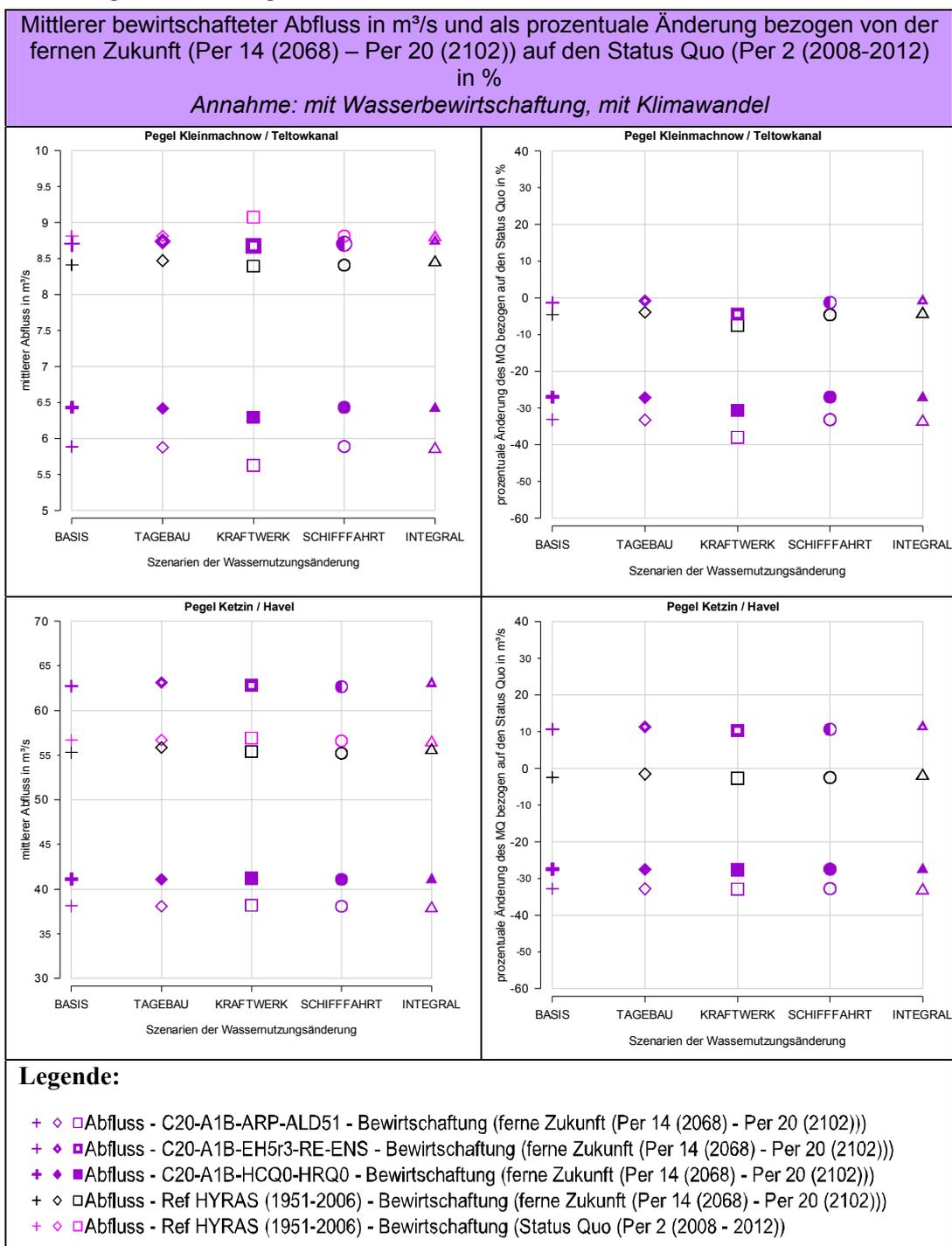


Abb. 5.28 Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete Abflüsse an ausgewählten Pegeln in der fernen Zukunft unter Annahme verschiedener Wassernutzungs- und Klimawandelszenarien und entsprechende prozentuale Änderung des MQ bezogen auf den Status Quo. Die deutsche Modellkette führt zu einem Anstieg der mittleren Abflüsse, außer am Pegel Kleinmachnow. Die französische wie auch die englische Modellkette führen zu einem Rückgang der mittleren Abflüsse.

Fortsetzung der Abbildung:



Die Entwicklung der mittleren bewirtschafteten Abflüsse auf der Grundlage von fünf Wassernutzungsszenarien gekoppelt mit drei Klimawandelszenarien (Abb. 5.28 und Tabelle 5.11) zeigt einen **Rückgang der mittleren Abflüsse in der fernen Zukunft** (jeweils mit Bezug zum Status Quo) an allen ausgewählten Pegeln der **französischen Modellkette** mit einer Spannweite von ca. -26 % (Borgsdorf von ca. 12 m³/s auf 9 m³/s) bis ca. -37 % (Sophienwerder von 25 m³/s auf 16 m³/s). Die **deutsche Modellkette** führt zu einem **Anstieg der mittleren Abflüsse**, außer am Pegel Kleinmachnow. Die **englische Modellkette** führt wie auch die französische Modellkette zu einem **Rückgang der mittleren Abflüsse**, wobei die Rückgänge mit einer Spannweite (außer am Pegel Borgsdorf) von -27 % (Ketzin von 57 m³/s auf 41 m³/s) bis -30% (Sophienwerder von 25 m³/s auf ca. 18 m³/s) etwas geringer sind als bei der französischen Modellkette. Am Pegel Borgsdorf reduzieren sich die mittleren bewirtschafteten Abflüsse in der französischen und englischen Modellkette fast um das gleiche Niveau.

Tabelle 5.11 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten Abflüssen an ausgewählten Pegeln im Havel-Spreegebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Dargestellt sind die Ergebnisse für vier Pegel. Die Ergebnisse basieren auf unterschiedlichen Wassernutzungsszenarien und verschiedenen Klimaszenarien. Die deutsche Modellkette führt zu einem Anstieg der mittleren Abflüsse, außer am Pegel Kleinmachnow. Die französische wie auch die englische Modellkette führen zu einem Rückgang der mittleren Abflüsse.

Mittlerer bewirtschafteter Abfluss als prozentuale Änderung bezogen von der fernen Zukunft (Per 14 (2068) – Per 20 (2102)) auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012)) in %						
<i>Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, mit Klimawandel</i>						
Pegel	Borgsdorf			Sophienwerder		
Wassernutzungsszenario	ARP-ALD51	EH5r3-RE-ENS	HCQ0-HRQ0	ARP-ALD51	EH5r3-RE-ENS	HCQ0-HRQ0
	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette
[%]						
BASIS	-26	19	-28	-37	5	-31
TAGEBAU	-26	19	-28	-37	6	-31
KRAFTWERK	-26	19	-28	-35	5	-30
SCHIFFFAHRT	-26	19	-28	-37	5	-31
INTEGRAL	-26	19	-28	-37	6	-31

Pegel	Kleinmachnow OP			Ketzin		
Wassernutzungsszenario	ARP-ALD51	EH5r3-RE-ENS	HCQ0-HRQ0	ARP-ALD51	EH5r3-RE-ENS	HCQ0-HRQ0
	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette
[%]						
BASIS	-33	-1	-27	-33	11	-27
TAGEBAU	-33	-1	-27	-33	11	-27
KRAFTWERK	-38	-4	-31	-33	10	-28
SCHIFFFAHRT	-33	-1	-27	-33	11	-27
INTEGRAL	-33	-1	-27	-33	11	-27

In Abb. 5.29 ist die prozentuale Änderung der **bewirtschafteten mittleren Niedrigwasserabflüsse** der Pegel Borgsdorf, Sophienwerder, Kleinmachnow und Ketzin (aus jeweils 300 stochastischen Realisierungen stammend) **in der fernen Zukunft** (resultierend aus der Spannweite der gewählten Klimaprojektionen und den zugrunde liegenden Wassernutzungsszenarien BASIS, TAGEBAU, KRAFTWERK, SCHIFFFAHRT, INTEGRAL) bezogen auf den Status Quo (2008-2012) dargestellt.

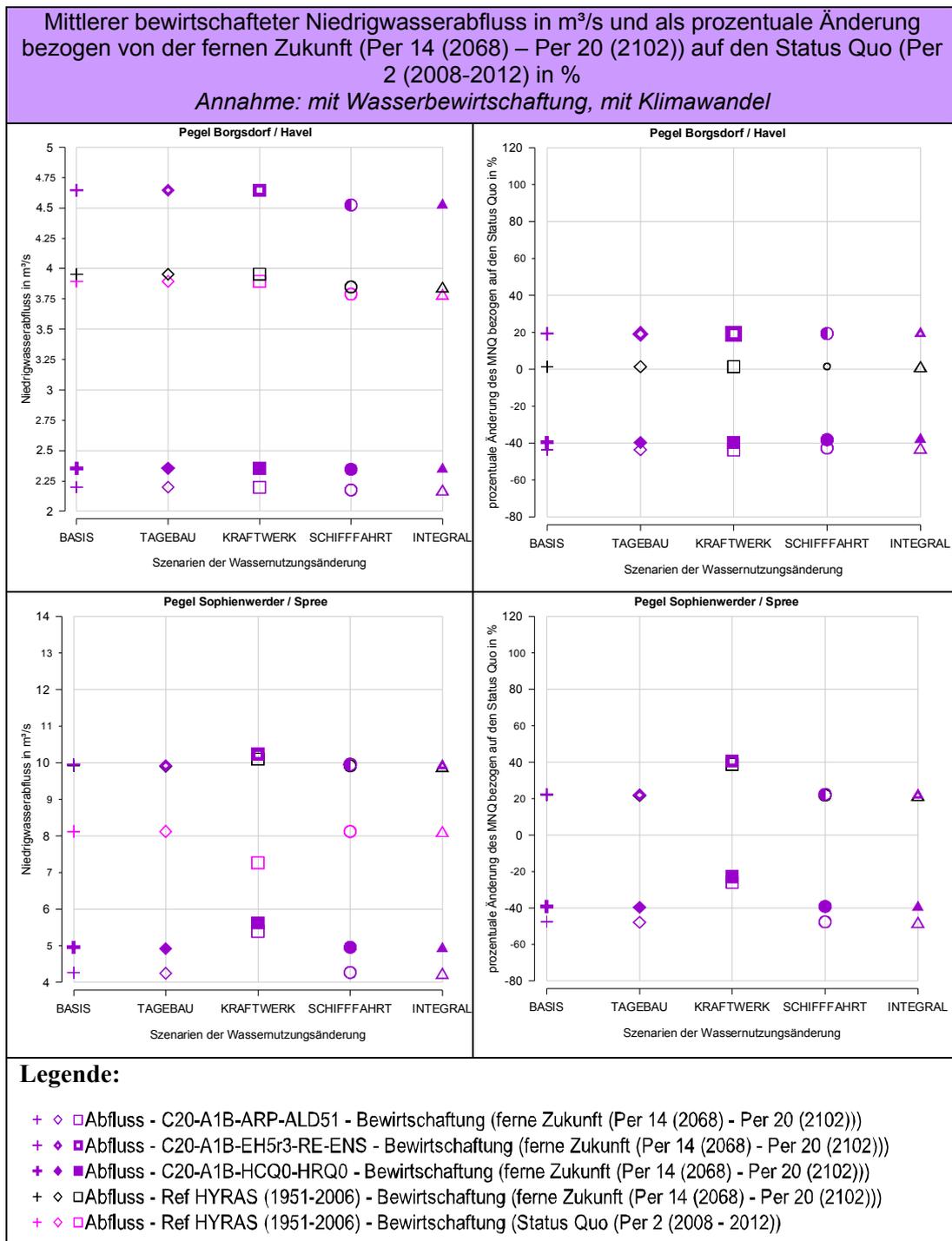
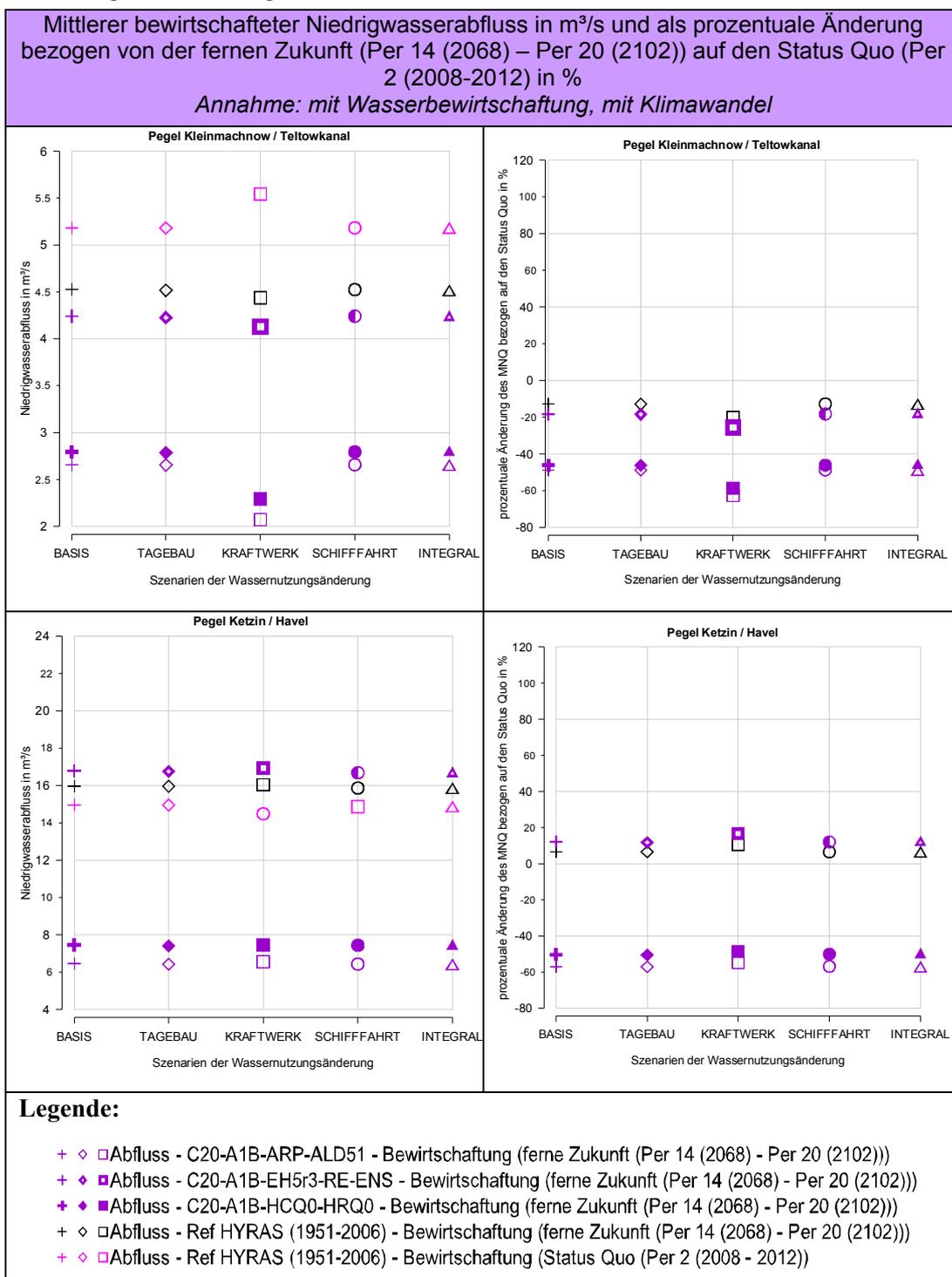


Abb. 5.29 Aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelte mittlere bewirtschaftete Niedrigwasserabflüsse an ausgewählten Pegeln in der fernen Zukunft unter Annahme verschiedener Wassernutzungs- und Klimawandelszenarien und entsprechende prozentuale Änderung des MNQ bezogen auf den Status Quo. Die deutsche Modellkette führt zu einem Anstieg der mittleren Niedrigwasserabflüsse (außer am Pegel Kleinmachnow). Die französische Modellkette führt bei allen Pegeln zu den stärksten Rückgängen.

Fortsetzung der Abbildung:



In Abb. 5.29 und Tabelle 5.12 ist die Entwicklung der bewirtschafteten mittleren Niedrigwasserabflüsse auf der Basis von fünf Wassernutzungsszenarien, die jeweils mit drei Klimawandelprojektionen gekoppelt sind, dargestellt. Erkennbar ist der **Rückgang der Niedrigwasserabflüsse** in der fernen Zukunft an allen ausgewählten Pegeln (Borgsdorf, Sophienwerder, Kleinmachnow und Ketzin) in der **französischen und englischen Modellkette**.

Die Rückgänge in der englischen Modellkette betragen in Sophienwerder (außer KRAFTWERK) - 39% (von ca. 8 m³/s auf 5 m³/s) und in Ketzin - 50 % (von 15 m³/s auf 7,5 m³/s). Sie sind damit geringer als in der französischen Modellkette (-47 % in Sophienwerder von ca. 8 m³/s auf 4 m³/s (außer KRAFTWERK), - 57 % in Ketzin von 15 m³/s auf 6,5 m³/s).

Die **deutsche Modellkette** führt bei allen Pegeln (**außer Kleinmachnow**) zu einem **Anstieg der Niedrigwasserabflüsse** (außer KRAFTWERK) von ca. 12 %s (Ketzin von 16,5 m³/s auf 16,8 m³/s, Szenario BASIS) bis 23 % (Sophienwerder von 8 m³/s auf 10 m³/s, Szenario BASIS). Am Pegel Kleinmachnow ist wahrscheinlich aufgrund der Steuerung der Abflüsse in Berlin auch in der fernen Zukunft in der deutschen Modellkette ein Rückgang der Niedrigwasserabflüsse zu erkennen.

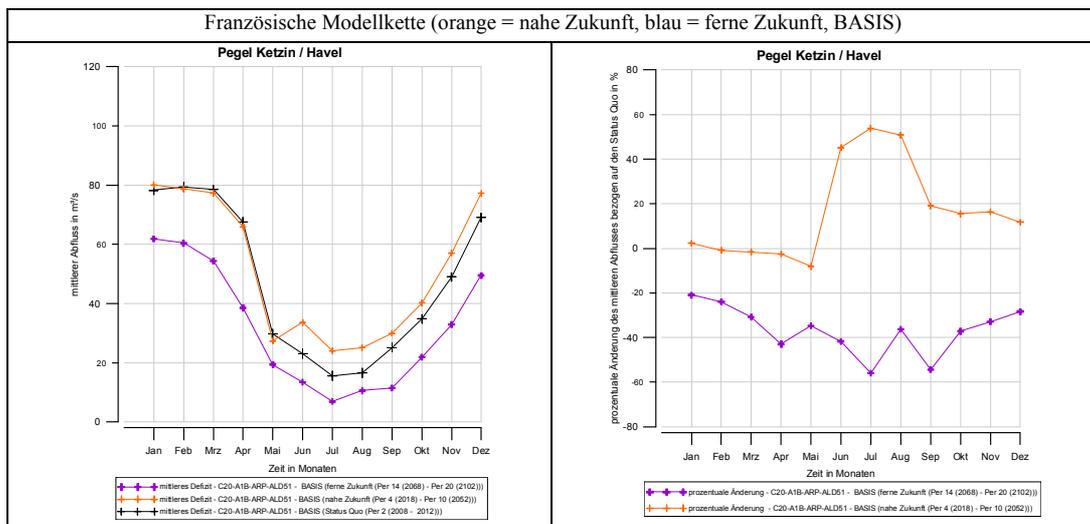
Tabelle 5.12 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten Abflüssen an ausgewählten Pegeln im Havel-Spreegebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Dargestellt sind die Ergebnisse für vier Pegel. Die Ergebnisse basieren auf unterschiedlichen Wassernutzungsszenarien und verschiedenen Klimaszenarien. Die englische und französische Modellkette führen zu einem Rückgang der Niedrigwasserabflüsse. Die deutsche Modellkette führt (außer am Pegel Kleinmachnow) zu einem Anstieg der Niedrigwasserabflüsse.

Mittlerer bewirtschafteter Niedrigwasserabfluss als prozentuale Änderung bezogen von der fernen Zukunft (Per 14 (2068) – Per 20 (2102)) auf den Status Quo (Per 2 (2008-2012)) in %						
<i>Annahme: mit Wasserbewirtschaftung, mit Klimawandel</i>						
Pegel	Borgsdorf			Sophienwerder		
Wassernutzungsszenario	ARP-ALD51	EH5r3-RE-ENS	HCQ0-HRQ0	ARP-ALD51	EH5r3-RE-ENS	HCQ0-HRQ0
	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette
[%]						
BASIS	-44	19	-40	-47	23	-39
TAGEBAU	-44	19	-40	-48	22	-39
KRAFTWERK	-44	19	-40	-26	41	-23
SCHIFFFAHRT	-43	19	-38	-47	23	-39
INTEGRAL	-43	19	-38	-48	22	-39

Pegel	Kleinmachnow OP			Ketzin		
Wassernutzungsszenario	ARP-ALD51	EH5r3-RE-ENS	HCQ0-HRQ0	ARP-ALD51	EH5r3-RE-ENS	HCQ0-HRQ0
	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette	Französische Modellkette	Deutsche Modellkette	Englische Modellkette
[%]						
BASIS	-49	-18	-46	-57	12	-50
TAGEBAU	-49	-18	-46	-57	12	-50
KRAFTWERK	-63	-25	-59	-55	17	-48
SCHIFFFAHRT	-49	-18	-46	-57	12	-50
INTEGRAL	-49	-18	-46	-57	12	-50

5.6.3.4 Saisonalen Betrachtungen zum Pegel Ketzin

Neben den Auswertungen zu den Jahreswerten wurden auch saisonale Betrachtungen durchgeführt. So zeigt Abb. 5.30 die prozentuale Änderung der bewirtschafteten mittleren monatlichen Abflüsse am Pegel Ketzin (jeweils aus 300 Realisierungen) im Status Quo (Variante BASIS), in der nahen und in der fernen Zukunft für die gewählten Klimawandelszenarien. Auffällig ist der Jahresgang der französischen Modellkette, der in den Monaten Juni bis Dezember zu einer Verbesserung der mittleren monatlichen Abflüsse in der nahen Zukunft führt. Die englische Modellkette führt im selben Zeitraum zu einem Rückgang der mittleren monatlichen Abflüsse in den Monaten von März bis November. Die deutsche Modellkette führt in den Monaten Februar bis Mai sowie August zu einem Rückgang der Monatsabflüsse und in den übrigen Monaten zu einem Anstieg. In der fernen Zukunft zeigt sowohl die französische als auch die englische Modellkette einen Rückgang der monatliche Abflüsse um bis zu ca. 60% in den Sommermonaten. Die deutsche Modellkette führt dagegen zu einem Anstieg in den meisten Monaten.



Fortsetzung:

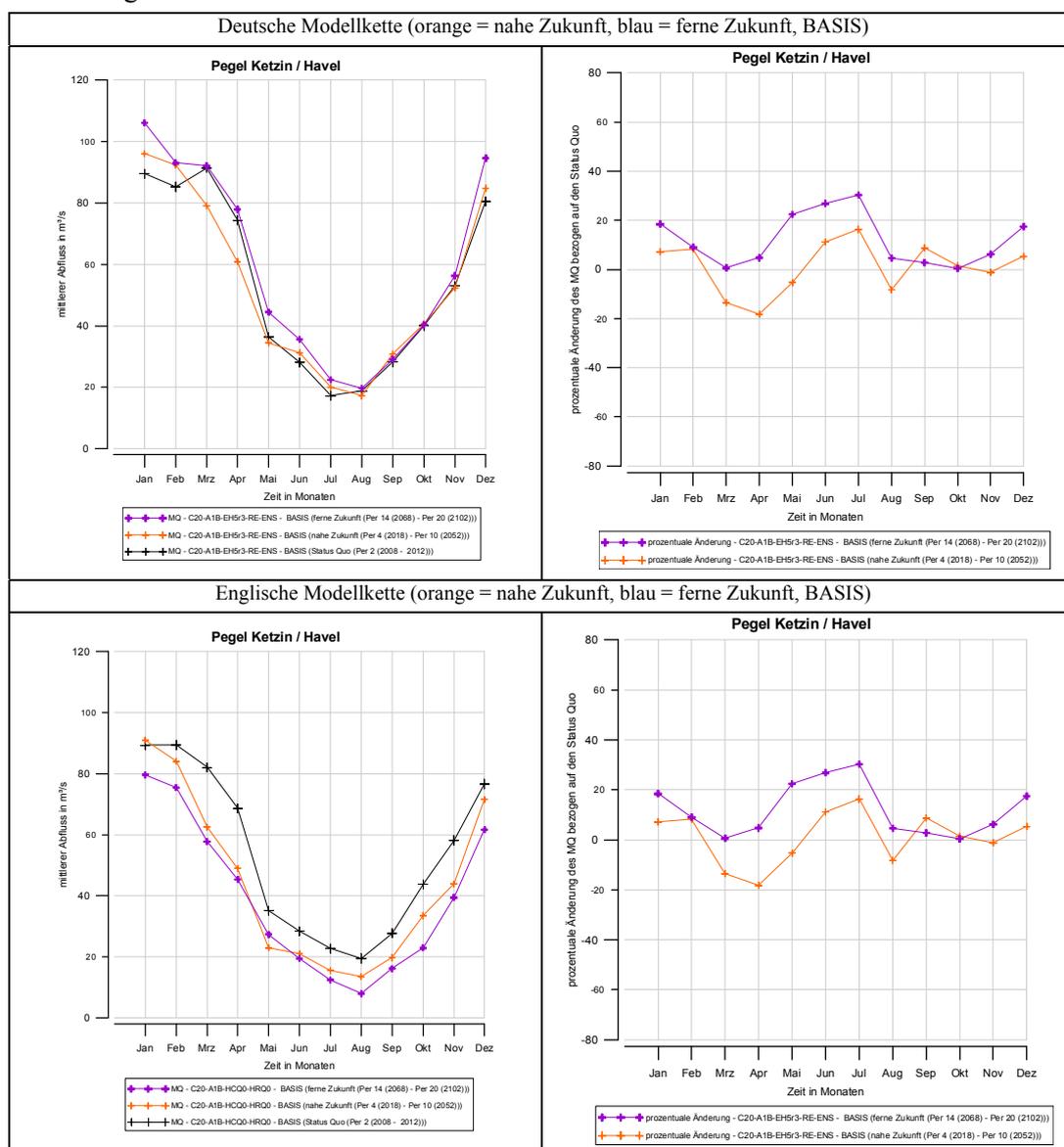
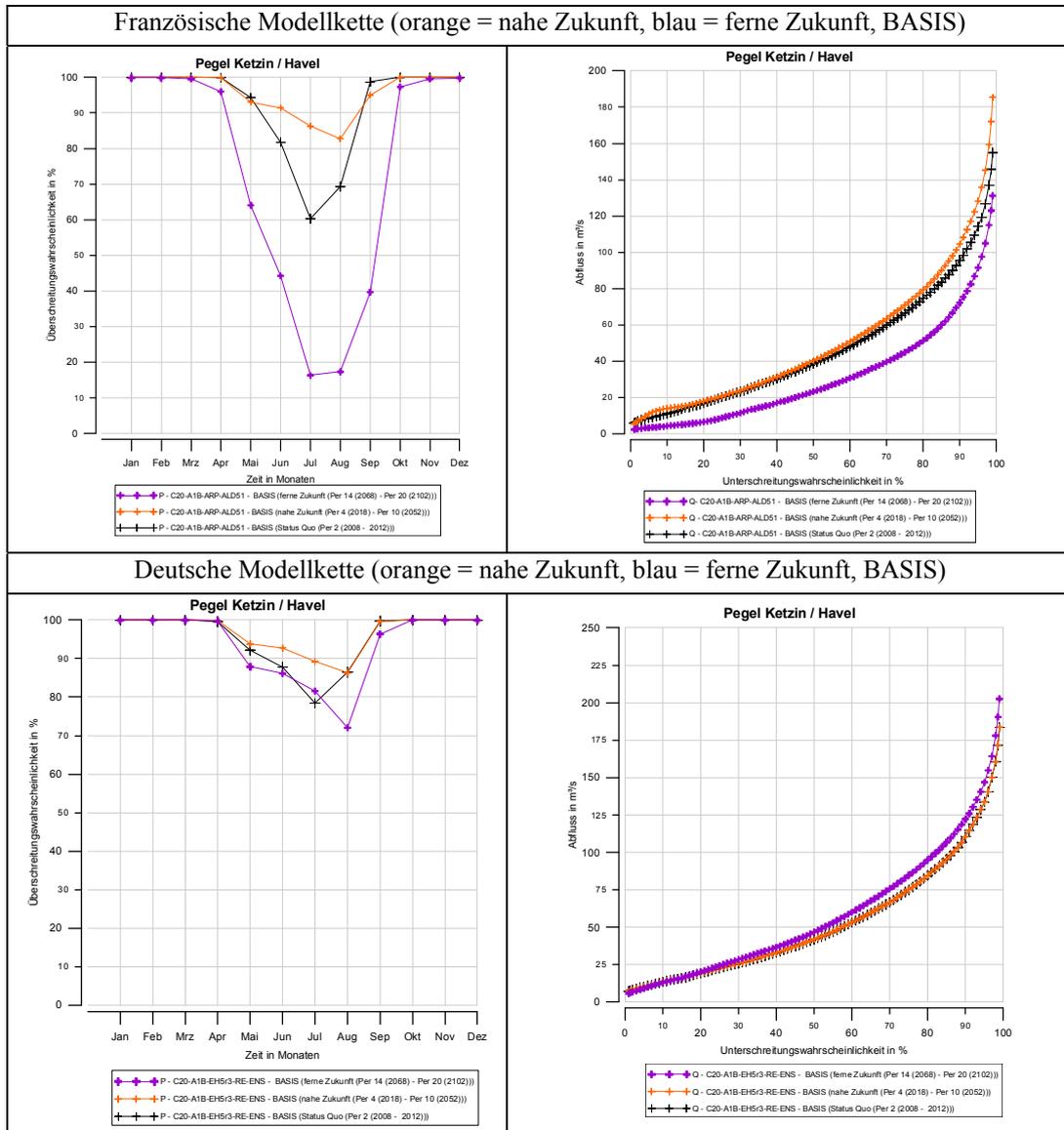


Abb. 5.30 Innerjährliche Betrachtungen der Veränderungen am Pegel Ketzin (mittlere monatliche Abflüsse aus jeweils 300 stochastischen Realisierungen) im Status Quo, in der nahen (2014-2052) in der fernen (2068-2102) Zukunft (resultierend aus den Klimaprojektionen sowie dem zugrunde liegenden Wassernutzungsszenario BASIS). Die stärksten positiven Veränderungen sind im Sommer bei der französischen Modellkette in der nahen Zukunft festzustellen. In der fernen Zukunft führt nur die deutsche Modellkette zu einem Anstieg der mittleren monatlichen Abflüsse.

In der nachfolgenden Abb. 5.31 sind für den Pegel Ketzin/Havel die monatlichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten des Abflussschwellenwertes von 10 m³/s (linke Abbildungen und die entsprechenden Dauerlinien (rechte Abbildungen) für die gewählten Klimaprojektionen und für das Wasserbewirtschaftungsszenario BASIS für die Auswertungszeiträume Status Quo, nahe und ferne Zukunft dargestellt. Eine Verbesserung der Abflussverhältnisse ist im Sommer der nahen Zukunft sowohl in der französischen als

auch in der deutschen Modellkette zu erkennen. Die englische Modellkette führt zu einer Verschlechterung der Abflussverhältnisse im Sommer. In der fernen Zukunft führen alle Modellketten im Sommer zu einer Verschlechterung der Abflussverhältnisse.



Fortsetzung:

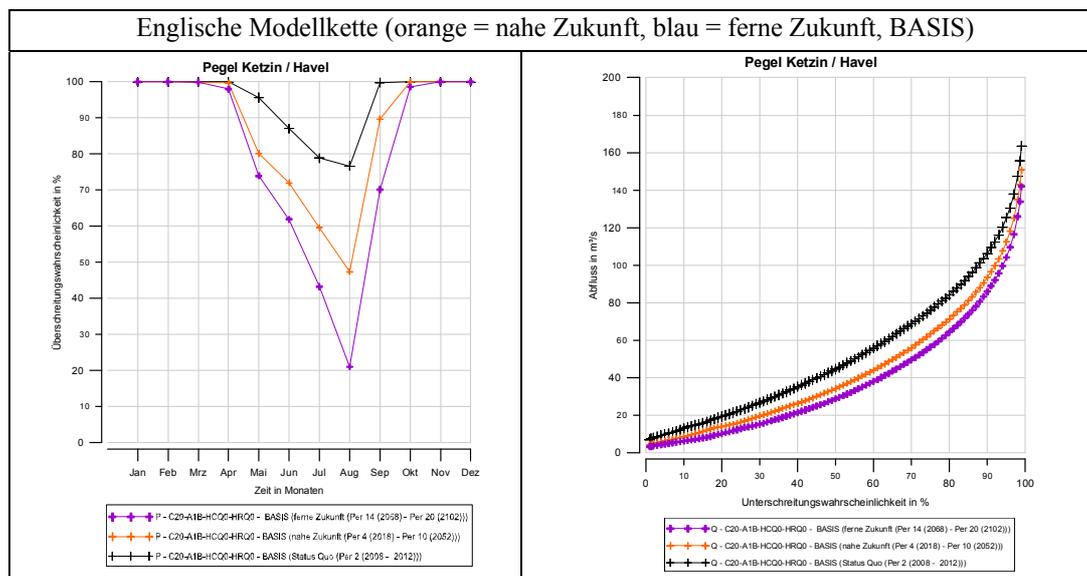


Abb. 5.31 Innerjährliche Betrachtungen zum Pegel Ketzin. Dargestellt sind Überschreitungswahrscheinlichkeiten eines Abflussgrenzwertes von 10 m³/s und Dauerlinien jeweils für den Status Quo, für die ferne und nahe Zukunft basierend auf drei Klimaszenarien und dem Wassernutzungsszenario BASIS. Verbesserung der Abflussverhältnisse im nahen Sommer in der französischen und deutschen Modellkette. Die englische Modellkette führt zu einer Verschlechterung der sommerlichen Abflüsse der nahen Zukunft. In der fernen Zukunft führen alle Modellketten zu einer Verschlechterung der Abflussverhältnisse.

5.6.3.5 Zusammenfassung: Veränderung der bewirtschafteten Abflüsse der Zuflusspegel zur Haltung Brandenburg in der nahen und fernen Zukunft (mit Bewirtschaftung, mit Klimawandel)

Die Zusammenfassung erfolgt für die **Abflussentwicklungen im Mittel- und Niedrigwasserbereich** für die nahe und ferne Zukunft an zwei aussagekräftigen Bilanzprofilen (ebenso wie Abschnitt 5.6.2.5): (1) **Gesamtzufluss der Spree zu Berlin**, als fiktiver Pegel, der sich zusammensetzt aus den Abflüssen an den Pegeln Große Tränke UP, Wernsdorf und Neue Mühle) und (2) Pegel Ketzin/ Untere Havel-Wasserstraße.

Abb. 5.32 zeigt als prozentuale Änderung den **Einfluss der hier angenommenen Bewirtschaftungsszenarien** (BASIS, KRAFTWERK, TAGEBAU, SCHIFFFAHRT, INTEGRAL) auf den Wasserhaushalt im Mittel- und Niedrigwasserbereich sowohl in der nahen als auch in der fernen Zukunft an beiden Bilanzprofilen ohne Einfluss des Klimawandels (schwarze Querstriche, dargestellt bereits in Abb. 5.25). Zusätzlich sind in der Abb. 5.32 die Auswirkungen der gewählten Klimaprojektionen (französische Modellkette, C20-A1B-ARP-ALD51, blaue Querstriche; deutsche Modellkette C20-A1B-

EH5r3_RE-ENS, orange Querstriche und englische Modellkette C20-A1B-HCQ0-HRQ0, hellgrüne Querstriche) für die jeweiligen Bewirtschaftungsszenarien dargestellt.

Die **französische Modellkette** führt zu einem Anstieg der Mittelwasser- und Niedrigwasserabflüsse **in der nahen Zukunft** und unterstützt den bereits nachgewiesenen positiven Effekt der gewählten Bewirtschaftungsszenarien (schwarze Querstriche). Die **englische Modellkette** führt in der nahen Zukunft zu einem **Rückgang der Mittel- und Niedrigwasserabflüsse** und wirkt somit dem positiven Effekt der gewählten Bewirtschaftungsszenarien entgegen. Die Wirkung der **deutschen Modellkette** in der **nahen Zukunft** ist insbesondere am Pegel Ketzin **so gering**, dass der Einfluss der gewählten Wassernutzungsszenarien (schwarze Querstriche) weiterhin bestehen bleibt. Es ist fast keine Verbesserung oder Verschlechterung in den Auswirkungen zu erkennen, die aus dieser Klimaprojektion resultiert.

In der **fernen Zukunft** wird deutlich, dass sowohl durch die **französische** als auch durch die **englische Modellkette**, der teilweise **positive Effekt (im Niedrigwasser)** der gewählten **Wassernutzungsszenarien** auf den Wasserhaushalt **entgegengewirkt** wird. Die Rückgänge in der französischen Modellkette sind stärker als in der englischen Modellkette. Das ist insofern interessant, da die französische Modellkette in der nahen Zukunft noch zu einem Anstieg der Mittel- und Niedrigwasser führt (im Gegensatz zur englischen Modellkette). Die deutsche Modellkette weist auch in der fernen Zukunft einen eher moderaten Einfluss auf. Am Pegel Ketzin sind die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die allein durch die gewählten Wassernutzungsszenarien hervorgerufen werden, in der gleichen Größenordnung wie die Effekt, die durch Wassernutzungsszenarien kombiniert mit der deutschen Modellkette (orange Querstriche) hervorgerufen werden. Lediglich am Bilanzprofil Gesamtzufluss Spree zeigt sich in der fernen Zukunft bei den Niedrigwasserabflüssen eine leichte Dämpfung der positiven Bewirtschaftungseffekte durch die deutsche Modellkette.

Auch hier wird wieder deutlich, dass die **Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Berlin** (wie zum Beispiel die Wassermengenverteilung innerhalb von Berlin in Abhängigkeit des Zuflusses) als auch der Zufluss der **Oberen Havel-Wasserstraße** zu einer Überlagerung und damit **Dämpfung der Einzeleffekte** auf den Wasserhaushalt (bedingt durch Klimawandelprojektionen und Wassernutzungsszenarien) in der Flusstauhavel (repräsentiert durch den Pegel Ketzin) führen.

Die Spannweite der positiven wie negativen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt in der nahen Zukunft liegt am Bilanzprofil Spreegesamtzufluss bei ca. +20 % (mittlere Abflüsse, französische Modellkette) bis -ca. 25 % (mittlere Abflüsse, englische Modellkette) und reduziert sich am Pegel Ketzin auf +15 % (mittlere Abflüsse, französische Modellkette) bis -20 % (mittlere Abflüsse, englische Modellkette). Dieser Effekt ist auch bei den mittleren

Abflüssen in der fernen Zukunft sowie besonders auch bei den Niedrigwasserabflüssen in der nahen und fernen Zukunft zu erkennen.

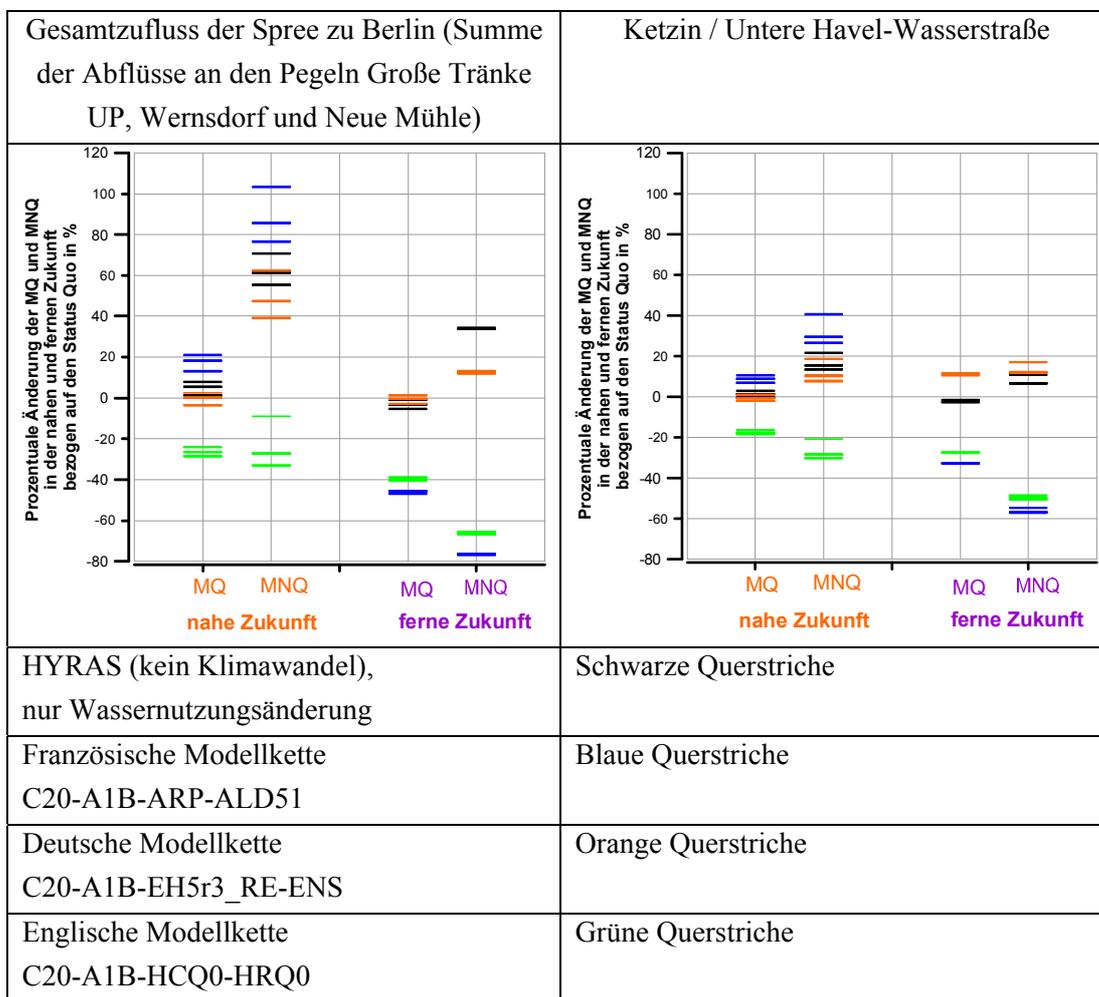


Abb. 5.32 Prozentuale Änderung der aus 300 stochastischen Realisierungen gemittelten bewirtschafteten Abflüssen an ausgewählten Pegeln im Havel-Spreengebiet in der nahen Zukunft, jeweils bezogen auf den Status Quo. Dargestellt sind die Ergebnisse für vier Pegel. Die Ergebnisse basieren auf unterschiedlichen Wassernutzungsszenarien und verschiedenen Klimaszenarien. Die französische Modellkette unterstützt in der nahen Zukunft den positiven Effekt der gewählten Wassernutzungsszenarien im Mittel- und Niedrigwasserbereich. Die englische Modellkette wirkt diesem Effekt in der nahen Zukunft entgegen. In der fernen Zukunft führen sowohl die englische als auch die französische Modellkette zu einem Rückgang der Mittel- und Niedrigwasserabflüsse. Dem positiven Effekt durch die gewählten Wassernutzungsszenarien wird damit entgegen gewirkt. Der Einfluss der deutschen Modellkette ist (insbesondere am Pegel Ketzin) so gering, dass die positiven Effekte durch die gewählten Bewirtschaftungsszenarien weder gemindert noch gesteigert werden. Zu erkennen ist weiterhin die dämpfende Wirkung der Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Berlin und in der Oberen Havel-Wasserstraße auf den Abfluss in Ketzin.

5.6.4 Welchen Effekt können der Klimawandel und die gewählten Wassernutzungsszenarien auf ausgewählte Nutzer haben?

5.6.4.1 Beispiel: Schleusenstandorte

Ausgewertet wurden die mittleren monatlichen Defizite für alle in Abschnitt 5.3.4 dargestellten Schleusenstandorte. In den Abbildungen Abb. 5.33 bis Abb. 5.36 sind die mittleren monatlichen Defizite für die Schleusen Spandau, Mühlendamm, Plötzensee und Schönwalde dargestellt. Die Defizite resultieren aus der gewählten Klimaprojektion und dem Wassernutzungsszenario BASIS. Als Vergleichsgrafik sind die Ergebnisse des Referenzlaufes (HYRAS) dargestellt. In allen Grafiken zeigt sich, dass die deutsche Modellkette nur zu leichten Veränderungen (Verschlechterung in der nahen Zukunft, Verbesserung in der fernen Zukunft) führt. In der fernen Zukunft führen sowohl die französische als auch die englische Modellkette zu einem Anstieg des mittleren monatlichen Defizits, insbesondere in den Sommermonaten. Der Anstieg in der französischen Modellkette ist stärker als in der englischen Modellkette. Eine Ausnahme bildet die Schleuse Schönwalde, welche in den Sommermonaten bereits im Status Quo deutliche Defizite aufweist. Dies ist darin begründet, dass zur Entnahme von Schleusungswasser modelltechnisch zunächst ein Mindestabfluss von $6 \text{ m}^3/\text{s}$ erfüllt sein muss. An den Schleusen Charlottenburg und Kleinmachnow treten keine Defizite auf.

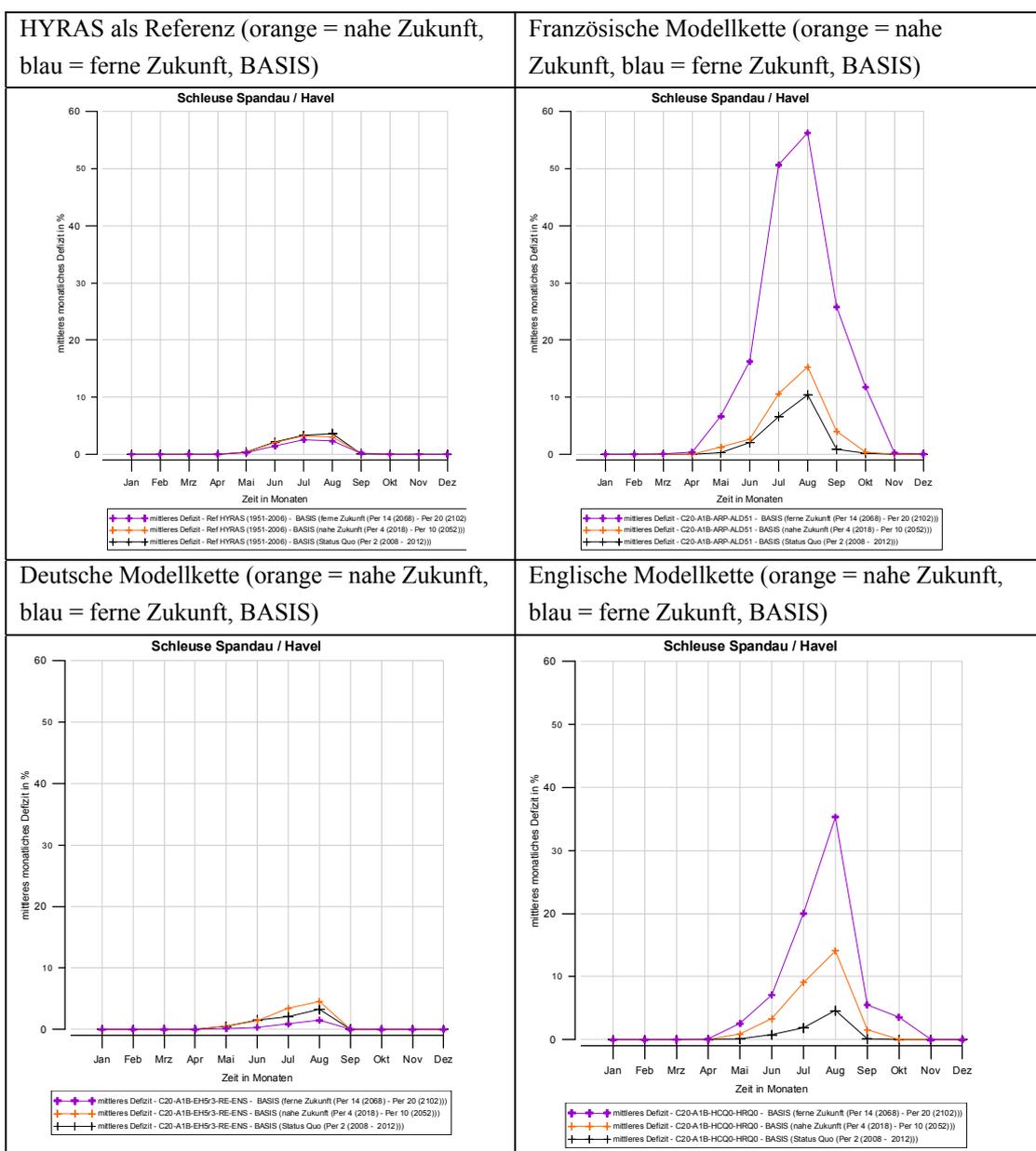


Abb. 5.33

Mittleres monatliches Defizit der Schleuse Spandau auf der Basis der drei Klimaszenarien und auf dem zugrunde liegenden Wassernutzungsszenario BASIS. Abflussänderung infolge Wassernutzungsszenario BASIS ist geringer als die Änderungen infolge des Klimawandels. Die deutsche Modellkette führt zu leichten Veränderungen (Verschlechterung in der nahen Zukunft, Verbesserung in der fernen Zukunft). In der fernen Zukunft führen sowohl die französische als auch die englische Modellkette zu einem Anstieg des mittleren monatlichen Defizits, insbesondere in den Sommermonaten.

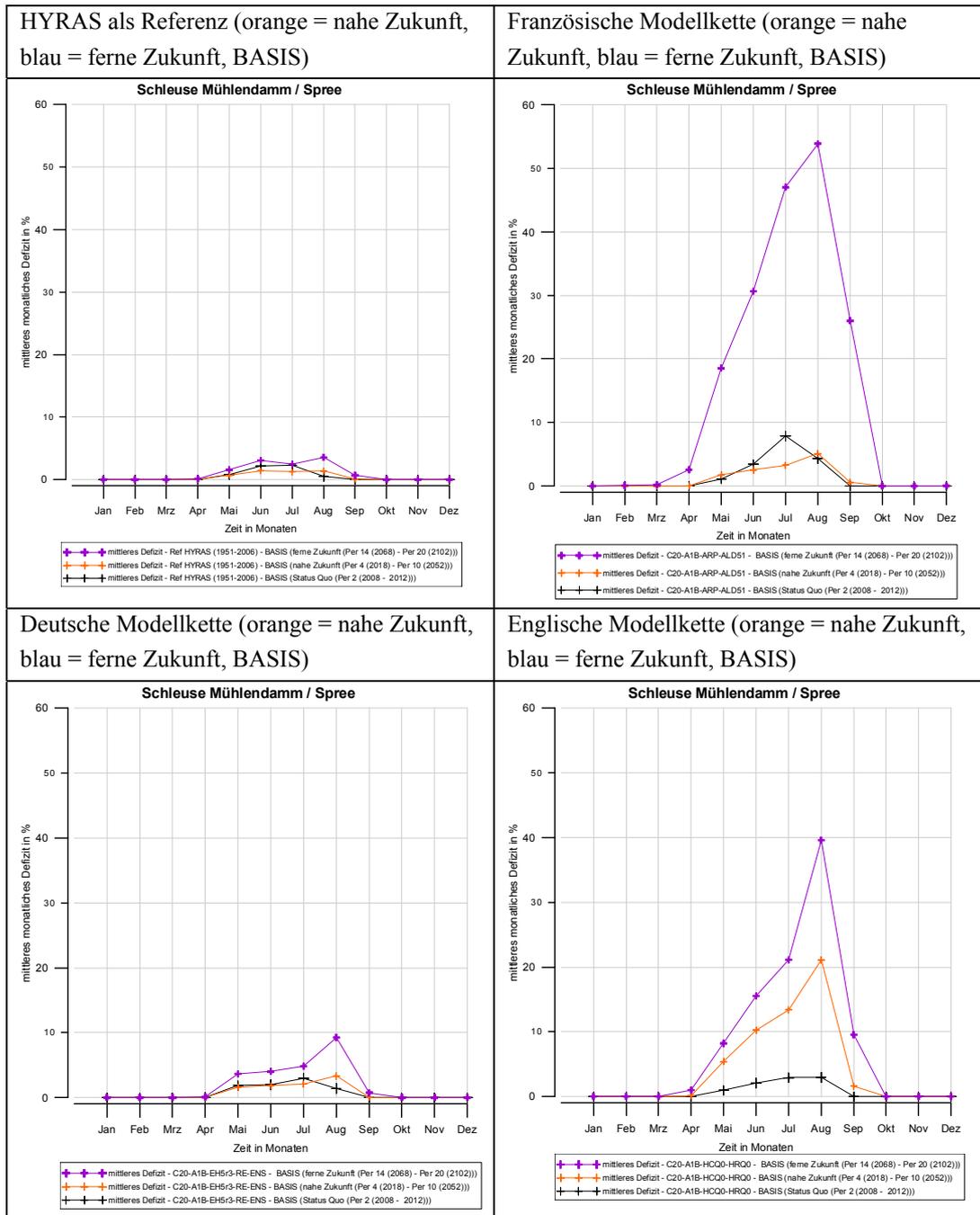


Abb. 5.34 Mittleres monatliches Defizit der Schleuse Mühlendamm auf der Basis der drei Klimaszenarien und auf dem zugrunde liegenden Wassernutzungsszenario BASIS. Die deutsche Modellkette führt zu geringen Veränderungen in der nahen Zukunft und zu leichten Verschlechterungen in der fernen Zukunft. Sowohl die französische als auch die englische Modellkette führen zu einem deutlichen Anstieg des mittleren monatlichen Defizits in der fernen Zukunft, insbesondere in den Sommermonaten.

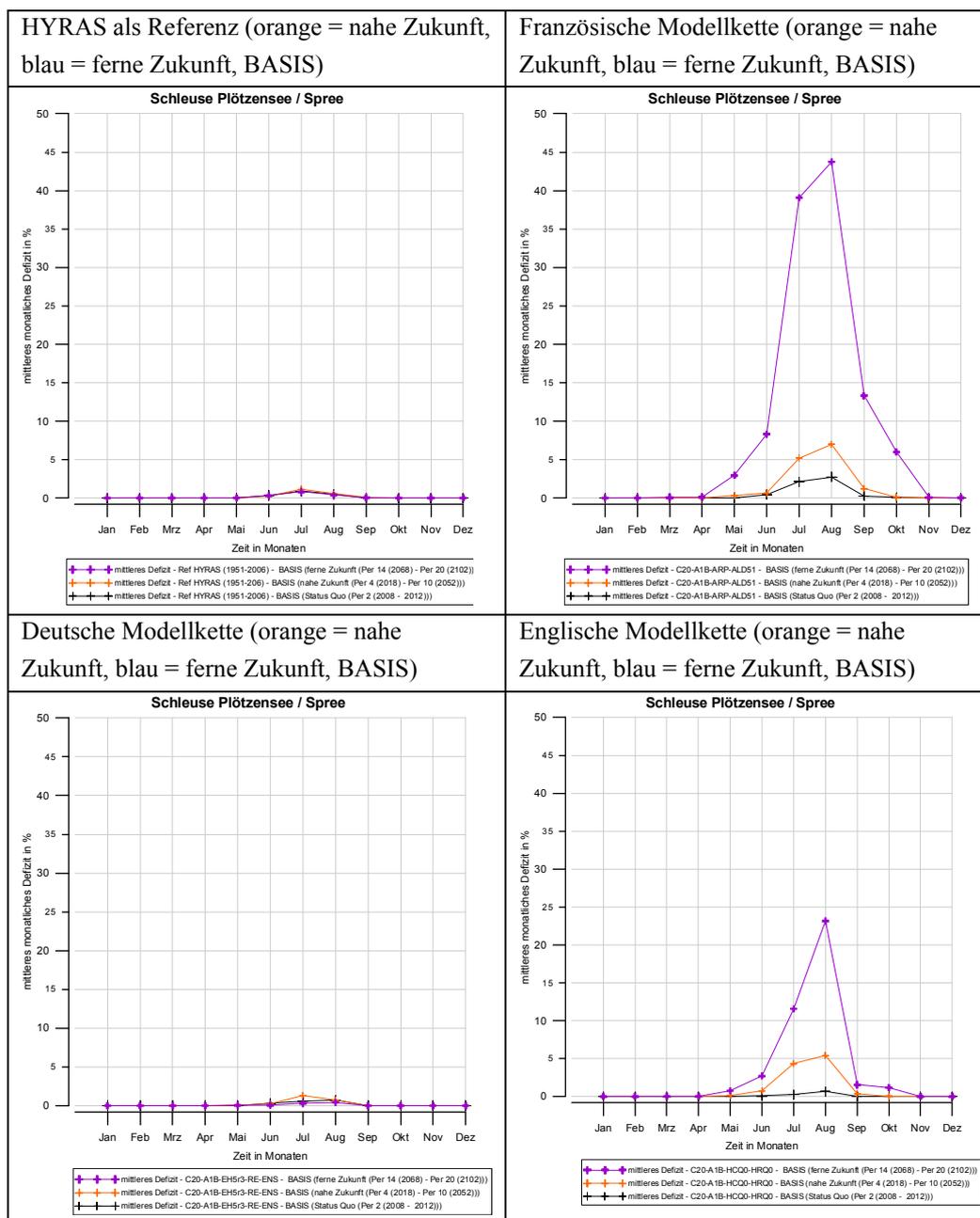


Abb. 5.35 Mittleres monatliches Defizit der Schleuse Plötzensee auf der Basis der drei Klimaszenarien und auf dem zugrunde liegenden Wassernutzungsszenario BASIS. In der fernen Zukunft führen sowohl die französische als auch die englische Modellkette zu einem Anstieg des mittleren monatlichen Defizits, insbesondere in den Sommermonaten.

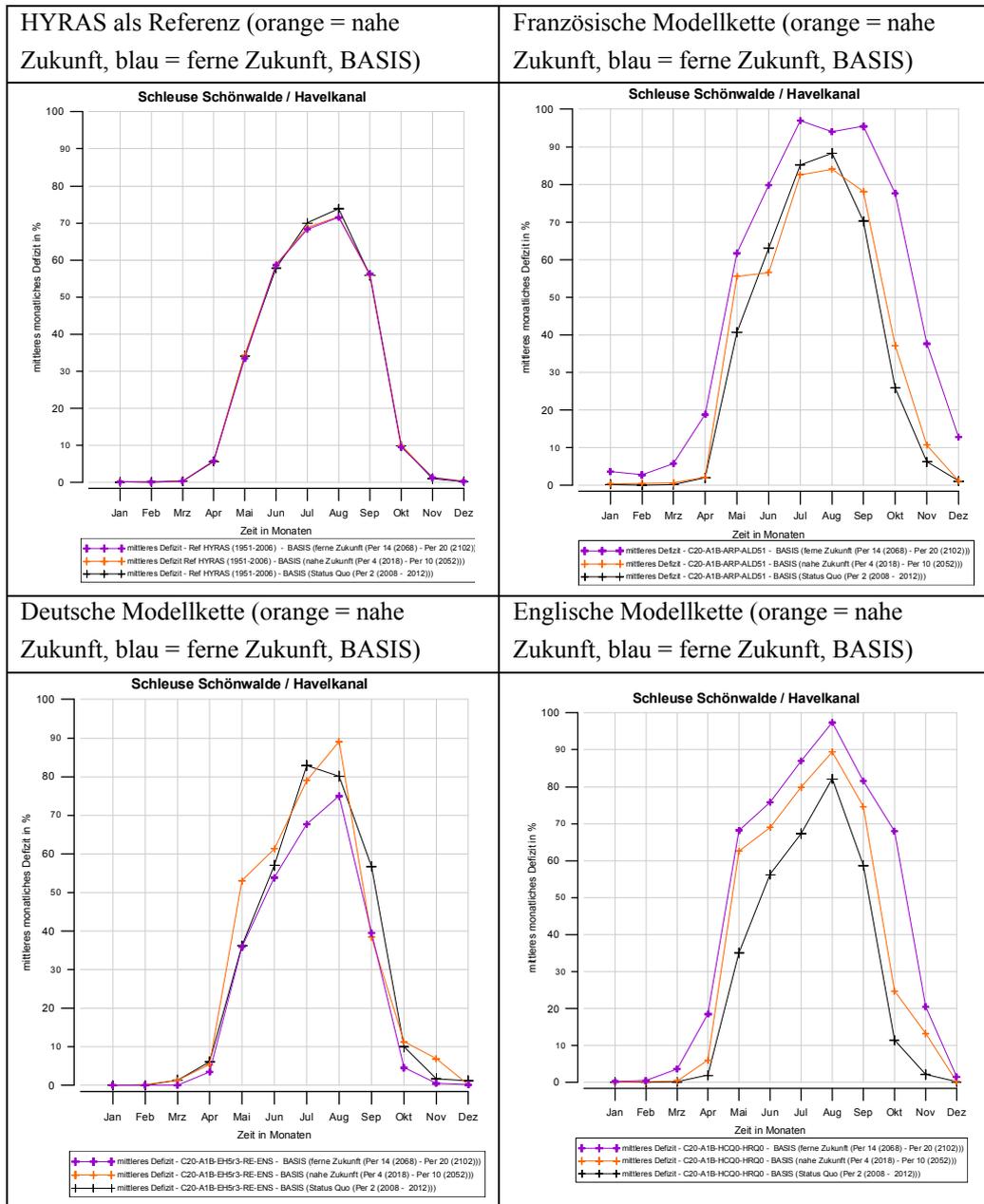


Abb. 5.36 Mittleres monatliches Defizit der Schleuse Schönwalde auf der Basis der drei Klimaszenarien und auf dem zugrunde liegenden Wassernutzungsszenario BASIS. Die Schleuse Schönwalde stellt im Vergleich zu den übrigen betrachteten Schleusen eine Ausnahme dar, da sie in den Sommermonaten bereits im Status Quo deutliche Defizite aufweist. Das ist darin begründet, dass zur Entnahme von Schleusungswasser zunächst ein Mindestabfluss von 6 m³/s in der Havel erfüllt sein muss.

5.6.4.2 Beispiel: Heizkraftwerke

Ausgewertet wurden die mittleren monatlichen Defizite für einige der in Abschnitt 5.3.3 dargestellten Heizkraftwerke. In den Abb. 5.37 und Abb. 5.38 sind die mittleren monatlichen Defizite für die Heizkraftwerke Moabit und Lichterfelde dargestellt. Die Defizite resultieren aus der gewählten Klimaprojektion und den Wassernutzungsszenarien BASIS und KRAFTWERK. Als Vergleichsgrafik sind die Ergebnisse des Referenzlaufes (HYRAS) dargestellt. Ebenso wie bei den Schleusen führen die französische und englische Modellkette wie hier gezeigt am Beispiel Heizkraftwerk Moabit insbesondere in den Sommermonaten zu einer deutlichen Verschlechterung der Verhältnisse in der fernen Zukunft.

Bei den Kraftwerken stellt Lichterfelde einen Ausnahmefall dar. Bei diesem Kraftwerk treten in der Bewirtschaftungsvariante KRAFTWERK für den Status Quo zum Teil deutliche Defizite auf. Diese hohen Defizite sind auf einen deutlich höheren Wasserbedarf in den Annahmen für KASIM gegenüber den aktualisierten Wasserbedarfswerten zurückzuführen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich die mittleren monatlichen Defizite insbesondere in den Sommermonaten in der fernen Zukunft verstärken. In der nahen Zukunft zeigt sich ein differenziertes Bild im Sommer: Die deutsche Modellkette führt zu geringen Änderungen und die englische Modellkette führt zu einer Zunahme der Defizite.

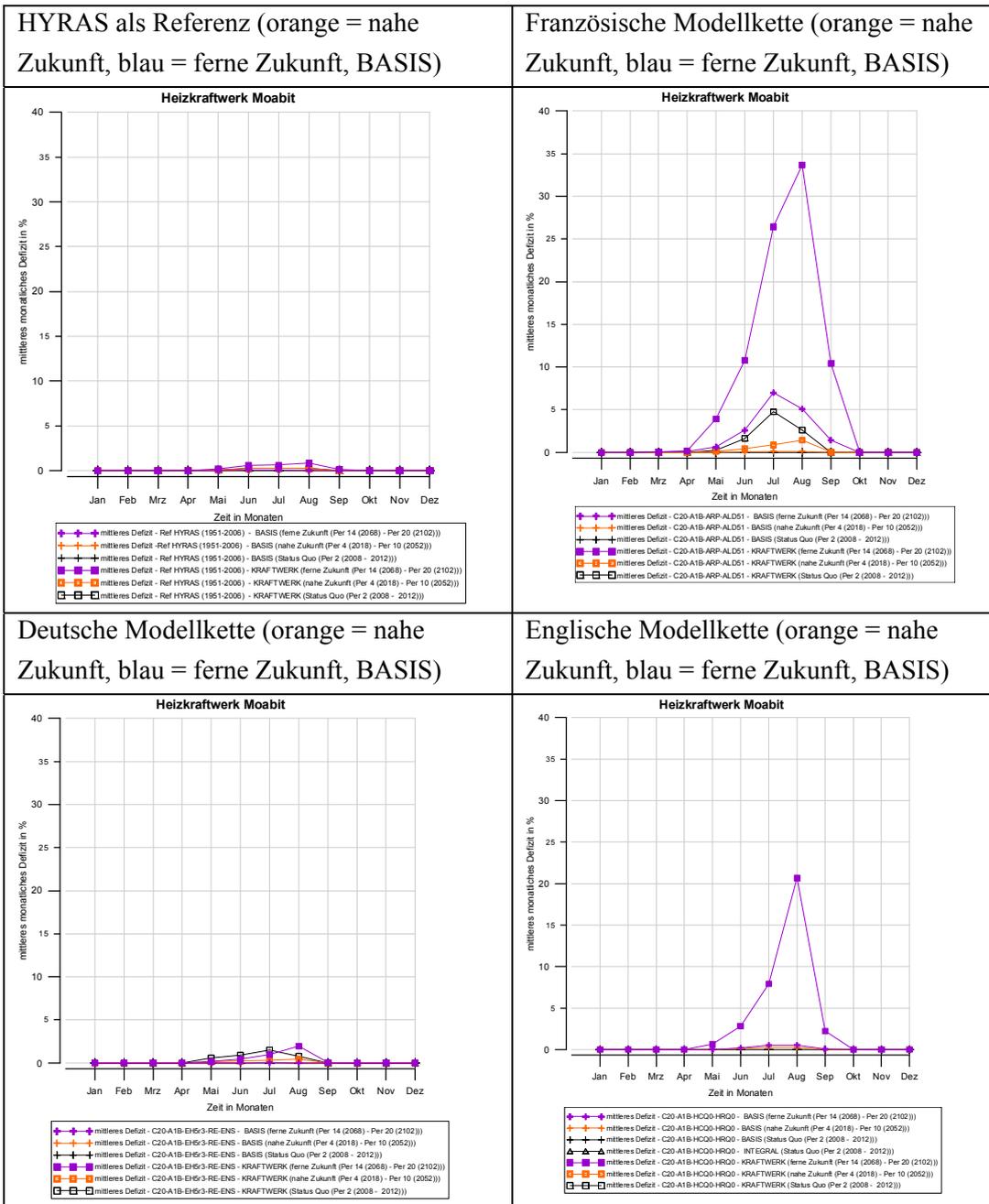


Abb. 5.37 Mittleres monatliches Defizit des Heizkraftwerkes Moabit auf der Basis der drei Klimaszenarien sowie auf der Basis der Wassernutzungsszenarien BASIS und KRAFTWERK. Die deutsche Modellkette führt zu fast keinen Veränderungen. Die englische und die französische Modellkette führen zu einem Anstieg der Defizite in der fernen Zukunft insbesondere im Sommer in dem Szenario KRAFTWERK.

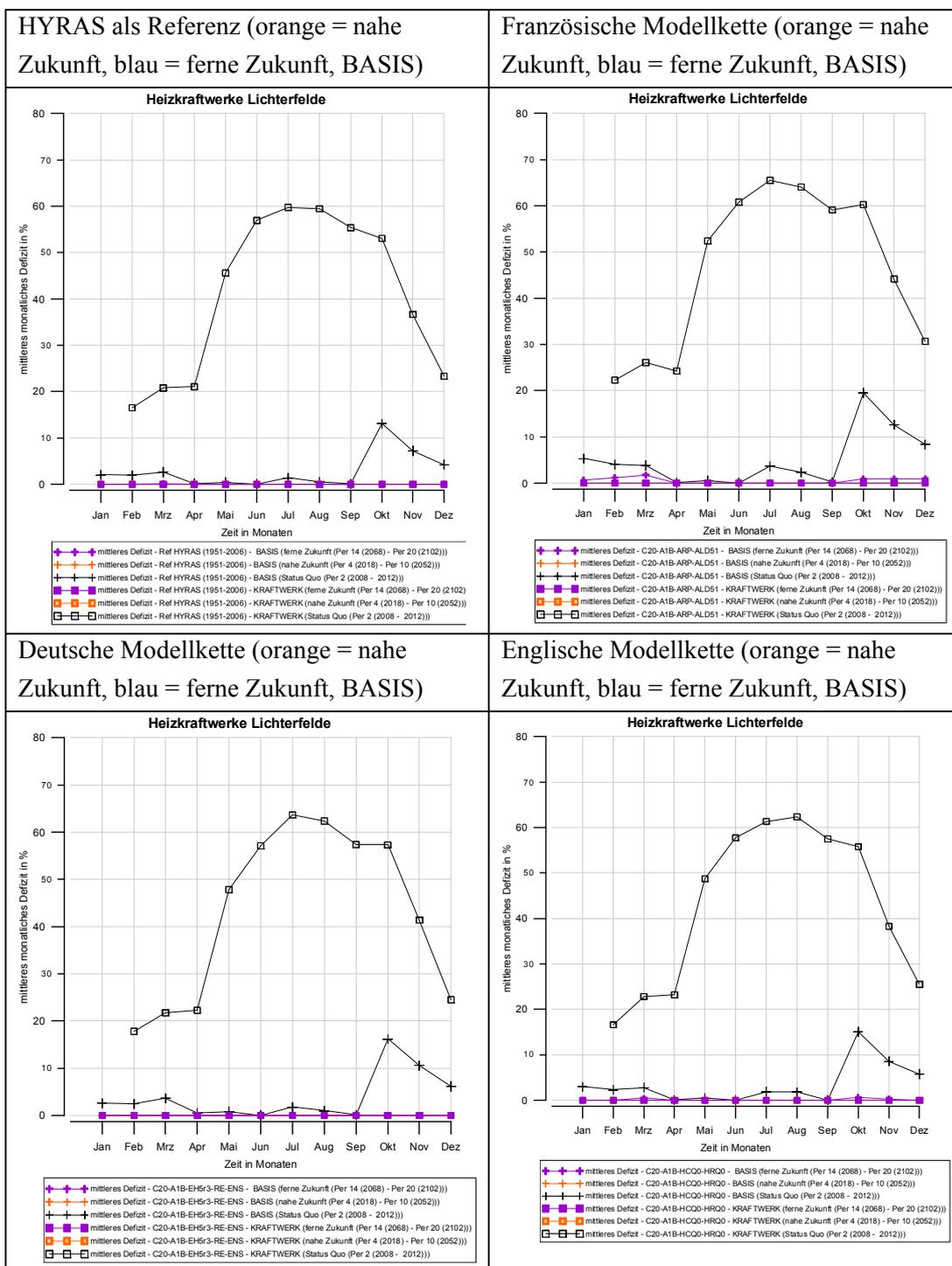


Abb. 5.38 Mittleres monatliches Defizit des Heizkraftwerkes Lichterfelde auf der Basis der drei Klimaszenarien sowie auf der Basis der Wassernutzungsszenarien BASIS und KRAFTWERK. Deutlich werden die großen Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsvarianten BASIS und KRAFTWERK insbesondere für den Status Quo. Aufgrund einer technischen Veränderung des Kraftwerks wird in der Zukunft mit einem geringeren Verbrauch gerechnet, was sich in einem verringerten Defizit widerspiegelt.

BfG-1777

*Wasserwirt-
schaftliche
Verhältnisse
VDE 17
6. Fassung
2. Teilbericht*

LITERATUR

- BAH-Berlin, 2011. Wasserhaushaltsmodellierung mit ArcEGMO im Einzugsgebiet der Havel, Auftraggeber: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Auftragnehmer: Dr. Bernd Pfützner, Büro für Angewandte Hydrologie, Berlin.
- Bergström, S., 1992. The HBV Model - its structure and applications. SMHI RH.
- BfG, 2010a. Nutzung der aktuellen Ländervariante des Bewirtschaftungsmodells WBalMo Spree-Schwarze Elster im WBalMo Havel-Spree im Rahmen des Forschungsprojektes KLIWAS durch die BfG vom 15. Oktober 2010, Vereinbarung mit Landesdirektion Sachsen (vormals: Landesdirektion Dresden), unveröffentlicht
- BfG, 2010b. Nutzung der WBalMo-Bausteine Havel, Nuthe, Plane, Buckau, Rhin und Dosse-Jäglitz im Rahmen des Forschungsprojektes KLIWAS am 20. Dezember 2010, Vereinbarung mit Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg, unveröffentlicht.
- BfG, 2011. Einbindung der Planungsvariante für die Entwicklung der Tagebaue Nochten und Welzow-Süd (WBalMo VEM) und der Bewirtschaftung des Cottbuser Sees in das Wasserbewirtschaftungsmodell WBalMo KLIWAS Spree/ Schwarze Elster am 29.06.2011, Vereinbarung mit Vattenfall Europe Mining AG.
- BfG und BAW, 2013. Wasserwirtschaftliche Verhältnisse des Projektes 17 für den Bereich des WNA Berlin, 6. Fassung, Teilbericht 1. Autoren: Ebner von Eschenbach, A.-D.; Hohenrainer, J. (beide BfG); Willamowski, B. (BAW); Bericht 1777 der Bundesanstalten für Gewässerkunde und Wasserbau. Dezember 2013. Auftraggeber: Wasserstraßen-Neubauamt Berlin.
- BWB, 2008. Wasserversorgungskonzept für Berlin und für das von den Berliner Wasserbetrieben versorgte Umland (Entwicklung bis 2040). Auftraggeber Berliner Wasserbetriebe, Auftragnehmer: UBB Umweltvorhaben Dr. Klaus Möller GmbH.
- DHI-WASY, 2008. Abschlussbericht LOS W/ Pos. 7.1 „Hydrologische Modellierung – Großraumbewirtschaftungsmodelle“ im Gewässerrandstreifenprojekt „Untere Havelniederung zwischen Pritzerbe und Gnevsdorf“. DHI-WASY GmbH im Auftrag der IHU Geologie und Analytik GmbH, Berlin, September 2008.
- DHI-WASY, 2009. Abschlussbericht zum Flutungssteuerungsmodell Spree/ Schwarze Elster-12. Bearbeitungsetappe. DHI-WASY GmbH im Auftrag der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH, Dresden, Dezember 2009.
- DHI-WASY, 2010. Abschlussbericht zum Flutungssteuerungsmodell Spree/ Schwarze Elster-13. Bearbeitungsetappe. DHI-WASY GmbH im Auftrag der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH, Dresden, Dezember 2010.
- DHI-WASY, 2011. Untersuchung zu den Auswirkungen der Wasserbewirtschaftung auf den Wasserhaushalt im Havel-Spreegebiet mit WBalMo Havel-Spree unter Berücksichtigung des Klimawandels. Vorarbeiten. Autoren: Kaltofen, M.; Müller, F.; Schramm, M.; Auftragnehmer: DHI-WASY GmbH, Niederlassung Dresden im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Dresden, Dezember 2011
- DHI-WASY, 2013. Untersuchungen zu den Auswirkungen der Wasserbewirtschaftung auf den Wasserhaushalt im Havel-Spreegebiet mit WBalMo Havel-Spree unter Berücksichtigung des Klimawandels. Auftrag der Bundesanstalt für

- Gewässerkunde an DHI-WASY, Niederlassung Dresden, Autoren: Kaltofen, M.; Müller, F.; Schramm, M.; Abschlussbericht im Sommer 2013 (unveröffentlicht).
- DVWK-M 238, 1996. Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Verantwortlicher Herausgeber: Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Gluckstraße 2, D-53115 Bonn, bearbeitet vom DVWK-Fachausschuß „Verdunstung“.
- DWA, 2009. Regionalisierung von Niedrigwasserkennwerten. DWA-Themenheft. Das Themenheft wurde von der DWA-Arbeitsgruppe HW-3.1 "Niedrigwasser" im Fachausschuss HW-3 "Wasserbewirtschaftung" erarbeitet. Herausgeber und Vertrieb durch die DWA. .
- Glos, E., 1984. Die Einzugsgebietsmodellversion EGMO-D für Durchflussberechnungen in Dekaden- bis Monatsschritten. Teilbericht zu Lauterbach, D. et al.: ASU Spree, 1. Ausbaustufe, Forschungsbericht, Institut für Wasserwirtschaft, Berlin.
- HAD, 2003. Hydrologischer Atlas von Deutschland. Projektträger: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Projektleitung: Institut für Hydrologie der Universität Freiburg und BfG Koblenz, Beiträge: BfG, DWD, BGR, IHF Freiburg, UBA, BKG, StBA Wiesbaden, AmilGeo und LAWA, 100 Tafeln und Karten, Bonn.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I of the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, New York, NY USA, 996 S.
- Koch, H. und Vögele, S., 2009. Dynamic modelling of water demand, water availability and adaptation strategies for power plants to global change. . Ecological Economics, 68: 2031-2039.
- Lingemann, I., Nilson, E., Carambia, M. und Krahe, P., 2013. Änderungen des Wasserhaushalts der Elbe im 21. Jahrhundert. Tagungsband zum Kolloquium "Die Zukunft des Wasserhaushaltes im Elbeeinzugsgebiet" 29./30. November 2012 in Dresden. Veranstaltung von CHMU und BfG.
- Loucks, P.D. und Van Beek, E., 2005. Water Resources Systems Planning and Management - An Introduction to Methods, Models and Applications.
- Nash, J.E. und Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I: A discussion of principles. Journal of Hydrology(10): 282-290.
- PEST, 2010. PEST - Model-Independent Parameter Estimation. User Manual: 5th Edition. Watermark Numerical Computing.
- Rauthe, M., Steiner, H., Riediger, U. und Gratzki, A., 2011. A precipitation climatology covering Germany and neighbouring river basins - Part 1: Generation of a high-resolution gridded daily precipitation data set (HYRAS) and first results.
- Richter, D., 1995. Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 194. Offenbach.
- Sachs, L., 1992. Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden, 7. Auflage. Springer-Verlag.
- Sachs, L., 1997. Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden, 8. Auflage. . Springer-Verlag.

- SIKO/ SIMO, 2001. Programm zur stochastischen Simulation. Benutzerhandbuch zu SIKO/ SIMO, Version 3.1. DHI-WASY GmbH, Dresden.
- SRES, 2000. Special Report on Emissions Scenarios (SRES), Herausgeber: Nebojsa Nakicenovic und Rob Swart, Cambridge University Press, UK. pp 570, Available from Cambridge University Press, The Edinburgh Building Shaftesbury Road, Cambridge CB2 2RU ENGLAND.
- Storm, R., 1969. Wahrscheinlichkeitsrechnung mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle. 3 Auflage. VEB Fachbuchverlag Leipzig.
- UBA, 2010. Wasserwirtschaft in Deutschland, Teil 1 Grundlagen. .
- Uhl, M. und Henrichs, M., 2008. Das Tool „KALIMOD“ zur automatischen Kalibrierung von NASIM. NASIM-Anwendertreffen, Aachen, 30. Oktober 2008.
- Van der Linden, P. und Mitchell, J.F.B., 2009. ENSEMBLES - Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160 S.
- Vattenfall Europe Mining, 2011. SUP Welzow (2011), Variantenbetrachtungen zur Weiterführung der Tagebaue Nochten und Welzow-Süd in die Anschlussgebiete und deren perspektivische Flutung, Übergabe von Vattenfall
- Europe Mining AG an den AK Wassermenge in der AG Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster, 09. Februar 2011.
- WASY, 2000. ArcGRM Havel-2.Etappe: Entwicklung des Abflusssimulationsmodells. WASY GmbH im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburgs.
- WASY, 2001. ArcGRM Dosse/Jäglitz. WASY GmbH im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburgs.
- WIN, 2006. Gutachten und Untersuchung zur Wasserwirtschaft, Naturschutz, Altlasten, Baggergut und Kampfmittelproblematik für die Region Nordbrandenburg im WIN-Projektgebiet, Bericht im Auftrag der WIN Wassertourismus Initiative Nordbrandenburg, Auftraggeber LK Barnim, Auftragnehmer: GfL Planungs- und Ingenieurgesellschaft GmbH Niederlassung Potsdam; AEW Plan GmbH Niederlassung Berlin, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Bearbeitungszeit Juni – Oktober 2006, unveröffentlicht.

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

BfG-1777

*Wasserwirt-
schaftliche
Verhältnisse
VDE 17
6. Fassung
2. Teilbericht*

Anhang A: Simulationsteilgebiete in den einzelnen WBalMo-Bausteinen und
Zuordnung zu den meteorologischen Teilgebieten

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo Spree			
STG- Nummer	Gebietsbezeichnung	Größe des Einzugsgebietes in km ²	Zuordnung zum meteorologischen Teilgebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
1	Spree, Quelle bis TS Bautzen (Sperrstelle)	310	1
2	Löbauer Wasser, Quelle bis Pegel Gröditz	199	2
3	Schwarzer Schöps, Quelle bis TS Quitzdorf (Sperrstelle)	175	3
4	Weißer Schöps, Quelle bis Pegel Särichen	135	3
5	Spree, Löbauer Wasser bis Vereinigter Schöps und Weigersdorfer Fließ	166	4
6	Schwarzer Schöps, TS Quitzdorf bis Mündung (ohne Weißer Schöps)	109	4
7	Weißer Schöps, Pegel Särichen bis Mündung in Schwarzen Schöps	232	4
8	Kleine Spree, Klix bis SB Lohsa I	116	4
9	Kleine Spree, SB Lohsa I bis Mündung	148	5
10	Spree, Schöpsmündung bis TS Spremberg (Sperrstelle)	377	5
11	Spree uh. TS Bautzen bis Löbauer Wasser	37	4
12	Greifenhainer Fließ, Quelle bis Mündung	380	6
13	Vetschauer Mühlenfließ, Quelle bis Mündung	128	7
14	Dobra, Quelle bis Mündung	148	7
15	Ottergraben, Quelle bis Mündung	123	7
16	Berste, Quelle bis Mündung	321	7
17	Spree, TS Spremberg (Sperrstelle) bis Schmogrow, Wehr VII OP	299	6
18	Malxe bis Pegel Fehrow, Tränitz ab Verlegung, Hammergraben	355	6
19	Oberspreewald zwischen Schmogrow und Lübben	201	8
20	Spree, Pegel Lübben bis Pegel Leibsch (Unterspreewald)	125	8
21	Spree, Pegel Leibsch bis Pegel Beeskow	957	9
22	Spree, Pegel Beeskow bis Pegel Große Tränke	755	9

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo Spree			
STG- Nummer	Gebietsbezeichnung	Größe des Einzugsgebietes in km ²	Zuordnung zum meteorolo- gischen Teilgebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
23	Dahme, Quelle bis Märkisch-Buchholz	520	7
24	Dahme, Märkisch-Buchholz bis Pegel Neue Mühle	812	15
70	Löbauer uh. Gröditz bis Mündung in die Spree	214	2
	Summe	7342	

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo für Schwarze Elster			
STG-Nummer	Gebietsbezeichnung	Größe des Einzugs- gebietes in km ²	Zuordnung zum meteorolo- gischen Teilgebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
25	Große Röder, Quelle bis Pegel Großdittmannsdorf	299	11
26	Große Röder, Großdittmannsdorf bis Pegel Kleinraschütz	379	11
27	Pulsnitz, Quelle bis Pegel Königsbrück	92	11
28	Pulsnitz, Königsbrück bis Pegel Ortrand	153	11
29	Schwarze Elster, Quelle bis Pegel Trado	165	10
30	Hoyerswerdaer Schwarzwasser, Quelle bis Pegel Zescha	181	10
31	Schwarze Elster, Trado bis Pegel Neuwiese (ohne STG 30) und Zufluss Lugteichsystem	322	10
32	Schwarze Elster, Pegel Lauchhammer bis Pegel Bad Liebenwerda	184	12
33	Schwarze Elster, Pegel Bad Liebenwerda bis Pegel Löben	452	14
34	Schwarze Elster, Pegel Löben bis Mündung	333	14
35	Schweinitzer Fließ, Quelle bis Mündung	535	14

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo für Schwarze Elster			
STG-Nummer	Gebietsbezeichnung	Größe des Einzugsgebietes in km ²	Zuordnung zum meteorologischen Teilgebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
36	Neugraben, Quelle bis Mündung	278	14
37	Kremitz, Quelle bis Mündung	194	14
38	Große Röder, Pegel Kleinraschütz bis Mündung	159	12
39	Kleine Röder, Quelle bis Mündung	85	12
40	Pulsnitz, Pegel Ortrand bis Mündung	110	12
41	Ruhländer Schwarzwasser, Quelle bis Mündung	275	10
42	Schleichgraben, Quelle bis Mündung	96	10
43	Pössnitz, Quelle bis Mündung	92	12
44	Hammergraben, Quelle bis Mündung	234	12
45	Kleine Elster, Quelle bis Mündung	716	13
46	Schwarze Elster, Pegel Neuwiese bis Pegel Lauchhammer (ab Flutungsende)	343	12
	Summe	5677	

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo für Berlin			
STG-Nummer	Gebietsbezeichnung	Größe des Einzugsgebietes in km ²	Zuordnung zum meteorologischen Teilgebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
50	Löcknitz bis Mündung in den Dämeritzsee (sim) und Rüdersdorfer Gewässer (über Flächenfaktoren im WBalMo)	229	18
51	Fredersdorfer Fließ (sim) und Spree, Große Tränke bis Mündung Neuenhagener Fließ (Erpe) (über Flächenfaktoren im WBalMo)	164	18
52	Neuenhagener Fließ (sim) und Spree, uh. Neuenhagener Fließ bis oh. BVK (Britzer Verbindungskanal) (über Flächenfaktoren im WBalMo)	221	18
53	Wuhle, Quelle bis Mündung	114	16
54	Panke bis Abzweig Nordgraben (sim) und Nordgraben bis Mdg. sowie einige Spree-BP (über Flächenfaktoren im WBalMo)	157	16
55	Panke (uh. des Verteilerwehres) (sim) und Spree einschl. und Landwehrkanal, BVK bis Pegel Sophienwerder (über Flächenfaktoren im WBalMo)	45	17
56	Tegeler Fließ, Quelle bis Mündung (ohne Nordgraben)	147	16
57	Nottekanal, Quelle bis Mündung	502	15
66	Dahme, Neue Mühle bis Mündung in die Spree einschl. OSK	258	15
100	Teltowkanal	240	17
	Summe	2077	

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo für Dosse			
STG-Nummer	Gebietsbezeichnung	Größe des Einzugsgebietes in km ²	Zuordnung zum meteorologischen Teilgebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
1	Dosse, Quelle bis Pegel Freyenstein	40	28
2	ZG Dosse, Freyenstein bis Pegel Wittstock	172	28
3	Glinze, Quelle bis Wittstock/Glinze	74	28
4	ZG Dosse, uh. Wittstock UP bis Wulkow (gesamt)	273	28
5	Klempnitz, Quelle bis Mündung	74	28
6	ZG Dosse, uh. Wulkow (gesamt) bis Mündung	283	28
7	Jäglitz, Quelle bis Mündung	520	28
	Summe	1436	

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo für Havel			
STG-Nummer	Gebietsbezeichnung	Größe des Einzugsgebietes in km ²	Zuordnung zum meteorologischen Teilgebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
1	Mecklenburger Oberseen (Elde und Zuflüsse)	1187	19
2	Ravensbrück/Hegensteinfließ	211	20
301	ZG Havel, Quelle bis Hegensteinfließ	689	20
302	ZG Havel, Hegensteinfließ bis Liebenwalde (ohne Templiner Gewässer)	1073	20
303	Templiner Gewässer, Quelle bis Mdg.	416	20
4	ZG Havel, Liebenwalde bis Borgsdorf (ohne Werbellingewässer)	585	21
5	Werbellingewässer, Quelle bis Mdg.	88	21
8	Rhin, Quelle bis Rheinsberg	138	27
9	ZG Rhin, Rheinsberg bis Auslass Ruppiner See (Wustrau und Altfriesack)	491	27
25	Neukammerluchgraben	110	27
26	Hörste- und D-Graben	141	27

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo für Havel			
STG-Nummer	Gebietsbezeichnung	Größe des Einzugsgebietes in km ²	Zuordnung zum meteorologischen Teilgebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
27	Graben A und B	169	27
28	KHHK	225	27
29	Temnitz	363	27
30	ZG Rhin, uh. A-Graben bis KHHK	106	27
32	ZG Rhin, uh. KHHK bis Mdg. in die Havel	84	27
33	ZG Borgsdorf-Ketzin	992	27
34	ZG Ketzin-Plauer See	461	27
35	ZG Plauer See-Rathenow	488	27
36	ZG Rathenow bis Mdg.	413	27
37	Emster Gewässer	225	27
38	GHHK	760	27
40	Trübengraben	292	26
68	Zufluss Haltung Zerben (Ihle+EigenEZG)	287	25
69	Zufluss Haltung Wusterwitz (Tucheimer Bach+EigenEZG)	670	25
	Summe	10664	

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo für Plane			
STG-Nummer	Gebietsbezeichnung	Größe des Einzugsgebietes in km ²	Zuordnung zum meteorologischen Teilgebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
12	Plane, Quelle bis Pegel Rädigke	77	24
13	ZG Plane, Pegel Rädigke bis Pegel Trebitz	147	24
11	ZG Plane, Pegel Trebitz bis Pegel Golzow (bis Mdg. über Flächenfaktoren)	190	24
	Summe	414	

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo für Buckau			
STG-Nummer	Gebietsbezeichnung	Größe des Einzugsgebietes in km ²	Zuordnung zum meteorologischen Teilgebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
1	Verlorenwasser, Wenzlow (bis Mdg. über Flächenfaktoren)	101	24
2	Litzenbach, Quelle bis Mündung	17	24
3	ZG Buckau, uh. Litzenbach bis oh. Holzbuckau (und bis Verlorenwasser)	57	24
4	Kobser Bach, Quelle bis Mündung in Landgraben	28	24
5	ZG Buckau, uh. Verlorenwasser bis Mündung	13	24
6	Buckau, Quelle bis Pegel Birkenreismühle	96	24
7	ZG Buckau, uh. Birkenreismühle bis Herrenmühle (und bis uh. Litzenbach)	41	24
	Summe	353	

Simulationsteilgebiete im Bewirtschaftungsmodell WBalMo für Nuthe			
STG-Nummer	Gebietsbezeichnung	Größe des Einzugsgebietes in km ²	Zuordnung zum meteorologischen Teilgebiet (siehe hierzu Abb. 3.4)
1	Nuthe, Quelle bis Woltersdorf 1	363	23
2	Hammerfließ, Quelle bis Woltersdorf 2 (Mdg.)	212	23
3	Nieplitz, Quelle bis Mdg.	716	23
4	ZG Nuthe von uh. Mdg. Hammerfließ bis Gröben	61	23
5	Großbeerener Graben, Quelle bis Mündung	217	23
6	ZG Nuthe, Gröben bis Babelsberg (Mdg.)	237	23
	Summe	1806	

Anhang B: Hydrografische Flächenparameter

STG-Nr.	Kalibrierungsgebiet	Fläche [km ²]	Hydrografische Flächenparameter		
			AF [-]	AN [-]	AW [-]
WBalMo Havel					
1	Mecklenburger Oberseen (Elde und Zuflüsse)	1187	0,757	0,060	0,183
2	Hegensteinfließ, Quelle bis Pegel Ravensbrück	180	0,911	0,040	0,049
301	Havel, Quelle bis Pegel Steinhavel OP (oh. Einmündung Hegensteinfließ)	690	0,836	0,059	0,105
302	ZG Havel, uh. Pegel Steinhavel OP bis Pegel Liebenwalde OP (ohne Hegensteinfließ und Templiner Gewässer)	1137	0,822	0,143	0,035
303	Templiner Gewässer, Quelle bis Pegel Kannenburg OP	292	0,817	0,132	0,051
4	ZG Havel, Pegel Liebenwalde bis Borgsdorf (mit Oder-Havel-Kanal, Schnelle Havel, Oranienburger und Malzer Kanal, ohne Werbellingewässer)	585	0,774	0,216	0,010
5	Werbellin-Gewässer, Quelle bis Schleuse Eichhorst	88	0,900	0,007	0,093
68	Ihle, Quelle bis Pegel Grabow	147	0,939	0,054	0,007
69	Tuchheimer Bach, Quelle bis Pegel Genthin	260	0,992	0,000	0,008
8	Rhin, Quelle bis Pegel Rheinsberg	138	0,810	0,088	0,102
9	ZG Rhin, Pegel Rheinberg bis Pegel Wustrau/Altrupp	491	0,806	0,148	0,045

STG-Nr.	Kalibrierungsgebiet	Fläche [km ²]	Hydrografische Flächenparameter		
			AF [-]	AN [-]	AW [-]
WBalMo Nuthe					
3	Nieplitz, Quelle bis Pegel Blankensee	692	0,748	0,245	0,007
WBalMo Plane					
11	ZG Plane, Pegel Trebitz bis Mündung	376	0,711	0,288	0,001
12	Plane, Quelle bis Pegel Rädigke	77	0,983	0,016	0,000
13	ZG Plane, Pegel Rädigke bis Pegel Trebitz	149	0,945	0,054	0,001
WBalMo Buckau					
1	Verlorenwasser, Quelle bis Pegel Wenzlow	94	0,937	0,062	0,001
WBalMo Dosse-Jäglitz					
1	Dosse, Quelle bis Pegel Freyenstein	39,6	0,990	0,009	0,001
2	ZG Dosse, Pegel Freyenstein bis Pegel Wittstock	172	0,985	0,015	0,001
3	Glinze, Quelle bis Pegel Wittstock/Glinze	748	0,834	0,165	0,001

STG- Nr.	Kalibrierungsgebiet	Fläche [km ²]	Hydrografische Flächenparameter		
			AF [-]	AN [-]	AW [-]
WBalMo Berlin					
50	Löcknitz, Quelle bis Pegel Grünheide	170	0,835	0,149	0,016
51	Fredersdorfer Fließ, Quelle bis Pegel Fredersdorf	116	0,936	0,054	0,010
52	Neuenhagener Fließ, Quelle bis Pegel Dahlitz-Hoppegarten	186	0,953	0,044	0,003
53	Wuhle, Quelle bis Mündung	114	0,946	0,051	0,003
54	Panke, Quelle bis Pegel Röntgental	37	0,905	0,094	0,001
55	ZG Panke uh. des Verteilerwehres bis Mündung	45	0,917	0,081	0,002
56	Tegeler Fließ, Quelle bis Pegel St. Josef-Steg	121	0,873	0,097	0,029
57	Nottekanal, Quelle bis Pegel Mittenwalde OP	246	0,692	0,282	0,026
100	Teltowkanal, Quelle bis Mündung	240	0,768	0,155	0,078
66	ZG Dahme, Neue Mühle bis Mündung in die Spree einschl. OSK	258	0,949	0,042	0,009

mit AF - grundwasserferne Flächen (Grundwasserflurabstand > 1 m)

AN - grundwassernahe Flächen (Grundwasserflurabstand < 1 m)

AW - Wasserflächen

ZG - Zwischengebiet

Bundesanstalt für
Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

Postfach 20 02 53
56002 Koblenz

Tel. 0261/1306-0
Fax 0261/1306-53 02

E-Mail: posteingang@bafg.de
Internet: www.bafg.de