

**Vergleichende Untersuchungen zu den Folgewirkungen von Klima- und
Landnutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt in Flusseinzugsgebieten**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)

vorgelegt der

Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät
(mathematisch-naturwissenschaftlicher Bereich)
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Herrn Daniel Wurbs

geb. am.: 25. 09. 1974 in: Halle (Saale)

Gutachter:

1. Prof. Dr. Manfred Frühauf, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
2. Prof. Dr. Axel Bronstert, Universität Potsdam

Die Verteidigung der Dissertation erfolgte am 15. Dezember 2005.

urn:nbn:de:gbv:3-000009620

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000009620>]

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Stipendienprogrammes der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) angefertigt. Mein besonderer Dank gilt der DBU für die finanzielle Unterstützung der Arbeit und den regen Gedankenaustausch im Rahmen der Stipendiatenseminare.

An dieser Stelle möchte ich mich bei Prof. Dr. Manfred Frühauf bedanken, der die Arbeit anregte, jederzeit unterstützte und vor allem in ihrer Endphase kritisch begleitete.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Geoökologie für den häufigen Gedankenaustausch und die geselligen Arbeitsgruppenabende. Besonders bedanken möchte ich mich dabei bei Thomas Koschitzki und Reiko Liermann für den häufigen und oft inspirierenden Diskussionen in der Domstraße sowie bei Dr. Martin Sauerwein für seine fachdienlichen Ratschläge.

Gleiches gilt für die Doktoranden der Physischen Geographie und Geoökologie, mit denen man in den letzten Jahren, trotz der verschiedenen Themen, durch ein gemeinsames Ziel, die Promotion, verbunden war. Vor allem bleibt mir dabei die entspannte Atmosphäre auch abseits des Schreibtisches in sehr guter Erinnerung. In diesem Zusammenhang gilt mein Dank Olaf Klammer, Steffen Koch, Ekkehard Ließ, Anne-Kathrin Lindau, David Morche, Franziska Rudolph, Ingo Sahling, Thilo Schmalfeld und Wolfram König.

Mein besonderer Dank gilt Dr. Gerd Schmidt vom UFZ Leipzig-Halle für die Weitergabe seiner praktischen Erfahrungen in zahlreichen Gesprächen, Dr. Bernd Pfützner vom Büro für angewandte Hydrologie Berlin für seine fachdienlichen Ratschläge bei der Anwendung von ARC-EGMO sowie Steffen Kussmann vom LHW Sachsen-Anhalt für seine fachliche Unterstützung während meiner Arbeit.

Dr. Alfred Becker vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung gilt mein Dank für seine inhaltlichen Anregungen im Vorfeld der Arbeit und die Unterstützung bei der Datenbereitstellung. In diesem Zusammenhang möchte ich mich ebenfalls bei Prof. Dr. Thomas Scholten vom Institut für Geographie der FSU Jena, Dr. Reimer vom Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin, Dr. Klaus-Jörg Hartmann vom Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt sowie allen Mitarbeitern des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, der Regionalen Planungsgemeinschaft Halle, des Landesamtes für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, des Landesamtes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt und der ROMONTA GmbH für ihre sehr hilfreiche Unterstützung beim oftmals schwierigen Unterfangen der Datenrecherche und –bereitstellung bedanken.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie, meinen Eltern, Freunden und vor allem bei Ilka und Mattis bedanken, die mich immer unterstützt, an mich geglaubt und außerhalb der Arbeit für die manchmal notwendige Ablenkung gesorgt haben.

Zuletzt gilt mein Dank all denjenigen, die ebenfalls zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben, an dieser Stelle aber nicht namentlich erwähnt wurden.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	I
Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	3
2 Grundlagen und Stand der Forschung	6
2.1 Die Veränderung des Klimas und die Folgen für den Wasserhaushalt	6
2.2 Modelle und Szenarien – global und regional	9
2.3 Stand der landschaftsökologischen Regionalforschung	12
3 Einführung in die Untersuchungsgebiete	14
3.1 Auswahl und Kurzbeschreibung der Untersuchungsgebiete	14
3.2 Untersuchungsgebiet Querne/Weida	15
3.3 Untersuchungsgebiet Wipper	18
3.4 Der Salzige See – Historie und Zukunft	21
4 Methodische Vorgehensweise	23
4.1 Einführung in die Methodik	23
4.2 Erstellung der hydrologischen Modelle	23
4.2.1 Modellierungssystem ARC-EGMO	23
4.2.1.1 Motivation für die Modellauswahl	23
4.2.1.2 Modellansatz und Konzeptioneller Aufbau	23
4.2.2 Datengrundlagen	24
4.2.2.1 Raumbezogene Daten	24
4.2.2.2 Zeitbezogene Daten	27
4.2.3 Parametrisierung der Modelle	29
4.2.3.1 Parametrisierung des Abflussbildungsmodells	29
4.2.3.2 Parametrisierung des Abflusskonzentrationsmodells	30
4.2.4 Modellverifizierung	31
4.3 Entwicklung und Integration regionaler Klimaszenarien	32
4.3.1 Auswahl der regionalen Klimaszenarien auf Basis eines globalen Klimamodells und ausgewählter Emissionsszenarien	32
4.3.2 Generierung Hypothetischer Szenarien	33

4.3.3	Entwicklung eines regionalen Klimaszenarios nach MAGICC/ SCENGEN	34
4.3.3.1	Beschreibung und Funktionalitäten von MAGICC/SCENGEN	34
4.3.3.2	Regionalisierung der Ergebnisse und Zeitreihenerstellung	35
4.3.4	Szenario des regionalen Klimamodells STAR	37
4.3.5	ECHAM/REMO-Simulationen und Neuro-Fuzzy-Modelle	39
4.3.6	Vergleichende Einschätzung der Szenarien und ihrer Unsicherheitsbereiche	40
4.4	Hydrologische Modellierung und statistische Aufbereitung	41
4.4.1	Klima und Wasserhaushalt	41
4.4.2	Gewässerabfluss	42
4.5	Erstellung des Landnutzungsszenarios „Salziger See“ und Bilanzierung der Wasserhaushaltsverhältnisse	43
4.5.1	Grundlagen der Wasserhaushaltsbilanzierung	43
4.5.2	Erstellung des Landnutzungsszenarios und Einbindung in die GIS-Datenbasis	44
4.5.3	Erfassung, Quantifizierung und Validierung hydrologischer Bilanzgrößen	45
4.5.4	Umsetzung der hydrologischen Vorgaben an den Salzigen See und die Salza	49
4.5.5	Analyse des Stoffhaushaltes	52
5	Ergebnisse	53
5.1	Vergleichende Beschreibung der gegenwärtigen klimatischen und hydrologischen Verhältnisse (Ist-Zustand 1951-2000)	53
5.1.1	Abschätzung der Güte der hydrologischen Modelle	53
5.1.1.1	Güte der Wiedergabe von Klima und Wasserhaushalt	53
5.1.1.2	Güte der Wiedergabe des Gewässerabflusses	54
5.1.2	Klima und Wasserhaushalt in den Untersuchungsgebieten	58
5.1.3	Gewässerabfluss in den Untersuchungsgebieten	60
5.2	Klimaänderungen in den Untersuchungsgebieten	62
5.2.1	Hypothetisches Trendszenario	62
5.2.2	Regionale Klimaszenarien MAGICC/SCENGEN, STAR und ECHAM/REMO	64
5.2.3	Szenarienabhängiger Vergleich und Zusammenfassung der Ergebnisse	68
5.2.4	Unsicherheiten der Szenarien und Modellkritik	70
5.3.	Folgewirkungen der Klimaänderungen auf die hydrologischen Verhältnisse	74
5.3.1	Sensitivitätsanalysen in den Untersuchungsgebieten	74
5.3.2	Hydrologische Auswirkungen im Untersuchungsgebiet Querne/ Weida	75
5.3.2.1	Veränderungen des Wasserhaushaltes	75
5.3.2.2	Veränderungen des Gewässerabflusses	77
5.3.3	Hydrologische Auswirkungen im Untersuchungsgebiet Wipper	84
5.3.3.1	Veränderungen des Wasserhaushaltes	84
5.3.3.2	Veränderungen des Gewässerabflusses	86

5.3.4	Zusammenfassender Vergleich der Untersuchungsgebiete vor dem Hintergrund der Klimaszenarien	93
5.4	Wasserhaushaltsbilanz des wieder entstehenden Salzigen Sees	96
5.4.1	Veränderung der Landnutzungsverhältnisse und des Gewässernetzes	96
5.4.2	Validierung des Bilanzmodells (<i>Bilanzierungsvariante I</i>)	98
5.4.3	Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung für den Salzigen See (<i>Bilanzierungsvarianten II und III</i>)	100
5.4.4	Wasserhaushaltsbilanz unter veränderten Klimabedingungen (<i>Bilanzierungsvariante IV</i>)	104
5.4.5	Schlussfolgerungen, Perspektiven und Handlungsempfehlungen für den Salzigen See	107
5.5	Abschätzung der Stoffeinträge in den Salzigen See	110
5.5.1	Betrachtung der Stoffbilanz für den Zeitraum 1997-99	110
5.5.2	Abschätzung der Stoffbilanz unter veränderten klimatischen Bedingungen	112
6	Zusammenfassung und Resümee	116
7	Literatur- und Quellenverzeichnis	119
8	Anhang	
9	Anlage	

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1.1: Jährliche Anomalien der global gemittelten Lufttemperatur gegenüber dem Referenzintervall 1961-1990	1
Abbildung 1.2: Schematische Darstellung des inhaltlichen Aufbaus und wesentlicher Teilziele der Arbeit	4
Abbildung 2.1: Der globale Wasserkreislauf und mögliche Veränderungen durch den Klimawandel	7
Abbildung 2.2: SRES-Leitszenarien und Temperaturänderung ausgewählter Szenarien	10
Abbildung 3.1: Lage der Untersuchungsgebiete im Einzugsgebiet der Elbe	14
Abbildung 3.2: Lage des Untersuchungsgebietes Querne/Weida und des Salzigen Sees	15
Abbildung 3.3: Querne/Weida unterhalb Röblingen	17
Abbildung 3.4: Westliches Einzugsgebiet – Blick von Leimbach nach Norden	17
Abbildung 3.5: Lage des Untersuchungsgebietes Wipper	19
Abbildung 3.6: Wipper bei Mansfeld-Leimbach	20
Abbildung 3.7: Oberes Wippereinzugsgebiet	21
Abbildung 3.8: Seebecken des Salzigen Sees in Richtung Westen	22
Abbildung 4.1: Konzeptioneller Aufbau und Modellebenen in ARC-EGMO	24
Abbildung 4.2: Erzeugung der Elementarflächen in ARC-EGMO	25
Abbildung 4.3: Verwendete Klimastationen und Gewässerpegel	28
Abbildung 4.4: Schematische Darstellung der methodischen Vorgehensweise zur Generierung eines Trendszenarios	34
Abbildung 4.5: Lage der Untersuchungsgebiete innerhalb der gewählten 0,5°-Grids und deren Raumbezug zu den Klimastationen	37
Abbildung 4.6: Schematische Darstellung des regionalen Klimamodells STAR	38
Abbildung 4.7: Verfahrensablauf zur Entwicklung regionaler Klimaszenarien aus ECHAM/ REMO-Simulationen	39
Abbildung 4.8: Schematische Darstellung der Bilanzgrößen im Untersuchungsgebiet „Salziger See“	46
Abbildung 4.9: Speichervolumen-Wasserstand-Abfluss-Beziehung des Salzigen Sees	50
Abbildung 4.10: Bilanzierungsschema zur Wasserhaushaltsbilanzierung Salziger See und Salza	51
Abbildung 5.1: Güte des hydrologischen Modells für die Querne/Weida (Kalibrierungsphase 1984-2000)	56
Abbildung 5.2: Güte des hydrologischen Modells für die Wipper – Pegel Groß Schierstedt (Kalibrierungsphase 1984-2000)	57
Abbildung 5.3: Räumliche Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsgebieten 1951-2000	58
Abbildung 5.4: Klimatische Wasserbilanz in den Untersuchungsgebieten 1951-2000	59
Abbildung 5.5: Grundwasserneubildung in den Untersuchungsgebieten 1951-2000	59
Abbildung 5.6: Mittlerer Monatlicher Gewässerabfluss und monatliche Bilanzabweichung für den Zeitraum 1951-2000	60
Abbildung 5.7: Langjährige monatliche Abflussganglinie der Querne/Weida und der Wipper für den Zeitraum 1951-2000	61
Abbildung 5.8: Niederschlagsverteilung des Trendszenarios gegenüber dem Basisszenario in den Untersuchungsgebieten	63
Abbildung 5.9: Räumliche Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsgebieten in Abhängigkeit von den Klimaszenarien	66
Abbildung 5.10: Räumliche Verteilung der Wasserbilanz in den Untersuchungsgebieten in Abhängigkeit von den Klimaszenarien	67
Abbildung 5.11: Schematische Darstellung der regionalspezifischen Veränderung der Klimaparameter	70
Abbildung 5.12: Plausibilitätsabschätzung der Klimaszenarien anhand der Temperaturentwicklung der Station Halle	71
Abbildung 5.13: Plausibilitätsabschätzung der Klimaszenarien anhand des täglichen Niederschlages der Station Halle für das hydrologische Sommerquartal 1976/2026	72
Abbildung 5.14: Veränderung der Realen Verdunstung im Einzugsgebiet der Querne/Weida	76
Abbildung 5.15: Veränderung der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Querne/Weida	77

Abbildung 5.16:	Abflussdauerlinie der Querne/Weida für die regionalen Klimaszenarien	79
Abbildung 5.17:	Abflusscharakteristik der Querne/Weida für das MAGICC/SCENGEN-Klimaszenario 2001-2050	82
Abbildung 5.18:	Abflusscharakteristik der Querne/Weida für das STAR-Klimaszenario 2001-2050	83
Abbildung 5.19:	Veränderung der Realen Verdunstung im Einzugsgebiet der Wipper	84
Abbildung 5.20:	Veränderung der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Wipper	85
Abbildung 5.21:	Rückgang der Monatsabflüsse der Wipper für die regionalen Klimaszenarien	88
Abbildung 5.22:	Abflussdauerlinien der Wipper für die regionalen Klimaszenarien	88
Abbildung 5.23:	Veränderung der Trockenfallhäufigkeit kleinerer Gewässer im Wippereinzugsgebiet für eine 7-tägige Dauer	90
Abbildung 5.24:	Abflusscharakteristik der Wipper (Pegel Groß Schierstedt) für das MAGICC/SCENGEN-Klimaszenario 2001-2050	91
Abbildung 5.25:	Abflusscharakteristik der Wipper (Pegel Groß Schierstedt) für das STAR-Klimaszenario 2001-2050	92
Abbildung 5.26:	Regionalspezifische Veränderung der hydrometeorologischen Verhältnisse in den Untersuchungsgebieten – bezogen auf das Gesamtgebiet	93
Abbildung 5.27:	Veränderung des Gewässerabflusses in den Untersuchungsgebieten für die Klimaszenarien MAGICC/SCENGEN und STAR	95
Abbildung 5.28:	Landnutzungsszenario Salziger See – Gegenwärtiger und zukünftig geplanter Zustand	96
Abbildung 5.29:	Hydrologische Verhältnisse im Umfeld des Salzigen Sees nach dessen Wiederentstehung	97
Abbildung 5.30:	Vergleich geförderter und bilanzierter monatlicher Zuflüsse am Pumpwerk Wansleben	98
Abbildung 5.31:	Anteil der Bilanzparameter am Gesamtzufluss zum Salzigen See	100
Abbildung 5.32:	Hydrologische Kennzahlen der Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees – Bilanzierungsvariante II	101
Abbildung 5.33:	Hydrologische Kennzahlen der Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees – Bilanzierungsvariante III	103
Abbildung 5.34:	Hydrologische Kennzahlen der Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees – Bilanzierungsvariante IV für das Klimaszenario MAGICC/SCENGEN	105
Abbildung 5.35:	Hydrologische Kennzahlen der Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees – Bilanzierungsvariante IV für das Klimaszenario STAR	106

Tabellenverzeichnis

	Seite	
Tabelle 4.1:	Zusammenfassender Überblick über die verwendeten Klimaszenarien	33
Tabelle 4.2:	Raum- und Zeitbezüge der für die Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse ausgewählten Klima-/ Wasserhaushaltsparameter	41
Tabelle 4.3:	Beschreibung und Zeitbezug der ermittelten hydrologischen Parameter	42
Tabelle 4.4:	Informationsgrundlagen für die Erstellung des Landnutzungsszenarios und die Bilanzierung der hydrologischen Verhältnisse im Bereich des Salzigen Sees	44
Tabelle 4.5:	Methodische Vorgehensweise zur Erstellung des Landnutzungsszenarios und dessen Einbindung in die bestehende GIS-Datenbank	45
Tabelle 4.6:	Bilanzgrößen für die Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees und ihre Berücksichtigung in den Bilanzvarianten	48
Tabelle 5.1:	Vergleich der Ergebnisse verschiedener Wasserhaushaltsuntersuchungen zur Verifizierung der hydrologischen Modelle	53
Tabelle 5.2:	Ursachen möglicher Modelldefizite und ihre Auswirkungen	54
Tabelle 5.3:	Ergebnisse der Modellvalidierung für die hydrologischen Kennzahlen der Querne/Weida und Wipper	55
Tabelle 5.4:	Jährliche Klima- und Wasserhaushaltsgrößen der Untersuchungsgebiete 1951-2000	58
Tabelle 5.5:	Gewässerkundliche Hauptzahlen der Hauptflüsse in den Untersuchungsgebieten für die Reihe 1951 – 2000	60

Tabelle 5.6:	Stationsbezogene Trends und Signifikanzen der Klimaparameter	62
Tabelle 5.7:	Veränderung ausgewählter Klimaparameter für die hypothetischen Klimaszenarien	63
Tabelle 5.8:	Klimatische Verhältnisse in den Untersuchungsgebieten für die regionalen Klimaszenarien	64
Tabelle 5.9:	Veränderung ausgewählter Klimaparameter in den Untersuchungsgebieten im Vergleich aller Klimaszenarien	69
Tabelle 5.10:	Ergebnisse der semiquantitativen Bewertung der Klimaszenarien	73
Tabelle 5.11:	Wasserhaushaltsgrößen der hypothetischen Szenarien im Vergleich	74
Tabelle 5.12:	Gewässerkundliche Hauptzahlen der hypothetischen Szenarien im Vergleich	75
Tabelle 5.13:	Wasserhaushaltsgrößen im Einzugsgebiet der Querne/Weida für die regionalen Klimaszenarien	76
Tabelle 5.14:	Gewässerkundliche Hauptzahlen der Querne/Weida für die regionalen Klimaszenarien	78
Tabelle 5.15:	Mittlere monatliche Gewässerabflüsse der Querne/Weida für die regionalen Klimaszenarien	78
Tabelle 5.16:	Minimaler Durchflussmittelwert verschiedener Wiederkehrintervalle für ausgewählte Unterschreitungsdauern der Querne/Weida in Abhängigkeit vom Klimaszenario	79
Tabelle 5.17:	Durchschnittliche jährliche Häufigkeit des Trockenfallens ausgewählter Gewässer im Einzugsgebiet der Querne/Weida, in Abhängigkeit von der Trockenfalldauer	80
Tabelle 5.18:	Wasserhaushaltsgrößen im Einzugsgebiet der Wipper für die regionalen Klimaszenarien	85
Tabelle 5.19:	Gewässerkundliche Hauptzahlen der Wipper und Eine für die regionalen Klimaszenarien	86
Tabelle 5.20:	Mittlere monatliche Gewässerabflüsse der Wipper und Eine für die regionalen Klimaszenarien	87
Tabelle 5.21:	Minimaler Durchflussmittelwert verschiedener Wiederkehrintervalle für ausgewählte Unterschreitungsdauern der Wipper in Abhängigkeit vom Klimaszenario	89
Tabelle 5.22:	Veränderung der Landnutzungsanteile im Untersuchungsgebiet Querne/Weida	96
Tabelle 5.23:	Perspektivische jährliche Stoffemissionen in den Salzigen See nach Umsetzung des Abwasserbeseitigungsplanes „Salza“, bezogen auf den Zeitraum 11/97-10/99	111
Tabelle 5.24:	Abschätzung der jährlichen stofflichen Belastung des Salzigen Sees unter veränderten Klima- und Abflussbedingungen	114

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Anh.	Anhang
Anl.	Anlage
AOGCM	gekoppeltes globales Ozean-Atmosphärenmodell
ATKIS	Amtliches Topographisch-kartographisches Informationssystem
AZV	Abwasserzweckverband
BÜK200	Bodenübersichtskarte 1:200.000
CIR	ColorInfraRot (-Luftbilder)
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlendioxid
d.h.	das heißt
DGM	Digitales Geländemodell
Diff.	Differenz
DKRZ	Deutsches Klimarechenzentrum
Dn	Zeitschritt (Zeitintervall)
DSI	Dynamical State Index
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (heute DWA)
DWD	Deutscher Wetterdienst
e	Dampfdruck
EFL	Elementarfläche
EP	Potentielle Evapotranspiration
ER	Reale Verdunstung
ESM	Entwicklungsgesellschaft Seengebiet Mansfelder Land mbH
EU	Europäische Union
FIS	Fuzzy-Interferenz-System
FU	Freie Universität (Berlin)
GCM	Globales gekoppeltes Modell
GIS	Geographisches Informationssystem
GLOWA ELBE	Globaler Wandel im Elbegebiet
GW	Grundwasser
GWN	Grundwasserneubildung
h/d	Stunden/Tag
ha	Hektar
HAV	Stauhöhe-Wasserfläche-Speicherinhalt (-Beziehung)
HHQ	Höchster Hochwasserabfluss
ID	Identifikationsnummer
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Jh.	Jahrhundert
K	Kelvin
KA	Kläranlage
KA4	Bodenkundliche Kartieranleitung – 4.Aufl.
Kap.	Kapitel
kg	Kilogramm
km	Kilometer
km ²	Quadratkilometer
korr.	Korrigiert
l/s	Liter/Sekunde
l/s/km ²	Liter/Sekunde/Quadratkilometer
LAGB	Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft „Wasser“
LHW	Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
LT	Lufttemperatur
m ³	Kubikmeter
m ³ /min	Kubikmeter/Minute
m ³ /s	Kubikmeter/Sekunde
MAGICC/SCENGEN	Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change/Scenario Generator
MAX	Maximum
mg/l	Milligramm/Liter
MHQ	Mittlerer Hochwasserabfluss
MHq	Mittlere Abflussspende des hohen Abflusses

MIN	Minimum
Mio.	Million
MIT	Mittelwert
mm	Millimeter
mm/a	Millimeter/Jahr
MMK25	Mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung 1:25.000
mNN	Meter über Normal-Null
MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluss
MNq	Mittlere Abflussspende des niedrigen Abflusses
MPI	Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg
MQ	Mittlerer Abfluss
Mq	Mittlere Abflussspende des mittleren Abflusses
N	Stickstoff
N ₂ O	Lachgas
NMxQ	minimaler Durchflussmittelwert
NH ₄	Methan
NNQ	Niedrigster Niedrigwasserabfluss
nRel	relative Sonnenscheindauer
NSE	Nash-Sutcliffe-Effizienzkriterium
NSG	Naturschutzgebiet
o.J.	ohne Jahr
O ₃	Ozon
P	Phosphor
PI	Niederschlag
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
ppm	Parts per million
R ²	Bestimmtheitsmaß
rF	relative Feuchte
RO	Oberflächenabfluss
RPG	Regionale Planungsgemeinschaft (Halle)
S.	Seite
s.o.	siehe oben
s.u.	siehe unten
sm	Schmelzwasserabgabe
So-HJ	Sommerhalbjahr
SRES	Special Report on Emission Scenarios
SWAT	Soil and water assessment tool
T	Temperatur
Tab.	Tabelle
TAR	Third Assessment Report
TEP	Regionales Teilgebietsentwicklungsprogramm
TK	Topographische Karte
u.a.	unter anderem
UG	Untersuchungsgebiet
V&A	vulnerability and adaptation
v.a.	vor allem
VBK50	Vorläufige Bodenkarte 1:50.000
vgl.	vergleiche
W	Windstärke
W/m ²	Watt/Quadratmeter
WB	Wasserbilanz
Wi-HJ	Winterhalbjahr
WQ	Wasserstand-Abfluss (-Beziehung)
z.B.	Zum Beispiel
Zn	Zeitintervall

1 EINLEITUNG

1.1 Problemstellung

Die Diskussion um einen möglichen Klimawandel und seinen Folgen steht nicht zuletzt nach Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls am 16. Februar 2005 (BMU 2005) im Mittelpunkt des wissenschaftlichen und politischen Interesses. In seinem *Third Assessment Report* fasst das *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) wesentliche Erkenntnisse bezüglich der zurückliegenden, gegenwärtigen und zukünftigen Klimaentwicklung zusammen (WATSON 2001). Danach lässt sich im globalen Maßstab seit Beginn des 20. Jahrhunderts eine Erhöhung der bodennahen Lufttemperatur um durchschnittlich $0,6^{\circ}\text{C}$ (Abb. 1.1) (HANSEN ET AL. 1999; JONES ET AL. 1999; PETERSON ET AL. 1999) sowie eine Umverteilung der Niederschläge (JONES ET AL. 1999; HULME ET AL. 1998) feststellen. Die möglichen Ursachen, speziell der anthropogene Anteil an einer globalen Klimaveränderung, wurden in jüngster Zeit kontrovers diskutiert. Doch besteht in der Klimaforschung mittlerweile weitestgehend Einigkeit darüber, dass eine globale Erwärmung um $0,6^{\circ}\text{C}$ in einem erdgeschichtlich kurzen Zeitraum von etwa 100 Jahren über das Ausmaß natürlicher Schwankungen weit hinausgeht. Somit hat vor allem der Mensch durch die Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes die Klimaentwicklung der letzten Jahrhunderte maßgeblich beeinflusst (vgl. HOUGHTON ET

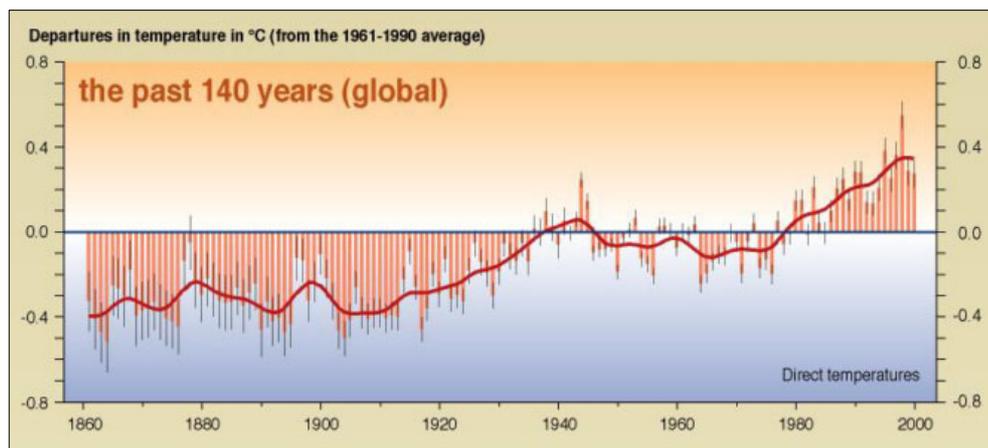


Abbildung 1.1: Jährliche Anomalien der global gemittelten Lufttemperatur gegenüber dem Referenzintervall 1961 - 1990 (Quelle: JONES ET AL. 1999).

AL. 2001; CUBASCH & KASANG 2000; GRABL 1999). Neben den globalen Klimaveränderungen ist vor allem der Betrachtung regionaler Strukturen besondere Bedeutung beizumessen, da sich hier der Klimawandel nicht nur zeitlich und räumlich sehr heterogen darstellt, sondern hinsichtlich der Bewertung von Ursachen, Ausmaß und Folgen in Wechselwirkung mit weiteren Faktoren, wie dem Wasserhaushalt oder der Landnutzung tritt. Gegenüber dem globalen Mittelwert lässt sich für Deutschland eine stärkere Erwärmung im 20. Jahrhundert um $0,9^{\circ}\text{C}$ feststellen. Ebenfalls signifikant, aber räumlich differenzierter, ist der Trend der Niederschlagsentwicklung. Vor allem im Westen und Süden des Landes haben die Winterniederschläge deutlich zugenommen. Demgegenüber zeigt sich im Sommerhalbjahr, insbesondere für die kontinental geprägten Gebiete Ostdeutschlands, eher eine Niederschlagsabnahme (RAPP 2000).

Die Abschätzung einer zukünftigen regionalklimatischen Entwicklung erfolgt unter Einsatz verschiedener „downscaling“-Konzepte, um über Beziehungen zwischen kleinräumigen Klimavariablen und den Ergebnissen globaler Klimamodellberechnungen regionale Klimaszenarien (ENKE & SPEKAT 1997; BÜRGER 1996; BÁRDOSSY 1994) für verschiedene SRES-Szenarien (*Special Report on Emission Scenarios*) (HOUGHTON ET AL. 2001) zu entwickeln. Regionale Szenarien wurden bisher in Deutschland weniger flächendeckend, als vielmehr für einzelne Bundesländer oder Flusseinzugsgebiete erstellt. So liegen für

den ostdeutschen Raum Klimaprognosen für Sachsen (ENKE ET AL. 2001), Thüringen (TLUG 2004), Brandenburg (GERSTENGARBE 2003) sowie das Elbe-Einzugsgebiet (WECHSUNG & BECKER o.J.) seit jüngster Zeit vor, in denen von einem Temperaturanstieg um etwa 2° C und einem Niederschlagsrückgang, vor allem im Sommerhalbjahr, ausgegangen wird. In der Spannweite ihrer Ergebnisse und demzufolge dem möglichen Ausmaß regionaler Klimaänderungen unterscheiden sich die Untersuchungen jedoch beträchtlich und zeigen somit zugleich die methodisch begründeten Unsicherheiten regionaler Klimaszenarienmodelle auf.

Neben den Erkenntnissen zu Ursachen und Ausmaß von Klimaänderungen stehen jedoch vielmehr die **Folgewirkungen** für diejenigen Bereiche im Mittelpunkt des Interesses, welche in direkter Wechselwirkung zum Klimasystem stehen. Hierzu zählt das komplexe Wirkungsgefüge zwischen **Klimawandel**, **Landnutzungsänderungen** und **Wasserkreislauf**, in dem Veränderungen einer dieser Kompartimente tiefgreifende Auswirkungen auf die anderen Teilbereiche haben können.

Das trifft vor allem auf das Bundesland Sachsen-Anhalt zu, für das diesbezügliche Untersuchungen bisher nicht existieren und somit ein Informationsdefizit hinsichtlich regionalem Klimawandel und seinen Folgewirkungen vorliegt. Dabei lässt der Beziehungskomplex aus naturräumlicher und klimatisch-hydrologischer Situation zum einen und des sich seit Beginn der 90-er Jahre des 20. Jahrhunderts vollziehenden Landnutzungswandels andererseits für große Teile des Bundeslandes spezielle Ausprägungen klimatischer Veränderungen mit den entsprechenden Folgen für den regionalen Wasserhaushalt erwarten. Vor allem in Hinblick auf die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie, welche den Schutz und die Verbesserung der aquatischen Ökosysteme sowie die Herstellung eines guten Gewässerzustandes zum Ziel hat (VON KEITZ & SCHMALHOLZ 2002), ist bezüglich der qualitativen und quantitativen Sicherung der Ressource „Wasser“ ein hohes Konfliktpotential vorhanden. Demgegenüber steht das wasserwirtschaftlich-ökonomische Interesse an einer ausreichenden Wasserverfügbarkeit, z.B. für die Trink- und Abwasserversorgung, die landwirtschaftliche Bewässerung oder den Betrieb wasserwirtschaftlicher Anlagen, bei einem perspektivisch geringeren Wasserdargebot.

Dies gilt in besonderem Maße für das östliche Harzvorland, das, bedingt durch die Leewirkung des Harzes, zu den trockensten Regionen Mitteleuropas zählt (BMBF 2000). Speziell das Einzugsgebiet der Querne/Weida weist durch die klimatischen Eigenschaften, in Verbindung mit einer intensiven Flächennutzung, eine angespannte Wasserhaushaltssituation auf, die sich bereits gegenwärtig in einer langjährig defizitären Wasserbilanz widerspiegelt. Demgegenüber befindet sich der Ostharz mit dem Flusseinzugsgebiet der Wipper sowohl nutzungsbedingt als auch klimatisch und hydrologisch in einer Gunstsituation.

Aus den unterschiedlichen Rahmenbedingungen in den Einzugsgebieten von Querne/Weida und Wipper, als die Landschaftseinheiten von Ostharz und Harzvorland repräsentierende Teilräume, ergibt sich die Möglichkeit, Klimaänderungen und ihre hydrologischen Folgewirkungen hinsichtlich Ursache und Ausmaß zu untersuchen. Insofern können durch einen vergleichenden Ansatz die zu erwartende unterschiedliche Sensibilität der hydrologischen Systeme gegenüber klimabedingten Veränderungen analysiert und Problemregionen anschließend detailliert betrachtet werden.

Als eine solche lässt sich vor allem der im Kern des Mitteldeutschen Trockengebietes gelegene ehemalige Salzige See charakterisieren, für den in diesem Zusammenhang ein wesentlicher Forschungs- und Handlungsbedarf besteht. Eine mögliche Wiederentstehung des Gewässers würde, trotz der Herstellung eines quasi natürlichen Zustandes, von einem Prozess des Landnutzungswandels begleitet sein. Dieser bedeutet einen Eingriff in den regionalen Wasserhaushalt, den es, unter Berücksichtigung der nutzungsabhängigen und hydrologisch-ökologischen hohen Ansprüche an die Wasser- und Stoffhaushaltssituation des Gewässers und seines Einzugsgebietes, zu untersuchen gilt.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird die Diskussion um die geplante Wiederentstehung des Salzigen Sees weniger durch ökologische oder hydrologische Sachfragen, als vielmehr durch finanzielle und politische Zwänge bestimmt. Davon unabhängig war das Gebiet in den letzten Jahren Gegenstand zahlreicher planungsrelevanter Grundlagenuntersuchungen. Neben ökologisch-biologischen Schwerpunkten standen insbesondere hydrologische Fragestellungen (vgl. PFÜTZNER ET AL. 1996; PFÜTZNER 1997; ARGE HPI-BAH 1998) sowie Untersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt im Vordergrund (SCHMIDT & FRÜHAUF 2002). Obwohl der Salzige See und sein Einzugsgebiet hinsichtlich der Wechselwirkungen zwischen Nutzungswandel und Wasserhaushaltssituation ein praxisnahes Untersuchungsfeld darstellen, wurden die zukünftigen Wasserbilanzverhältnisse in seinem Umfeld sowohl unter gegenwärtigen als auch unter klimatisch veränderten Rahmenbedingungen bisher nur am Rande (ARGE HPI-BAH 1998; DWD 1998) oder in zeitlich und räumlich begrenzter Auflösung betrachtet (BENDEL 1997; PFÜTZNER 1997; KUSSMANN 1999). Eine detaillierte Untersuchung der zukünftigen hydrologischen Verhältnisse, auch unter Verwendung von regionalen Klimaszenarien, erscheint vor allem in Hinblick auf die bereits gegenwärtig angespannte Wasserhaushaltssituation dieser Region nicht nur sinnvoll, sondern zwingend erforderlich.

1.2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Ausgehend von den im einleitenden Kapitel vorgestellten Informationsdefiziten bezüglich der Wechselwirkungen zwischen den Komponenten Klima, Hydrologie und Landnutzung ergibt sich als vorrangiges Ziel der Arbeit, klimabedingte Veränderungen des Wasser- und Stoffhaushaltes zu untersuchen. Dies erfolgt durch Anwendung eines vergleichenden Ansatzes, unter dem Blickwinkel der gegenwärtigen naturräumlichen Verhältnisse und eines zu erwartenden Nutzungswandels. Dabei gilt es zum einen, das Ausmaß klimatischer und hydrologischer Veränderungen abzuschätzen, das sich aus den verschiedenen methodischen Ansätzen der verwendeten Klimaszenarienmodelle ergibt. Weiterhin wird unter planungsrelevanten Gesichtspunkten untersucht, welche gegenwärtigen und zukünftigen Problemfelder aus der möglichen Wiederentstehung des ehemaligen Salzigen Sees für die regionale Wasserbilanzsituation entstehen können.

Wesentliche Teilziele und der sich daraus ableitende Aufbau der Arbeit lassen sich durch das in Abb. 1.2 dargestellte Schema zusammenfassen.

Grundlage des vergleichenden Ansatzes ist die Betrachtung der Flusseinzugsgebiete Querne/Weida und Wipper, welche sich sowohl in ihrem naturräumlichen Inventar als auch ihrer Flächennutzung maßgeblich voneinander unterscheiden. Ziel ist es zunächst, das Ausmaß klimabedingter Folgewirkungen für die Komponenten Wasserhaushalt und Gewässerabfluss in Abhängigkeit von den Gebietseigenschaften zu untersuchen, um darauf aufbauend, das Gefährdungspotential beider Einzugsgebiete gegenüber einer möglichen Klimaveränderung vergleichend zu analysieren. Hierzu werden, unter Verwendung des Modellierungssystems ARC-EGMO (PFÜTZNER 2002), zunächst GIS-basierte hydrologische Modelle erstellt, auf deren Grundlage in einem ersten Schritt die Bewertung des hydrologischen „Ist-Zustandes“ in den Untersuchungsgebieten durchgeführt wird. Anschließend erfolgt die Anwendung der Modelle sowohl auf vereinfachte (WIGLEY ET AL. 2000) als auch komplexe (GERSTENGARBE & WERNER 2003a; REIMER ET AL. 2003) regionale Klimaszenarien. Dies ermöglicht neben den eigentlichen Untersuchungen zu den Auswirkungen auf die hydrologischen Systeme die mit den Klimaszenarienmodellen und deren methodischen Ansätzen verbundenen Unsicherheiten abschätzen, bewerten und die Modellergebnisse diesbezüglich interpretieren zu können.

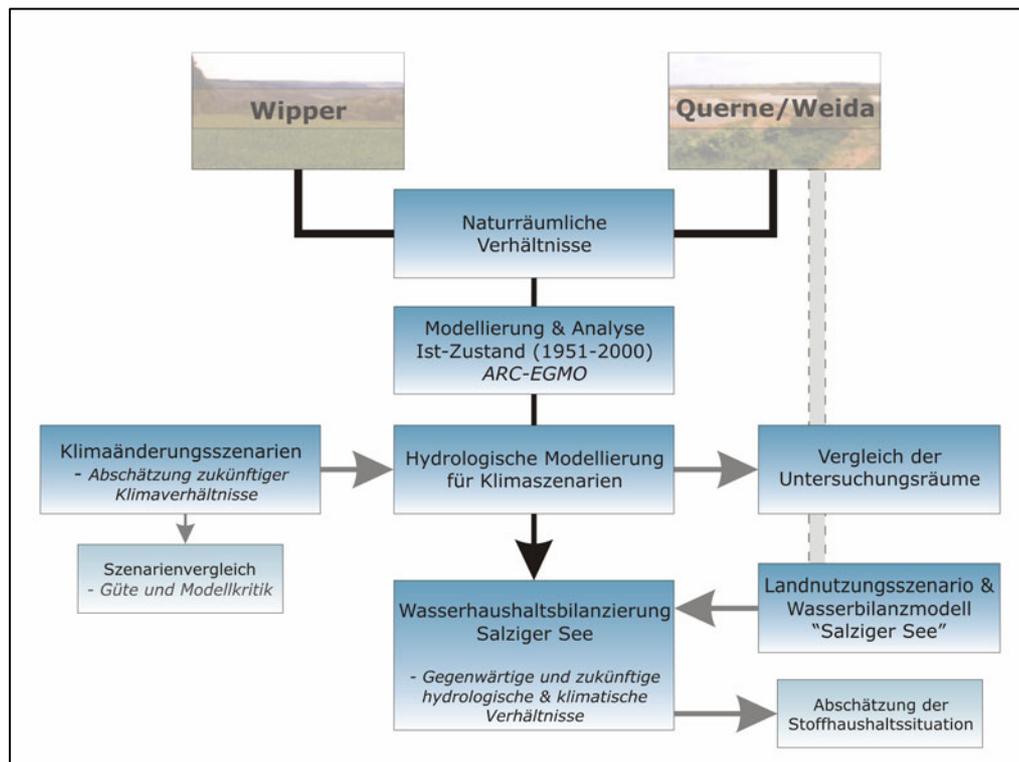


Abbildung 1.2: Schematische Darstellung des inhaltlichen Aufbaus und wesentlicher Teilziele der Arbeit

Neben der Betrachtung der hydrologischen Folgewirkungen des Klimawandels und seiner naturraumabhängigen Ausprägung bildet die Integration langfristiger Planungsvorhaben und demnach die Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Klima- und Landnutzungsänderungen einen weiteren wesentlichen Schwerpunkt der Arbeit. Hierzu wird ein Teilgebiet ausgewählt, welches aufgrund seiner bereits gegenwärtig angespannten Wasserhaushaltssituation und dem zu erwartenden Eingriff in sein hydrologisches System ein außerordentliches Konfliktpotential aufzuweisen hat. So erfordert die mögliche Wiederentstehung des Salzigen Sees im unteren Einzugsgebiet der Querne/Weida sowohl für gegenwärtige klimatische und hydrologische Verhältnisse als auch unter dem Blickwinkel einer möglichen Klimaänderung eine detaillierte Wasserhaushaltsbilanzierung. Unter Berücksichtigung der an den Salzigen See und sein Umfeld gestellten vielfältigen Ansprüche wird ein Wasserbilanzmodell entwickelt und auf verschiedene Bilanzierungsvarianten angewandt. Ziel ist die Abschätzung der Bilanzsicherheit des Salzigen Sees und der Salza. Daraus ableitend werden sowohl unter gegebenen als auch veränderten klimatischen Bedingungen Aussagen zur Unterschreitungshäufigkeit der hydrologischen Grenzwerte innerhalb ausgewählter Betrachtungszeiträume getroffen. Dies ermöglicht, Planungs- und Handlungsempfehlungen hinsichtlich der Realisierbarkeit der Wiederentstehung des Gewässers abzuleiten. Unter Einbindung vorliegender Untersuchungsergebnisse (FRÜHAUF & SCHMIDT 1999) wird abschließend eine Abschätzung der Stoffhaushaltssituation für den Salzigen See und sein Einzugsgebiet, vor allem in Hinblick auf eine klimabedingte Veränderung des Landschaftswasserhaushaltes, vorgenommen.

Aus den dargestellten themenorientierten Schwerpunkten der Arbeit lassen sich folgende wesentliche Fragestellungen ableiten, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit beantwortet werden:

- Wie lassen sich die Untersuchungsgebiete bezüglich ihrer gegenwärtigen hydrologischen Eigenschaften charakterisieren?
- Welche Auswirkungen hat ein möglicher Klimawandel auf das hydrologische System beider Untersuchungsräume und welche Unterschiede sind bei der nutzungs- und naturraumabhängigen Sensitivität gegenüber Veränderungen der natürlichen (klimatischen) Randbedingungen zu erwarten?
- Wie lassen sich Vor- und Nachteile der eingebundenen regionalen Klimaszenarien vergleichend beschreiben? Wie können ihre Unsicherheiten, insbesondere in Bezug auf die Eignung für Fragen der Wasserverfügbarkeit, quantitativ bewertet und welche Schlussfolgerungen daraus für die Szenarienmodellgüte gezogen werden?
- Welche Teilräume weisen ein besonders ausgeprägtes Konfliktpotential in Bezug auf die Sicherung der Ressource „Wasser“ auf?
- Welche hydrologischen und ökologischen Wechselwirkungen sind im Zusammenhang mit der möglichen Wiederentstehung des Salzigen Sees und der gegenwärtigen Wasserhaushaltssituation zu erwarten?
- Wie stellt sich unter rezenten und veränderten klimatischen Verhältnissen die Wasserbilanzsituation des Salzigen Sees dar und welche Konflikt- und Handlungsfelder leiten sich für das Gebiet daraus ab?
- Welche Veränderungen der stofflichen Gewässerbelastung sind, auch und vor allem im Hinblick auf die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie, unter veränderten klimatischen und hydrologischen Bedingungen zu erwarten?
- Welche Schlussfolgerungen können aus den gewonnenen Erkenntnissen gezogen und welche perspektivischen Handlungsempfehlungen für die Untersuchungsgebiete gegeben werden?

Aus den sehr vielfältigen Fragekomplexen lassen sich Zielstellung und gleichzeitig Wert der Arbeit erkennen, der nicht in der Entwicklung neuer, sondern vielmehr in der integrativen Verknüpfung und Anwendung vorhandener Methoden liegt. Dabei kann, auf Grundlage einer vergleichenden Betrachtung naturräumlich unterschiedlich ausgestatteter und durch verschiedene Landnutzungen geprägter Flusseinzugsgebiete, auf Problemregionen orientiert und für diese dynamisch und praxisrelevant die hydrologischen Folgewirkungen des Klimawandels untersucht werden.

2 GRUNDLAGEN UND STAND DER FORSCHUNG

2.1 Die Veränderung des Klimas und die Folgen für den Wasserhaushalt

Die Starkniederschläge des Jahres 2002 (IKSE 2004; OPP 2004; RUDOLF & RAPP 2003; LFUG 2002) und die extreme Trockenheit im Sommer 2003 (SCHÖNWIESE ET AL. 2004; BECK ET AL. 2004; RUDOLF 2004) haben die Diskussion um einen möglichen Klimawandel zunehmend in den Mittelpunkt des gesellschaftlichen und politischen Interesses gerückt. Zuletzt erfuhr das Thema eine neuerliche Aktualisierung durch das Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls am 16. Februar 2005, mit dem Ziel, eine dauerhafte Senkung klimarelevanter Treibhausgasemissionen zu erreichen (BMU 2005). Als zentraler Punkt des Protokolls wird vor allem die anthropogene Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes als Ursache einer globalen Klimaerwärmung angesehen (HOUGHTON ET AL. 2001).

Ohne die **natürliche** Treibhauswirkung der Atmosphäre wäre ein Leben auf der Erde kaum möglich. Die kurzwellige Sonneneinstrahlung (342 W/m^2 Energie) wird durch die Erdoberfläche (49 %) und atmosphärische Spurengase bzw. Wolken (20 %) absorbiert und als langwellige Wärmestrahlung neben der direkt reflektierten Strahlung (31 %) an den Weltraum abgegeben. Der dadurch verursachte Wärmestau führt in der unteren Atmosphäre zur Erwärmung von -18°C auf $+15^\circ\text{C}$ (BAKAN & RASCHKE 2002; HOUGHTON ET AL. 2001; CUBASCH & KASANG 2000; LOŽAN ET AL. 1998). Die Betrachtung des natürlichen Treibhauseffektes lässt umgekehrt den Schluss zu, dass eine Zunahme von Treibhausgasen in der Atmosphäre die Absorption der Sonneneinstrahlung erhöht, den Treibhauseffekt verstärkt und somit zu einer Erwärmung der Erdatmosphäre beiträgt.

Eine Zunahme der wichtigsten klimarelevanten Treibhausgase ist nachweisbar und unbestritten. Seit Beginn der Industrialisierung hat sich der Anteil an CO_2 von 280 ppm auf 370 ppm erhöht. Aber auch für NH_4 , N_2O und O_3 sind Konzentrationsanstiege festzustellen (HOUGHTON ET AL. 2001, SEILER & HAHN 1998, SCHÖNWIESE 1995). Nach Szenarienrechnungen wird allein für CO_2 ein Anstieg bis zum Ende des 21. Jahrhunderts auf 550 bis 950 ppm erfolgen (HOUGHTON ET AL. 2001).

Trotz der weltweit vorhandenen Überzeugung bezüglich genannter Fakten werden auch gegenwärtig noch Diskussionen um den Anteil des Menschen an einer Klimaerwärmung geführt. Bei den Gegnern einer anthropogenen Klimadiskussion (u.a. ESEF 2002; DIETZE 2001; BERNER & STREIF 2000; GELBSPAN 1997; CALDER 1997; THÜNE ET AL. 1996; BÖTTCHER & METZNER 1994; WEBER 1991) sind es vor allem die natürlichen Schwankungen des Klimas, die als Argument dafür angeführt werden, dass es sich auch bei der globalen Erwärmung des 20. Jahrhunderts um überwiegend natürliche Ursachen handelt. Allerdings stehen hinter den Argumenten einzelner Klimaskeptiker nicht selten wirtschaftliche Interessen, begründet durch existierende Verbindungen, u.a. zur Öl-, Kohle- oder Nuklearindustrie (VERSTEGEN 2000). Andere Experten, wie der Däne Friis-Christensen, widerriefen nach jahrelangen Diskussionen (RAHMSTORFF 2003, 2004; VERSTEGEN 2000) ihre noch zu Beginn der 90-er Jahre des 20. Jahrhunderts vertretenen Aussagen zur überwiegend natürlichen Ursache einer Klimaerwärmung (vgl. THEJLL & LASSEN 2000; FRIIS-CHRISTENSEN & LASSEN 1991).

Zweifelsohne haben natürliche Schwankungen in der erdgeschichtlichen und auch jüngeren Vergangenheit zu Variabilitäten im Klima geführt, wie sie zum Beispiel während der kleinen Eiszeit zwischen 1520 und 1860 in Mitteleuropa auftraten (GLASER ET AL. 2000; PFISTER 1999). Als Ursache genannt seien an dieser Stelle längerfristig wirkende externe Einflüsse, wie die Milankovich-Zyklen (LORENZ & LOHMANN o.J.; MILANKOVICH 1941) oder der 11-jährige Sonnenfleckenzyklus (SCHÖNWIESE 2004), aber auch kurzfristige Klimafaktoren, zu denen Vulkanausbrüche oder das El-Niño-Phänomen (ARNTZ & FAHRBACH 1991)

zu zählen sind. Temperaturerhöhungen, wie sie in den letzten 100 Jahren festgestellt werden konnten, traten jedoch nur über einen Zeitraum von mehreren Tausend Jahren auf.

Unabhängig davon, ob die nachweisbare, anthropogene Erhöhung der Treibhausgasemissionen das globale Klima weltweit verändert hat und weiter verändern wird, so ist die Tatsache der Erwärmung selbst nicht anzuzweifeln. Das IPCC hat in seinem *Third Assessment Report (TAR)* die wesentlichen Erkenntnisse hierzu zusammengefasst (WATSON 2001). Danach ist es seit Beginn des 20. Jahrhunderts weltweit zu einer Erwärmung um durchschnittlich $0,6^\circ\text{C}$ gekommen, wobei die nördliche Hemisphäre mit $+0,8^\circ\text{C}$ überdurchschnittlich betroffen war (HANSEN ET AL. 1999; JONES ET AL. 1999; PETERSON ET AL. 1999). Hier traten die zehn wärmsten Jahre seit 1861 erst nach 1989 auf (UBA 2004).

Welche Wechselwirkungen sind zwischen einer Temperaturerhöhung und der Veränderung des Niederschlagsverhaltens zu erwarten und welche Konsequenzen lassen sich daraus für den globalen und regionalen Wasserkreislauf/-haushalt ableiten? Sowohl Erkenntnisse zur Klimageschichte seit der letzten Eiszeit als auch zukünftige Modellrechnungen gehen von einem bedeutenden Einfluss der Temperatur auf den Wasserkreislauf aus (LORENZ ET AL. 2004). WETHERALD & MANABE (2002) prognostizieren eine Zunahme der Verdunstung um 5,2 % bei einer Erhöhung der Lufttemperatur von $2,3^\circ\text{C}$ in den nächsten 100 Jahren. Vor allem über den Ozeanen lässt sich daraus, infolge einer erhöhten Speicherkapazität der Luft für Wasserdampf, eine Intensivierung des globalen Wasserkreislaufes und somit eine Zunahme der Niederschläge in Ausmaß und Intensität erwarten (LORENZ ET AL. 2004; STOCKER ET AL. 2001; FREI ET AL. 1998). Gleichzeitig führt die Umwandlung eines Teils des bisher in fester Form gebundenen Wassers in den flüssigen Zustand zu positiven Rückkopplungseffekten, da die zeitliche und räumliche Verringerung der Schneebedeckung zusätzlich eine Temperaturerhöhung durch das geringere Reflexionsvermögen der Erdoberfläche bewirkt (CUBASCH ET AL. 2001).

In Form von Niederschlag ist Wasser ein grundlegender Bestandteil des Wasserkreislaufes und lebensnotwendige Grundlage für den Menschen und seine natürliche Umwelt. Eine Veränderung des globalen Wasserkreislaufes (Abb. 2.1) hätte weitreichende ökologische und ökonomische Folgen für die qualitative und quantitative Verfügbarkeit der Ressource „Wasser“ (ARNELL ET AL. 2001).

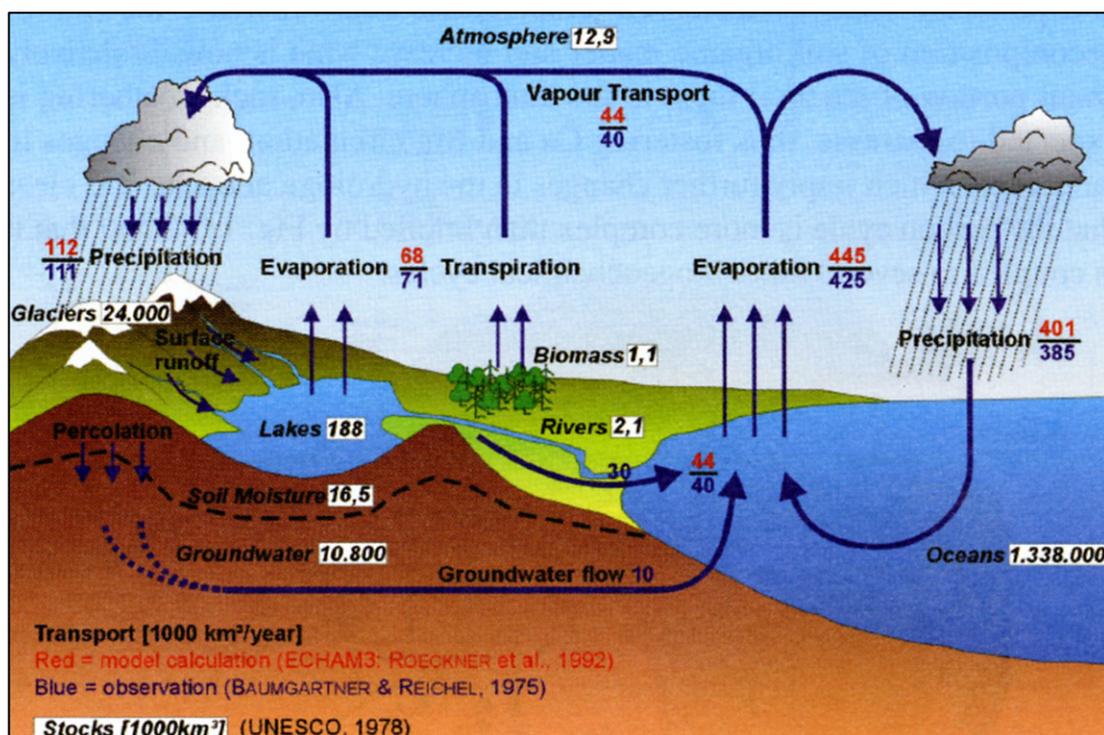


Abbildung 2.1: Der globale Wasserkreislauf und mögliche Veränderungen durch den Klimawandel (Quelle: BRONSTERT ET AL. 2004)

Auch wenn die Intensivierung des Wasserkreislaufes als Folge des Klimawandels noch nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte (u.a. JACOB & HAGEMANN 2004; LOŽAN ET AL. 2004), so deutet die Veränderung von Niederschlagsverteilung und -intensität als Indiz darauf hin. In den nördlichen Breiten konnte im 20. Jh. eine Niederschlagszunahme um 7 bis 12 % festgestellt werden, während in großen Teilen zwischen 0° N und 30° N ein deutlich rückläufiger Niederschlagstrend nachweisbar ist (JONES ET AL. 1999; HULME ET AL. 1998.).

Vielmehr als den globalen Klimaänderungen sollte jedoch den hieraus entstehenden regionalen Konsequenzen Bedeutung beigemessen werden, da hier der Klimawandel in Wechselwirkung mit weiteren Faktoren, wie dem Wasserhaushalt oder der Landnutzung tritt. Betrachtet man die klimatische Entwicklung des 20. Jahrhunderts, so lassen sich die Tendenzen einer globalen Klimaveränderung auch in Mitteleuropa erkennen. MÜLLER-WESTERMEIER (2002) und RAPP (2002) ermittelten für das 20. Jahrhundert in Deutschland eine durchschnittliche Erwärmung zwischen + 0,6° C und + 0,9° C. Ebenfalls konnte eine durchschnittliche Zunahme trockener Jahre festgestellt werden (RUDOLF 2004; BECK ET AL. 2004). Bezüglich der Niederschlagsentwicklung lieferten RAPP und SCHÖNWIESE in der jüngeren Vergangenheit wertvolle Resultate und zeigten auf, dass auch innerhalb Deutschlands regionale Varietäten einer Klimaänderung erkennbar sind. Sie stellten für den atlantisch geprägten westdeutschen Raum eine hoch signifikante Niederschlagszunahme im Winterhalbjahr um bis zu 30 % und vergleichsweise geringe Veränderungen im Sommerhalbjahr fest (RAPP 2002; RAPP & SCHÖNWIESE 1996). Mit zunehmender Kontinentalität ändern sich hingegen die Entwicklungsrichtungen. Der ostdeutsche Raum weist zwar ebenfalls einen Anstieg der winterlichen Niederschläge auf, doch zeigen hier große Teile einen signifikanten Rückgang im Sommerhalbjahr. Gleichzeitig wurde eine Zunahme von Ausmaß und Häufigkeit extremer Ereignisse festgestellt (GRIESER & BECK 2002; GRIESER ET AL. 2000).

Allen genannten Untersuchungen gemein ist, dass die Anzahl der verwendeten Klimastationen hinreichend repräsentative Aussagen für kleinere Teilräume oftmals nicht ermöglicht. GRIESER & BECK (2002) bezogen sich für den mitteldeutschen Raum z.B. nur auf eine Klimastation. Dabei ist es aufgrund der klima- und nutzungsbedingten Abhängigkeit von einer ausreichenden Wasserverfügbarkeit (BMBF 2000) speziell dieses Gebiet, für das detaillierte Untersuchungen zu den Folgen des Klimawandels für den Landschaftswasserhaushalt erforderlich sind (Kap. 2.3 & 3.1).

Betrachtet man den regionalen Wasserkreislauf im Allgemeinen, so ist vor allem eine Veränderung des Abflussverhaltens zu erwarten. Dazu zählen gemäß der Definition nach DYCK & PESCHKE (1995) sowohl die ober- als auch unterirdischen Komponenten des hydrologischen Kreislaufs. Aussagen hinsichtlich einer trendbehafteten Zunahme extremer Hoch- und Niedrigwasserereignisse als Folge des Klimawandels gelten allgemein hin noch als zu unsicher (BRONSTERT & ENGEL 2004; KLIWA 2003; PETRASCHKE 2003; KLEEBERG 1996), werden sie doch häufig durch menschliche Eingriffe der Vergangenheit wie Landnutzungsänderungen oder Gewässerausbaumaßnahmen überdeckt. Legt man jedoch eine temperaturbedingte Zunahme der Verdunstungsraten und einen Rückgang der sommerlichen Niederschläge, vor allem im kontinental geprägten ostdeutschen Raum, zu Grunde, so lassen sich insbesondere für den Niedrigwasserabfluss Veränderungen erwarten. Der infolge geringerer Wasserverfügbarkeit zu erwartende Rückgang der Sickerwasserraten auf der einen und die Zunahme des kapillaren Aufstieges von Bodenwasser auf der anderen Seite bedingen gleichermaßen einen Rückgang des Grundwasserzustromes in die Fließgewässer und somit, vor allem in den Sommermonaten, eine Reduzierung der Trockenwetterabflüsse (vgl. ARNELL ET AL. 2001; ARNELL 1999).

Neben der quantitativen Komponente steht mit dem Ziel der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie auch die Sicherung einer „guten“ Gewässerqualität bis zum Jahr 2015 (VON KEITZ & SCHMALHOLZ 2002) im Mittelpunkt wissenschaftlicher und öffentlicher Bemühungen. Diese zu gewährleisten, erscheint unter

den veränderten Klimabedingungen zunehmend schwierig, sofern die in den Flusseinzugsgebieten praktizierten Nutzungseinflüsse (Siedlungen, Landwirtschaft, Abwasser) in Art und Ausmaß Fortbestand haben werden. Auch unter dem Gesichtspunkt eines zunehmenden wasserwirtschaftlichen und ökologischen Interesses an einer quantitativen und qualitativen Sicherung der Wasserverfügbarkeit (LOŽAN ET AL. 2004) ist der integrierten Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Klimawandel, Wasserhaushalt und Landnutzungsänderungen und deren regionalspezifischen Folgewirkungen eine zunehmende Bedeutung beizumessen (CLAUSSEN 2003).

Da es sich hierbei um Zukunftsprojektionen handelt, können mit bewährten Methoden allein (Auswertung historischer Daten, Feldmessungen) keine befriedigenden Aussagen zu den Klimafolgen getroffen werden. Vielmehr bedarf es moderner Modell- und Szenarienansätze, mit denen nicht nur mittlere Entwicklungen, sondern vielmehr auch extreme Veränderungen und die daraus zu erwartenden Konsequenzen analysiert und bewertet werden können (Kap. 2.2).

2.2 Modelle und Szenarien – global und regional

Neben den sozioökonomischen Bereichen gewannen in den letzten Jahrzehnten **Modelle** und **Szenarien** auch in den meisten naturwissenschaftlichen Teilgebieten zunehmend an Bedeutung. Szenarien sind „...in der Landschaftsökologie eine vorgegebene Entwicklung von politischen, ökonomischen oder klimatischen Rahmenbedingungen, für die mit Hilfe der Szenarientechnik künftige Zustände von Ökosystemen oder Landschaften modelliert werden ...“ (LANDSCAPE GMBH 2002, S. 140). Vor allem in enger Verbindung mit Modellen, der „...Abbildung bzw. Darstellung eines Sachverhaltes unter einem theoretisch relevanten Gesichtspunkt...“ (BRUNOTTE 2002, S. 392), sind Szenarien in der Klimafolgenforschung zu einem unverzichtbaren Werkzeug geworden, das, ähnlich dem gesellschaftlichen Interesse am Klimawandel selbst, zunehmend an Bedeutung gewinnt. Dies liegt vor allem darin begründet, dass der Abschätzung der zukünftigen Klimaentwicklung und ihrer Folgewirkungen allein aus historischen Daten oder Aufzeichnungen bzw. experimentellen Versuchen Grenzen gesetzt sind (vgl. Kap. 2.1). Zu komplex und nichtlinear funktioniert das Klimasystem mit seinen vielfachen Wechselwirkungen. Dennoch stellen die Ergebnisse historischer oder statistischer Auswertungen von Klimazeitreihen (vgl. OSCHMANN 2004; GLASER 2001; JONES ET AL. 2001; CROWLEY 2000; PFISTER 1999; GLASER ET AL. 1999; MILITZER 1998) eine wertvolle Grundlage dar, die mittel- und langfristige Klimaentwicklung hinsichtlich Ursachen und Verlauf einordnen zu können.

Die Ableitung von Aussagen bezüglich zukünftiger Klimaveränderungen, z.B. verursacht durch anthropogene Eingriffe, kann somit nur anhand von **globalen Klimamodellen** erfolgen, die das natürliche Klimasystem der Erde, seine Variabilität und deren Ursachen hinreichend genau wiedergeben können. Dabei werden die wesentlichen Komponenten, wie Atmosphäre, Ozean, Landoberfläche, Kryosphäre, Biosphäre und deren gegenseitigen Wechselwirkungen modelliert. Gegenwärtig finden in der Klimaforschung überwiegend gekoppelte globale Ozean-Atmosphärenmodelle (AOGCM) ihre Anwendung, die, je nach Fragestellung, um weitere Modellkomponenten, wie z.B. zur Darstellung des Kohlenstoffkreislaufes, erweitert werden können (vgl. u.a DWD 2004, 2003, 2002; CUBASCH 2002; CUBASCH ET AL. 2001; VON STORCH ET AL. 1999). Als bedeutende Vertreter globaler Klimamodelle gelten *HadCM3* (Hadley Centre for Climate Prediction and Research, GORDON ET AL. 2000; POPE ET AL. 2000), *CGCM2* (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, FLATO & BOER 2001), *NCAR-DOE* (US National Centre for Climate Prediction and Research, WASHINGTON & MEEHL 1996) sowie das Modell des Deutschen Klimarechenzentrums (DKRZ) in Hamburg, *ECHAM4*, das mit dem Ozeanmodell *OPYC3* gekoppelt ist (ROECKNER ET AL. 1996). Aufgrund der chaotischen Struktur des Klimasystems sowie der nur schwer einzuschätzenden glo-

balen Entwicklung ist die Simulation des zukünftigen Klimas mit einer Vielzahl von Unsicherheiten verbunden (EDWARDS 2002; MOORE III 2001; WIGLEY & SMITH 1998; VON STORCH ET AL. 1999). Hierzu zählen die Rückkopplungseffekte, die sich z.B. aus Temperaturerhöhung und der Veränderung von Bewölkung oder Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre ergeben können, die generelle Klimasensitivität (z.B. gegenüber anthropogenen Eingriffen) oder die natürliche Klimavariabilität. Auch die eingeschränkte räumliche Auflösung der Klimamodelle, die je nach Modell zwischen $1,8^\circ \times 1,8^\circ$ und $2,5^\circ \times 3,75^\circ$ liegt, macht es erforderlich, einzelne atmosphärische Prozesse vereinfacht darzustellen (CUBASCH ET AL. 2001; GIORGI ET AL. 2001).

Kritisch betrachtet wird oftmals der hypothetische Charakter der Klimamodelle, da die Modellläufe auf **Klimaszenarien** beruhen, die durch das IPCC vorgegeben werden (vgl. MOORE III 2001; GRAY 1998). Hierbei werden unterschiedliche weltweite Entwicklungen, z.B. für Lebensstandard, Weltbevölkerung, Energieverbrauch und -träger zu Grunde gelegt und, davon ausgehend, dass der Mensch als Steuerfaktor das globale Klima verändern kann, unterschiedliche Emissionen klimarelevanter Treibhausgase (z.B. CO₂, Methan) angesetzt. Eine Expertenrunde des IPCC entwickelte diesbezüglich 35 Emissionsszenarien, SRES-Szenarien (Second Report on Emissions Scenarios), die sich wiederum vier Leitszenarien zuordnen lassen. Der in Abb. 2.2 auf Grundlage aller Szenarien und Klimamodelle dargestellte globale Temperaturanstieg um 1,4 bis 5,8° C bis zum Jahr 2100 verdeutlicht die große Bandbreite und damit verbundene Unsicherheit der Klimamodellrechnungen. Eine zusammenfassende Darstellung der Modellergebnisse aller Szenarien bieten CUBASCH ET AL. (2001). Trotz aller Nachteile und der zum Teil berechtigten Kritik gibt es gegenwärtig keine Alternative zur Abschätzung zukünftiger Klimaveränderungen mit Hilfe von Modellen und Szenarien. Jedoch kommt der kritischen Auseinandersetzung mit ihren Defiziten eine besondere Bedeutung zu. Die Unterschiede zwischen den Klimamodellen und die daraus resultierenden Unsicherheitsbereiche wurden verschiedentlich bereits durch mehrere Autoren untersucht (u.a. SCHUMANN ET AL. 2001; NEW & HULME 2000; HULME & CARTER 1999; VON STORCH ET AL. 1999).

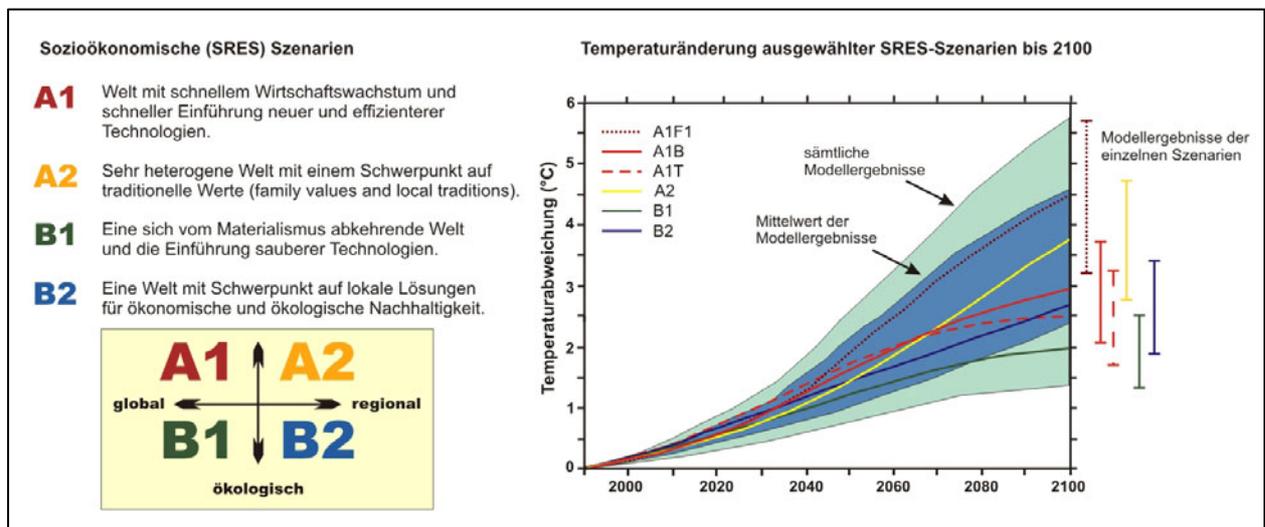


Abbildung 2.2: SRES-Leitszenarien und Temperaturänderung ausgewählter Szenarien

Vielmehr als der zukünftigen globalen Klimaentwicklung ist aufgrund der Wechselwirkungen zwischen dem globalen Klimasystem und den kleinräumigen Randbedingungen den regionalen Klimaveränderungen Bedeutung beizumessen. Ihre Modellierung ist infolge der geringen räumlichen Auflösung durch globale Modelle nicht möglich. Durch den Einsatz von „downscaling“-Methoden wird über dynamische oder statistische Ansätze die Verknüpfung globaler Klimaprozesse mit dem regionalen Klima vorgenommen (GIORGI ET AL. 2003). Verfahren für dynamisches downscaling, bei dem über statistische Verfahren die

globalen Klimamodellerggebnisse direkt in regionale Ebenen übertragen werden, entwickelten u.a. GOODESS (2003), FUENTES & HEIMANN (2000) und RÄISÄNEN ET AL. (1999). Ein großer Nachteil besteht allerdings darin, dass systematische Fehler des globalen Modells auf das regionale Modell übertragen werden. Demgegenüber sind statistische Modellansätze (vgl. GERSTENGARBE & WERNER 2003a; ZORITA & VON STORCH 1999; HUTH 1999; SOLMAN & NUNEZ 1999; WILBY ET AL. 1998; ENKE & SPEKAT 1997; BÜRGER 1996) weitestgehend unabhängig von den globalen Klimamodellen, doch ist für die Kalibrierung des Modells eine sehr lange Klimabeobachtungsreihe erforderlich, was die Anwendungsmöglichkeiten in zahlreichen Regionen begrenzt. Auch wenn der hohe Aufwand und eine gegenwärtig noch unbefriedigende Genauigkeit den Einsatz einschränken, so besteht perspektivisch in regionalen atmosphärischen Modellen (vgl. GRABOWSKI 2000; GRELL ET AL. 1999; CHRISTENSEN & VAN MEIJGAARD 1992), vor allem bei der Abschätzung der Entwicklung von Extremereignissen, eine ernst zunehmende Alternative. Demgegenüber können rein hypothetische Szenarien aufgrund der willkürlichen Veränderung einzelner Klimaparameter zumeist nur im Rahmen von Sensitivitätsanalysen eingesetzt werden, um z.B. die Empfindlichkeit des Wasserhaushaltes gegenüber Klimaänderungen zu testen (BÁRDOSY 1994). Beispielhaft seien an dieser Stelle die Untersuchungen von PANAGOULIA & DIMOU (1997); ARNELL (1995); CHIEW ET AL. (1995); MCCABE & HAY (1995); SKILES & HANSON (1994); KWADIJK (1991) sowie NÓVAKY (1991) genannt.

Ein herausragender Beitrag zur Abschätzung zukünftiger klimatischer Entwicklungen unter Verwendung **regionaler Klimamodelle** im kontinental geprägten ostdeutschen Raum wurde in jüngster Vergangenheit im Rahmen des GLOWA-Elbe-Projektes geleistet (WECHSUNG & BECKER o.J.). Aber auch für Sachsen (ENKE ET AL. 2001), Thüringen (TLUG 2004) und Brandenburg (GERSTENGARBE 2003) liegen diesbezüglich erste Erkenntnisse vor. Hinsichtlich der Folgewirkungen des Klimawandels für den **Wasserhaushalt** und die aquatischen Systeme im Osten Deutschlands konnten FINKE ET AL. (2004); DIETRICH ET AL. (2003); HATTERMANN ET AL. (2003); KLÖCKING ET AL. (2002); BRONSTERT ET AL. (1999) bedeutende Veränderungen feststellen, die es für ausgewählte und noch nicht untersuchte Naturräume auch in der vorliegenden Arbeit zu analysieren gilt.

Dabei kommt vor allem **hydrologischen Simulationsmodellen** eine steigende Bedeutung zu, um die perspektivischen Folgewirkungen von Klimaänderungen für das hydrologische System quantifizieren und somit entstehende Problemfelder und Nutzungskonflikte analysieren zu können. Hydrologische Modelle ermöglichen die in einem hydrologischen System ablaufenden physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse und ihre Teilprozesse mathematisch vereinfacht zu beschreiben und zeitlich wie räumlich so miteinander zu verknüpfen, dass eine möglichst optimale Wiedergabe der natürlichen Prozesse durch das Modell erfolgen kann (MANIAK 1997; LIEBSCHER 1996). Eine wesentliche Klassifizierung kann dabei in stochastische und deterministische Modelle (Ursache-Wirkungs-Beziehung) vorgenommen werden, wobei sich letztgenannte weiter in physikalisch basierte (möglichst prozessnahe Modellansätze) sowie konzeptionelle und Black-Box-Modelle unterscheiden lassen. Die in den letzten Jahrzehnten entstandene Modellvielfalt (BMU 2002; BENZ & VOIGT 1996) erschwert gleichzeitig die Auswahl eines „am besten“ geeigneten Modells zu treffen. Vielmehr orientiert sich die Modellauswahl an der zu beantwortenden Fragestellung, einschließlich der zu betrachtenden Raum- und Zeitskala, den zu untersuchenden hydrologischen Prozessen, dem vorhandenen Datenmaterial, dem Arbeitsaufwand und nicht zuletzt an vorhandenen Modellerfahrungen und –kapazitäten. Fokussiert man, adäquat zu den oben genannten Klimamodellen, wieder auf den ostdeutschen Raum, so lässt sich aus der bereits erfolgten Anwendung hydrologischer Modelle deren Auswahl einschränken. So wurden das Wasserhaushaltssimulationsmodell WASIM-ETH (SCHULLA 2001) in Brandenburg (KRAUSE & BRONSTERT 2003) und Sachsen (LFUG 2004), das Wasser- und Stoffhaushaltsmodell SWAT (NEITSCH ET AL. 2002) und das hydrologische Modell BROOK

(FEDERER & LASH 1983) durch BRONSTERT ET AL. (1999) im Harz eingesetzt. Das Modellierungssystem ARC-EGMO (BECKER ET AL. 2002; PFÜTZNER 2002) kam sowohl für angewandte Untersuchungen im mitteldeutschen Raum (ARGE HPI-BAH 1998; PFÜTZNER & KUSSMANN 1997; PFÜTZNER ET AL. 1996) als auch in der Klimafolgeforschung in Brandenburg (GERSTENGARBE 2003), an der Unstrut (PFÜTZNER & KLÖCKING 2003) und in Berlin (FINKE ET AL. 2004) zum Einsatz. Einen zusammenfassenden Überblick über methodische Ansätze, Anwendungsmöglichkeiten und weitere als die hier erwähnten hydrologischen Modelle geben u.a. BRONSTERT ET AL. (2005), BMU (2002), SINGH & FREVERT (2002), BUCHHOLZ (2001), SCHULTZ ET AL. (1995) sowie BENZ & VOIGT (1996).

In der Klimafolgenforschung werden in zunehmendem Maße nicht nur die direkten Auswirkungen auf das hydrologische System unter gleichbleibenden Rahmenbedingungen erforscht, sondern gewinnt zunehmend die Betrachtung weiterer, dynamischer Komponenten an Bedeutung. Hierzu zählen insbesondere die Landnutzungsverhältnisse und ihr Wandel, steuern sie doch wesentlich den Wasserhaushalt in einem Einzugsgebiet. Um die vielfältigen, perspektivischen Wechselwirkungen zwischen Klimawandel, Wasserhaushalt und Landnutzungsänderungen untersuchen zu können, ist die Erstellung von **Landnutzungsszenarien** erforderlich, da nur so zukünftige Entwicklungen abgeschätzt werden können. Hierzu ist nach VELDKAMP & LAMBIN (2001) neben der Festlegung von Ursache und Ausmaß von Landnutzungsänderungen vor allem die räumliche Verortung eintretender Veränderungen Bedingung. In der Landschaftsmodellierung hat in den letzten zwei Jahrzehnten die Modellierung von Landnutzungsänderungen zunehmend an Bedeutung gewonnen, die neben den natürlichen Prozessen auch sozioökonomische Faktoren berücksichtigt. Neben nicht-räumlichen unterscheidet FRITSCH (2002) räumliche Modelle und hier wiederum statische und dynamische Landnutzungsmodelle. Vor allem in der Hydrologie wird sich wiederholt mit den Auswirkungen von Landnutzungsänderungen, unter Verwendung von Nutzungsszenarien und den Wechselwirkungen mit einem möglichen Klimawandel beschäftigt. Arbeiten der letzten Jahre lieferten hierzu u.a. HATTERMANN ET AL. (o.J.), BRONSTERT ET AL. (2003), FELDWISCH ET AL. (2002), WURBS (2002), KIM (1998) und LIEBSCHER ET AL. (1995). Die verbreitete Anwendung von Landnutzungsmodellen überdeckt oftmals, dass auch Planungsgrundlagen, entsprechend der oben genannten Definition (LANDSCAPE GMBH 2002), als Vorlage zur Erstellung von Landnutzungsszenarien eingesetzt werden können, um eine Grundlage zu schaffen, die durch eine veränderte Flächennutzung zu erwartenden Konsequenzen für betroffene natürliche und sozioökonomische System zu analysieren (vgl. WURBS 2002; WURBS & PFÜTZNER 2001).

2.3 Stand der landschaftsökologischen Regionalforschung

Aufgrund der besonderen klimatischen und hydrologischen Verhältnisse (BMU 2000) und der sehr intensiven ackerbaulichen Nutzung (vgl. Kap. 3.1) war und ist das Harzvorland, und hier speziell das Mitteldeutsche Trockengebiet, in den letzten Jahrzehnten wiederholt als Untersuchungsraum geökologisch orientierter, wissenschaftlicher Arbeiten gewählt worden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse, unter anderem zu den Themenfeldern Klima (u.a. DÖRING 2004; MÜLLER ET AL. 2002; FABIG 2001; SCHRÖDER 1985), Hydrologie (ZINKE 1993; KRAUSE 1967), Boden (BIERING & FRÜHAUF 1999; OERTEL & FRÜHAUF 1999; HARTMANN 1998; FRÜHAUF 1990), Erosion (SCHRÖDER ET AL. 1995) sowie Landnutzung (ARNDT 2003; SCHÖNFELDER 2003) konnten in der Vergangenheit einen wertvollen Beitrag zur landschaftsökologischen Regionalforschung leisten. Allerdings sind zahlreiche Untersuchungen oftmals nur auf eine der genannten Komponenten orientiert gewesen und somit eher der Grundlagenforschung zuzuordnen. Weitere angewandte Untersuchungen hatten die Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen Landnutzung und Bodenerosion (LIERMANN 2001; SEILS 2000), Landnutzung und Hydrologie (WURBS 2003), Bodenerosion und

Stoffeinträgen in die Gewässer (WEICHEL & NEUMEISTER 2004; SCHMIDT & FRÜHAUF 2002; RÜTER 2001) oder Klima und Vegetation (MÜLLER ET AL. 2001) als inhaltlichen Schwerpunkt. Nicht unerwähnt sollten auch die Arbeiten zu den ökologischen Folgewirkungen der vielfältigen Bergbauaktivitäten auf die Böden und Gewässer, vor allem im Mansfelder Land und Ostharz bleiben (u.a. HERBERG 2001; OERTEL & FRÜHAUF 2000; SCHMIDT 1998; DOBLER 1998; FRÜHAUF & SCHMIDT 1997; THEILE 1996).

Untersuchungen und zugehörige Publikationen, das komplexe Wirkungsgefüge Klima-Wasser-Landnutzung/Landnutzungsänderung und deren gegenseitige Wechselwirkungen in ausgewählten Landschaftseinheiten betreffend, fehlen indessen. Dabei ist es aufgrund der klima- und nutzungsbedingten Abhängigkeit von einer ausreichenden Wasserverfügbarkeit (vgl. Kap. 3) vor allem das Gebiet zwischen Harz und Saale, in dem einer grundlegenden Kenntnis der Folgewirkungen des Klimawandels für den regionalen Wasserhaushalt besondere Bedeutung beizumessen ist. Vor diesem Hintergrund erscheint es umso erstaunlicher, dass diesbezüglich nicht nur für das Mitteldeutsche Trockengebiet, sondern auch für das gesamte Bundesland Sachsen-Anhalt flächendeckende bzw. großräumige Untersuchungen, vor allem durch die Anwendung regionaler Klimaszenarien, nicht existieren. Zwar wurden Teilräume im Rahmen des GLOWA-Elbe-Projektes in die Untersuchungen einbezogen (WECHSUNG & BECKER o.J.) und lassen sich aus den für die Nachbarregionen vorliegenden Erkenntnissen (KÜCHLER 2004) erste Rückschlüsse für die Untersuchungsräume ziehen. Allerdings sind die Entscheidungsträger hinsichtlich der zu entwickelnden Anpassungsstrategien an den Klimawandel vorrangig an administrative Einheiten und somit an das Bundesland Sachsen-Anhalt gebunden.

Demgegenüber ist die Vielfalt vorliegender Ergebnisse angewandter und planungsrelevanter Untersuchungen für den im Kern des Mitteldeutschen Trockengebietes gelegenen ehemaligen Salzigen See und sein Einzugsgebiet deutlich größer. Wie bereits einleitend aufgeführt (Kap. 1.1), stand dabei überwiegend der Bezug zur möglichen Wiederentstehung des Salzigen Sees im Mittelpunkt (u.a. WURBS 2003; SCHMIDT & FRÜHAUF 2002; KLAPPER 2000; KUSSMANN 1999, ARGE HPI-BAH 1998; BENDEL 1997; PFÜTZNER 1997; PFÜTZNER ET AL. 1996). Betrachtet man darüber hinaus jedoch den klimatisch und hydrologisch begünstigten Ostharz, so werden adäquate Arbeiten zunehmend seltener (u.a. BRONSTERT 1999; MATTHÄUS ET AL. 1996; KAISER 1996; KRAUSE 1967).

Vergleichende Ansätze, unterschiedlich inventarisierte Landschaftsräume betreffend, fehlen nahezu gänzlich. Dabei besteht in dem Vergleich von Untersuchungsräumen (z.B. BRONSTERT & NIEHOFF 2002) nicht nur die Möglichkeit, deren Sensitivität gegenüber Eingriffen in die unterschiedlichen hydrologischen Systeme zu untersuchen, sondern zudem kann durch die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Klima, Wasserhaushalt und Landnutzung ein regionaler Beitrag zur Klimawirkungsforschung geleistet werden.

3 EINFÜHRUNG IN DIE UNTERSUCHUNGSGBIETE

3.1 Auswahl und Kurzbeschreibung der Untersuchungsgebiete

Bei der Untersuchung der Ursache-Wirkung-Beziehung zwischen einer möglichen Klimaänderung, eintretenden Landnutzungsänderungen und dem Wasserkreislauf sind neben der globalen Betrachtung vor allem die regionalen Ausprägungen von Bedeutung. So lässt sich für trockenere Gebiete eine größere Empfindlichkeit gegenüber klimatischen Veränderungen erwarten als für feuchtere Regionen. Entsprechend der

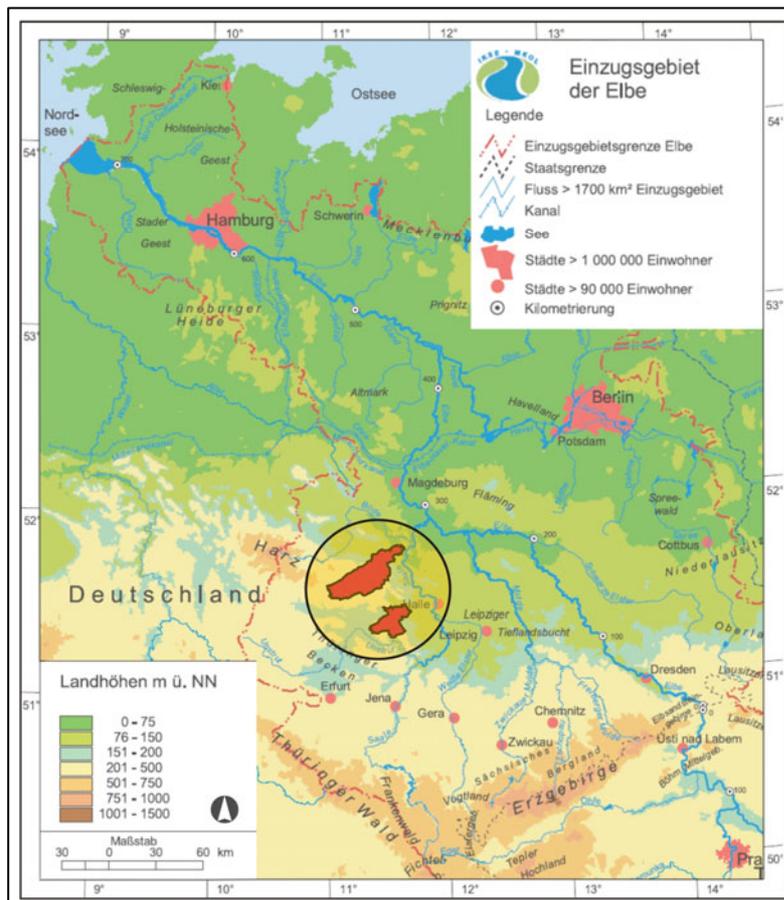


Abbildung 3.1: Lage der Untersuchungsgebiete im Einzugsgebiet der Elbe (Quelle: IKSE 2004, geändert)

Zielstellung der Arbeit, die klimatischen Folgewirkungen auf den Wasserhaushalt und das Abflussverhalten der Gewässer unter Berücksichtigung des natürlichen und nutzungsabhängigen Inventars vergleichend zu untersuchen, wurden zwei Flusseinzugsgebiete im Saale-Einzugsgebiet ausgewählt, welche sich trotz ihrer räumlichen Nähe diesbezüglich maßgeblich voneinander unterscheiden (Abb. 3.1).

Das Einzugsgebiet der **Querne/Weida**, im Mitteldeutschen Trockengebiet gelegen, zeichnet sich durch ausgesprochen geringe Niederschläge, eine demzufolge angespannte Wasserhaushaltssituation und geringe Abflussraten aus. Aufgrund der sehr guten Bodeneigenschaften wird hier großflächig Ackerbau betrieben. Im unteren Einzugsgebiet können durch die geplante Wiederentstehung des Salzigen Sees und die Rekultivierung des

Tagebaus Amsdorf mittelfristig großflächige Nutzungsänderungen mit entsprechenden Auswirkungen auf den regionalen Wasserhaushalt eintreten.

Demgegenüber lassen sich die im Mittel- und Unterharz gelegenen Bereiche des Einzugsgebietes der **Wipper** als klimatisch und hydrologisch begünstigt charakterisieren. Aufgrund der größeren Geländehöhen liegen die Niederschlagssummen deutlich über denen des Harzvorlandes. Im unteren Einzugsgebiet nimmt die Leewirkung des Harzes zu und die Niederschläge demzufolge ab. Hier entsprechen die klimatischen und hydrologischen Eigenschaften zunehmend denen des Querne/Weida-Gebietes. Während das obere Einzugsgebiet der Wipper überwiegend waldbedeckt ist, wird im Harzvorland Ackerbau betrieben.

3.2 Untersuchungsgebiet Querne/Weida

Räumliche Einordnung

Das landwirtschaftlich geprägte Einzugsgebiet der Querne/Weida befindet sich etwa 20 km westlich der Stadt Halle (Saale) (Abb. 3.2). Die Gesamtfläche des Einzugsgebietes beträgt 247 km². Hinsichtlich der administrativen Gliederung besitzt das Untersuchungsgebiet Anteil an den Landkreisen Merseburg-Querfurt und Mansfelder Land im Bundesland Sachsen-Anhalt.

Die geologisch-morphologische Situation bedingt eine landschaftliche Dreiteilung des Gebietes. Die *Querfurter Platte* im östlichen und mittleren Untersuchungsgebiet wird ackerbaulich genutzt und ist durch ihre landschaftliche Gleichförmigkeit charakterisiert. Im Südwesten schließt sich das durch Waldflächen und Schichtstufenbereiche geprägte *Helme-Unstrut-Schichtstufenland* mit dem Ziegelrodaer Forst an. Der Norden mit dem Seebecken des ehemaligen Salzigen Sees (Kap. 3.4) ist Teil des *Östlichen Harzvorlands* (MUN LSA 1994).

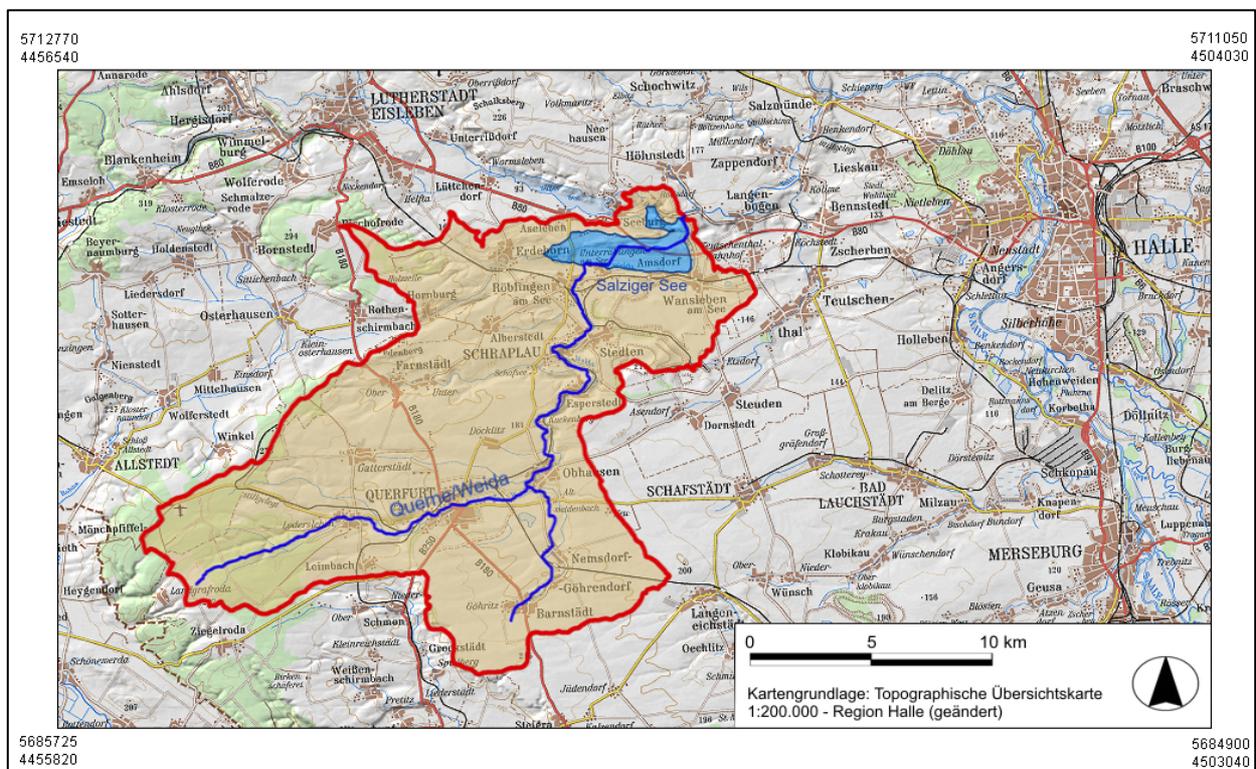


Abbildung 3.2: Lage des Untersuchungsgebietes Querne/Weida und des Salzigen Sees (Quelle: LVERMD LSA 1996K, geändert)

Klima

Das Klima des Untersuchungsraumes ist durch zunehmend subkontinentalen Einfluss geprägt, mit Ausnahme submaritimer Einflüsse im Südwesten (Ziegelrodaer Forst). Die Lage in der außertropischen Westwindzone bedingt die Dominanz auftretender West- und Südwestwetterlagen (GERSTENGARBE & WERNER 1993). Allerdings bewirkt die Leewirkung des Harzes eine ausgesprochene Niederschlagsarmut, so dass das gesamte Untersuchungsgebiet hinsichtlich seiner pluvioklimatischen Einordnung als niederschlagsbenachteiligt zu bezeichnen ist (HENDL & ENDLICHER 2003). Die Jahresniederschläge (1971 - 2000) liegen zwischen 551 mm im Ziegelrodaer Forst (Station Ziegelroda) und 477 mm im Bereich der Mansfelder Seen, dem Kern des Mitteldeutschen Trockengebietes (Station Aseleben; DWD 2002D₁). Durch den kontinentalen Einfluss liegt das Niederschlagsmaximum im Sommerhalbjahr, so dass, verur-

sacht durch konvektive Prozesse, in einzelnen Bereichen über 50 % der Niederschläge in den Monaten Mai bis August fallen (VEIT ET AL. 1987). Charakteristisch ist der hohe Anteil erosionsgefährdender Starkniederschläge am Gesamtniederschlag (SCHRÖDER 1985).

Das Untersuchungsgebiet ist durch sehr warme Sommer und milde Winter mit einer hohen Jahresamplitude der Jahresmitteltemperatur sowie eine sehr hohe Trockenheit charakterisiert (GERSTENGARBE & WERNER 2003b). Dies spiegelt sich in einer sehr hohen potentiellen Verdunstung wider, die, in Zusammenhang mit den geringen Niederschlägen, im langjährigen Mittel eine negative klimatische Wasserbilanz in großen Teilen des Untersuchungsgebietes zur Folge hat (BMU 2000). Die durchschnittliche jährliche Lufttemperatur beträgt 9,0° C (Station Halle; WENDLING 2001). Temperatur- und Niederschlagssituation bedingen eine durchschnittliche Schneedecke von nur 5 - 10 Tagen/Jahr (BMU 2000).

Geologie, Topographie und Böden

Im Gegensatz zu seiner reliefarmen Oberfläche ist das Gebiet in seinem tektonischen Bau aufgrund einer während der saxonischen Gebirgsbildung erfolgten Zergliederung in zahlreiche Sättel und Mulden kleinräumig strukturiert. Als tektonische Einheiten lassen sich die *Mansfelder Mulde* im Norden, mit der durch Subrosionsvorgänge gebildeten Eislebener Senke, in der im Quartär Salziger und Süßer See entstanden sind (FRÜHAUF 2002), sowie die *Querfurter Mulde* unterscheiden. Für diese im Glazial und Periglazial herausgebildete Schichtstufenlandschaft (SCHRÖDER 1985) sind Muschelkalk- (Querfurter Platte) und Buntsandsteinsedimente (Ziegelrodaer Plateauhügelland) charakteristisch (WAGENBRETH & STEINER 1990). Durchzogen wird die Landschaft durch kleinere Flusstäler, von denen das Weidatal bei Esperstedt das Bedeutendste ist. Tertiäre Sedimente sind weitestgehend abgetragen und kommen großräumig nur noch im Oberröblinger Becken vor, in dem im Tagebau Amsdorf Braunkohle abgebaut wird (NEUB & ZÜHLKE 1982). Ebenfalls bergbaulich verwertet wurde im Eislebener Revier bis 1969 der Kupferschiefer, eine der ältesten Bildungen des Zechsteinmeeres (WAGENBRETH & STEINER 1990). Die Geländehöhen liegen zwischen 298 m NN im Ziegelrodaer Forst und 75 m NN im Becken des ehemaligen Salzigen Sees (Karte 5).

Die mesozoischen Gesteine der Mansfelder Mulde und Querfurter Platte werden großflächig durch jungweichselzeitlichen Löss und Lössderivate bedeckt, die das wichtigste bodenbildende Substrat im Untersuchungsgebiet darstellen. Verbreitet sind *Löss-Schwarzerden*, die zu den fruchtbarsten Böden Deutschlands zählen und entsprechend ackerbaulich genutzt werden. Durch Bodenerosion oder -degradation haben sich zudem *Löss-Parabraunerden* und *Löss-Pararendzinen* herausgebildet. Weiterhin existieren Löss-Fahlerden (Ziegelrodaer Plateauhügelland), Berglehm-Braunerden und -Staugleye (lössfreie Standorte) sowie Gleye und Kalklehm-Rendzinen in den Tallagen und im Seebecken des Salzigen Sees (GLA LSA 1999). Ackerbauliche Nutzung, die Substrateigenschaften des Lösses und die charakteristischen Starkregenereignisse bewirken an stärker geneigten Hängen eine erhöhte Bodenerosionsgefahr (FOHRER ET AL. 2002; GLA LSA 1999; SCHRÖDER ET AL. 1995) (Karte 1).

Hydrologie

Die Querne besitzt ihr Quellgebiet im Ziegelrodaer Forst und trägt nach dem Zufluss des Weidenbaches bei Obhausen die Bezeichnung Querne/Weida (LAU LSA 1996). Im Becken des ehemaligen Salzigen Sees erfolgt die Ableitung über den Mittelgraben in die Salza, die bei Salzmünde in die Saale entwässert (Abb. 3.3). Die Fließrichtung entspricht bis zur Mündung des Weidenbaches zunächst dem Verlauf der herzynischen Störungen nach Osten und anschließend dem Schichteinfall einer nach Norden geneigten Scholle (SCHRÖDER 1985). Das Einzugsgebiet hat bis zur Mündung in die Salza eine Fläche von 231,8 km². Unter Berücksichtigung des unteren Einzugsgebietes der Bösen Sieben ergibt sich eine Gesamtfläche von 247,1

km². Die Gesamtlänge der Querne/Weida beträgt 36,9 km, die aller nach LAWA-Richtlinie aufgeführten Fließgewässer im Untersuchungsgebiet 123,9 km (LAU LSA 1996) (Karte 2).

Größere Standgewässer sind mit einer Fläche von jeweils 20 ha der Binder und der Kerner See, Restseen des ehemaligen Salzigen Sees, der bis zu seiner Trockenlegung (vgl. Kap. 3.4) mit einer Fläche von 875 ha (ULE 1895/1994) größtes Gewässer im Untersuchungsgebiet war.



Abbildung 3.3: Querne/Weida unterh. Röblingen (Foto WURBS 2005)

Die klimatischen Verhältnisse, insbesondere die ausgesprochene Niederschlagsarmut, führen zu einer geringen Wasserverfügbarkeit im Untersuchungsraum, die sich in Abflusspendenwerten widerspiegelt, die nur etwa 1/3 denen der Saale entsprechen. (STAU 2001). Zeitweise können kleinere Gewässer trocken fallen. Demgegenüber bewirken die sommerlichen Starkregen kurzfristige Hochwasserereignisse und somit eine hohe innerjährliche Abflussvariabilität (BUSSKAMP & SCHMIDT 2003; STAU 2001).

Neben der natürlichen Grundwasserzirkulation entlang der Störungzonen (NEUB & ZÜHLKE 1982) beschleunigte die für den Kupfer-schieferbergbau erforderliche Wasserhaltung und Salzabführung die Salzablaugung und verursachte,

ebenso wie der Braunkohlebergbau im Raum Amsdorf, die Absenkung des Grundwasserspiegels und die Entwicklung eines instabilen Grundwassersystems. Zudem stellt das Klima einen limitierenden Faktor dar und bewirkt, trotz der guten Permeabilität der Gesteine, eine geringe Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen.

Ein massiver Eingriff in das hydrologische System des Einzugsgebietes erfolgte im 18./19. Jh. durch die Verlegung des Unterlaufes der Weida (NEUB & ZÜHLKE 1982) und 1894 durch die bergbaubedingte Trockenlegung des Salzigen Sees (Kap. 3.4) (JANKOWSKI 1996; ALBRECHT 1974). Erst seit Beginn der 90-er Jahre kann eine neuerliche Ausdehnung der Wasserflächen, einhergehend mit Vernässungserscheinungen im Seebecken festgestellt werden (Karte 4).

Landnutzung und potentiell natürliche Vegetation

Der Schwerpunkt der Flächennutzung im Einzugsgebiet der Querne/Weida liegt auf dem *Ackerbau* (63,2 %), der vor allem auf den fruchtbaren Schwarzerdeböden der Querfurter Platte großflächig betrieben wird (LAU LSA 1992) (Karte 3; Abb. 3.4). Als Feldfrüchte werden überwiegend Getreidearten, wie Weizen, Gerste und Mais sowie Zuckerrüben und Raps angebaut. Der Anteil der ackerbaulich genutzten Flächen ist zu Gunsten eines steigenden *Brach- und Grünflächenanteils* (1,1 bzw. 6,5 %) rückläufig. Zunehmende Bedeutung erlangt der



Abbildung 3.4: Westliches Einzugsgebiet – Blick von Leimbach nach Norden (Quelle: www.mz-web.de)

Weinbau, der auf den südexponierten Hängen im Umfeld der Mansfelder Seen betrieben wird. Der Anteil des in Teilbereichen forstwirtschaftlich genutzten *Waldes* ist mit 11,1 % gegenwärtig vergleichsweise gering, doch ist durch Aufforstungsmaßnahmen (Tagebau Amsdorf) eine Ausdehnung zu erwarten. Durch die zunehmende Siedlungstätigkeit im Umland der Gemeinden weisen die *bebauten Bereiche* den größten Zuwachs auf. Ihr Anteil liegt bei 5,6 %. Weitere Formen der Flächennutzung sind *Gärten*, *Streuobstwiesen*, *Abbauflächen* und *Gewässer* (Karte 3).

Durch die guten Bodenverhältnisse wurde das Gebiet des östlichen Harzvorlandes bereits frühzeitig entwaldet und unter ackerbauliche Nutzung genommen, so dass von der natürlichen Vegetation nur noch wenige Restbestände existieren, welche sich vorwiegend auf den Ziegelrodaer Forst konzentrieren. Der regionaltypischen potentiell natürlichen Vegetation lassen sich vorwiegend Haselwurz-Labkraut-Traubeneichen-Hainbuchenwälder (Querfurter Platte), Linden-Buchen- und Hainsimsen-Eichen-Rotbuchen-Wälder (Ziegelrodaer Forst) sowie Stieleichen-Hainbuchenwälder (Mansfelder Seen) zuordnen (LAU LSA 2000b). Außerhalb der intensiv genutzten Ackerbauflächen und Siedlungsbereiche hat sich eine den besonderen klimatischen und geologisch-morphologischen Gegebenheiten angepasste, kontinentale und subkontinentale Steppen- und Waldsteppenvegetation entwickelt (NEUB & ZÜHLKE 1982).

Das Einzugsgebiet hat Anteil an den Landschaftsschutzgebieten „Triasland“ und „Süßer See“ (LAU LSA 2000a), in dem mit dem NSG „Salziger See“ ein Naturschutzgebiet ausgewiesen ist. Kleinere NSG existieren an der Weida bei Esperstedt (NSG „Kuckenburger Hagen“) und im Osten unweit der Abbaufelder von Amsdorf (NSG „Asendorfer Kippe“) (LAU LSA 1997).

3.3 Untersuchungsgebiet Wipper

Räumliche Einordnung

Etwa 15 km nordwestlich des Untersuchungsgebietes der Querne/Weida besitzt das Einzugsgebiet der Wipper seine südöstliche Begrenzung (Abb. 3.5). Der Naturraum des Gebietes weist eine Zweiteilung auf, die sich auch in der vorherrschenden Landnutzung widerspiegelt. Das obere Einzugsgebiet ist Teil des *Mittel- und Unterharzes*, der durch große Waldbereiche und steile Täler entlang der Flüsse geprägt ist. Das untere Einzugsgebiet der Wipper gehört zum *nordöstlichen Harzvorland*, einer vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Region (MUN LSA 1994). Zwischen Mansfeld und Hettstedt sind die Halden des Kupfer- und Kalibergbaus landschaftsprägend.

Das Untersuchungsgebiet liegt im Bundesland Sachsen-Anhalt, mit Anteilen an den Landkreisen Quedlinburg, Sangerhausen, Mansfelder Land, Aschersleben und Bernburg. Es weist bis zur Mündung der Wipper in die Saale eine Fläche von 620 km² auf.

Klima

Das Relief und die Leewirkung des Harzes bewirken eine klimatische Zweiteilung des Untersuchungsgebietes. Die waldfreie Ackerebene ist klimatisch dem Querne/Weida-Gebiet ähnlich. Durch den zunehmend subkontinentalen Einfluss und den Lee-Effekt sind die jährlichen Niederschlagssummen (1971 - 2000) sehr gering (Station Mehringen = 476 mm). Mit zunehmender Höhenlage nehmen die Niederschläge zu und liegen im Quellbereich der Wipper bei 707 mm/Jahr (DWD 2002D₁). Der Unterharz ist durch maritimes Klima, die Höhenlagen durch Gebirgsklima geprägt (HENDL & ENDLICHER 2003).

Ähnlich dem Feuchteregime weist das Gebiet auch in Bezug auf seine thermoklimatische Charakterisierung ein Gefälle auf. Das Klima des *oberen Einzugsgebietes* kann nach GERSTENGARBE & WERNER (2003b) als ganzjährig feucht und kalt, mit nur 10 - 15 Sommertagen im Jahr bezeichnet werden (HENDL & ENDLICHER 2003). Die durchschnittliche Lufttemperatur (1971 - 2000) liegt bei 7,3° C (Station Harzge-

rode, DWD 2002D₂). Im *Harzvorland* steigen die Jahresdurchschnittstemperaturen auf 9,3° C (Station Bernburg, DWD 2002D₂) und dementsprechend die Anzahl der Sommertage auf 25 - 30 an (HENDL & ENDLICHER 2003). Bedingt durch die differenzierten klimatischen Verhältnisse weisen die höher gelegenen Gebiete über 40 und das Harzvorland nur 10 Tage im Jahr Schneebedeckung auf (BMU 2000).

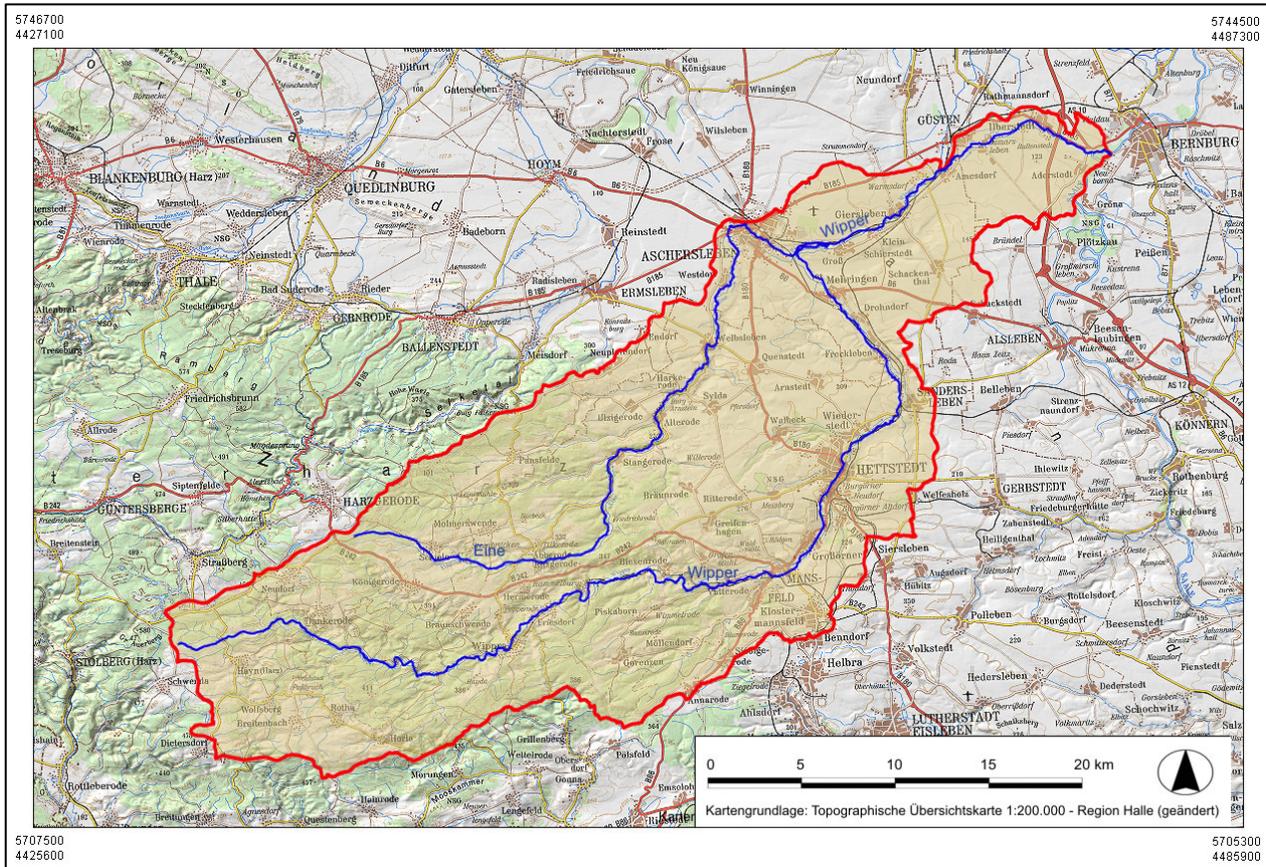


Abbildung 3.5: Lage des Untersuchungsgebietes Wipper (Quelle: LVERMD LSA 1996K, geändert)

Geologie, Topographie und Böden

Der dem Mittel- und Unterharz zugehörige Teil des Einzugsgebietes der Wipper stellt sich als eine nach Südosten abdachende Hochfläche zwischen 490 und 200 m NN dar, auf der das Grundgebirge freigelegt wurde. Die heutige Oberflächengestalt ist das Ergebnis saxonischer Bruchschollentektonik, einhergehend mit einer tiefen Zertalung der Hochfläche durch die Mittelgebirgsflüsse (WAGENBRETH & STEINER 1990; Karte 5). Im Westteil stehen metamorphisierte Tonschiefer des Unterkarbon an, die als Teil des eingebetteten variskischen Gebirges mit zahlreichen Vulkaniten (Diabase) durchsetzt sind. Getrennt durch tektonische Störungen schließt sich nach Südosten die Wippraer Zone mit metamorphisierten ordovizischen und silurischen Gesteinen (phyllitische Tonschiefer, Grauwacken, Kieselschiefer) an (GLA LSA 1998K; AHRENDT ET AL. 1996). Nach Nordosten erfolgt der allmähliche Übergang vom Harz in die Sattel- und Muldenstruktur des östlichen Harzvorlandes in dem die triassischen Sedimente des Buntsandsteins dominieren. Gürtelförmig markieren Kalksteine und Dolomite des Zechsteins den westlichen Rand der Mansfelder Mulde. Bergbaulich genutzt wurde der erzführende Kupferschiefer des Unteren Zechsteins (WAGENBRETH & STEINER 1990). Die Geländehöhen des Harzvorlandes reichen von 250 m NN bis auf 60 m NN im Mündungsbereich der Wipper (Karte 5).

Im Norden des Untersuchungsgebietes werden die Buntsandstein- und Muschelkalksedimente durch Löss- und Lösslehme bedeckt, deren Mächtigkeit nach Osten und Norden zunimmt. Sie bilden das Ausgangs-

substrat der Bodenbildung für die *Löss-Schwarzerden* des Harzvorlandes. Für die Bodengenese ebenfalls bedeutend sind die periglazialen Deckschichten des Osthazes, die auf den Hochflächen bis 500 m NN von äolischen Lössanteilen begleitet werden (FRÜHAUF 1991). Als Böden dominieren *Löss-Braunerden*, *Fahlerden* sowie *Podsolgesellschaften*. *Vegas* und *Gley-Vegas* existieren in den Talbereichen der Flüsse (GLA LSA 1999; Karte 1).

Hydrologie

Die Wipper entspringt im östlichen Mittelharz nahe Stolberg in 454 m NN Höhe. Das Gewässer fließt, dem Schichteinfall der Harzscholle folgend, in nordöstliche und östliche Richtung und verlässt den Unterharz bei Mansfeld. Das östliche und nordöstliche Harzvorland wird in wechselnder nördlicher Richtung



Abbildung 3.6: Wipper bei Mansfeld-Leimbach (Foto WURBS 2003)

durchflossen. Nach der Einmündung der Eine bei Aschersleben fließt die Wipper in östlicher Richtung der Saale zu, in die sie bei Bernburg mündet (Abb. 3.5). Die Wasserläufe der oberen Wipper und ihrer größeren Zuflüsse haben sich tief in die Harzhochfläche eingeschnitten und weisen zumeist nur eine schmale Talaue auf. In Richtung Wipperrmündung verbreitert sich das Flusstal zunehmend. Die Eine ist mit einer Länge von 43,6 km und einem Einzugsgebiet von 179,9 km² der größte Nebenfluss der Wipper. Das Gesamteinzugsgebiet der Wipper besitzt eine

Fläche von 620 km², ihre Lauflänge 81 km (LAU LSA 2000c). Die Gesamtlänge aller nach LAWA-Richtlinie erfassten Gewässer im Einzugsgebiet beträgt 816 km, was einer Gewässernetzdichte von 1,3 km/km² entspricht (LAU LSA 2000c; Karte 2).

Im Einzugsgebiet der Wipper existieren nur wenige Standgewässer, zumeist künstlicher Entstehung. Das größte, die Talsperre Wippra, hat eine Speicheroberfläche von 32,2 ha und dient neben dem Hochwasserschutz vor allem der Niedrigwasseraufhöhung (TALSPERRENMEISTEREI LSA 1994).

Entsprechend der klimatischen und geologischen Verhältnisse kann eine Unterteilung des Einzugsgebietes in Ober- und Unterlaufbereich vorgenommen werden. Das obere Einzugsgebiet des Unter- und Mittelharzes weist ein dichtes Gewässernetz, hohe Abflussraten, aber ein geringes Wasserspeichervermögen auf. Charakteristisch sind Schmelzwasserereignisse im Winter- und Frühjahrsquartal, die zu hohen Abflussspitzen und einer hohen innerjährlichen Abflussvariabilität führen (BUSSKAMP & SCHMIDT 2003; STAU 2001). Demgegenüber ist das untere Einzugsgebiet (Harzvorland) durch eine geringe Gewässerdichte, mit entsprechend niedrigen Abflussraten, dafür aber durch eine gute Wasserspeicherfähigkeit der Böden geprägt (MUN 1994). Hier ist das hydrologische Regime in zunehmendem Maße dem des Querne/Weida-Gebietes ähnlich.

Die Grundwasserführung im oberen Einzugsgebiet ist an die paläozoischen Tonschiefer und Grauwacken gebunden. Im östlichen und nordöstlichen Harzvorland treten vor allem die Klüfte und Poren der anstehenden Buntsandsteinschichten als Grundwasserleiter auf. Generell weist die Grundwasserergiebigkeit keine überregionale Bedeutung auf (BMU 2000; Karte 4).

Die Gewässer des Osthazes unterlagen in der Vergangenheit einer Vielzahl anthropogener Beeinflussungen (KRAUSE 1967), die vor allem im Kupferschieferbergbau zu subsosionsbedingten Absenkungserscheinungen und dem Entzug von Wasser in den Oberflächengewässern führten. Nach Einstellung der Berg-

bauaktivitäten und der Wasserhaltung kam es seit den 70-er Jahren des 20. Jahrhunderts zu einem Grundwasserwiederanstieg und der auch gegenwärtig noch realisierten Ableitung von Grubenwässern in die Saale (VMBH & DBM 1999; AURADA 1996; JANKOWSKI 1995).

Landnutzung und potentiell natürliche Vegetation

Die bereits früh einsetzende Flächeninanspruchnahme durch den Bergbau im Mittel- und Unterharz führte zu einem Rückgang der ursprünglichen *Waldgebiete*. Der Anteil der zumeist bewirtschafteten Wälder liegt gegenwärtig bei 30,0 % (LAU LSA 1992). Im Unterharz dominiert für die Vieh- und Milchwirtschaft intensiv genutztes *Grünland* (Anteil 11,8 %) (Abb. 3.7). Die Hauptnutzung unterliegt mit einem Gesamtanteil von 46 % dem *Ackerbau* (Raps, Gerste, Weizen), der vor allem auf den Lössböden des Harzvorlandes



Abbildung 3.7: Oberes Wippereinzugsgebiet (Blick von Ritzgerode nach Südwesten; Foto WURBS 2003)

betrieben wird. *Siedlungen* haben sich im Harz überwiegend entlang der Täler entwickelt. Diesen dünn besiedelten Bereichen steht die dicht bebaute Region des Kupferschieferbergbaus gegenüber (Raum Mansfeld-Hettstedt), dessen Abraumhalden eine weithin sichtbare Oberflächenform darstellen (WAGENBRETH & STEINER 1990). Der Flächenanteil der bebauten Bereiche beträgt 5,5 % (Karte 3).

Als potentiell natürliche Vegetation treten auf den basenarmen Standorten des Mittelharzes vorwiegend Hainsimsen-Rotbuchenwälder auf, die im Unterharz in

Hainsimsen-Waldmeister-Rotbuchenwälder übergehen. Auf den besser versorgten Standorten der Flusstäler und des Harzvorlandes käme es zur Ausbreitung von Hainsimsen-Erlen-/Eschenwäldern bzw. Linden-Buchenwäldern (LAU LSA 2000b). Neben Buchen- und Buchen-Fichten-Mischwäldern in der submontanen Region dominieren heute überwiegend Erlen-Auwälder in den Talauen sowie Trockenrasenstandorte im Harzvorland (MUN LSA 1994).

Im Einzugsgebiet unterliegen mehrere Flächen dem Naturschutz. Hierzu zählen die Naturschutzgebiete (NSG) „Clusberg“, „Große Nachthut“, „Klippmühle“, „Pfaffenbusch“, „Schierstedter Busch“, „Schießberg“, „Steinberg“, „Strubenberg“, „Weinfeld“ und „Ziegenberg“ (LAU LSA 1997).

3.4 Der Salzige See – Historie und Zukunft

Der Salzige See war mit einer Fläche von 875 ha das ehemals größte natürliche Binnengewässer Mitteldeutschlands und bildete gemeinsam mit dem Süßen See die „Blauen Augen des Mansfelder Landes“ (Abb. 3.2). Die Trockenlegung des Gewässers im Jahr 1894 führte zu einer bis heute andauernden, tiefgreifenden Umgestaltung der natürlichen hydrologischen Verhältnisse.

Die Bildung des Salzigen Sees ist an die durch unterirdische Lösungsprozesse entstandene Auslaugungssenke gebunden, die sich infolge der saxonischen Gebirgsbildung aus einem Salzsattel entwickelte (HOYNINGEN-HUENE 1959; FRÜHAUF 2002). Nach dem bereits seit dem 18. Jahrhundert dokumentierten Rückgang der Seefläche (ULE 1895/1994) begann die Trockenlegung des Gewässers mit den dramatischen Wasserverlusten im Jahr 1892. Durch Versinkungserscheinungen nach subrosionsbedingten Einbrüchen

des Seebodens gingen über Teufe und Heller Loch allein im Jahr 1892 15 Mio. m³ Seewasser verloren, was einem Flächenrückgang von 125 ha entsprach (ULE 1895/1994).

Was waren die Ursachen für diese Erscheinungen? Neben trockenheitsbedingten Abflussrückgängen und hohen Verdunstungsraten (ALBRECHT 1974) war es vor allem der Kupferschieferbergbau im Eislebener Revier, der massiv in das Grundwasserregime der Mansfelder Mulde eingriff. Die der Wasserhaltung dienende Ableitung der Schachtwässer über den Schlüsselstollen und die Schlenze in die Saale (VMBH&DBM 1999; AURADA 1996; JANKOWSKI 1995; ALBRECHT 1974) führte zum Absinken des Grundwasserspiegels und zur Verstärkung der Subrosion durch Salzabführung. Ständige Wassereinbrüche in die Schächte, einhergehend mit einem stetigen Wasserverlust des Sees, führten 1893 zu dem Beschluss, den Salzigem See endgültig trocken



Abbildung 3.8: Seebecken des Salzigen Sees in Richtung Westen (ELLERMANN 1999)

zu legen und das Wasser, bis auf wenige Restseen, über ein Kanalsystem abzuleiten. Bereits 1894 wurde mit der Verpachtung und der ackerbaulichen Nutzung des Seebodens begonnen (WUNDERLICH 1932).

Zur Trockenhaltung des Seebeckens werden die Zuflüsse über den Mittelgraben und das Pumpwerk Wansleben in die Salza abgeführt. Seit der Stilllegung des Kupferschieferbergbaus im Jahr 1970 führt die Einstellung der Grubenwasserhaltung zu einem Wiederanstieg des Grundwasserspiegels und der Ausbildung offener Wasserflächen (Abb. 3.8). Gegenwärtig befindet sich das Seebecken in einer Umbruchphase mit verschiedenen Sukzessionsstadien, die zu einer Vergrößerung der Feuchtgebiete und einem Rückgang der Ackerflächen führt (LAU LSA 1997). Das 1994 ausgewiesene Naturschutzgebiet „Salziger See“ beheimatet eine artenreiche und charakteristische, an die Standortbedingungen angepasste Flora und Fauna. Die ersten Planungen für die Wiederentstehung des Salzigen Sees gehen bereits auf den Beginn der 90-er Jahre des 20. Jahrhunderts zurück. Neben der Schaffung eines quasi natürlichen Zustandes verband sich damit die Hoffnung, wirtschaftliche Impulse für eine ganze Region zu schaffen (KUGLER 2002). Zudem galt es, die durch das Abpumpen des Seebeckens anfallenden Kosten zu reduzieren. Mit dem 1999 durch den Landtag bestätigten Kabinettsbeschluss aus dem Jahr 1996 wurde der politische Willen zur Umsetzung der geplanten Wiederentstehung des Gewässers bekräftigt (LAU LSA 2000d) und die Entwicklungsgesellschaft Seengebiet Mansfelder Land mbH (ESM) als lokaler Träger der Gesamtplanungen gegründet. Auch wenn aufgrund politischer Entscheidungen (DPA 2003) eine Wiederentstehung des Sees gegenwärtig ungewiss ist, so spiegeln jüngste Vorhaben das öffentliche Interesse wider, mittelfristig Möglichkeiten für die Realisierung einer Rückkehr des Salzigen Sees finden zu wollen (DÄHNERT 2004; GAUSELMANN 2004).

Eine Wiederentstehung des Salzigen Sees würde, nicht zuletzt unter Berücksichtigung der in über 100 Jahren vollzogenen öko-hydrologischen, bergbaulichen, wirtschaftlichen und politischen Veränderungen, einen erneuten Eingriff in die bestehenden Ökosysteme und den regionalen Wasserhaushalt bedeuten. Im Rahmen der diesbezüglich bereits vorliegenden wissenschaftlichen Ergebnisse (Kap. 2.3) soll die Arbeit einen wesentlichen Beitrag zur Abschätzung der zu erwartenden hydrologischen Verhältnisse im Umfeld des Gewässers leisten.

4 METHODISCHE VORGEHENSWEISE

4.1 Einführung in die Methodik

Die Auswahl der in den folgenden Kapiteln näher erläuterten Methoden und Techniken erfolgte in Hinblick auf eine möglichst optimale Umsetzung der im Rahmen der vorliegenden Arbeit gesetzten Zielstellungen (Kap. 1.2). Der Schwerpunkt lag dabei auf der Wasserhaushalts- und Abflussmodellierung, der Entwicklung und Einbindung von Klima- und Landnutzungsszenarien sowie der darauf aufbauenden Erstellung eines Wasserbilanzmodells. Entsprechend der Modellanforderungen waren hierzu methodische Ansätze erforderlich, die der modelladäquaten Bereitstellung raum- und zeitbezogener Daten und der Auswertung und Visualisierung der Ergebnisse dienen. Hierzu zählen geostatistische, kartographische und GIS-basierte Techniken. Die Anwendung der einzelnen Methoden erfolgte nicht statisch separiert, sondern integrativ, mit den hydrologischen Modellen als maßgebenden Bezugspunkt. Der Datenaufbereitung gingen Recherchearbeiten voraus, welche in Zusammenhang mit der anschließenden Datenbereitstellung quasi ein eigenes Arbeitsfeld darstellen. Im Sinne des Umfangs der Arbeit wird auf eine detaillierte Beschreibung dieser Tätigkeiten verzichtet. Dennoch sollte an dieser Stelle erwähnt werden, dass der erfolgreichen Aufbereitung der notwendigen Datenbasis ein oftmals in diesem Maße nicht vorhersehbarer hoher Recherche- und somit Zeit- und Arbeitsaufwand vorausgegangen ist, der zum einen in der oftmals unbefriedigenden Datenlage selbst, andererseits aber auch in der Kooperationsbereitschaft einzelner öffentlicher und wissenschaftlicher Institutionen begründet liegt.

4.2 Erstellung der hydrologischen Modelle

4.2.1 Modellierungssystem ARC-EGMO®

4.2.1.1 Motivation für die Modellauswahl

Für die Beantwortung wasserhaushaltlicher Fragestellungen ist die Auswahl eines Modells zu treffen, das für die adäquate Erfassung der räumlichen Variabilitäten der Teilprozesse des Landschaftswasserhaushaltes geeignet ist. Insbesondere die sehr spezifischen klimatischen und hydrologischen Voraussetzungen der Untersuchungsgebiete erfordern eine Möglichkeit zur modellinternen Zeit- und Raumdiskretisierung sowie ergebnisorientierten Aggregation. Für die vorliegenden Untersuchungen wurde das GIS-gestützte hydrologische Modellierungssystem **ARC-EGMO** eingesetzt (BECKER ET AL. 2002; PFÜTZNER 2002), das aufgrund seines Modellkonzeptes den gewählten Anforderungen entspricht. Dies kann nicht zuletzt durch eine Vielzahl von Anwendungen bestätigt werden, in denen die quasi-natürlichen Abflussverhältnisse sowohl in thematisch als auch räumlich benachbarten Gebieten ermittelt wurden. So wurde ARC-EGMO im mitteldeutschen Raum u.a. im Rahmen von Grundlagenuntersuchungen im Einzugsgebiet der Salza (PFÜTZNER ET AL. 1996) erfolgreich eingesetzt und konnte dort, wie auch in weiteren Projekten zu den Auswirkungen des *global change* (vgl. Kap. 2.2), seine Eignung nachweisen.

4.2.1.2 Modellansatz und konzeptioneller Aufbau

ARC-EGMO ist ein hydrologisches Programmsystem zur GIS-basierten, flächendifferenzierten, multiskaligen Modellierung beliebiger Landflächeneinheiten in unterschiedlichen Skalenebenen (PFÜTZNER 2002; BECKER ET AL. 2002; KLÖCKING ET AL. 1999) und wurde seit 1975 (BECKER 1975) kontinuierlich weiterentwickelt. Die Modellstrukturierung wird durch eine Unterteilung in die Domänen *Abflussbildung* (vertikale Prozesse) und *Abflusskonzentration* (laterale Prozesse) realisiert (Abb. 4.1). Innerhalb dieser Ebenen

werden die Teilprozesse zu Hydrometeorologie, Interzeption, realer Verdunstung, Infiltration, Grundwasserneubildung, Bodenwasserhaushalt, Abflussbildung und Gebietsabfluss modelliert. In Abhängigkeit von der Aufgabenstellung sowie der verfügbaren Datenbasis kann für die Simulation der Teilprozesse eine

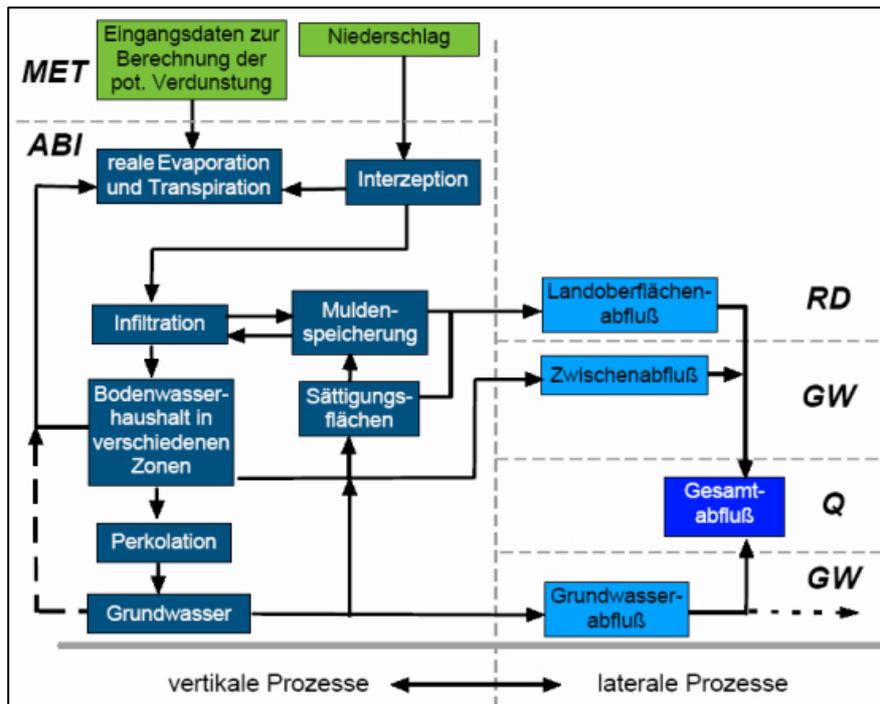


Abbildung 4.1: Konzeptioneller Aufbau und Modellebenen in ARC-EGMO (PFÜTZNER 2002)

entsprechende räumliche und zeitliche Diskretisierung gewählt werden. Durch variable räumliche Aggregierungsansätze und die direkte Kopplung an ein GIS erfolgt die Modellierung der Abflussbildung auf Grundlage von Flächeneinheiten unterschiedlicher Größe und Heterogenität. Die kleinste zu simulierende Raumeinheit für den Abflussbildungsprozess ist die *Elementarfläche*, welche über Verschneidungsalgorithmen aus raumbezogenen Daten zu Landnutzung, Böden, Grundwasserverhältnissen und Teileinzugsgebieten generiert wird und quasi homogene Systemeigenschaften aufweist. Zur Reduzierung des Rechenaufwandes werden räumlich benachbarte Elementarflächen ähnlichen hydrologischen Regimes zu *Hydrotopen* und den, innerhalb einer begrenzten Raumeinheit, ortsunabhängigen *Hydrotopklassen*, zusammengefasst.

Für die Modellierung des lateralen Abflusskonzentrationsprozesses werden Teileinzugsgebiete oder Abflusskaskaden (Landoberflächen- und Grundwasserabfluss) bzw. Fließgewässerabschnitte für den Gewässerabfluss als Raumeinheiten verwendet. Im Modellsystem erfolgen die Modellorganisation, die Verwaltung der Zeitreihen und Daten, die Parameterermittlung und Ergebnisaufbereitung. Ebenso ist das eigentliche Modell darin eingebunden, mit der erwähnten Untergliederung in Vertikal- und Lateralprozessdomäne. Zwischen diesen und den untergeordneten Teilmodulen erfolgt über Schnittstellen die Parameterübergabe. Der modulare Aufbau von ARC-EGMO ermöglicht die Anbindung an das eigentliche hydrologische Modell mit der entsprechenden GIS-Datenbasis.

Für weitere detaillierte Beschreibungen des Modellsystems sei an dieser Stelle auf die Programmdokumentation (PFÜTZNER 2002) verwiesen.

4.2.2 Datengrundlagen

4.2.2.1 Raumbezogene Daten

Die vorgegebene Modellstrukturierung und räumlichen Diskretisierungsmöglichkeiten von ARC-EGMO erfordern als raumbezogene Informationen hydrologisch relevante, vektorbasierte Daten zu Landnutzung, Bodenverhältnissen, Grundwasserflurabständen, Topographie, Teileinzugsgebieten und Fließgewässerstruktur (vgl. Abb. 4.2), die in den entsprechenden thematischen Covern der Elementarflächen, Teileinzugsgebiete und des Fließgewässersystems GIS-gestützt verwaltet werden (PFÜTZNER 2002).

In welchen Maßstäben die einzelnen Raumdaten verwendet werden, hängt entscheidend von der Größe des Einzugsgebietes und der Datenverfügbarkeit ab. Um dem vergleichenden Ansatz der Arbeit (Kap. 1.2) bereits bei der Erstellung der GIS-Datenbasis zu entsprechen, wurde für beide Untersuchungsgebiete eine

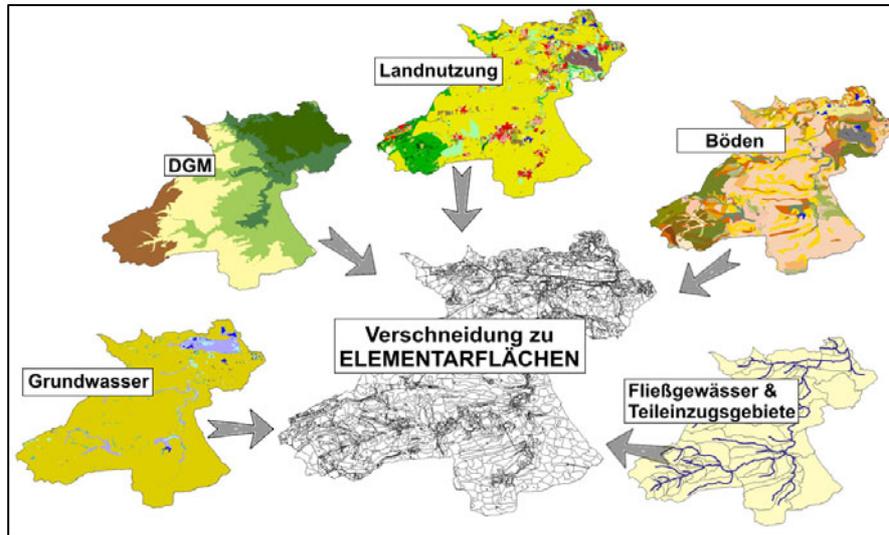


Abbildung 4.2: Erzeugung der Elementarflächen in ARC-EGMO (nach PFÜTZNER 2002)

möglichst einheitliche Datengrundlage verwendet. Dies war gleichbedeutend mit dem weitestgehenden Verzicht auf vorliegende Daten für das Einzugsgebiet der Querne/Weida, mit Ausnahme der Bodenkarte (PFÜTZNER ET AL. 1996). Entsprechend den Anforderungen, welche sich aus der Gebietsgröße an die Datengrundlage ergeben (BECKER 1992), wurden Karten im mesoskaligen

Maßstabsbereich unter 1:50.000 gewählt. Die nachfolgenden Ausführungen geben zusammenfassend einen Überblick über Quellen (Tab. Anh.1), Aufbereitung und Klassifizierung der Raumdaten, auf deren Parametrisierung in Kap. 4.2.3 eingegangen wird. Der geodätische Raumbezug aller in der GIS-Datenbasis zusammengefassten Kartengrundlagen ist der Bessel-Ellipsoid mit dem Gauß-Krüger-Koordinatensystem. Die Verwaltung, Aufbereitung und Verarbeitung aller Raumdaten erfolgte mittels Software ArcView GIS 3.3 (LIEBIG & SCHALLER 2000).

Landnutzung

Grundlage für die Bereitstellung von Informationen zur **Landnutzung** waren vektorbasierte CIR-Daten der luftbildgestützten Biotypen- und Nutzungstypenkartierung im Land Sachsen-Anhalt (LAU LSA 2001D₁; LAU LSA 1992) im Maßstab 1:10.000. Eine zusätzliche Verifizierung erfolgte anhand der Topographischen Karte 1:25.000 (LVERMG LSA 1997K₁₋₅, 1996K₁₋₅, 1995K₁₋₈; THÜRINGER LANDESVERMESSUNGSAMT 1993). Aufgrund der hohen räumlichen Auflösung der CIR-Daten wurde eine Aggregation der Flächeneinheiten zu Nutzungstypen ähnlicher Eigenschaften vorgenommen. Hierzu wurden für beide Untersuchungsgebiete ein einheitlicher Klassifizierungsschlüssel angewendet und 21 Landnutzungsklassen ausgewiesen (Karte 3). Bei der Betrachtung der Modellergebnisse sollte berücksichtigt werden, dass die bereit gestellten Datengrundlagen sowie deren anschließende Verarbeitung grundsätzlich fehlerbehaftet sind, was für die Kartierung der Biotop- und Nutzungstypen auch dokumentiert ist (LAU LSA 1992). Tab. Anl.A1 gibt einen Überblick über die Parametrisierung und Flächenanteile der einzelnen Nutzungsklassen.

Böden

Die Datengrundlage für die Böden ist für beide Untersuchungsgebiete hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit differenziert zu betrachten. Für das Einzugsgebiet der **Querne/Weida** lag eine im Rahmen eines abgeschlossenen Projektes (PFÜTZNER 1996) digitalisierte Bodenkarte im Maßstab 1:25.000 vor (STAU 2001D₁). Neben den Informationen zur räumlichen Verteilung der Bodeneinheiten sind Angaben zu Schichtung, Lagerungsdichte und Bodenart enthalten, woraus sich weitere erforderliche bodenphysikali-

schen Parameter nach KA4 (AG BODEN 1994) ableiten lassen. Für das gesamte Einzugsgebiet konnten, einschließlich anthropogener Böden, insgesamt 80 Bodenformen differenziert werden (Karte 1 & Tab. Anl.A2 & A4).

Für das Einzugsgebiet der **Wipper** stellte die Verfügbarkeit von Bodenkarten ein nicht unwesentliches Problem dar. Die Karte der Mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung 1:25.000 (MMK25, GLA LSA 1980K) liegt, begründet durch das Kartierverfahren der Reichsbodenschätzung, nur für die waldfreien Standorte vor. Ebenso konnten aufgrund fehlender flächendeckender Verfügbarkeit (VBK50; LAGB LSA O.J.) bzw. ungeeigneter Maßstabsebene (BÜK200) (GLA LSA 1995K) auch weitere Kartengrundlagen keine Verwendung finden.

Alternativ dazu wurden für die Bereiche des oberen Einzugsgebietes die im 10m-Raster vorliegenden Informationen zu Mächtigkeit, Lagerungsdichte, Skelettanteil und Kornfraktionen des Feinbodens eines Lagenmodells nach SCHOLTEN & BEHRENS (SCHOLTEN & BEHRENS 2002; SCHOLTEN 2003) zur Abschätzung von Verbreitung und Eigenschaften periglaziärer Lagen verwendet. Diese bestimmen durch ihre Ausprägung wesentlich den Wasser- und Stoffhaushalt in Mittelgebirgsregionen, so auch im Ostharz. Eine aus dem Lagenmodell erzeugte synthetische Bodenkarte (LAGB LSA 2002D₂) wurde mit den verfügbaren Karten der MMK25 (LAGB LSA 2002D₁) zu einer Gesamtbodenkarte für das Einzugsgebiet der Wipper verknüpft. Als Ergebnis lag eine kombinierte Bodenkarte vor, in welcher 50,4 % des Einzugsgebietes durch die MMK25 (lössbedecktes Harzvorland) und 49,6 % durch die synthetische Bodenkarte (waldbedeckter Mittelgebirgsbereich) abgedeckt werden. Der Generierung der kombinierten Bodenkarte ging ein aufwendiges Präprocessing voraus (Tab. Anh.2). Als Ergebnis wurden für das obere Einzugsgebiet der Wipper 188 Bodeneinheiten mit ähnlicher Ausprägung von Lagenanzahl, -mächtigkeit, Skelettgehalt und Bodenart ausgewiesen. In der aus der synthetischen Bodenkarte und der MMK25 erzeugten Gesamtbodenkarte für das Wippergebiet sind insgesamt 227 Bodeneinheiten zusammengefasst (Karte 1 & Tab. Anl.A3), wobei auf den Begriff Bodentypen, begründet durch die abweichende Klassifizierung der synthetischen Karte, verzichtet wird.

Grundwasserverhältnisse

Zur Beschreibung der Grundwasserverhältnisse ist die flächendifferenzierte Unterteilung in grundwassernahe und -ferne Flächen erforderlich, welche sich maßgeblich in ihrem Einfluss auf den Wasserhaushalt eines Einzugsgebietes unterscheiden. Grundwasserflurabstandskarten standen flächendeckend nicht zur Verfügung. In Anlehnung an ein Verfahren von PFÜTZNER (2001) wurde zur Klassifizierung der Grundwasserflurabstände überwiegend auf Informationen der Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung (LAU LSA 1992) sowie, ergänzend, auf Bodendaten zurückgegriffen.

Über die Struktureinheiten der Biotoptypenkartierung lassen sich Feuchteverhältnisse näher definieren. Ausgehend von der Annahme, dass Feuchtstandorte in den Untersuchungsgebieten zumeist auf Grundwassernähe und weniger auf Staunässe zurückzuführen sind, wurden die in Tab. Anl.A5 aufgeführten Nutzungstypen als grundwassernahe Flächen ausgewiesen. Zusätzlich wurden anhand der Eigenschaften und Genese der Böden (LAGB LSA 2002D₁) grundwassernahe Flächen festgelegt. Zumeist handelt es sich dabei um Auenböden oder Gleye (Tab. Anl.A5).

Eine im Rahmen hydrologischer Grundlagenuntersuchungen durch PFÜTZNER (1996) generierte Grundwasserflurabstandskarte für das Einzugsgebiet der Querne/Weida (STAU 2001D₂) diente ausschließlich der Verifizierung der eigenen Karte.

Einen Überblick über die Grundwasserverhältnisse in den Untersuchungsgebieten gibt Karte 4.

Topographie

Zur Beschreibung der topographischen Eigenschaften der Untersuchungsgebiete wurde das Digitale Geländemodell (DGM) des Landesamtes für Landesvermessung und Datenverwaltung Sachsen-Anhalt (LVERMD LSA 1996D₁) im 10 m-Punktraster verwendet. Mittels ArcViewGIS 3.3 (LIEBIG & SCHALLER 2000) wurden aus den Höheninformationen weitere relevante Kennwerte, wie Gefälle und Geländeexposition im 10 m-Raster abgeleitet. In Karte 5 sind die Höhen- und Gefälleverhältnisse in den Untersuchungsgebieten abgebildet.

Fließgewässer und Teileinzugsgebiete

Für die digitale Erfassung der Fließgewässer im Einzugsgebiet der Wipper wurden Geobasisdaten der Fließgewässer des Amtlichen Topographisch-kartographischen Informationssystems (ATKIS) des Landesamtes für Landesvermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt 1:25.000 (LVERMD LSA 1996D₁) und die Topographische Karte 1:25.000 (LSA 1997K₁₋₅, 1996K₁₋₅, 1995K₁₋₈; THÜRINGER LANDESVERMESSUNGSAMT 1993) verwendet. Für das Einzugsgebiet der Querne/Weida lag ein entsprechend aufbereitetes Fließgewässernetz bereits vor (STAU 2001D₃), welches lediglich aktualisiert wurde. Die entsprechend der LAWA-Richtlinie digitalisierten Teileinzugsgebiete wurden durch das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt zur Verfügung gestellt (LAU LSA 2001D₂). Der Erstellung von Fließgewässernetz und Teileinzugsgebietsstruktur ging eine umfassende Fehleranalyse mit anschließender Homogenisierung, Generalisierung und Attributierung der Daten nach KOSCHITZKI (2004) voraus (Tab. Anh.3). Als Ergebnis wurden für das Einzugsgebiet der Querne/Weida 64 Teileinzugsgebiete mit 72 Fließgewässerabschnitten und für das Wippereinzugsgebiet 356 Teileinzugsgebiete mit 1629 Fließgewässerabschnitten ausgewiesen (Karte 2).

Generierung der Elementarflächen

Die digital aufbereiteten Karten der Landnutzung, Böden, Grundwasserflurabstände und Teileinzugsgebiete wurden zur Ausweisung der Elementarflächen (Kap. 4.2.1.2) anschließend miteinander verschnitten. Neben der Fehleranalyse ist dabei die Bereinigung von Splitterpolygonen und Kleinstflächen (< 500 m²) und die Abgleichung der Boden- mit den Landnutzungsdaten eingeschlossen, um Falschbelegungen, z.B. für Gewässer- oder Abbauflächen, zu reduzieren. Den Elementarflächen wurden ID, Gauß-Krüger-Koordinaten sowie die aus dem DGM abgeleiteten durchschnittlichen Höhen-, Gefälle- und Expositionswerte zugewiesen. Nach Abschluss der Geoverarbeitung lagen für das Einzugsgebiet der Querne/Weida 7.398 und für das Einzugsgebiet der Wipper 23.378 Elementarflächen vor.

4.2.2.2 Zeitbezogene Daten

Klimazeitreihen

Die Modellierung des Niederschlag-Abfluss-Prozesses erfordert die Bereitstellung klimatologischer Daten in angemessener zeitlicher und räumlicher Auflösung. Die durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) bereitgestellten Zeitreihen von sechs Haupt- und mehreren Niederschlagsstationen für den Zeitraum 1961 bis 2000 (DWD 2002D₁, 2002D₂) wiesen große Datenlücken auf, so dass eine zeitliche und räumliche Homogenität der Datenbasis nicht gegeben war (Tab. Anh.4). Durch das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) wurden im Rahmen des Projektes GLOWA-Elbe (WECHSUNG & BECKER o.J.) Klimadaten in *täglicher Auflösung* für den Zeitraum 1951 bis 2000 bereitgestellt (PIK POTSDAM 2002D₁). Diese, ebenfalls auf Rohdaten des DWD basierenden Werte, werden am PIK im Rahmen eines Managementsystems „Klimadaten“ datenbankbasiert verwaltet (ÖSTERLE ET AL. 1999). Das schließt die Analyse, Fehler-

bereinigung, Klassifizierung, Aktualisierung, räumliche und zeitliche Interpolation sowie Bereitstellung der Datenreihen mit ein.

Die zur Verfügung gestellten Daten wurden zunächst einer erneuten *Fehler- und Homogenitätsprüfung* unterzogen. Dabei wurden nach Anwendung des Alexandersson-Tests (ALEXANDERSSON 1986) innerhalb der Niederschlagszeitreihen der Stationen Harzgerode und Wippra gravierende Datenfehler festgestellt. Zur Vermeidung einer Fortschreibung der Fehler in den durch einen statistischen Modellansatz von WERNER & GERSTENGARBE (1997) entwickelten Klimaszenarien wurde von einer weiteren Verwendung der genannten Stationen abgesehen.

Für die klimatisch-hydrologischen Untersuchungen stand eine hinsichtlich der Modellgüte ausreichende (LAHMER ET AL. 1999) Anzahl von 23 Stationen zur Verfügung (Abb.4.3; Tab. Anh.5). Für jede Station lagen auf Tageswertbasis 50-jährige Zeitreihen der Klimagrößen *Niederschlag* und *Tagesmitteltemperatur* sowie *Sonnenscheindauer*, *relative Luftfeuchte*, *Windstärke*, *Dampfdruck*, *extraterrestrische Strahlung* und *Globalstrahlung* vor. Zur Berechnung der potentiellen Verdunstung wurde das in ARC-EGMO implementierte Verfahren nach *Turc/Ivanov* (DVWK 1996a; WENDLING & MÜLLER 1984) verwendet, das für den kontinental geprägten ostdeutschen Raum als besonders geeignet gilt (vgl. DYCK & PESCHKE 1995; TURC 1961; WENDLING 1975).

Die Korrektur des systematischen Niederschlagsmessfehlers infolge Windeinfluss oder Verdunstungsverlusten erfolgte direkt in ARC-EGMO durch Zuweisung von Faktoren zur Niederschlags- bzw. Schneekorrektur in Anlehnung an RICHTER (1995). Zur Regionalisierung der Punktmessdaten der 23 Stationen wurde ein in ARC-EGMO implementiertes, erweitertes Quadrantenverfahren zur entfernungs- und höhenabhängigen Flächenübertragung gewählt (PFÜTZNER 2002).

Gegenüber den hier verwendeten Daten der konventionellen Bodenmessstationen bieten die Ergebnisse der Radarregennessung die Möglichkeit, Niederschlagsereignisse in höherer zeitlicher und räumlicher Auflösung zu erfassen und somit die Güte eines hydrologischen Modells grundlegend zu verbessern (SEUFFERT 2004). Ein maßgeblicher Nachteil der Radardaten gegenüber den Messstationen besteht zum gegenwärtigen Zeitpunkt in der geringen Länge vorliegender Messreihen, was ihren Einsatz in der regionalen Klimafolgenforschung zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch ausschließt, perspektivisch jedoch eine Alternative darstellen wird.

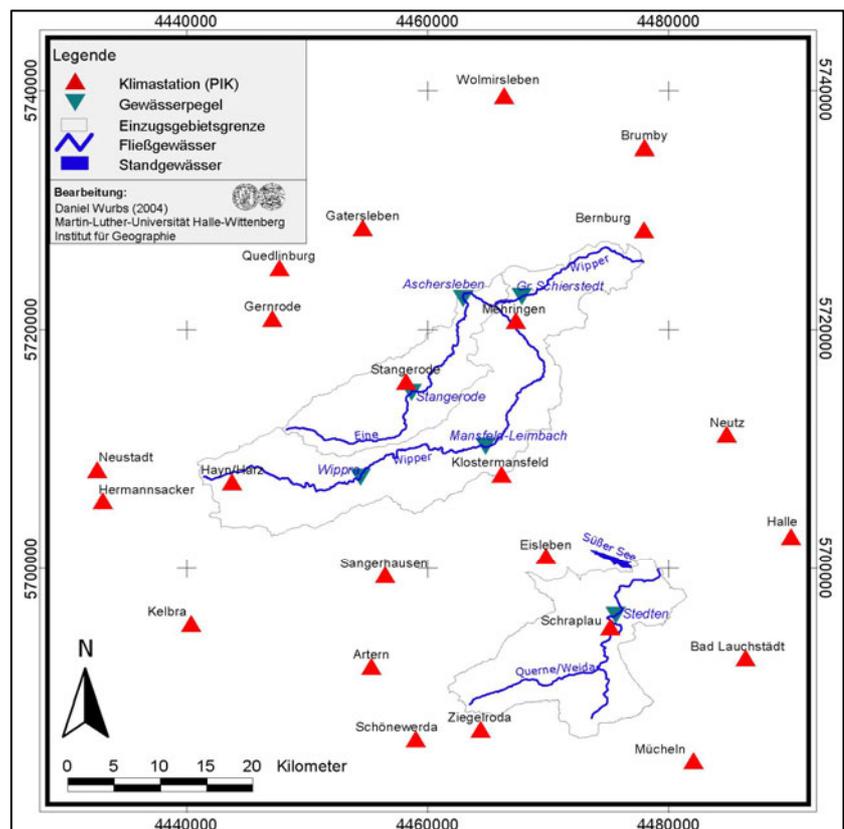


Abbildung 4.3: Verwendete Klimastationen und Gewässerpegel

Hydrologische Zeitreihen

Durch den Landesbetrieb für Hochwasserschutz Sachsen-Anhalt wurden Abflusswerte ausgewählter Gewässerpegel in täglicher Auflösung zur Verfügung gestellt (LHW LSA 2002D₁). Zur Validierung des hydrologischen Modells für das Einzugsgebiet der Querne/Weida wurde der *Pegel Stedten* verwendet. Für die Wipper liegen Messwerte an der *Vorsperre Wippra*, den *Pegeln Wippra*, *Mansfeld-Leimbach* und *Groß-Schierstedt* vor. Zusätzlich wurden Pegelmessreihen der Eine an den Standorten *Stangerode* und *Aschersleben* verwendet (Abb. 4.3; Tab. Anh.5). Außerdem wurden am Pegel Stedten gemessene Abflusswerte in höherer zeitlicher Auflösung für den Zeitraum 09/1997 bis 12/1999 verwendet (IFG MLU 2002D₁; FRÜHAUF & SCHMIDT 1999). Den einzelnen Gewässern zugeordnete Angaben zu Ausbau- o. Umbaumaßnahmen, die das Abflussverhalten maßgeblich beeinflusst haben können (PFÜTZNER 1996; DRESDEN DORSCH CONSULT 1996), dienten als Hilfsmittel bei der Modellvalidierung (Kap. 4.2.4).

Die am Oberlauf der Wipper 1952 fertig gestellte *Talsperre Wippra* dient neben dem Hochwasserschutz der Niedrigwasseraufhöhung und Brauchwasserbereitstellung (TALSPERRENMEISTEREI LSA 1994). Zur Verbesserung der Abflussmodellierung können am Auslass des Bauwerkes gemessene Abgabemengen direkt in ARC-EGMO integriert oder die Abflusstransformation der Talsperre optional über eine Routine beschrieben werden. Da die am Auslass des Bauwerkes gemessenen Abflusswerte nur bedingt für die Beschreibung zukünftiger Zustände (Einbindung von Klimaszenarien) Verwendung finden können, sollten stattdessen Routinen zu Stauhöhe-Wasserfläche-Beziehungen des Speicherinhaltes (HAV) und Wasserstand-Abfluss-Beziehungen (WQ) Verwendung finden. Für die Talsperre Wippra musste in diesem Zusammenhang festgestellt werden, dass die Steuerung des Talsperrenablasses oftmals nicht der Transformationsbeziehung entspricht, sondern vielmehr individuell, in Abhängigkeit von den jeweiligen nutzerabhängigen Prioritäten, erfolgt. Um die Vergleichbarkeit der Modellergebnisse zwischen dem gegenwärtigen und klimabedingt veränderten Gewässerabfluss der Wipper zu gewährleisten, wurde bei der Erstellung des hydrologischen Modells auf die Einbindung der Talsperre Wippra als Bauwerk verzichtet und nur das quasi natürliche Abflussverhalten betrachtet. Dennoch wird, Kapitel 5.1.1.2 vorgreifend, der Gewässerabfluss der Wipper durch das hydrologische Modell gut wiedergegeben.

4.2.3 Parametrisierung der Modelle

4.2.3.1 Parametrisierung des Abflussbildungsmodells

Die Zusammenfassung von Elementarflächen ähnlicher hydrologischer Eigenschaften zu ortsunabhängigen Hydrotopklassen (Kap. 4.2.1.2) erfolgte unter Berücksichtigung der Parameter Geländegefälle, Grundwasserflurabstand und Hauptnutzungstypen. Für beide Untersuchungsgebiete wurden insgesamt 29 Hydrotopklassen ausgewiesen (Tab. Anl.A6), auf deren Basis die Modellierung des Abflussbildungsprozesses erfolgte. Da auch im Hydrotopansatz auf die Beschreibung der Flächenverteilungsfunktion der Elementarflächenparameter über die GIS-Datenbasis zurückgegriffen wird, ist eine bestmögliche Parametrisierung der raumbezogenen Daten notwendig. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Landnutzungs- und Bodenparameter.

Parametrisierung der Landnutzungsklassen

Entsprechend den modellspezifischen Anforderungen von ARC-EGMO werden Kennzahlen zu *Versiegelungsgrad*, *Wurzeltiefe*, *Interzeptionsspeicherkapazität*, *Bedeckungsgrad* und *Oberflächenrauigkeit* tabellarisch verwaltet. Minimum- und Maximum-Werte berücksichtigen zusätzlich den Vegetationszyklus bzw. mögliche Unsicherheitsbereiche der Parameter. Speziell für das Einzugsgebiet der Querne/Weida vorliegende Nutzungsparameter konnten aus vorliegenden Arbeiten (PFÜTZNER 1996) abgeleitet und an die

eigene Landnutzungsklassifizierung angepasst werden. Wesentliche Grundlage für die Zuordnung weiterer nutzungsabhängiger Parameter waren Richtwerte aus Literaturangaben. Zusammengefasst sei hiermit auf BREUER & FREDE (2003), SUKOPP (1998), KUTSCHERA ET AL. (1997), MENZEL (1997), DVWK (1996a), ELLENBERG (1996), WOHLRAB ET AL. (1992), HOYNINGEN-HUENE (1983), KUTSCHERA & LICHTENEGGER (1982), LEHNARDT & BRECHTEL (1980), MITSCHERLICH (1971) und KÖSTLER ET AL. (1968) verwiesen. Die Parametrisierung erfolgte für beide Untersuchungsgebiete getrennt, da klimatische, hydrologische und geologische Randbedingungen Unterschiede in der Ausprägung einzelner Nutzungsklassen hervorrufen (Tab. Anl.A1).

Parametrisierung der Böden

Die bodenphysikalische Parametrisierung erfolgte für die Bodenformen/-einheiten und daraus abgeleitet für die Bodenarten. In einer Bodenformentabelle sind für jede Bodeneinheit Informationen zu *Schichtanzahl*, deren *Mächtigkeit*, *Lagerungsdichte* und *Bodenart* abgelegt. Diese, auf zahlreichen Bodenprofilaufnahmen basierenden Daten, stellen für jede einzelne Bodeneinheit einen mittleren Zustand dar und wurden durch das LAGB Sachsen-Anhalt bereitgestellt (LAGB LSA 2002D₁) bzw. lagen für das Einzugsgebiet der Querne/Weida bereits vor (STAU 2001D₁). Über die Identifizierung der Bodenart erfolgt der Zugriff auf eine Bodenartentabelle, über die nach bodenkundlicher Kartieranleitung (AG BODEN 1994) physikalische Kennwerte, wie *nutzbare Feldkapazität*, *Luftkapazität* oder *Wasserdurchlässigkeit* den einzelnen Bodenschichten zugeordnet werden (Tab. Anl.A2, A3, A4).

Gleichermaßen wurde mit der synthetischen Bodenkarte des oberen Wippergebietes verfahren (LAGB LSA 2002D₂). Jede Lage entspricht dabei einer Bodenschicht, wobei die Mittellage nicht flächendeckend auftritt. Die Mächtigkeit wurde aus den zuvor generierten Klassen zugewiesen, ebenso die abgeleiteten Bodenarten. Die Lagerungsdichte der Bodenschichten konnte nicht direkt aus dem Lagenmodell bestimmt werden. Entsprechend früherer Untersuchungen (vgl. SCHOLTEN ET AL. 1999) wurden der Hauptlage die Lagerungsdichte 2, der Mittellage die Lagerungsdichte 3 und der Basislage die Lagerungsdichte 4 nach KA 4 (AG BODEN 1994) zugewiesen (Tab. Anl.A3).

Parametrisierung der Grundwasserflurabstandsklassen

Die Ausgliederung von Grundwasserflurabstandsklassen erfolgte unter Berücksichtigung der vegetations- bzw. bodenspezifischen Eigenschaften (LFU BAYERN 2000; WILMANN 1998). Alle aus den CIR-Daten generierten grundwassernahen Flächen wurden der Grundwasserflurabstandsklasse 0 bis 0,5 m zugeordnet, mit Ausnahme des mesophilen Grünlands, das, auf Grund geringeren Feuchteinflusses, der Klasse 0,5 bis 1,0 m zugewiesen wurde. Flächen, die entsprechend der Bodenkarte als grundwassernah gekennzeichnet wurden, erhielten die Flurabstandsklasse 1,0 bis 2,0 m. Alle nicht näher spezifizierten Flächen gelten als grundwasserfern (> 2 m). Wasserflächen wurden separat ausgewiesen (Tab. Anl.A5).

4.2.3.2 Parametrisierung des Abflusskonzentrationsmodells

Die Parametrisierung des Abflusskonzentrationsmodells erfolgte getrennt für die Modellebenen Oberflächen-, Grundwasser- und Gewässerabfluss. Zur Beschreibung der *Oberflächenabflusskonzentration* wurde der Ansatz der kinematischen Welle (kinwave) gewählt. Hierbei wird die Fließgeschwindigkeit des Oberflächenwassers in Abhängigkeit von Oberflächenrauigkeit, Gefälle und der Höhe des Oberflächenabflusses, unter Verwendung der Potenzgleichungen nach Manning-Strickler, ermittelt. Parameter, wie Mulden-speicherkapazität oder Gerinneform, können für die Maßstabsbereiche der verwendeten Raumdaten (Kap. 4.2.2.1) nur plausibel geschätzt werden.

Die Beschreibung des *Basisabflusses* erfolgt in ARC-EGMO über Einzellinearspeicheransätze. Dabei werden für Flächentypen Einzellinearspeicher innerhalb der Teileinzugsgebiete festgelegt. Die Flächentypen integrieren grundwassernahe (AN), hängige (AH), ebene grundwasserferne (AG) und versiegelte (AJ) Flächen, denen sich die festgelegten Hydrotopklassen eindeutig zuordnen lassen. Durch Kopplung der Grundwasserspeicher können in vereinfachter Form Grundwasserströmungsprozesse nachgebildet werden. Die Schätzung der Einzellinearspeicher bzw. Rückgangskonstanten, die durch die klimatischen Verhältnisse und den geologischen Untergrund vorgegeben sind, kann durch eine Ganglinienseparation erfolgen. Für die hydrologischen Modelle der Wipper und Querne/Weida dienen Erfahrungswerte und Ergebnisse vorliegender Arbeiten (PFÜTZNER 1996; SCHWARZE ET AL. 1996) der Abschätzung der Rückgangskonstanten, die für einzelne Teileinzugsgebiete variiert wurden (Tab. Anl.A7).

Die Modellierung der *Abflusskonzentration im Gewässer* wird über eine lineare Speicherkaskade realisiert, die sich aus der Verknüpfung der einzelnen Gewässerabschnitte ergibt. Die Parametrisierung erfolgt durch die Vorgabe einer global ermittelten Einzellinearspeicherkonstante C' , aus welcher, unter Einbeziehung von Gefälle und Länge eines jeweiligen Gewässerabschnittes, die Parameter des Kaskadenmodells ermittelt werden. Die modellinterne Berechnung erfolgt über Oberlieger-Untерlieger-Beziehungen.

Zur detaillierten Beschreibung der Parametrisierung des Abflusskonzentrationsmodells und der Teilprozesse in der vertikalen Ebene sei an dieser Stelle auf die Programmdokumentation von ARC-EGMO verwiesen (PFÜTZNER 2002).

4.2.4 Modellverifizierung

Vorrangiges Ziel der Modellverifizierung war eine akzeptable Wiedergabe des natürlichen Abflussregimes beider Einzugsgebiete, um eine plausible Datenbasis für den Einsatz der Klimaszenarien und die Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees zu erhalten. Der Optimierung eines Modells sind allerdings Grenzen gesetzt, die nicht ausschließlich durch das Modell selbst bzw. dessen Nutzer bestimmt, sondern vielmehr von verschiedenen Randbedingungen, wie der Qualität der Datengrundlagen abhängen.

Die Verifizierung der hydrologischen Modelle der Querne/Weida und Wipper wurde zunächst anhand der **hydrometeorologischen Größen** Niederschlag, potentielle Verdunstung und klimatische Wasserbilanz sowie der **Wasserhaushaltskomponenten** reale Verdunstung, Grundwasserneubildung und Oberflächenabfluss vorgenommen. Aufgrund fehlender flächendeckender Messungen konnte die Plausibilität der Modellergebnisse nur unter Verwendung vergleichbarer (Modell-)Untersuchungen **abgeschätzt** werden (PFÜTZNER ET AL. 1996; PFÜTZNER 2001; BMBF 2000).

Die Modellverifizierung erfolgte schwerpunktmäßig anhand des gemessenen **Gewässerabflusses**, in welchem die Komponenten des Wasserhaushaltes quantitativ integriert sind. Hierzu wurden die täglichen Durchflussmesswerte der Querne/Weida (Pegel Stedten), der Wipper (Pegel Wippra, Mansfeld-Leimbach, Groß Schierstedt) und der Eine (Pegel Stangerode, Aschersleben) berücksichtigt (Kap.4.2.2.2 & Tab. Anh.5). Für die **Kalibrierungsphase** 1984 - 2000 (1984 = Beginn der Schreibpegelmessung am Pegel Stedten) erfolgte eine den Anforderungen genügende Modellanpassung. Anschließend wurden die Modelle an einer längeren Periode (Beginn der Pegelmessungen bis 1983) **validiert**. Folgende Möglichkeiten der Modellkalibrierung und -validierung wurden genutzt:

- Quantitativer und visueller Vergleich gemessener und modellierter Abflusszeitreihen
 - **Hydrologische Kennwerte** zur Wiedergabe **mittlerer Zustände** (MQ, Abflussdauerlinie, jahreszeitlicher Abfluss, Jahresganglinie) und von **Extremsituationen** (MHQ, HHQ, MNQ, NNQ)
 - **Visueller Ganglinienvergleich** (Tages- und Monatswerte)

- Einsatz von Effizienzmaßen als Gütekriterien auf Tages- und Monatsbasis (Bestimmtheitsmaß R^2 und Nash-Sutcliffe-Effizienzkriterium (NSE) (NASH & SUTCLIFFE 1970))

Veränderungen im Einzugsgebiet, im und am Gewässer, führen zumeist zu Veränderungen des gemessenen Abflusses, können durch das hydrologische Modell durch fehlende Informationen aber oftmals nicht wiedergegeben werden. So repräsentieren die verwendeten räumlichen Daten, wie Landnutzung oder Fließgewässersystem, nur einen kurzen Zeitraum (den Zeitpunkt der Erfassung), während die Modellkalibrierung aber für eine längere Periode erfolgt, in der sich Veränderungen ergeben haben können.

Aus diesem Grund schloss sich der Abschätzung der Modellgüte eine detaillierte Plausibilitätsprüfung sowie Fehlerbetrachtung und Ursachenanalyse an.

4.3 Entwicklung und Integration regionaler Klimaszenarien

4.3.1 Auswahl der regionalen Klimaszenarien auf Basis eines globalen Klimamodells und ausgewählter Emissionsszenarien

Entsprechend der Zielstellung der Arbeit (Kap. 1.2) kommt neben den Untersuchungen zu den Folgewirkungen regionaler Klimaänderungen der Abschätzung szenarienabhängiger Variationen und Unsicherheiten und der daraus resultierenden Bewertung der aus den verschiedenen Modellen entwickelten Klimaszenarien eine besondere Bedeutung zu. Dies erfordert die Auswahl unterschiedlicher regionaler Klimaszenarien, die auf Basis von zwei IPCC-Emissionsszenarien entwickelt wurden (Tab. 4.1).

Für die vorliegende Arbeit wurde ein wahrscheinlichstes Szenario des regionalen **Klimaszenarienmodells STAR** (GERSTENGARBE & WERNER 2003a) sowie ein mittleres Szenario der mit Neuro-Fuzzy-Methoden erfolgten Regionalisierung der **ECHAM/REMO-Simulationen** (REIMER ET AL. 2003) eingesetzt, die nachfolgend als *STAR*- bzw. *ECHAM/REMO*-Klimaszenario bezeichnet werden. Beide wurden im Rahmen des GLOWA-Elbe-Projektes (WECHSUNG & BECKER o.J.) entwickelt und für die vorliegende Arbeit bereitgestellt. Grundlage der Szenarienerstellung bilden die Ergebnisse des globalen dynamischen Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodells (AOGCM) **ECHAM4-OPYC3**, das am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg entwickelt wurde (ROECKNER ET AL. 1996). Für das STAR-Klimaszenario wurde das **SRES-Emissionsszenario A1B** zu Grunde gelegt, das gegenüber dem im ECHAM/REMO-Modell verwendeten **B2-Szenario** von einer weniger nachhaltigen globalen Entwicklung ausgeht (Kap. 2.2).

Weiterhin wurde ein vereinfachtes Regionalisierungsszenario eingesetzt, das unter Verwendung des *climate scenario generator* **MAGICC/SCENGEN** (WIGLEY ET AL. 2000) entwickelt wurde. Über zeitliche und räumliche Interpolationsmethoden wurden die Ergebnisse des globalen Klimamodells ECHAM4-OPYC3 für das Emissionsszenario SRES A1B für die Untersuchungsgebiete optimiert. Hierzu wurde modellintern das A1-Szenario um die im IPCC-Bericht (HOUGHTON ET AL. 2001) festgelegten Treibhausgasemissionen erweitert.

Die Entwicklung eines vereinfachten regionalen Klimaszenarios auf Basis von MAGICC/SCENGEN (WIGLEY ET AL. 2000) lässt sich durch die allgemeine Verfügbarkeit der auf downscaling-Methoden basierenden Klimaszenarien begründen. Deren Entwicklung erfolgt zumeist an Institutionen mit entsprechenden wissenschaftlichen und personellen Kapazitäten. In Abhängigkeit von der Projektförderung und dem Untersuchungsziel beziehen sich die Szenarien auf spezielle administrative oder naturräumliche Einheiten (z.B. Flusseinzugsgebiete), welche nicht selten in unmittelbarem Zusammenhang zum Standort der Einrichtung stehen (vgl. GERSTENGARBE 2003; WECHSUNG & BECKER o.J.; ENKE ET AL. 2001; BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSVERBUND 1999). Allgemein verfügbare Klimaszenarien in einer vergleichbaren räumlichen und zeitlichen Auflösung liegen hingegen flächendeckend für Deutschland nicht

vor und können somit nur durch Kooperationen oder entsprechende finanzielle Kapazitäten zur Verfügung gestellt werden. In der eingeschränkten Verfügbarkeit komplexer Klimaszenarien ist somit das Motiv zu finden, unter Verwendung von MAGICC/SCENGEN vereinfachte Klimaszenarien zu entwickeln, um Aussagen darüber treffen zu können, inwiefern diese alternativ zu komplexen, hoch aufgelösten Szenarien (hier STAR & ECHAM/REMO) eingesetzt werden können.

Neben den genannten kommen **hypothetische Klimaszenarien** zum Einsatz, die weder an globale noch regionale Klimamodelle gekoppelt sind und einer Sensitivitätsanalyse dienen, um klimabedingte Reaktionen des Wasserhaushaltes in den Untersuchungsgebieten abschätzen zu können.

Tab. 4.1 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die verwendeten Klimaszenarien.

Regionale Klimaszenarien	Beschreibung	Globales Klimamodell	Emissions-szenario	Anzahl Stationen	Berücksichtigte Klimaparameter	Quelle
STAR-Klimaszenario	Wahrscheinlichstes Szenario eines empirischen regionalen Klimaszenarienmodells	ECHAM4-OPYC3	SRES A1B	23	LT, PI, rF, W, e, nRel	PIK Potsdam
ECHAM/REMO-Klimaszenario	Mittleres Szenario eines dynamischen regionalen Klimaszenarienmodells	ECHAM4-OPYC3	SRES B2	5	LT, PI, rF, W	FU Berlin
MAGICC/SCENGEN-Klimaszenario	Vereinfachtes Klimaszenarienmodell	ECHAM4-OPYC3	SRES A1B	23	LT, PI, W, nRel	Climate Research Unit; Eigene Bearbeitung
Hypothetische Szenarien						
Trendszenario	Statistisch veränderte Klimazeitreihen auf Grundlage von Trendberechnungen	⊗	⊗	23	LT, PI, rF	PIK Potsdam; Eigene Bearbeitung
Hypothetisches Szenario - Temperatur +1,4 K	Statistisch veränderte Klimazeitreihen (Temperatur)	⊗	⊗	23	LT	PIK Potsdam; Eigene Bearbeitung
Hypothetisches Szenario - Temperatur +1,4 K; Niederschlag -10%	Statistisch veränderte Klimazeitreihen (Temperatur & Niederschlag)	⊗	⊗	23	LT, PI	PIK Potsdam; Eigene Bearbeitung

Tabelle 4.1: Zusammenfassender Überblick über die verwendeten Klimaszenarien

Erklärung: LT-Lufttemperatur; PI-Niederschlag; rF-rel. Feuchte; W-Windstärke; e-Dampfdruck; nRel-Sonnenscheindauer

4.3.2 Generierung hypothetischer Szenarien

Die Erstellung der hypothetischen Szenarien basiert auf zwei Ansätzen. Durch Aufprägen eines erwarteten **Musters** einer regionalen Klimaänderung und des beobachteten **Trends** ausgewählter Klimaparameter auf eine vorliegende Klimazeitreihe wurden zukünftige Szenarien für den Zeitraum 2001 - 2050 generiert.

In vorliegenden Untersuchungen (GERSTENGARBE 2003; ENKE 2001) wird für den kontinental geprägten ostdeutschen Raum eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur von 1 bis 2 K und eine Verringerung der Niederschlagssummen in den nächsten 50 Jahren als wahrscheinlich angenommen, was durch Trendbeobachtungen (WENDLING 2002; RAPP 2002) partiell bestätigt werden kann. Davon ausgehend wurden zwei Varianten eines **einfachen hypothetischen Szenarios** gewählt. Für die *erste Variante* wurde in Anlehnung an das IPCC-Szenario SRES A1B eine Temperaturerhöhung von 1,4 K pauschal auf die Tageswerte der vorliegenden Klimazeitreihen aller verwendeten Stationen aufgeprägt. In einer *zweiten Variante* wurden zusätzlich die Tagesniederschlagssummen um 10 % reduziert. Die für die modellinterne Berechnung der potentiellen Verdunstung (Kap. 4.2.2.2) benötigten Parameter blieben dabei unverändert. Die Probleme

matik einer dadurch verletzten zeitlichen und räumlichen Homogenität zwischen den Klimaparametern kann für Sensitivitätsanalysen vernachlässigt werden (BARDOSSY 1994).

Der zweite Ansatz, ein hypothetisches Szenario für ein zukünftiges Klima zu erstellen, erfolgte durch eine halbjahresbezogene Trendanalyse ausgewählter Klimaparameter für den zurückliegenden Zeitraum 1951 bis 2000 (**Hypothetisches Trendszenario**). Bezogen auf das Sommer- und Winterhalbjahr wurde der beobachtete Trend des Zeitraumes 1951 bis 2000 für die Tagesmitteltemperatur (absoluter Trend), den Niederschlag und die relative Luftfeuchte (jeweils relativer Trend) fortgeschrieben, um eine zukünftige Klimazeitreihe 2001 bis 2050 zu generieren. Der Trend wurde nach linearer Regression für den Gesamtzeitraum aller 23 Stationen (Kap. 4.2.2.2) berechnet und seine Signifikanz nach dem Mann-Kendall-Trend-Test (HIRSCH & SLACK 1984) bestimmt (Tab. 5.6). Um die räumliche Homogenität für vergleichende Analysen mit anderen Klimaszenarien beizubehalten, fanden auch solche Stationen Berücksichtigung, deren Trends nur eine geringe Signifikanz aufweisen. Die Übertragung der Halbjahrestrends auf die Tageswerte der Klimastationen erfolgte unter Beibehaltung der innerjährlichen Homogenität. Hierzu wurden die ermittelten Trends nicht gleichmäßig, sondern in der Mitte eines Halbjahres stärker und im Übergang zum folgenden Halbjahr schwächer auf die Tageswerte aufgeprägt, um an den Übergängen keine Sprünge zu produzieren. Der Trendwert bestimmt demzufolge die Amplitude seiner Ausprägung, was sich durch eine **vereinfachte Dreiecksschwingung** darstellen lässt (Abb. 4.4). Innerhalb eines Jahresintervalls

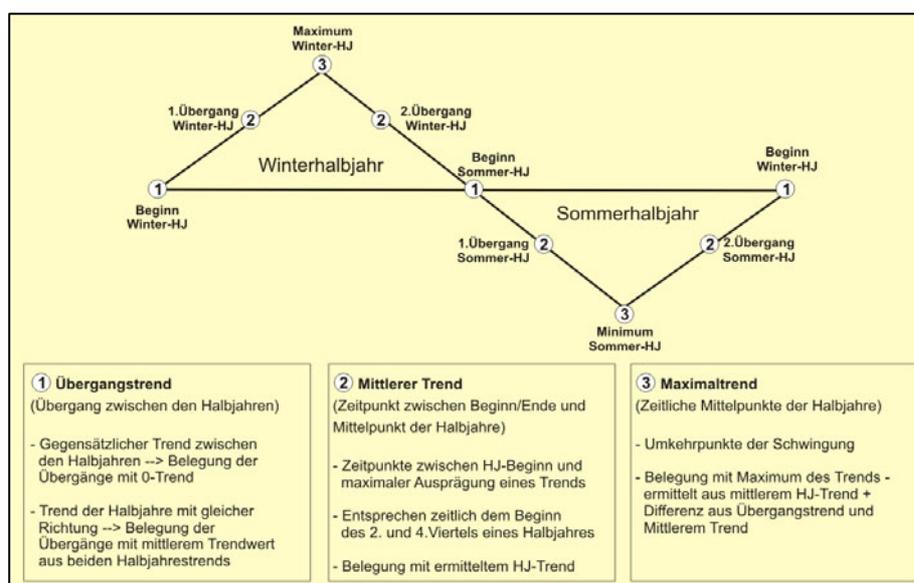


Abbildung 4.4: Schematische Darstellung der methodischen Vorgehensweise zur Generierung eines Trendszenarios (Bsp. für zunehmenden Winter- und abnehmenden Sommerniederschlag)

wurden in einem ersten Schritt neun Stützpunkte festgelegt und Übergangs-, Mittel- und Maximaltrend bestimmt. Anschließend erfolgte die zeitliche Interpolation der Trendwerte zwischen den Stützpunkten. Dabei liegt der jedem Tageswert zugewiesene Trendwert in einem festgelegten Wertebereich und entspricht in der Summe dem für jedes Halbjahr berechneten, mittleren 50-jährigen

Trend. Dieses Verfahren wurde auf jedes Jahr der 50-jährigen Reihe sowie jede Klimavariablen angewandt und in einem letzten Schritt der relative bzw. absolute Trend auf jeden Tageswert eines gemessenen Klimaparameters aufgeprägt.

4.3.3 Entwicklung eines regionalen Klimaszenarios nach MAGICC/SCENGEN

4.3.3.1 Beschreibung und Funktionalitäten von MAGICC/SCENGEN

MAGICC (*Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change*) und SCENGEN (*SCENario GENerator*) stellen eine Kombination aus vereinfachtem Klimamodell und Datenbasis für Klimaszenarien mit Möglichkeiten zur Regionalisierung und demzufolge im weitesten Sinne einen *climate scenario generator* dar. Seine Anwendungsmöglichkeiten konnte MAGICC/SCENGEN in zahlreichen

Untersuchungen zu „*vulnerability and adaptation*“ (V&A) infolge des *climate change*, einzelnen regionalen Klimaszenario- und Impactstudien (u.a. MRAE MALTA 2004; GOVERNMENT OF SWAZILAND 2002; REPUBLIQUE DU BURUNDI 2001) sowie innerhalb des dritten IPCC-Reports (IPCC TAR) (CUBASCH ET AL. 2001; GIORGI ET AL. 2001) unter Beweis stellen.

MAGICC verwendet in vereinfachter Form eine Reihe von Modellen, um das Verhalten von gekoppelten Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodellen (AOGCMs) zu emulieren, was seine Zuordnung zu den *simple climate models* begründet (HOUGHTON ET AL. 1997). Die Funktionsweise basiert im wesentlichen auf Kopplung der fünf Hauptkomponenten *Gas cycle model*, *Radiative forcing*, *Aerosol effects*, *Climate model* und *Ice melt model*. Modellsensitivität, Kohlenstoffkreislaufparameter oder Strahlungsantriebsparameter können ebenso nutzerabhängig bestimmt werden, wie das zu wählende IPCC-Emissionsszenario oder AOGCM. Diese sollten durch Untersuchungsziel und –raum vorgegeben sein und in Hinblick auf eine wissenschaftliche Interpretierbarkeit der gewonnenen Ergebnisse in enger Anlehnung an den durch den IPCC publizierten Emissionsszenarien gewählt werden.

Durch die direkte Kopplung von SCENGEN an MAGICC können die Ergebnisse aus 16 GCM- und verschiedenen Sulfat-Aerosol-Experimenten des UIUC-GCM (SCHLESINGER ET AL. 2000) mit globalen und regionalen Klimadatensätzen kombiniert werden. Diese Datensätze beinhalten Informationen zu normalisierten Klimaänderungsmustern, um über Up- oder Downscaling-Methoden regionale Veränderungen von Klimaparametern je 1 K globaler Erwärmung zu erfassen und auf Basis der *pattern scaling method* (SANTER ET AL. 1990) in ein regionales Grid zu übertragen. Hierzu wird in SCENGEN eine räumliche Aufteilung in die drei Regionen Nordatlantik, China/Indien und „Rest der Welt“ vorgenommen, um anschließend die Interpolation in ein 5°-Grid zu realisieren.

Eine weitere Regionalisierung in Grids mit 0,5°-Rasterweite erfolgt über eine *simple-downscaling-Method*e (WILBY & WIGLEY 1997) durch Interpolation sowie Kombination mit Beobachtungsdaten ausgewählter Klimastationen, die sich innerhalb des entsprechenden Grids befinden.

Für weiterführende (technisch-physikalische) Beschreibungen zu MAGICC/SCENGEN sei an dieser Stelle auf WIGLEY ET AL. (2000) verwiesen.

4.3.3.2 Regionalisierung der Ergebnisse und Zeitreihenerstellung

Die in MAGICC berechneten Ergebnisse werden in SCENGEN durch einen neuen Modelllauf direkt zur Ableitung regionaler Klimaszenarien für die Parameter Temperatur (MIT, MAX, MIN), Niederschlag, Luftdruck, Wolkenbedeckung und Windgeschwindigkeit verwendet. Für einen ausgewählten zukünftigen Zeitraum können die mittleren Werte auf Jahres-, Quartals- oder Monatsbasis sowohl kartographisch als auch tabellarisch mit einer Auflösung von 0,5° dargestellt werden. Da für die vorliegenden Untersuchungen tages- und stationsgenaue Daten erforderlich waren, wurde eine Übertragung der Ergebnisse auf die vorliegenden Klimastationen nach folgenden Arbeitsschritten vorgenommen:

- **Auswahl der zu übertragenden Klimaparameter**

Für die in SCENGEN realisierten Modellläufe ist die Auswahl der Klimagrößen durch die modellinterne Berechnung der potentiellen Verdunstung nach TURC/IVANOV in ARC-EGMO (Kap. 4.2.2.2) vorgegeben. Neben dem Niederschlag wurden Lufttemperatur und tägliche Sonnenscheindauer (abgeleitet aus Wolkenbedeckung) für die spätere Trendberechnung ausgewählt. Die relative Luftfeuchte konnte nicht direkt bestimmt, sondern aufgrund ihrer sehr hohen indirekten Beziehung aus dem Trendverhalten der Sonnenscheindauer ermittelt werden. Dieses Verfahren ist zwar nur in Ansätzen statistisch abgesichert, bot aber vor dem Hintergrund der verfügbaren Daten die einzige Möglichkeit die Homogenität zwischen

den Klimaparametern zu sichern. Eine diesbezüglich kritische Diskussion der Ergebnisse ist allerdings unerlässlich (Kap. 5.2.4).

- **Auswahl des zu betrachtenden Zeitintervalls**

Als Intervall wurde das hydrologische Halbjahr gewählt, um in Hinblick auf die hydrologische Modellierung eine zeitlich einheitliche Datenbasis zu erhalten. Zudem werden bei einer halbjährlichen Betrachtung interannuelle Trends berücksichtigt, Extremereignisse durch zu kurze Intervalle jedoch nicht überschätzt.

- **Auswahl des Szenarienzeitraumes**

Das zukünftige Klimaszenario umfasst die Jahre 2001 - 2050. Damit ist sowohl die Übertragbarkeit auf die 50-jährige Reihe 1951 - 2000 als auch die Vergleichbarkeit mit dem STAR- und ECHAM/REMO-Klimaszenario gewährleistet.

- **Auswahl der 0,5°-Grids**

Die Auswahl erfolgte für 12 Grids zwischen 10,50° E und 12,50° E sowie 51,0° N und 52,5° N (Abb. 4.5), die mit unterschiedlicher Gewichtung als repräsentativ für die gewählte Methode zur Regionalisierung der Modellergebnisse (s.u.) angenommen wurden.

- **Ableiten der Trends für Szenarienzeitraum und Zeitintervall**

Über den Zeitraum 2001 bis 2050 wurde für jedes Grid in jährlichen Schritten der monatliche Mittel- sowie Halbjahreswert jeder Klimavariablen ermittelt. Hierzu waren insgesamt 1.800 Simulationsläufe in SCENGEN notwendig. Aus der daraus vorliegenden 50-jährigen Reihe erfolgte anschließend die Berechnung eines linearen Halbjahrestrends für Niederschlag, Sonnenscheindauer, relative Luftfeuchte (jeweils relativer Trend) und Temperatur (absoluter Trend) für jedes 0,5°-Grid.

- **Entwickeln einer Methode zur Regionalisierung der Trends**

Die Zuweisung der Grids zu den Klimastationen sowie die Übertragung der entfernungsgewichteten Trends auf die 50-jährigen Stationszeitreihen in täglicher Auflösung wurde über einen vereinfachten Ansatz zur Kopplung abgeleiteter Trends aus SCENGEN mit beobachteten Klimazeitreihen unter Berücksichtigung der interannuellen Homogenität realisiert.

Jeder der 23 Klimastationen wurden über eine Nearest-Neighbour-Methode vier von 12 Grids zugewiesen (Abb. 4.5). Zur Wichtung der unterschiedlichen Entfernungen zum Gridzentrum wurde jedes Grid mit einem Faktor belegt, welcher aus dem Reziproke der Entfernung seines Zentrums im Verhältnis zur summierten Entfernung aller vier berücksichtigten Grids zur jeweiligen Station ermittelt wurde.

- **Aufprägen der Trends auf Tageswerte der Klimastationen**

Das Aufprägen des entfernungsgewichteten Halbjahrestrends der Grids auf die Klimawerte aller Stationen erfolgte nach dem Verfahren der vereinfachten Dreiecksschwingung, welches die innerjährliche Homogenität berücksichtigt und ausführlich bereits in Kap. 4.3.2 beschrieben wurde (vgl. Abb. 4.4).

Einen zusammenfassenden Überblick der ermittelten halbjahresbezogenen Trends für ausgewählte Klimaparameter, bezogen auf die 0,5°-Grids und die daraus abgeleiteten Trendwerte für die Klimastationen bis 2050 gibt Tab. Anh.6.

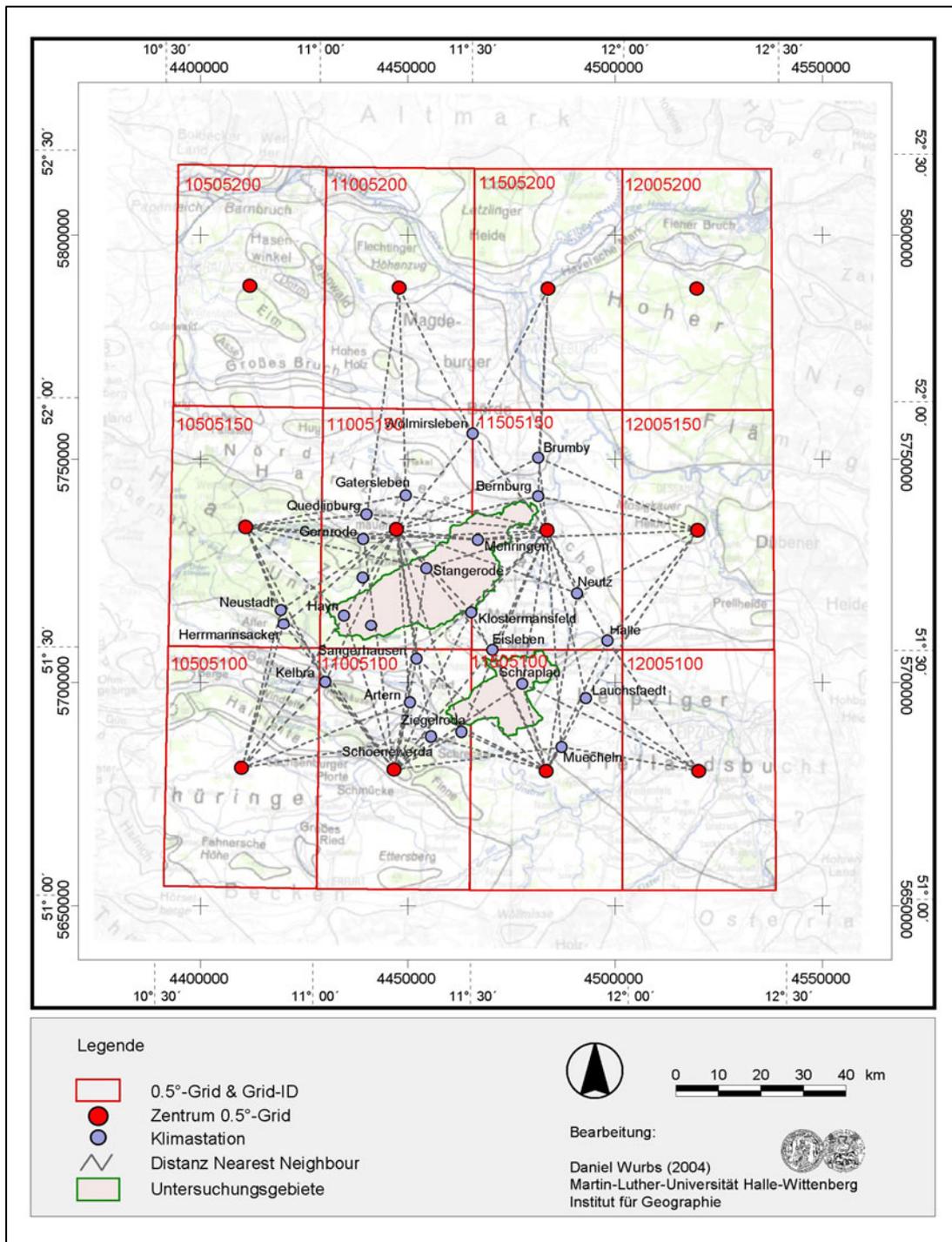


Abbildung 4.5: Lage der Untersuchungsgebiete innerhalb der gewählten 0,5°-Grids und deren Raumbezug zu den Klimastationen

4.3.4 Szenario des regionalen Klimamodells STAR

Grundidee des von GERSTENGARBE & WERNER (2003a) entwickelten Szenarienmodells ist, die aus einem globalen Klimamodell abgeleiteten zukünftigen Änderungen eines meteorologischen Parameters mit langjährigen meteorologischen Beobachtungsreihen eines Untersuchungsgebietes so miteinander zu verknüpfen, dass mit Hilfe eines statistischen Ansatzes die zukünftige klimatische Entwicklung dieses Gebietes abgeschätzt werden kann. Im Rahmen des Projektes GLOWA-Elbe (WECHSUNG & BECKER o.J) erfolgte über **statistisches downscaling** mit dem *Modellsystem STAR* die Simulation eines Klimaszenarios zur transienten Klimaänderung für den Zeitraum 2001-2055 für 369 Stationen.

Nachfolgend können lediglich Grundprinzipien und Regionalisierungsmethoden des Szenariomodells soweit beschrieben werden, wie es zum grundlegenden Verständnis erforderlich ist. Für detaillierte Ausführungen sei hiermit auf GERSTENGARBE (2003), GERSTENGARBE & WERNER (2003a) sowie WERNER & GERSTENGARBE (1997) verwiesen.

Voraussetzung für den Einsatz des Szenarienmodells ist die Vorgabe der tendenziellen Entwicklung einer von den globalen Klimamodellen hinreichend genau wiedergegebenen Bezugsgröße, in den meisten Fällen die Temperatur. Für die Szenarienerstellung wurde von einem globalen Temperaturtrend von + 1,4 K bis zum Jahr 2055 ausgegangen, berechnet durch das Klimamodell ECHAM4-OPYC3 (Kap. 4.3.1). Weiterhin ist das Vorhandensein ausreichend langer, homogener und vollständiger meteorologischer Beobachtungsreihen im Untersuchungsgebiet erforderlich.

Aus der Beobachtungsreihe der Bezugsgröße (Temperatur) wird zunächst eine Zufallszahlenreihe simuliert, auf die der modellierte globale Temperaturtrend (+ 1,4 K) aufgeprägt wird (Abb. 4.6). Dies erfolgt unter Berücksichtigung der statistischen Eigenschaften, der Konsistenz und der innerjährlichen Variabilität der Reihe. Anschließend wird für die Beobachtungsreihe nach einem speziell entwickelten Cluster-Analyseverfahren (WERNER & GERSTENGARBE 1997) die Klassifizierung der Bezugsgröße über sie bestimmende Parameterkombinationen, wie z.B. Erhaltungsneigung, Tagesmaximum oder -minimum vor-

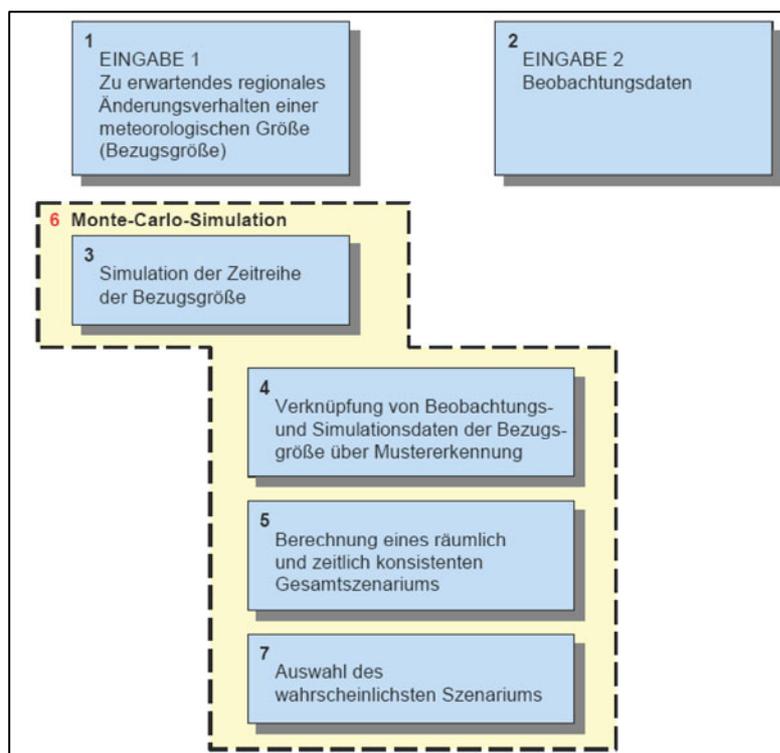


Abbildung 4.6: Schematische Darstellung des regionalen Klimamodells STAR (Quelle: GERSTENGARBE & WERNER 2003a)

genommen. Nunmehr kann für jede Parameterkombination eines jeden Zeitschrittes der zuvor simulierten Reihe die Zuordnung in ein Cluster der Beobachtungsreihe erfolgen. Abschließend werden die nicht als Bezugsgröße gewählten meteorologischen Größen über das Datum quasi 1:1 in die simulierte Reihe eingeordnet. Als Ergebnis der durchgeführten Arbeitsschritte erhält man für eine Station genau eine simulierte Zeitreihe (**Realisierung**) aller meteorologischen Parameter. Zur statistischen Absicherung der durchgeführten Berechnungen werden unter Verwendung einer Monte-Carlo-Simulation weitere zufällig erzeugte Realisierungen (Simulationdurchläufe) nach oben genanntem Prinzip erzeugt.

Die Übertragung der Simulationsergebnisse auf alle Stationen, unter Beibehaltung der räumlichen Konsistenz, erfordert zunächst die Auswahl einer **Bezugsstation**, die als repräsentativ für das Klima des Untersuchungsraumes gelten kann. Dabei gehen GERSTENGARBE & WERNER davon aus, dass ein Untersuchungsgebiet im großräumigen Maßstab ein einheitliches Klimagebiet darstellt. Für diese Station wird eine simulierte Klimazeitreihe nach oben beschriebenem Verfahren (Abb. 4.6) simuliert. Da für jedes Element (Tag einer Zeitreihe) bekannt ist, an welcher Stelle der simulierten Zeitreihe es eingesetzt wurde, kann für jede zusätzliche Station eine

entsprechende Reihe erzeugt werden. Bezogen auf das Elbegebiet (WECHSUNG & BECKER o.J) wurde die Station Magdeburg als Bezugsstation ausgewählt.

Abschließend wird aus 100 Realisierungen die für eine zukünftige Klimaentwicklung Wahrscheinlichste festgelegt. Dazu wird, unter Berücksichtigung der simulierten und beobachteten Zeitreihe, die Realisierung ausgewählt, welche den Trend des Zeitraumes 1951 bis 2000 für einen nicht als Bezugsgröße gewählten Klimaparameter am besten wiedergibt. Basierend auf den Beobachtungen der Station Magdeburg wurde für das gesamte Elbegebiet eine Realisierung als am wahrscheinlichsten angenommen, bei der von einer deutlichen Niederschlagsabnahme bis 2055 auszugehen ist (vgl. GERSTENGARBE 2003).

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde das **wahrscheinlichste Klimaszenario** verwendet. Dadurch kann zwar nicht die gesamte Bandbreite möglicher Entwicklungen aller 100 Realisierungen berücksichtigt werden, jedoch ist die Vergleichbarkeit mit vorliegenden Studien (GERSTENGARBE 2003) gewährleistet.

Für die Untersuchungsgebiete Querne/Weida und Wipper lagen als Szenario Klimazeitreihen verschiedener Parameter für 23 Stationen vor (PIK POTSDAM 2002D₂; Tab. 4.1), die der Klimazeitreihe 1951-2000 in Form und Umfang entsprechen. Die Aufbereitung und Fehleranalyse erfolgte entsprechend den in Kapitel 4.2.2.2 aufgeführten Arbeitsschritten. Zu Vorteilen und Defiziten des regionalen Klimamodells STAR wird ausführlich in Kap. 5.2.4 eingegangen.

4.3.5 ECHAM/REMO-Simulationen und Neuro-Fuzzy-Modelle

Die durch das Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin entwickelten Klimaszenarien basieren auf der Kopplung der Ergebnisse des globalen Klimamodells ECHAM4-OPYC3 (SRES B2) mit dem regionalen Klimamodell REMO (JACOB 2001; JACOB ET AL. 2001), einem dreidimensionalen, hydrostatischen Modell (Abb.

4.7). Über statistische Verfahren und Neuro-fuzzy-Modelle wurden die Modellsimulationen lokal verbessert und regionale Klimaänderungsszenarien entwickelt (REIMER ET AL. 2003).

Zunächst erfolgt die **Validierung der Klimasimulationsläufe** des ECHAM4- und des REMO-Modells für Niederschlag und Temperatur anhand 20-

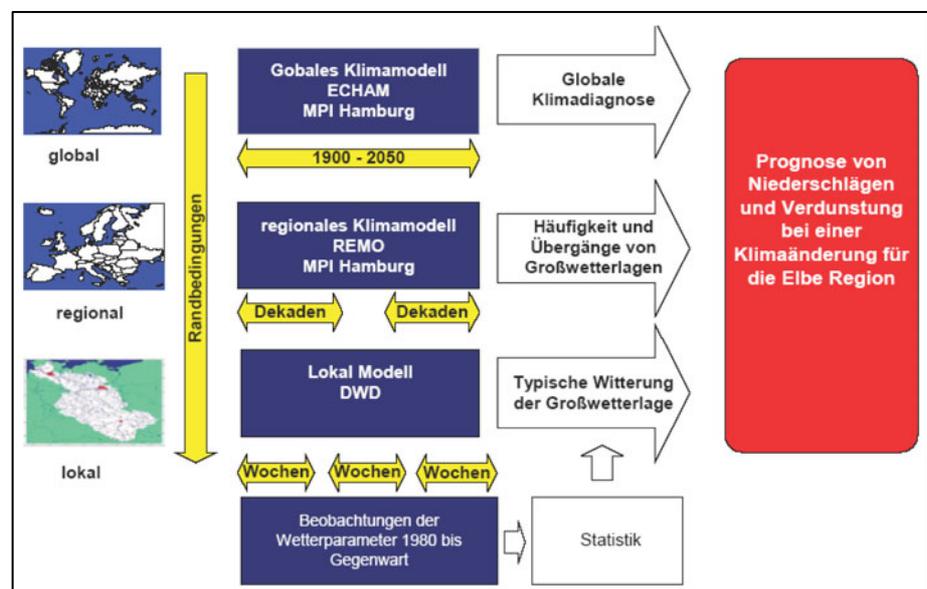


Abbildung 4.7: Verfahrensablauf zur Entwicklung regionaler Klimaszenarien aus ECHAM/REMO-Simulationen (Quelle: REIMER ET AL. 2003)

jähriger Beobachtungsdaten von 84 Stationen. Unter Verwendung verschiedener statistischer Methoden konnte für das REMO-Modell mit einer 0,16°-Gitterweite (gegenüber 0,5°-Auflösung) eine zufriedenstellende Modellqualität hinsichtlich der Wiedergabe räumlicher Strukturen, der innerjährlichen Variabilität und der Extremereignisse festgestellt werden. Die validierten Modellergebnisse werden anschließend **klassifiziert**. Hierzu dienen zum einen Großwetterlagenklassen für den Niederschlag und die Temperatur, mit deren Hilfe die großräumige Wettersituation der Modellläufe beschrieben wird. Desweiteren wird über

einen *Dynamical State Index (DSI)* das zeitlich dynamische Verhalten der Großwetterlagen bestimmt (Abb. 4.7).

Auf Basis der vorgenommenen Klassifikation werden anschließend **lokale Klimaszenarienmodelle** bestimmt, d.h. es werden für den Zeitraum 2001-2055 meteorologische Daten (Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung, Wind, relative Feuchte, Bedeckungsgrad, Verdunstung) prognostiziert. Dies wird über ein softwaregestütztes Fuzzy-Interferenz-System (FIS) realisiert, um mit Hilfe von **Neurofuzzy-Modellen** nicht lineare Zusammenhänge zwischen In- und Outputgrößen herzustellen. Die Grundlage für die Neurofuzzy-Modelle bilden die berechneten Differenzen zwischen den aus Kontrollläufen (ECHAM/REMO) erzeugten Großwetterlagenstatistiken und den tatsächlichen Beobachtungen. Über die daraus ermittelten optimalen Modellparameter werden für jede Station lokale Modelle erstellt. Diese werden anschließend auf die Simulationsläufe des ECHAM/REMO-Modells angewendet, um lokale Szenarien zu erzeugen.

Aus den für das gesamte Elbegebiet vorliegenden 84 Stationen wurden 5 für die Untersuchungsgebiete relevante Stationen ausgewählt, aufbereitet und auf Fehler überprüft (FU BERLIN 2003D₁). Für die 100 Realisierungen der lokalen Basisszenarien aller Stationen wurden die Temperatur- und Niederschlagsreihen (2001-2050) hinsichtlich Mittelwert und Standardabweichung untersucht, um eine die mittlere zukünftige Klimaentwicklung repräsentierende Realisierung als Klimaszenario des ECHAM/REMO-Modells auswählen zu können.

Für weitere Ausführungen zu den beschriebenen Grundprinzipien der Klimaszenarienerstellung sei hiermit auf REIMER ET AL. (2003) verwiesen. Defizite, aber auch Vorteile, die sich aus den beschriebenen Szenarienmodellansätzen gegenüber dem STAR-Klimamodell ergeben, werden in Kap. 5.2.4 diskutiert.

4.3.6 Vergleichende Einschätzung der Szenarien und ihrer Unsicherheitsbereiche

Die in den vorhergehenden Kapiteln dargestellten Klimaszenarien lassen aufgrund ihrer unterschiedlichen Modellphilosophie Variationen hinsichtlich der Abschätzung eines zukünftigen regionalen Klimas erwarten. Diese wurden im Anschluss der Untersuchungen zu den Klimaänderungen (Kap. 5.2) analysiert und die Szenarien hinsichtlich ihrer Modellgüte und -unsicherheiten bewertet.

Im Vordergrund stand dabei die Eignung der Szenarien für hydrologische Untersuchungen, speziell für Fragestellungen der Wasserverfügbarkeit und – knappheit. Hierzu wurde zunächst eine **verbale Beschreibung von Vor- und Nachteilen** der einzelnen Szenarien hinsichtlich Datengrundlagen, Datenfehler, Regionalisierungsansätzen der globalen Modellergebnisse und der Repräsentativität der Ergebnisse für die Untersuchungsgebiete vorgenommen.

Darauf aufbauend erfolgte anschließend eine **ordinalskalierte, semiquantitative Bewertung** der Szenarien. Als Kriterien wurden hierzu die verfügbaren Datengrundlagen, der Raumbezug der Regionalmodelle, die Regionalisierungsmethoden sowie die Plausibilität der Wiedergabe von Temperatur und Niederschlagsverhalten als die den Wasserhaushalt eines Einzugsgebietes maßgeblich bestimmenden Größen ausgewählt. Abschließend wurde eine zusammenfassende Gesamtbewertung der Szenarien auf einer 5-teiligen Ordinalskala vorgenommen. Durch diesen einfachen statistischen Ansatz konnten ihre Verwendbarkeit und demzufolge die primäre Zuverlässigkeit der eigenen Modellergebnisse auch quantitativ abgeschätzt werden.

Generell muss angemerkt werden, dass auch durch die Anwendung multivariater Verfahren eine vollständige Analyse der Szenarienunsicherheiten nicht erfolgen kann, da es sich bei ihnen um Zukunftsprojektionen handelt. Zudem erlauben die unterschiedlichen Modellansätze keinen 1:1-Vergleich der Szenarien.

4.4 Hydrologische Modellierung und statistische Aufbereitung

4.4.1 Klima und Wasserhaushalt

Entsprechend der in der Arbeit verfolgten Themenstellung war im Vorfeld der hydrologischen Modellierung zunächst eine Auswahl an Parametern zu treffen, um sowohl die gegenwärtigen als auch veränderten (Klimaszenarien) klimatischen und hydrologischen Verhältnisse in den Untersuchungsgebieten analysieren und visualisieren zu können. Hierzu zählen neben den Klimagrößen ausgewählte Elemente des Wasserhaushalts zur Beschreibung des Abflussbildungs- und –konzentrationsprozesses. Die Größe der Datenmengen, die aus der in täglicher Auflösung erfolgten Modellierung für die Zeiträume 1951-2000 bzw. 2001-2050 gewonnen wurden, machte eine anschließende zeitliche und räumliche Aggregation der Ergebnisse erforderlich.

Die Übertragung der Klimastationswerte auf die Elementarflächen (EFL) erfolgte, unter Einbeziehung von Faktoren zur Berücksichtigung der Geländehöhe (Niederschlag und Temperatur) bzw. des automatischen Messfehlers (Niederschlag), modellintern durch ein erweitertes Quadrantenverfahren (vgl. Kap. 4.2.2.2) nach PFÜTZNER (2002). Die für die gebietsbezogene (statistische) Auswertung der Ergebnisse notwendige Aggregation der Elementarflächen wurde durch eine flächengewichtete arithmetische Mittelwertbildung realisiert. In Tabelle 4.2 sind die für die Ergebnisinterpretation und -darstellung verwendeten Klima- und Wasserhaushaltsgrößen sowie deren räumlicher und zeitlicher Bezug zusammengefasst.

Klima- / Wasserhaushaltsgröße	Symbol	Einheit	Raumbezug der Ergebnisse für:		
			Auswertung		Visualisierung
			Station	Untersuchungsgebiet	Elementarfläche
Klima					
Lufttemperatur	LT	°C	J	J / HJ	J
Niederschlag (korrigiert)	PI	mm	J	J / HJ	J
Relative Feuchte	rF	Vol.-%	J	----	----
Rel. Sonnenscheindauer	nRel	h/d	J	----	----
Potentielle Verdunstung	EP	mm	----	J / HJ	J
Klimatische Wasserbilanz	WB	mm	----	J / HJ	J
Schmelzwasserabgabe	sm	mm	----	J / HJ	J
Wasserhaushalt					
Reale Verdunstung	ER	mm	----	J / HJ	J
Grundwasserneubildung	GWN	mm	----	J / HJ	J
Landoberflächenabfluss	RO	mm	----	J / HJ	J

Tabelle 4.2: Raum- und Zeitbezüge der für die Darstellung und Visualisierung der Ergebnisse ausgewählten Klima- / Wasserhaushaltsparameter
Erklärung: J...Hydrolog.Jahr; HJ...Hydrolog.Halbjahr

Die Darstellung der Ergebnisse für die Untersuchungsgebiete erfolgt in tabellarischer Form, was eine vergleichende Betrachtung der Ergebnisse, sowohl für die ausgewählten Untersuchungsräume als auch die verschiedenen Zeitschnitte und Klimaszenarien ermöglicht. Ergänzend werden ausgewählte Klimagrößen stationsbezogen in Tab. Anh.7 aufgeführt.

Die kartographische Darstellung zur Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich raumbezogener Besonderheiten erfolgte auf Grundlage der elementarflächenbezogenen Ergebnisse (vgl. Kap. 4.2.2.1).

4.4.2 Gewässerabfluss

Die Modellierung des Gesamtabflusses in den Gewässern erfolgte modellintern durch abschnittsbezogene Integration von Oberlieger-, Eigengebiets-, Direkt- und Grundwasserzufluss am Gewässerauslass (Kap. 4.2). Als ergebnisrelevant wurde nur der Gesamtabfluss eines Gewässerabschnittes in die Auswertung einbezogen. Aufgrund der großen Datenmengen wurde die Datenaufbereitung, -auswertung und -darstellung auf die Hauptflüsse Wipper, Eine und Querne/Weida sowie weitere 26 untergeordnete Gewässer beschränkt (vgl. Kap. 5). Dabei wurde nicht streng nach gewässerhierarchischen Vorgaben, sondern individuell, den jeweiligen hydrologischen und naturräumlichen Gegebenheiten in den Teileinzugsgebieten entsprechend, ausgewählt. Als Bezugspunkte dienten bei den Hauptflüssen die Pegel, bei den Nebengewässern deren Auslässe zum Hauptfluss.

Grundlage für die statistische Analyse des Gewässerabflusses sind Tageswerte der modellierten 50-jährigen Abflussreihen für das Basisszenario (1951 - 2000) und die Klimaszenarien (2001 - 2050). Für die Auswertung der Modellergebnisse wurde der Schwerpunkt auf nachfolgende Kennwerte gelegt:

Gewässerkundliche Hauptzahlen (nach DYCK & PESCHKE 1995)	
Mittlerer Durchfluss - MQ	<ul style="list-style-type: none"> arithmetisches Mittel der Durchflüsse
Niedrigster Niedrigwasserdurchfluss - NNQ	<ul style="list-style-type: none"> unterster Grenzwert aller Durchflüsse
Mittlerer Niedrigwasserdurchfluss – MNQ	<ul style="list-style-type: none"> mittlerer unterer Grenzwert aller Durchflüsse aus dem arithmetischen Mittel aller jährlichen unteren Grenzwerte
Höchster Hochwasserdurchfluss – HHQ	<ul style="list-style-type: none"> oberster Grenzwert aller Durchflüsse
Mittlerer Hochwasserdurchfluss – MHQ	<ul style="list-style-type: none"> mittlerer oberer Grenzwert aller Durchflüsse aus dem arithmetischen Mittel aller jährlichen oberen Grenzwerte
Abflussspenden – Mq, MNq, MHq	<ul style="list-style-type: none"> Abflussspendenwerte bezogen auf das jeweilige Einzugsgebiet
Bezugszeiträume	<ul style="list-style-type: none"> Hydrologisches Jahr (November bis Oktober) Hydrologisches Winterhalbjahr (November bis April) Hydrologisches Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) Monat (langjähriger mittlerer Monatsabfluss)
Durchflussganglinien - Visualisierung des langjährigen (50-jährigen) Durchflusses (ausgewählte Gewässerpunkte)	
Bezugszeiträume	<ul style="list-style-type: none"> Monats- und Jahresdurchfluss Mittlerer Monatsabfluss
Abflussdauerlinien - durchschnittliche Summenhäufigkeit der Über- und Unterschreitungen aller Abflusswerte im Jahresmittel (ausgewählte Gewässerpunkte)	
Niedrigwasserstatistik der Hauptgewässer (nach DVWK) - minimaler Durchflussmittelwert NMxQ (bezogen auf ein konstantes Zeitintervall Dn)	
Unterschreitungsdauern D_n	<ul style="list-style-type: none"> 1, 7, 14, 30, 60, 90 Tage
Wiederkehrintervall T	<ul style="list-style-type: none"> 2, 5, 10, 20, 50, 100 Tage
Trockenfallhäufigkeit der Nebengewässer (nach DVWK) - NMxQ < 0,001 m³/s (bezogen auf ein konstantes Zeitintervall Dn)	
Trockenfalldauer D_n innerhalb eines Jahres	<ul style="list-style-type: none"> 1, 7, 14, 30, 60, 90 Tage

Tabelle 4.3: Beschreibung und Zeitbezug der ermittelten hydrologischen Parameter

Die **Hochwasseranalyse**, im Allgemeinen ein wesentlicher Bestandteil der Klimafolgenforschung, beschränkte sich in dieser Arbeit auf die Auswertung der gewässerkundlichen Hauptzahlen (MHQ, HHQ) und Abflussdauerlinien. Dies ist zum einen durch die in Tagesschritten vorliegenden Klimadaten begründet, die verlässliche Aussagen zu Hochwasserereignissen in den schnell reagierenden Einzugsgebieten (vgl. Kap. 3) nur bedingt zulassen. Hierzu wären Daten kürzerer Zeitintervalle erforderlich. Auf der ande-

ren Seite werden hochwasserauslösende Starkniederschläge in den regionalen Klimaszenarienmodellen gegenwärtig nur nachrangig berücksichtigt (Kap. 4.3.4. & 4.3.5).

Demgegenüber bildet die **Niedrigwasseranalyse** den Schwerpunkt der Auswertungen. Da die beobachtete Abnahme der Niederschläge in den Sommermonaten (Kap. 2.1) speziell für die Untersuchungsgebiete eine Zunahme der Anzahl und Dauer von Niedrigwasserperioden erwarten lässt, wurden auf Basis einer für den Gegenwartszustand durchgeführten Niedrigwasseranalyse klimabedingte Veränderungen der Abflüsse der Hauptgewässer erfasst und in Beziehung zu den naturräumlichen Bedingungen in den Untersuchungsgebieten gesetzt.

Die angewandten Methoden beziehen sich auf die Empfehlungen und Vorgaben des ATV-DVWK (DVWK 1983, 1988, 1992) und schließen folgende Arbeitsschritte ein:

- Festlegung des Zeitabschnittes [ZA] vom 1.4. bis 31.3. innerhalb des Auswertzeitraums
- Wahl der Zufallsvariablen und Stichprobengewinnung
 - Festlegung des minimalen Durchflussmittelwertes $NMxQ$ [m^3/s] innerhalb eines konstanten Zeitintervalls D_n (Unterschreitungsdauern 1, 7, 14, 30, 60 und 90 Tage)
 - Ausreichend große Anzahl von Stichproben ist bei 50-jähriger Zeitreihe gewährleistet
- Anpassung einer Verteilungsfunktion
 - Normal-, Pearson 3- und Extremal 3-Verteilung als Funktion zur Beschreibung der Wahrscheinlichkeit des Eintretens von $NMxQ$
 - statistische Parameter: arithmetisches Mittel, Standardabweichung, Schiefekoeffizient für die Logarithmen der Abflusserien

Aus den berechneten Parametern wurden über Häufigkeitsfaktoren die Niedrigwasserabflüsse für die Unterschreitungsdauern ermittelt und, in Abhängigkeit von der Schiefe der Verteilung, die Werte für die darzustellenden $NMxQ$ ausgewählt. Bereits an dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass für keine der analysierten Werte signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Verteilungen festzustellen waren. Zur besseren Überschaubarkeit der Ergebnisse beschränkt sich die Darstellung auf die Normalverteilung.

Die Ermittlung der Trockenfallhäufigkeit erfolgte für die Nebengewässer nach obigem Verfahren für diejenigen $NMxQ(D, T)$, die einen Abflusswert $\leq 0,001 m^3/s$ aufweisen.

4.5 Erstellung des Landnutzungsszenarios „Salziger See“ und Bilanzierung der Wasserhaushaltsverhältnisse

4.5.1 Grundlagen der Wasserhaushaltsbilanzierung

Die Realisierung der Wasserhaushaltsbilanzierung erfolgte durch die Verknüpfung dreier methodisch-inhaltlicher Komponenten zu einem **Wasserbilanzmodell** für den **Salzigen See**. Dazu gehört erstens die Darstellung der **zukünftigen Landnutzungsverhältnisse** durch ein Landnutzungsszenario „Salziger See“ (Kap. 4.5.2). Zweitens erfolgte die **Erfassung, Validierung und Bilanzierung aller Größen** innerhalb des hydrologischen Systems im Gewässerumfeld (Kap. 4.5.3). Da mit der Wiederentstehung des Salzigen Sees eine Vielzahl von ökologischen und wirtschaftlich begründeten **Ansprüchen an das Gewässer und seinen Unterlieger**, die Salza, verbunden ist, gilt es drittens, diese zu berücksichtigen, da sie als wesentliche Steuergrößen im Modell dienen (Kap. 4.5.4). Ergänzend wurde eine quantitative Abschätzung zukünftiger Stoffeinträge in den Salzigen See vorgenommen (Kap. 4.5.5).

Die aus den Arbeiten von BENDEL (1997), PFÜTZNER (1997) und KUSSMANN (1999) vorliegenden Ergebnisse wurden durch die Integration nachstehender Daten-, Planungs- und Informationsgrundlagen, die

nach jetzigem Kenntnisstand relevant für die spätere raumplanerische Realisierung der Wiederentstehung des Sees sein werden, hinsichtlich der zeitlichen und räumlichen Dimension aktualisiert, erweitert und präzisiert (Tab. 4.4).

Daten- und Literaturgrundlagen	Quelle	Kapitel
Bewirtschaftungsplan Salza – Teilprojekte 5, 6 & 7	PFÜTZNER ET AL. (1996); PFÜTZNER (1997); BENDEL (1997)	4.5.2; ; 4.5.3; 4.5.4
Arbeitskarte zum Projekt „Wiederentstehung des Salzigen Sees“	LAU (1996)	4.5.2; 4.5.3
Regionales Teilgebietsentwicklungsprogramm (TEP) für den Planungsraum Amsdorf – Beschlussfassung & Änderungsvorschlag	MRLU LSA (1996); ROMONTA (1999)	4.5.2; 4.5.3
Regionaler Entwicklungsplan für die Planungsregion Halle (REP Halle)	RPG HALLE (2004)	4.5.2
Ökologische Mindestwasserführung der Salza	ARGE HPI-BAH (1998)	4.5.3; 4.5.4
Hydrogeologisches Modell zur Simulation des Grundwasseranstieges	ARGE SALZIGER SEE (1998)	4.5.3; 4.5.4
Wasserbilanz der Mansfelder Seen – Ist-Zustand und Prognose	KUSSMANN (1999)	4.5.3; 4.5.4
Die wasserwirtschaftlichen Probleme bei der Wiederentstehung des Salzigen Sees	SEIERT & BACH (2000)	4.5.4
Ergebnisse der hydrologischen Modellierung für die Querne/ Weida	vorl. Arbeit - Kap. 5.1	4.5.3; 4.5.4; 4.5.5
Übersichtskarte zum Abwasserbeseitigungsplan „Salza“	LVWA LSA (2004K)	4.5.3
Ermittlung des diffusen Nährstoff- und Sedimenteintrages in den wieder entstehenden Salzigen See	FRÜHAUF & SCHMIDT (1999)	4.5.3; 4.5.5
Mündliche Mitteilungen LHW Halle & RPG Halle	KUSSMANN (2003); VILLWOCK (2003)	4.5.2
Eigene Diplomarbeit	WURBS (2000)	4.5.2
Raumbezogene Daten	LVERMD LSA 1996D ₁ ; LVERMD LSA 1996D ₂ ; LAU LSA 2001D ₁ ; LAU LSA 2001D ₂	4.5.2
Grundwasserstände im Bereich des Salzigen Sees	ROMONTA GMBH (2004D ₁ , 2004D ₂); LHW LSA (2004D ₂)	4.5.3; 4.5.4
Abwasserdaten	AZV EISLEBEN 2004D; AZV SÜßER SEE 2004; STADT QUERFURT 2004	4.5.3; 4.5.4; 4.5.5
Monatliche Fördermengen am Pumpwerk Wansleben	LHW LSA (2002D ₁)	4.5.3

Tabelle 4.4: Informationsgrundlagen für die Erstellung des Landnutzungsszenarios und die Bilanzierung der hydrologischen Verhältnisse im Bereich des Salzigen Sees

4.5.2 Erstellung des Landnutzungsszenarios und Einbindung in die GIS-Datenbasis

Für die Erstellung des Landnutzungsszenarios „Salziger See“ wurden sowohl **räumliche** als auch **inhaltliche** Schwerpunkte gesetzt. Die **räumlichen** Veränderungen betreffen die *Wiederentstehung des Salzigen Sees* und die Rekultivierung des benachbarten *Tagebaus Amsdorf*. Beide Vorhaben stehen dabei in engem Zusammenhang zu den **inhaltlich** zu setzenden Schwerpunkten. Diese beziehen sich auf die anzupassenden *hydrologischen Rahmenbedingungen*, insbesondere das veränderte Gewässernetz sowie die räumliche Dimension der Seen (Uferlinie, Seefläche).

Darauf aufbauend wurden die zur Verfügung stehenden Datengrundlagen räumlich und inhaltlich miteinander verknüpft und durch Integration in ein vorhandenes GIS (Kap. 4.2.2.1) ein Landnutzungsszenario erstellt, das als Basis für die anschließenden hydrologischen Untersuchungen (Kap. 4.5.3; 4.5.4) dient. Hierzu wurden die einzelnen Cover zur Generierung neuer Elementarflächen erneut miteinander verschnitten, hinsichtlich Fehler überprüft und diesbezüglich bereinigt.

Landnutzungsänderungen, wie sie im Einzugsgebiet der Querne/Weida mittelfristig zu erwarten sind, wurden im Gegensatz zu früheren Arbeiten (WURBS 2000) nicht berücksichtigt.

Tab. 4.5 gibt einen Überblick über die methodische Vorgehensweise zur Generierung einer modelladäquaten GIS-Datenbasis. Detaillierte Ausführungen sind (Tab. Anl.A8) zu entnehmen.

Raumdaten	Methodische Vorgehensweise
Landnutzung	
Salziger See	<ul style="list-style-type: none"> - Festlegung der Uferlinie in Abhängigkeit von der geplanten Einstauhöhe von 85,5 m NN - Generierung von Nutzungsklassen nach ROMONTA (1999) und RPG HALLE (2004) - Verschneidung & Parametrisierung neuer Nutzungsklassen mit vorhandenem Cover
Tagebau Amsdorf	<ul style="list-style-type: none"> - Festlegung zukünftiger Wasserflächen entsprechend TEP Amsdorf (ROMONTA 1999) - Umsetzung von Rekultivierungsmaßnahmen in Nutzungsänderungen (Aufforstungen, Wiesen etc.)
Böden	
Salziger See & Tagebau Amsdorf	<ul style="list-style-type: none"> - Parametrisierung der Bodenformen in Umwandlungsbereichen (Wasser, Abbau) entsprechend Modellanforderungen (mit Nutzungswandel einhergehende pedologische Veränderungen (z.B. Grundwasseranstieg) wurden nicht berücksichtigt)
Grundwasserverhältnisse	
Salziger See & Tagebau Amsdorf	<ul style="list-style-type: none"> - Zuweisung der GW-Klassen in Uferbereichen des Salzigen Sees entsprechend Modellanforderungen durch Verschneidung der Landnutzung mit DGM <ul style="list-style-type: none"> o Wasser = Seeflächen o Klasse 0-0.5 m GW-Abstand = Höhe 85.5 – 86.0 m NN o Klasse 0.5 – 1.0 m = Höhe 86.0 – 86.5 m NN o Klasse 1.0 – 2.0 m = Höhe 86.5 – 87.5 m NN - Beibehaltung alter Angaben im Uferbereich des Tagebaus aufgrund fehlender GW-Informationen
Topographie	
Salziger See & Tagebau Amsdorf	<ul style="list-style-type: none"> - Höhenbelegung der Gewässerflächen entsprechend Einstauhöhe (85,5 bzw. 86,0 m NN) - Ableitung von Höhe & Gefälle im Uferbereich aus DGM
Fließgewässer & Teileinzugsgebiete	
Salziger See	<ul style="list-style-type: none"> - Anpassung der Fließgewässer & Teileinzugsgebiete an neue Uferlinie <ul style="list-style-type: none"> o Oberirdische Gewässer aus Seebecken fungieren aus modelltechnischen Gründen zukünftig als unterseeische Wasserführung (PFÜTZNER 2002) o Stilllegung des südlichen Ringkanales (KUSSMANN 2003) o Verknüpfung der Zuflüsse und Abflüsse mit Uferlinie
Tagebau Amsdorf	<ul style="list-style-type: none"> - Anpassung der Teileinzugsgebiete (TEG) an Abbaugrenze - Keine Planung von im Fließgewässernetz eingebundenen Vorflutern – abflussloses Gebiet

Tabelle 4.5: Methodische Vorgehensweise zur Erstellung des Landnutzungsszenarios und dessen Einbindung in die bestehende GIS-Datenbank

4.5.3 Erfassung, Quantifizierung und Validierung hydrologischer Bilanzgrößen

Wesentlicher, der Bilanzierung vorausgehender Bestandteil ist die **Erfassung** und **Quantifizierung** aller die zukünftige Wasserhaushaltsbilanz des Salzigen Sees bestimmenden Größen. Hierzu zählen neben den klimatischen Parametern Niederschlag und Gewässerverdunstung vor allem die Gewässerzuflüsse als wichtigster Input. Weiterhin sind der Zustrom aus dem Direkt- bzw. Grundwassereinzugsgebiet, der Zufluss aus dem Einzugsgebiet des Süßen Sees, Stollenzuflüsse sowie verschiedene Möglichkeiten der Abwasserbehandlung in den Einzugsgebieten zu berücksichtigen (Abb. 4.8 & Karte 37). Gemäß den gegenwärtigen und zukünftig zu erwartenden Rahmenbedingungen (Klima, Hydrologie, Landnutzung) wurden drei zielorientierte **Bilanzierungsvarianten** festgelegt (Tab. 4.6):

- **Bilanzierungsvariante I (Validierung):**
 - Bilanzierung der Wasserhaushaltsverhältnisse unter gegenwärtigen Nutzungsbedingungen zur Validierung der Gesamtbilanz am **Pumpwerk Wansleben**
- **Bilanzierungsvarianten II & III (Nutzungsänderung I & 2):**
 - Bilanzierung der Wasserhaushaltsverhältnisse nach Wiederentstehung des Salzigen Sees unter Berücksichtigung der hydrologischen Vorgaben bei verschiedenen Abwasserzielvorgaben
- **Bilanzierungsvariante IV (Klimaänderung):**
 - Bilanzierung der Wasserhaushaltsverhältnisse des Salzigen Sees mit Berücksichtigung der hydrologischen Vorgaben unter veränderten Klimaverhältnissen

Für die Bilanzierung der In- und Outputs wurden zunächst die wasserhaushaltsrelevanten Klimagrößen **Niederschlag (1)** und **Verdunstung (2)** im Rahmen der Wasserhaushaltsmodellierung erfasst und, bezogen auf die Seefläche, täglich berechnet. Ihre Verwendung erfolgte in der Bilanzierung unter veränderten Nutzungs- und Klimabedingungen.

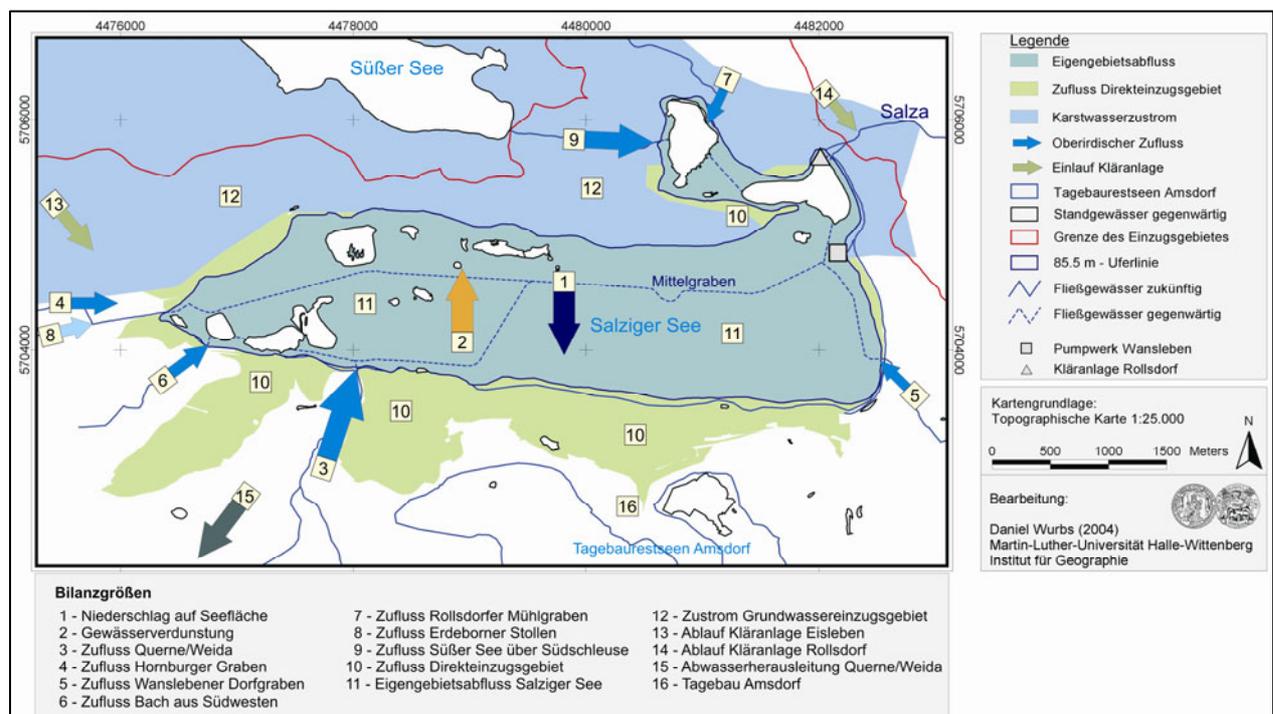


Abbildung 4.8: Schematische Darstellung der Bilanzgrößen im Untersuchungsgebiet „Salziger See“

Der Schwerpunkt der Erfassung lag bei den **Gewässerzuflüssen** in den Salzigen See. Sowohl für den Hauptzufluss, die **Querne/ Weida (3)** als auch die **kleineren Zuläufe (5,6,7)** wurden durch Einsatz eines den veränderten Rahmenbedingungen angepassten hydrologischen Modells für das Einzugsgebiet (Kap. 4.2) die täglichen Zuflussraten in den See ermittelt. Hierbei bildete die zukünftige Uferlinie den Bezugspunkt für die Zuflüsse. Zusätzlich zur bereits im Rahmen der Modellanpassung vorgenommenen Validierung (Kap. 5.1.1) wurden die zwischen 1997 und 1999 gemessenen Abflussraten des **Hornburger Grabens (4)** (FRÜHAUF & SCHMIDT 1999) zur Plausibilitätsabschätzung der Modellergebnisse hinzugezogen (IFG MLU 2002D₁). Abwassereinleitungen wurden dabei separat erfasst (s.u.).

Weitere Zuflüsse, für die keine täglichen Werte modelliert werden konnten, sind der **Erdeborner Stollen (8)** und der Zufluss vom Süßen See. Der Erdeborner Stollen, dessen Einzugsgebiet nicht exakt bestimmbar ist, diente der Wasserhebung im Mansfelder Kupferschieferrevier und führt auch gegenwärtig Wasser-

mengen dem Hornburger Graben zu. Fehlende langjährige Abflussmessungen bedingen, dass die im Rahmen eines Messprogramms (FRÜHAUF & SCHMIDT 1999) erhobenen Abflusswerte (IFG MLU 2002D₁) als gegeben angenommen werden mussten und als Monatskonstanten in die Bilanzierung einfließen. Gleiches gilt für den **Zufluss vom Süßen in den Salzigen See** (9), der gegenwärtig über die Südschleuse und den Binder See zum Pumpwerk realisiert wird. Um jährliche Abflussschwankungen besser berücksichtigen zu können, wurden Abweichungen vom Mittelwert in dem Maße berücksichtigt, wie sie zeitgleich bei der Querne/Weida auftreten. Gestützt wird dieser Ansatz durch die gute Regressionsbeziehung zwischen beiden Abflussreihen ($R^2 = 0,75$).

Für sämtliche oberirdischen Gewässer erfolgte die Validierung der Zuflussraten anhand der Fördermengen des Pumpwerks Wansleben innerhalb des Gesamtmodells (LHW LSA 2004D₁).

Zur Bilanzierung des **ober- und unterirdischen Direktzuflusses** wurden drei Gebiete ausgewiesen. Der **direkte Zustrom** (10) aus den angrenzenden Uferbereichen, die nicht direkt an das Fließgewässernetz angeschlossen sind, wurde durch die Wasserhaushaltsmodellierung ermittelt und ging auf Tagesbasis in die Bilanzierung ein. Die **Abflussbildung** (Grundwasserneubildung) im **Seebecken** (11) des Salzigen Sees wurde über ein aus dem Wasserhaushaltsmodell ausgegliedertes, separates Modell quantifiziert und als Eigengebietsabfluss, der über den Mittelgraben dem Pumpwerk zufließt, erfasst. Diese Bilanzgröße wurde ausschließlich für die Validierung des Bilanzmodells, das heißt, unter gegebenen Nutzungsverhältnissen eingesetzt. Für zukünftige Bedingungen gelten die täglich ermittelten Klimagrößen Niederschlag und Verdunstung, bezogen auf die Seefläche (siehe oben). Eine nicht zu vernachlässigende, aber eben so schwer zu bilanzierende Größe ist der **Karstwasserzustrom** (12) aus dem unterirdischen Einzugsgebiet des Salzigen Sees. Teile des Grundwassers werden auch gegenwärtig noch über den Schlüsselstollen aus dem Einzugsgebiet abgeführt (VMBH&DBM 1999; JANKOWSKI 1995; ALBRECHT 1974; AURADA 1969). Für die Bilanzierung des dem Seebecken zufließenden Grundwassers liegen ausschließlich Grundwassermodelle (BENDEL 1997; ARGE SALZIGER SEE 1998) bzw. gutachterliche Stellungnahmen (GLA LSA 1998) vor, deren Angaben sich allerdings beachtlich unterscheiden. Für die vorliegenden Untersuchungen wurden alle Zuflussmengen als innerjährlich konstante Werte berücksichtigt und anhand der Fördermengen des Pumpwerkes Wansleben verifiziert (LHW LSA 2004D₁).

Eine zukünftig sehr variable und hinsichtlich ihrer Quantität bedeutende Größe ist der Fremdwasserimport zur Trinkwasserversorgung und die damit einhergehende **Abwasserproblematik**. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts erfolgt die Trinkwasserversorgung im erweiterten Untersuchungsgebiet über Fernwasserleitungen aus dem Ostharz (MALYSKA 2003). Anfallende Abwässer, die in die Vorflut eingeleitet werden und somit zur Abflussaufhöhung führen, galt es in eine vorzunehmende Bilanzierung aufzunehmen. Gegenwärtig werden Abwässer der Kläranlage Eisleben (Hornburger Graben) (13) und aus dem Einzugsgebiet der Querne/Weida in unterschiedlichen Größenordnungen in das Seebecken des Salzigen Sees abgeführt, was deren Berücksichtigung bei der Validierung am Pumpwerk Wansleben erforderlich machte.

Die Bilanzierung der Wasserhaushaltsverhältnisse nach Wiederentstehung des Salzigen Sees erfolgte nach zwei Vorgaben. Zunächst wurden die genannten Abwassereinleitungen (13,14) als mittlerer Wert unverändert in die Bilanz integriert (*Bilanzierungsvariante II*), um anschließend die im Abwasserbeseitigungsplan „Salza“ (LVWA LSA 2004K) publizierte, zukünftige Abwassersituation im Untersuchungsgebiet, einschließlich Abwasserheraus- und -überleitungen (15), in der *Bilanzierungsvariante III* zu berücksichtigen. Vom **Tagebau Amsdorf** (16) aus werden zum gegenwärtigen Zeitpunkt Sumpfung- und Abwässer über den Südlichen Ringkanal direkt in die Salza geleitet (MRLU LSA 1996) und blieben daher bei der Validierung des Bilanzmodells unberücksichtigt. Die zukünftige Abwasserbehandlung sowie die Grundwassersituation im Tagebaugelände, einschließlich möglicher hydrogeologischer Verbindungen zum Salzigen See, unterliegen derzeit noch der Überprüfung. Eine weitere Hebung und Abführung des Grundwassers infolge

des geplanten Grundwasseranstieges und zur Sicherung der Wasserstabilität der Tagebaurestseen ist dennoch unwahrscheinlich. Davon und von einer angestrebten Nutzung zukünftig anfallender Abwässer als Brauchwasser (MRLU LSA 1996) ausgehend, ist eine maximale Reduzierung der Tagebauzuflüsse in den Salzigen See oder die Salza zu erwarten, so dass diese in der Bilanzierung nicht berücksichtigt wurden. Die genannten Größen und ihre Einbindung in die verschiedenen Bilanzierungsvarianten sind in nachfolgender Tabelle zusammenfassend und in (Tab. Anl.A9) detailliert beschrieben.

Bilanzparameter		Methodik und Datenquelle	Bilanzierungsvariante			
			I	II	III	IV
Klimaparameter						
1	Niederschlag	Wasserhaushaltsmodellierung, bezogen auf die täglich ermittelte Wasserfläche		x	x	x
2	Verdunstung			x	x	x
Gewässerzuflüsse in den See						
3	Querne/ Weida	Hydrologische Modellierung, bezogen auf den Zufluss in den Salzigen See (Kaskade) (Kap. 4.2)	x	x	x	x
4	Hornburger Graben	Hydrologische Modellierung (Kap. 4.2)	x	x	x	x
5	Wanslebener Dorfgraben		x	x	x	x
6	Bach aus Südwesten		x	x	x	x
7	Rollsdorfer Mühlgraben		x	x	x	x
Weitere Zuflüsse						
8	Erdeborner Stollen	Monatliche Abflussmesswerte 1997 - 1999 (FRÜHAUF & SCHMIDT (1999) als Konstanten (IFG MLU 2002D ₁))	x	x	x	x
9	Zufluss Süßer See über Südschleuse	Monatliche Abflussmesswerte 1997 – 1999 als Konstanten (IFG MLU 2002D ₁) - Jährliche Abflussschwankungen wurden durch Regression zum Abfluss der Querne/ Weida berücksichtigt	x	x	x	x
Direkt- & Grundwassereinzugsgebiet						
10	Grundwasserzuström & Oberflächenabfluss außerhalb Seebecken	Wasserhaushaltsmodellierung (Kap. 4.2)	x	x	x	x
11	Abflussbildung im Seebecken	Wasserhaushaltsmodellierung in separatem Modell	x			
12	Zuström Grundwassereinzugsgebiet	Konstante Werte nach Untersuchungen/ Gutachten von BENDEL (1997); ARGE SALZIGER SEE (1998); GLA LSA 1998	x	x	x	x
Abwasserregulierung						
13	Ablauf Kläranlage Eisleben	- Gegenwärtig: Ableitung in Hornburger Graben (44 l/s) → Abflussaufhöhung (AZV EISLEBEN 2004D) - Zukünftig: Überleitung KA Rollsdorf (LVWA LSA 2004K)	x	x		
14	Ablauf Kläranlage Rollsdorf	- Gegenwärtig: Ableitung in Salza (12 l/s) (AZV SÜßER SEE 2004) - Zukünftig: Aufnahme der KA Eisleben und Ablauf in die Salza (55 l/s) (LVWA LSA 2004K)		x	x	x
15	Abwasserherausleitung Querne/ Weida	- Gegenwärtig: Abflussaufhöhung durch Fremdwasser (30 l/s) (STADT QUERFURT 2004) - Zukünftig: Herausleitung aus Einzugsgebiet zur KA Karsdorf bzw. Anschluss an die KA Rollsdorf mit Abflussreduzierung um 30 l/s (LVWA LSA 2004K; (STADT QUERFURT 2004)			x	x
Tagebau Amsdorf						
16	Tagebau- und Sumpfungswässer	- Gegenwärtig: Einleitung von Tagebauab- & Sumpfungswässern in den Südlichen Ringkanal (76 l/s) (MRLU LSA 1996; ROMONTA 1999) - Zukünftig: Informelle Berücksichtigung in Bilanzmodell				

Tabelle 4.6: Bilanzgrößen für die Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees und ihre Berücksichtigung in den Bilanzvarianten

Die Vielzahl der erfassten hydrologischen Parameter lässt für die Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzi- gen Sees zunächst ein hohes Maß an Genauigkeit erwarten. Allerdings sind es vielmehr die Unsicherhei- ten, die aufgrund der sowohl zeitlich als auch räumlich sehr heterogenen Datengrundlagen überwiegen. Das überaus breite Spektrum an Messwerten in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung, den Ergebnissen der hydrologischen Modellierung, den Modellergebnissen sekundärer Untersuchungen sowie der Verwen- dung von Konstanten, die vor allem innerhalb der Abwasserregulierung zum Einsatz kommen, erforderte die hydrologische **Validierung** der Gesamtbilanz an einem Punkt, der die Zuflüsse aller zu berücksichti- gender Parameter nach Tab. 4.6 integriert (*Bilanzierungsvariante I*). Hierzu wurde das Pumpwerk Wans- leben ausgewählt, für das die tägliche Fördermenge erfasst wird. Für die Validierung selbst wurde auf die Monatswerte der Jahre 1982 bis 1998 zurückgegriffen (LHW LSA 2004D₁), um der unterschiedlichen zeit- lichen Auflösung aller Bilanzgrößen gerecht zu werden. Ziel war es dabei, die Gesamtbilanz aller Zuläufe bezüglich der monatlichen Förderleistungen des Pumpwerkes Wansleben zu optimieren und auftretende Differenzen, die aufgrund der angesprochenen Unsicherheiten zu erwarten sind, zu bewerten.

4.5.4 Umsetzung der hydrologischen Vorgaben an den Salzi- gen See und die Salza

Die Umsetzung der Wasserhaushaltsbilanzierung erfolgte unter Berücksichtigung hydrologischer Vorga- ben für die Einhaltung eines **Mindestwasserstandes des Salzi- gen Sees** und die **Abgabemenge in die Salza**. Mit der Festlegung einer zukünftigen Seespiegelhöhe wurde den vielfältigen Ansprüchen und hyd- rologischen Randbedingungen des Sees Rechnung getragen. Dazu zählen die möglichst geringe Beein- trächtigung von Gebäuden durch ansteigendes Grundwasser (GFE 1999), das Erreichen der Naturschutz- ziele in ökologisch wertvollen Uferbereichen (RANA 1998a), die Nutzung der Uferbereiche zur touristi- schen Erschließung und nicht zuletzt die Gewährleistung der Mindestwasserführung der Salza (ARGE HPI- BAH 1998). Entsprechend den Untersuchungen von BENDEL (1993) und PFÜTZNER (1997) wurde für den Salzi- gen See eine Einstauhöhe von **85,5 m NN mit einer Speicherlamelle von + 0,5 m** festgelegt.

Die Bestimmung eines ökologisch begründeten **Mindestwasserabflusses in der Salza** basiert auf den Vorgaben des Landschafts- und Fließgewässerprogramms des Landes Sachsen-Anhalt (MUN LSA 1994; LAU LSA 1998), der EU-Fischgewässerrichtlinie (RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT 1976) sowie den Schutzziele zur Sicherstellung des NSG „Salzatal bei Langenbogen“ (RANA 1998b). Im Rahmen vorliegender Untersuchungen (ARGE HPI-BAH 1998) wurde ein Mindestabfluss von **0,5 m³/s in der Vege- tationsperiode (Mai-September)** und von **0,4 m³/s während der kalten Jahreszeit** (Oktober-April) als ausreichend erachtet. Obwohl diese Festlegung nicht gleichermaßen allen Anforderungen gerecht werden kann, stellt sie dennoch für die vorzunehmende Wasserhaushaltsbilanzierung eine grundsätzliche Rah- menbedingung dar.

Die Integration der hydrologischen Vorgaben in die Bilanzierungsvarianten II, III und IV erfolgte nach dem in Abb. 4.10 dargestellten Schema. Hierzu wurde unter Verwendung einer Speichervolumen- Wasserfläche-Wasserstand-Beziehung (Abb. 4.9) eine Routine erarbeitet. Ausgehend von einem Anfangs- zustand des Salzi- gen Sees (Vortag) wurden nach Berechnung der aus den Zuläufen resultierenden Ab- flussbilanz die hydrologischen Kennwerte des Gewässers (Speichervolumen V, Wasserfläche A, Wasser- stand W) täglich neu bestimmt und die Wasserverfügbarkeit entsprechend der verschiedenen Nutzeranfor- derungen ermittelt.

Jede der einzelnen Varianten unterliegt dabei zwei **Prioritäten**. Für die erste **Priorität „Salzi- ger See“** galt es primär, den erforderlichen Mindestwasserstand von 85,5 m NN zu garantieren, wobei sich die Ab- gabemenge in die Salza sekundär am Mindestwasserabfluss orientiert. Unterschreitet der Wasserstand des Salzi- gen Sees 85,5 m NN, wird kein Wasser an die Salza abgegeben. In umgekehrter Weise wurde bei der

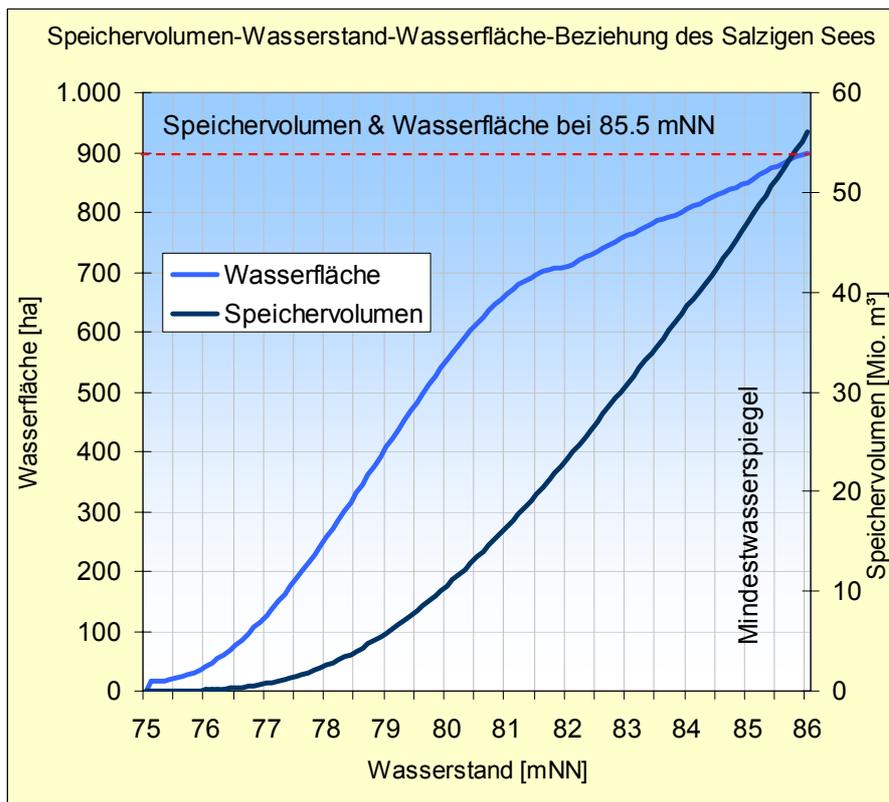


Abbildung 4.9: Speichervolumen-Wasserstand-Abfluss-Beziehung des Salzigen Sees

Priorität „Salza“ verfahren. Hierbei ist eine ständige Abgabe vom Salzigen See in die Salza zur Sicherung des Mindestwasserabfluss zu gewährleisten, unabhängig von einer möglichen Reduzierung der Seespiegelhöhe. Die Bilanzierungen wurden für die Zeiträume 1951 - 2000 (Varianten II & III) bzw. 2001 - 2050 (Variante IV) sowohl auf Tages- als auch Monats-, Halbjahres- und Jahresbasis durchgeführt.

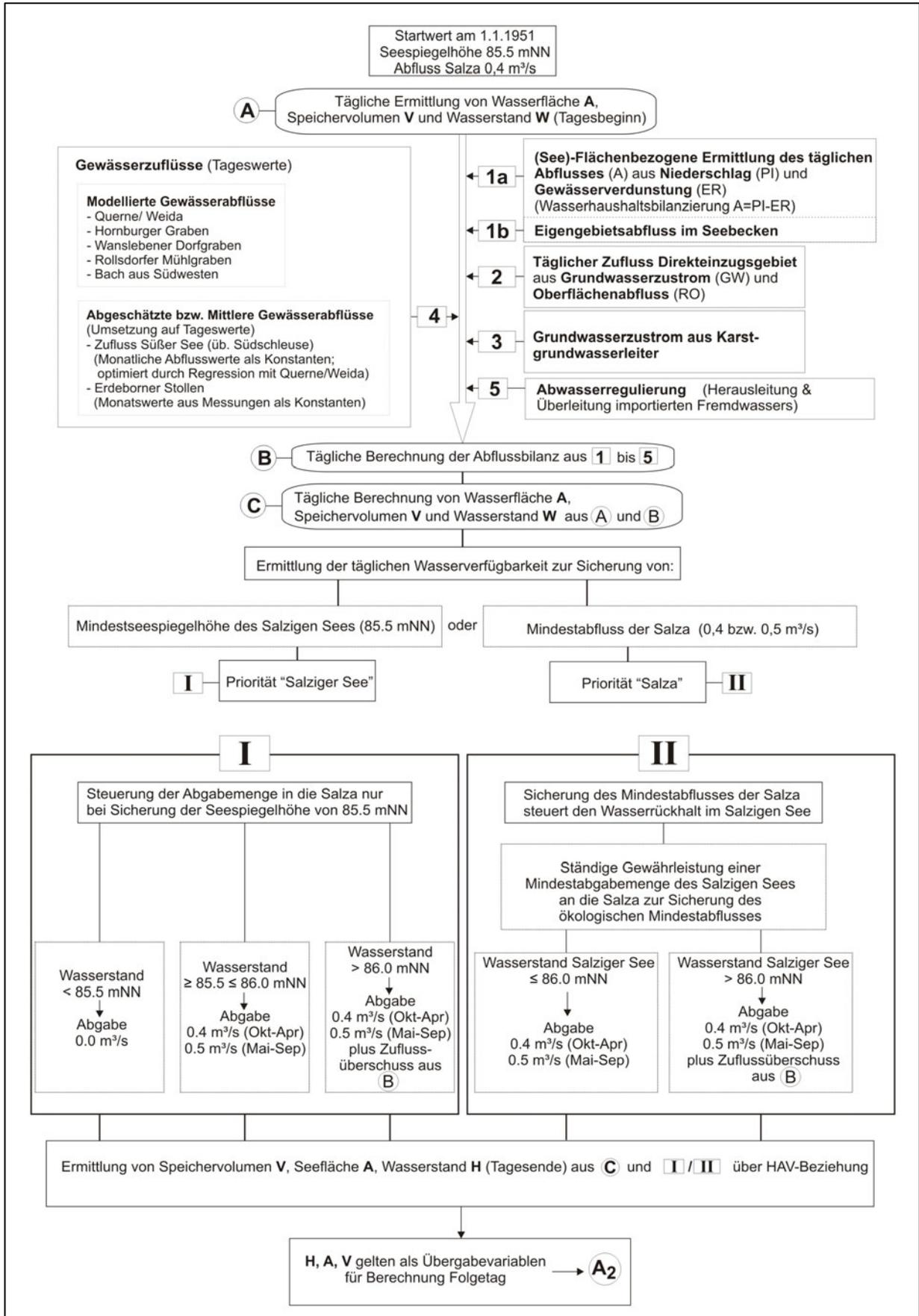


Abbildung 4.10: Bilanzierungsschema zur Wasserhaushaltsbilanzierung Salziger See und Salza

4.5.5 Analyse des Stoffhaushaltes

Die zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie an die Gewässer gestellten Forderungen zur Herstellung eines guten Zustandes (VON KEITZ & SCHMALHOLZ 2002) erfordern eine umfassende Analyse ihrer gegenwärtigen stofflichen Belastung. Insbesondere der Salzige See hat aufgrund einer Vielzahl der an ihn gestellten Nutzungsansprüche im Falle seiner Wiederentstehung Qualitätsziele zu erfüllen (Kap. 3.4).

Für den Salzigen See wurde in einem **1.Schritt** die perspektivische Stoffhaushaltsbilanz für Stickstoff und Phosphor nach Umsetzung des Abwasserbeseitigungsplanes „Salza (LVWA LSA 2004K) quantitativ erfasst. Grundlage hierfür bildeten die nach FRÜHAUF & SCHMIDT (1999) zwischen 11/97 und 10/99 gewonnenen Ergebnisse einer zweijährigen Messkampagne. Der Quantifizierung der Stoffquellen, -frachten und -konzentrationen war die Erfassung folgender Punkte vorangestellt:

- a) räumliche Herkunft der Hauptbelastungsquellen
- b) Art der emittierten Stoffe
- c) Bedeutung der Emissionsquellen
- d) Emissionspfade
- e) stoffliche Belastung der Gewässer (Stofffrachten, -konzentrationen)
- f) Gewässergüte nach LAWA-Zielvorgaben
- g) Ereignisbezug der Stoffeinträge

Um die Stoffhaushaltssituation des Salzigen Sees unter veränderten klimatischen Bedingungen abschätzen zu können, wurden die für den klimatischen „Ist-Zustand“ ermittelten Basiswerte in einem **2.Schritt** in Beziehung zur quantitativen Veränderung der stoffhaushaltsrelevanten Größen Niederschlag, Grundwasserneubildung und Oberflächenabfluss (Stoffeinträge und –frachten) sowie der Gewässerabflüsse (Stoffkonzentration) gesetzt. Als Grundlage dienten die Klimaszenarien STAR und MAGICC/SCENGEN (Kap. 4.3.3 & 4.3.4).

Hierbei wurden zunächst die relativen Veränderungen der Klima- und Wasserhaushaltsparameter erfasst und anschließend, Bezug nehmend auf die für 1997 - 1999 ermittelten Jahresdurchschnittswerte, die dadurch veränderten Stoffeinträge der einzelnen Emissionsquellen bilanziert.

Unter Berücksichtigung der ebenfalls zu erwartenden Veränderung des Gesamtzuflusses in den Salzigen See konnten anschließend die jährlichen Gesamtfrachten und durchschnittlichen Stoffkonzentrationen für P und N der Hauptzuflüsse in das Gewässer berechnet werden.

Konkretes Ziel ist nicht, exakte Vorhersagen möglicher Stoffbelastungen des Salzigen Sees zu treffen. Dies wäre in Anbetracht der Unsicherheiten, die sich zum einen aus der nur vagen Kenntnis der zukünftigen klimatischen und räumlichen Entwicklung und andererseits aus den begrenzten Möglichkeiten ergeben, die Ergebnisse der zweijährigen Messreihe zeitlich zu interpolieren, wenig praktikabel.

Vielmehr soll aus zunächst detailliert zu ermittelnden Werten (s.o.) ein Richtwert für eine klimabedingte Veränderung der Gewässergüte des Salzigen Sees abgeleitet werden. Dies erfolgte durch die Gegenüberstellung der LAWA-Gewässergüteklassen für den Basis- und Szenarienzeitraum.

Für umfassendere Untersuchungen, welche eine komplexe Analyse des Stoffhaushaltes im Einzugsgebiet zum Hauptinhalt haben, stellt der Einsatz von Stoffhaushaltsmodellen (z.B. SWAT, NEITSCH ET AL. 2002) eine akzeptable Möglichkeit dar, Nährstoffbelastungen des Salzigen Sees zeitlich dynamisch und hoch aufgelöst zu erfassen. Hierbei stellen die Untersuchungsergebnisse von FRÜHAUF & SCHMIDT (1999) eine wertvolle Basis für die Modellvalidierung dar. Da der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit vorwiegend auf quantitativen hydrologischen Fragestellungen lag, wurde auf den Einsatz eines Modells für die ergänzende Stoffhaushaltsanalyse zum Salzigen See verzichtet.

5 ERGEBNISSE

5.1 Vergleichende Beschreibung der gegenwärtigen klimatischen und hydrologischen Verhältnisse (Ist-Zustand 1951-2000)

5.1.1 Abschätzung der Güte der hydrologischen Modelle

5.1.1.1 Güte der Wiedergabe von Klima und Wasserhaushalt

Anhand eines für den Zeitraum 1961-1990 vorgenommenen Vergleichs der Modellergebnisse mit vorliegenden Daten (PFÜTZNER 2001; BMBF 2000; PFÜTZNER ET AL. 1996) ist eine **eindeutige Bewertung** der Modellgüte **nicht möglich**, wie die Gegenüberstellung der in Tab. 5.1 aufgeführten Wasserhaushalts- und Klimaparameter verdeutlicht. Speziell für die Klimagrößen lässt sich keine eindeutige Tendenz einer generellen Über- oder Unterschätzung im Modell feststellen, da zwischen den einzelnen Bezugsgrößen zum Teil erhebliche Differenzen bestehen. Insofern erfolgt die Abschätzung der Gesamtmodellgüte vorwiegend anhand der durch Pegelwerte hinreichend dokumentierten Gewässerabflüsse.

Klima / Wasserhaushalt [mm/a]	Modellergebnisse 1961-1990	PFÜTZNER (2001) 1961-90		BMBF (2000) 1961-1990		PFÜTZNER ET AL. (1996) 1960-93	
		Wert	Diff.	Wert	Diff.	Wert	Diff.
Querne/ Weida							
Niederschlag	553	563	+ 10	571	+ 18	555	+ 2
Potentielle Verdunstung	575	554	- 21	581	+ 6	554	- 21
Klimatische Wasserbilanz	- 22	8	+ 30	- 10	+ 12	1	- 23
Reale Verdunstung	520	474	- 46	507	- 13	509	- 11
Oberflächenabfluss	9	13	+ 4	Keine Daten	---	9	0
Grundwasserneubildung	12	60	+ 48	35	+ 23	33	+ 21
Wipper							
Niederschlag	643	619	- 24	623	- 20		
Potentielle Verdunstung	540	535	- 5	551	+ 11		
Klimatische Wasserbilanz	103	83	- 20	72	- 31		
Reale Verdunstung	495	476	- 19	510	+ 15		
Oberflächenabfluss	12	11	- 1	Keine Daten	---		
Grundwasserneubildung	111	47	- 64	45	- 66		

Tabelle 5.1: Vergleich der Ergebnisse verschiedener Wasserhaushaltsuntersuchungen zur Verifizierung der hydrologischen Modelle

Folgende Ursachen können als Möglichkeiten der Abweichungen genannt werden und sollten bei der Bewertung der Modellergebnisse Berücksichtigung finden:

- Geringe Stations- und Datendichte zur Ermittlung gebietsbezogener Klimagrößen (vgl. Kap. 4.2.2.2)
- Fehlende Feldmessungen der Komponenten des Wasserhaushaltes zur Modellverifizierung
- Regionalisierungs- und Korrekturverfahren der Klimagrößen (Niederschlag etc.) nach verschiedenen Methoden (RICHTER 1995; MÜLLER-WESTERMEIER 1995)
- Verschiedene Verfahren zur Ermittlung der potentiellen Verdunstung (z.B. Turc/Ivanov; Penman; Haude), der Grundwasserneubildung und des Oberflächenabflusses
- Unterschiedliche Daten- und Kartengrundlagen (Landnutzung, Boden) zur Ableitung verdunstungs- und grundwasserrelevanter Informationen (z.B. grundwassernahe Flächen)
- Externe (anthropogene) Einflüsse, wie Abwassereinleitungen, Wasserentnahmen, Bergbau

5.1.1.2 Güte der Wiedergabe des Gewässerabflusses

Die Auswertung der Modellgüte wird exemplarisch für die Querne/Weida (Pegel Stedten) und die Wipper (Pegel Groß Schierstedt) vorgenommen, da die Lage der Pegel als repräsentativ für den Gesamtabflussprozess in den Einzugsgebieten gilt. Die Ergebnisse der Modellverifizierung für die zusätzlich untersuchten Pegel sind in den Tafeln 1 bis 4 zusammengefasst.

Querne/Weida

Für die **gewässerkundlichen Hauptzahlen** und die **Abflussganglinien** der Querne/Weida lässt sich eine **gute Wiedergabe** der mittleren Abflussverhältnisse auf Jahres-, Halbjahres- und Monatsbasis feststellen (Abb. 5.1). Einschränkungen der Modellqualität gibt es bei der Simulation extremer Ereignisse, die vor allem im Winter (Schneesmelze) zum Teil unterschätzt werden (März'86, Februar/März'87, Februar'96). Generell weist auch der mittlere Niedrigwasserabfluss zu geringe Werte auf, was insbesondere auf die abflussschwächeren Sommermonate (1992 - 94) zutrifft. Deutlich wird die Unterschätzung bei Betrachtung der **Abflussdauerlinie**.

Die statistische Analyse der modellierten und gemessenen Abflüsse anhand der **Gütekriterien Bestimmtheitsmaß R^2** und **Nash-Sutcliffe-Effizienzkriterium (NSE)** zeigt für die täglichen Abflüsse nur geringe, für die mittleren Monatsabflüsse hingegen zufriedenstellende Gütemaße, was die gute Wiedergabe mittlerer Zustände durch das Modell bestätigt.

Folgende **Faktoren** können als Ursache für die Modelldefizite genannt werden (Tab. 5.2):

Ursache	Auswirkungen
Dichte der Klimastationen und Zeitschrittweite (Tageswerte)	Konvektive Niederschlagsereignisse können nicht optimal erfasst und Hochwasserwellen nicht immer zeitgenau wiedergegeben werden.
Zeitliche Inhomogenität zwischen Pegel- und Niederschlagsmessungen	Erfassung der Niederschläge erfolgt zwischen 7.30 und 7.30 des Folgetages und ist demnach inhomogen zu den Pegelmessungen (repräsentierter Zeitraum: 0 bis 24 Uhr).
Lattenpegel bis 1983 (Stedten)	Modellierte Hochwasserereignisse werden am Pegel möglicherweise nicht erfasst.
Schmelzwasserereignisse	Temperaturabhängigkeit des Prozesses kann modellintern nur durch Vorgabe eines globalen Temperaturwertes erfolgen, Variabilitäten können nicht erfasst werden.
Regenereignisse auf gefrorenem Boden	Begrenzte Möglichkeit der Modellierung → Unterschätzung des Abflusses (Bsp. 6.3.1986)
Fremdwasser zur Trinkwasserversorgung	Niedrigwasseraufhöhung durch bilanzfremdes Abwasser (gegenwärtig ca. 30 l/s) kann nur bedingt durch Modell wiedergegeben werden
Wasserentnahmen	Abflussreduzierung v.a. in Vorwendezeit durch Landwirtschaft und Brauchwasser
Wartung von Pegel & Gewässer	Umbaumaßnahmen (1974/75), Eisstau und Verkrautung am Pegel
Unterirdisches Einzugsgebiet	Nach SCHROETER (1992) ist das unterirdische Einzugsgebiet etwa 20 km ² größer als das oberirdische, was den am Pegel gemessenen und im Modell unterschätzten Zufluss in das Gewässernetz erhöht

Tabelle 5.2: Ursachen möglicher Modelldefizite und ihre Auswirkungen

Wipper

Die für die Wipper am Pegel Groß Schierstedt dargestellten **Kennzahlen** des gemessenen und modellierten Abflusses (Abb. 5.2) zeigen sowohl im langjährigen Mittel als auch im Jahresverlauf eine **Unterschätzung** des gesamten Abflussspektrums (siehe **Abflussdauerlinie** in Abb. 5.2). Dabei lässt sich neben den für die Querne/Weida in Tab. 5.2 genannten Punkten (Stationsdichte, Schneesmelzproblematik, Reaktionszeiten) der künstliche Eingriff in den Gewässerabfluss durch die Talsperre Wippa als Hauptursache nennen. Begründet durch die Zweckbestimmung der Talsperre für die Niedrigwasseraufhöhung (Mindestwildbettabgabe) und den Hochwasserrückhalt (TALSPERRENMEISTEREI LSA 1994), kann es durch die

nicht realisierte Einbindung des Bauwerkes in das hydrologische Modell (vgl. Kap. 4.2.2.2) sowohl zur Unterschätzung des Niedrigwasserabflusses, v.a. im Sommerhalbjahr, als auch zu zeitlichen Verschiebungen bei der Wiedergabe von Hochwasserereignissen (z.B. 12./13. 4. 1994) kommen. Außerdem wird der bis in die 1990-er Jahre das Abflusssystem der Wipper beeinflussende Mansfelder Kupferschieferbergbau (VMBH & DBM 1999; AURADA 1996; JANKOWSKI 1995) modelltechnisch nicht dargestellt.

Demgegenüber zeigt der **visuelle Ganglinienvergleich** gute Ergebnisse hinsichtlich der Simulation des Abflussverlaufes, insbesondere bei der Wiedergabe der jahreszeitlichen Abflussschwankungen. Dies gilt gleichermaßen auch für den Ober- und Mittellauf der Wipper (Tafeln 1&2). Eine geringere Modellqualität ist hingegen für die Eine festzustellen (Tafeln 3&4), doch besitzen diese Werte aufgrund der Datenlücken in den Pegelaufzeichnungen bzw. der Kürze der Datenreihen nur eingeschränkte Aussagekraft.

Anhand der durchgeführten **Validierung** lassen sich die Erkenntnisse zur Modellqualität bestätigen (Tafeln 5&6). Die Wiedergabe des gemessenen Abflusses durch das Modell kann auch für die Reihen 1966-1983 (Querne/Weida) bzw. 1961 - 1983 (Wipper) als gut bezeichnet werden, obwohl für weiter zurück liegende Zeiträume von einer Zunahme der Modellunsicherheiten auszugehen ist (Tab. 5.3).

	MQ [m³/s]			MHQ [m³/s]			MNQ [m³/s]			HHQ [m³/s]			NNQ [m³/s]		
	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ
Querne/Weida (Pegel Stedten) – 1966-83 (Fehljahr 1971)															
Pegel	0,332	0,296	0,371	2,258	1,469	1,823	0,158	0,188	0,197	5,200	3,630	5,200	0,090	0,090	0,130
Modell	0,298	0,273	0,324	1,549	1,076	1,336	0,139	0,163	0,162	3,963	1,821	3,963	0,073	0,073	0,100
Wipper (Pegel Groß Schierstedt) – 1961-1983															
Pegel	2,525	1,714	3,349	13,983	7,272	13,377	0,734	0,805	1,106	37,006	37,006	30,345	0,360	0,360	0,490
Modell	2,158	1,255	3,076	13,610	6,488	11,981	0,465	0,507	0,783	24,700	19,800	24,700	0,132	0,132	0,164

Tabelle 5.3: Ergebnisse der Modellvalidierung für die hydrologischen Kennzahlen der Querne/Weida und Wipper

Die anhand mehrerer Verfahren durchgeführte Abschätzung der Modellgüte zeigt für beide Einzugsgebiete eine **gute Wiedergabe** der gegenwärtigen Abflussverhältnisse durch die mit ARC-EGMO erstellten Modelle, sowohl die mittleren Zustände als auch den innerjährlichen Verlauf betreffend. Dies gilt vor allem für die Wipper, die durch den geringeren Anteil versiegelter und intensiv genutzter Flächen weniger anthropogenen Einflüssen unterliegt als die Querne/Weida und deren Abflussverhalten demnach besser modelliert werden kann. Somit kann rückwirkend auch auf eine gute Simulation des Wasserhaushaltes (Kap. 5.1.1.1) durch das Modell geschlossen werden.

Die Einschränkungen bei der Wiedergabe von Hochwasserereignissen können vor dem Hintergrund der Defizite der Klimaszenarien bei der Darstellung von Starkniederschlägen als nachrangig betrachtet werden, sofern sie, wie auch in der vorliegenden Arbeit praktiziert, nicht Kernpunkt der hydrologischen Untersuchungen sind. Demgegenüber sollte die zumeist anthropogen bedingte Unterschätzung der gemessenen Niedrigwasserabflüsse Berücksichtigung finden, da diese Schwerpunkt der nachfolgenden Untersuchungen sind.

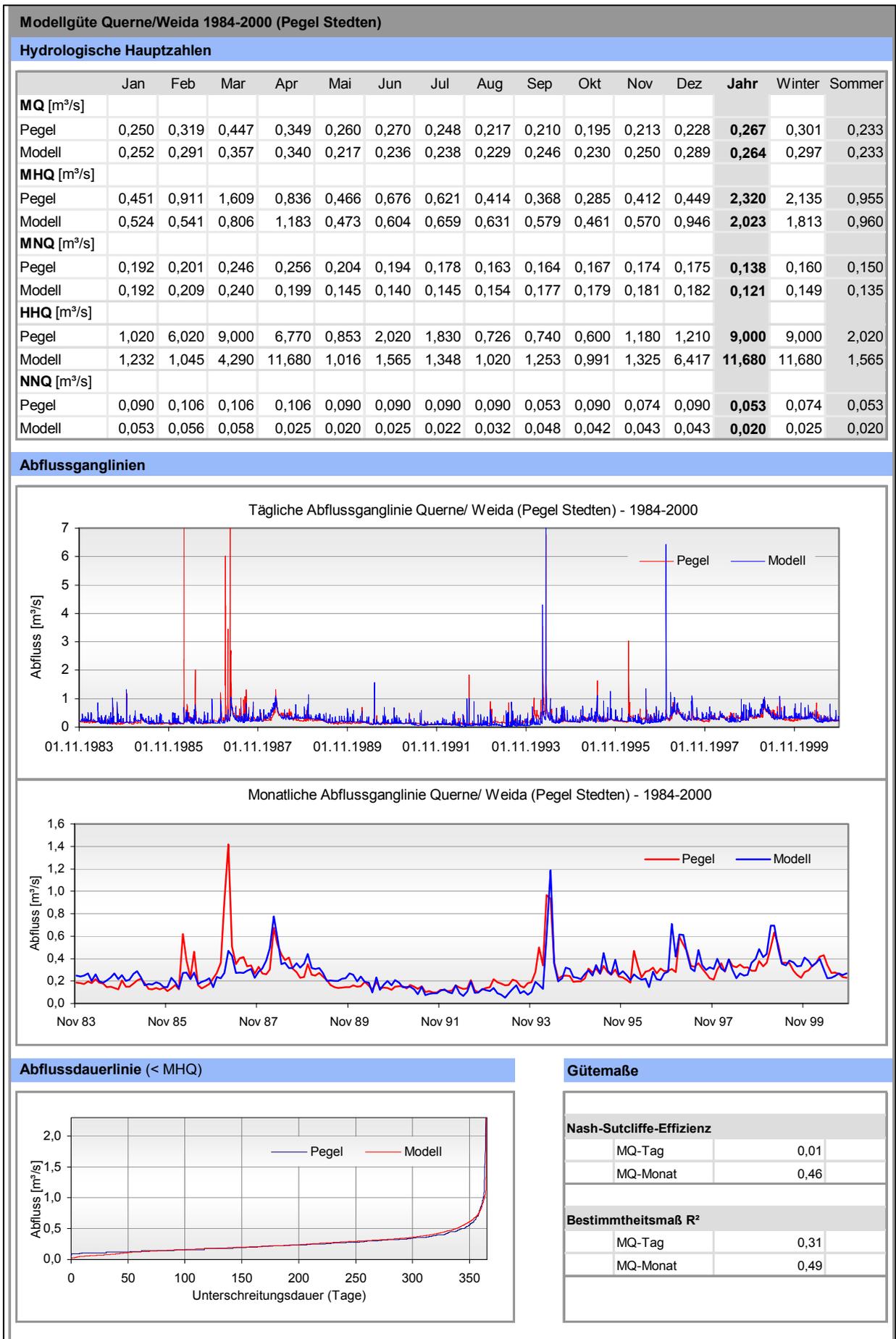


Abbildung 5.1: Güte des hydrologischen Modells für die Querne/Weida (Kalibrierungsphase 1984-2000)

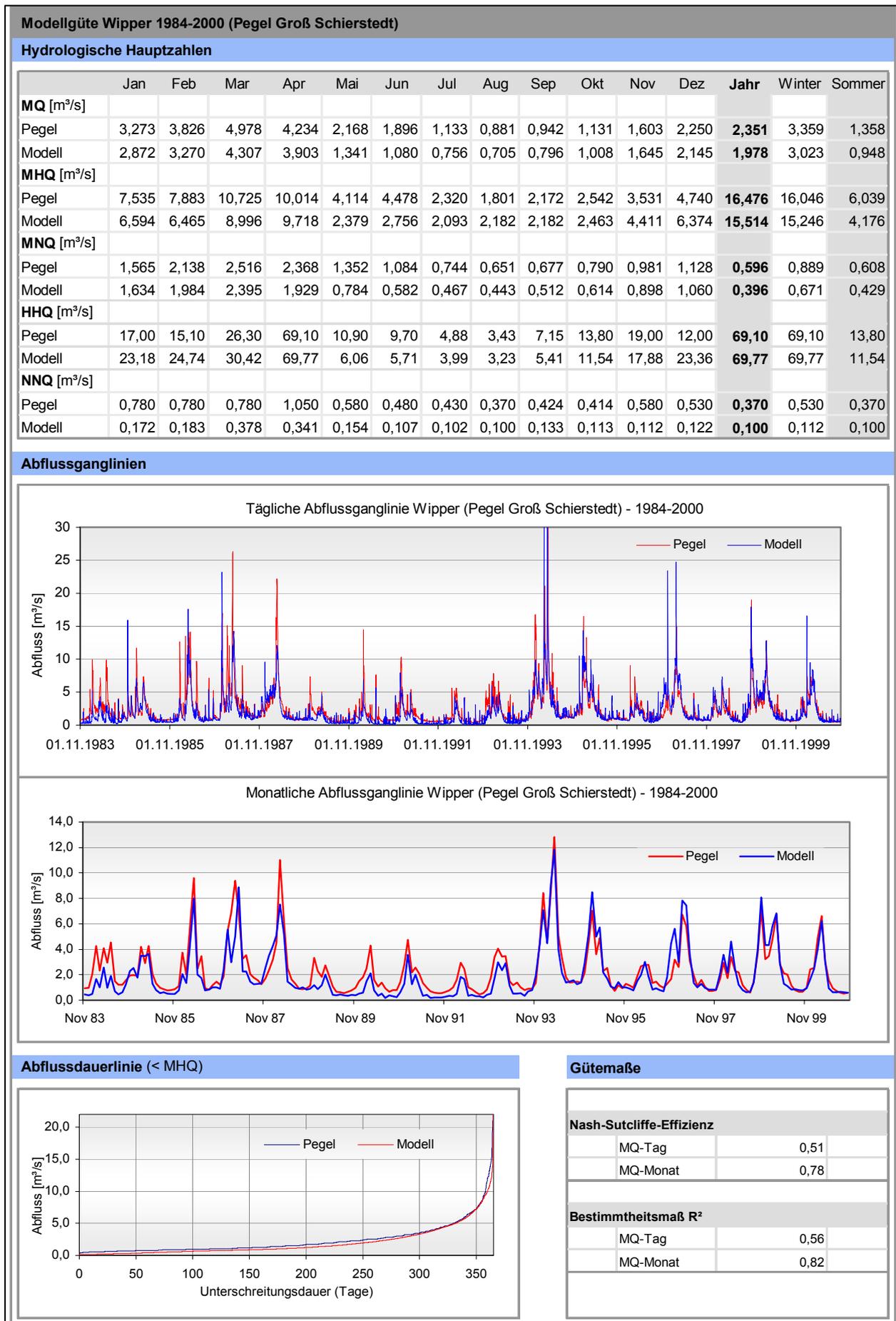


Abbildung 5.2: Güte des hydrologischen Modells für die Wipper – Pegel Groß Schierstedt (Kalibrierungsphase 1984-2000)

5.1.2 Klima und Wasserhaushalt in den Untersuchungsgebieten

Die Ergebnisse der Wasserhaushaltsmodellierung für den Zeitraum 1951 - 2000 spezifizieren die in den Kapiteln 3.2 und 3.3 vorgenommene hydrologische und klimatische Charakterisierung der beiden Untersuchungsgebiete und gelten in den folgenden Kapiteln als Referenzzustand (Basisszenario) für die eingesetzten Klimaszenarien.

Klima	Querne/Weida			Wipper		
	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr
Temperatur [° C]	14,5	2,9	8,7	13,9	2,3	8,2
Potentielle Verdunstung [mm]	475	103	577	449	88	537
Niederschlag (korr.) [mm]	333	226	558	362	287	649
Klimatische Wasserbilanz [mm]	- 142	123	-19	- 87	199	112
Wasserhaushalt						
Grundwasserneubildung [mm]	- 19	31	12	6	112	118
Reale Verdunstung [mm]	423	96	519	410	83	493
Oberflächenabfluss [mm]	5	4	9	6	7	13
Schmelzwasserabgabe [mm]	0	52	52	0	114	114

Tabelle 5.4: Jährliche Klima- und Wasserhaushaltsgrößen der Untersuchungsgebiete 1951 - 2000

Aufgrund der ausgeprägten naturräumlichen Heterogenität und einem größeren Anteil höher gelegener Bereiche weist das Untersuchungsgebiet der Wipper geringere Jahresdurchschnittstemperaturen und einen

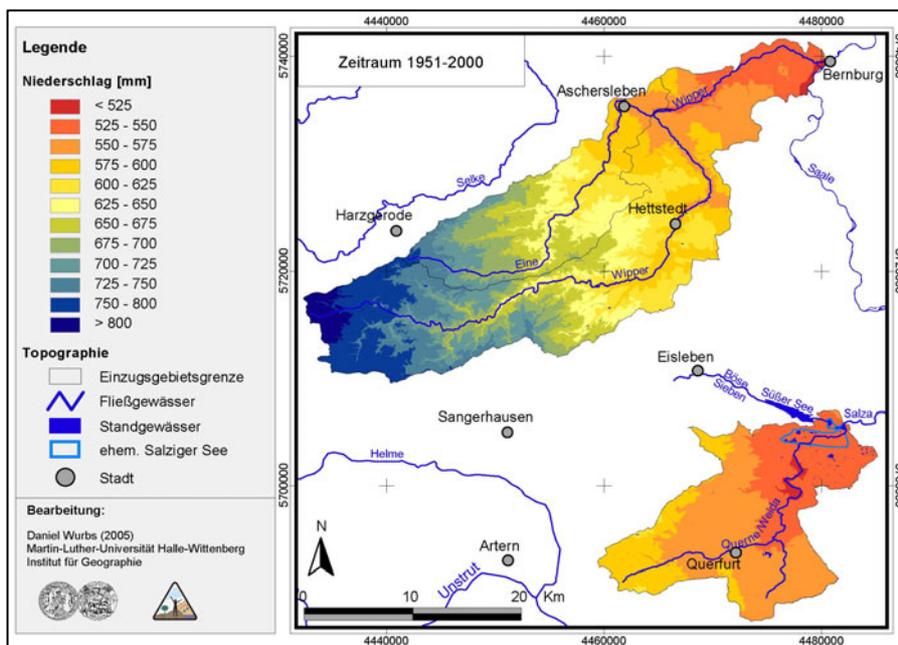


Abbildung 5.3: Räumliche Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsgebieten 1951 - 2000

stärkeren **Temperaturgradienten** ($2,6^{\circ}$ C) auf als das Querne/Weida-Gebiet ($1,6^{\circ}$ C) (Tab. 5.4 & Karte 6). Die Leewirkung des Harzes führt in beiden Gebieten gleichermaßen zu einer nordostgerichteten Abnahme der **Niederschläge**, allerdings mit deutlichen Unterschieden in der Niederschlagshöhe (Abb. 5.3). Während in den Oberlagen des Wippereinzugsgebietes Niederschläge von mehr als 800 mm/Jahr auftreten, liegen die (korrigierten) Werte im Bereich der Mansfelder Mulde nur bei etwa 500 mm/Jahr. Der größere Anteil der Sommerniederschläge am Gesamtniederschlag im Untersuchungsgebiet Querne/Weida (Tab. 5.4) ist vor allem auf ein verstärktes Auftreten von Starkregenereignissen zurückzuführen (vgl. Kap. 3.2).

Deutliche Defizite lassen sich in großen Teilen des Einzugsgebietes der Querne/Weida für die **klimatische Wasserbilanz** erkennen (Abb. 5.4), die im langjährigen Mittel negativ ist (Tab. 5.4). Gleiches gilt im Wippergebiet nur für die trockenen und wärmeren Bereiche des Harzvorlandes (Karte 7).

Die **gegenwärtigen klimatischen Randbedingungen** lassen bei einer **globalen Klimaerwärmung** speziell für die

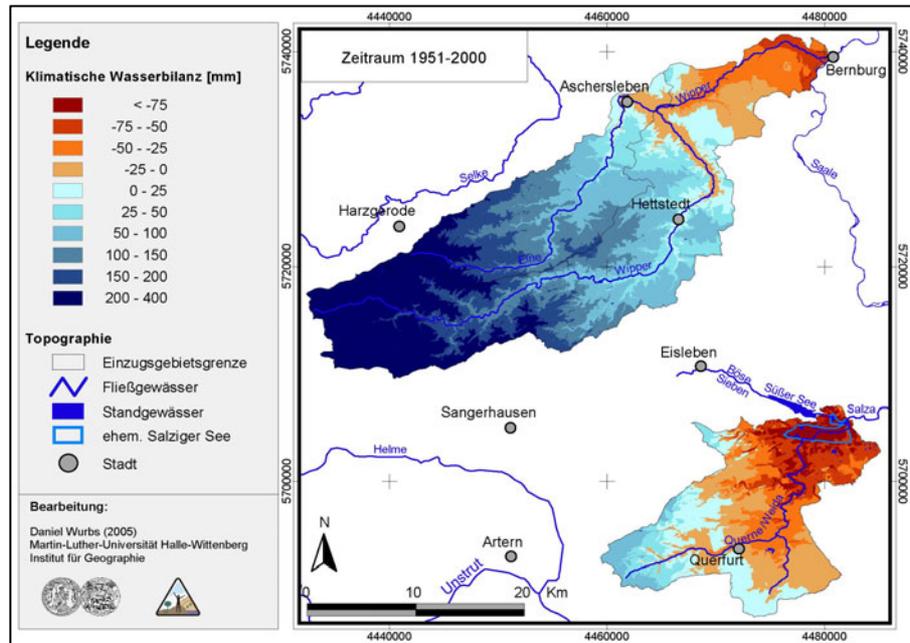


Abbildung 5.4: Klimatische Wasserbilanz in den Untersuchungsgebieten 1951 - 2000

vergleichsweise trockenen und warmen Harzvorlandbereiche klimatische und vor allem hydrologische Veränderungen und Probleme erwarten. Ein besonders hohes Konfliktpotential weist dabei das untere Einzugsgebiet der Querne/Weida, mit dem Bereich des Salzigen Sees auf.

Dies wird speziell bei Betrachtung der aktuellen **Grundwasserneubildungsraten** deutlich. Aufgrund geringer Niederschläge und einer überdurchschnittlich hohen **realen Verdunstung** (Tab. 5.4) stellen große

Teile des unteren Einzugsgebietes der Querne/Weida Zehrgebiete dar (Abb. 5.5). Im Gegensatz dazu sind die Sickerwasserraten im Wippergebiet und demzufolge der unterirdische Zustrom in die Gewässer deutlich höher (Tab. 5.4; Karte 8).

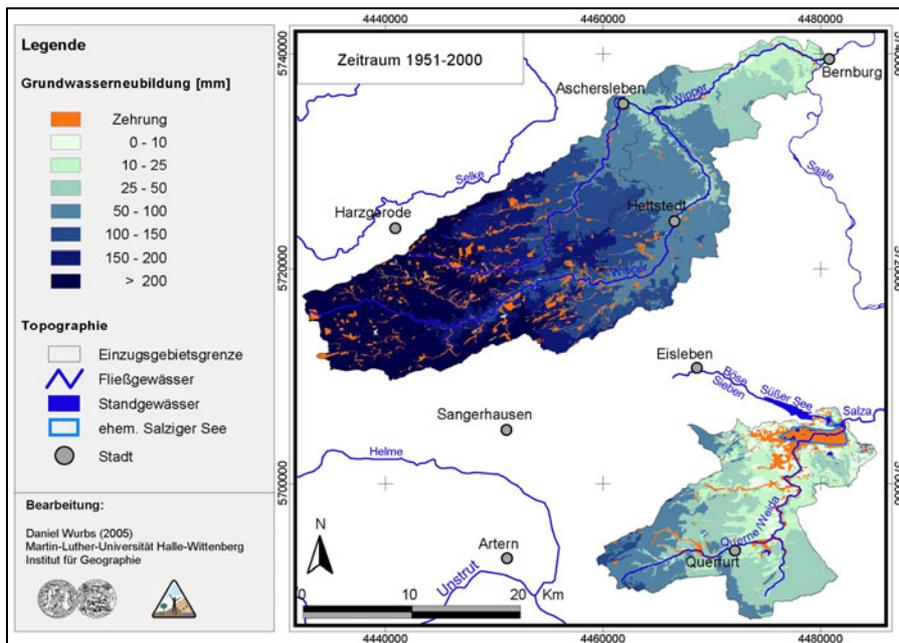


Abbildung 5.5: Grundwasserneubildung in den Untersuchungsgebieten 1951-2000

Trotz eines besseren Rückhaltevermögens der Vegetation führen Niederschlagsverhältnisse und topographische Bedingungen im Einzugsgebiet der Wipper gleichermaßen zu einem größeren

Anteil des **Oberflächenabflusses** am Gesamtabfluss. Ebenso ist die **Schmelzwasserabgabe** als Indiz für den Anteil festen (Schnee-) Niederschlages am Gesamtniederschlag ein wesentlicher Bestandteil des Abflussbildungsprozesses (Karte 9).

5.1.3 Gewässerabfluss in den Untersuchungsgebieten

Die vergleichende Betrachtung der Abflusscharakteristik der Fließgewässer in den Untersuchungsgebieten erfolgt exemplarisch für die Querne/Weida (Pegel Stedten), Wipper (Pegel Groß Schierstedt) und die Eine (Pegel Stangerode) als deren größter Zufluss. Dabei gelten die nachfolgend aufgeführten Modellergebnisse für den Zeitraum 1951 - 2000 als Referenzwerte (Basisszenario) für die anschließenden hydrologischen Untersuchungen der verschiedenen Klimaszenarien (Kap. 5.3).

Abflusskennwerte	Querne/ Weida (Pegel Stedten)			Wipper (Pegel Gr.Schierstedt)			Eine (Pegel Stangerode)		
	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr
MQ [m³/s]	0,256	0,306	0,280	1,190	3,034	2,087	0,177	0,377	0,274
MHQ [m³/s]	1,100	1,357	1,652	6,225	12,809	13,812	0,748	1,659	1,794
HHQ [m³/s]	3,357	11,680	11,680	37,006	69,770	69,770	6,732	9,528	9,528
MNQ [m³/s]	0,148	0,164	0,133	0,479	0,766	0,443	0,072	0,116	0,063
NNQ [m³/s]	0,020	0,025	0,020	0,100	0,112	0,100	0,013	0,015	0,013
Abflussspendenwerte	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr
Mq [l/(s*km²)]	1,482	1,766	1,618	2,188	5,577	3,836	2,351	5,001	3,639
MHq [l/(s*km²)]	6,361	7,844	9,550	11,443	23,546	25,390	9,934	22,032	23,825
MNq [l/(s*km²)]	0,856	0,947	0,771	0,881	1,408	0,814	0,956	1,541	0,837

Tabelle 5.5: Gewässerkundliche Hauptzahlen der Hauptflüsse in den Untersuchungsgebieten für die Reihe 1951 - 2000

Im Abflussregime der betrachteten Gewässer spiegeln sich in besonderem Maße die klimatischen Randbedingungen beider Untersuchungsräume wider. So liegt, begründet durch die geringere Wasserverfügbarkeit (Kap. 5.1.2), die **durchschnittliche Abflussspende der Querne/Weida um mehr als 50 % niedriger als bei Wipper und Eine** (Tab. 5.5). Dies gilt vor allem für das Winterhalbjahr, in dem höhere Niederschläge und die Schmelzwasserabgabe zu einer überdurchschnittlichen Abflusserhöhung im Ostharz führen. Damit verbunden ist auch eine Auffüllung der Grundwasservorräte, die wiederum in den Sommermonaten den Hauptzustrom in die Gewässer bilden.

Die Gegenüberstellung der durchschnittlichen Monatsabflüsse (Abb. 5.6) verdeutlicht die unterschiedliche Abflusscharakteristik in den Untersuchungsräumen. Eine und Wipper weisen im Sommerhalbjahr ein sehr hohes Bilanzdefizit zugunsten des Winterhalbjahres und demzufolge deutlich höhere innerjährliche Abflussschwankungen auf als die Querne/Weida. Ebenso lässt sich ein nahezu periodisches Abflussverhalten, bei hohen Winter- und reduzierten Sommerabflüssen feststellen, während Schneeschmelze und sommer-

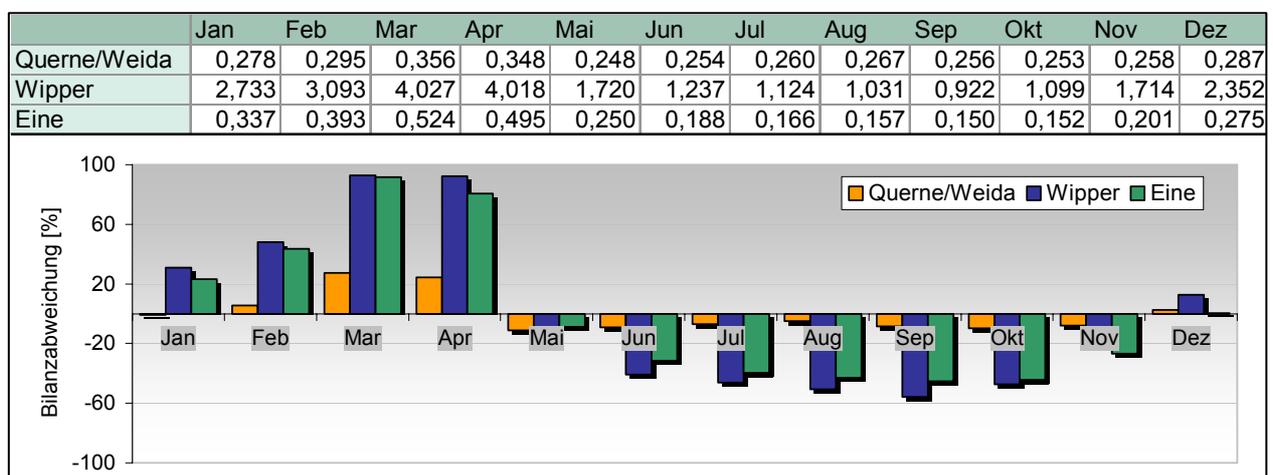


Abbildung 5.6: Mittlerer Monatlicher Gewässerabfluss und monatliche Bilanzabweichung für den Zeitraum 1951 - 2000

liche Starkregenereignisse in der Querne/Weida nur kurzfristig und in geringerer Quantität zu einer Abflusserhöhung führen (Abb. 5.7).

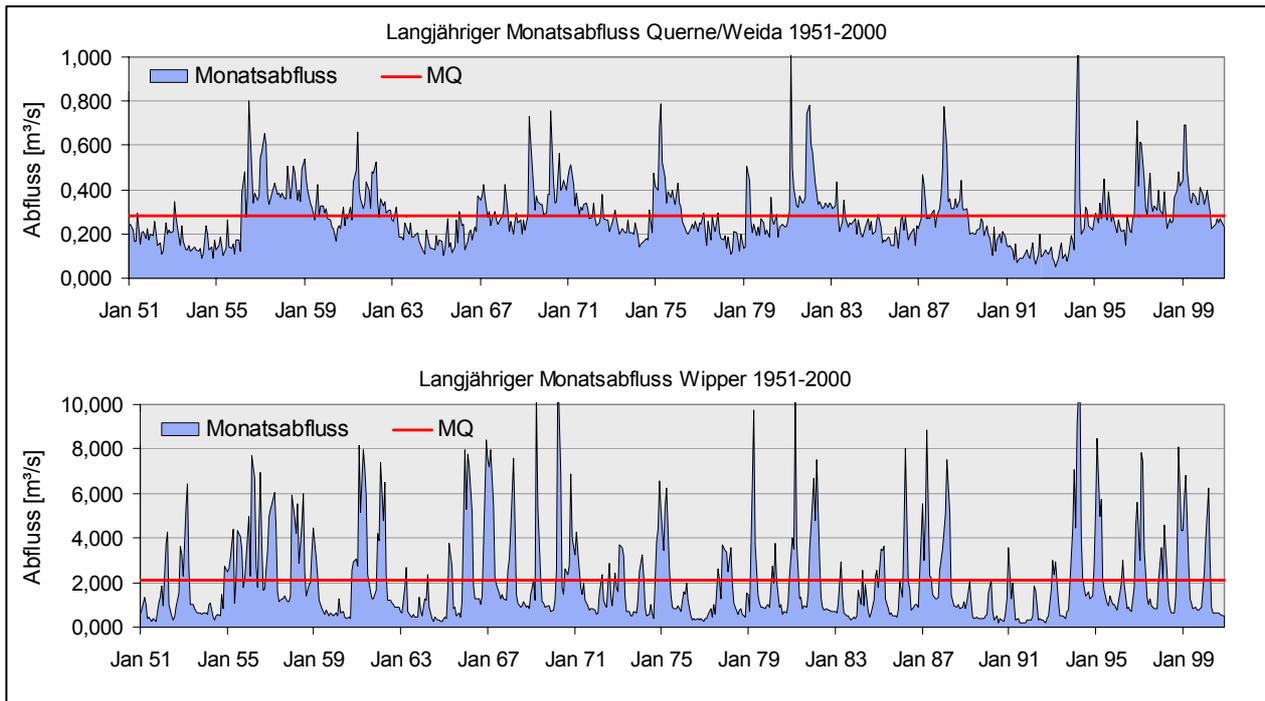


Abbildung 5.7: Langjährige monatliche Abflussganglinie der Querne/Weida und der Wipper für den Zeitraum 1951 - 2000

Die klimatische Situation und die gegenwärtigen Abflussverhältnisse lassen der Quantifizierung des Niedrigwasserabflusses der Querne/Weida eine besondere Bedeutung zukommen. So lässt der durch eine klimatische Veränderung zu erwartende Rückgang des Trockenwetterabflusses, bis hin zum Trockenfallen kleinerer Gewässer, nicht nur weit reichende ökologische Konsequenzen, sondern auch ein außerordentliches **Konfliktpotential** in Zusammenhang mit der möglichen **Wiederentstehung des Salzigen Sees** erwarten. Als reales Beispiel dafür kann die niederschlagsarme und abflussschwache Periode zwischen 1990 und dem Frühjahrshochwasser 1994 mit einem über 50 %-igen Abflussrückgang gelten (vgl. Tafel 7 & Abb. 5.7).

Eine komplexe Darstellung der Abflusscharakteristik für die Haupt- und Nebengewässer in den Untersuchungsgebieten, einschließlich Niedrigwasserstatistik und Abflussdauerlinien, ist den Tafeln 7-9 sowie der Anlage, Tab. Anl.A10 bis 17.33 zu entnehmen.

Eine über die hier erfolgte Auswertung hinaus gehende Niedrigwasseranalyse, einschließlich der Ermittlung von Wiederkehrintervallen und Unterschreitungsdauern für ermittelte Niedrigwasserabflüsse sowie der Trockenfallhäufigkeit kleinerer Gewässer, erfolgt in Zusammenhang mit der Analyse der klimabedingten Abflussveränderungen in den Untersuchungsgebieten (Kap. 5.3).

5.2 Klimaänderungen in den Untersuchungsgebieten

5.2.1 Hypothetisches Trendszenario

Die Ergebnisse des Mann-Kendall-Tests (Kap. 4.3.2) zeigen, dass der Trend einzelner Klimaparameter in den zurückliegenden 50 Jahren durch überwiegend hohe Signifikanzen belegt werden kann. Allerdings zeigen sich dabei zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen den Klimastationen (Tab. 5.6).

Für die **Lufttemperatur** lässt sich bei einem hohen Signifikanzniveau für alle Stationen ein Anstieg im Winterhalbjahr von mehr als 1 K feststellen. Demgegenüber fallen Anstieg und Signifikanz im Sommer

Stationen	Temperatur [°C]			Niederschlag [mm]			relative Luftfeuchte [%]		
	Sommer	Winter	Jahr	Sommer	Winter	Jahr	Sommer	Winter	Jahr
Artern	0,5	1,2	0,8	-56,1	25,7	-15,5	-2,0	-3,5	-2,7
Bernburg	0,7	1,4	1,0	-58,8	39,0	-10,3	-1,0	-1,0	-1,0
Brumby	0,7	1,4	1,0	-41,5	68,0	12,8	-0,6	0,4	-0,1
Eisleben	0,8	1,4	1,1	-40,7	26,7	-7,2	-1,7	-4,1	-2,9
Gatersleben	0,3	1,7	1,0	-69,6	5,9	-32,1	-0,9	-5,5	-3,2
Gernrode	0,5	1,2	0,9	-73,3	13,8	-30,1	-3,4	-5,0	-4,2
Halle	0,4	1,2	0,8	-39,8	33,8	-3,3	-3,9	-5,1	-4,5
Hayn	0,5	1,2	0,9	-83,1	48,2	-17,9	-1,8	-3,2	-2,5
Herrmannsacker	0,5	1,1	0,8	-23,8	119,7	47,4	-1,0	-1,0	-1,0
Kelbra	0,5	1,2	0,9	-38,4	49,4	5,1	-2,0	-3,4	-2,7
Klostermansfeld	0,5	1,2	0,9	-89,1	18,7	-35,6	-2,8	-4,3	-3,5
Lauchstädt	0,5	1,3	0,8	-49,4	15,2	-17,4	-4,6	-6,1	-5,4
Mehringen	0,5	1,2	0,9	-65,8	20,6	-22,9	-2,8	-4,5	-3,6
Mücheln	0,5	1,3	0,9	-19,9	70,2	24,8	-4,3	-5,9	-5,1
Neustadt	0,4	0,9	0,7	-95,9	94,8	-1,3	-0,6	0,6	0,0
Neutz	0,6	1,2	0,9	-76,9	40,6	-18,6	-3,1	-5,1	-4,1
Quedlinburg	0,4	1,5	0,9	-66,0	19,2	-23,7	-1,0	-4,3	-2,6
Sangerhausen	0,5	1,2	0,9	-50,1	57,1	3,1	-2,0	-3,6	-2,8
Schönewerda	0,5	1,2	0,9	-18,7	51,8	16,3	-2,1	-3,6	-2,9
Schraplau	0,6	1,3	1,0	-11,2	48,0	18,1	-2,8	-4,8	-3,8
Stangerode	0,5	1,2	0,9	-12,3	57,0	22,1	-2,0	-3,6	-2,8
Wolmirsleben	0,3	1,7	1,0	-45,3	48,4	1,2	-0,9	-5,5	-3,2
Ziegelroda	0,5	1,2	0,9	-60,0	46,1	-7,4	-2,4	-4,0	-3,2

Signifikanzniveaus			
> 1,282	> 1,645	> 1,960	> 2,578
> 80 %	> 90 %	> 95 %	> 99 %
schwach signifikant		signifikant	
hoch signifikant			

Tabelle 5.6: Stationsbezogene Trends und Signifikanzen der Klimaparameter

geringer aus. Im Jahresmittel liegt die Temperaturerhöhung zwischen 0,7 und 1,1 K, bei einem Signifikanzniveau von über 95 %. Aufgrund ihrer Temperaturabhängigkeit lässt sich eine ähnliche Tendenz für die **relative Luftfeuchte** feststellen, die im Betrachtungszeitraum zum Teil deutlich abgenommen hat (Signifikanzniveau > 99 %).

Geringer ist hingegen die statistische Sicherheit des beobachteten Trends für den **Niederschlag**. Dennoch weisen 16 der betrachteten 23 Stationen einen deutlichen und zu 90 % signifikanten Anstieg des Winterniederschlages auf. Der für das Sommerhalbjahr ermittelte negative Trend muss hingegen für die Hälfte der Stationen als nicht signifikant eingeschätzt werden.

Die Unsicherheiten der Trendentwicklung des Niederschlages verdeutlichen die Notwendigkeit einer halbjährlichen Betrachtung der Klimaparameter, da sich die unterschiedlichen Entwicklungen des Sommer- und Winterniederschlages bei einer undifferenzierten Analyse des Jahresniederschlages zum Teil aufheben und somit zu falschen Interpretationen der Niederschlagsentwicklung führen würden.

Um auf Basis der Trenduntersuchungen Sensitivitätsanalysen des hydrologischen Systems durchführen zu können, wurde durch Extrapolation der stationsbezogenen Trends auf die Untersuchungsgebiete ein Klimaszenario erstellt (Kap. 4.3.2). Auf dessen Grundlage wird ermöglicht, abzuschätzen, inwiefern die komplexen Klimaszenarien (STAR, ECHAM/REMO, MAGICC/SCENGEN) die tatsächlich beobachtete klimatische Entwicklung der Vergangenheit berücksichtigen (Kap. 5.2.4).

Abgeleitet aus den Trendanalysen wurde für das hypothetische Szenario (2001 - 2050) ein mittlerer **Temperaturanstieg** von 1,0 bzw. 0,8 K in den Untersuchungsräumen ermittelt. Entsprechend der jahreszeitli-

chen Temperaturentwicklung ergibt sich daraus in beiden Gebieten ein deutlicher Anstieg der **potentiellen Evapotranspiration**, mit besonderer Ausprägung im Winterhalbjahr (Tab. 5.7).

Querne/Weida	Temperatur [° C]			Pot.Verdunstung [mm]			Niederschlag [mm]			Wasserbilanz [mm]		
	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr
Basisszenario 1951-2000	14,5	2,9	8,7	475	103	578	333	225	558	-142	122	-20
Trendszenario	15,1	4,2	9,7	485	130	615	295	268	563	-190	138	- 52
Differenz	+ 0,6	+ 1,3	+ 1,0	+ 10	+ 27	+ 37	- 38	+ 43	+ 5	- 48	+ 16	- 32
Hypothes.Szenario – T + 1,4 K			10,1			629			558			-71
Differenz			+ 1,4			+ 51			+ 0			- 51
Hypot.Szen. - T +1,4 K/ N-10 %			10,1			629			504			-125
Differenz			+ 1,4			+ 51			- 54			-105
Wipper	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr
Basisszenario 1951-2000	13,9	2,4	8,2	449	88	537	362	287	649	-87	199	112
Trendszenario	14,4	3,5	9,0	457	115	572	298	327	625	-159	212	53
Differenz	+ 0,5	+ 1,1	+ 0,8	+ 8	+ 27	+ 35	- 64	+ 40	- 24	- 72	+ 13	- 59
Hypothes.Szenario - T+ 1,4 K			9,6			590			649			59
Differenz			+ 1,4			+ 53			+ 0			- 53
Hypot.Szen. - T+1,4 K/ N-10 %			9,6			590			586			- 4
Differenz			+ 1,4			+ 53			- 63			-116

Tabelle 5.7: Veränderung ausgewählter Klimaparameter für die hypothetischen Klimaszenarien

Während die **Niederschlags**abnahme bei den einfachen hypothetischen Szenarien entsprechend der Vorgaben 0 bzw. 10 % beträgt, spiegeln sich beim Trendszenario die Unterschiede in Ausmaß und zum Teil auch Richtung der beobachteten Niederschlagsentwicklung an den Klimastationen (Tab. 5.6) in der räumlichen und zeitlichen Verteilung deutlich wider. So steht im Gebiet der Querne/Weida einer winterlichen Niederschlagszunahme eine Abnahme im Sommer gegenüber. Im Wippergebiet kommt es zu einem 4 %-igen Niederschlagsrückgang, der auf eine überdurchschnittliche Verringerung der Sommerniederschläge um knapp 20 % zurückzuführen ist (Tab. 5.7). Davon betroffen sind vor allem die bereits gegenwärtig ausgesprochen trockenen Regionen des nordöstlichen Harzvorlandes (Abb 5.8).

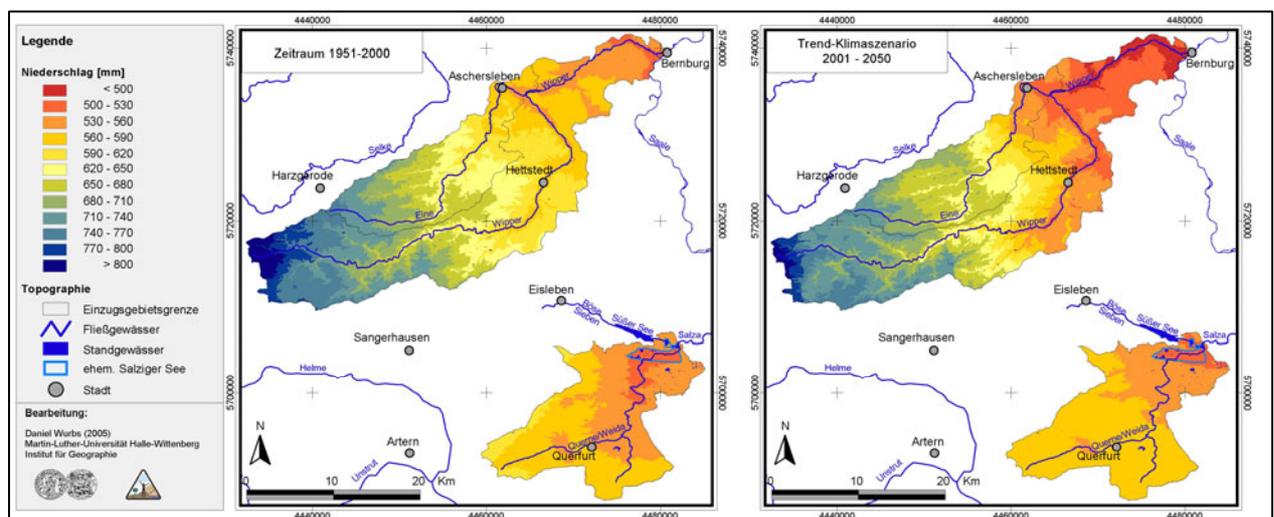


Abbildung 5.8: Niederschlagsverteilung des Trendszenarios gegenüber dem Basisszenario in den Untersuchungsgebieten

Die Erhöhung der potentiellen Verdunstung und vor allem die sommerlichen Niederschlagsdefizite führen zu einer deutlichen Verringerung der **klimatischen Wasserbilanz** in beiden Untersuchungsgebieten. Im Einzugsgebiet der Querne/Weida ließen sich im langjährigen Mittel (2001 - 2050) nur noch wenige Bereiche am Oberlauf mit einer positiven Wasserbilanz ausweisen (Karte 11 & 26).

Bei einer angenommenen Fortschreibung der beobachteten Klimatrends zur Erstellung eines Trendszenarios lässt sich für die klimatische und demzufolge wasserhaushaltliche Situation ein Rückgang der Wasserverfügbarkeit infolge geringerer Niederschläge, vor allem aber aufgrund einer erhöhten Verdunstung erwarten. Deren Folgen zu untersuchen, ist Gegenstand der Sensitivitätsanalysen, in denen zusätzlich die einfachen hypothetischen Szenarien stärkere Berücksichtigung finden (Kap.5.3.1). Einen detaillierten räumlichen Überblick über die klimatischen Verhältnisse des Trendszenarios in den Untersuchungsräumen geben die Karten 10 und 11.

5.2.2 Regionale Klimaszenarien MAGICC/SCENGEN, STAR und ECHAM/REMO

Klimaszenario nach MAGICC/SCENGEN

Basierend auf den Ergebnissen des Klimaszenarios nach MAGICC/SCENGEN kommt es in beiden Untersuchungsgebieten zu einem **Temperaturanstieg** von 1,5 bis 1,6 K, mit nur geringen räumlichen und jahreszeitlichen Variationen (Tab. 5.8; Karten 12 & 20). Durch die mit der Erwärmung verbundene Verschiebung der Temperaturzonen weisen die höher gelegenen Bereiche der Mittelläufe von Wipper und Eine sowie des Ziegelrodaer Forstes mit 9 bis 9,5° C Temperaturen auf, wie sie gegenwärtig nur in den wärmsten Regionen beider Untersuchungsgebiete anzutreffen sind. In diesen, so auch im Bereich des Salziges Sees, liegen die Jahresdurchschnittstemperaturen bei über 11° C.

	Temperatur [° C]			Pot.Verdunstung [mm]			Niederschlag [mm]			Wasserbilanz [mm]		
	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr
Querne/Weida												
Basisszenario 1951-2000	14,5	2,9	8,7	474	103	577	333	226	559	-141	123	-18
MAGICC/SCENGEN-Szenario	16,1	4,5	10,3	513	136	649	320	235	555	-193	99	-94
STAR-Klimaszenario	15,6	4,0	9,8	502	127	629	326	208	534	-176	81	-95
ECHAM/REMO-Klimaszenario	17,0	5,8	11,4	500	116	616	245	303	548	-255	187	-68
Wipper												
Basisszenario 1951-2000	13,9	2,3	8,1	449	88	537	362	287	649	-87	199	112
MAGICC/SCENGEN-Szenario	15,4	4,0	9,7	486	123	609	350	298	648	-136	175	39
STAR-Klimaszenario	14,9	3,5	9,2	474	115	589	343	252	595	-131	137	6
ECHAM/REMO-Klimaszenario	16,0	4,9	10,5	483	99	582	295	354	649	-188	255	67

Tabelle 5.8: Klimatische Verhältnisse in den Untersuchungsgebieten für die regionalen Klimaszenarien

Neben der Temperaturerhöhung führt die Zunahme der Sonnenscheindauer (Tab. Anh.7) zu einem deutlichen Anstieg der **Verdunstungsraten** in beiden Einzugsgebieten um über 70 mm (Tab. 5.8). Davon überdurchschnittlich betroffen sind die höheren Lagen des Wippergebietes, wo die potentielle Evapotranspiration auf über 550 mm ansteigt (Karten 13 & 20). Die Veränderung der **Niederschlagsverhältnisse** ist demgegenüber als gering einzuschätzen, da in beiden Untersuchungsräumen die Abnahme der Sommerniederschläge durch eine Erhöhung des Winterniederschlages nahezu kompensiert wird (Tab. 5.8). Dies würde dem beobachteten Trendverhalten hinsichtlich der jahreszeitlichen Niederschlagsentwicklung entsprechen (Kap. 5.2.1). Vor allem für die bereits gegenwärtig durch eine ausgesprochene Niederschlagsarmut geprägten Gebiete des nordöstlichen Harzvorlandes und des Salziges Sees lässt sich anhand des

MAGICC/SCENGEN-Szenarios ein Rückgang der Wasserverfügbarkeit in den Sommermonaten erwarten, mit den entsprechenden (negativen) Auswirkungen auf die Elemente des Landschaftswasserhaushaltes (Abb. 5.9 & Karten 12 & 20).

Die Entwicklung der jährlichen **Wasserbilanz**verhältnisse wird im wesentlichen durch die Erhöhung der Verdunstungsraten und die Verschiebung der halbjährlichen Niederschlagssummen bestimmt. In den Sommermonaten führt der Niederschlagsrückgang zu einer Verstärkung des Wasserbilanzdefizites, während die Veränderungen im Winterhalbjahr vergleichsweise „moderat“ ausfallen (Tab. 5.8). Im Einzugsgebiet der Querne/Weida lassen sich nur noch kleine Teilbereiche mit einer nahezu ausgeglichenen Wasserbilanz ausweisen (Ziegelrodaer Forst). Vor allem im Umfeld des Salzigen Sees beträgt das Bilanzdefizit über 300 mm/Jahr. Trotz einer im Gebietsmittel positiven klimatischen Wasserbilanz lässt sich auch für das Einzugsgebiet der Wipper eine Vergrößerung des Flächenanteils mit einem Bilanzdefizit feststellen (Abb. 5.10. & Karten 13 & 20).

STAR-Klimaszenario

Ausgehend von einer mittleren globalen **Temperaturerhöhung** von 1,4 K weist das STAR-Klimaszenario einen vergleichsweise moderaten und räumlich nur wenig differenzierten Temperaturanstieg von 1,1 bzw. 1,0 K auf (Tab. 5.8). Am höchsten sind die Jahresdurchschnittstemperaturen im Bereich des ehemaligen Salzigen Sees mit 10,7° C, mit entsprechend hohen **Verdunstungsraten** von über 650 mm. Dagegen sind die größten Veränderungen bei der potentiellen Verdunstung im Mittelharz festzustellen, mit Anstiegsraten von über 60 mm/Jahr. Bezogen auf die Temperatur- und Verdunstungsverhältnisse sind die Bedingungen im Untersuchungsgebiet der Wipper mit den heutigen Verhältnissen im Querne/Weida-Gebiet vergleichbar (Karten 14, 15 & 21).

Hinsichtlich der **Niederschlagsentwicklung** zeigt sich gebietsübergreifend ein Rückgang, mit besonderer Ausprägung im Winterhalbjahr (Tab. 5.8). Insofern entsprechen die Szenarienergebnisse zwar den jährlichen, jedoch nicht den halbjährlichen Beobachtungen der Niederschlagsentwicklung des Zeitraums 1951-2000 (Kap. 5.2.1). In diesem Zusammenhang sei auf die (Fehler-)Problematik und deren Diskussion bei der Ableitung eines „wahrscheinlichsten“ Szenarios anhand des Trendverhaltens einer repräsentativen Station hingewiesen (Kap. 5.2.4).

Die mittleren Niederschlagssummen für den Szenarienzeitraum liegen im Wippengebiet bei 595 mm, wobei in besonderem Maße das nordöstliches Harzvorland von einem Rückgang betroffen ist (Abb. 5.9). Im Einzugsgebiet der Querne/Weida verzeichnet das untere Einzugsgebiet, welches bereits gegenwärtig zu den trockensten Regionen Mitteleuropas zählt (vgl. Kap. 3.2), eine Verringerung des Niederschlagsdargebotes um über 30 mm auf weniger als 500 mm/Jahr (Abb. 5.9 & Karten 14 & 21).

Die zum Teil recht deutliche Verringerung der Niederschlagsraten hat zur Folge, dass die **Wasserbilanz**verhältnisse im Einzugsgebiet der Querne/Weida und im Harzvorlandbereich flächendeckend defizitär sind. Ausschließlich in den feuchteren Gebieten des Mittel- und Unterharzes liegt die klimatische Wasserbilanz deutlich über 100 mm (Abb. 5.10 & Karten 15 & 21).

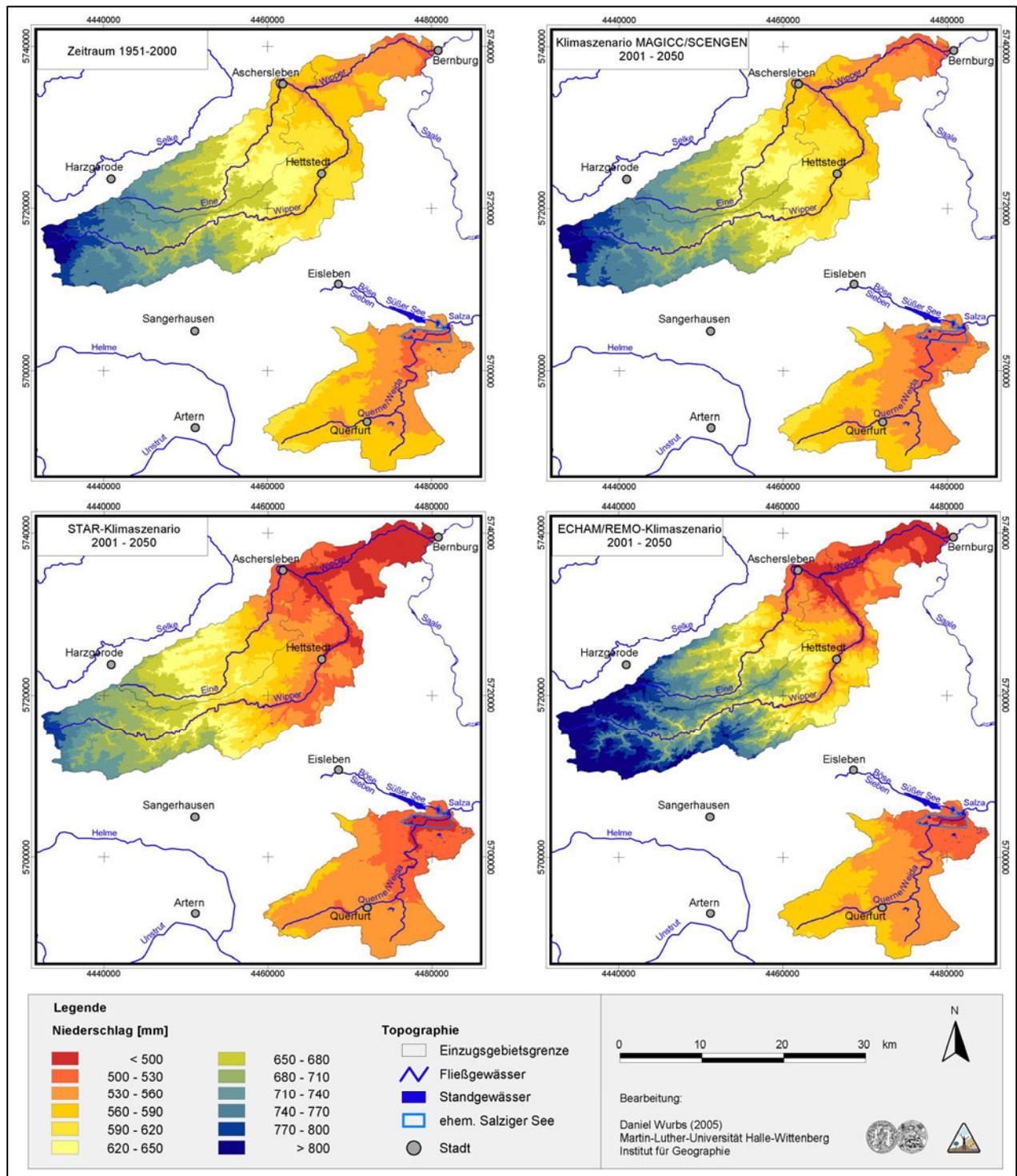


Abbildung 5.9: Räumliche Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsgebieten in Abhängigkeit von den Klimaszenarien

ECHAM/REMO-Klimaszenario

Der Temperaturanstieg im Szenarienzeitraum 2001 bis 2050 fällt mit weniger als 1 K vergleichsweise gering aus, was sowohl den Eigenschaften des gewählten Emissionsszenarios (Kap. 4.3.1) als auch der beobachteten Trendentwicklung (Kap. 5.2.1) entspricht. Allerdings weisen die hohen Differenzen zwischen Basis- und Klimaszenario weniger auf eine klimabedingte Temperaturentwicklung als vielmehr auf einen methodisch zu begründenden „Temperatursprung“ hin, den es bei der Betrachtung der nachfolgenden Ergebnisse zu berücksichtigen und in Kap. 5.2.4 ausführlich und kritisch zu diskutieren gilt.

Vor diesem Hintergrund weisen beide Untersuchungsgebiete außergewöhnlich hohe Jahresdurchschnittstemperaturen auf, die gegenüber dem Basisszenario im Einzugsgebiet der Querne/Weida um 2,7 K und im Wipperfgebiet um 2,3 K höher liegen (Tab. 5.8). Die regional stärksten Veränderungen treten in den zum heutigen Zeitpunkt wärmsten Gebieten des Harzvorlandes und der Querfurter Platte auf (Karten 16 & 22). Entsprechend der Temperatur steigen in beiden Untersuchungsräumen die **Verdunstungs**raten deutlich an und liegen in großen Teilen des Einzugsgebiets der Querne/Weida bei über 600 mm/Jahr, was auf den nordöstlichen Teil des Wipperfgebietes in gleichem Maße zutrifft (Karten 17 & 22). Die überdurchschnittliche Zunahme der Wintertemperaturen führt zu einem absolut zwar geringeren, dafür nahezu doppelt so hohen relativen Anstieg der Evapotranspiration im Winterhalbjahr (Tab. 5.8).

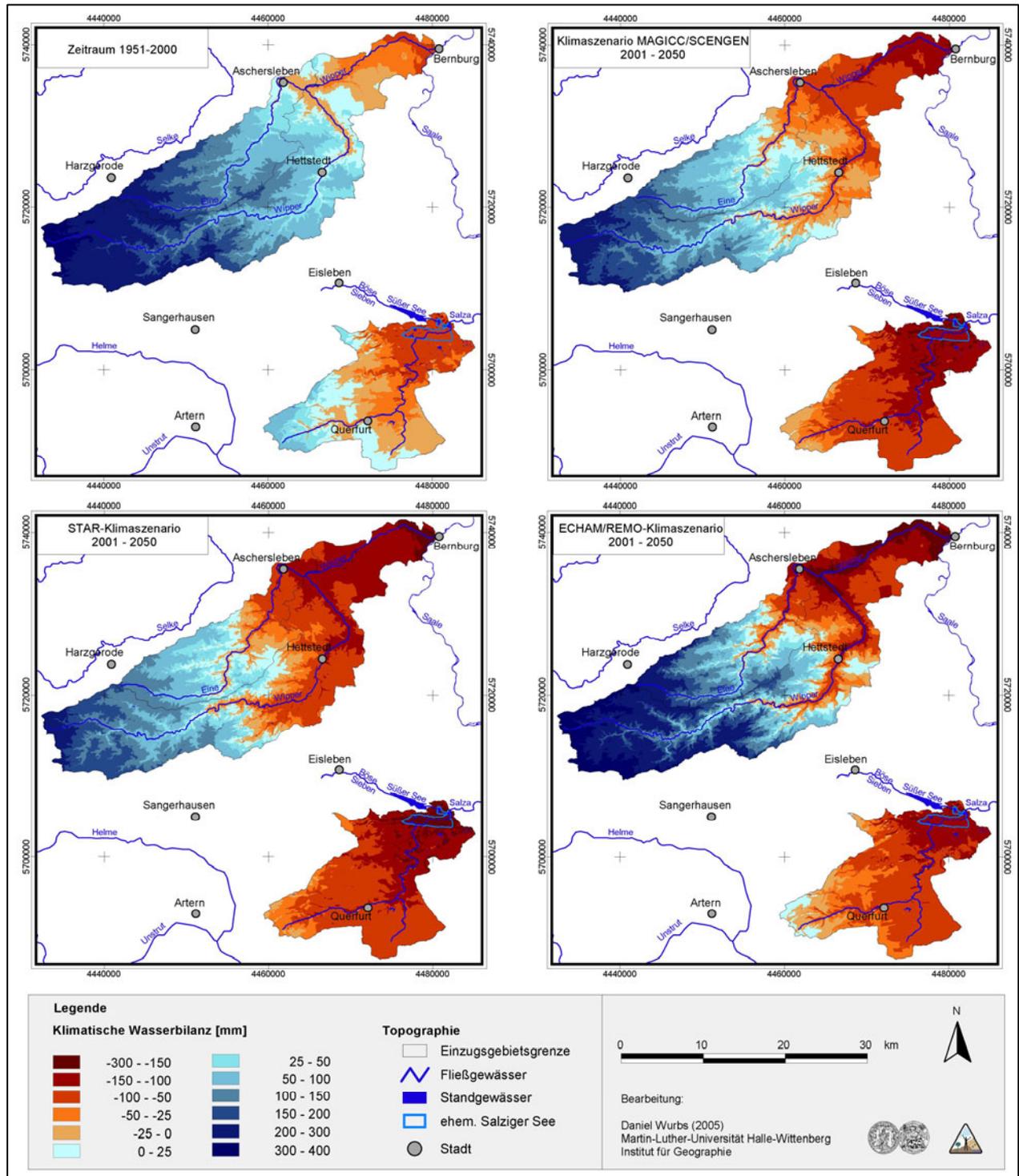


Abbildung 5.10: Räumliche Verteilung der Wasserbilanz in den Untersuchungsgebieten in Abhängigkeit von den Klimaszenarien

Bei den **Niederschlags**verhältnissen ergeben sich gravierende zeitliche und räumliche Veränderungen, die bei einer mittleren Betrachtung der Ergebnisse überdeckt würden (Tab. 5.8). Die im Jahresmittel unverändert gebliebenen Niederschläge treten im Einzugsgebiet der Wipper um knapp 25 % häufiger im Winterhalbjahr auf, bei einem entsprechenden Rückgang der Sommerniederschläge. Ähnlich stellt sich die Situation im Einzugsgebiet der Querne/Weida dar, jedoch übersteigen die sommerlichen Verluste das erhöhte Niederschlagsdargebot im Winter. Auch räumlich sind deutliche Verschiebungen zu erkennen. Während in den trockeneren Harzvorlandbereichen und in großen Teilen des Einzugsgebietes der Querne/Weida zum Teil deutliche Niederschlagsrückgänge zu verzeichnen sind, profitieren vor allem die feuchteren Mittellagen des Osthazes von einem Anstieg des Jahresniederschlags um bis zu 100 mm/Jahr (Abb. 5.9 & Karten 16 & 22). Die Richtung der Niederschlagsentwicklung kann durch den beobachteten Trend bestätigt werden (Kap. 5.2.1), deren Ausmaß deutet jedoch auf eine Verstärkung des Trends im ECHAM/REMO-Klimaszenario hin.

Die Veränderung im Niederschlagsverhalten spiegelt sich markant in der zeitlichen und räumlichen Verteilung der **Wasserbilanz**verhältnisse wider. So zeichnet sich im Einzugsgebiet der Wipper vor allem in den Regionen eine Verschärfung der Wasserbilanzsituation ab, die neben einer Erhöhung der potentiellen Verdunstung einen Niederschlagsrückgang aufweisen. Dies trifft in besonderem Maße auf die Harzvorlandbereiche zu. Ferner tritt in nahezu dem gesamten Einzugsgebiet der Querne/Weida ein Bilanzdefizit auf, mit besonderem Schwerpunkt im Umfeld des Salzigen Sees (Abb. 5.10 & Karten 17 & 22). Im Jahres- und Gebietsmittel ist für beide Untersuchungsgebiete ein Rückgang der klimatischen Wasserbilanz festzustellen, da die Erhöhung des sommerlichen Defizites durch die Zunahme der Winterniederschläge nicht in gleichem Maße kompensiert werden kann (Tab. 5.8).

5.2.3 Szenarienabhängiger Vergleich und Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Vergleich der klimatischen Veränderungen in den Untersuchungsgebieten zeigt vor allem in Bezug auf die jahreszeitliche Differenzierung deutliche Unterschiede zwischen den Klimaszenarien. Die Zunahme der **Jahresdurchschnittstemperaturen** variiert zwischen 1,1 und 2,7 K, wobei keines der Szenarien in ausreichender Form die Trendentwicklung der zurückliegenden Jahrzehnte, in denen im Winterhalbjahr gegenüber den Sommermonaten eine doppelte so starke Erwärmung festgestellt werden konnte, berücksichtigt (Tab. 5.9). Die **potentielle Verdunstung** steigt temperaturbedingt für alle Szenarien in beiden Untersuchungsgebieten gleichermaßen deutlich an. Die jahreszeitlichen Unterschiede sind beim STAR- und MAGICC/SCENGEN-Szenario gering. Allerdings ist der relative Anstieg im Winterhalbjahr, begründet durch das niedrige Basisniveau, höher zu bewerten (Tab. 5.9). Im Gegensatz zum Temperaturanstieg weist das ECHAM/REMO-Szenario den geringsten Anstieg der Verdunstungsraten auf, was zum einen auf den überdurchschnittlichen Anstieg der relativen Luftfeuchte (höhere Sättigung der Luft; vgl. Tab. Anh.7), vor allem aber auf die Nichtberücksichtigung der Veränderung der Sonnenscheindauer zurückzuführen ist (vgl. Kap. 5.2.4).

Sehr differenziert ist eine mögliche **Niederschlagsentwicklung** in den Untersuchungsgebieten zu betrachten. Generell verzeichnen alle Szenarien einen Rückgang der Niederschläge, allerdings mit zum Teil erheblichen Unterschieden in Ausmaß und innerjährlicher Entwicklung (Tab. 5.9). MAGICC/SCENGEN und ECHAM/REMO weisen einen Anstieg der winterlichen und einen umso stärkeren Rückgang der sommerlichen Niederschläge auf. Beide geben damit die Richtung des beobachteten Niederschlagstrends in der Region wieder (Trendszenario), unter- bzw. überschätzen diesen aber. Anhand des STAR-Klimaszenarios lässt sich ein ganzjähriger Niederschlagsrückgang in beiden Untersuchungsgebieten fest-

stellen. Obwohl das Szenario Trendbeobachtungen einer Bezugsstation berücksichtigt (Kap. 4.3.4), ist diese offenbar nicht auf die Untersuchungsräume zu übertragen.

Trotz des unterschiedlichen Ausmaßes der Niederschlagsveränderung sind in den gegenwärtig niederschlagsärmeren Regionen beider Untersuchungsgebiete eher abnehmende Niederschläge zu verzeichnen, während es vor allem in den Mittellagen des Harzes zu einer Zunahme kommt.

	Temperatur [° C]			Pot.Verdunstung [mm]			Niederschlag [mm]			Wasserbilanz [mm]		
	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr
Querne/Weida												
Basisszenario 1951 - 2000	14,5	2,9	8,7	474	103	577	333	226	559	- 141	123	- 18
MAGICC/SCENGEN-Szenario	+ 1,6	+ 1,6	+ 1,6	+ 39	+ 33	+ 72	- 13	+ 9	- 4	- 52	- 24	- 76
STAR-Klimaszenario	+ 1,1	+ 1,1	+ 1,1	+ 28	+ 24	+ 52	- 7	- 18	- 25	- 35	- 42	- 77
ECHAM/REMO-Klimaszenario	+ 2,5	+ 2,9	+ 2,7	+ 26	+ 13	+ 39	- 88	+ 77	- 11	- 114	+ 64	- 50
Trendszenario	+ 0,6	+ 1,3	+ 1,0	+ 10	+ 27	+ 37	- 38	+ 43	+ 5	- 48	+ 16	- 32
Wipper												
Basisszenario 1951 - 2000	13,9	2,3	8,1	449	88	537	362	287	649	- 87	199	112
MAGICC/SCENGEN-Szenario	+ 1,5	+ 1,7	+ 1,6	+ 37	+ 35	+ 72	- 12	+ 11	- 1	- 49	- 24	- 73
STAR-Klimaszenario	+ 1,0	+ 1,2	+ 1,1	+ 25	+ 27	+ 52	- 19	- 35	- 54	- 44	- 62	- 106
ECHAM/REMO-Klimaszenario	+ 2,1	+ 2,6	+ 2,3	+ 34	+ 11	+ 45	- 67	+ 67	0	- 101	+ 56	- 45
Trendszenario	+ 0,5	+ 1,1	+ 0,8	+ 8	+ 27	+ 35	- 64	+ 40	- 24	- 72	+ 13	- 59

Tabelle 5.9: Veränderung ausgewählter Klimaparameter in den Untersuchungsgebieten im Vergleich aller Klimaszenarien

* Anmerkung: Das Basisszenario für das ECHAM/REMO-Modell weist geringfügige Differenzen zum hier dargestellten auf (Kap.4.3.5)

Niederschlags- und Temperaturentwicklung führen in beiden Untersuchungsgebieten zu einem deutlichen Rückgang der **klimatischen Wasserbilanz** (Tab. 5.9). Die Ausdehnung bilanznegativer Bereiche würde nahezu das gesamte Einzugsgebiet der Querne/Weida erfassen und vor allem durch das große Defizit im Sommerhalbjahr tiefgreifende Konsequenzen für die Wasserhaushalts- und Abflusssituation im Gebiet erwarten lassen (Kap. 5.3). Demgegenüber vergrößert sich zwar auch im Wippereinzugsgebiet der Anteil der Flächen mit einer negativen Wasserbilanz (Harzvorland), doch sind die Niederschläge im Mittel- und Unterharzbereich noch ausreichend, um, trotz deutlicher Verluste, eine positive Wasserbilanzbilanz aufweisen zu können.

Ungeachtet der zum Teil erheblichen Differenzen zwischen den Klimaszenarien lässt sich die mögliche klimatische Entwicklung in den Untersuchungsgebieten wie folgt zusammenfassen:

- **Eine (mit Ausnahme des ECHAM/REMO-Szenarios) bezogen auf die Vorgaben des IPCC als moderat einzuschätzende Temperaturerhöhung führt in beiden Untersuchungsgebieten zu einem deutlichen Anstieg der Verdunstungsraten. Im Sommerhalbjahr ist der absolute und im Winter der relative Anstieg am größten.**
- **Mit unterschiedlichem Ausmaß ist von einem ganzjährigen Niederschlagsrückgang auszugehen, wobei, mit Ausnahme des STAR-Szenarios, einer Zunahme der Winterniederschläge eine umso stärkere Abnahme der Sommerniederschläge entgegensteht, was dem beobachteten Trend in beiden Gebieten entspricht. Es ist davon auszugehen, dass vor allem die kontinentaler geprägten niederschlagsarmen Regionen im Regenschatten des Harzes in besonderem Maße vom Rückgang der Niederschläge betroffen sein werden.**
- **Als Folge von Temperaturerhöhung und Niederschlagsrückgang erhöhen sich in beiden Untersuchungsräumen Ausmaß und räumliche Verbreitung des Wasserbilanzdefizites im Sommerhalbjahr. Speziell im Einzugsgebiet der Querne/Weida ist das Bilanzdefizit fast flächendeckend.**

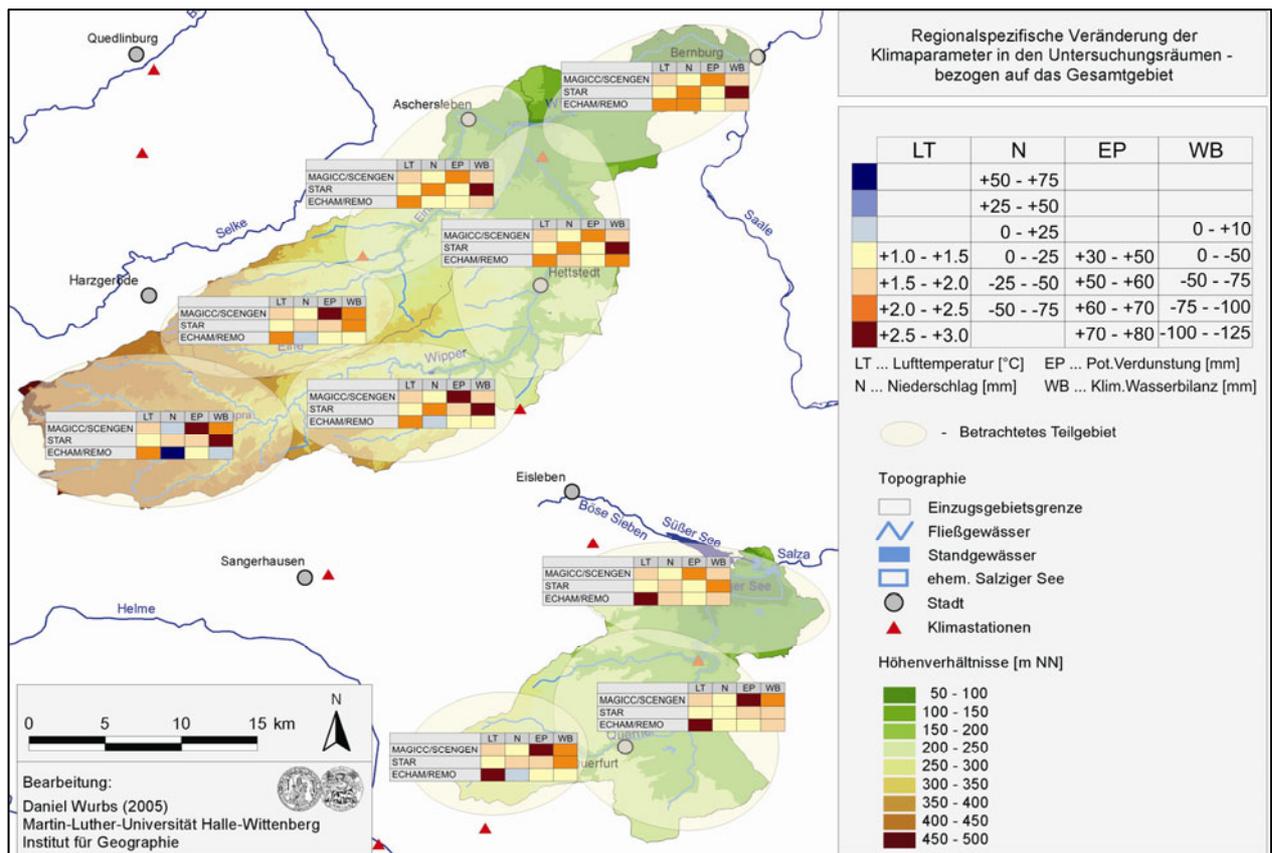


Abbildung 5.11: Schematische Darstellung der regionalspezifischen Veränderung der Klimaparameter

Die szenarienabhängigen Veränderungen der Klimaparameter für ausgewählte Teilräume (Ober-, Mittel-, Unterlauf), bezogen auf das Gesamtgebiet, sind schematisch in Abb. 5.11 und Karte 18 dargestellt. Eine zusammenfassende Übersicht der raumbezogenen Veränderung aller Klimagrößen bieten die Karten 19 bis 26.

5.2.4 Unsicherheiten der Szenarien und Modellkritik

Für die Untersuchungen zu den Folgewirkungen von Klimaänderungen auf Wasserhaushalt und Abfluss stellen Klimaszenarien eine unverzichtbare Grundlage dar. Um die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Unsicherheiten einschätzen zu können, ist neben der Betrachtung der hydrologischen Modellgüte (Kap. 5.1.1) auch eine **kritische Bewertung der regionalen Klimaszenarien (-modelle)** erforderlich. Gemäß der in Kap. 4.3.6 dargestellten Vorgehensweise werden Vor- und Nachteile zunächst **beschreibend zusammengefasst**, um anschließend durch eine **semiquantitative Bewertung** die Szenarien in Bezug auf ihre Eignung für hydrologische Untersuchungen zur regionalen Wasserverfügbarkeit abschätzen zu können.

Beim regionalen Klimaszenarienmodell **STAR** wird ein vorgegebener globaler Temperaturtrend auf vorhandene meteorologische Zeitreihen übertragen, so dass durch die Berücksichtigung zahlreicher **Klima- und Niederschlagsstationen** die Aussagegenauigkeit für die Niederschlagsentwicklung erhöht wird. Gleichzeitig können durch die Integration einer **Vielzahl meteorologischer Größen** die statistischen Eigenschaften, die Konsistenz und die innerjährliche Variabilität der Klimavariablen beibehalten werden. Dadurch wird ein sprunghafter **Übergang von Basis- zu Szenarienzeitraum** vermieden (vgl. Abb. 5.12). **Verbesserungsmöglichkeiten** sind hingegen eindeutig in der **Auswahl nur einer Bezugsstation** für die Zeitreihensimulation und die Ableitung eines wahrscheinlichsten Szenarios aus deren Beobachtungsdaten

(Kap. 4.3.4) gegeben. Das Flusseinzugsgebiet der Elbe wird als einheitliches Klimagebiet angesehen, dass durch die Station Magdeburg als ausreichend repräsentiert angesehen wird. Dass regionalspezifische Charakteristika innerhalb des Einzugsgebietes dabei nicht ausreichend berücksichtigt werden, zeigt sich in der Wiedergabe des halbjährlichen Niederschlagstrends der Untersuchungsgebiete, der, im Gegensatz zur Bezugsstation, einen Anstieg des Winterniederschlages aufweist (Kap. 5.2.1; Tab. 5.6). Insofern ergeben sich hieraus Verbesserungsmöglichkeiten, die vor allem in der Auswahl mehrerer Bezugsstationen liegen, um somit die Repräsentativität für alle Teilräume des Elbegebietes zu erhöhen.

Grundsätzliche Nachteile zeigt das STAR- Szenario in der **Qualität der Datengrundlagen**, die sich zum einen auf mehrjährige, fehlerhafte Niederschlagswerte im Basisszenario (Stationen Wippra und Harzgerode; Kap. 4.2.2.2) und zum anderen auf die **Dampfdruckdaten** beziehen. Hier lagen die Werte im Winterhalbjahr über dem temperaturabhängigen Sättigungsdampfdruck der Luft, was bei der hydrologischen Modellierung zu Fehlern bei der Ermittlung der potentiellen Verdunstung führt.

Das **ECHAM/REMO-Szenario** lag nur für die **Klimahauptstationen** vor, wodurch kleinräumige klimatische Unterschiede in den Szenarien unberücksichtigt bleiben. Gleichfalls begrenzt die geringere Anzahl von Klimavariablen die Auswahlmöglichkeiten geeigneter Verfahren zur Berechnung der potentiellen Verdunstung. Dies bewirkt insbesondere beim Verfahren nach TURC/IVANOV eine Unterschätzung der ermittelten Verdunstungsraten gegenüber dem STAR-Szenario.

Einer eingehenden Überprüfung wurden die Klimazeitreihen bezüglich der **Homogenität des Überganges zwischen Basis- und Klimaszenario** (Temperatur) und der Wiedergabe der **innerjährlichen Niederschlagsverteilung** unterzogen. Am Beispiel des in Abbildung 5.12 gegenübergestellten Verlaufs der Jahresdurchschnittstemperaturen wird, im Gegensatz zum STAR- und MAGICC/SCENGEN-Szenario, der sprunghafte Übergang beim ECHAM/REMO-Szenario zwischen den Zeiträumen 1951 – 2000 und 2001 – 2050 deutlich. Die Jahresdurchschnittstemperaturen des Klimaszenarios sind außergewöhnlich hoch (Kap. 5.2.2) und entsprechen damit weder den Vorgaben des Emissionsszenarios B2 (Kap. 4.3.1) noch dem vergleichsweise geringen Anstieg des linearen Trends innerhalb des Szenarienzeitraums.

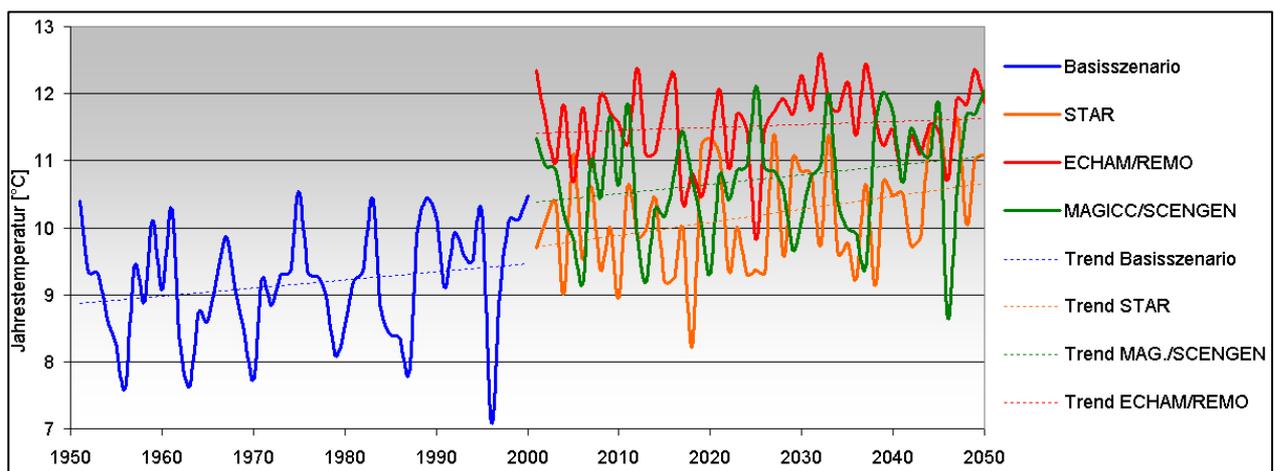


Abbildung 5.12: Plausibilitätsabschätzung der Klimaszenarien anhand der Temperaturentwicklung der Station Halle

Die **Niederschlagsentwicklung** des ECHAM/REMO-Szenarios stimmt mit der in Kap. 5.2.1 diskutierten, halbjährlichen Trendentwicklung des Beobachtungszeitraumes 1951 – 2000 überein. Betrachtet man hingegen zeitliche Verteilung und Stärke des Niederschlages, so zeigt sich die Problematik der Eignung des Szenarios für hydrologische Untersuchungen. Anhand eines beliebig ausgewählten Sommerquartals kann für das STAR- und MAGICC/SCENGEN-Szenario eine gute Wiedergabe des regionalspezifischen Niederschlagsverhaltens, mit dem Auftreten längerer niederschlagsfreier Perioden und stärkerer Nieder-

schlagsereignisse konstatiert werden (Abb. 5.13). Die zeitliche Verteilung der Niederschläge wird durch das ECHAM/REMO-Szenario hingegen ausgesprochen homogen, mit häufigen, aber geringen Niederschlägen wiedergegeben.

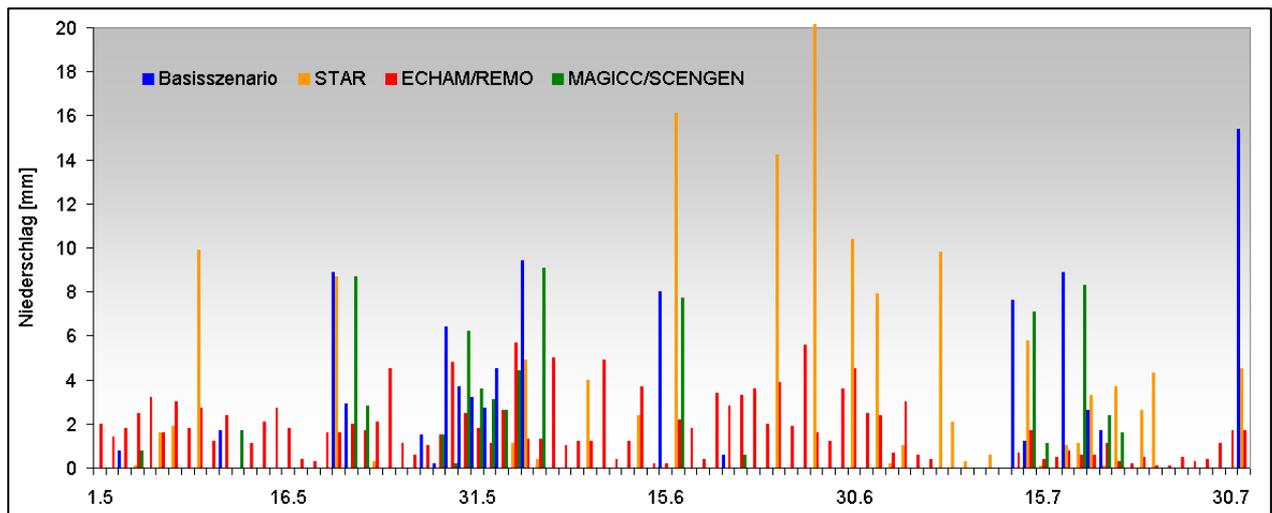


Abbildung 5.13: Plausibilitätsabschätzung der Klimaszenarien anhand des täglichen Niederschlages der Station Halle für das hydrologische Sommerquartal 1976/2026

Bezogen auf die 50-jährige Reihe der Station Halle kann diese Beobachtung durch eine Niederschlagsklassifizierung bestätigt werden (Tab. Anh.8). Die Anzahl der Niederschlagstage beträgt 308 für das ECHAM/REMO-Szenario, wogegen das STAR- (130 Tage) bzw. MAGICC/SCENGEN- und Basisszenario (je 149 Tage) eine deutlich geringere Niederschlagswahrscheinlichkeit aufweisen.

Weder die Anzahl der Niederschlagstage noch die Niederschlagsintensität des ECHAM/REMO-Szenarios entsprechen den regional-klimatischen Gegebenheiten. Für den Landschaftswasserhaushalt hätte dies eine nahezu kontinuierliche Wassernachlieferung für die Abflussbildung zur Folge. Insofern sind die Ursachen einer Veränderung der hydrologischen Bedingungen weniger klimatisch, als vielmehr durch die methodisch bedingte Verschiebung der Niederschlagsklassen begründet.

Die Motivation, *MAGICC/SCENGEN* alternativ zu den komplexen Klimaszenarienmodellen einzusetzen, liegt in seiner **allgemeinen Verfügbarkeit** und den vielfältigen Möglichkeiten, durch die Auswahl von Emissionsszenario und globalem Klimamodell die Vergleichbarkeit zu anderen Regionalisierungsansätzen herzustellen (Kap. 4.3.3). Zudem wird der Trend der beobachteten Niederschlagsentwicklung durch das Szenario gut wiedergegeben. Als Nachteil muss hingegen der Raumbezug der regionalen Szenarienerstellung angesehen werden, der für mesoskalige Untersuchungen weitere Methoden der stationsbezogenen Regionalisierung der 0,5°-Raster-Ergebnisse erforderlich macht (Kap. 4.3.3.2). Der Komplexität dynamischer bzw. statistischer downscaling-Methoden kann dieser Ansatz nicht gerecht werden. Betrachtet man jedoch die aufgeführten Nachteile der komplexen Szenarien, wie Stationsrepräsentativität, Trendplausibilität und Datenqualität, so ist der Einsatz eines *MAGICC/SCENGEN*-Szenarios durchaus praktikabel und zudem effizient.

Die Ergebnisse der **semiquantitativen Analyse** der zuvor ausschließlich verbal beschriebenen Stärken und Unsicherheiten der drei Klimaszenarien sind in Tabelle 5.10 zusammengefasst. Unter Berücksichtigung der genannten Verbesserungsoptionen erweist sich das **STAR-Klimaszenario** als **am besten** für Untersuchungen zu den hydrologischen Folgewirkungen von Klimaänderungen, speziell zu Fragen der Wasserverfügbarkeit, geeignet. **Zufrieden stellend** ist die Qualität des **MAGICC/SCENGEN-Szenarios**, dessen Vorteile insbesondere in der Wiedergabe der beobachteten Klimatrends liegen. Die Anwendung

sollte in Verbindung mit komplexen Klimaszenarienmodellen erfolgen, da diese aufgrund der langjährigen Entwicklungsarbeit ein hohes Maß wissenschaftlicher Akzeptanz aufweisen und hinsichtlich ihres Stellenwertes bei der Publikation von Ergebnissen deutlich höher einzuschätzen sind.

Bewertungskriterium		Klimaszenarien		
		MAGICC/SCENGEN-Szenario	STAR-Szenario	ECHAM/REMO-Szenario
Datengrundlagen	Berücksichtigte Klimaparameter als Voraussetzung der Ermittlung von E_{pot} nach <i>TURC/IVANOV</i>	-	+	o
	Raumbezug der regionalen Szenarienerstellung (primäre Datengrundlage)	-	o	+
	Anzahl der verfügbaren Klimastationen nach Regionalisierung (sekundäre Datengrundlage)	+	+	-
Datenplausibilität - Niederschlag	Wiedergabe der Richtung des beobachteten halbjährlichen Trends	+	o	+
	Plausibilität der Stärke des beobachteten halbjährlichen Trends	o	-	+
	Plausibilität der innerjährlichen Niederschlagsverteilung (Regionalbezug)	+	+	--
Datenplausibilität - Temperatur	Wiedergabe des beobachteten halbjährlichen Trends	o	o	o
	Homogenität des Überganges zwischen Basis- und Klimaszenario (Spünge)	++	++	--
Gesamtbewertung		o	+	-
Erläuterung zur Bewertung		++ sehr gut; + gut; o befriedigend; - schlecht; -- sehr schlecht		

Tabelle 5.10: Ergebnisse der semiquantitativen Bewertung der Klimaszenarien

Für die weiterführenden hydrologischen Untersuchungen, speziell die Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees, bilden das STAR- und MAGICC/SCENGEN-Szenario den Schwerpunkt. Hierbei ist einschränkend anzumerken, dass Hochwasseranalysen nicht Gegenstand der Arbeit sind, da klimabedingte Veränderungen der Starkregenhäufigkeit durch die Szenarien nicht wiedergegeben werden (Kap. 4.4.2).

Dahingegen weist das ECHAM/REMO-Szenario eine Reihe nicht zu vernachlässigender Schwächen, vor allem bei der Wiedergabe der zeitlichen Niederschlagsverteilung auf. Inwiefern die Ursachen hierfür im methodischen Ansatz zur Kopplung des REMO-Modells mit Neuro-Fuzzy-Modellen oder in der Erzeugung lokaler Modelle für die Klimastationen liegen, kann an dieser Stelle nicht abschließend geklärt werden.

Konsequenterweise werden die für das Szenario gewonnenen Ergebnisse nur informell aufgeführt und nicht eingehender diskutiert.

Auch wenn für die regionalen Klimaszenarienmodelle gegenwärtig noch Verbesserungsbedarf besteht, so existieren zu ihnen keine vergleichbaren Alternativen, die möglichen Folgewirkungen des globalen Klimawandels auch in der landschaftsbezogenen Mesoskala untersuchen zu können. Hypothetische oder vereinfachte Szenarien sollten nur ergänzend, z.B. im Rahmen von Sensitivitätsanalysen verwendet werden. Allerdings zeigen die genannten Beispiele, dass ein kritischer Umgang mit der Datengrundlage unerlässlich ist, um bereits im Vorfeld mögliche methodische Fehler ausschließen zu können. Des Weiteren ist die Prüfung der Plausibilität der Ergebnisse, vor allem durch den Einsatz der eigenen Gebietskenntnis notwendig. Die Generierung von Szenarien auf Basis von Trendbeobachtungen kann dabei ein wertvolles Hilfsmittel sein.

5.3 Folgewirkungen der Klimaänderungen auf die hydrologischen Verhältnisse

5.3.1 Sensitivitätsanalysen in den Untersuchungsgebieten

Die Anwendung der hypothetischen Szenarien auf die hydrologischen Modelle ermöglicht eine erste Abschätzung der Sensitivität des Landschaftswasserhaushaltes beider Untersuchungsräume gegenüber der Veränderung der klimatischen Randbedingungen.

Querne/Weida	Reale Verdunstung [mm/a]			Grundwasserneubildung [mm/a]			Oberflächenabfluss [mm]			Schmelzwasserabgabe [mm]		
	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr
Basisszenario 1951-2000	423	96	519	-19	31	12	5	4	9	0	52	52
Trendszenario	419	121	540	-25	20	-5	4	5	9	0	38	38
Hypothet.Szenario – T+1,4 K	424	122	546	-23	8	-15	5	4	9	0	27	27
Hypot.Szen. - T +1,4 K/ N-10 %	385	121	506	-26	0	-26	4	3	7	0	23	23
Wipper	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr
Basisszenario 1951-2000	410	83	493	6	112	118	6	7	13	0	114	114
Trendszenario	403	107	510	- 11	90	79	4	8	12	0	85	85
Hypothet.Szenario - T+1,4 K	426	110	536	- 2	81	79	6	6	12	0	63	63
Hypot.Szen. - T+1,4 K/ N-10 %	410	110	520	- 11	45	34	4	5	9	0	55	55

Tabelle 5.11: Wasserhaushaltsgrößen der hypothetischen Szenarien im Vergleich

Für das Trendszenario konnte in beiden Räumen ein Anstieg der potentiellen Verdunstung um etwa 6 % und ein Rückgang der Sommerniederschläge ermittelt werden, der im Wippergebiet besonders ausgeprägt ist (-18 %; Tab. 5.7). Als Folge dessen reduziert sich die Grundwasserneubildung um 17 mm (Querne/Weida) bzw. 39 mm (Wipper) (Tab. 5.11). Um so bedeutender sind die Abflussrückgänge, die Wipper (-40 %) und Querne/Weida (-32 %) zu verzeichnen haben (Tab. 5.12). Anhand des Trendszenarios kann nachweislich eine **Verstärkung des Ausmaßes der Veränderungen** vom Klima über den Wasserhaushalt bis hin zum Abflussrückgang in den Gewässern festgestellt werden.

Die Auswertung der einfachen hypothetischen Szenarien unterstreicht diese erste These und zeigt zudem auf, dass die Dimension der klimatisch bedingten hydrologischen Veränderungen in starkem Maße von den Rahmenbedingungen in den Untersuchungsräumen abhängt.

Durch einen einfachen Temperaturanstieg um 1,4 K erhöht sich die potentielle Verdunstung um 9 % (Querne/Weida) und 10 % (Wipper) (Tab.5.7). Damit verbunden ist eine deutliche Reduzierung der ober- und vor allem unterirdischen Zuflüsse in die Gewässer (Tab. 5.11). Die daraus resultierenden Abflussrückgänge (MQ) an Wipper und Eine um 30 bzw. 36 % (Tab. 5.12) werden trotz vergleichbarer Klimaänderungen dabei deutlich durch die Querne/Weida übertroffen, deren Abfluss um 57 % abnimmt. Die Verringerung des mittleren Niedrigwasserabflusses (MNQ) um 74 % deutet auf eine zusätzliche Verstärkung des Prozesses in Zeiträumen geringerer Wasserverfügbarkeit hin. Daraus lässt sich für das Einzugsgebiet der **Querne/Weida** die Schlussfolgerung einer **stärkeren Empfindlichkeit des hydrologischen Systems** gegenüber klimatischen Veränderungen ziehen, deren Ursache vor allem in der bereits gegenwärtig angespannten hydrologischen Situation liegt.

Das kann eindrucksvoll durch das zweite hypothetische Szenario bestätigt werden, dass zusätzlich eine 10%-ige Niederschlagsabnahme aufweist. Zwar vermindert sich durch das geringere Wasserangebot die reale Verdunstung, doch bewirkt eine weitere Reduzierung der Grundwasserneubildung (Tab. 5.11) eine **umso stärkere Abnahme der Gewässerabflussraten**. Anhand der Niedrigwasserabflüsse kann bereits eine Tendenz zum Trockenfallen der Querne/Weida festgestellt werden.

	MQ [m³/s]			MHQ [m³/s]			MNQ [m³/s]		
	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr
Querne/ Weida (Pegel Stedten)									
Basisszenario 1951-2000	0,256	0,306	0,280	1,100	1,357	1,652	0,148	0,164	0,133
Trendszenario	0,163	0,217	0,190	0,866	1,410	1,550	0,083	0,089	0,072
Hypothet.Szenario - T+1,4 K	0,116	0,124	0,120	0,942	0,786	1,126	0,037	0,046	0,035
Hypot.Szen. - T +1,4 K/ N-10%	0,060	0,057	0,059	0,792	0,553	0,868	0,005	0,008	0,005
Wipper (Pegel Groß Schierstedt)									
Basisszenario 1951-2000	1,190	3,034	2,087	6,225	12,809	13,812	0,479	0,766	0,443
Trendszenario	0,479	2,033	1,236	3,232	11,398	11,334	0,181	0,244	0,157
Hypothet.Szenario - T+1,4 K	0,801	2,177	1,470	4,905	9,810	10,412	0,305	0,458	0,272
Hypot.Szen. - T+1,4 K/ N-10%	0,447	1,191	0,808	3,500	5,752	6,267	0,150	0,182	0,124
Eine (Pegel Stangerode)									
Basisszenario 1951-2000	0,177	0,377	0,274	0,748	1,659	1,794	0,072	0,116	0,063
Trendszenario	0,112	0,257	0,183	0,427	1,504	1,495	0,048	0,053	0,036
Hypothet.Szenario - T+1,4 K	0,114	0,238	0,174	0,512	1,151	1,212	0,048	0,058	0,038
Hypot.Szen. - T+1,4 K/ N-10%	0,064	0,108	0,085	0,364	0,664	0,709	0,026	0,025	0,018

Tabelle 5.12: Gewässerkundliche Hauptzahlen der hypothetischen Szenarien im Vergleich

Aus dem Einsatz hypothetischer Szenarien lassen sich erste Erkenntnisse zur Empfindlichkeit der hydrologischen Systeme gegenüber klimatischen Variationen ableiten:

- Eine Temperaturerhöhung um 1,4 K hätte neben einer Erhöhung der Verdunstung vor allem einen Rückgang der Grundwasserneubildungsraten zur Folge, der sich bei einer zusätzlich betrachteten 10%-igen Niederschlagsabnahme überproportional verstärkt.
- Die klimatischen Veränderungen sowie die Reduzierung der Abflussbildung führen zu einer umso stärkeren Verminderung der Gewässerabflüsse, gleichbedeutend mit einer Potenzierung der Folgewirkungen für den Abflusskonzentrationsprozess.
- Das Beispiel des Einzugsgebietes der Querne/Weida beweist, dass das Ausmaß der hydrologischen Konsequenzen überwiegend durch die regionalen klimatischen und hydrologischen Randbedingungen (z.B. die klimatische Wasserbilanz) gesteuert wird, als durch die Klimaänderungen selbst. So wirkt eine 10 %-ige Reduzierung des Niederschlages nicht in jedem Untersuchungsgebiet gleichermaßen, sondern in stärkerem Maße in pluvioklimatisch und hydrologisch benachteiligten Regionen.

Dies unterstreicht die Notwendigkeit, bei Untersuchungen zu den Folgewirkungen regionaler Klimaänderungen auf Gebiete zu fokussieren, die, wie das Umfeld des Salzigen Sees, durch eine angespannte Wasserhaushaltssituation geprägt sind.

5.3.2 Hydrologische Auswirkungen im Untersuchungsgebiet Querne/Weida

5.3.2.1 Veränderungen des Wasserhaushaltes

Die geringere Wasserverfügbarkeit infolge abnehmender Niederschläge führt trotz ansteigender Temperaturen beim STAR-Szenario zu einem Rückgang der **Verdunstungsraten** im Sommerhalbjahr. Demgegenüber kommt es bei beiden Szenarien zu einer deutlichen Erhöhung der realen Verdunstung im Winter (Tab. 5.13). Als Ursache können neben zunehmenden Niederschlägen (MAGICC/SCENGEN) die verminderte frostbedingte Bindung von Bodenwasser und ein erhöhter kapillarer Aufstieg, verbunden mit einer verstärkten Zehrung von grundwassernahen Flächen, genannt werden. Im Jahresdurchschnitt ist von

steigenden Verdunstungsraten auszugehen. Hierbei zeigen die bereits gegenwärtig durch eine hohe Evapotranspiration geprägten Regionen den höchsten Anstieg. Dazu zählen die grundwassernahen Bereiche entlang der Fließgewässer sowie im Seebecken des Salzigen Sees, aber auch Wald- und Wiesenflächen (Abb. 5.14 & Karte 31).

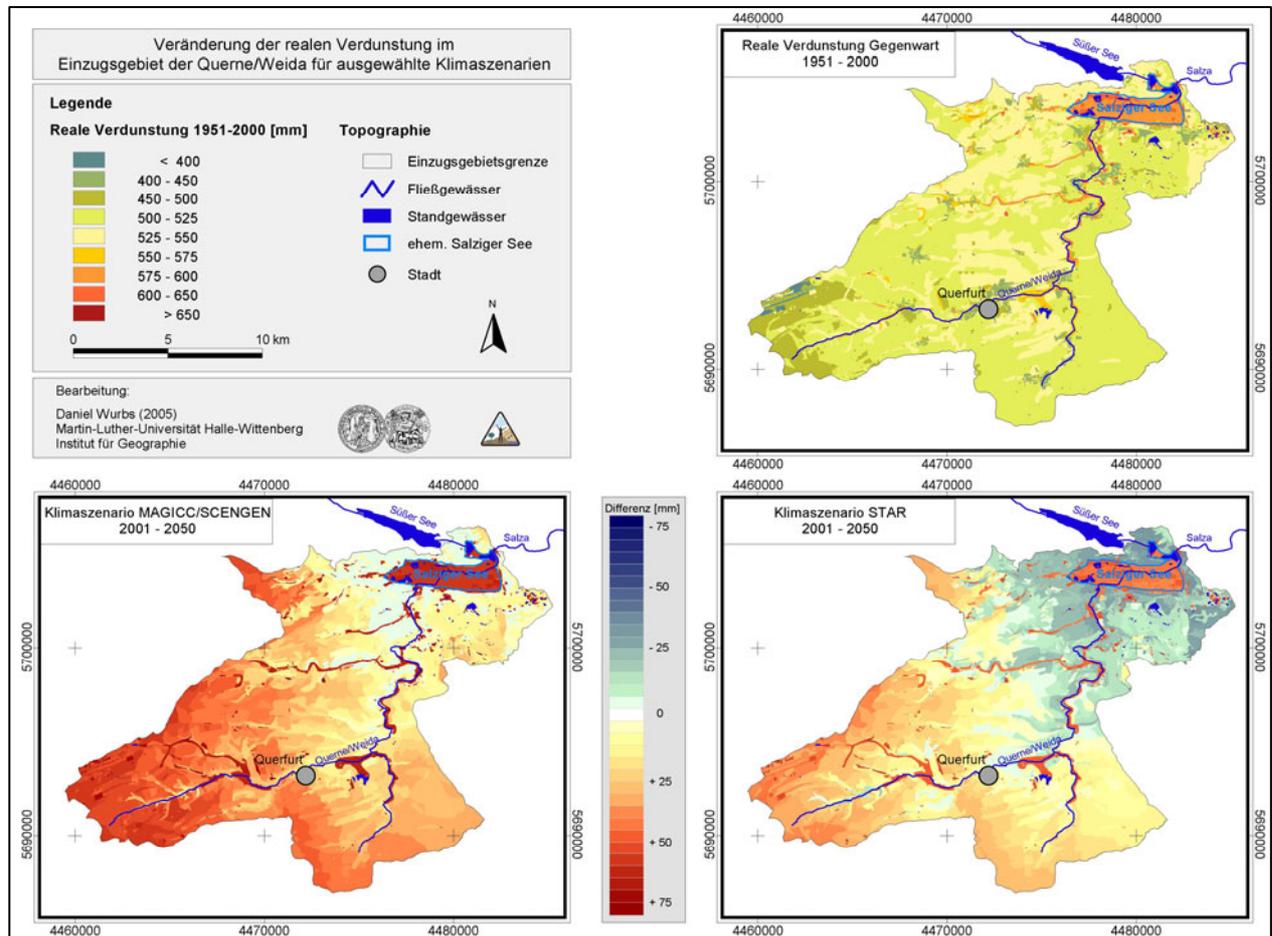


Abbildung 5.14: Veränderung der Realen Verdunstung im Einzugsgebiet der Querne/Weida

Als Folge eines geringeren Niederschlagsdargebotes und des Verdunstungsanstieges hat das Einzugsgebiet der Querne/Weida für beide Klimaszenarien einen deutlichen Rückgang der **Grundwasserneubildungsraten** zu verzeichnen. Existieren zum gegenwärtigen Zeitpunkt Zehrgebiete in den grundwassernahen Flussauen und im Bereich des Salzigen Sees, so sind diese Flächen in starker Ausdehnung nach Süden begriffen (Karte 28). Im Gebietsmittel übersteigt die Grundwasserzehrung die Neubildung (Tab. 5.13).

	Reale Verdunstung [mm/a]			Grundwasserneubildung [mm/a]			Oberflächenabfluss [mm]			Schmelzwasserabgabe [mm]		
	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr
Querne/Weida												
Basisszenario 1951-2000	423	96	519	- 19	31	12	5	4	9	0	52	52
MAGICC/SCENGEN-Szenario	424	125	549	- 26	6	- 20	4	4	8	0	26	26
STAR-Szenario	412	117	529	- 25	5	- 20	4	4	8	0	50	50
ECHAM/REMO-Szenario	403	114	517	- 29	35	6	1	5	6	0	16	16

Tabelle 5.13: Wasserhaushaltsgrößen im Einzugsgebiet der Querne/Weida für die regionalen Klimaszenarien

Zwischen den Klimaszenarien ist eine gute Übereinstimmung bezüglich der räumlichen Verteilung des Sickerwasserrückganges festzustellen. Zum einen weisen die grundwassernahen Bereiche gleichermaßen einen überdurchschnittlichen Anstieg der Grundwasserzehrung auf. Andererseits ist eine besonders ausge-

prägte Reduzierung im niederschlagsreicheren Südwesten des Untersuchungsgebietes erkennbar (Abb. 5.15).

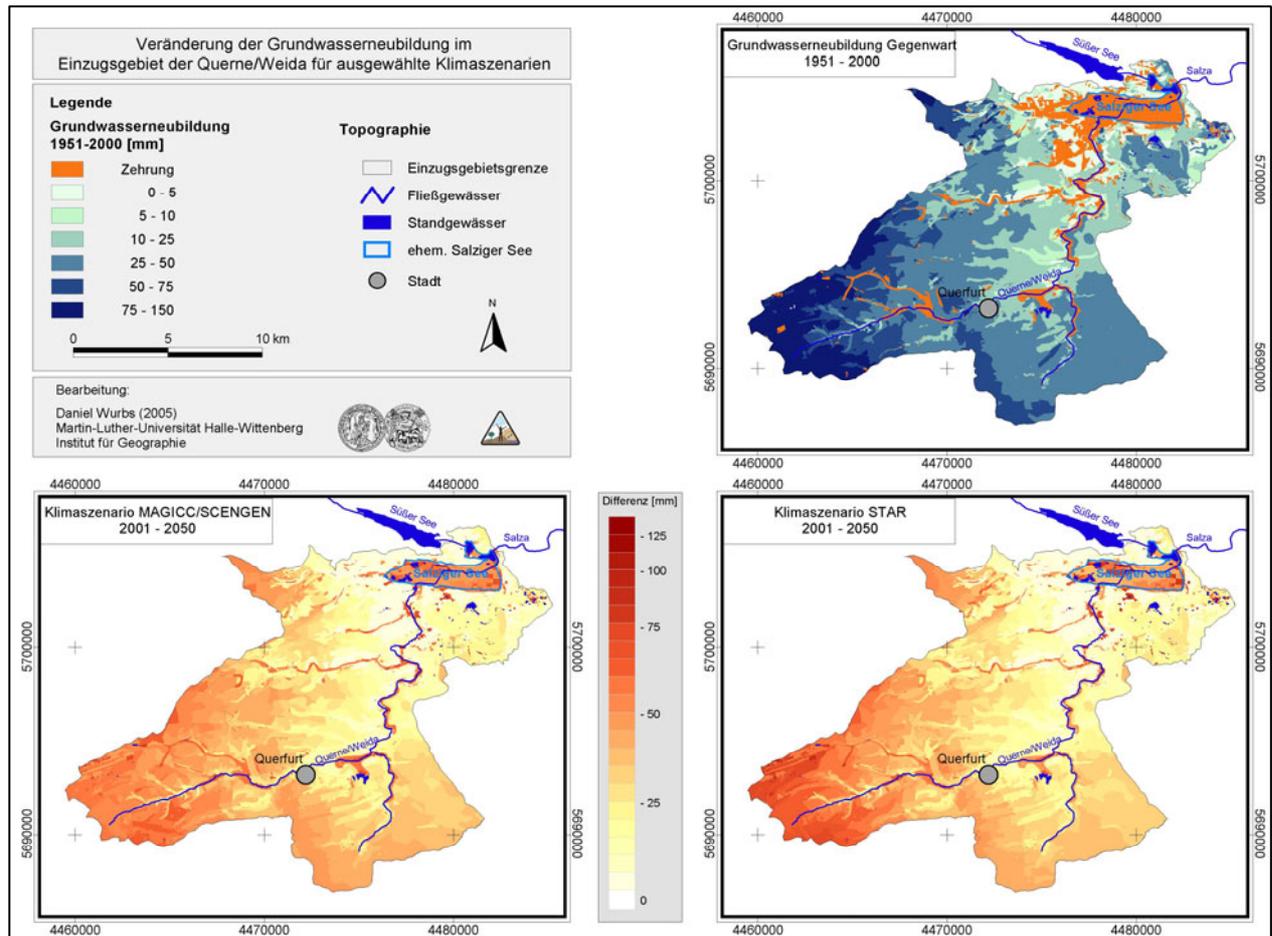


Abbildung 5.15: Veränderung der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Querne/Weida

Verglichen mit dem Grundwasserzustrom hat der oberirdische Zufluss eine eher untergeordnete Bedeutung für den Abflussbildungsprozess. Unter dem Aspekt, dass die Veränderung von Niederschlagsextremen bei den Klimaszenarien nicht berücksichtigt wurde, führen die Niederschlagsrückgänge im Einzugsgebiet zugleich zur Reduzierung des **Oberflächenabflusses**. Aufgrund des nur geringen Ausmaßes der Veränderung kann dieser nahezu vernachlässigt werden (Karten 29 & 33).

Für die **Schmelzwasserabgabe**, die auf ebenen und mäßig geneigten Flächen in der Bilanzierung der Grundwasserneubildung bereits enthalten ist, lässt sich erwartungsgemäß der temperaturbedingte Rückgang der Abgabemengen infolge geringeren Schneedarbietes feststellen (Tab. 5.13; Karten 30 & 34).

Aus der klimabedingten Verringerung der Wasserverfügbarkeit lassen sich tiefgreifende Veränderungen für den Gewässerabfluss erwarten, den es nachfolgend zu untersuchen gilt.

5.3.2.2 Veränderungen des Gewässerabflusses

Die flächendeckende Reduzierung des Gebietsabflusses, speziell der Rückgang des Grundwasserzustroms, führt bei den Klimaszenarien MAGICC/SCENGEN und STAR gleichermaßen zu einem Abflussrückgang der Querne/Weida um zwei Drittel. Einen für den Szenarienzeitraum 2001 bis 2050 simulierten **mittleren Abfluss** von weniger als 100 l/s weist im Durchschnitt keines der Abflussjahre von 1951 - 2000 auf. Noch gravierender ist die Veränderung des **Niedrigwasserabflusses**. Hier bestätigt sich die im Ergebnis der

Sensitivitätsanalysen aufgestellte These, dass der Abflussrückgang verstärkt in trockenen Perioden erfolgt. Für beide Szenarien lassen sich beim MNQ Rückgangsraten um etwa 85 % feststellen (Tab. 5.14).

	Basisszenario			MAGICC/SCENGEN-Szenario			STAR-Szenario			ECHAM/REMO-Szenario		
	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr
Abflusskennwerte												
MQ [m³/s]	0,255	0,305	0,280	0,090	0,099	0,094	0,092	0,093	0,093	0,172	0,290	0,232
Veränderung [%]				- 64,7	- 67,5	- 66,4	- 63,9	- 69,5	- 66,8	- 32,5	- 4,9	- 17,1
MHQ [m³/s]	1,100	1,357	1,652	0,862	0,760	1,041	0,879	0,712	0,982	0,319	0,563	0,566
Veränderung [%]				- 21,6	- 44,0	- 37,0	- 20,1	- 47,5	- 40,1	- 71,0	- 58,5	- 65,7
HHQ [m³/s]	3,357	11,680	11,680	2,473	5,499	5,499	2,349	2,640	2,640	0,519	1,187	1,187
Veränderung [%]				- 26,3	- 52,9	- 52,9	- 30,0	- 77,4	- 77,4	- 81,2	- 89,8	- 89,8
MNQ [m³/s]	0,148	0,164	0,133	0,022	0,029	0,021	0,024	0,027	0,020	0,104	0,159	0,102
Veränderung [%]				- 85,1	- 82,3	- 84,2	- 83,8	- 83,5	- 85,0	- 29,7	- 3,0	- 23,3
NNQ [m³/s]	0,020	0,025	0,020	0,006	0,007	0,006	0,003	0,004	0,003	0,033	0,059	0,033
Veränderung [%]				- 70,0	- 72,0	- 70,0	- 85,0	- 84,0	- 85,0	+ 65,0	+136,0	+ 65,0
Abflussspenden												
Mq [l/(s*km²)]	1,474	1,763	1,618	0,520	0,572	0,543	0,532	0,538	0,538	0,994	1,676	1,341
MHQ [l/(s*km²)]	6,358	7,844	9,549	4,983	4,393	6,017	5,081	4,116	5,676	1,844	3,254	3,272
MNQ [l/(s*km²)]	0,855	0,948	0,769	0,127	0,168	0,121	0,139	0,156	0,116	0,601	0,919	0,590

Tabelle 5.14: Gewässerkundliche Hauptzahlen der Querne/Weida für die regionalen Klimaszenarien

Der **mittlere Jahrgang** des Gewässerabflusses der Querne/Weida zeigt für die Klimaszenarien MAGICC/SCENGEN und STAR eine Homogenisierung der jahreszeitlichen Abflüsse (Tab.5.15) infolge eines überdurchschnittlichen Rückganges im Winter (Tab. 5.14). Die Differenz zwischen feuchterem Winter- und trockenerem Sommerhalbjahr ist gegenüber dem Basisszenario weitaus geringer. Neben der Zunahme der Verdunstung in den Wintermonaten ist auch der Rückgang der Schmelzwasserabgabe als Folge zurückgehender Schneefallhäufigkeit als Ursache zu benennen (Tab. 5.13).

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Basisszenario 1951-2000	0,278	0,295	0,356	0,348	0,248	0,254	0,260	0,267	0,256	0,253	0,258	0,287
MAGICC/SCENGEN-Szenario	0,091	0,091	0,112	0,106	0,078	0,092	0,092	0,095	0,090	0,092	0,094	0,097
STAR-Szenario	0,081	0,093	0,114	0,091	0,073	0,093	0,094	0,106	0,098	0,092	0,087	0,088
ECHAM/REMO-Szenario	0,273	0,338	0,368	0,290	0,190	0,168	0,156	0,162	0,169	0,190	0,238	0,242

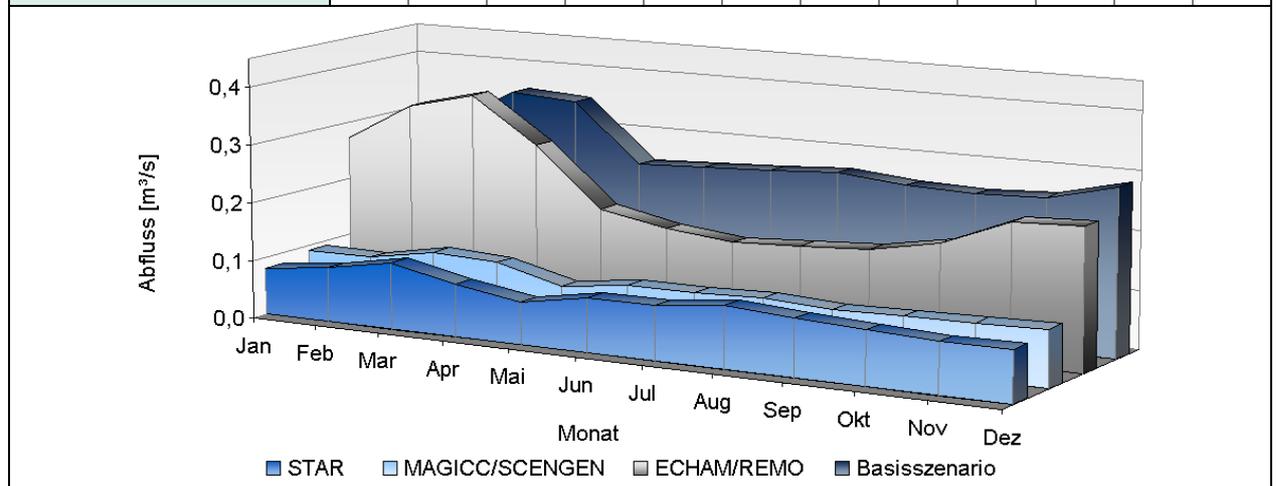


Tabelle 5.15: Mittlere monatliche Gewässerabflüsse der Querne/Weida für die regionalen Klimaszenarien

Die Ergebnisse der **Niedrigwasserstatistik** (Tab. 5.16) sowie die Betrachtung der **Abflussdauerlinien** (Abb. 5.16) verdeutlichen eindrucksvoll, dass der Abflussrückgang vor allem für Perioden niedriger Wasserführung von besonderer Bedeutung ist. Gegenwärtig wird der mittlere Durchfluss MQ an durchschnittlich 215 Tagen im Jahr unterschritten. Die Unterschreitungsdauer erhöht sich für das MAGICC/SCENGEN-Szenario auf 263 und das STAR-Klimaszenario auf 257 Tage, was auf eine Zunahme von Tagen mit unterdurchschnittlichem Gewässerabfluss hinweist.

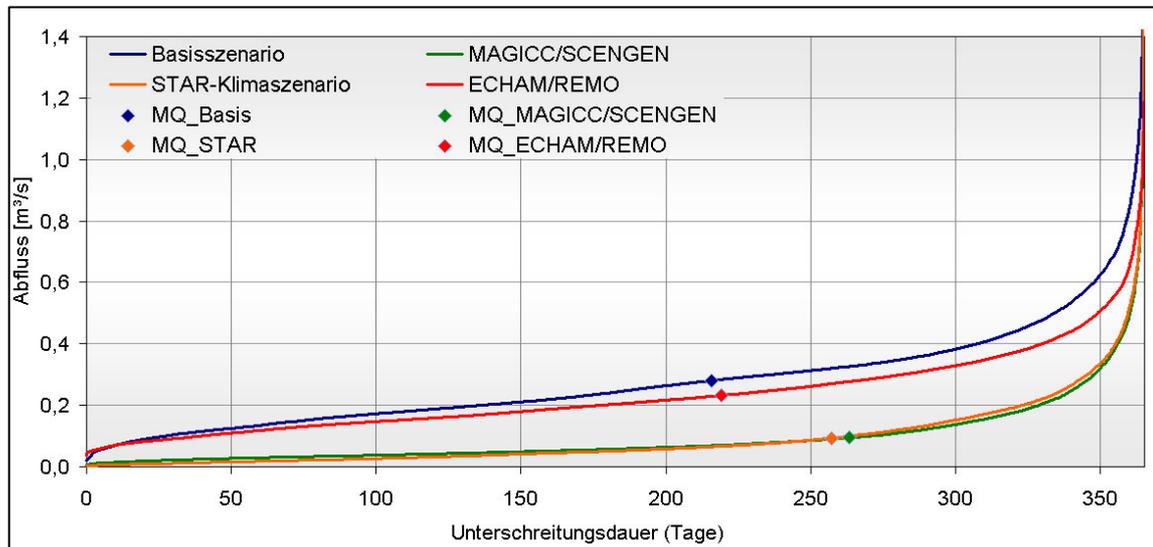


Abbildung 5.16: Abflussdauerlinie der Querne/Weida für die regionalen Klimaszenarien

Die Unterschreitungsdauern der **Abflussschwellenwerte** vergrößern sich bei immer kürzeren Wiederkehrintervallen, wie sich anhand der exemplarisch ausgewählten Unterschreitungsdauern von 7 und 30 Tagen belegen lässt (Tab. 5.16 – rot markierte Werte). Während des Bezugszeitraumes 1951 - 2000 beträgt der minimale Durchflussmittelwert NM_{xQ} , der alle 100 Jahre mit einer Dauer von 7 Tagen unterschritten wird, $0,035 \text{ m}^3/\text{s}$. Für das MAGICC/SCENGEN-Szenario verkürzt sich das Wiederkehrintervall für einen vergleichbaren Wert auf 2 Jahre und erhöht sich gleichzeitig die Dauer der Unterschreitung auf 30 Tage. Beim STAR-Szenario muss hingegen von einer noch längeren Unterschreitungsdauer ausgegangen werden (Anl.Tab. A10). Eine ausführlichere Darstellung der Ergebnisse der Niedrigwasseranalyse für die Querne/Weida erfolgt in Anl.Tab. A10.

Unterschreitungsdauer D	Klimaszenarien	Wiederkehrintervall T					
		2	5	10	20	50	100
7 Tage	Basisszenario	0,137	0,084	0,065	0,052	0,041	0,035
	MAGICC/SCENGEN-Szenario	0,021	0,013	0,010	0,008	0,007	0,006
	STAR-Szenario	0,015	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001
	ECHAM/REMO-Szenario	0,118	0,079	0,064	0,054	0,044	0,039
30 Tage	Basisszenario	0,164	0,105	0,083	0,068	0,055	0,048
	MAGICC/SCENGEN-Szenario	0,036	0,024	0,019	0,016	0,013	0,011
	STAR-Szenario	0,028	0,015	0,011	0,008	0,006	0,005
	ECHAM/REMO-Szenario	0,135	0,091	0,074	0,063	0,052	0,046

Tabelle 5.16: Minimaler Durchflussmittelwert verschiedener Wiederkehrintervalle für ausgewählte Unterschreitungsdauern der Querne/Weida in Abhängigkeit vom Klimaszenario (Verteilungsfunktion – Normalverteilung)

Als Extremfall des Rückganges des Niedrigwasserabflusses kann das Trockenfallen von Gewässern bewertet werden, dessen Häufigkeit (Abfluss < 0,001 m³/s) für den Kriebuschbach, die Querne, den Weidenbach und den Weitzschkerbach untersucht wurde.

Das Basisszenario weist selbst für kurze Zeiträume (1 Tag) kein Trockenfallen eines der genannten Gewässer aus. Demgegenüber nimmt die Häufigkeit kurzfristigen Trockenfallens bei den Klimaszenarien MAGICC/SCENGEN und STAR, insbesondere für den Weidenbach, deutlich zu. Das Auftreten länger andauernder Trockenperioden (7 Tage), bei denen bereits von einer nachhaltigen Beeinträchtigung der aquatischen und ökologischen Systeme im Umfeld der Gewässer ausgegangen werden muss, tritt am Weidenbach durchschnittlich 2-4 mal pro Jahr auf. Für die anderen Gewässer sowie längere Trockenfalldauern muss hingegen von einem mehrjährigen Wiederkehrintervall ausgegangen werden.

	Trockenfalldauer D (Tage)					
	1	7	14	30	60	90
Weidenbach						
Basisszenario	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MAGICC/SCENGEN-Szenario	34,4	1,9	0,4	0,1	0,0	0,0
STAR-Szenario	63,4	3,6	0,6	0,1	0,0	0,0
ECHAM/REMO-Szenario	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Querne						
Basisszenario	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MAGICC/SCENGEN-Szenario	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
STAR-Szenario	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ECHAM/REMO-Szenario	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kriebuschbach						
Basisszenario	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MAGICC/SCENGEN-Szenario	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
STAR-Szenario	8,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
ECHAM/REMO-Szenario	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Weitzschkerbach						
Basisszenario	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MAGICC/SCENGEN-Szenario	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
STAR-Szenario	22,3	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0
ECHAM/REMO-Szenario	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 5.17: Durchschnittliche jährliche Häufigkeit des Trockenfallens ausgewählter Gewässer im Einzugsgebiet der Querne/Weida, in Abhängigkeit von der Trockenfalldauer

Für das Abflussverhalten der Gewässer im Einzugsgebiet der Querne/Weida lassen sich aus der klimabedingten Veränderung der Wasserhaushaltssituation folgende Konsequenzen für die Klimaszenarien MAGICC/SCENGEN und STAR zusammenfassen:

- Die **Querne/Weida** weist einen mittleren **Abflussrückgang um etwa 2/3** auf
- **Überdurchschnittlicher Abflussrückgang** in den **Nebengewässern** bis hin zum Trockenfallen
- **Zunahme** der Tage **unterdurchschnittlichen Abflusses**
- **Veränderung** der Klima- und Wasserhaushaltssituation wirkt sich **überproportional** auf sensible Abflusskomponenten, in diesem Fall den Trockenwetter- bzw. **Niedrigwasserabfluss** aus
→ Bestätigung der Hypothese aus Kapitel 5.3.1
- **Klimaszenarien** STAR und MAGICC/SCENGEN mit tendenziell **ähnlicher Entwicklung**

Aus der Veränderung der Abflussverhältnisse im Einzugsgebiet der Querne/Weida lassen sich eine Vielzahl hydrologisch-ökologischer Konsequenzen für weitere Kompartimente der Landschaft erwarten, woraus sich vor allem für die Wasserbilanzverhältnisse des wieder entstehenden Salzigen Sees (Kap. 5.4) ein besonderes Konfliktpotential ableiten lässt.

Die Ergebnisse für das ECHAM/REMO-Szenario zeigen, dass nicht nur die Niederschlagsmenge, sondern vor allem deren innerjährliche Verteilung als Steuerfaktor im landschaftlichen Abflussprozess wirken. Die geringen, aber an über 300 Tagen des Jahres auftretenden Niederschläge führen zu einer ganzjährigen Abflussbildung (Kap. 5.2.3). Auch wenn das sommerliche Niederschlagsdefizit dadurch nicht vollends kompensiert werden kann, würden die Folgen für den Wasserhaushalt deutlich abgemindert werden.

Die überwiegend methodisch bedingte Veränderung der innerjährlichen Niederschlagsverteilung wurde hinsichtlich ihrer Plausibilität in Kap. 5.2.4 ausführlich diskutiert. Im Rahmen einer anwendungsorientierten hydrologischen Modellierung für Szenarienanalysen lassen sich demzufolge aus dem ECHAM/REMO-Szenario nur begrenzt Aussagen zu den hydrologischen Folgewirkungen von Klimaänderungen ableiten.

In den nachfolgenden Datenblättern (Abbildungen 5.17 & 5.18) sind die charakteristischen Abflussmerkmale der Querne/Weida für die Klimaszenarien MAGICC/SCENGEN und STAR zusammengefasst. Eine ausführliche Darstellung der hydrologischen Kennwerte ausgewählter Gewässer im Einzugsgebiet ist den Tab. Anl.A17.1 bis 17.5 zu entnehmen.

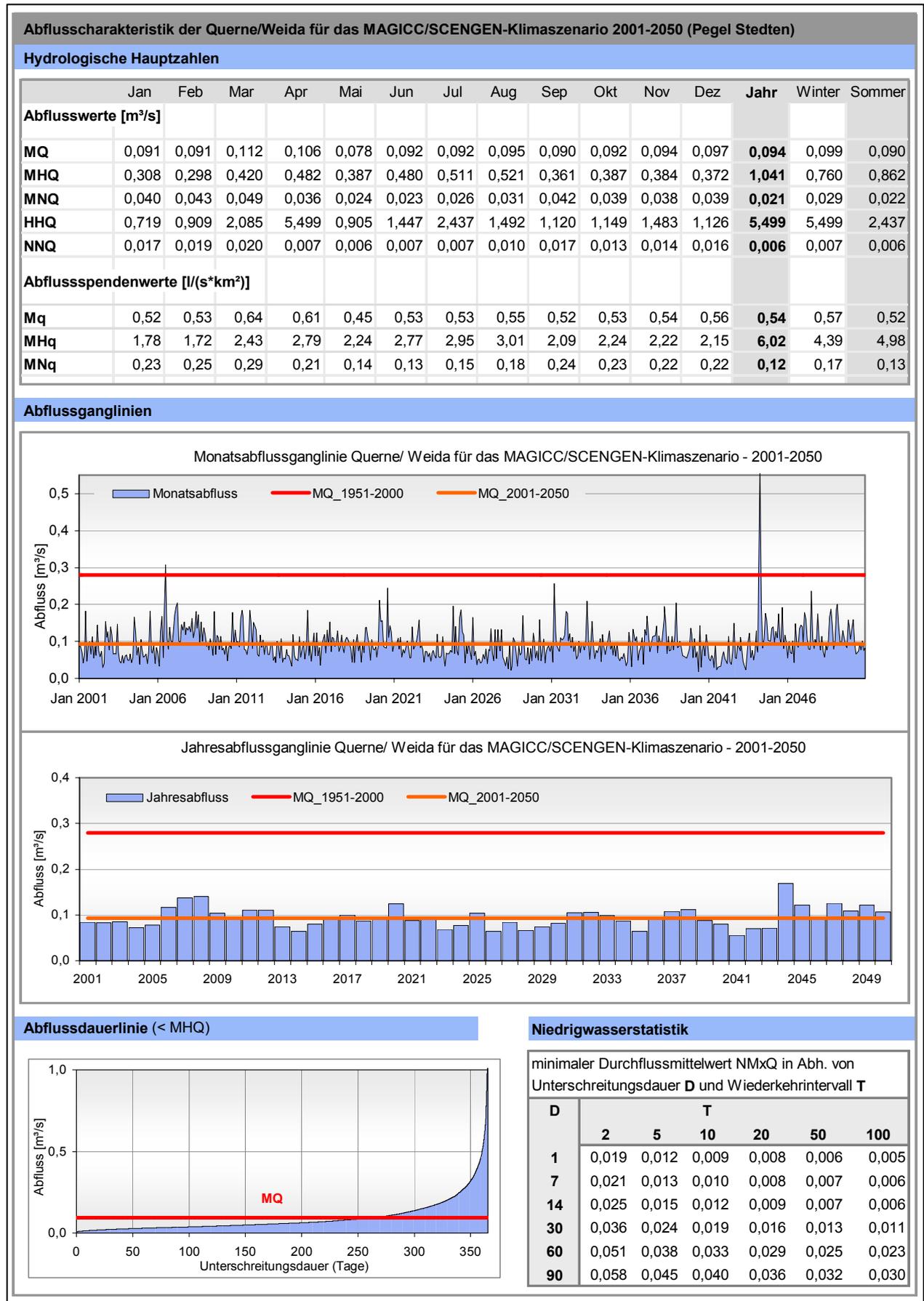


Abbildung 5.17: Abflusscharakteristik der Querne/Weida für das MAGICC/SCENGEN-Klimaszenario 2001-2050

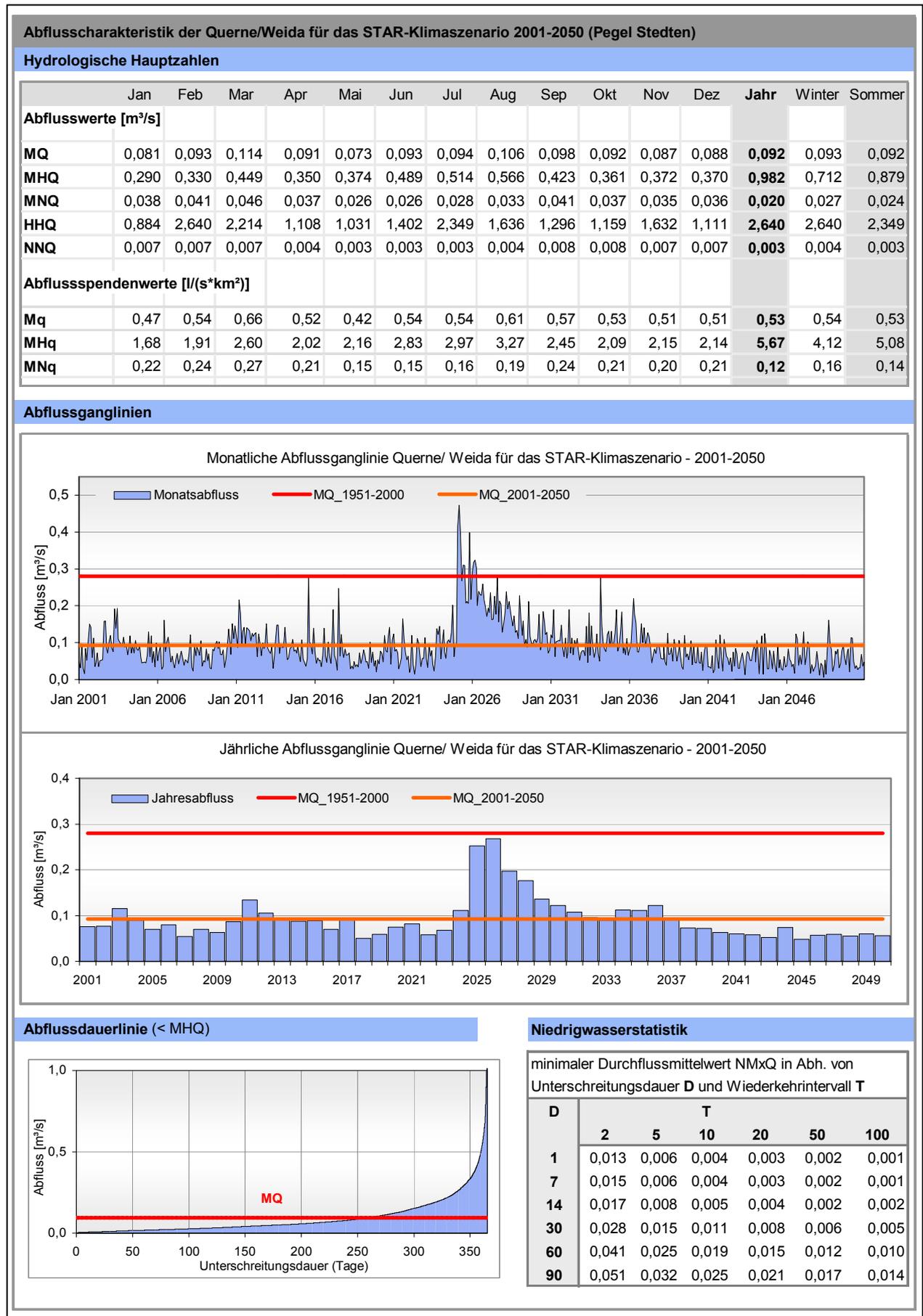


Abbildung 5.18: Abflusscharakteristik der Querne/Weida für das STAR-Klimaszenario 2001-2050

5.3.3 Hydrologische Auswirkungen im Untersuchungsgebiet Wipper

5.3.3.1 Veränderungen des Wasserhaushaltes

Die Wasserhaushaltsverhältnisse im Einzugsgebiet der Wipper zeigen gegenüber der Querne/Weida eine stärkere Abhängigkeit vom gewählten Klimaszenario und der damit verbundenen klimatischen Entwicklung. Dabei wird die sehr enge Wechselwirkung zwischen der temperaturbedingten Veränderung der potentiellen Evapotranspiration und der Wasserverfügbarkeit durch das abzuschätzende Niederschlagsangebot erkennbar. Für die betrachteten Klimaszenarien STAR und MAGICC/SCENGEN lässt sich durch den Anstieg der potentiellen Verdunstung eine Zunahme der realen **Verdunstung** von der Landoberfläche im Jahres- und Gebietsmittel feststellen (Tab. 5.18). Dabei weist das MAGICC/SCENGEN-Szenario eine vergleichsweise starke Erhöhung auf, die sich gegenüber dem STAR-Szenario mit einem überdurchschnittlichen Temperaturanstieg und vergleichsweise gering veränderten Jahresniederschlägen begründen lässt (Tab. 5.9). Die reduzierte Wasserverfügbarkeit infolge abnehmender Niederschläge gleicht eine temperaturbedingte Erhöhung der realen Verdunstung im Sommer beim STAR-Szenario nahezu aus. Demgegenüber weisen beide Szenarien im Winterhalbjahr eine Zunahme der Verdunstungsverluste um 37 bzw.

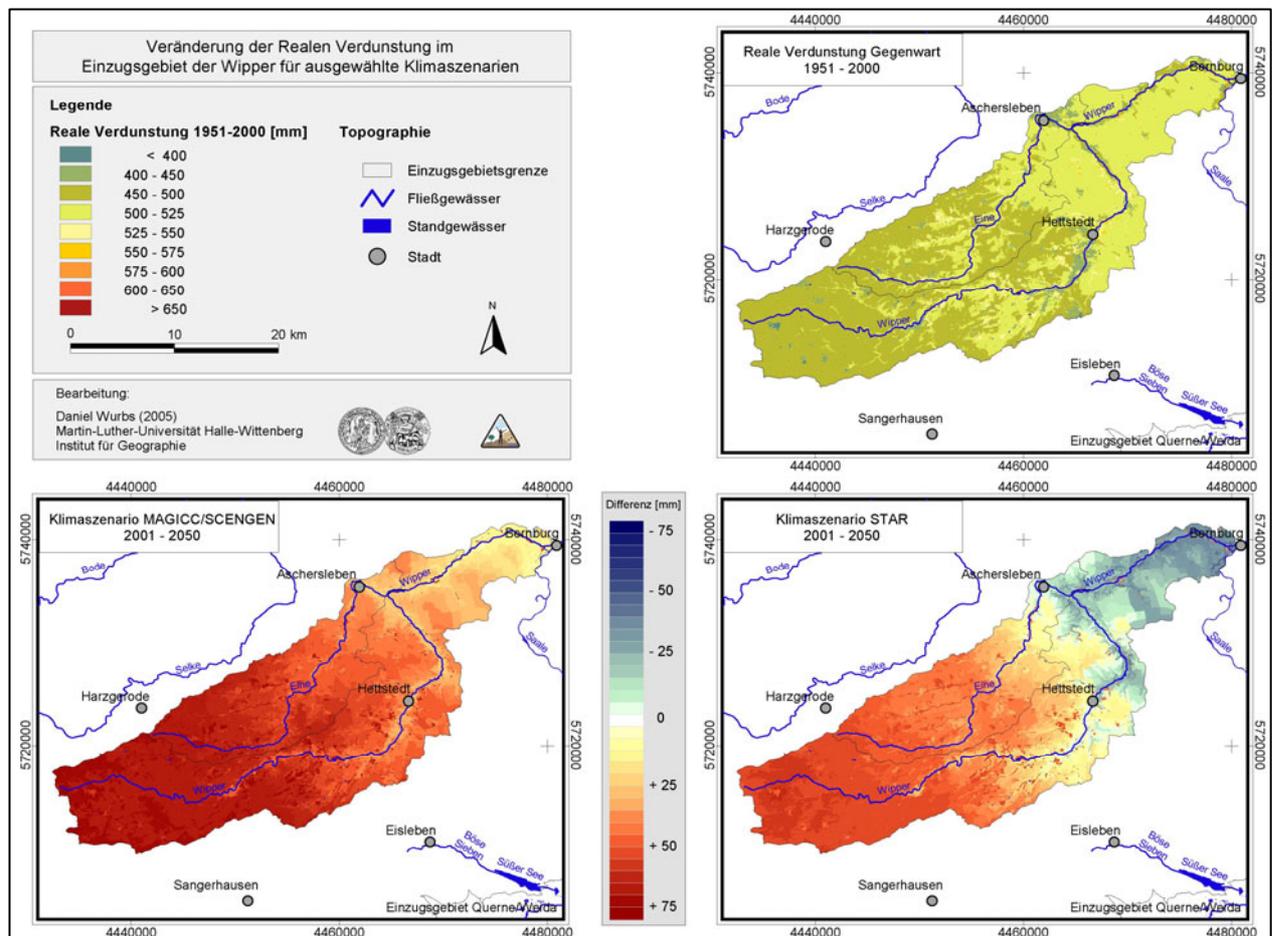


Abbildung 5.19: Veränderung der Realen Verdunstung im Einzugsgebiet der Wipper

28 % auf. Bei Betrachtung der räumlichen Verteilung wird deutlich, dass der größte Anstieg der Verdunstungsraten in den oberen Lagen erfolgt (Abb. 5.19). Da in diesen Bereichen die Niederschlagsrückgänge am geringsten sind oder sogar leichte Zunahmen zu verzeichnen sind, ist die Wasserverfügbarkeit und demzufolge auch das Verdunstungspotential von der Landoberfläche in geringerem Maße vermindert worden als im unteren Einzugsgebiet der Wipper (Karten 27 & 31).

Wipper	Reale Verdunstung [mm/a]			Grundwasserneubildung [mm/a]			Oberflächenabfluss [mm]			Schmelzwasserabgabe [mm]		
	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr
Basisszenario 1951-2000	410	83	493	6	112	118	6	7	13	0	114	114
MAGICC/SCENGEN-Szenario	431	114	545	- 7	75	68	5	6	11	0	61	61
STAR-Szenario	411	107	518	- 8	52	44	5	5	10	0	90	90
ECHAM/REMO-Szenario	416	98	514	- 15	118	103	1	6	7	0	52	52

Tabelle 5.18: Wasserhaushaltsgrößen im Einzugsgebiet der Wipper für die regionalen Klimaszenarien

Infolge der zunehmenden Verdunstung und der daraus resultierenden verstärkten Zehrung aus der oberen Bodenzone lässt sich ein erheblicher Rückgang der **Grundwasserneubildungsraten** um über 60 % beim STAR-Klimaszenario erwarten. Beim MAGICC/SCENGEN-Szenario führt die Niederschlagszunahme im Winterhalbjahr zu einer Abschwächung der Verdunstungsverluste und einem geringeren Rückgang der Sickerwasserraten (-42 %) (Tab. 5.18). Davon betroffen sind vor allem die Bereiche mit einer gegenwärtig hohen Grundwasserneubildungsrate in den oberen Lagen des Einzugsgebietes (Abb. 5.20). Obgleich die Harzvorlandgebiete von einer bedeutenderen Niederschlagsabnahme betroffen sind, fällt dort der Rückgang der Grundwasserneubildung vergleichsweise gering aus (Abb. 5.20). Begründet durch die bereits gegenwärtig geringen Sickerwasserraten, ist dort das Potential einer weiteren Abnahme begrenzt. Hier lassen sich Gemeinsamkeiten zum Untersuchungsgebiet der Querne/Weida feststellen (Karten 28 & 32).

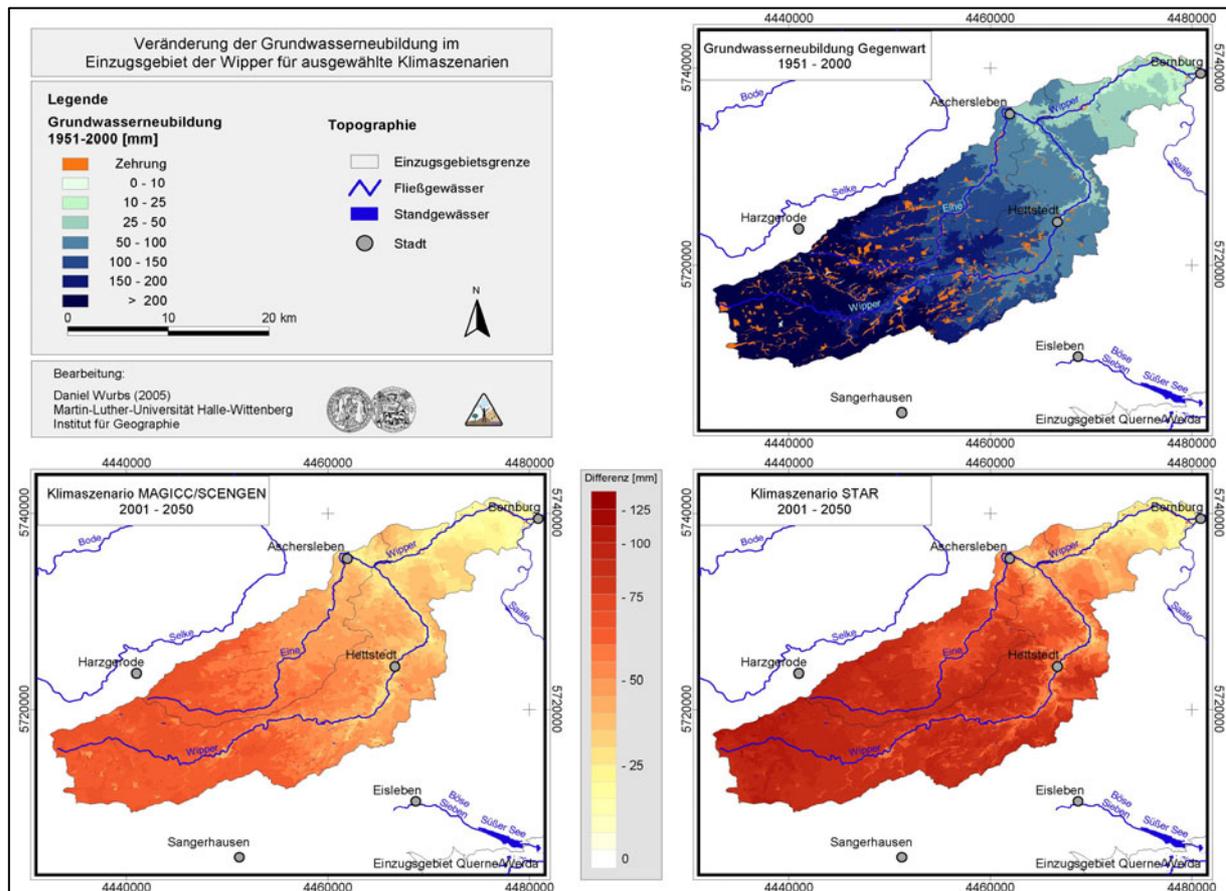


Abbildung 5.20: Veränderung der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Wipper

Während beim **Oberflächenabfluss** nur geringe Veränderungen auftreten (Karten 29 & 33), spiegelt der Rückgang der **Schmelzwasserabgabe** die unterschiedliche Temperaturentwicklung der Szenarien wider, wobei der stärkere Rückgang fester Niederschläge (Schnee) bei MAGICC/SCENGEN zu einer verminderten Abgabe von Schmelzwasser führt (Karten 30 & 34).

5.3.3.2 Veränderungen des Gewässerabflusses

Die Veränderung der Klima- und Wasserhaushaltsverhältnisse lässt bezüglich der Folgen für den Gewässerabfluss der Wipper und ihrer Nebenflüsse regionale Unterschiede erwarten. Um diese hinsichtlich möglicher Ursachen weiter differenzieren zu können, wurden für die Ergebnisinterpretation Gewässerpegel als Bezugspunkte ausgewählt, welche die Abflussverhältnisse eines Gebietes spezifischer Nutzungs-, Höhen- und Klimaverhältnisse charakterisieren. Das Einzugsgebiet oberhalb des Wipperpegels **Mansfeld-Leimbach** repräsentiert das Mittel- und Unterharzgebiet mit einem Waldanteil von 51 % und einer durchschnittlichen Geländehöhe von 386 m NN. Der Pegel **Groß Schierstedt** befindet sich im unteren Einzugsgebiet, das bereits Teil des Mitteldeutschen Trockengebietes ist. Zwischen beiden Punkten nimmt der Anteil der Acker- und Siedlungsfläche deutlich zu. Ergänzend hierzu wird das Abflussverhalten der Eine oberhalb des **Pegels Stangerode** (265 m NN) aufgeführt, wobei die Ergebnisse aufgrund der geringeren Modellgüte einer größeren Unsicherheit unterliegen (Kap. 5.1.1.2).

	Basisszenario			MAGICC/SCENGEN-Szenario			STAR-Szenario			ECHAM/REMO-Szenario		
	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr	So-HJ	Wi-HJ	Jahr
Wipper (Groß Schierstedt)												
MQ [m³/s]	1,190	3,034	2,087	0,688	1,978	1,313	0,519	1,436	0,963	0,646	3,063	1,858
Veränderung [%]				- 42,2	- 34,8	- 37,1	- 56,4	- 52,7	- 53,9	- 45,7	+ 1,0	- 11,0
MHQ [m³/s]	6,225	12,809	13,812	4,272	9,534	9,915	4,291	7,911	8,709	1,897	6,572	6,587
Veränderung [%]				- 31,4	- 25,6	- 28,2	- 31,1	- 38,2	- 36,9	- 69,5	- 48,7	- 52,3
MNQ [m³/s]	0,479	0,766	0,443	0,266	0,358	0,230	0,179	0,272	0,164	0,361	0,496	0,355
Veränderung [%]				- 44,4	- 53,3	- 48,1	- 62,6	- 64,4	- 63,0	- 24,6	- 35,2	- 19,9
Spendenwert Mq [l/(s*km)]	2,19	5,58	3,84	1,27	3,64	2,41	0,95	2,64	1,77	1,19	5,63	3,42
Wipper (Mansf.-Leimbach)												
MQ [m³/s]	0,589	1,975	1,265	0,357	1,423	0,877	0,305	1,124	0,704	0,323	2,259	1,292
Veränderung [%]				- 39,4	- 27,9	- 30,7	- 48,2	- 43,1	- 44,3	- 45,2	+ 14,3	+ 2,1
MHQ [m³/s]	3,467	8,117	8,752	2,246	6,277	6,534	2,253	5,682	6,041	1,200	4,795	4,808
Veränderung [%]				- 35,2	- 22,7	- 25,3	- 35,0	- 30,0	- 31,0	- 65,4	- 40,9	- 45,1
MNQ [m³/s]	0,164	0,341	0,159	0,114	0,190	0,104	0,099	0,170	0,091	0,168	0,232	0,167
Veränderung [%]				- 30,5	- 44,3	- 34,6	- 39,6	- 50,1	- 42,8	+ 2,4	- 32,0	+ 5,0
Spendenwert Mq [l/(s*km)]	2,81	9,41	6,02	1,70	6,78	4,18	1,45	5,35	3,35	1,54	10,76	6,15
Eine (Stangerode)												
MQ [m³/s]	0,177	0,377	0,274	0,099	0,199	0,148	0,072	0,133	0,102	0,121	0,354	0,239
Veränderung [%]				- 44,1	- 47,2	- 46,0	- 59,3	- 64,7	- 62,8	- 31,6	- 6,1	- 12,8
MHQ [m³/s]	0,748	1,659	1,794	0,439	1,086	1,109	0,488	1,109	1,219	0,278	0,803	0,808
Veränderung [%]				- 41,3	- 34,5	- 38,2	- 34,8	- 33,2	- 32,1	- 62,8	- 51,6	- 55,0
MNQ [m³/s]	0,072	0,116	0,063	0,042	0,046	0,031	0,031	0,038	0,024	0,064	0,087	0,063
Veränderung [%]				- 41,7	- 60,3	- 50,8	- 56,9	- 67,2	- 61,9	- 11,1	- 25,0	0,0
Spendenwert Mq [l/(s*km)]	2,35	5,00	3,64	1,31	2,64	1,97	0,96	1,77	1,35	1,61	4,70	3,17

Tabelle 5.19: Gewässerkundliche Hauptzahlen der Wipper und Eine für die regionalen Klimaszenarien

Die **mittleren Abflussraten** der Wipper und Eine weisen einen deutlichen Rückgang auf, mit regional unterschiedlichem Ausmaß. Auch zwischen den Klimaszenarien sind zum Teil erhebliche Differenzen festzustellen. Ausgehend von einer ganzjährigen Reduzierung des Niederschlages und der dadurch verringerten Abflussbildung, weist das STAR-Klimaszenario einen Rückgang um etwa 54 % für das gesamte

Einzugsgebiet auf. Im Gegensatz dazu liegen die Rückgangsraten des MAGICC/SCENGEN-Szenarios sowohl für das Gesamtgebiet als auch die betrachteten Teilgebiete deutlich darunter (Tab. 5.19).

Die regionalen Unterschiede in der Veränderung der Wasserhaushaltssituation, speziell des Rückganges der Grundwasserneubildung, spiegeln sich nicht in gleichem Maße in der Abflussänderung wider. Trotz der überdurchschnittlichen Reduzierung der Sickerwasserraten im oberen Einzugsgebiet (Kap. 5.3.3.1), weist die Wipper am Pegel Mansfeld-Leimbach einen um 6 bis 10 % geringeren Abflussrückgang auf als in ihrem Unterlauf (Pegel Gr.Schierstedt). Insofern erhöht sich die relative Abnahme des mittleren und niedrigen Abflusses vom Ober- zum Unterlauf. Das kann zusätzlich für den Pegel Wippra bestätigt werden, an dem die Abflussrückgänge nochmals um 4 bis 5 % niedriger ausfallen als am 12 km unterhalb gelegenen Pegel Mansfeld-Leimbach (Tab. Anl.A17.6).

Die Auswertung der hydrologischen Kennzahlen verdeutlicht, dass die absolute Veränderung der Wasserverfügbarkeit im Einzugsgebiet nicht zwangsläufig zu einer entsprechenden Veränderung des Gewässerabflusses führt. Vielmehr zeigt sich, dass klimatisch und hydrologisch begünstigte Bereiche unempfindlicher gegenüber Veränderungen des Landschaftswasserhaushaltes sind als Gebiete mit einer vergleichsweise geringen Wasserverfügbarkeit, was die Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen bestätigt (Kap. 5.3.1).

Dokumentiert werden die szenarien- und gebietsabhängigen Unterschiede bei Betrachtung der **inneran-nuellen Abflussveränderung** (Tab.5.20 & Abb.5.21). Hierbei zeigt das STAR-Klimaszenario nahezu ganzjährig größere Abflussrückgänge als das MAGICC/SCENGEN-Szenario auf.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Wipper (Groß Schierstedt)												
Basisszenario 1951-2000	2,733	3,093	4,027	4,018	1,720	1,237	1,124	1,031	0,922	1,099	1,714	2,352
MAGICC/SCENGEN-Szenario	1,892	2,258	2,696	2,414	1,011	0,739	0,662	0,592	0,539	0,583	0,905	1,520
STAR-Szenario	1,092	1,559	2,200	1,929	0,691	0,555	0,464	0,431	0,429	0,540	0,713	0,995
ECHAM/REMO-Szenario	3,696	4,833	4,559	2,628	1,172	0,680	0,500	0,487	0,488	0,544	0,816	3,696
Wipper (Mansfeld-Leimbach)												
Basisszenario 1951-2000	1,814	2,020	2,628	2,602	0,933	0,600	0,519	0,472	0,413	0,590	1,076	1,536
MAGICC/SCENGEN-Szenario	1,437	1,676	1,928	1,640	0,575	0,379	0,331	0,288	0,260	0,307	0,607	1,119
STAR-Szenario	0,867	1,233	1,769	1,488	0,448	0,315	0,256	0,234	0,237	0,339	0,510	0,769
ECHAM/REMO-Szenario	2,978	3,632	3,258	1,749	0,697	0,327	0,224	0,217	0,222	0,247	0,450	1,580
Eine (Stangerode)												
Basisszenario 1951-2000	0,337	0,393	0,524	0,495	0,250	0,188	0,166	0,157	0,150	0,152	0,201	0,275
MAGICC/SCENGEN-Szenario	0,172	0,217	0,286	0,282	0,141	0,107	0,093	0,085	0,083	0,085	0,088	0,135
STAR-Szenario	0,089	0,134	0,197	0,211	0,094	0,078	0,064	0,059	0,065	0,073	0,073	0,084
ECHAM/REMO-Szenario	0,315	0,557	0,627	0,387	0,191	0,136	0,100	0,098	0,098	0,102	0,114	0,148

Tabelle 5.20: Mittlere monatliche Gewässerabflüsse der Wipper und Eine für die regionalen Klimaszenarien

Ein vorgegebener Schwellenwert einer 50 %-igen Abflussreduzierung wird an allen Pegeln vorwiegend beim STAR-Szenario überschritten (Tab. 5.20 – orange markierte Felder). Während am Oberlauf (Mansfeld-Leimbach) nur einzelne Monate davon betroffen sind, erfolgt im unteren Einzugsgebiet fast ganzjährig, mit Ausnahme der Monate Februar und März, eine Abflussreduzierung um mehr als 50 %.

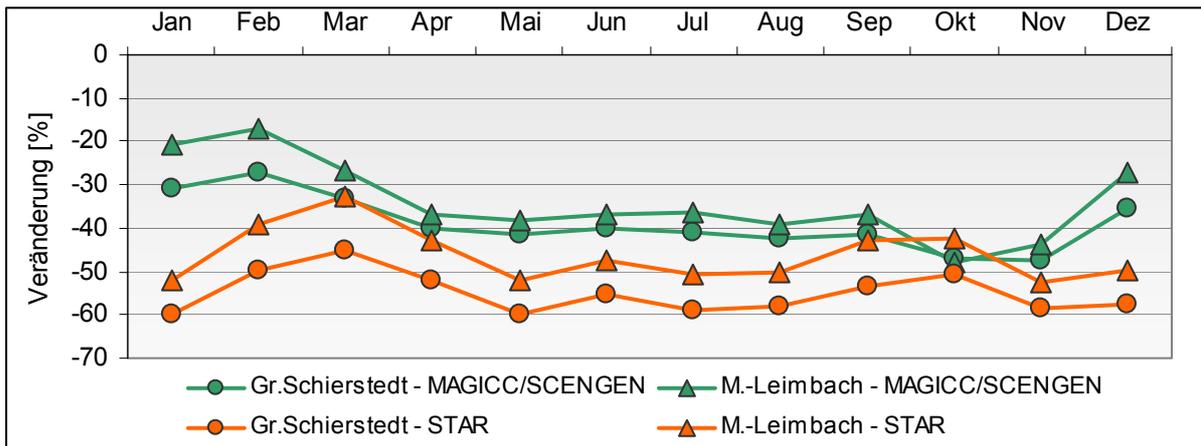


Abbildung 5.21: Rückgang der Monatsabflüsse der Wipper für die regionalen Klimaszenarien

Betrachtet man den mittleren **Niedrigwasserabfluss** (MNQ), so lassen sich sowohl für die Eine als auch den Unterlauf der Wipper (Pegel Gr.Schierstedt) Rückgangsraten feststellen, die um bis zu 11 % über denen des MQ liegen (Tab. 5.19). Folglich können die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse (Kap. 5.3.1) bestätigt werden, aus denen ein überdurchschnittlicher Rückgang des Niedrigwasserabflusses aller Gewässer gegenüber den mittleren Abflussverhältnissen erwartet werden kann.

Damit verbunden ist auch eine Zunahme der jährlichen Unterschreitungsdauer des MQ eines jeden Szenarios. Während die diesbezügliche Häufigkeit an der Wipper gegenwärtig bei 251 (Oberlauf) bzw. 249 Tagen (Unterlauf) liegt, erhöht sich diese szenarienabhängig um etwa 10 Tage (Abb.5.22).

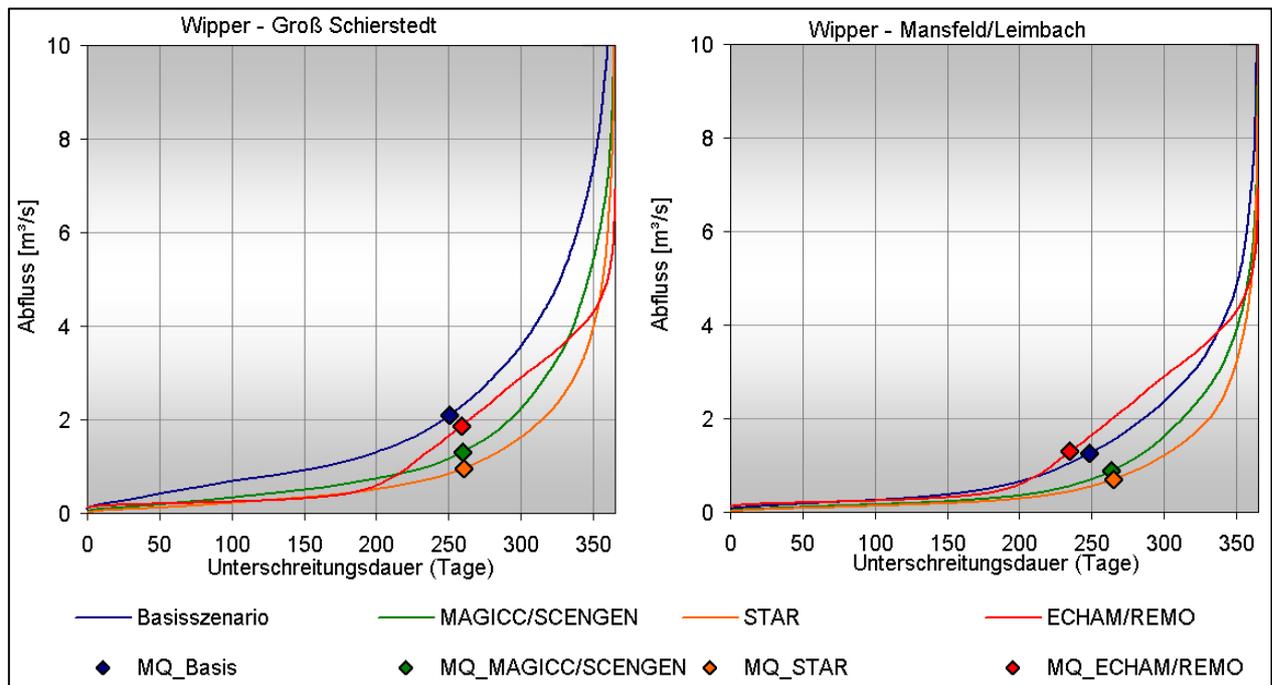


Abbildung 5.22: Abflussdauerlinien der Wipper für die regionalen Klimaszenarien

Einhergehend mit einem Rückgang der Abflussraten ist neben der Zunahme der Unterschreitungsdauern auch eine deutliche Verringerung der Wiederkehrintervalle der minimalen Durchflussmittelwerte NMxQ. Für ausgewählte **Abflussminimalwerte** einer gleichbleibenden Unterschreitungsdauer von 7 Tagen verkürzt sich das Wiederkehrintervall gleichermaßen an den Pegeln Mansfeld-Leimbach und Groß Schierstedt beim MAGICC/SCENGEN-Szenario von 50 auf 5 Jahre (Tab.5.21-rot markiert). Für das

STAR-Klimaszenario muss neben der entsprechend kleineren Wiederkehrzeit zusätzlich von einer Verlängerung der Unterschreitungsdauer auf 30 Tage ausgegangen werden (vgl. Tab. Anl.A12 & A13).

Unterschreitungsdauer D	Klimaszenarien	Wiederkehrintervall T					
		2	5	10	20	50	100
Wipper (Groß Schierstedt)							
7 Tage	Basisszenario	0,422	0,244	0,183	0,144	0,110	0,092
	MAGICC/SCENGEN-Szenario	0,213	0,112	0,080	0,061	0,044	0,036
	STAR-Szenario	0,140	0,074	0,053	0,040	0,029	0,024
	ECHAM/REMO-Szenario	0,392	0,304	0,267	0,239	0,211	0,195
30 Tage	Basisszenario	0,521	0,321	0,249	0,202	0,159	0,136
	MAGICC/SCENGEN-Szenario	0,283	0,166	0,126	0,100	0,077	0,065
	STAR-Szenario	0,195	0,109	0,081	0,063	0,047	0,039
	ECHAM/REMO-Szenario	0,436	0,340	0,299	0,268	0,238	0,219
Wipper (Mansfeld-Leimbach)							
7 Tage	Basisszenario	0,116	0,116	0,096	0,082	0,069	0,061
	MAGICC/SCENGEN-Szenario	0,106	0,067	0,052	0,043	0,034	0,030
	STAR-Szenario	0,088	0,053	0,041	0,033	0,026	0,022
	ECHAM/REMO-Szenario	0,180	0,156	0,144	0,136	0,126	0,121
30 Tage	Basisszenario	0,206	0,146	0,121	0,103	0,087	0,077
	MAGICC/SCENGEN-Szenario	0,137	0,092	0,074	0,062	0,051	0,045
	STAR-Szenario	0,117	0,073	0,057	0,047	0,037	0,032
	ECHAM/REMO-Szenario	0,199	0,173	0,161	0,152	0,142	0,135

Tabelle 5.21: Minimaler Durchflussmittelwert verschiedener Wiederkehrintervalle für ausgewählte Unterschreitungsdauern der Wipper in Abhängigkeit vom Klimaszenario (Verteilungsfunktion – Normalverteilung)

Der Rückgang des Gewässerabflusses kann bei den Zuflüssen von Wipper und Eine zu einem zeitweiligen Trockenfallen während des Sommerhalbjahres führen, einhergehend mit dem Verlust vielfältiger ökologischer Funktionen des Gewässers. Abbildung 5.23 zeigt exemplarisch die räumliche Verteilung der klimabedingten Zunahme der **Trockenfallhäufigkeiten**. Während die Gewässer des Mittelharzes (Rothaer Bach, Wolfsberger Wipper, Schmale Wipper) auch unter veränderten klimatischen Rahmenbedingungen ständig wasserführend sind, weisen andere Vorfluter eine Zunahme der Häufigkeit kürzerer Trockenfallzeiten sowie partiell auch das Auftreten längerer abflussloser Perioden auf (Tab. Anl.A16). Dieser Trend verstärkt sich vornehmlich an den Gewässern des unteren Einzugsgebietes und hier speziell beim STAR-Klimaszenario.

Die Ergebnisse lassen sich für das **Einzugsgebiet der Wipper** wie folgt zusammenfassen:

- Mittlerer Abflussrückgang der Wipper zwischen 37 und 54 %
 - Für das STAR-Szenario muss von höheren Abflussverlusten ausgegangen werden als für das MAGICC/SCENGEN-Szenario
 - Relative Abnahme des Gewässerabflusses nimmt vom Ober- zum Unterlauf zu
 - Zunahme der Trockenfallhäufigkeit kleinerer Gewässer, insbesondere im unteren Einzugsgebiet
 - Veränderung von Klima und Wasserhaushalt wirkt sich umso stärker auf den Gewässerabfluss auf, vor allem in Gebieten mit hydrologisch angespannter Situation
- Bestätigung der Hypothese aus Kapitel 5.3.1

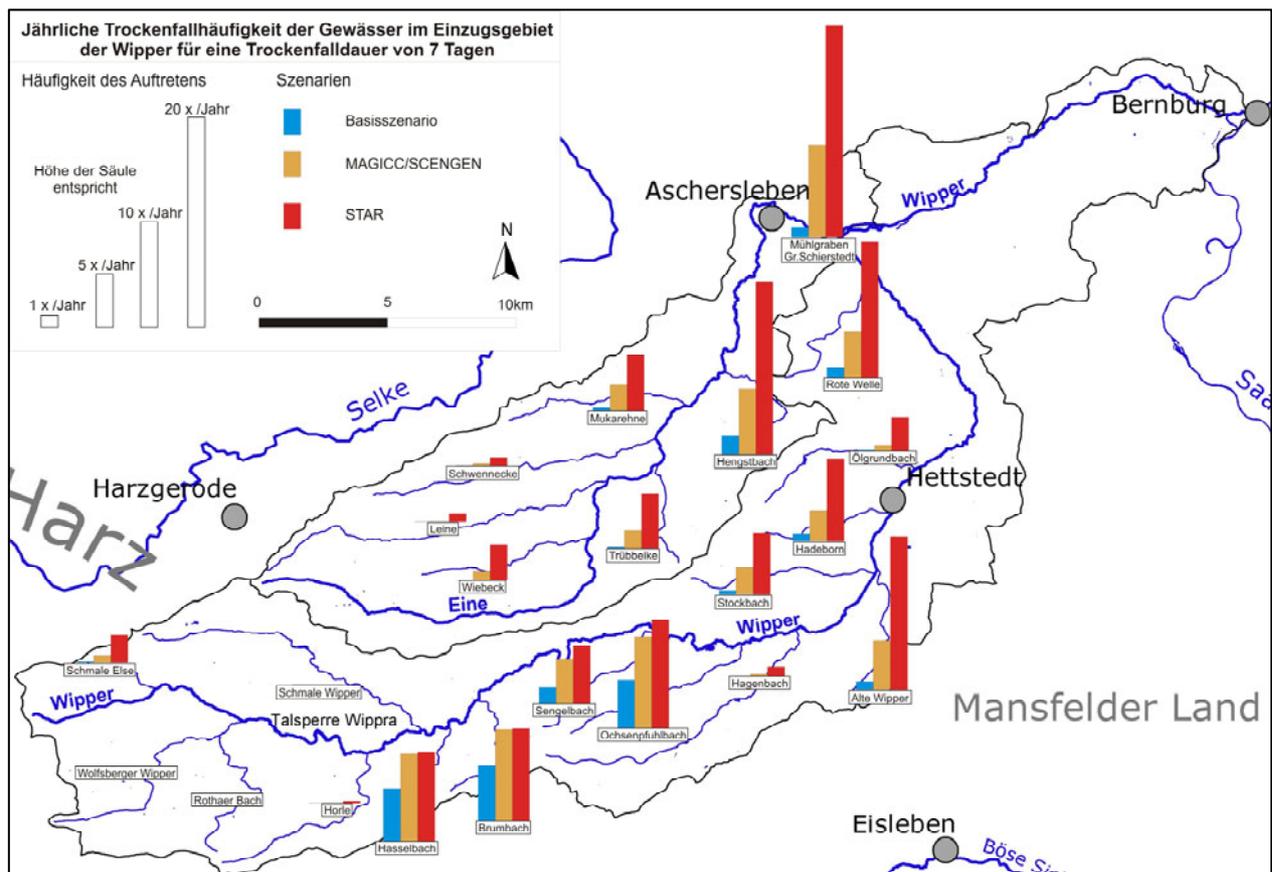


Abbildung 5.23: Veränderung der Trockenfallhäufigkeit kleinerer Gewässer im Wippereinzugsgebiet für eine 7-tägige Dauer

Für das ECHAM/REMO-Szenario ließe sich eine Verschiebung der innerjährlichen Abflüsse zu Gunsten des Winterhalbjahres erwarten. Ähnlich wie bei den anderen Szenarien sind für das Sommerhalbjahr deutliche Abflussverluste festzustellen. Durch die Zunahme der Niederschläge im oberen Einzugsgebiet erhöhen sich die Abflussraten im Oberlauf der Wipper. Infolge der Unterschätzung stärkerer Niederschläge verringern sich zudem die Hochwasserabflüsse deutlich.

In den nachfolgenden Datenblättern (Abbildungen 5.24 & 5.25) sind die charakteristischen Abflussmerkmale der Wipper am Pegel Groß Schierstedt für die Klimaszenarien MAGICC/SCENGEN und STAR zusammengefasst. Eine ausführliche Darstellung der hydrologischen Kennwerte ausgewählter Gewässer im Einzugsgebiet ist den Tabellen Tab. Anl.A17.6 bis 17.33 zu entnehmen.

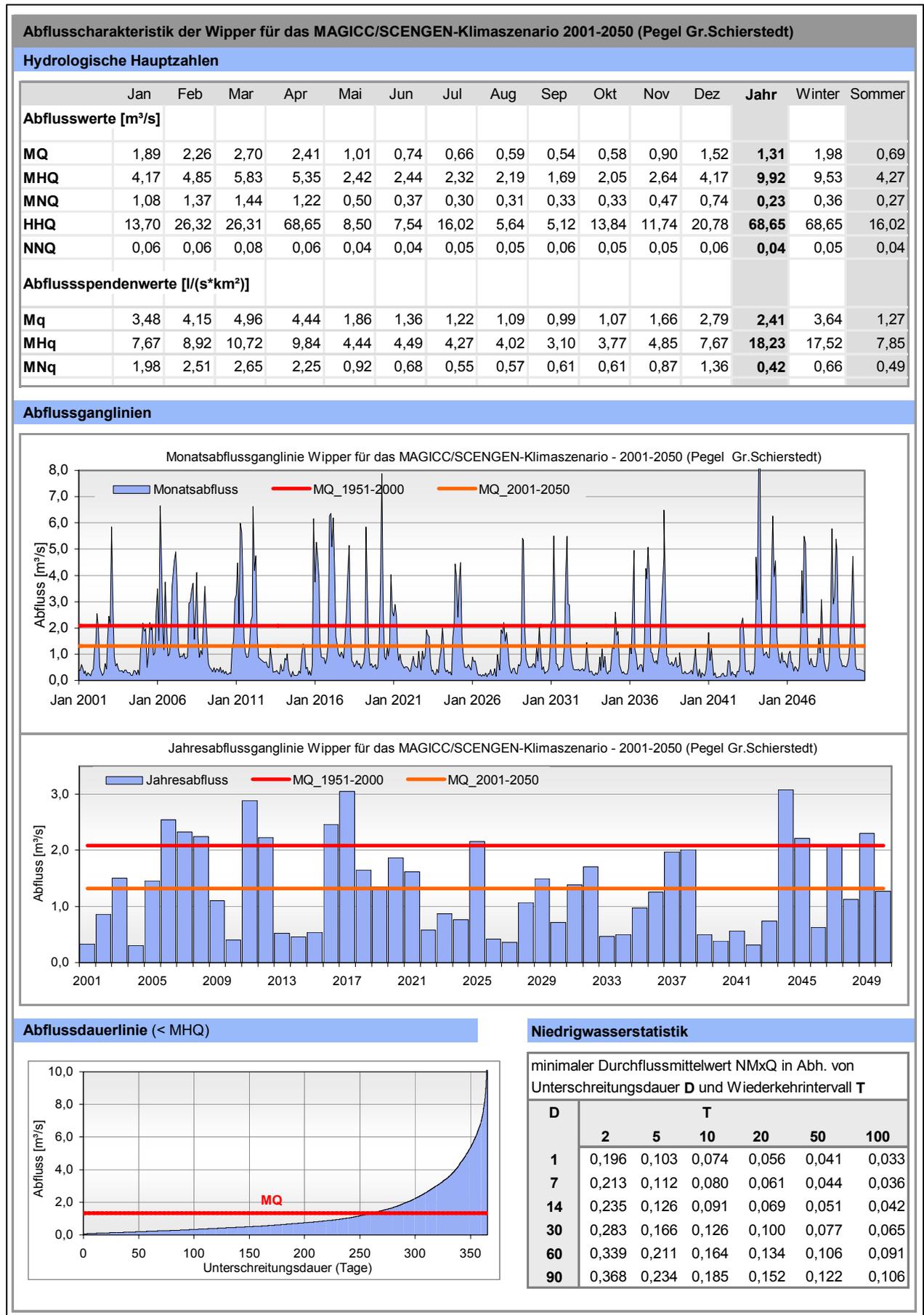


Abbildung 5.24: Abflusscharakteristik der Wipper (Pegel Groß Schierstedt) für das MAGICC/SCENGEN-Klimaszenario 2001-2050

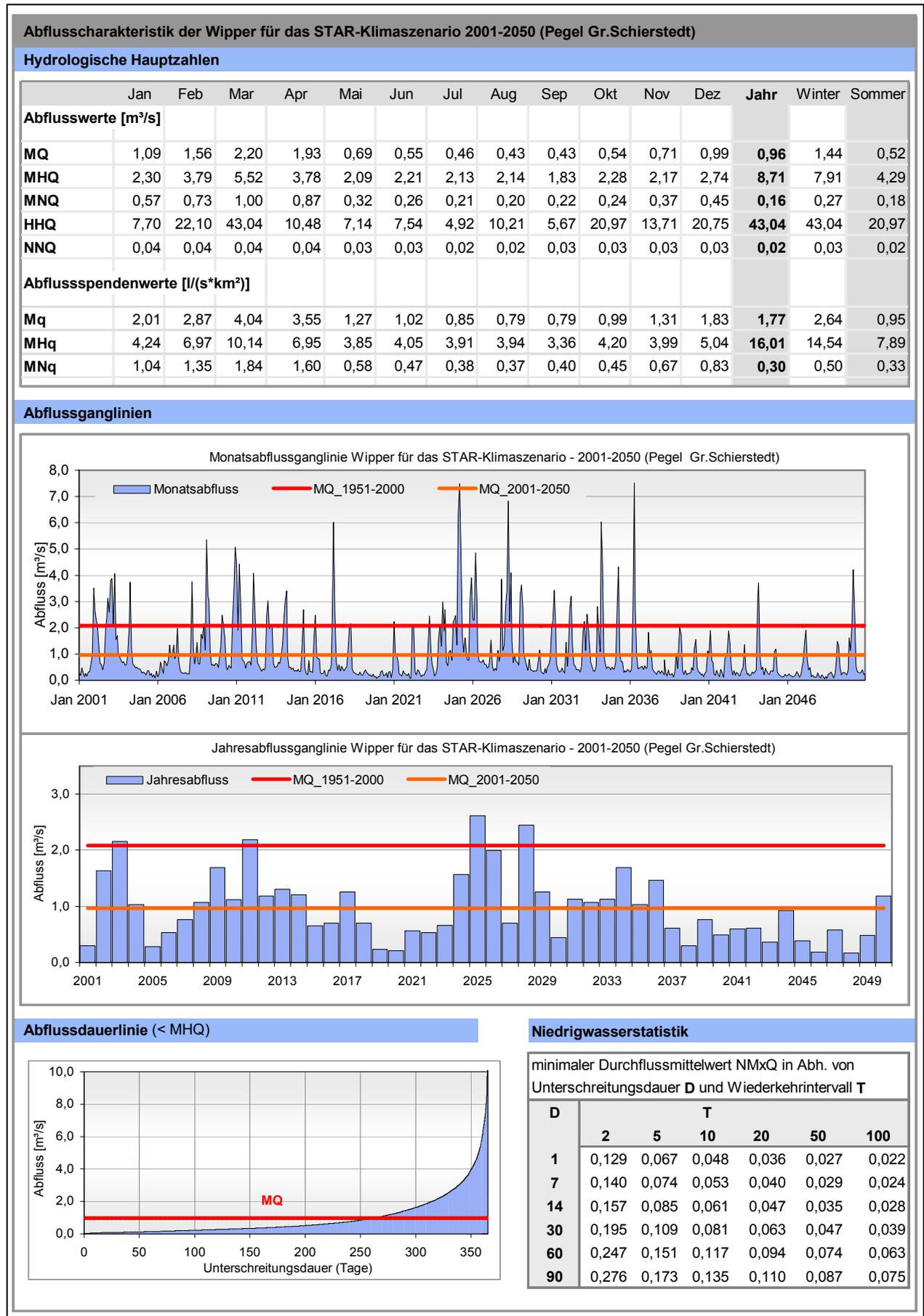


Abbildung 5.25: Abflusscharakteristik der Wipper (Pegel Groß Schierstedt) für das STAR-Klimaszenario 2001-2050

5.3.4 Zusammenfassender Vergleich der Untersuchungsgebiete vor dem Hintergrund der Klimaszenarien

Im Rahmen der Interpretation der Ergebnisse stehen vor allem der Vergleich der Untersuchungsgebiete und die Betrachtung regionaler Unterschiede im Mittelpunkt des Interesses. Dies ermöglicht die Beantwortung der Fragestellung, inwiefern sowohl klimatische und hydrologische Voraussetzungen/Randbedingungen als auch die Landnutzungsverhältnisse das Ausmaß einer Klimaänderung und die damit verbundenen hydrologischen Folgewirkungen in den Untersuchungsgebieten bestimmen. Dadurch können Bereiche mit einer höheren Empfindlichkeit gegenüber klimabedingten Veränderungen identifiziert und ausgewiesen werden.

Entsprechend der in Kapitel 5.3.3 vorgenommenen Unterteilung, wird hierzu eine räumlich differenzierte Betrachtung hydrometeorologisch begünstigter Bereiche (obere Einzugsgebiete), die Mittellaufbereiche sowie Gebiete, welche bereits gegenwärtig ein hydrologisches Defizit aufweisen (untere Einzugsgebiete), vorgenommen (Abb. 5.26 & Karte 35).

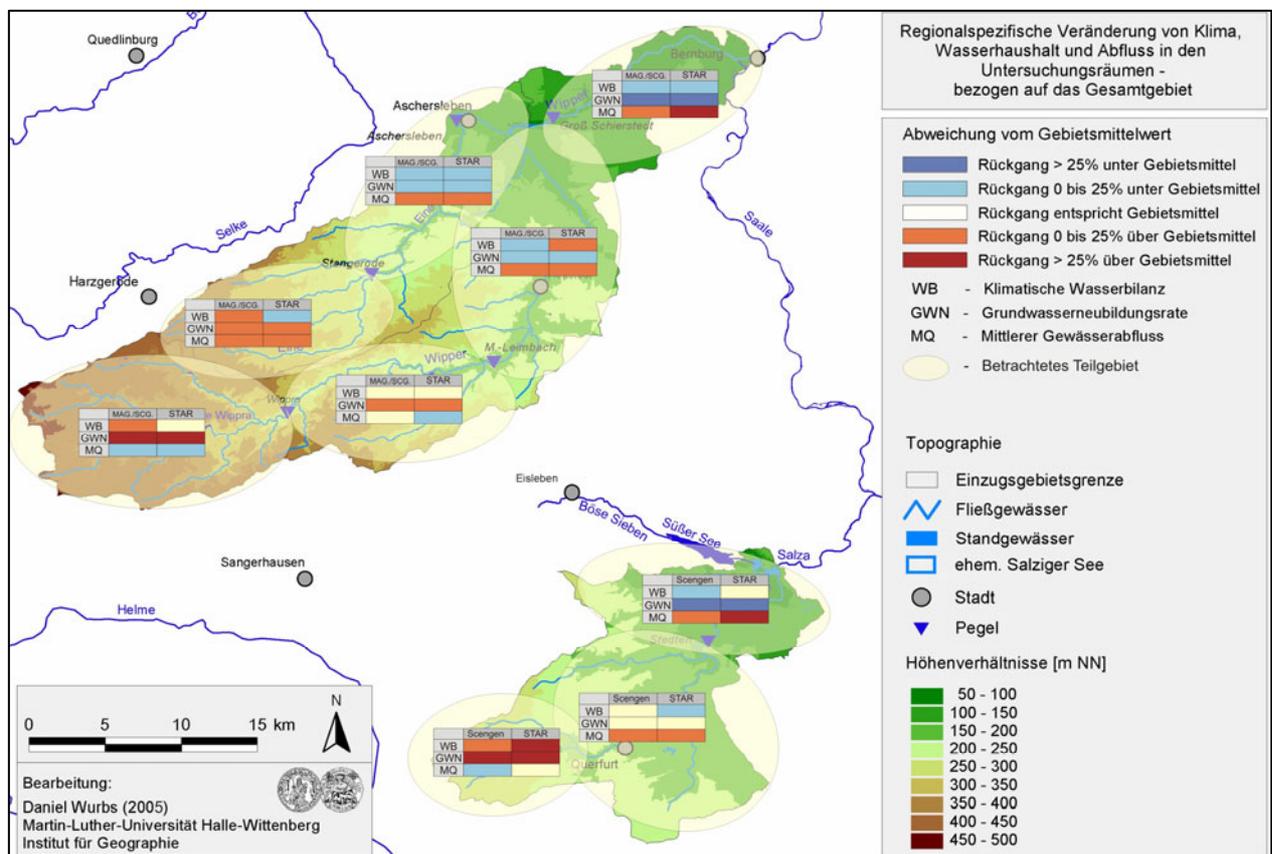


Abbildung 5.26: Regionalspezifische Veränderung der hydrometeorologischen Verhältnisse in den Untersuchungsgebieten – bezogen auf das Gesamtgebiet

Die Veränderung der **klimatischen Wasserbilanz**, als Funktion von potentieller Verdunstung und Niederschlag spiegelt die Unterschiede zwischen den Klimaszenarien und den beiden Untersuchungsgebieten wider. Sie verdeutlicht zudem die Heterogenität innerhalb der Einzugsgebiete und beweist umso mehr die Abhängigkeit vom gewählten Klimaszenario.

Bei Betrachtung des Klimaszenarios MAGICC/SCENGEN sind keine entscheidenden Unterschiede zwischen den Untersuchungsgebieten festzustellen (Tab. 5.9). Die Reduzierung der Wasserbilanz betrifft überproportional die oberen Bereiche beider Einzugsgebiete (Karte 20). Demgegenüber lässt sich anhand des STAR-Klimaszenarios das Einzugsgebiet der Wipper als das von einer Veränderung der klimatischen

Randbedingungen stärker Betroffene ausweisen (Karte 26). Hier käme es vorwiegend im unteren Einzugsgebiet zu einer überdurchschnittlichen Verringerung der Wasserbilanz (Karte 21).

Trotz der sehr differenzierten Entwicklung, wie sie die verschiedenen Klimaszenarien vorgeben, lassen sich für die Wasserhaushaltsverhältnisse, speziell für die **Grundwasserneubildungsraten**, erste gemeinsame Erkenntnisse ableiten. In beiden Untersuchungsgebieten nimmt der Rückgang der Grundwasserneubildungsraten vom oberen zum unteren Einzugsgebiet ab, was umso mehr auf das STAR-Szenario zutrifft (Abb. 5.26). Der Gebietsvergleich zeigt zudem, dass vor allem das Einzugsgebiet der Wipper eine sehr hohe absolute Abflussreduzierung erfährt. Aufgrund des geringen Basisniveaus der Grundwasserneubildungsraten erhöht sich aber auch der Flächenanteil der Grundwasserzehrgebiete im Einzugsgebiet der Querne/Weida beträchtlich (Karte 28).

Die Veränderung des **Abflussverhaltens** der Gewässer, das sowohl durch die klimatischen als auch die hydrologischen und nutzungsabhängigen Randbedingungen maßgeblich gesteuert wird, beweist, dass klimatische Veränderungen keineswegs in gleichem Maße eine Veränderung der Gewässerabflussraten zur Folge haben. Vielmehr spielen weitere Faktoren, wie Gebietseigenschaften und Landnutzung eine übergeordnete Rolle. Trotz des geringeren absoluten Rückganges der Abflussraten, ist vor allem das Gewässersystem der Querne/Weida von einer überdurchschnittlichen Reduzierung betroffen (Abb.5.27).

Am Pegel Stedten weist die Querne/Weida einen Abflussrückgang um nahezu zwei Drittel auf (STAR & MAGICC/SCENGEN). Demgegenüber verringert sich der Gesamtabfluss der Wipper um 37 % (MAGICC/SCENGEN) bzw. 54 % (STAR). Noch gravierender sind die Unterschiede beim Niedrigwasserabfluss, der vor allem in den Sommermonaten von großer Bedeutung ist. Während es an der Wipper zu einem Rückgang um 48 bzw. 63 % kommt, sind für den MNQ der Weida um etwa 85 % geringere Werte zu erwarten (Tab. 5.14 & 5.19).

Welche Schlussfolgerungen können für den vergleichenden Ansatz gezogen werden?

Neben der Veränderung der klimatischen Situation, die eine deutliche Veränderung der Wasserhaushaltssituation mit sich bringt, sind es vor allem die klimatisch-hydrologischen Rahmenbedingungen und die Landnutzungsverhältnisse, die das Ausmaß eben jener Veränderungen steuern und somit die Empfindlichkeit eines Gebietes bzw. seines hydrologischen Systems maßgeblich beeinflussen. Das Einzugsgebiet der Querne/Weida weist aufgrund der bereits gegenwärtig angespannten klimatischen und hydrologischen Situation eine deutlich größere Empfindlichkeit gegenüber klimatischen Veränderungen auf als das Wippereinzugsgebiet. Folglich haben ähnliche große Veränderungen klimatischer Parameter, wie zum Beispiel des Niederschlages, in sensibleren Gebieten eine deutlich größere Folgewirkung.

Gleiches gilt auch innerhalb der einzelnen Untersuchungsgebiete. Vom oberen zum unteren Einzugsgebiet nehmen die Rückgangsraten der mittleren Grundwasserneubildung ab, gleichermaßen kommt es aber auch zu einer überdurchschnittlichen Reduzierung der Gewässerabflüsse (Abb. 5.27 & Karten 36a,b). Dies gilt vor allem für das Einzugsgebiet der Wipper, in dem die topographischen und klimatischen Gegensätze zwischen oberem (Mittelharz) und unterem Einzugsgebiet (Harzvorland) besonders ausgeprägt sind (Abb. 5.26).

Für beide Gebiete lässt sich abschließend feststellen, dass die hydrologische Sensitivität gegenüber klimatischen Veränderungen von den begünstigten Regionen zu den Gebieten mit einer bereits gegenwärtig angespannten Wasserhaushaltssituation zunimmt.

Bei der Betrachtung der oben aufgeführten Ergebnisse sind die Unterschiede zwischen den Klimaszenarien nicht zu vernachlässigen. Auch wenn die Erkenntnisse hinsichtlich der Empfindlichkeit trockenerer Räume gegenüber Veränderungen des hydrologischen Systems auf beide Klimaszenarien gleichermaßen zutreffen, so unterscheidet sich doch das Ausmaß einer zukünftigen Entwicklung zum Teil erheblich.

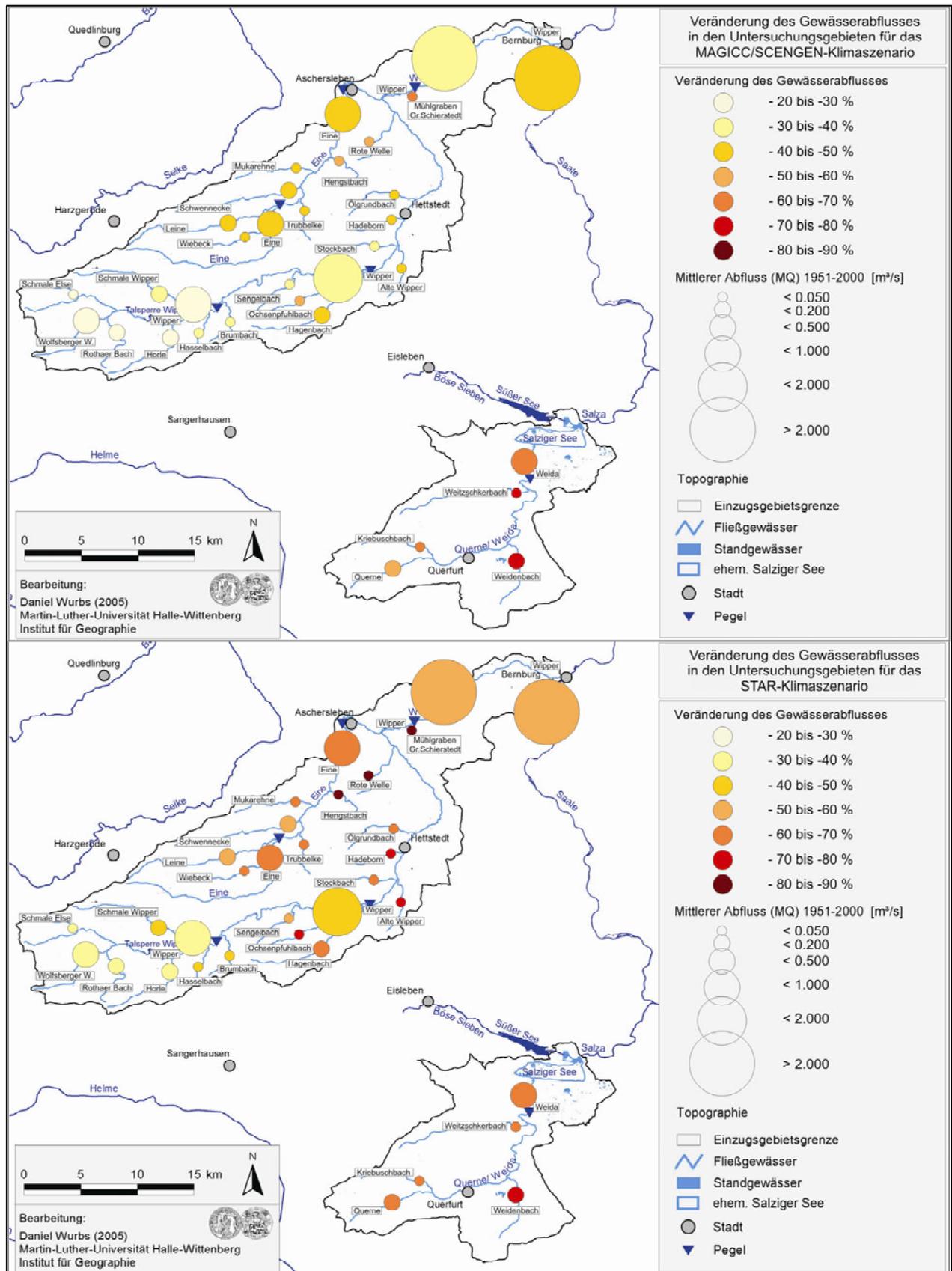


Abbildung 5.27: Veränderung des Gewässerabflusses in den Untersuchungsgebieten für die Klimaszenarien MAGICC/SCENGEN und STAR

5.4 Wasserhaushaltsbilanz des wieder entstehenden Salzigen Sees

5.4.1 Veränderung der Landnutzungsverhältnisse und des Gewässernetzes

Die mögliche Wiederentstehung des Salzigen Sees, aber auch die geplante Rekultivierung des Tagebaus Amsdorf, integriert in einem Landnutzungsszenario „Salziger See“, lassen tiefgreifende Veränderungen der lokalen Nutzungsverhältnisse erwarten, die aufgrund der räumlichen Dimension auch zu einem bedeutenden Wandel der Landnutzungseigenschaften, bezogen auf das gesamte Einzugsgebiet der Querne/Weida führen (Tab. 5.22).

	Flächenanteil [%]	Veränderung [ha]	Veränderung [%]
Standgewässer	4,8	+ 1023,4	+ 4,1
Wald	12,6	+ 364,5	+ 1,5
Brachflächen	1,9	+ 177,6	+ 0,8
Ackerflächen	60,7	- 611,1	- 2,5
Abbauflächen, Halden	0,9	- 474,6	- 2,8
Staudenfluren & Flachmoor	2,4	- 369,6	- 1,5
Versiegelte & teilversiegelte Flächen	5,5	- 39,0	- 0,1

Tabelle 5.22:
Veränderung der Landnutzungsanteile im Untersuchungsgebiet Querne/Weida

Die (Wieder-) Entstehung von drei größeren Gewässern (Abb. 5.28) führt zu einer Erhöhung ihres Gesamtanteils im Einzugsgebiet auf knapp 5 %. Weiterhin nimmt im Rahmen der Rekultivierungsmaßnahmen der Anteil von Wald- und Brachflächen deutlich zu. Ein Großteil der Flächengewinne erfolgt dabei auf Kosten der Abbauflächen infolge der Stilllegung des Tagebaus sowie des Verlustes von Ackerland im Seebecken des Salzigen Sees. Der Anteil des Grünlandes bleibt hingegen weitestgehend konstant. Neuen Flächen an den Ufern der Seen stehen Flächenverluste innerhalb des heutigen Tagebaugeländes gegenüber.

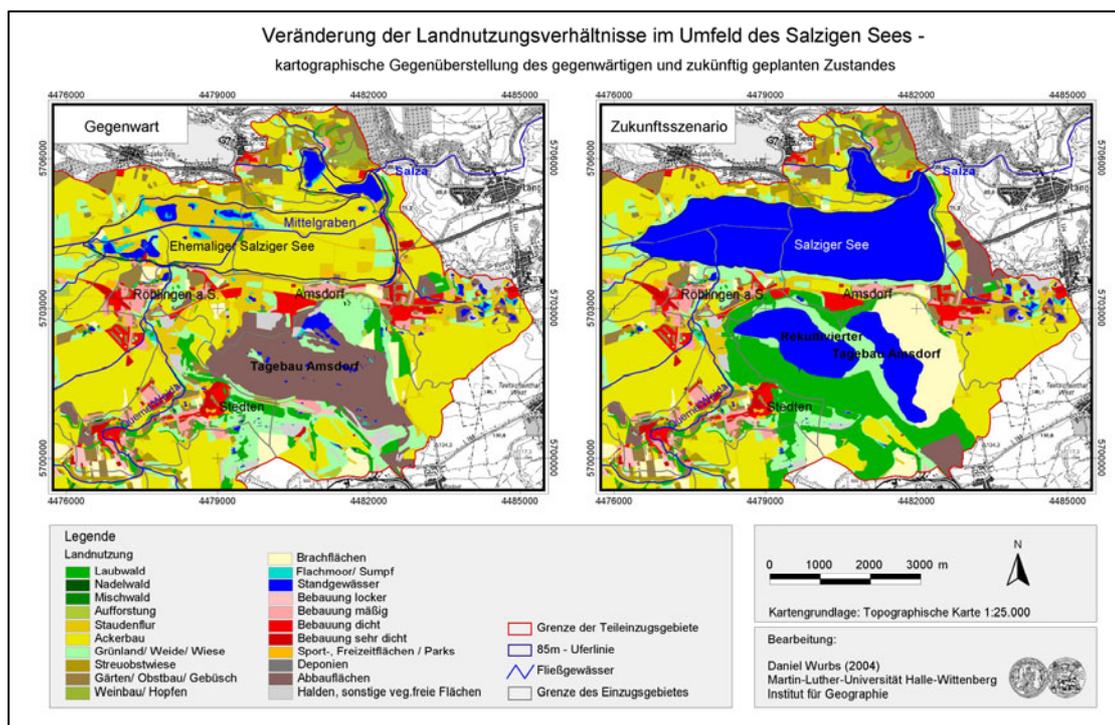


Abbildung 5.28: Landnutzungsszenario Salziger See – Gegenwärtiger und zukünftig geplanter Zustand

5.4.2 Validierung des Bilanzmodells (Bilanzierungsvariante I)

Die Validierung des Bilanzmodells erfolgte anhand der Menge und des zeitlichen Verlaufes der Wasserförderung des Pumpwerkes Wansleben zwischen 1982 bis 1998.

In den Jahren 1982 bis 1992 liegt die durch das Bilanzmodell berechnete Zuflussmenge bei durchschnittlich **597 l/s** und damit 29 % über der tatsächlich am Pumpwerk geförderten Wassermenge (**465 l/s**) (Tab. Anl.A18). Im Zeitabschnitt 1993 - 98 beträgt die Differenz nur noch 3 % (**689 bzw. 669 l/s**), überwiegend verursacht durch eine um 44 % höhere Fördermenge gegenüber 1982 - 92. Die Erhöhung der Förderleistung kann nicht ausschließlich durch die überwiegend niederschlagsbedingten Abflusserhöhungen der Querne/Weida und vom Süßen See erklärt werden. Deren Steigerungen betragen lediglich 23,6 % (+ 44 l/s) bzw. 17 % (+ 33 l/s). Einen plausiblen Erklärungsansatz für die bis etwa 1992 auftretenden deutlichen Abweichungen zwischen Förder- und Bilanzvolumen bietet die Flutung der Mansfelder Mulde. Die Flutungsphase, mit dem Ziel, die Einstellung des Geländeneiveaus des Schlüsselstollens bei 72 m NN zu erreichen (JANKOWSKI 1996; ALBRECHT 1974), wurde 1981 vollendet. Sie führte in ihrem Nachgang aber zu einem weiteren Grundwasseranstieg im Bereich des Salzigen Sees durch zuströmendes Karstwasser. Dieser weitestgehend natürliche Vorgang wird im Bilanzmodell durch die Quantifizierung der vom GLA (GLA LSA 1998; alternativ BENDEL 1997 & ARGE LSALZIGER SEE 1998) kalkulierten Grundwasserzuströme zum Seebecken (Abb. 4.8) berücksichtigt. Unberücksichtigt bleibt hingegen, dass ein Teil des zuströmenden Wassers nicht in gleichem Maße am Pumpwerk Wansleben gefördert wurde, sondern im Grundwasserkörper verblieb und zum Grundwasseranstieg im Seebecken führte (Abb. 5.30). Erst nachdem das durch Ausdehnung der Wasserflächen und zunehmende Vernässungserscheinungen augenscheinlich gewordene Erreichen der Geländeoberfläche durch den Grundwasserspiegel abgeschlossen war, wurde die Erhöhung der Förderleistung des Pumpwerkes zur Trockenhaltung des Seebeckens notwendig. Somit werden ab 1993 die Fördermengen auch durch das Bilanzmodell besser wiedergegeben (Abb. 5.30).

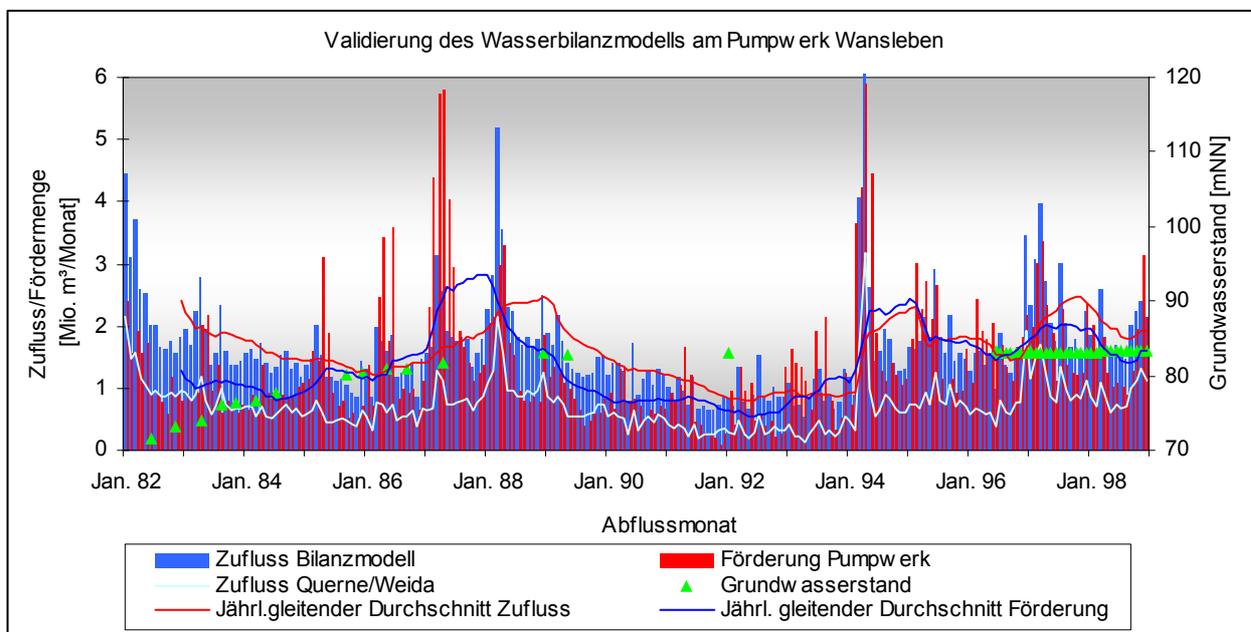


Abbildung 5.30: Vergleich geförderter und bilanzierter monatlicher Zuflüsse am Pumpwerk Wansleben

Die zwischen Januar 1986 und April 1988 am Pumpwerk um 18 % über dem Bilanzmodell liegenden Fördermengen sind indirekt das Ergebnis der Bergbauaktivitäten. In den 80-er Jahren erfolgte die Überleitung von Grubenwässern vom Sangerhäuser Revier in die Mansfelder Mulde, die zwischen 1986 und 1988 ihren Höhepunkt erreichte (VMBH&DBM 1999; JANKOWSKI 1995). Die für diesen Zeitraum festzustellende

Erhöhung der Förderleistung des Pumpwerkes bestätigt die Annahme, dass die Wässer nicht gänzlich durch den Schlüsselstollen gehoben werden konnten, sondern partiell dem Seebecken des Salzigen Sees zuströmten. Eine adäquate Wiedergabe einer solch bergbaulich begründeten Überleitung kann durch das Bilanzmodell nicht erfolgen, Differenzen, wie sie Abb. 5.30 verdeutlicht, jedoch erklärt werden.

Neben den beschriebenen Bilanzdefiziten können folgende Gründe zur Über- bzw. Unterschätzung der tatsächlich geförderten Wassermengen durch das Bilanzmodell führen:

- **Zeitliche Heterogenität der Bilanzparameter**
 - Ober- und unterirdische Abflusskomponenten weisen unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten und somit Reaktionszeiten auf Niederschlagsereignisse auf. Im Gegensatz zu den Oberflächengewässern begründet die schlechtere Datenbasis des Grundwasserfließverhaltens zeitliche Abweichungen zwischen den gemessenen und bilanzierten Zuflussmengen (Abb. 5.30)
- **Validierung untergeordneter Bilanzparameter**
 - Kleinere ober- und unterirdische Zuflüsse sowie der Eigengebietsabfluss im Seebecken können aufgrund fehlender oder punktuell vorliegender Messungen nur begrenzt validiert werden. Gleiches gilt für schwankende Ablaufzahlen der Kläranlagen.
 - Der Anteil der genannten Parameter am Gesamtzufluss beträgt nur 20 % (Abb. 5.31). Aus vorliegenden Erfahrungswerten und der eigenen Gebietskenntnis kann eine fehlerhafte Beeinflussung der Bilanzergebnisse in bedeutenden Größenordnungen ausgeschlossen werden.
- **Künstliche Steuerung des Pumpwerkes Wansleben**
 - Die Förderung des Pumpwerkes Wansleben richtet sich **nicht** ausschließlich nach der Menge des zufließenden Wassers. So liegt im gesamten Betrachtungszeitraum die Fördermenge in einzelnen Sommermonaten unterhalb des gemessenen und modellierten Zuflusses der Weida. Daraus kann auf eine durch den Pumpwerksbetreiber realisierte Steuerung des Wasserrückhaltes im Grund- bzw. Oberflächenwasser des Seebeckens geschlossen werden. Diese im Bilanzmodell wiederzugeben, ist hingegen nicht möglich.

Die größten Abweichungen zwischen bilanzierten und geförderten Zuflussmengen zum Seebecken des Salzigen Sees sind die Folge bergbaulicher Aktivitäten (Überleitung aus dem Sangerhäuser Revier 1986 - 1988) und der Flutung der Mansfelder Mulde (bis etwa 1992). Berücksichtigt man diese Faktoren, kann von einer **guten Wiedergabe von Verlauf und Menge der am Pumpwerk Wansleben geförderten Wassermenge durch das Bilanzmodell des Salzigen Sees** ausgegangen werden. Insbesondere für den Validierungszeitraum 1993 - 1998 wird diese Annahme bestätigt.

Unter Berücksichtigung der erwähnten Unsicherheiten, ist der gewählte Ansatz zur Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees geeignet, um weiterführende Untersuchungen unter veränderten Nutzungs- und Klimaverhältnissen durchführen zu können.

Aus den Bilanzergebnissen kann zusätzlich festgestellt werden, dass die durch BENDEL (1997) und ARGE SALZIGER SEE (1998) modellierten Grundwasserzuströme zum Seebecken mit 4,9 bzw. 6 m³/min die tatsächliche Situation überschätzen. Realistischer sind die durch das GLA (GLA LSA 1998) angenommenen Karstwasserzuflüsse von 1 bis 2 m³/min (entspricht 17 bzw. 33 l/s), die als Konstante in die Bilanzierung aufgenommen wurden.

5.4.3 Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung für den Salzigen See (Bilanzierungsvarianten II und III)

Die zukünftige Wasserbilanzsituation des Salzigen Sees wird im Wesentlichen von den Zuflüssen der Querne/Weida und der Abgabe vom Süßen Sees abhängig sein, die in der Summe knapp 80 % der Gesamtzuflüsse erbringen (Abb. 5.31). Neben den kleineren Zuflüssen und dem Grundwasserzustrom sind zudem die Einleitungen der Kläranlagen, die entweder über die Vorflut in den Salzigen See (Bilanzierungsvariante II) oder direkt in die Salza abgelassen werden (Bilanzierungsvariante III), nicht zu vernachlässigen (siehe „Bilanzgrößen 1951 - 2000“ in Abb. 5.32 & 5.33). Gegenüber den gegenwärtigen Bilanzverhältnissen (Bilanzierungsvariante I) kommt nach der Wiederentstehung des Salzigen Sees der Verdunstung von der Wasserfläche eine nicht unwesentliche Bedeutung zu, da sie, im Gegensatz zum rezent vorherrschenden Eigengebietsabfluss, defizitär auf die Gesamtbilanz wirkt. Im langjährigen Mittel ist die Wasserbilanz des Salzigen Sees, unter Berücksichtigung des Mindestabflusses der Salza mit + 126 l/s positiv (siehe „Bilanzgrößen“ Abb. 5.32). Allerdings ist die sommerliche Bilanz, aufgrund erhöhter Gewässerverdunstung und eines größeren zu garantierenden Mindestabflusses in der Salza negativ (- 82 l/s). Ein Ausgleich erfolgt hier durch den Abflussüberschuss im Winterhalbjahr (+ 345 l/s).

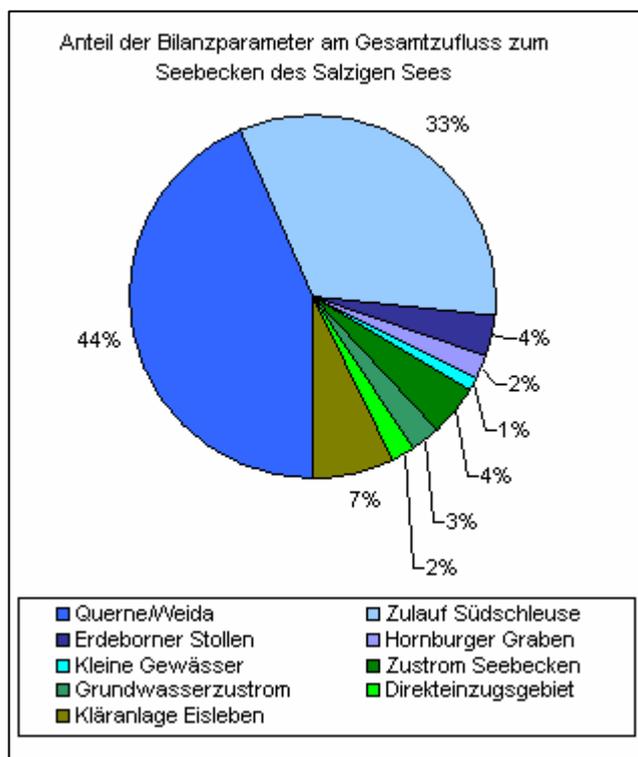


Abbildung 5.31: Anteil der Bilanzparameter am Gesamtzufluss zum Salzigen See

Gegenüber den mittleren Verhältnissen ist es insbesondere die Betrachtung des zeitlichen Verlaufes der Bilanzsituation, die von hervorgehobener Bedeutung ist, um einzelne Perioden bzw. Jahre mit auftretenden Überschüssen bzw. -defiziten ermitteln zu können. So kann allein für die **Bilanzierungsvariante II** für 13 der 50 Jahre ein Wasserhaushaltsdefizit festgestellt werden, wobei die Zeiträume 1951 - 55, 1964 - 65 und 1990 - 1993 aufgrund einer mehrjährig negativen Bilanz hervorzuheben sind (siehe „Jahresbilanzen 1951 - 2000“ in Abb. 5.32). Hierzu wird nachfolgend auf die unter Verwendung des dynamischen Ansatzes (Kap. 4.5.4) gewonnenen Ergebnisse der taggenauen Wasserhaushaltsbilanzierung eingegangen, um vor allem Dauer und Ausmaß eines möglichen Wasserhaushaltsdefizites analysieren zu können.

Für die gewählte **Priorität „Salziger See“** wird zunächst deutlich, dass der geforderte Mindestwasserstand von 85,5 m NN weitestgehend gesichert werden kann (langjähriges Mittel = 85,82 m NN) (siehe Diagramm in Abb. 5.32). Allerdings treten innerhalb der oben genannten Zeiträume längere Perioden auf, in denen, trotz des gegenüber der Salza realisierten Wasserrückhaltes, der Wasserstand des Salzigen Sees im Bereich des unteren Grenzwertes der Speicherlamelle liegt oder den geforderten Mindestwasserstand um bis zu 10 cm unterschreitet. Des weiteren kann der ökologisch bedingte Mindestwasserabfluss der Salza an durchschnittlich 20 Tagen im Jahr nicht eingehalten werden (siehe „Kennzahlen Salza“ in Abb. 5.32), so dass ausschließlich die Einleitungen der Kläranlage Rollsdorf zur Abflussbildung im Gewässer beitragen.

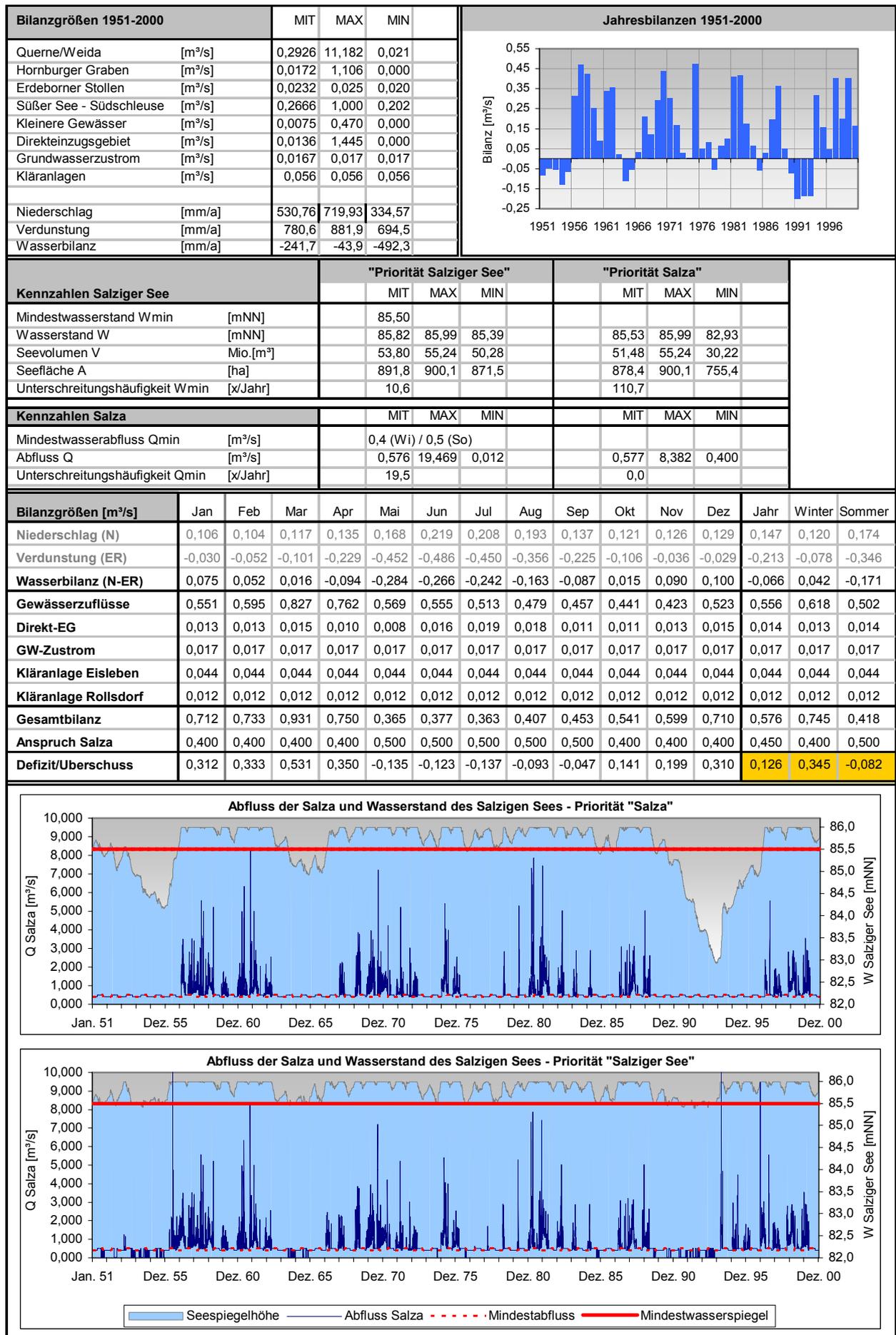


Abbildung 5.32: Hydrologische Kennzahlen der Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees – Bilanzierungsvariante II

Vor allem während der niederschlagsarmen Periode der Jahre 1990 bis 1993 liegt die Unterschreitungshäufigkeit bei 35 %. Dies lässt den Schluss zu, dass es auch unter den gegebenen natürlichen Rahmenbedingungen zu Problemen hinsichtlich der Gewährleistung der hydrologischen Vorgaben kommen kann. Selbst das durch die 0,5 m hohe Lamelle festgelegte Speichervolumen des Salzigen Sees stellt eine zeitlich nur begrenzte Möglichkeit dar, auch während längerer Trockenperioden den Mindestwasserabfluss der Salza durchgängig gewährleisten zu können.

Noch deutlicher werden Dauer und Ausmaß der Nichteinhaltung hydrologischer Vorgaben bei der **Priorität „Salza“**. Hierbei wird von einer unbedingt zu realisierenden Abgabemenge in den Vorfluter von 0,4 bzw. 0,5 m³/s ausgegangen. Dies hätte jedoch zur Folge, dass der Mindestwasserspiegel des Salzigen Sees an durchschnittlich 110 Tagen im Jahr unterschritten wird, wobei die zeitliche Konzentration auf den drei oben genannten Perioden liegt. Speziell für die Jahre 1990 bis 1993 zeigt sich, dass die in diesem Zeitraum um etwa 10 % unter dem Durchschnitt liegenden Niederschlagsmengen und die damit verbundene Abflussreduzierung im Einzugsgebiet zum Teil gravierende Konsequenzen für die Bilanzstabilität des Salzigen Sees nach sich ziehen würden (*siehe Diagramm in Abb. 5.32*). Der Seespiegel sinkt auf ein Minimum von 83,93 m NN (4.11.1993), einhergehend mit einer Reduzierung der Seefläche um knapp 15% und einem Rückgang des Speichervolumens um ca. 40 %. Erst nach über 3 Jahren (1997) kommt es zu einer vollständigen Wiederauffüllung des Wasserspeichers.

Gegenüber der Bilanzierungsvariante II wird in der **Bilanzierungsvariante III** der ab dem Jahr 2005 veränderten Abwassersituation im Untersuchungsgebiet (Tab. 4.6) Rechnung getragen. Durch die Herausleitung von Abwässern der Kläranlage Querfurt aus dem Einzugsgebiet kommt es zur Reduzierung des Gesamtabflusses der Querne/Weida um etwa 6 %. Weiterhin führt die Überleitung der Abwässer des AZV Weidaland und der Kläranlage Eisleben zur Kläranlage Rollsdorf dazu, dass dieser Anteil in einer Größenordnung von etwa 50 l/s zukünftig nicht über die Vorflut in den Salzigen See entwässert. Allerdings steht die genannte Menge der Salza unterhalb der Kläranlage Rollsdorf wieder zur Verfügung, was die erforderliche Abgabemenge des Salzigen Sees an die Salza entsprechend verringert. Dennoch kommt es gegenüber der Bilanzierungsvariante II durch die Abwasserherausleitung aus dem Einzugsgebiet zu einer Verringerung der Zuflüsse und einer entsprechenden Veränderung der Bilanzsituation. Im langjährigen Mittel bleiben die jährliche (+ 109 l/s) und winterliche (+ 328 l/s) Wasserhaushaltsbilanz positiv, im Sommerhalbjahr erhöht sich hingegen das Defizit um etwa 20 %. Für den Gesamtzeitraum weisen 14 Jahre eine negative Bilanz auf (*siehe „Jahresbilanzen 1951 - 2000“ in Abb. 5.33*).

Für die Variante **„Priorität Salziger See“** erhöht sich die Unterschreitungshäufigkeit des Mindestwasserabflusses der Salza von 20 auf durchschnittlich 27 Tage im Jahr (*siehe „Kennzahlen Salza“ in Abb. 5.33*), wobei aber zu berücksichtigen ist, dass der durch die Abgabe der Kläranlage quasi garantierte Mindestabfluss der Salza bei über 60 l/s liegt. Unter Einhaltung des Mindestwasserabflusses der Salza kommt es zu einer Erhöhung der Unterschreitungsdauer des Mindestwasserstandes des Salzigen Sees von 110 (Bilanzierungsvariante II) auf 125 Tage/Jahr. Der Unterschreitungszeitraum zwischen 1990 und 1997 würde sich um etwa 3 Monate verlängern und das Minimum des Seespiegels um weitere 30 cm reduzieren (*siehe „Kennzahlen Salziger See“ in Abb. 5.33*). Für diesen Zeitpunkt (4.11.1993) bedeutet die Verringerung der Wasserfläche um 135 ha vor allem für das südliche Seeufer bei Amsdorf eine horizontale Verschiebung der Uferlinie um etwa 200 m.

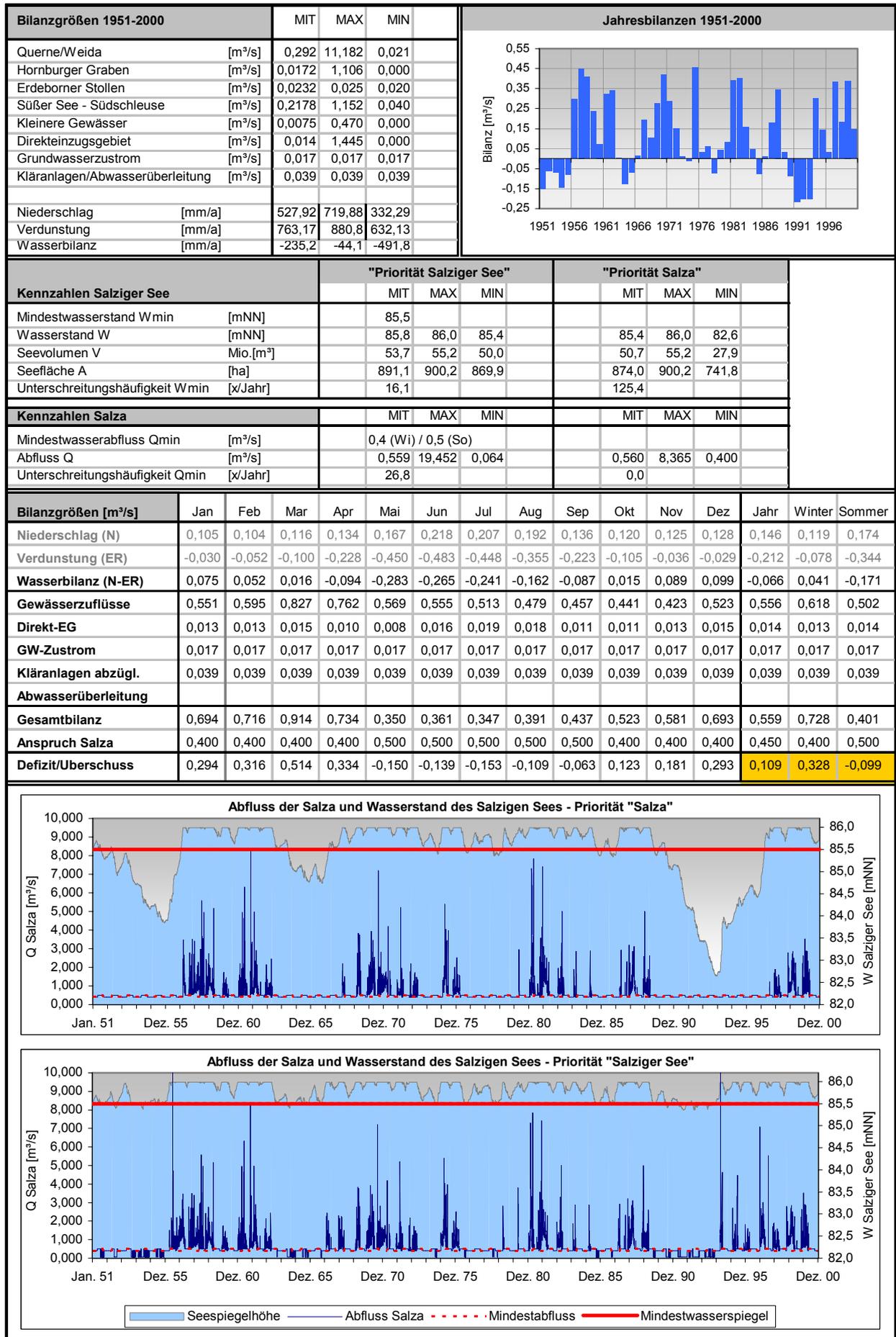


Abbildung 5.33: Hydrologische Kennzahlen der Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees – Bilanzierungsvariante III

Die Bilanzierungsvariante III lässt erkennen, dass nicht nur aufgrund der natürlichen Verhältnisse, sondern auch durch künstliche Eingriffe in das hydrologische System sowohl Probleme aber auch Möglichkeiten verbunden sind, steuernd auf die Wasserbilanzsituation im Bereich des Salzigen Sees einzuwirken. Genannt sei an dieser Stelle die Abwasserherausleitung aus dem Einzugsgebiet, deren Nichtrealisierung einen Beitrag zur zukünftigen Stabilisierung der Bilanzverhältnisse hätte leisten können.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Zeitraum 1951 - 2000 eine dauerhafte Sicherung von Mindestwasserstand des Salzigen Sees und Mindestabfluss der Salza nicht gewährleistet werden kann und demzufolge die zumeist ökologisch begründeten Anforderungen die hydrologisch-klimatischen Bedingungen des Untersuchungsgebietes nicht ausreichend berücksichtigen. Allerdings herrschen zu keinem Zeitpunkt derart extreme Verhältnisse vor, durch die über einen längeren Zeitraum und in größerem Ausmaß beide Gewässer gleichermaßen von einer Nichteinhaltung der hydrologischen Vorgaben betroffen wären.

Anhand der für die Bilanzierungsvarianten II und III dargestellten Ergebnisse konnte deutlich gemacht werden, dass die alleinige Betrachtung mittlerer Verhältnisse für Untersuchungen in Regionen mit einer bereits gegenwärtig angespannten klimatischen und hydrologischen Situation unzureichend ist. Vielmehr ist eine zeitlich dynamische Betrachtung erforderlich, die eine detaillierte Analyse von Ursachen und Ausmaß des Wasserbilanzdefizites, wie es zeitweilig durch die Wiederaufentstehung des Salzigen Sees auftreten kann, ermöglicht.

Von besonderem Interesse ist hierbei die Berücksichtigung mehrjährigerer Trockenperioden, wie sie zwischen 1990 und 1993 auftraten und aufgrund eines möglichen Klimawandels zukünftig verstärkt an Bedeutung gewinnen können. Insofern dienen die im folgenden Kapitel eingesetzten Klimaszenarien (STAR-Klimaszenario; MAGICC/SCENGEN-Szenario) weniger der Vorhersage der zukünftigen Entwicklung des Gewässers bis zum Jahr 2050, sondern vielmehr der Analyse der Reaktion des gesamten hydrologischen Systems auf klimatische Extreme.

5.4.4 Wasserhaushaltsbilanz unter veränderten Klimabedingungen (Bilanzierungsvariante IV)

Anhand der in Kap. 5.4.3 dargestellten Ergebnisse konnte deutlich gemacht werden, dass auch gegenwärtig, vor allem während länger anhaltender Trockenperioden, ein Bilanzdefizit und eine damit verbundene Gefährdung der Wasserbilanzstabilität des Salzigen Sees nicht auszuschließen ist. Dies lässt unter veränderten klimatischen Bedingungen, einhergehend mit einer Temperaturerhöhung sowie einem veränderten Niederschlagsregime, eine weitere Verschärfung der Wasserbilanzsituation erwarten. Die mögliche Konsequenz wäre die dauerhafte Nichtgewährleistung der ökologisch-hydrologischen Anforderungen an den Salzigen See und die Salza. Dies trifft insbesondere auf die nachfolgend diskutierten Klimaszenarien MAGICC/SCENGEN und STAR zu, bei denen sich der Abfluss der Querne/Weida, als bedeutendster Zufluss zum Salzigen See, zwischen 2001 und 2050 um fast 2/3 verringert (Kap. 5.3.2.2).

Sowohl die Reduzierung der oberirdischen Zuflussraten um 346 (MAGICC/SCENGEN) bzw. 349 l/s (STAR) als auch die temperaturbedingte Erhöhung der Verdunstungsraten von der Gewässeroberfläche führen zu nahezu dauerhaft negativen Jahresbilanzen (siehe „Jahresbilanzen 2001 - 2050“ in Abb. 5.34 & 5.35). Dabei zeigen beide Szenarien in ihrem Ausmaß weitestgehend Übereinstimmung auf. Unter Beibehaltung der Abgabemenge an die Salza ist neben einem durchschnittlichen jährlichen Bilanzdefizit von 183 l/s (MAGICC/SCENGEN) bzw. 190 l/s (STAR) auch für das Winterhalbjahr eine negative Abflussbilanz zu erwarten (siehe „Bilanzgrößen“ in Abb. 5.34 & 5.35). Als Folge dessen liegt der ökologisch begründete Mindestwasserabfluss ganzjährig oberhalb der ermittelten Zuflussraten zum Salzigen See.

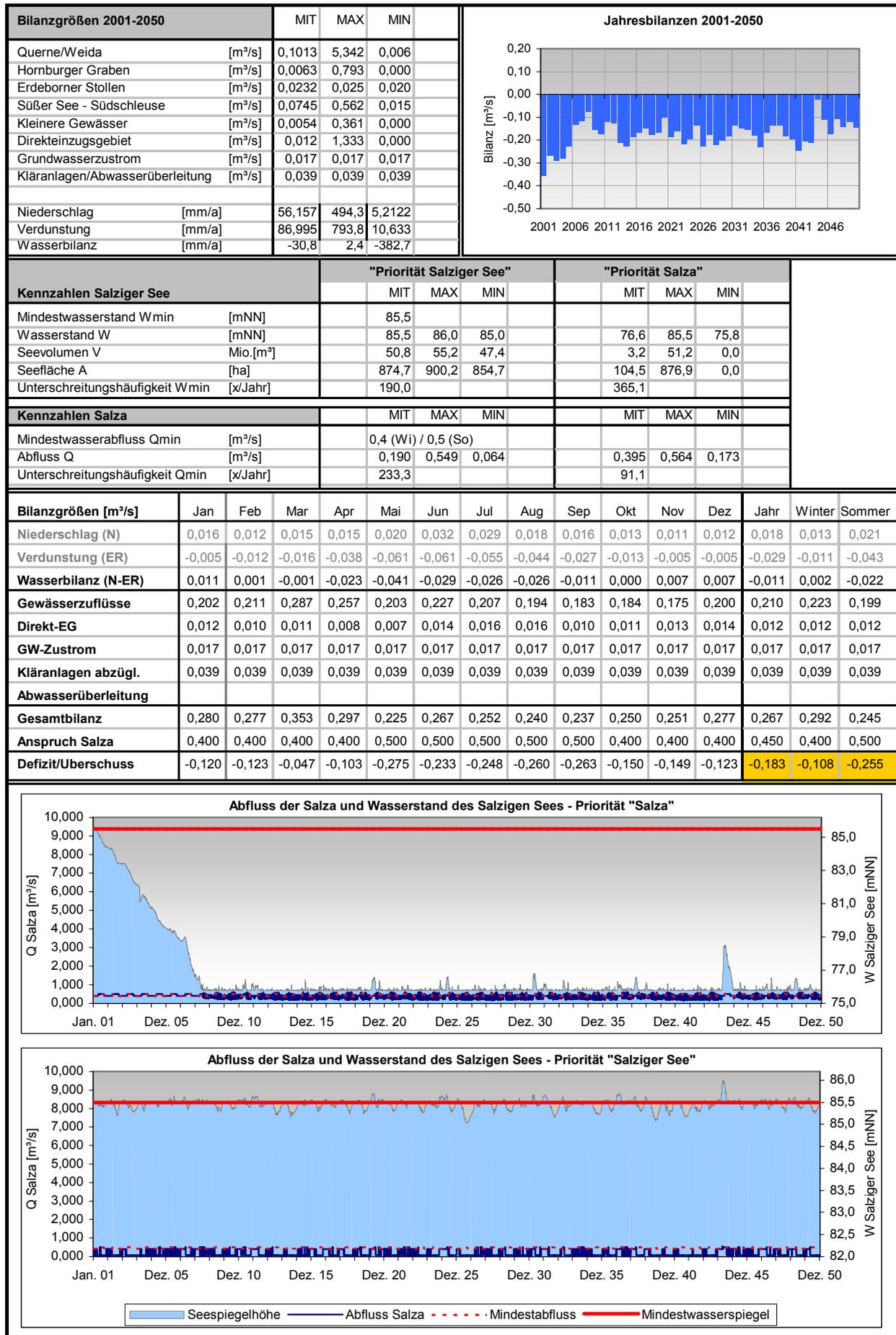


Abbildung 5.34: Hydrologische Kennzahlen der Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees – Bilanzierungsvariante IV für das Klimaszenario MAGICC/SCENGEN

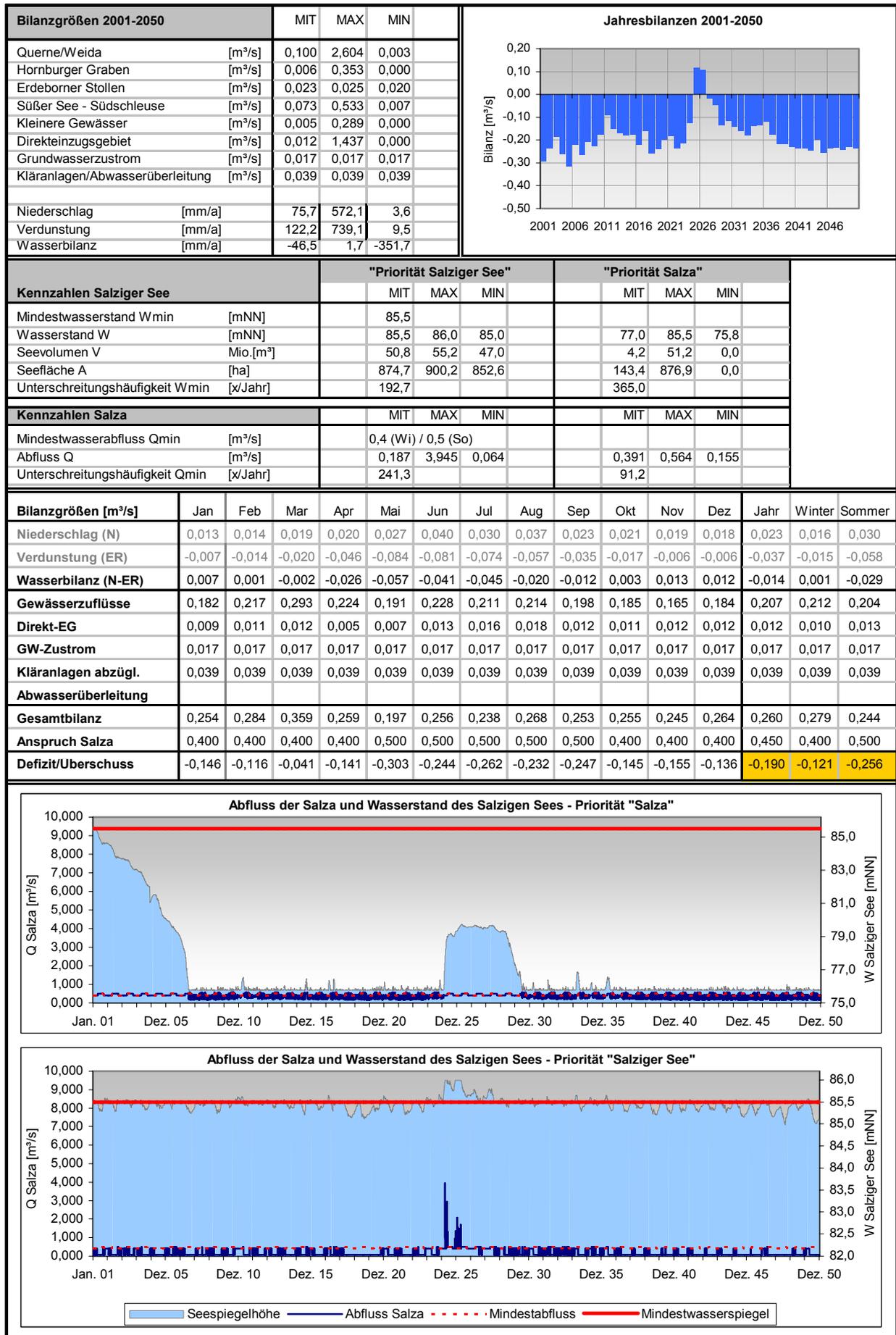


Abbildung 5.35: Hydrologische Kennzahlen der Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees – Bilanzierungsvariante IV für das Klimaszenario STAR

Ausgehend von einem zu Beginn des Bilanzierungszeitraumes gefüllten Speicher des Salzigen Sees, werden die hydrologischen Folgewirkungen eines langjährigen Wasserhaushaltsdefizites anhand der täglich ermittelten Bilanzparameter eindrucksvoll verdeutlicht. Für beide Klimaszenarien wird bei der Variante „**Priorität Salziger See**“ der erforderliche Mindestabfluss der Salza an durchschnittlich 241 bzw. 233 Tagen im Jahr unterschritten (siehe „*Diagramme*“ & „*Kennzahlen Salza*“ in Abb. 5.34 & 5.35). Trotzdem ist die nicht realisierte Wasserabgabe an die Salza keineswegs mit einer Sicherung des Mindestwasserspiegels des Salzigen Sees verbunden. Vielmehr weist auch dieser eine Unterschreitungshäufigkeit von je etwa 190 Tagen/Jahr auf, kann jedoch durchgängig über 85,0 m NN gehalten werden („*Kennzahlen Salziger See*“ in Abb. 5.34 & 5.35).

Deutlicher werden die Probleme einer klimabedingten Veränderung der Wasserbilanzsituation für die „**Priorität Salza**“. Die uneingeschränkte Abgabe vom Salzigen See an die Salza führt zu einer kontinuierlichen Ausschöpfung des Wasserspeichers und somit einem Rückgang von Seefläche und Wasserstand bis zum vollständigen Trockenfallen des Gewässers. Für das STAR-Szenario tritt dieser Fall bereits nach weniger als sieben, für das MAGICC/SCENGEN-Szenario nach knapp acht Jahren ein. Ab dem Zeitpunkt einer vollständigen Entleerung unterschreitet der Abfluss der Salza mit zunehmender Häufigkeit den erforderlichen Mindestabfluss, da keine Ausschöpfung des Wasserspeichers zur Ausgleichung des durch die verringerten Zuflussmengen vorherrschenden Bilanzdefizites mehr erfolgt.

Abgesehen von einzelnen Perioden, in denen überdurchschnittliche Niederschlagsmengen zu einer kurzzeitigen Zunahme der Zuflussmengen, verbunden mit einer den Anforderungen genügenden Mindestabgabemenge an die Salza sowie der Ausdehnung der Wasserfläche des Salzigen Sees, führt, können die langfristige Existenz des Salzigen Sees und eine den ökologischen Ansprüchen an die Salza genügende Mindestabflussmenge nicht gewährleistet werden. Vielmehr muss davon ausgegangen werden, dass der Wasserstand des Salzigen Sees und der Abfluss der Salza nicht ökologisch oder hydrologisch begründet vorgegeben, sondern ausschließlich durch die klimatischen Verhältnisse bestimmt sein werden.

5.4.5 Schlussfolgerungen, Perspektiven und Handlungsempfehlungen für den Salzigen See

Die Ergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung haben aufgezeigt, dass der Salzige See, unter Berücksichtigung einer Mindestabgabemenge in die Salza, im langjährigen Mittel eine positive Wasserhaushaltsbilanz aufweist. Während längerfristiger Trockenperioden, wie sie auch unter gegenwärtigen klimatischen Verhältnissen auftreten können, kann es jedoch zu deutlichen Unterschreitungen der geplanten Einstauhöhe von 85,5 m NN kommen. Welche Schlussfolgerungen lassen sich daraus ziehen, welche Perspektiven besitzt unter den gegebenen Umständen das Gewässer und welche Möglichkeiten bestehen hinsichtlich der Verbesserung des hydrologischen Gleichgewichtes?

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Autoren (PFÜTZNER 1997; SEIERT & BACH 2000) konnte dokumentiert werden, dass der Salzige See nur als künstlich gesteuertes Standgewässer existieren kann. Dennoch kann auch eine Regelung des Gewässerablaufes die Diskrepanz zwischen hydrologischen Ansprüchen und den für das Untersuchungsgebiet charakteristischen klimatisch-hydrologischen Verhältnissen nicht kompensieren. Eine beidseitige Berücksichtigung der hydrologischen Vorgaben an Salza und Salzigen See kann in Zeiträumen ausgesprochener Niederschlagsarmut (z.B. 1990 - 93) nicht garantiert werden. Vielmehr ist festzulegen, welches Gewässer bei der Sicherung seiner Ansprüche primär zu berücksichtigen ist. Läge eine solche Priorität bei einer dauerhaften Gewährleistung der ökologisch begründeten Abgabemenge an die Salza (ARGE HPI-BAH 1998), so käme es episodisch zu einem deutlichen Rückgang des Wasserstandes des Salzigen Sees, einhergehend mit einer landschaftlich sichtbaren Verringerung der Wasserfläche.

Um das Ausmaß der Nichteinhaltung eines erforderlichen Mindestwasserspiegels, in dem sich die vielfältigen an den Salzigen See gestellten Ansprüche widerspiegeln, perspektivisch zu minimieren, kann durch folgende Handlungsempfehlungen ein Beitrag zur dauerhaften Sicherung der Wasserbilanzstabilität des Gewässers geleistet werden:

Eine **erste Empfehlung** besteht in der **Erhöhung** des grundwasserbürtigen **Abflusses** in den Oberflächengewässern, welche sowohl direkt (Querne/Weida) als auch indirekt (Böse Sieben) in den Salzigen See entwässern. Durch eine Verbesserung der Rückhalte- und Speicherfähigkeit der Landschaft kann der Anteil des dem See schnell zufließenden Wassers und somit die hochwasserbedingte Überlaufmenge in die Salza reduziert und die der Auffüllung des Wasserspeichers dienende Abflussmenge erhöht werden. Dies kann zum Beispiel erfolgen durch:

- Erhöhung des Anteils der pfluglosen gegenüber der konventionellen Bodenbearbeitung zur Verbesserung des Wasserhaushaltes sowie der Verringerung von Oberflächenabfluss und Erosion (gegenwärtig praktiziert durch das Agrarunternehmen Barnstädt e.G.).
- Verminderung der Zunahme der Bodenversiegelung zur Reduzierung des Oberflächenabflusses und der Erhöhung der Sickerwasserrate (Grundwasserneubildung). Eine Entsiegelung von Flächen, vor allem im ufernahen Bereich wäre wünschenswert, jedoch wenig praktikabel.
- Anlage von Uferrandstreifen, auch zur Erhöhung des Puffervermögens gegenüber Stoffeinträgen.
- Renaturierung verbauter und begradigter Abschnitte der Fließgewässer sowie Schaffung von Retentionsräumen zur Verringerung der Fließgeschwindigkeit bei Hochwasserereignissen.
- Berücksichtigung der Wasserbilanzverhältnisse des Salzigen Sees bei zukünftigen Planungen zur Abwasserregulierung.
 - Abwasserüberleitungen, wie sie ab 2005 zur Kläranlage Karsdorf praktiziert werden, führen zur Abflussreduzierung und sollten in Hinblick auf die Wasserbilanz des Salzigen Sees zukünftig vermieden werden. Allerdings sei hierbei angemerkt, dass die Planungen zur Abwasserbeseitigung bereits umgesetzt werden (LVWA LSA 2004K) und weitere Veränderungen zukünftig nur kleinteilig zu erwarten sind.
- Wasserbauliche Maßnahmen zur Hochwasserrückhaltung.

Weiterhin bieten Aufforstungsmaßnahmen eine Möglichkeit, den Oberflächenabfluss deutlich zu reduzieren. Allerdings kann es durch die Erhöhung der Verdunstungsraten zu einer Verringerung der Wasserverfügbarkeit im Einzugsgebiet kommen (WURBS 2000).

Im Einzelfall besteht die Möglichkeit, das theoretisch zur Verfügung stehende Speichervolumen des Süßen Sees zu nutzen (KUSSMANN 1999). Durch eine auf ein Jahr bezogene Maximalabgabe von 0,04 m³/s an den Salzigen See könnten Defizite minimiert werden. Während abflussarmer Perioden käme es jedoch zur Gefährdung von Gewässerqualität und –quantität des Süßen Sees.

Eine scheinbare Alternative zur Erhöhung der Zuflussraten ergibt sich aus der Berücksichtigung des Schlüsselstollens in der Bilanzierung. Gegenwärtig werden in nicht unbedeutendem Umfang Wasser aus dem Überlauf der Mansfelder Mulde über den Stollen in die Schlenze und Saale abgeleitet (JANKOWSKI 1995) und stehen somit dem Grundwasserzustrom zum Becken des Salzigen Sees nicht zur Verfügung. Bei genauerer Betrachtung sprechen jedoch folgende Gründe dagegen: Erstens unterlag der geologische Untergrund des Zechsteins über Jahrzehnte einer intensiven Beanspruchung durch Entwässerung und der sich der Bergbauperiode anschließenden Flutung der Mansfelder Mulde. Dadurch existiert im Umfeld des Salzigen Sees gegenwärtig ein labiles hydraulisches Gleichgewicht. Die (tektonischen) Unsicherheiten bei der Wiederherstellung eines präbergbaulichen, quasi natürlichen Zustandes würden den Vorteil einer Ein-

stellung der Ableitungsmaßnahmen zu Gunsten der Sicherung der Wasserbilanzstabilität des Salzigen Sees überwiegen. Eine zweite Möglichkeit, die Stollenwässer direkt zu nutzen, besteht in deren Überleitung in den Salzigen See oder die Salza, was zweifelsohne eine deutliche Erhöhung des Gesamtzuflusses zur Folge hätte (gegenwärtige Schüttungsmenge $> 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$; VMBH&DBM 1999). Dem muss jedoch aus Gründen der hohen stofflichen Belastung mit Salzen und Schwermetallen widersprochen werden. So liegt die Belastung mit Chlorid um das 120-fache sowie die der Schwermetalle Zink (1100-fach), Cadmium (500-fach), Blei (200-fach) und Kupfer (80-fach) um ein Vielfaches oberhalb der LAWA-Zielvorgabe für aquatische Lebensgemeinschaften (RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT (1976), was in deutlichem Widerspruch zu den ökologischen Ansprüchen an beide Gewässer steht (LHW LSA 2004₃).

Die genannten Maßnahmen können infolge einer Erhöhung der Zuflussraten die Wasserbilanz des Salzigen Sees verbessern, Bilanzdefizite, wie sie zwischen 1990 und 1997 auftraten, jedoch nicht vollends vermeiden. Demzufolge besteht in einer kritischen Betrachtung der an den Salzigen See gestellten Ansprüche, vor allem aber des Mindestwasserabflusses der Salza, eine **weitere Option**, Bilanzprobleme des Salzigen Sees zu vermeiden. Dies kann durch eine generelle **Reduzierung der zu garantierenden Abgabemenge an die Salza** erfolgen, vorbehaltlich der damit verbundenen ökologischen Probleme im Gewässerumfeld. Zu favorisieren ist jedoch eine ab dem Zeitpunkt der Unterschreitung des erforderlichen Mindestwasserstandes des Salzigen Sees einsetzende Reduzierung der Abgabemenge an die Salza. Über die Bilanzierungsvarianten hinausgehende Berechnungen haben ergeben, dass eine um $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ verminderte Abgabemenge an die Salza die im Zeitraum 1990 - 1997 auftretende Unterschreitungsdauer um über 15 Monate verkürzen und das Wasserstandsminimum um $0,7 \text{ m}$ erhöhen würde. Eine Verringerung der Abgabemenge um weitere $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ wäre mit einer Verkürzung der Unterschreitungsdauer um zusätzlich 13 Monate verbunden. Durch diese Maßnahme kann das Auftreten eines hydrologisch und ökologisch extremen Zustandes für eines der beiden Gewässer vermieden werden, wenn auch zu Lasten einer zeitweiligen Beeinträchtigung eines guten gewässerökologischen Zustandes der Salza und ihrer Uferbereiche.

Eine **weitere Notwendigkeit** besteht in der Erhöhung des Bewusstseins in der Öffentlichkeit, dass der Salzige See, im Falle seiner Wiederentstehung, trotz aller Bilanz verbessernder Maßnahmen, in seiner räumlichen Ausdehnung und Gestalt Schwankungen unterlegen sein wird. In Perioden außergewöhnlicher Trockenheit würde er nicht dem erwarteten (und erhofften) Erscheinungsbild entsprechen. Das schließt gleichfalls eine zeitweilige Herabsetzung der an den Salzigen See gestellten ökologischen, wirtschaftlichen, vor allem aber touristischen Ansprüche und Erwartungen ein.

Die hier diskutierten Ergebnisse gelten für rezente klimatische Verhältnisse, speziell den Zeitraum 1951 bis 2000. Wie die Resultate der Bilanzierungsvariante IV gezeigt haben, kann eine zunehmende Klimaänderung, einhergehend mit Veränderungen des Niederschlagsverhaltens und einer Temperaturerhöhung zu einer langfristigen Gefährdung der Wasserbilanzstabilität des Salzigen Sees bis hin zur Gefährdung seiner Existenz führen. Diese Möglichkeit sollte, trotz aller Unsicherheiten, die mit der Abschätzung einer zukünftigen klimatischen Entwicklung verbunden sind, bei weiterführenden Planungen nicht ausgeschlossen werden, um die Wasserbilanzsituation auch unter extremen klimatischen Verhältnissen einschätzen zu können.

Die Diskussion der Ergebnisse hat gezeigt, dass weniger Einzelmaßnahmen, sondern vielmehr ein komplexes und gleichzeitig dynamisch-flexibles Maßnahmenkonzept erforderlich sein wird, um mittel- und langfristigen Klimabedingungen und -änderungen Rechnung zu tragen. Nur dadurch können in niederschlagsarmen Perioden die Wasserbilanzdefizite minimiert und somit Gewässerqualität und -quantität im Rahmen der laut EU-Wasserrahmenrichtlinie geforderten Bedingungen gewährleistet werden.

5.5 Abschätzung der Stoffeinträge in den Salzigen See

5.5.1 Betrachtung der Stoffbilanz für den Zeitraum 1997-1999

Die Untersuchungen für den Zeitraum 11/97 bis 10/99 (FRÜHAUF & SCHMIDT 1999; SCHMIDT & FRÜHAUF 2002) haben gezeigt, dass die Gewässergüte der Zuflüsse zum Salzigen See eine Erfüllung der an ihn gestellten Anforderungen zum gegenwärtigen Zeitpunkt ausschließt. Da das Gewässer zudem als Flachsee besonders sensibel gegenüber stofflichen Belastungen sein wird, wurde der Bewirtschaftungsplan „Salza“ mit dem Ziel der Gewässersanierung im Einzugsgebiet aufgestellt (RP HALLE 1997).

Basierend auf den vorliegenden Untersuchungsergebnissen werden nachfolgend Stickstoff- und Phosphorbelastung der Gewässer und die zu erwartenden Nährstoffeinträge in den Salzigen See zusammengefasst, um eine Grundlage zu schaffen, die es ermöglicht, die Stoffhaushaltssituation auch unter veränderten klimatischen Bedingungen (Kap. 5.5.2) abschätzen zu können.

Hierzu werden gemäß Kap. 4.5.5 Aussagen zu a) räumlicher Herkunft der Hauptbelastungsquellen; b) Art der emittierten Stoffe; c) Bedeutung der Emissionsquellen; d) Emissionspfaden; e) stofflicher Belastung der Gewässer (Stofffrachten); f) Gewässergüte nach LAWA-Zielvorgaben und g) Ereignisbezug der Stoffeinträge getroffen.

Um den zukünftigen Verhältnissen Rechnung zu tragen, wird die durch den Abwasserbeseitigungsplan „Salza“ umzusetzende Abwasserherausleitung aus dem Einzugsgebiet berücksichtigt.

- a) Hauptzuflüsse in den Salzigen See sind Querne/Weida und Hornburger Graben. 1/3 des Gesamtzuflusses entfällt auf den Süßen See. Durch die Senkenwirkung des Süßen Sees sind die aus seinem Einzugsgebiet stammenden Stofffrachten vergleichsweise gering und an dieser Stelle zu vernachlässigen. Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt demnach auf Querne/Weida und Hornburger Graben, deren Gesamtzuflussmenge im Untersuchungszeitraum 22,3 bzw. 4,3 Mio. m³ betrug.
- b) Begründet durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung und die Belastung durch Siedlungsabwasser stehen Stickstoff- und Phosphoreinträge sowie Schwebstofffrachten (abfiltrierbare Stoffe) im Mittelpunkt der Betrachtungen.
- c) Zum Zeitpunkt der Untersuchungen besaßen **punktueller** und **diffuse** Emissionsquellen gleichermaßen große Bedeutung. 58,5 % des Phosphor- und 51,9 % des Stickstoffeintrages gelangten über Punktquellen, d.h. Kläranlagen und nicht angeschlossene Siedlungsbereiche in die Vorfluter. Der Anteil der diffusen Quellen teilt sich bei Phosphor zu 67 % auf die Erosion, 24 % auf urbane Flächen, 7 % auf Grundwasser sowie 2 % auf Drainagen und atmosphärische Einträge auf. Bei Stickstoff gelangen 64 % der diffusen Einträge über das Grundwasser, 19% über den Erosionspfad, 7 % über Drainagen, 6 % über urbane Flächen und 4 % durch atmosphärische Einträge in das Gewässernetz (FRÜHAUF & SCHMIDT 1999).
- d) Aus den Quellen ergeben sich im Wesentlichen die Haupttransportpfade für die Stoffe. Der diffus eingetragene Phosphor gelangt zu 67 % durch Bodenerosion und abfließendes Oberflächenwasser in die Vorfluter. Demgegenüber werden 64 % der Nitrateinträge über den Grundwasserpfad in die Gewässer eingetragen (FRÜHAUF & SCHMIDT 1999).
- e) Die sich aus den unter c) genannten Quellen zusammensetzende Gesamtfracht beträgt, unter Berücksichtigung der gebietspezifischen Retention, für den Zeitraum November 1997 bis Oktober 1999 18.406 kg Phosphor und 324.658 kg Stickstoff (FRÜHAUF & SCHMIDT 1999).
- f) Bezogen auf die unter a) genannte Gesamtzuflussmenge ergibt sich daraus eine Phosphorkonzentration von 0,69 mg/l, was der LAWA-Güteklasse III und somit der Überschreitung der Zielvorgabe

um das 2,3-fache entspricht. Für den Gesamt-Stickstoff kann eine Konzentration von 12,2 mg/l ermittelt werden. Daraus lässt sich ebenfalls die Güteklasse III, bei zweifacher Überschreitung der LAWA-Zielvorgabe ableiten.

- g) Berücksichtigt man den ereignisbezogenen Stoffeintrag in die Gewässer, so ergibt sich für die Schwebstofffracht ein Anteil von 67 %. Für Phosphor konnten 24 % und für Nitrat 27 % ermittelt werden, was zusammenfassend als erheblich einzuschätzen ist und die Bedeutung von Extremereignissen für den Stofftransfer unterstreicht.

Anhand der von FRÜHAUF & SCHMIDT (1999) gewonnenen Ergebnisse konnte eine hohe Belastung durch punktuelle Abwassereinleitungen festgestellt werden. Nach Umsetzung des Abwasserbeseitigungsplanes „Salza“ werden die Abwässer nahezu vollständig aus dem Einzugsgebiet herausgeleitet (Kap. 4.5.3). Da die stoffliche Belastung dadurch überwiegend über die diffusen Quellen erfolgt, kommt es zu einer Verschiebung der Emissionspfade und -quellen. Folgende Nährstoffbilanz, ermittelt aus den Stofffrachten der Querne/Weida und des Hornburger Grabens, kann perspektivisch für den Salzigen See aufgestellt werden:

	P-Fracht [kg]	P-Fracht [%]	N-Fracht [kg]	N-Fracht [%]	Gesamtzufluss [m³]	Stoffkonzentration [mg/l]		LAWA-Güteklasse	
						P	N	P	N
Grundwasser	235	6,1	50.129	66,6	11.005.260	0,35	6,8	II-III	II-III
Drainagen	53	1,4	5.823	7,7					
Erosion	2.568	67,6	11.695	15,5					
Urbane Flächen	903	23,8	5.182	6,9					
Atm. Einträge	45	1,1	2.516	3,3					
SUMME	3.804	100	75.345	100					

Tabelle 5.23: Perspektivische jährliche Stoffemissionen in den Salzigen See nach Umsetzung des Abwasserbeseitigungsplanes „Salza“, bezogen auf den Zeitraum 11/97 - 10/99 (Quelle: SCHMIDT & FRÜHAUF 2002, geändert)

Aus der aufgestellten Bilanz wird die Notwendigkeit erkennbar, bei einer klimabedingten Beeinflussung des Wasserhaushaltes vordergründig die Veränderungen der Grundwasserneubildung (Stickstoff) und des Oberflächenabflusses (Phosphor, Sedimente) zu betrachten.

Darauf aufbauend sollen Abschätzungen vorgenommen werden, inwiefern ein Rückgang der Niederschläge (Kap. 5.2.3) und eine damit verbunden Veränderung des Abflussprozesses (ober- und unterirdisch) zu Veränderungen des Stoffeintrages in die Gewässer führt und welche Perspektiven sich für die Stoffkonzentration im Gewässer ergeben.

Die hier zusammengefassten Erkenntnisse beruhen auf den Ergebnissen der von FRÜHAUF & SCHMIDT durchgeführten Untersuchungen für zwei hydrologische Jahre, was für Stoffhaushaltsanalysen einen kurzen Zeitraum darstellt. Die Komplexität, mit der die Arbeiten realisiert wurden und die umfassende Messdichte erlauben dennoch, die Ergebnisse auf die hier vorliegenden Untersuchungen anzuwenden, um näherungsweise Aussagen zu möglichen Veränderungen der stofflichen Belastung der Gewässer im Einzugsgebiet der Querne/Weida infolge klimabedingter Abflussveränderungen treffen zu können.

5.5.2 Abschätzung der Stoffbilanz unter veränderten klimatischen Bedingungen

Ausgehend von der in Kap. 5.5.1 angeführten perspektivischen Nährstoffbilanz für den Salzigem See, lassen sich durch den Klimawandel nicht nur quantitative Veränderungen des Gewässerabflusses, sondern vor allem auch neue qualitative Aspekte hinsichtlich des Stoffhaushaltes der Gewässer erwarten.

Bezug nehmend auf die relevanten Emissionsquellen wird dabei die Veränderung der N- und P-Einträge in die Gewässer analysiert, um anschließend Aussagen zu Stofffrachten, -konzentrationen und Gewässergüte treffen zu können. Innerjährliche Variationen können keine Berücksichtigung finden, da die als Grundlage verwendeten Ergebnisse von FRÜHAUF & SCHMIDT aufgrund einer nur 2-jährigen Untersuchungsdauer als nicht ausreichend repräsentativ für halbjährliche oder gar monatliche Betrachtungen angesehen werden müssen. Ebenso können die Veränderung der Gewässerretention, der erhöhte landwirtschaftliche Bewässerungsbedarf infolge geringerer Wasserverfügbarkeit und eine verändertes (angepasstes) Anbau- und Wachstumsverhalten auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen nicht berücksichtigt werden.

Als wesentliche Voraussetzung bei der Abschätzung der stofflichen Emissionen gilt, dass die Veränderung von Starkregenereignissen und deren Anteil am Gesamtniederschlag bei den Klimaszenarien keine Berücksichtigung fanden und diesbezüglich auch hier keine Aussagen getroffen werden können. Demnach wird von einem linearen Zusammenhang zwischen den Veränderungen des Auftretens extremer Ereignisse und des Jahresniederschlages ausgegangen.

Vorab erfolgt eine quantitative Beschreibung des veränderten Nährstoffeintrages in die Gewässer, bezogen auf die perspektivische Nährstoffbilanz am Zufluss zum Salzigem See (Tab. 5.23). Trotz der vordergründigen Genauigkeit wird kein Anspruch erhoben, zukünftige Nährstoffbelastungen detailliert prognostizieren zu können. Allerdings kann nur auf Grundlage dieser Zahlen eine klimabedingte Veränderung der Gewässergüte, bezogen auf LAWA-Güteklassen (LAWA 1998), in erfassbaren Größenordnungen abgeschätzt werden.

Urbane Flächen

Entsprechend des Berechnungsansatzes zur Emission aus urbanen Flächen durch SCHMIDT & FRÜHAUF (2002) sind die Niederschlagsintensität, die urbane Flächengröße und deren spezifische Abflussbeiwerte die wesentlichen Steuergrößen für die Abflussmenge. Da Fläche und Abflussbeiwert als konstant angesehen werden können, reduziert sich der Eintrag von den urbanen Flächen in dem Maße, wie sich das Niederschlagsangebot verringert. In Abhängigkeit vom Klimaszenario kann ein Rückgang der urbanen Stoffeinträge um 1 % bzw. 4 % abgeschätzt werden (Tab. 5.23). Dabei ist nicht zu vernachlässigen, dass der niederschlagsbedingte Emissionsrückgang möglicherweise niedriger ausfällt, als hier dargestellt. Zwar verringern sich Häufigkeit und Ausmaß der Niederschläge, dennoch ist davon auszugehen, dass aufgrund des geringen Rückhaltes versiegelter Flächen, Stickstoff und Phosphor zwar seltener, dafür aber in umso höherer Konzentration bei einem nachfolgenden Ereignis in die Vorfluter eingetragen werden.

Erosion

Davon ausgehend, dass sich die Bodeneigenschaften nicht maßgeblich verändern und der Anteil der Starkniederschläge am Gesamtniederschlag bei den Klimaszenarien konstant bleibt, bestimmt die Veränderung des Oberflächenabflusses das Ausmaß der Bodenerosion und demzufolge den an die Sedimente gebundenen Stoffeintrag in die Gewässer. Für beide Klimaszenarien wurde ein Rückgang des Oberflächenabflusses um 14 % ermittelt (Kap. 5.3.2.1), was einen Rückgang der über den Erosionspfad realisierten Stoffeinträge für N und P in gleichem Maße bewirkt (Tab. 5.23). Als Folge geringerer Erosion erhöht sich, bei gleichbleibenden Düngegaben, die P- und N-Konzentration im Boden. Eine daraus resultierende

Möglichkeit, den Einsatz von P- und N-Düngern und damit die Stoffeinträge mittelfristig weiter zu reduzieren, wird an dieser Stelle nicht berücksichtigt.

Atmosphärische Einträge

Aus der Vielzahl an Untersuchungen zum atmosphärischen Stoffeintrag in die Gewässer wurde durch FRÜHAUF & SCHMIDT ein mittlerer Gehalt im Niederschlagswasser angenommen. In Abhängigkeit von den Quellen kann dieser Anteil bei verändertem Niederschlagsdargebot schwanken. Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen wird aufgrund der untergeordneten Bedeutung atmosphärischer Einträge (Tab. 5.23) von einem linearen Zusammenhang zwischen Niederschlagshöhe und Emissionsmenge ausgegangen. Dementsprechend verringern sich die Stoffeinträge in die Gewässer szenarienabhängig um 1 - 4 % (Tab. 5.23).

Dränagen und Grundwasserpfad

Im Gegensatz zu den bereits genannten Emissionsquellen, stellt sich die Bilanzierung der Stoffeinträge über Drainagen und den Grundwasserpfad deutlich komplizierter dar. Eine niederschlagsbedingte Reduzierung der Sickerwasserrate (Kap. 5.3.2.1) führt zunächst zu einem geringeren Eintrag an Phosphor und Stickstoff. Da das Bindungsvermögen der Böden, vor allem gegenüber Stickstoff begrenzt ist, kann davon ausgegangen werden, dass ein Rückgang der Sickerwasserrate nicht in gleichem Maße eine Verringerung der Stoffeinträge zur Folge hat.

Um die Emissionsmengen bilanzieren zu können, wird auf vorliegende Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen zurückgegriffen. Berechnungen von VENOHR ET AL. (2003) zeigen für das Elbegebiet, dass einem klimabedingten Rückgang der Grundwasserneubildung eine durchschnittlich nur halb so große Verminderung der Stoffeinträge über den Sickerwasserpfad gegenübersteht. Ein für das Einzugsgebiet von Querne/Weida und Hornburger Graben bilanzierter Rückgang der Sickerwasserraten um 82 % würde demzufolge eine 41 %-ige Verringerung der Stoffeinträge bewirken (Tab. 5.24). Andere Ansätze gehen von einem direkten Zusammenhang zwischen Stickstoffauswaschungsgefahr und der relativen Austauschhäufigkeit des Bodenwassers als Funktion der Feldkapazität im durchwurzelten Bodenraum und der Sickerwassermenge aus (AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZGEBIETEN 1992; DVWK 1996b). Bei konstanter Feldkapazität des Bodens verringert sich das Auswaschungspotential in gleichem Maße wie die Grundwasserneubildung. Für den Untersuchungsraum wäre demnach eine Minderung der Stoffeinträge um etwa 82 % zu erwarten (Tab. 5.24). Die Spannweite der Verringerung der Stoffeinträge über Dränagen und Grundwasser liegt für das Untersuchungsgebiet der Querne/Weida letztendlich zwischen - 41 und - 82%.

Unter Berücksichtigung der Anteile der einzelnen Emissionsquellen am Gesamteintrag ergibt sich aus der veränderten Klima- und Wasserhaushaltssituation eine Verringerung der Stickstoffeinträge **zwischen 33 und 63 %**, die vor allem auf den deutlichen Rückgang der Sickerwasserraten zurückzuführen ist. Geringer sind die Veränderungen bei den Phosphoreinträgen, die zwischen - 13 und - 17% schwanken. Zwischen den verwendeten Klimaszenarien sind keine nennenswerten Unterschiede erkennbar. In gleichem Maße, wie sich die Stoffeinträge verringern, reduzieren sich auch die jährlichen Stofffrachten der Querne/Weida am Zufluss zum Salzigem See (Tab. 5.24).

Der durch die Klimaänderungen maßgeblich beeinträchtigte Abflussbildungsprozess führt im Einzugsgebiet nicht nur zu einer qualitativen, sondern vor allem auch quantitativen Veränderung der Gewässerabflüsse. Für beide Szenarien konnte ein Rückgang des durchschnittlichen Gewässerabflusses der Querne/Weida um zwei Drittel ermittelt werden (vgl. auch Kap. 5.3.2.2).

Trotz des zum Teil deutlichen Rückganges der Stoffeinträge führt die reduzierte Wasserführung zu einem Anstieg der Stoffkonzentration am Zufluss zum Salzigem See. Je nach verwendetem Ansatz für den Grundwasserpfad ist für den Stickstoff eine Erhöhung der Konzentration auf das Doppelte möglich. Gravierender stellt sich die Situation für die Phosphorkonzentration dar. Hier kann eine nahezu einheitliche Konzentrationserhöhung um etwa 150 % festgestellt werden.

Klima / Wasserhaushalt	Gegenwart	MAGICC/SCENGEN-Szenario		STAR-Szenario	
	[mm]	[mm]	Veränderung	[mm]	Veränderung
Niederschlag	556	552	- 1%	532	- 4 %
Grundwasserneubildung	39	7	- 82 %	7	- 82 %
Oberflächenabfluss	4,4	3,8	- 14 %	3,8	- 14 %
N-Einträge	Gegenwart	MAGICC/SCENGEN-Szenario		STAR-Szenario	
	N-Einträge [kg]	N-Einträge [kg]	Veränderung	N-Einträge [kg]	Veränderung
Grundwasser	50.129	9.023 - 29.576	- 41 bis - 82%	9.023 - 29.576	- 41 bis - 82%
Drainagen	5.823	1.048 - 3.436	- 41 bis - 82%	1.048 - 3.436	- 41 bis - 82%
Erosion	11.695	10.058	- 14 %	10.058	- 14 %
Urbane Flächen	5.182	5.130	- 1 %	4.975	- 4 %
Atm. Einträge	2.516	2.491	- 1 %	2.415	- 4 %
P-Einträge	Gegenwart	MAGICC/SCENGEN-Szenario		STAR-Szenario	
	P-Einträge [kg]	P-Einträge [kg]	Veränderung	P-Einträge [kg]	Veränderung
Grundwasser	235	42 - 139	- 41 bis - 82%	42 - 139	- 41 bis - 82%
Drainagen	53	10 - 31	- 41 bis - 82%	10 - 31	- 41 bis - 82%
Erosion	2.568	2.208	- 14 %	2.208	- 14 %
Urbane Flächen	903	894	- 1 %	867	- 4 %
Atm. Einträge	45	45	- 1 %	43	- 4 %
SUMME – N-Einträge	75.345	27.750 – 50.691	- 63 % - - 33 %	27.519 – 50.460	- 63 % - - 33 %
SUMME – P-Einträge	3.804	3.199 – 3.317	- 16 % - - 13 %	3.170 – 3.288	- 17 % - - 14 %
	Gegenwart	MAGICC/SCENGEN-Szenario		STAR-Szenario	
			Veränderung		Veränderung
Gesamtzufluss [m³/a]	11.005.260	3.741.788	- 66 %	3.631736	- 67 %
Gesamtfracht – N [kg/a]	75.345	27.750 – 50.691	- 63 % - -33 %	27.519 – 50.460	- 63 % - -33 %
Gesamtfracht – P [kg/a]	3.804	3.199 – 3.317	- 16 % - -13 %	3.170 – 3.288	- 17 % - - 14 %
Konzentration – N [mg/l]	6,8	7,4 – 13,5	+ 9 bis + 99 %	7,5 – 13,9	+ 10 bis + 104 %
Konzentration – P [mg/l]	0,35	0,85 – 0,89	+ 143 bis + 154	0,87 – 0,9	+ 149 bis + 157%
LAWA-Güteklasse – N	II – III		III / III-IV		III / IV
LAWA-Güteklasse - P	II – III		III - IV		III - IV

Tabelle 5.24: Abschätzung der jährlichen stofflichen Belastung des Salzigem Sees unter veränderten Klima- und Abflussbedingungen

Entsprechend der LAWAGewässergüteklassifikation (LAWA 1998) ergibt sich für die Stickstoffbelastung der Querne/Weida die chemische Güteklasse III bzw. III-IV und somit eine erhöhte/hohe Belastung des Gewässers. Gegenüber der durch SCHMIDT & FRÜHAUF perspektivisch ermittelten Wasserbeschaffenheit bedeutet das eine **Verschlechterung um ein bis zwei Klassen**. Erheblicher ist die Verminderung der Gewässerqualität hinsichtlich der Phosphorbelastung. Die übermäßige Konzentrationserhöhung bedingt eine um zwei Klassen reduzierte Gewässergüte (III-IV).

Welches Fazit kann aus den aufgeführten Ergebnissen für den Stoffhaushalt der Gewässer im Einzugsgebiet der Querne/Weida hinsichtlich einer perspektivischen Nährstoffbilanz für den Salzigen See gezogen werden?

Der klimabedingte Rückgang der Niederschläge im Untersuchungsgebiet führt neben einer verringerten Abflussbildung vor allem zu geringeren Stoffeinträgen an N und P und somit zu reduzierten Stofffrachten in den Gewässern. Jedoch käme es in Zusammenhang mit einem umso stärkeren Rückgang der Gewässerabflüsse zu einer Erhöhung der Stoffkonzentrationen. Einer quantitativen Verbesserung der Stoffhaushaltssituation stände somit ein qualitatives Problem gegenüber. Da vor allem in den Sommermonaten überdurchschnittliche Abflussverluste zu erwarten sind (Tab. 5.14), wäre vor allem in diesem Zeitraum mit einer Erhöhung der Stoffbelastungen zu rechnen.

Aus den bestehenden Erkenntnissen lässt sich für den Salzigen See zusammenfassend schlussfolgern, dass neben der in Kap. 5.4.4 diskutierten Problematik der quantitativen Sicherung der Gewässerstabilität zunehmend auch die qualitative Komponente zu beachten ist. Da das Gewässer zwischen Querne/Weida und Salza als Senke für Stoffeinträge dient, wäre für ein Szenario der Priorität „Salza“ (Kap. 5.4.4) neben einem dauerhaften Wasserverlust in gleichem Maße eine Zunahme der Stoffkonzentrationen zu erwarten.

Zu beachten ist, dass die hier aufgeführten Ergebnisse nur Abschätzungen darstellen, die sich in Zusammenhang mit den im Rahmen der Arbeit verwendeten Klimaszenarien ergeben könnten. Detaillierte, perspektivische Aussagen zu einer zukünftigen stofflichen Belastung des Salzigen Sees und seiner Zuflüsse können daraus nicht getroffen werden.

Jedoch beweist die angesprochene Problematik, dass einem Monitoring im Einzugsgebiet, vor allem nach Umsetzung des Abwasserbeseitigungsplanes „Salza“, eine zunehmende Bedeutung beigemessen werden muss und die in Kap. 5.4.5 diskutierten Handlungsempfehlungen, vor allem in Hinblick auf die Gewässerqualität, eine neue Dimension erhalten.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND RESÜMEE

Der globale Klimawandel rückte in den letzten Jahrzehnten und vor allem seit Beginn des 21. Jahrhunderts zunehmend in den Blickpunkt des wissenschaftlichen und politischen Interesses. Seither wurden nicht nur die Ursachen und Folgen, sondern vor allem in der regionalen Ebene auch die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Klimaänderungen und den unterschiedlichsten Bereichen des gesellschaftlichen Lebens betrachtet. Hierbei zeigt sich eine ungleiche Informationslage für naturräumlich unterschiedlich ausgestattete Regionen. Speziell für Sachsen-Anhalt besteht diesbezüglich ein Informationsdefizit, obwohl hier, bedingt durch die Leewirkung des Harzes, die klimatischen Verhältnisse schon gegenwärtig eine angespannte Wasserhaushaltssituation in großen Teilen des Bundeslandes bewirken.

In diesem Kontext gliedert sich auch die vorliegende Arbeit ein. Deren primäres Ziel bestand zunächst in der Untersuchung klimabedingter Veränderungen des Wasserhaushaltes in den Flusseinzugsgebieten von Querne/Weida und Wipper. Durch die Einbindung mehrerer Klimaszenarien wurde damit versucht, dem sehr breiten Spektrum einer möglichen Klimaentwicklung Rechnung zu tragen. Gleichzeitig ermöglichte der vergleichende Ansatz, die Sensitivität von Einzugsgebieten unterschiedlicher natürlicher Ausstattung und Landnutzung gegenüber Klimaveränderungen zu untersuchen. Hierdurch ergab sich auch die Möglichkeit, besondere Problemregionen zu identifizieren, die hinsichtlich der Wasserverfügbarkeit ein ausgesprochen hohes Konfliktpotential aufweisen. Diesbezüglich besteht vor allem unter dem Blickwinkel der Planungsvorstellungen für den wieder entstehenden Salzigen See und sein Einzugsgebiet, aufgrund der hier existierenden klimatischen und hydrologischen Rahmenbedingungen und der zu erwartenden Landnutzungsänderungen, perspektivisch dringender Handlungsbedarf.

Die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen Klimawandel, Hydrologie und Landnutzungsänderungen wurden deshalb vorrangig auf das Beispiel des Salzigen Sees orientiert, um so aus planungspraktischer Sicht neuartige Erkenntnisse zu gewinnen. Gleichzeitig konnte durch die Betrachtung naturräumlich unterschiedlich ausgestatteter und auch durch verschiedene Landnutzungsmuster geprägte Untersuchungsgebiete sowie die Einbindung verschiedener Klimaszenarien der ökosystemare Anspruch an die Problembewältigung, unter Berücksichtigung verschiedener variabler Steuergrößen bzw. dynamischer Betrachtungsweisen, gesteigert werden.

Entsprechend der in Kapitel 1.1 formulierten Zielstellungen lassen sich die erzielten Ergebnisse der Untersuchungen wie folgt zusammenfassen:

- **Charakterisierung der gegenwärtigen hydrologischen Eigenschaften und Landnutzungsverhältnisse in den Untersuchungsgebieten**
 - Vor allem bedingt aus der Leewirkung des Harzes kommt es im Einzugsgebiet der Querne/Weida zu einem ausgesprochen geringen Niederschlagsdargebot, aus dem eine negative klimatische Wasserbilanz und niedrige Abflussraten resultieren. Demgegenüber weist das Untersuchungsgebiet der Wipper klimatisch und hydrologisch günstigere Verhältnisse auf.
 - Die Landnutzungsverhältnisse betreffend ist das Untersuchungsgebiet der Querne/Weida durch eine intensive agrarische Nutzung und starke anthropogene Beanspruchung geprägt. Demgegenüber dominiert im Einzugsgebiet der Wipper, vor allem in den oberen Lagen, der Waldanteil. Dadurch sind die Nutzungsfolgen hier insgesamt deutlich geringer.
- **Hydrologischer Vergleich der Untersuchungsgebiete und ihrer Sensitivität gegenüber Klimaveränderungen**
 - Die natürlichen Bedingungen der Untersuchungsgebiete steuern in starkem Maße die Empfindlichkeit gegenüber regionalen Klimaänderungen. Als Ergebnis der vergleichende Analyse wurde deut-

lich, dass die hydrologische Sensibilität gegenüber klimatischen Veränderungen im Querne/Weida-Einzugsgebiet stärker zunimmt, da hier bereits gegenwärtig ein Wasserbilanzdefizit und demzufolge eine geringere Wasserverfügbarkeit auftritt.

- Die Ergebnisse zeigten hierbei eine starke Abhängigkeit von den Vorgaben der verwendeten Klimaszenarien. Dadurch unterschieden sich die Resultate der hydrologischen Modellierung zum Teil erheblich. In diesem Zusammenhang erwies sich aber der vergleichende Ansatz der Arbeit von Vorteil, da dadurch die Erfassung eines breiten Ergebnisspektrums realisiert werden konnte.
- **Analyse der Szenariengüte und –unsicherheiten hinsichtlich ihrer Eignung für hydrologische Fragestellungen**
 - Die eingesetzten Klimaszenarien ließen aufgrund ihrer unterschiedlichen Modellphilosophien Fragen offen, die sowohl die methodischen Ansätze ihrer Entwicklung als auch die Wiedergabe der klimatischen Verhältnisse betreffen. Die hieraus resultierenden Unsicherheiten erfordern deshalb einen kritischen Umgang mit der verwendeten Datengrundlage und eine verstärkte Abschätzung der Plausibilität der Ergebnisse. Dadurch könnte der Beitrag regionaler Klimaszenarienmodelle in der Klimafolgenforschung zukünftig noch weiter gesteigert werden.
 - Ausgehend von der semiquantitativen Unsicherheitsanalyse für Temperatur und Niederschlag musste diesbezüglich die Anwendung des ECHAM/REMO-Klimaszenarios für hydrologische Fragestellungen als ausgesprochen unsicher bewertet werden.
 - Demgegenüber erwies sich das STAR-Klimaszenario als wesentlich besser für weiterführende hydrologische Untersuchungen geeignet. Allerdings ließen sich auch hier Optionen zur Verbesserung der Datenqualität und der Auswahl repräsentativer Bezugsstationen aufzeigen.
 - Um die Sensitivität der Untersuchungsräume gegenüber Klimaveränderungen zu testen, wurden deshalb vereinfachte Szenarien entwickelt und angewandt. Vor allem der Einsatz eines regionalen Klimaszenarios nach MAGICC/SCENGEN zeigte sich hierbei in Verbindung mit den genannten komplexen Szenarien als überaus effektiv und für die eigene Problemstellung zielführend.
- **Räumliche Differenzierung der Untersuchungsgebiete zur Ausweisung von Problemregionen bezüglich der perspektivischen Sicherung der Ressource „Wasser“**
 - Ausgehend von den vergleichenden Untersuchungen beider Gebiete konnten der Salzige See und sein Umfeld als Teilregion identifiziert werden, für die unter dieser Zielorientierung ein ausgesprochen hoher Handlungsbedarf hinsichtlich möglicher Klimafolgen besteht.
 - Mit der Wiederentstehung des Gewässers kommt deshalb der regionalen Betrachtung des komplexen Wirkungsgefüges aus Klimawandel, Wasserhaushalt und Landnutzungsänderungen eine steigende Bedeutung zu, um so den vielfältigen Nutzungs- aber auch Schutzanforderungen an den Salzigen See entsprechen zu können.
- **Wasserbilanzsituation des Salzigen Sees unter gegenwärtigen und veränderten klimatischen Verhältnissen – Ableitung von Konflikt- und Handlungsfeldern**
 - Die Erstellung und Anwendung eines Wasserbilanzmodells für den Salzigen See erwies sich als geeignetes Mittel, die hydrologische Stabilität des Gewässers unter Berücksichtigung seiner zeitlichen Dynamik sowie den Folgen von Klimaveränderungen zu analysieren und darzustellen.
 - Für den Salzigen See und die Salza lässt sich dabei eine Diskrepanz zwischen den natürlichen klimatischen Verhältnissen und den vielfältigen an die Gewässer gestellten Anforderungen ermitteln. Problematisch erscheint dabei vor allem die Gewährleistung der ökologisch begründeten hydrologischen Mindestvorgaben für den See, einschließlich seines Abflusses, in längeren Trockenperioden.

- Handlungsoptionen bestehen deshalb insbesondere bezüglich einer Erhöhung des Niedrigwasserabflusses durch die Verbesserung des Speicher- und Rückhaltevermögens im Einzugsgebiet. Aber auch die Anpassung der hydrologischen Vorgaben an die veränderten Klimabedingungen könnte einen Beitrag zur Vermeidung und Verminderung solcher Extremsituationen leisten.
 - Dies erfordert gleichzeitig, vor allem in den Anliegergemeinden, eine breite öffentliche Diskussion zum möglichen Erscheinungsbild des Salzigen Sees in Zeiträumen geringerer Wasserverfügbarkeit.
 - Insgesamt wird deutlich, dass trotz einzelner Unsicherheiten der regionalen Klimamodelle, eine Klimaveränderung langfristig die Wasserbilanzstabilität und sogar die Existenz des Salzigen Sees, seines Abflusses und somit auch der hier verbreiteten Schutzgebiete gefährden kann.
- **Abschätzung der Nährstoffbilanz des Salzigen Sees unter veränderten Klimabedingungen**
- Mit einem vereinfachten Bilanzierungsansatz wurde eine Abschätzung der Stoffeinträge in den Salzigen See vorgenommen und eine klimabedingte Erhöhung der Stoffkonzentrationen für N und P prognostiziert. Damit wird erkennbar, dass neben der Gewässerquantität auch der Gewässerqualität eine große Bedeutung beizumessen ist, um die diesbezüglichen Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie zukünftig erfüllen zu können.

Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen somit insgesamt den Schluss zu, dass die Folgewirkungen des globalen Klimawandels in der regionalen Ebene, in Abhängigkeit von den gegebenen natürlichen Randbedingungen, sehr differenziert auftreten können. Folglich kommt in der Klimafolgeforschung der Betrachtung des Ausgangsniveaus bzw. -zustandes, die maßgeblich durch die naturräumlichen Gegebenheiten sowie die Art und Intensität der Nutzung bestimmt werden, eine besondere Bedeutung zu. Dies verdeutlicht, dass im Rahmen von Handlungsempfehlungen zu den Folgen des Klimawandels eine verstärkte landschaftsspezifische Betrachtung erforderlich ist. Eine generelle Übertragbarkeit der für eine Region gewonnenen Erkenntnisse auf andere Teilräume ist deshalb mit größeren Problemen behaftet und als kritisch einzustufen. Als Beispiel sei an dieser Stelle das betrachtete Einzugsgebiet der Querne/Weida mit dem Salzigen See genannt, das durch seine Lage im Kernbereich des Mitteldeutschen Trockengebietes besondere natürliche Voraussetzungen aufweist, die schon jetzt durch eine überaus angespannte Wasserhaushaltssituation gekennzeichnet sind.

Die Verbesserung der derzeit, insbesondere in Bezug auf diese Landschaftsregion mit ihrem intensiven teilweise aber untereinander konkurrierenden Nutzungsmuster, unbefriedigenden Datenqualität kann deshalb auch dazu beitragen, die Unsicherheiten in der regionalen Klimafolgeforschung zu verringern und so die Akzeptanz der gewonnenen Erkenntnisse in der breiten Öffentlichkeit erhöhen. Hierzu ist zum einen die Optimierung der Erfassung und Bereitstellung der zweifellos zahlreichen Daten- und Informationsgrundlagen erforderlich, um die Ausgangslage bezüglich der Datensicherheit zu verbessern. Andererseits erscheint die zunehmende Abkehr von empirischen Untersuchungsmethoden in Hydrologie und Klimatologie problematisch, da erst die Ergebnisse langjähriger Felduntersuchungen nicht nur zu einer Verbesserung des Verständnisses über die Ökosysteme sondern auch zu einer weiteren Optimierung der globalen und regionalen Klimamodelle sowie der physikalisch basierten Ansätze in der hydrologischen Modellierung beigetragen haben. Zukünftig sollte deshalb sowohl die Weiterentwicklung existierender Modellsätze als auch die problem- und zielorientierte Erfassung von Grundlagendaten gemeinsam vorangetrieben werden. Dadurch könnte ein wertvoller Beitrag zur Verbesserung und Erweiterung der bereits in der Öffentlichkeit diskutierten Erkenntnisse zu den regionalen Folgewirkungen des Klimawandels geleistet werden, um so den wissenschaftlichen und politischen Erfordernissen noch besser gerecht zu werden.

7 LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS

Literaturverzeichnis

AG BODEN [HRSG.] (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4.Aufl.. Hannover

AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZGEBIETEN (1992): Strategien zur Reduzierung standort- und nutzungsbedingter Belastungen des Grundwassers mit Nitrat. – Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft, AG Bodennutzung in Wasserschutzgebieten. Oldenburg.

AHRENDT, H., H.J.FRANZKE, D.MARHEINE, M.SCHWAB & K.WEMMER (1996): Zum Alter der Metamorphose in der Wippraer Zone/Harz. Ergebnisse von K/Ar- Altersdatierungen an schwach metamorphen Sedimenten.- Zeitschrift der deutschen geol. Gesellschaft 147 (1), S. 39-56.

ALBRECHT, W. (1974): Einfluss des Kupferschieferbergbaus auf die hydrologischen Verhältnisse im Südwestteil der Mansfelder Mulde. – Geographische Berichte 2, S.121-130. Halle.

ALEXANDERSSON, A. (1986): A homogeneity test applied to precipitation data. – Journal of climatology 6, S. 661-675.

ARGE HPI-BAH (1998): Ermittlung der ökologischen Mindestwasserführung der Salza. – Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU LSA). HPI Blankenburg/ BAH Berlin.

ARGE SALZIGER SEE (1998): Hydrogeologisches Modell zur Simulation des Grundwasseranstiegs und dessen Reichweiten bei der Wiederentstehung des Salzigen Sees im Mansfelder Land, Sachsen-Anhalt. – Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU LSA). ARGE GFE-HPC-IHU.

ARNDT, O. (2003): Entwicklung der agraren Landnutzung auf der Querfurt-Merseburger Platte. - **DIEMANN, R. & H.-F. WOLLKOPF** [HRSG.] (2003): Historische Landnutzung im thüringisch-sächsisch-anhaltischen Raum - Vorträge der Tagung vom 19.-21.03.2002 in Halle (S.), S.139-152. Peter-Lang-Verlag. Frankfurt am Main [u.a.].

ARNELL, N., L.CHUNZHEN, R.COMPAGNUCCI, L.DA CUNHA, K.HANAKI, C.HOWE, G.MAILU, I.SHIKLOMANOV & E.STAKHIV (2001): Hydrology and Water Resources. – **MCCARTHY, J.J., F.C.OSVALDO, N.A.LEARY, D.J.DOKKEN & K.S.WHITE** [HRSG.] (2001): Climate Change 2001. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 4, S.193-233. Cambridge University press. Cambridge.

ARNELL, N.W. (1999): The effect of climate change on hydrological regimes in Europe. A continental perspective. - Global Environmental Change 9, S.5 – 23 .

AURADA, K.-D. (1996): Auswirkungen des Kupferschieferbergbaus in Sachsen-Anhalt auf Landschaft und Gewässer in den letzten 100 Jahren. – **BORK, H.-R., G.HEINRITZ & R.WIESSNER** (1996): Raumentwicklung und Umweltverträglichkeit, S.217-225. Potsdam.

AURADA, K.-D. (1969): Hydrologie und Wasserwirtschaft des Schlenze-Gebietes und ihre Beeinflussung durch die Wasserhaltung des Kupferschieferbergbaus in der Mansfelder Mulde. – Halle, Univ., Math.-naturwiss. F., Diss. (1969).

BAKAN, S. & E.RASCHKE (2002): Der natürliche Treibhauseffekt. - promet – Meteorologische Fortbildung 3-4/2002 , S.85-94. Hamburg.

- BÁRDOSSY, A.** (1994): Modelle zur Abschätzung der regionalen hydrologischen Folgen einer Klimaänderung. Karlsruhe.
- BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSVERBUND** (1999): Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen. – Abschlussbericht des Bayerischen Klimaforschungsverbundes. München.
- BECK, C., J.GRIESER & S.TRÖMEL** (2004): Die Trockenperiode des Jahres 2003 in Deutschland im Kontext langzeitlicher Niederschlagsvariabilität. - DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST [HRSG.] (2004): Klimastatusbericht 2003. Offenbach.
- BECKER, A., B.KLÖCKING, W.LAHMER & B.PFÜTZNER** (2002): The Hydrological Modelling System ARC/EGMO. – SINGH, V.P. & D.K.FREVERT [HRSG.]: Mathematical Models of Large Watershed Hydrology. Water Resources Publications, S.321-384. Littleton/Colorado.
- BECKER, A.** (1992): Methodische Aspekte der Regionalisierung. – KLEEBERG, H.-B. [HRSG.]: Regionalisierung in der Hydrologie. - VCH, S.16-31. Weinheim.
- BECKER, A.** (1975): EGMO-Einzugsgebietsmodelle zur Abflussberechnung, -vorhersage und -simulation. – Wasserwirtschaft Wassertechnik 9, S. 316-322.
- BENDEL, R.** (1997): Wasserbilanzmodell Salziger See – Modellteil Grundwasser. – Regierungspräsidium Halle: Bewirtschaftungsplan „Salza“, Teilprojekt 7. IHU Nordhausen.
- BENDEL, R.** (1993): Hydrogeologische Untersuchungen zu den Möglichkeiten der Wiederenstehung des Salzigen Sees und Abschätzung zu den Auswirkungen durch den Grundwasseranstieg. – Hydrogeologischer Bericht im Auftrag des Landratsamtes Eisleben. IHU Nordhausen.
- BENZ, J. & K.VOIGT** (1996): Aufbau eines Systems zur strukturierten Suche von Informationsquellen für den Umweltschutz im Internet. - LESSING, H. & U.W.LIPECK [HRSG.]: Informatik für den Umweltschutz, 10. Symposium, Hannover 1996, S.232-241. Marburg.
- BERNER, U. & H.STREIF** (2000): Klimafakten. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.
- BIERING, K. & M.FRÜHAUF** (1999): Untersuchung zu den natürlichen Schwermetallgehalten von Lössen im mitteldeutschen Raum. – Hallesches Jb. f. Geowissenschaften, Reihe A - Geographie und Geoökologie 21/1999, S.83-96.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT** (2005): Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Berlin.
- BMU - BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT [HRSG.]** (2002): Mathematisch-numerische Modelle in der Wasserwirtschaft - Handlungsempfehlung für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. – BfG-Mitteilung 24/ 2002.
- BMU - BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT [HRSG.]** (2000): Hydrologischer Atlas von Deutschland. Freiburg i. Br.
- BÖTTCHER, F. & H.METZNER** (1994): CO₂, Klimabedrohung oder Politik? Paul-Haupt-Verlag. Bern.
- BRONSTERT, A., J.CARRERA, P.KABAT & S LÜTKEMEIER** (2005): Coupled Models for the Hydrological Cycle. Springer-Verlag. Berlin/Heidelberg.
- BRONSTERT, A. & H.ENGEL** (2004): Veränderung des Abflusses. - LOZAN, J.L., H.GRAßL, P.HUPFER, L.MENZEL & C.-D. SCHÖNWIESE [HRSG.] (2004): Warnsignal Klima. Genug Wasser für alle? Wissenschaftliche Auswertungen, S.175-181. Hamburg.
- BRONSTERT, A., D.NIEHOFF & U.FRITSCH** (2003): Auswirkungen von Landnutzungsänderungen auf die Hochwasserentstehung. - Petermanns Geographische Mitteilungen 147, 6, S.24-33.

- BRONSTERT, A., B.KÖHLER & G.BÜRGER** (1999): Characteristics of an extreme flood under changing climatic and land cover conditions. A study of a meso-scale catchment in the Harz mountains, Germany. - Geophysical Research Abstracts 1, 4, S.867.
- BRUNOTTE, E.** [HRSG.] (2002): Lexikon der Geographie, B.2. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg.
- BUCHHOLZ, O.** (2001): Hydrologische Modelle – Theorie der Modellbildung und Beschreibungssystematik. – KÖNGETER, J. [HRSG.] (2001): Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wassertechnik der RWTH Aachen 122/2001. Aachen, TH, Diss., 2000.
- BÜRGER, G.** (1996): Expanded downscaling for generating local weather scenarios. - Clim.Research 7, S.111–128.
- BUSSKAMP, R. & K.-H. SCHMIDT** (2003): Mittlerer jährlicher Abfluss und Abflussvariabilität. - LEIBNIZ-INSTITUT FÜR LÄNDERKUNDE [HRSG.]: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. - Band Klima, Pflanzen- und Tierwelt. S. 126f. Heidelberg/ Berlin.
- CALDER, N.** (1997): The manic sun - weather theories confounded. Pilkington Press. London.
- CHRISTENSEN, J.H. & E. VAN MEIJAARD** (1992): On the construction of a regional climate model. - Tech. Rep., S.92-14. DMI, Copenhagen.
- CLAUSSEN, M.** (2003): Die Rolle der Vegetation im Klimasystem. - promet – Meteorologische Fortbildung 1-4/ 2003, S.80-89. Hamburg.
- CROWLEY, T.J.** (2000): Causes of Climate Change over the past 1000 years. – Science 289/2000, S.270-277.
- CUBASCH, U.** (2002): Perspektiven der Klimamodellierung. – HAUSER, W. (HRSG.): Klima. Das Experiment mit dem Planeten Erde. S.151 – 159. München.
- CUBASCH, U., G.A.MEEHL, G.J.BOER, R.J.STOUFFER, M.DIX, A.NODA, C.A.SENIOR, S.RAPER & K.S. YAP** (2001): Projections of future climate change. - HOUGHTON, J.T., Y.DING, D.J.GRIGGS, M.NOQUER, P. VAN DER LINDEN, X.DAI, K.MASKELL & C.I. JOHNSON [HRSG.] (2001): Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 9, S.525-582. Cambridge University press. Cambridge.
- CUBASCH, U. & D.KASANG** (2000): Anthropogener Klimawandel . Klett-Perthes-Verlag. Gotha/ Stuttgart.
- DIETRICH, O., L.QUAST & M.REDETZKY** (2003): ArcGRM Spreewald – ein Modell zur Analyse der Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserhaushalt eines Feuchtgebietes mit Wasserbewirtschaftung . - Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 04/2003, 2, S. 215 – 223.
- DÄHNERT, R.** (2004): Gespräche mit Investoren schon im kommenden Monat. - Mitteldeutsche Zeitung 15 (2004), 12/2004. Halle.
- DIETZE, P.** (2001): Klimaschutz und Kohlendioxid-Emissionshandel - teure Schildbürgerstreiche. - Chemkon 2/2001.
- DOBLER, L.** (1998): Schwermetalle in Auensedimenten als Indikator für den Einfluss des historischen Bergbaus im Osthaz auf Landschaftsentwicklung und –belastung. - Geowissenschaftliche Umweltforschung im mitteldeutschen Raum. Sammelband der 3. Tagung zur Geographischen Umweltforschung in Mitteldeutschland im Rahmen der Universitätspartnerschaft Halle-Jena-Leipzig an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 6. - 7. November 1997. - Halle (Saale), S.87-97.

- DÖRING, J.** (2004): Zu den Klimaverhältnissen im östlichen Harzvorland. – *Hercynia N.F.* 37 /2004, S.137-154.
- DPA – DEUTSCHE PRESSEAGENTUR** (2003): EU lehnt Großprojekt Salziger See ab. – *Mitteldeutsche Zeitung* 14 (2003), 09/2003. Halle.
- DRESDEN DORSCH CONSULT (DDC)** (1996): Hochwasserschutzkonzeption für das Flussgebiet der Wipper – Bericht. Staatliches Amt für Umweltschutz Halle. Dresden.
- DYCK, S. & G.PESCHKE** (1995): *Grundlagen der Hydrologie*. 2.Aufl. Verlag für Bauwesen. Berlin.
- DVWK [HRSG.]** (1996a): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. – *DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft* 238. Bonn.
- DVWK [HRSG.]**(1996b): Wasserwirtschaftliche Forderungen an die Landnutzungsplanung zur Verminderung des Nitrataustrages insbesondere in Wasserschutzgebieten. – *Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau – DVWK*, 111. Bonn.
- DVWK [HRSG.]** (1988): *Statistische Methoden zu Niedrigwasserdauern und Starkregen*. - *Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau* 82. Hamburg u.a.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST [HRSG.]** (2004): *Numerische Klimamodelle - Was können sie, wo müssen sie verbessert werden? - Teil III: Modellierung der Klimaänderungen durch den Menschen*. – *promet – Meteorologische Fortbildung* 3-4/ 2004. Hamburg.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST [HRSG.]** (2003): *Numerische Klimamodelle - Was können sie, wo müssen sie verbessert werden? - Teil II: Modellierung der Klimaänderungen durch den Menschen*. – *promet – Meteorologische Fortbildung* 1-4/ 2003. Hamburg.
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST [HRSG.]** (2002): *Numerische Klimamodelle - Was können sie, wo müssen sie verbessert werden? - Teil I: Das Klimasystem der Erde*. – *promet – Meteorologische Fortbildung* 3-4/ 2002. Hamburg.
- DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST** (1998): *Szenariorechnungen für Niederschlagsdargebots- und potentielle Verdunstungshöhen im Einzugsgebiet der Salza*. – Gutachten im Auftrag des Staatlichen Amtes für Umweltschutz Halle (STAU). Berlin.
- EDWARDS, P.N.** (2002): *Modelle, Daten, Ungewissheit und die Politik in der weltweiten Klimawissenschaft*. - HAUSER, W. [HRSG.] (2002): *Klima. Das Experiment mit dem Planeten Erde*, S.138-149, München.
- ELLENBERG, H.** (1996): *Die Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht*. Stuttgart.
- ENKE, W., W.KÜCHLER & W.SOMMER** (2001): *Regionalisierung von Klimamodell-Ergebnissen mittels des statistischen Verfahrens der Wetterlagen-Klassifikation und nachgeordneter multipler Regressionsanalyse für Sachsen. Zusammenfassender Abschlussbericht*. Berlin/ Dresden.
- ENKE, W. & A.SPEKAT** (1997): *Downscaling climate model outputs into local and regional weather elements by classification and regression* - *Climate Research* 8/ 97, S.195-207.
- ESEF - THE EUROPEAN SCIENCE AND ENVIRONMENT FORUM** (2002): *Climate Change and Policy - Making the Connection*. George C. Marshall Institute. Washington DC.
- FABIG, ILKA** (2001): *Zeitliche und räumliche Niederschlagsverteilung im Einzugsgebiet Querne/Weida unter besonderer Berücksichtigung von Starkregenereignissen*. – *Hallesches Jb. für Geowissenschaften, Reihe A - Geographie und Geoökologie* 23/2001, S.41-51.

- FEDERER, C.A. & D.LASH** (1983): BROOK: A hydrologic simulation model for eastern forests. - Research Report 19. Water Research Center, University of New Hampshire, Durham.
- FELDWISCH, N., K.MOLLENHAUER & G.SCHRENK** (2002): Einflüsse land- und forstwirtschaftlicher Maßnahmen auf den Hochwasserabfluss kleiner Einzugsgebiete. - KA - Wasserwirtschaft, Wasser, Abfall 49, S.355-362.
- FINKE, W., C.RACHIMOW & B.PFÜTZNER** (2004): Untersuchungen zu Wasserdargebot und Wasserverfügbarkeit im Ballungsraum Berlin im Rahmen des Verbundprojektes Glowa Elbe. - Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 48, 1, S.2-11.
- FLATO, G.M. & G.J.BOER** (2001): Warming Asymmetry in Climate Change Simulations. - Geophys. Res. Lett. 28, S.195-198.
- FREI, C., C.SCHÄR, D.LÜTHI & H.C.DAVIES** (1998): Heavy precipitation processes in a warmer climate. -Geophys.Res.Lett. 25, S.1431-1434.
- FRIS-CHRISTENSEN, E. & K.LASSEN** (1991): Length of the Solar cycle. An indicator of Solar activity closely associated with climate. - Science 254, S.698-700.
- FRITSCH, U.** (2002): Entwicklung von Landnutzungsszenarien für landschaftsökologische Fragestellungen. – BRONSTERT, A. [HRSG.]: Brandenburgische Umweltberichte 12/ 2002. Potsdam, Univ., Diss., 2002.
- FRÜHAUF, M.** (2002): Westwärts – zum „Blauen Auge des Mansfelder Landes“. – FRIEDRICH, K. & M. FRÜHAUF [HRSG.]: Halle und sein Umland – geographischer Exkursionsführer, S.251-264. Mitteldeutscher Verlag. Halle.
- FRÜHAUF, M. & G.SCHMIDT** (1999): Ermittlung des diffusen Nährstoff- und Sedimenteintrages in den wiederentstehenden Salzigen See. – Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvertrag im Rahmen des Projektes „Wiederentstehung Salziger See“. Halle.
- FRÜHAUF, M. & G.SCHMIDT** (1997): Natürliche und anthropogene Schwermetallquellen im ehemaligen Mansfelder Kupferschiefer-Bergbaurevier. - Entwicklung von Landnutzung und Umweltqualität in Mitteldeutschland, S.178-199.
- FRÜHAUF, M.** (1991): Neue Befunde zur Lithologie, Gliederung und Genese der periglazialen Lockermaterialdecken im Harz. Erfassung und Bewertung postallerödzeitlicher decksedimentbildender Prozesse. - Petermanns Geographische Mitteilungen 1, S. 49-60.
- FRÜHAUF, M.** (1990): Ausgewählte Untersuchungen zur standortökologischen Bedeutung der periglazialen Lockermaterialdecken des Harzes. - Hallesches Jb. für Geowissenschaften, Reihe A - Geographie und Geoökologie 15, S.103 – 115.
- FOHRER, N., K.MOLLENHAUER & T.SCHOLTEN** (2003): Bodenerosion. - LEIBNIZ-INSTITUT FÜR LÄNDERKUNDE [HRSG.]: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. - Band Relief, Boden und Wasser. S. 106f. Heidelberg/ Berlin.
- FUENTES U. & D.HEIMANN** (2000): An improved statistical-dynamical downscaling scheme and its application to the Alpine precipitation climatology. - Theor.Appl.Climatol. 65, S.119-135.
- GAUSELMANN, K.** (2004): Neue Hoffnung für Blaues Auge. - Mitteldeutsche Zeitung 15 (2004), 25.11.2004. Halle.
- GELBSPAN, R.** (1997): The Heat is On - The High Stakes Battle Over Earth's Threatened Climate. Addison-Wesley Publishing Company. Reading, Massachusetts.

- GERSTENGARBE, F.-W.** [HRSG.] (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. – PIK-Report 83. Potsdam.
- GERSTENGARBE, F.-W. & P.C.WERNER** (2003a): Entwicklung von Klimaszenarien bis 2050 für ausgewählte Flusseinzugsgebiete von Deutschland. – Bericht zum GLOWA-Elbe-Teilprojekt. Potsdam.
- GERSTENGARBE, F.-W. & P.C. WERNER** (2003b): Klimaänderungen zwischen 1901 und 2000. - LEIBNIZ-INSTITUT FÜR LÄNDERKUNDE [HRSG.]: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. - Band Klima, Pflanzen- und Tierwelt. S. 58f. Heidelberg/ Berlin.
- GERSTENGARBE, F.-W. & P.C. WERNER** (1993): Katalog der Großwetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmuth Brezowski 1881-1992. – Berichte des Deutschen Wetterdienstes 113. 4.Auflage. Offenbach
- GFE – FIRMA GEOLOGISCHE FORSCHUNG UND ERKUNDUNG** (1999): Karte der prognostischen Grundwasserflurabstände des wiederentstehenden Salzigen Sees. – Gutachten im Auftrag der Entwicklungsgesellschaft Seengebiet Mansfelder Land. Halle.
- GIORGI, F., B.HEWITSON, J.CHRISTENSEN, M.HULME, H.VON STORCH, P.WHETTON, R.JONES, L.MEARNS & C.FU** (2001): Regional Climate Information – Evaluation and Projections. HOUGHTON, J.T., Y.DING, D.J.GRIGGS, M.NOQUER, P. VAN DER LINDEN, X.DAI, K.MASKELL & C.I. JOHNSON [HRSG.] (2001): Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 10, S.585-638. Cambridge University press. Cambridge
- GLA LSA - GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT** [HRSG.] (1999): Bodenatlas Sachsen-Anhalt. Halle.
- GLA LSA - GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT** (1998): Karstwasserzuflüsse zum Seebecken des Salzigen Sees. – Stellungnahme im Auftrag des Staatlichen Amtes für Umweltschutz Halle (STAU). Halle.
- GLASER, R.** (2001): Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen.- Wiss. Buchgesellschaft. Darmstadt.
- GLASER, R., C.BECK & U.BEYER** (2000): Vom mittelalterlichen Wärmeoptimum über die Kleine Eiszeit ins moderne Treibhausklima. - Petermanns Geographische Mitteilungen 144, 4, S.44-55.
- GLASER, R., U. BEYER & C. BECK** (1999): Die Temperaturentwicklung in Mitteleuropa seit dem Jahr 1000 auf der Grundlage quantifizierter historischer Quellentexte. - SCHENK, W. [HRSG.]: „Lange Reihen“ zur Erforschung von Waldzuständen und Waldentwicklungen, S.23-46. Tübingen.
- GOODESS, C.M., M.R.HAYLOCK, P.D.JONES, A.BÁRDOSSY, C.FREI & T.SCHMIDT** (2003): Statistical and regional dynamical downscaling of extremes for European regions. Some preliminary results from the STARDEX project. - Geophysical Research Abstracts 5.
- GORDON, C., C.COOPER, C.A.SENIOR, H.BANKS, J.M.GREGORYM, T.C.JOHNS, J.F.B MITCHELL & R.A. WOOD** (2000): The Simulation of SST, Sea Ice Extents and Ocean Heat Transports in aversion of the Hadley Centre Coupled Model without Flux Adjustments. - Climate Dynamics 16/ 2000, S.147-168. Hadley Centre for Climate Prediction and Research. Bracknell, UK.
- GOVERNMENT OF SWAZILAND** (2002): Swaziland's First National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). National report on climate change. Mbabane, Swaziland.

- GRABOWSKI, W.W.** (2000): Cloud microphysics and the tropical climate: Cloud-resolving model perspective. *J.Climate* 13, S.2306-2322.
- GRABL, H.** (1999): *Wetterwende. Vision: Globaler Klimaschutz.* Campus-Verlag. Frankfurt/ New York.
- GRAY, V.** (1998): The IPCC future projections – are they plausible?. – *Climate Research* 10, S.155-162.
- GRELL, G.R., L.KNOCHE, L.SCHADE & A.PFEIFFER** (1999): Regionale Klimamodellierung. - BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSVERBUND [HRSG.]: *Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen.* – Abschlussbericht des Bayerischen Klimaforschungsverbundes. München.
- HANSEN, J., R.RUEDY, J.GLASCOE & M.SATO** (1999): GISS analysis of surface temperature change. - *J.Geophys.Res.* 104, S.30997-31022.
- HANSEN, J.** (1998): Book review of Sir John Houghton's *Global Warming. The Complete Briefing.* *J. Atmos.Chem.* 30, S.409-412.
- HARTMANN, H.-J.** (1998): Ableitung erosionswirksamer Bodeneigenschaften für Löss-Bodenformen in Sachsen-Anhalt. - *Mitt. z. Geologie von Sachsen-Anhalt* 4/ 1998, S.79-89.
- HATTERMANN, F.F., V.KRYSAKOVA & F.WECHSUNG** (o.J.): Folgen von Klimawandel und Landnutzungsänderungen für den Landschaftswasserhaushalt und die landwirtschaftlichen Erträge im Gebiet der deutschen Elbe. - WECHSUNG, F. & A.BECKER: *Globaler Wandel im Elbe-Einzugsgebiet – GLOWA-Elbe. PIK-Report* (eingereicht).
- HATTERMANN, F.F., V.KRYSAKOVA, M. WATTENBACH & F.WECHSUNG** (2003): Macroscale validation of the eco-hydrological model SWIM for hydrological processes in the Elbe basin with uncertainty analysis. - FOHRER, N. & J.ARNOLD [HRSG.] (2003): *Regional Assessment of Climate and Management Impacts Using the SWAT Hydrological Model.* Hydrological Processes.
- HENDL, M. & W. ENDLICHER** (2003): *Klimaspektrum zwischen Zugspitze und Rügen.* - LEIBNIZ-INSTITUT FÜR LÄNDERKUNDE [HRSG.]: *Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland.* - Band Klima, Pflanzen- und Tierwelt, S. 32f. Heidelberg/ Berlin.
- HERBERG, H.** (2001): *Historische Bergbauaktivitäten und ihre Auswirkungen auf die Standortqualität und den Ertrag am Westrand der Mansfelder Mulde.* Halle, Univ., Diplomarb., 2001.
- HIRSCH, R.M. & J.R.SLACK** (1984): A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. - *Water Resources Research* 20, S.727-732.
- HOUGHTON, J.T., Y.DING, D.J.GRIGGS, M.NOQUER, P.J.VAN DER LINDEN & D.XIAOSU** [HRSG.] (2001): *Climate Change 2001 - The scientific basis.* Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). – Cambridge University press. Cambridge.
- HOUGHTON, J.T., L.G.M.FILHO, D.J.GRIGGS & K.MASKELL** [HRSG.] (1997): *An Introduction to Simple Climate Models used in the IPCC Second Assessment Report IPCC.* Technical Paper II, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Genf.
- HOYNINGEN-HUENE, E. v.** (1959): *Salztektonik und Auslaugung im Gebiet der Mansfelder Seen.* – Freiburger Forschungshefte C 56. Berlin.
- HOYNINGEN-HUENE, J.v.** (1983): *Die Interzeption des Niederschlages in landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen.* – DVWK-Schriften 57. Hamburg/Berlin.
- HULME, M., T.J.OSBORN & T.C.JOHNS** (1998): Precipitation sensitivity to global warming. Comparison of observations with HadCM2 simulations. - *Geophys.Res.Lett.* 25, S.3379-3382.

- HUTH, R.** (1999): Statistical downscaling in central Europe: Evaluation of methods and potential predictors. - *Clim. Research* 13, S.91-101.
- IKSE - INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DER ELBE [HRSG.]** (2004): Dokumentation des Hochwassers vom August 2002 im Einzugsgebiet der Elbe. Magdeburg.
- JACOB, D. & S.HAGEMANN** (2004): Verstärkung und Schwächung des regionalen Wasserkreislaufes – wichtiges Kennzeichen des Klimawandels. - LOZAN, J.L., H.GRABL, P.HUPFER, L.MENZEL & C.-D. SCHÖNWIESE [HRSG.] (2004): Warnsignal Klima. Genug Wasser für alle? Wissenschaftliche Auswertungen, S.167-170. Hamburg.
- JACOB, D.** (2001): A note to the simulation of the annual and interannual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. – *Meteorol. Atmos. Phys.* 77, S.61-73.
- JACOB, D., B.J.J.M.VAN DEN HURK, U.ANDRÆ, G.ELGERED, C.FORTELIUS, L.P.GRAHAM, S.D.JACKSON, U.KARSTENS, C.KÖPKEN, R.LINDAU, R.PODZUN, B.RÖCKEL, F.RUBEL, B.H.SASS, R.N.B.SMITH, X.YANG** (2001): A comprehensive model intercomparison study investigating the water budget during the BALTEX PIDCAP period. - *Meteorol. Atmos. Phys.* 77, S.19-43.
- JANKOWSKI, G.** (1995): Zur Geschichte des Mansfelder Kupferschieferbergbaus. Clausthal-Zellerfeld.
- JONES, P.D., T. J. OSBORN & K.R.BRIFFA** (2001): The Evolution of Climate Over the Last Millennium. – *Science* 292, S.662-667.
- JONES, P.D., M.NEW, D.E.PARKER, S.MARTIN & I.G.RIGOR** (1999): Surface air temperature and its changes over the past 150 years. - *Rev. Geophys.* 37, S.173-199.
- KAISER, T.** (1996): Ausgewählte Parameter zur Standortbeschreibung des oberirdischen Wassereinzugsgebiets der Selke im Harz als Grundlage für die Modellierung des Gebietswasserhaushaltes. - Halle, Univ., Diplomarb., 1996.
- KIM, M.K.** (1998): Klima- und Landnutzungsänderungen und deren hydrologische Auswirkungen im Harz und Harzvorland. Wasserhaushaltsmodellierung mit modifiziertem Programmpaket BROOK90 (BROOKTOP). - *Landschaftsökologie und Umweltforschung* 29. Inst. für Geographie und Geoökologie der TUBraunschweig.
- KLAPPER, H.** (2000): Wiederentstehung des Salzigen Sees bei Seeburg - Erwartungen, Bedingungen, Prognosen. - *Wasser und Boden* 52, 3, S.22-30.
- KLEEBERG, H.-B.** (1996): Hochwassertrends in Deutschland. Universität der Bundeswehr, Institut für Wasserwesen, München 56a, S.155-167.
- KLIWA – AK KLIMAVERÄNDERUNG UND WASSERWIRTSCHAFT** (2003): Langzeitverhalten der Hochwasserabflüsse in Baden-Württemberg und Bayern. – KLIWA-Berichte 2. Karlsruhe.
- KLÖCKING, B., H.FEIGE, S.KNOBLAUCH, T.H.SOMMER, B.PFÜTZNER & S.LEINHOS** (2002): Impact of Global Change on an Agricultural Region in the Mountain Forelands of Thuringia. - GSF MÜNCHEN [HRSG.]: GLOWA - German Programme on Global Change in the Hydrological Cycle. Status Report 2002, S.22-24.
- KLÖCKING, B., B.PFÜTZNER & A.BECKER** (1999): Hydrologische Modellierung von meso- und makroskaligen Einzugsgebieten mit ARC/EGMO. - FOHRER, N. & P.DÖLL [HRSG.] (1999): Modellierung des Wasser- und Stofftransportes in großen Einzugsgebieten, Kassel University Press, S.127-134.
- KOSCHITZKI, T.** (2004): GIS-basierte automatische Erfassung natürlicher Fließgewässershierarchien und ihre Abbildung in Datenbanken, beispielhaft dargestellt am Einzugsgebiet der Salza. – Halle, Univ., Diss., 2004.

- KÖSTLER, J.N., E.BRÜCKNER & H.BIBELRIETHER** (1968): Die Wurzeln der Waldbäume – Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa. Hamburg.
- KRAUSE, K.-H.** (1967): Anthropogene Veränderungen der hydrographischen Verhältnisse des östlichen Harzes - dargestellt an Beispielen. Halle, Univ., Math.-naturwiss. F., Diss., 1967.
- KRAUSE, S. & A.BRONSTERT** (2003): Modellierung des Wasserhaushaltes im Gebiet der Unteren Havel - Möglichkeiten der Darstellung der Grundwasser-/Oberflächenwasser- Interaktionen mittels Modellkoppelung. - HENNRICHS, K., M.ROHDE & A.BRONSTERT [HRSG.] (2003): Proceedings des Workshops: Großskalige Modellierung in der Hydrologie, Schwerpunkt "Flussgebietsmanagement". 28./29. November 2002 in Magdeburg. Kassel University Press, S.33-43.
- KÜCHLER, W.** (2004): Projektion des Klimawandels in Sachsen für die Dekade 2041-2050. – Wasser und Abfall 11/2004, S.10-14.
- KUGLER, H.** (2002): Regionalleitplan für die Region des Mansfelder Seengebietes – Endbericht. - Büro für Landschafts- und Regionalplanung Prof. Dr. Kugler. Im Auftrag der Entwicklungsgesellschaft Seengebiet Mansfelder Land mbH. Halle/Amsdorf.
- KUSSMANN, S.** (1999): Wasserbilanz der Mansfelder Seen – Ist-Zustand und Prognose. Staatliches Amt für Umweltschutz (unveröff.). Halle.
- KUTSCHERA, L. & E.LICHTENEGGER** (1982): Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen. Stuttgart.
- KUTSCHERA, L., M.SOBOTIK & E.LICHTENEGGER** (1997): Bewurzelung von Pflanzen in verschiedenen Lebensräumen. – Stapfia 49. Linz.
- LAHMER, W., B.PFÜTZNER & A.BECKER** (1999): Großskalige hydrologische Modellierung von Nutzungsänderungen vor dem Hintergrund unsicherer Eingangsdaten. – FOHRER, N. & P.DÖLL [HRSG.]: Modellierung des Wasser- und Stofftransportes in großen Einzugsgebieten. - Kassel University Press, S.153-161.
- LANDSCAPE GMBH [HRSG.]** (2002): Lexikon der Geowissenschaften, Bd. 5. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg.
- LAU LSA - LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [HRSG.]** (2000a): Die Landschaftsschutzgebiete Sachsen-Anhalts. Magdeburg.
- LAU LSA - LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [HRSG.]** (2000b): Karte der potentiell natürlichen Vegetation von Sachsen-Anhalt. – Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Sonderheft 1. Halle
- LAU LSA - LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [HRSG.]** (2000c): Verzeichnis der Gewässerstrecken und Einzugsgebiete – 5676 Wipper. – Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Sonderheft 3. Halle.
- LAU LSA - LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [HRSG.]** (2000d): Der Salzige See. – Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt, Sonderheft. Halle.
- LAU LSA - LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [HRSG.]** (1998): Fließgewässerprogramm des Landes-Sachsen-Anhalt. Halle.
- LAU LSA - LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [HRSG.]** (1997): Die Naturschutzgebiete Sachsen-Anhalts. Gustav-Fischer-Verlag. Jena.

- LAU LSA - LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (1996):** Das vorläufige Flächenverzeichnis und die Verschlüsselung von oberirdischen Gewässern entsprechend LAWA-Richtlinie in Sachsen-Anhalt. – Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Sonderheft 1. Halle.
- LAU LSA - LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (1992):** Katalog der Biotop-typen- und Nutzungstypen für die CIR-luftbildgestützte Biotop-typen- und Nutzungstypenkartierung im Land Sachsen-Anhalt. – Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt 4. Halle.
- LAWA - LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (1998):** Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland - Chemische Gewässergüteklassifikation. Berlin.
- LEHNARDT, F. & H.-M.BRECHTEL (1980):** Durchwurzelungs- und Schöpftiefen von Waldbeständen verschiedener Baumarten und Altersklassen bei unterschiedlichen Standortverhältnissen. - Allg. Forst- & Jagd-Zeitung 151 (6/7), S.120-127.
- LFU BAYERN - BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ [HRSG.] (2000):** Biotopkartierung in Bayern. München.
- LFUG – SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2004):** KliWEP - Abschätzung der Auswirkung der für Sachsen prognostizierten Klimaveränderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet der Parthe – Abschlussbericht. IBGW GmbH Leipzig.
- LFUG – SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2002):** Analyse und Prognose der meteorologisch-hydrologischen Situation.- Materialien zur Wasserwirtschaft, Monatsbericht August 2002. Dresden.
- LIEBIG, W. & J.SCHALLER [HRSG.] (2000):** ArcView GIS. GIS-Arbeitsbuch. – 2.Aufl., Wichmann-Verlag. Heidelberg.
- LIEBSCHER, H.-J. (1996):** Lehrbuch der Hydrologie, Band 1 - Allgemeine Hydrologie, quantitative Hydrologie. 2.Aufl., Borntraeger-Verlag. Berlin.
- LIEBSCHER, H.-J., K.WILKE, G.SCHULTZ & A.SCHUMANN (1995):** Entwicklung eines mathematischen Modells zur Untersuchung des Einflusses von Klima- und Landnutzungsänderungen auf den Hoch- und Niedrigwasserabfluss im Einzugsgebiet der Mosel sowie zur Echtzeitvorhersage unter Verwendung von Fernerkundungstechniken. Abschlussbericht für BMU 10/1995.
- LIERMANN, R. (2001):** Untersuchungen zur Oberflächenabflussbildung und zum wassergebundenen Stoffaustausch in der Sonderkultur Weinbau im Saale-Unstrut-Gebiet (Sachsen-Anhalt). - Hallesches Jb. für Geowissenschaften, Reihe A - Geographie und Geoökologie 23, S.27-40.
- LORENZ, S. & G.LOHMANN (o.J.):** Acceleration technique for Milankovitch type forcing in a coupled atmosphere-ocean circulation model: method and application for the Holocene. - Climate Dyn. (accepted for publication).
- LOZAN, J.L., H.GRABL, P.HUPFER, L.MENZEL & C.-D.SCHÖNWIESE [HRSG.] (2004):** Warnsignal Klima. Genug Wasser für alle? Wissenschaftliche Auswertungen. Hamburg.
- LOZAN, J.L., H.GRABL, P.HUPFER [HRSG.] (1998):** Warnsignal Klima – wissenschaftliche Fakten. - Wissenschaftliche Auswertungen. Hamburg.
- MALYSKA, G. (2003):** Die Trinkwasserversorgung des mitteldeutschen Trockengebietes und seiner Randzonen unter Beachtung natürlicher und hygienischer Bedingungen. Gerbstedt.
- MANIAK, U. (1997):** Hydrologie und Wasserwirtschaft.. 4.Aufl., Springer Verlag. Berlin.

- MATTHÄUS, N., M.STEININGER, H.ABDANK** (1996): Bestandsaufnahme von Gewässerlandschaften im Unterharz. - Kühn-Archiv 90/1996, 2, S.147-157.
- MENZEL, L.** (1997): Modellierung der Evapotranspiration im System Boden-Pflanze-Atmosphäre. – Züricher Geographische Schriften 67. Zürich.
- MILANKOVICH, M.M.** (1941): Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitproblem. - Spez. Publikation. 133/ 1941, S.1–633. Königliche Serbische Akademie.
- MILITZER, S.** (1998): Klima, Umwelt, Mensch (1500 - 1800) - Studien und Quellen zur Bedeutung von Klima und Witterung in der vorindustriellen Gesellschaft. - Abschlussbericht zum DFG-Projekt MI-493. Leipzig.
- MRAE MALTA - MINISTRY FOR RURAL AFFAIRS AND THE ENVIRONMENT [HRSG.]** (2004): The first communication of Malta to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). La Valletta, Malta.
- MITSCHERLICH, G.** (1971): Wald, Wachstum und Umwelt. Band 2 – Waldklima und Wasserhaushalt. Frankfurt.
- MOORE III, B., W.L.GATES, L.J.MATA & A.UNDERDAL (2001): Advancing our understanding. - HOUGHTON, J.T., Y.DING, D.J.GRIGGS, M.NOQUER, P. VAN DER LINDEN, X.DAI, K.MASKELL & C.I. JOHNSON [HRSG.]** (2001): Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 14, S.771-785. Cambridge University press. Cambridge.
- MRLU LSA – MINISTERIUM FÜR RAUMORDNUNG, LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT DES LANDES SACHSEN-ANHALT [HRSG.]** (1996): Regionales Teilgebietsentwicklungsprogramm für den Planungsraum Amsdorf im Regierungsbezirk Halle vom 3.12.1996. Beschluss der Landesregierung vom 3.12.1996 – 22-203309. Magdeburg.
- MÜLLER, J., P.JÖRN, A.SCHUMANN & H.SCHELLIN** (2002): Evapotranspirations- und Versickerungsverhalten sowie Häufigkeit von Bodendürren im Mitteldeutschen Trockengebiet unter Berücksichtigung von Substrat und Bewuchs. - DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST [HRSG.]: Klimastatusbericht 2001, S.258-267. Offenbach.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G.** (2002): Klimatrends in Deutschland. - DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST [HRSG.] (2002): Klimastatusbericht 2001, S.114-124. Offenbach.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G.** (1995): Numerisches Verfahren zur Erstellung klimatologischer Karten. - Berichte des Deutschen Wetterdienstes 193. Offenbach.
- MUN LSA - MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [HRSG.]** (1994): Landschaftsprogramm des Landes Sachsen-Anhalt. Teil 2: Beschreibungen und Leitbilder der Landschaftseinheiten. Magdeburg.
- MURPHY, J.M.** (1999): An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate. - J. Climate 12, S.2256-2284.
- NEITSCH, S.L., J.G.ARNOLD, J.R.KINIRY, R.SRINIVASAN & J.R.WILLIAMS** (2002): Soil and water assessment tool – user’s manual, version 2000. USDA-ARS, Temple, TX.
- NEUB, E. & D.ZÜHLKE** (1982): Mansfelder Land – Ergebnisse der heimatkundlichen Bestandsaufnahme im Gebiet um Leimbach, Hettstedt, Friedeburg, Mansfeld, Eisleben, Dederstedt, Holdenstedt, Hornburg und Seeburg. – Werte unserer Heimat – Heimatkundliche Bestandsaufnahme in der DDR 38. Berlin.

- NIEHOFF, D. & A.BRONSTERT** (2002): Landnutzung und Hochwasserentstehung. Modellierung anhand dreier mesoskaliger Einzugsgebiete. - Wasser und Boden 54, 10, S.20-28.
- OERTEL, T. & M.FRÜHAUF** (2000): Haldenvergrabungen als Ursache der Schwermetallbelastungen von Böden im Mansfelder Land. - Mansfeld-Museum, Schriftenreihe Neue Folge, Bergbau- und Rückstandshalden des Mansfelder Kupferschieferbergbaus 5/ 2000, S.119-131.
- OERTEL, T. & M.FRÜHAUF** (1999): Bedeutung geogener Ursachen für die Schwermetallbelastung von Böden im Mansfelder Land. - Hercynia N.F. 32, S.111-126.
- ÖSTERLE, H., J.GLAUER & M.DENHARD** (1999): Struktur, Aufbau und statistische Programmbibliothek der meteorologischen Datenbank am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. – PIK-Report 49. Potsdam.
- OPP, C.** (2004): Hochwasserforschung heute. Ursachen, Wirkungen und Folgen, unter besonderer Berücksichtigung des Hochwassers im Elbe-Einzugsgebiet vom August 2002. Bestandsaufnahme und Ausblick. - Marburger Geographische Schriften 140, S.86-115.
- OSCHMANN, W.** (2004): Vier Milliarden Jahre Klimageschichte im Überblick. – DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST [HRSG.]: Klimastatusbericht 2003. Offenbach.
- PETERSON, T.C., K.P.GALLO, J.LIVERMORE, T.W.OWEN, A.HUANG & D.A.MCKITTRICK** (1999): Global rural temperature trends. Geophys.Res.Lett. 26, S. 329-332.
- PETRASCHEK, A.** (2003): Hochwasser. – OCCO - ORGANE CONSULTATIF SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES [HRSG.] (2003): Extremereignisse und Klimaänderung. S.69-72. Bern.
- PFÜTZNER, B.** [HRSG.] (2002): Modelldokumentation ARC-EGMO. Berlin.
- PFÜTZNER, B.** (2001): Bestimmung der Grundwasserneubildung für das Land Sachsen-Anhalt auf Grundlage des Verfahrens BAGROV/GLUGLA. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Halle.
- PFÜTZNER, B.** (1997): Wasserhaushalt Salziger See. – Regierungspräsidium Halle: Bewirtschaftungsplan „Salza“, Teilprojekt 6. Berlin.
- PFÜTZNER, B., S.KRONE & W.G.PAGENKOPF** (1996): Hydrologische Grundlagenuntersuchungen im Einzugsgebiet der Salza. – Regierungspräsidium Halle: Bewirtschaftungsplan „Salza“, Teilprojekt 5. Berlin.
- PFISTER, C.** (1999): Wetternachhersage - 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496 - 1995). Paul-Haupt-Verlag. Bern.
- POPE, V.L., M.L.GALLANI, P.R.ROWNTREE & R.A.STRATTON** (2000): The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model - HadAM3. Hadley Centre for Climate Prediction and Research. Bracknell, UK.
- RAHMSTORF, S.** (2004): Die Klimaskeptiker. - MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGS-GESELLSCHAFT [HRSG.] (2004): Wetterkatastrophen und Klimawandel - Sind wir noch zu retten?, S.76-83. Edition Wissen. München.
- RAHMSTORF, S.** (2003): Rote Karte für die Leugner. - Bild der Wissenschaft 1/2003, S.56-61.
- RÄISÄNEN, J., M.RUMMUKAINEN, A.ULLERSTIG, B.BRINGFELT, U.HANSSON & U. WILLÉN** (1999): The first Rossby Centre regional climate scenario - dynamical downscaling of CO₂-induced climate change in the HadCM2 GCM. - SMHI Reports Meteorology and Climatology 85. Swedish Meteorological and Hydrological Institute. Norrköping, Sweden.

- RANA - BÜRO FÜR ÖKOLOGIE & NATURSCHUTZ** (1998a): Naturschutzfachliche Untersuchungen am ehemaligen Salzigen See. – Teil Flora und Vegetation mit Prognose. Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Umweltschutz (LAU) Sachsen-Anhalt. Halle.
- RANA - BÜRO FÜR ÖKOLOGIE & NATURSCHUTZ** (1998b): Pflege- und Entwicklungsplan für das einstweilig gesicherte NSG “Salzatal bei Langenbogen” (Saalkreis). - Unveröff. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Halle, Obere Naturschutzbehörde. Halle.
- RAPP, J.** (2002): Regionale Klimatrends in Deutschland im 20.Jahrhundert. – DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST [HRSG.] (2002): Klimastatusbericht 2001. S.175-184. Offenbach.
- RAPP, J.** (2000): Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland. – Berichte des Deutschen Wetterdienstes 212.
- RAPP, J. & C.-D.SCHÖNWIESE** (1996): Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891-1990. – Frankfurter Geowiss. Arbeiten 5. Univ.Frankfurt(M.). 2.Auflage. Frankfurt(M.).
- RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFT** (1976): Richtlinie 76/464/EWG des Rates vom 04.05.1976 betreffend die Verschmutzung infolge der Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe in die Gewässer der Gemeinschaft – Gewässerschutzrichtlinie. - (ABl. EG 1976, Nr. L 129/23; geändert durch die Richtlinie 91/692/EWG, ABl. EG 1991, Nr. L 377/48).
- REIMER, E., S.SODOUDI, E. MIKUSKY & W.ENKE** (2003): GLOWA-Elbe. Prognose von Temperatur, potentieller Verdunstung und Niederschlag für den Zeitraum 2000-2055 unter Verwendung von ECHAM/REMO-Simulationen und Neuro-Fuzzy-Modellen. - Abschlussbericht zum BMBF-Forschungsprojekt GLOWA-Elbe. Freie Universität Berlin.
- REPUBLIQUE DU BURUNDI** (2001): Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. Premiere Communication Nationale. Bujumbura, Burundi..
- RICHTER, D.** (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. – Berichte des Deutschen Wetterdienstes 194. Offenbach.
- ROECKNER, E., K.ARPE, L.BENGTSSON, M.CHRISTOPH, M.CLAUSSEN, L.DÜMENIL, M.ESCH, M.GIORGETTA, U.SCHLESE & U.SCHULZWEIDA** (1996): The atmospheric general circulation model ECHAM-4. Model description and simulation of present-day climate. – MPI-Report 218. Max-Planck-Institut für Meteorologie. Hamburg.
- ROMONTA** (1999): Zielstellung der ROMONTA GmbH Amsdorf zur Überarbeitung des Regionalen Teilgebietsentwicklungsprogrammes für den Planungsraum Amsdorf. Amsdorf.
- RP HALLE - REGIERUNGSPRÄSIDIUM HALLE** (1997): Bewirtschaftungsplan „Salza“. Halle.
- RPG HALLE - REGIONALE PLANUNGSGEMEINSCHAFT HALLE** (2004): Regionaler Entwicklungsplan für die Planungsregion Halle (REP Halle). Stand 02.06.2004. Halle.
- RUDOLF, B.** (2004): Hydroklimatologische Einordnung der in Europa extremen Jahre 2002 und 2003. - DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST [HRSG.]: Klimastatusbericht 2003, S.133-141. Offenbach.
- RUDOLF, B. & J. RAPP** (2003): Das Jahrhunderthochwasser der Elbe: Synoptische Wetterentwicklung und klimatologische Aspekte. DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST [HRSG.]: Klimastatusbericht 2002, S.173-188. Offenbach.
- RÜTER, A.** (2001): Der Einfluss von agrarischer Landnutzungsänderung auf die Erosionsleistung im Einzugsgebiet des Kriebusbaches - Untersuchung unter Verwendung des Erosionsmodells 3D. - Halle, Univ., Diplomarb., 2001.

- SANTER, B.D., T.M.L.WIGLEY, M.E.SCHLESINGER & J.F.B.MITCHELL** (1990): Developing climate scenarios from equilibrium GCM results. MPI-Report 47. Max-Planck-Institut für Meteorologie. Hamburg.
- SCHLESINGER, M.E., S.MALYSHEV, E.V.ROZANOV, F.YANG, N.G.ANDRONOVA, B.DE VRIES, A.GRUBLER, K.JIANG, T.MASUI, T.MORITA, J.PENNER, W.PEPPER, A.SANKOVSKI & Y. ZHANG** (2000): Geographical distributions of temperature change for scenarios of greenhouse gas and sulfur dioxide emissions. - *Technological Forecasting and Social Change*.
- SCHMIDT, G.** (1998): Die Bedeutung der Schwermetallemissionen aus Halden des Kupferschieferbergbaus als Ursache von Boden- und Gewässerbelastungen. - *Geowissenschaftliche Umweltforschung im mitteldeutschen Raum*. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Universitätszentrum f. Umweltwissenschaften, S.55-65.
- SCHMIDT, G. & M.FRÜHAUF** (2002): Nährstoffbilanzierungen für Fließgewässereinzugsgebiete als Grundlage zur Planung von Nutzungsänderungen im Einzugsgebiet des wiederentstehenden Salzigem Sees. - *Geo-öko*, 3/2002, 23, S.153 - 174.
- SCHÖNFELDER, G.** (2003): Landnutzung und landeskundliche Bestandesaufnahme. Beispiele aus Mitteldeutschland. - **DIEMANN, R. & H.-F.WOLLKOPF [HRSG.]** (2003): Historische Landnutzung im thüringisch-sächsisch-anhaltischen Raum - Vorträge der Tagung vom 19.-21.03.2002 in Halle (S.). S.27-42. Peter-Lang-Verlag. Frankfurt am Main [u.a.].
- SCHÖNWIESE, C.-D., T.STAEGER, S.TRÖMEL & M.JONAS** (2004): Statistisch- klimatologische Analyse des Hitzesommers 2003 in Deutschland. - **DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST [HRSG.]** (2004): Klimastatusbericht 2003, S.123-132. Offenbach.
- SCHÖNWIESE, C.-D.** (1995): Klimaänderungen. Daten, Analysen, Prognosen. Springer-Verlag. Berlin.
- SCHOLTEN, T.** (2003): Beitrag zur flächendeckenden Ableitung der Verbreitungssystematik und Eigenschaften periglaziärer Lagen in deutschen Mittelgebirgen. – *Relief, Boden, Paläoklima* 19.
- SCHOLTEN, T. & T.BEHRENS** (2002): GIS-gestützte Modellierung der räumlichen Verbreitung und Ausprägung periglaziärer Lagen in Mittelgebirgsregionen. – *Berichte zur deutschen Landeskunde* 2/3, S.151-168.
- SCHOLTEN, T., M.ALTERMANN, W.SCHWANECKE & P.FELIX-HENNINGSSEN** (1999): Die Bedeutung periglaziärer Lagen für die Funktionen des Bodens im Osthaz. – *Mitteilungen der deutschen bodenkundlichen Gesellschaft* 91/II, S.1096-1099.
- SCHRÖDER, H., U.BERGNER & J.KLAHRE** (1995): Das Ausmaß geökologischer Prozesse bodenerosiver Abspülung in Lösslandschaften des Mitteldeutschen Trockengebietes. - Abschlussbericht zum Forschungsprojekt Schr 379/1-3 "Erfassung des Ausmaßes geökologischer Prozesse der bodenerosiven Abspülung in Lösslandschaften". Erlangen.
- SCHRÖDER, H.** (1985): Allgemein-geographische Charakteristik der natürlichen Verhältnisse des südöstlichen Harzvorlandes. – *Hercynia N.F.* 23, S.1-14.
- SCHROETER, A.** (1992): Hydrogeologische Untersuchungen zu den Wasserversorgungsbedingungen im Landkreis Querfurt. – Projektbericht der IHU GmbH Nordhausen. Nordhausen.
- SCHULLA, J. & K.JASPER** (2001): Model Description WaSiM-ETH.
- SCHULTZ, G.A., M.HORNBOGEN, P.VITERBO & J.NOILHAN** (1995): Coupling Large-Scale Hydrological and Atmospheric Models. - *IAHS Special Publication* 3. IAHS Press. Institute of Hydrology, Wallingford.

- SCHWARZE, R., DRÖGE, W. & OPPERDEN, K.** (1999): Regionalisierung von Abflusskomponenten, Umsatzräumen und Verweilzeiten für kleine Mittelgebirgseinzugsgebiete. - KLEEBERG, H.B., W.MAUSER, G.PESCHKE & U.STREIT [HRSG.]: Hydrologie und Regionalisierung - Ergebnisse eines Schwerpunktprogramms (1992 bis 1998). Forschungsbericht Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), VCH, S.345 – 370.
- SEIERT, J. & T.BACH** (2000): Die wasserwirtschaftlichen Probleme bei der Wiederentstehung des Salzi-gen Sees. – Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt: Der Salzige See. Sonderheft. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU). Halle
- SEILER, W. & J.HAHN** (1998): Der natürliche und anthropogene Treibhauseffekt. Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre durch menschliche Aktivitäten. - LOZAN, J.L., H.GRABL, P.HUPFER [HRSG.] (1998): Warnsignal Klima. Wissenschaftliche Fakten, S.114-121. Hamburg.
- SEILS, M.** (2000): Holozäne Sediment- und Bodenverlagerungen im östlichen Harzvorland - Wirkungen und Ursachen nutzungsbedingter Landschaftsveränderungen. - Mauritiania 17/ 2000, 3, S.507-508.
- SEUFFERT, O.** (2004): Wo die Meteorologie mit ihrem “Latein” am Ende ist. – Geoöko 15, S. 1-40. Bensheim.
- SINGER, S.F.** (1997): Hot Talk, Cold Science - Global Warming's Unfinished Debate. The Independent Institute.
- SINGH, V.P. & D.K.FREVERT** (2002): Mathematical Models of Large Watershed Hydrology. Water Resources Publications. Littleton, USA.
- SOLMAN, S.A. & M.N.NUÑEZ** (1999): Local estimates of global change. A statistical downscaling approach. - Int.J.Climatology 19, S.835–861.
- STAU – STAATLICHES AMT FÜR UMWELTSCHUTZ HALLE** [HRSG.] (2001): Jahresbericht 2000 Hydrologie – Regierungsbezirke Halle und Dessau. Halle.
- STEPHAN J. LORENZ, D.KASANG & G.LOHMANN** (2004): Globaler Wasserkreislauf und Klimaänderungen - eine Wechselbeziehung. - J.L. LOZÁN, H. GRABL, P. HUPFER, L.MENZEL, C.-D. SCHÖNWIESE [HRSG.] (2004): Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle? Wissenschaftliche Auswertungen, S.153-156. Hamburg.
- STOCKER, T.F., G.K.C.CLARKE, H.LE TREUT, R.S.LINDZEN, V.P.MELESKO, R.K.MUGARA, T.N.PALMER, R.T.PIERREHUMBERT, P.J.SELLERS, K.E.TRENBERTH, J.WILLEBRAND** (2001): Physical climate processes and feedbacks. - HOUGHTON, J.T., Y.DING, D.J.GRIGGS, M.NOQUER, P. VAN DER LINDEN, X.DAI, K.MASKELL & C.I. JOHNSON [HRSG.] (2001): Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 7, S.417-470. Cambridge University press. Cambridge.
- SUKOPP, H. & R. WITTIG** (1998): Stadtökologie. Berlin.
- TALSPERRENMEISTEREI LSA – TALSPERRENMEISTEREI DES LANDES SACHSEN-ANHALT** [HRSG.] (1994): Talsperren in Sachsen-Anhalt. Blankenburg/ Harz.
- THEILE, K.** (1996): Entwicklung der Salzlaststeuerung als Folge der Oberflächenwasserversalzung durch Abwässer aus dem Kali- und Kupferschieferbergbau. – MEINICKE, K.-P. & W.EBERSBACH [HRSG.] (1996) Bergbau- und Umweltgeschichte in Mitteldeutschland. S.125-142.
- THEJLL, P. & K.LASSEN** (2000): Solar forcing of the Northern hemisphere land airtemperature. New data. -Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics 62, 13, S.1207-1213.

- THÜNE, W., F.SINGER, F.SEITZ & H.METZNER** (1996): Treibhaus-Kontroverse und Ozon-Problem. - Symposium der Europäischen Akademie für Umweltfragen Leipzig 9.-10. November 1995.
- TLUG - THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE [HRSG.]** (2004): Klimawandel in Thüringen - eine Herausforderung in unserer Zeit. - Umweltschutz 05/04. Jena.
- TURC, L.** (1961): Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évaporation potentielle, formule simplifiée et mise à jour. – Annales agronomiques 12, S. 13-49.
- UBA – UMWELTBUNDESAMT [HRSG.]** (2004): Globaler Klimawandel – Klimaschutz 2004. Berlin.
- ULE, WILLI** (1895/1994): Die Mansfelder Seen und die Vorgänge an denselben im Jahre 1892. Nachdruck der ersten Ausgabe. Eisleben/ Querfurt.
- VEIT, U. [HRSG.]** (1987): Klimadaten der DDR – ein Handbuch für die Praxis. – Klimatologische Normalwerte 1951/80, Reihe B, 14. Potsdam.
- VELDKAMP, T. & E.F. LAMBIN** (2001): Predicting land-use change. - Agriculture, Ecosystems & Environment 85, 1-3, S.1-6.
- VENOHR, M., M. SOUKUP, S.VASSOLO, P.DÖLL & H.BEHRENDT** (2003): Änderung von Nährstoffeinträgen und –frachten im Einzugsgebiet der Elbe infolge des Globalen Wandels. - Tagungsband des Tags der Hydrologie 2003 in Freiburg, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 04.03, 1, S. 105-112.
- VERSTEGEN, S.W.** (2000): Treibhaus skeptiker. – Mitteilungen der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft (DMG) 2/2000.
- VMBH & DBM - VEREIN MANSFELDER BERG- UND HÜTTENLEUTE & DEUTSCHES BERGBAU-MUSEUM [HRSG.]** (1999): Mansfeld – Die Geschichte des Berg- und Hüttenwesens. - Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum 80. Eisleben/ Bochum.
- VON KEITZ, S. & M.SCHMALHOLZ [HRSG.]** (2002): Handbuch der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Inhalte, Neuerungen und Anregungen für die nationale Umsetzung. Berlin.
- VON STORCH, H., S.GÜSS & M.HEIMANN** (1999): Das Klimasystem und seine Modellierung. Springer-Verlag. Berlin/Heidelberg/New York.
- VON STORCH, H. & F.W. ZWIERS** (1999): Statistical Analysis in Climate Research. Cambridge University Press. Cambridge.
- WAGENBRETH, O. & W.STEINER** (1990): Geologische Streifzüge – Landschaft und Erdgeschichte zwischen Kap Arkona und Fichtelberg. 4. Auflage. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig.
- WASHINGTON, W.M. & G.A.MEEHL** (1996) High latitude climate change in a global coupled ocean-atmosphere-sea ice model with increased atmospheric CO₂. - J.Geophys. Res. 101, S.12795-12801.
- WATSON, R.T. [HRSG.]** (2001): Synthesis report. Contribution of working groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). – Cambridge University press. Cambridge.
- WEBER, G.R.** (1991): Treibhauseffekt - Klimakatastrophe oder Medienpsychose? Dr. Böttiger Verlags-GmbH. Wiesbaden.
- WECHSUNG, F. & A.BECKER [HRSG.]** (O.J.) : Globaler Wandel im Elbe-Einzugsgebiet – GLOWA-Elbe. PIK-Report (eingereicht). Potsdam.
- WEICHEL, TH. & H.NEUMEISTER** (2004): Untersuchung des Sediment- und Nährstoffeintrags in die Tal-sperre Kelbra. - Hercynia N.F. 37/ 2004, 1, S.5-17.

- WENDLING, U.** (2002): Das Klima der Stadt Halle (Saale) nach den Wetterbeobachtungen 1901 bis 2000. - DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST [HRSG.]: Klimastatusbericht 2001, S. 240-249. Offenbach.
- WENDLING, U.** (1975): Zur Messung und Schätzung der potentiellen Verdunstung. – Zeitschrift für Meteorologie 25, S.103-111.
- WENDLING, U. & J.MÜLLER** (1984): Ermittlung eines Verfahrens zur rechnerischen Abschätzung der Verdunstung im Winter. – Zeitschrift für Meteorologie 34, S. 82-84.
- WERNER, P.C. & F.-W.GERSTENGARBE** (1997): Proposal for the development of climate scenarios. - Climate Research 8, S. 171-182.
- WETHERALD, R. T. & S. MANABE** (2002): Simulation of hydrologic changes associated with global warming. - Journal of Geophysical Research 107, S.4379.
- WIGLEY, T.M.L., S.C.B.RAPER, M.HULME & S.SMITH** (2000): The MAGICC/SCENGEN Climate Scenario Generator - Version 2.4. Technical Manual. Climatic Research Unit, UEA, Norwich, UK.
- WIGLEY, T.M.L. & S.J.SMITH** (1998): Uncertainties in projections of future global-mean temperature change. - Do We Understand Global Climate change? S.185-195. Norwegian Academy of Technological Sciences (NTVA). Trondheim, Norway,.
- WILBY, R.L., T.M.L.WIGLEY, D.CONWAY, P.D.JONES, B.C.HEWITSON, J.MAIN & D.S.WILKS** (1998): Statistical downscaling of general circulation model output. A comparison of methods. - Water Resou. Res. 34, S.2995–3008.
- WILBY, R.L. & T.M.L.WIGLEY** (1997): Downscaling general circulation output. A review of methods and limitations. Progress in Phys.Geogr. 21, S.530-548.
- WILMANN, O.** (1998): Ökologische Pflanzensoziologie. 5.Aufl. Stuttgart.
- WOHLRAB, B., H.ERNSTBERGER, A.MEUSER & V.SOKOLLEK** (1992): Landschaftswasserhaushalt. Berlin.
- WUNDERLICH, K.** (1932): Über das Verschwinden des Salzigen Sees. – Mein Mansfelder Land – Blätter für Heimatforschung und heimatliches Leben, S.28-32. Eisleben.
- WURBS, D.** (2003): Landnutzungsänderungen und ihre hydrologischen Konsequenzen - dargestellt am wiederentstehenden Salzigen See und seinem Einzugsgebiet. – DIEMANN, R. & H.-F. WOLLKOPF [HRSG.] (2003): Historische Landnutzung im thüringisch-sächsisch-anhaltischen Raum - Vorträge der Tagung vom 19.-21.03.2002 in Halle (S.), S.163-175. Peter-Lang-Verlag. Frankfurt am Main [u.a.].
- WURBS, D.** (2002): Die Auswirkungen von Landnutzungsänderungen auf Wasserhaushalt und Abflussverhalten der Weida – unter besonderer Berücksichtigung der Wiederentstehung des Salzigen Sees. - Geo-öko, 3/2002, 23, S.175-186.
- WURBS, D. & B. PFÜTZNER** (2001): Der Einfluss von Landnutzungsänderungen auf den Hochwasserabfluss der Zuflüsse und den Wasserhaushalt im Einzugsgebiet des Salzigen Sees. Untersuchungen anhand von drei Nutzungsszenarien unter Verwendung des Modellierungssystems ARC - EGMO. – Hercynia N.F. 34, S.1-11.
- WURBS, D.** (2000): Der Einfluss von Landnutzungsänderungen auf die Abflusskennwerte der Zuflüsse des oberirdischen Einzugsgebietes und die Wasserbilanz des Salzigen Sees – Untersuchungen anhand von drei Nutzungsszenarien unter Verwendung des Modellierungssystems ARC/EGMO. - Halle, Univ., Diplomarb., 2000.

ZINKE, G. (1993): Die natürlichen Verhältnisse des Einzugsgebietes der Bösen Sieben unter Berücksichtigung der Mansfelder Seen. – STAU - STAATLICHES AMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1993): Der Süße See. Schriftenreihe des Staatlichen Amtes für Umweltschutz Halle 2, S.8-12.

ZORITA, E. & H.VON STORCH (1999): The analog method - a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. - J. Climate 12. S. 2474-2489.

Mündliche Mitteilungen

AZV SÜBER SEE – ABWASSERZWECKVERBAND SÜBER SEE (2004): Monatliche Ablaufmengen der Kläranlage Rollsdorf (einschließlich perspektivischer Ablaufmengen). Seeburg.

KUSSMANN, S. (2003): Grund- & Fließgewässerverhältnisse im Uferbereich des Salzigen Sees. Mündliche Mitteilungen des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW). Juni 2003.

STADT QUERFURT(2004): Monatliche Ablaufmengen der Kläranlage Querfurt und zukünftige (voraussichtliche) Überlaufmengen zur Kläranlage Karsdorf. Querfurt.

VILLWOCK (2003): Beschluss voraussichtlich 2003/04 mit einigen Änderungen. Mündliche Mitteilungen der Regionalen Planungsgemeinschaft Halle (RPG Halle) zum Planungsstand Amsdorf

Internetquellen

BREUER L. & H.-G. FREDE (2003): PlaPaDa - an online plant parameter data drill for eco-hydrological modelling approaches. <http://www.uni-giessen.de/~gh1461/plapada/plapada.html>

Kartenverzeichnis

GLA LSA - GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (1998K): Geologische Karte Harz 1:100.000. Halle.

GLA LSA - GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (1995K): Bodenübersichtskarte Sachsen-Anhalt 1:200.000 (BÜK200). Halle.

GLA LSA - GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (ca.1980K): MMK-Arbeitskarten 1:25.000 (MMK25). Halle.

LAU LSA – LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (1996K): Arbeitskarte zum Projekt Wiederentstehung des Salzigen Sees 1:5.000. Halle.

LAGB LSA – LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGWESSEN SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (o.J.) : Vorläufige digitale Bodenkarte von Sachsen-Anhalt 1:50.000 (VBK50). Halle.

LVERMD LSA - LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (1996K): Topographische Übersichtskarte Sachsen-Anhalt 1:200.000, Region Halle. Halle.

LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (2004K₁): Topographische Karte 1:10.000, Blatt 4535-NO – Erdeborn. Halle.

- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(2004K₂): Topographische Karte 1:10.000, Blatt 4536-NO – Teutschenthal N. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(2004K₃): Topographische Karte 1:10.000, Blatt 4536-NW – Rößlingen am See. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1997K₁): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4135 – Staßfurt. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1997K₂): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4136 – Nienburg (Saale). Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1997K₃): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4234 – Aschersleben. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1997K₄): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4235 – Güsten. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1997K₅): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4236 – Bernburg (Saale). Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1996K₁): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4332 – Harzgerode. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1996K₂): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4333 – Königserode. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1996K₃): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4432 – Dankerode. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1996K₄): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4635 – Querfurt. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1996K₅): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4636 – Mücheln (Geiseltal). Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1995K₁): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4334 – Großörner. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1995K₂): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4335 – Hettstedt. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1995K₃): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4433 – Wippra. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1995K₄): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4434 – Mansfeld. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1995K₅): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4435 – Lutherstadt Eisleben. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1995K₆): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4534 – Allstedt. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1995K₇): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4535 – Erdeborn. Halle.
- LVERMG LSA - LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SACHSEN-ANHALT [HRSG.]**
(1995K₈): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4536 – Teutschenthal. Halle.

LVWA LSA – LANDESVERWALTUNGSAMT SACHSEN-ANHALT (2004K): Übersichtskarte zum Abwasserbeseitigungsplan Salza 1:50.000. Halle.

THÜRINGER LANDESVERMESSUNGSAMT [HRSG.] (1993): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 4634 – Ziegelroda. Erfurt.

Datenverzeichnis

AZV EISLEBEN - ABWASSERZWECKVERBAND EINZUGSGEBIET EISLEBEN (2004D): Monatliche Ablaufmengen der Kläranlage Eisleben 1999-2001. (einschließlich perspektivischer Ablaufmengen). Seeburg.

DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST (2002D₁): Niederschlagsdaten. Bereitstellung des RR-Datenkollektivs durch den DWD. Offenbach.

DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST (2002D₂): Klimadaten. Bereitstellung des KL-Datenkollektivs durch den DWD. Offenbach.

FU BERLIN – FREIE UNIVERSITÄT BERLIN, INSTITUT FÜR METEOROLOGIE (2003D₁): Klimaszenarien für 6 Stationen für den Zeitraum 2001-2055 – Daten für das Projekt „GLOWA-Elbe“. Berlin.

GLA LSA - GEOLOGISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (1997D): Bodenübersichtskarte Sachsen-Anhalt (BÜK200) 1:200.000. Halle.

IFG MLU – INSTITUT FÜR GEOGRAPHIE DER MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG (2002D₁): Abflusswerte eines Messprogrammes im Einzugsgebiet des Salzigen Sees von 09/1997 bis 12/1999. - FRÜHAUF, M. & G.SCHMIDT (1999): Ermittlung des diffusen Nährstoff- und Sedimenteintrages in den wieder entstehenden Salzigen See. Halle.

LAGB LSA – LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGWESEN SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (2002D₁): Mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung (MMK) 1:25.000. Halle.

LAGB LSA – LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGWESEN SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (2002D₂): Synthetische Konzeptbodenkarte für das Gebiet des Ostharz. – SCHOLTEN, T., T.BEHRENS & P.FELIX-HENNINGSSEN. Halle.

LAU LSA – LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (2001D₁): CIR-Luftbild-Interpretationsdaten 1:10.000, Befliegung 1992/93. Bereitgestellt durch das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Halle.

LAU LSA – LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (2001D₂): Digitale Daten der Gewässereinzugsgebiete Salza und Wipper. Bereitgestellt durch das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. Halle.

LHW LSA – LANDESBETRIEB FÜR HOCHWASSERSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT SACHSEN-ANHALT (2004D₁): Monatliche Fördermengen am Pumpwerk Wansleben 1982-1998. Halle.

LHW LSA – LANDESBETRIEB FÜR HOCHWASSERSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT SACHSEN-ANHALT (2004D₂): Monatliche Grundwasserstände des Grundmessnetzes 1989-2004. GW-Beobachtungsrohr Wansleben. Halle.

LHW LSA – LANDESBETRIEB FÜR HOCHWASSERSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT SACHSEN-ANHALT (2004D₃): Messwerte der chemischen Gewässergüte der Schlenze 2004. Halle.

LHW LSA – LANDESBETRIEB FÜR HOCHWASSERSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT SACHSEN-ANHALT (2002D₁): Pegeldata in Tageswerten. Halle.

LVERMD LSA - LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (1996D₁): Digitales Geländemodell (DGM) 10x10m. Blattbezug M-32-11-D-b-3, M-32-11-D-b-4, M-32-11-D-c-3, M-32-11-D-c-4, M-32-11-D-d-1, M-32-11-D-d-2, M-32-11-D-d-3, M-32-11-D-d-4, M-32-12-C-a-2, M-32-12-C-a-3, M-32-12-C-a-4, M-32-12-C-b-1, M-32-12-C-b-2, M-32-12-C-b-3, M-32-12-C-b-4, M-32-12-C-c-1, M-32-12-C-c-2, M-32-12-C-c-3, M-32-12-C-c-4, M-32-12-C-d-1, M-32-23-A-a-3, M-32-23-A-a-4, M-32-23-A-b-1, M-32-23-A-b-3, M-32-23-A-b-4, M-32-23-A-c-1, M-32-23-A-c-2, M-32-23-A-c-3, M-32-23-A-c-4, M-32-23-A-d-1, M-32-23-A-d-2, M-32-23-A-d-3, M-32-23-A-d-4, M-32-23-B-a-1, M-32-23-B-a-2, M-32-23-B-a-3, M-32-23-B-a-4, M-32-23-B-b-1, M-32-23-B-b-2, M-32-23-B-b-3, M-32-23-B-b-4, M-32-23-B-c-1, M-32-23-B-c-2, M-32-23-B-c-3, M-32-23-B-c-4, M-32-23-B-d-1, M-32-23-B-d-2, M-32-23-D-d-1, M-32-23-D-d-2, M-32-23-D-d-3, M-32-23-D-d-4, M-32-24-A-a-3, M-32-24-A-a-2, M-32-24-A-a-1, M-32-24-A-a-4, M-32-24-A-c-1, M-32-24-C-a-1, M-32-24-C-a-2, M-32-24-C-a-3, M-32-24-C-a-4, M-32-24-C-b-1, M-32-24-C-b-2, M-32-24-C-b-3, M-32-24-C-b-4, M-32-24-C-c-1, M-32-24-C-c-2, M-32-24-C-c-3, M-32-24-C-c-4, M-32-24-C-d-1, M-32-24-C-d-2, M-32-24-C-d-3, M-32-24-C-d-4, M-32-24-D-a-1, M-32-24-D-a-3, M-32-36-A-a-2, M-32-36-A-b-1. Halle.

LVERMD LSA - LANDESAMT FÜR LANDESVERMESSUNG UND DATENVERARBEITUNG SACHSEN-ANHALT [HRSG.] (1996D₂): Amtliches Topographisch-kartographischen Informationssystems (ATKIS) 1:25.000. Blätter 4135, 4136, 4234, 4235, 4236, 4332, 4333, 4334, 4335, 4432, 4433, 4434, 4435, 4535, 4536, 4634, 4635, 4636. Halle.

PIK POTSDAM – POTSDAM-INSTITUT FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG (2002D₁): Basisszenarien für 25 Stationen für den Gegenwartszustand (ab 1951). – Daten aus dem Projekt „GLOWA-Elbe“. Potsdam.

PIK POTSDAM – POTSDAM-INSTITUT FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG (2002D₂): Klimaszenarien für 25 Stationen für die bevorstehenden 50 Jahre (bis 2055). – Daten aus dem Projekt „GLOWA-Elbe“. Potsdam.

ROMONTA GMBH (2004D₁): Messdaten Grundwasserspiegel 1973-2004. Bohrloch-Nr. 3/72 – Sportplatz Amsdorf. Amsdorf.

ROMONTA GMBH (2004D₂): Messdaten Grundwasserspiegel 1973-2001. Bohrloch-Nr. 2/72 – Ortslage Amsdorf. Amsdorf.

STAU – STAATLICHES AMT FÜR UMWELTSCHUTZ HALLE (2001D₁): Bodenkarten 1:25.000 für das Einzugsgebiet der Querne/Weida 1995/96 des Geologischen Landesamtes (GLA) Halle. - PFÜTZNER, B., S.KRONE & W.G.PAGENKOPF (1996): Hydrologische Grundlagenuntersuchungen im Einzugsgebiet der Salza. Bereitgestellt durch das Staatliche Amt für Umweltschutz Halle.

STAU – STAATLICHES AMT FÜR UMWELTSCHUTZ HALLE (2001D₂): Grundwasserflurabstandskarte für das Einzugsgebiet der Querne/Weida. - PFÜTZNER, B., S.KRONE & W.G.PAGENKOPF (1996): Hydrologische Grundlagenuntersuchungen im Einzugsgebiet der Salza. Bereitgestellt durch das Staatliche Amt für Umweltschutz Halle.

STAU – STAATLICHES AMT FÜR UMWELTSCHUTZ HALLE (2001D₃): Fließgewässer im Einzugsgebiet der Querne/Weida. - PFÜTZNER, B., S.KRONE & W.G.PAGENKOPF (1996): Hydrologische Grundlagenuntersuchungen im Einzugsgebiet der Salza. Bereitgestellt durch das Staatliche Amt für Umweltschutz Halle.

8 ANHANG

Verzeichnis der Karten

	Seite
Karte 1: Böden in den Untersuchungsgebieten	A1
Karte 2: Fließgewässerstruktur und Teileinzugsgebiete in den Untersuchungsgebieten	A2
Karte 3: Landnutzungsverhältnisse in den Untersuchungsgebieten	A3
Karte 4: Grundwasserverhältnisse in den Untersuchungsgebieten	A4
Karte 5: Höhen- und Gefälleverhältnisse in den Untersuchungsgebieten	A5
Karte 6: Jahresdurchschnittstemperatur und Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsgebieten 1951-2000	A6
Karte 7: Klimatische Wasserbilanz und Potentielle Evapotranspiration in den Untersuchungsgebieten 1951-2000	A7
Karte 8: Grundwasserneubildung und Reale Verdunstung in den Untersuchungsgebieten 1951-2000	A8
Karte 9: Oberflächenabfluss und Schmelzwasserabgabe in den Untersuchungsgebieten 1951-2000	A9
Karte 10: Vergleich Basisszenario und Trendszenario – Jahresdurchschnittstemperatur und Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsgebieten	A10
Karte 11: Vergleich Basisszenario und Trendszenario – Potentielle Evapotranspiration und Klimatische Wasserbilanz in den Untersuchungsgebieten	A11
Karte 12: Vergleich Basisszenario und MAGICC/SCENGEN-Klimaszenario – Jahresdurchschnittstemperatur und Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsgebieten	A12
Karte 13: Vergleich Basisszenario und MAGICC/SCENGEN-Klimaszenario – Potentielle Evapotranspiration und Klimatische Wasserbilanz in den Untersuchungsgebieten	A13
Karte 14: Vergleich Basisszenario und STAR-Klimaszenario – Jahresdurchschnittstemperatur und Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsgebieten	A14
Karte 15: Vergleich Basisszenario und STAR-Klimaszenario – Potentielle Evapotranspiration und Klimatische Wasserbilanz in den Untersuchungsgebieten	A15
Karte 16: Vergleich Basisszenario und ECHAM/REMO-Klimaszenario – Jahresdurchschnittstemperatur und Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsgebieten	A16
Karte 17: Vergleich Basisszenario und ECHAM/REMO-Klimaszenario – Potentielle Evapotranspiration und Klimatische Wasserbilanz in den Untersuchungsgebieten	A17
Karte 18: Regionalspezifische Veränderung der Klimaparameter in den Untersuchungsgebieten	A18
Karte 19: Veränderung der Klima- und Wasserhaushaltsparameter in den Untersuchungsgebieten - Trendszenario	A19
Karte 20: Veränderung der Klima- und Wasserhaushaltsparameter in den Untersuchungsgebieten - MAGICC/SCENGEN-Szenario	A20
Karte 21: Veränderung der Klima- und Wasserhaushaltsparameter in den Untersuchungsgebieten - STAR-Klimaszenario	A21
Karte 22: Veränderung der Klima- und Wasserhaushaltsparameter in den Untersuchungsgebieten - ECHAM/REMO-Szenario	A22
Karte 23: Veränderung der Temperatur in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien	A23
Karte 24: Veränderung des Niederschlages in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien	A24
Karte 25: Veränderung der Potentiellen Verdunstung in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien	A25
Karte 26: Veränderung der Klimatischen Wasserbilanz in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien	A26
Karte 27: Reale Verdunstung in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien	A27
Karte 28: Grundwasserneubildung in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien	A28
Karte 29: Oberflächenabfluss in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien	A29
Karte 30: Schmelzwasserabgabe in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien	A30
Karte 31: Veränderung der Realen Verdunstung in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien	A31

Karte 32:	Veränderung der Grundwasserneubildung in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien	A32
Karte 33:	Veränderung des Oberflächenabflusses in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien	A33
Karte 34:	Veränderung der Schmelzwasserabgabe in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien	A34
Karte 35:	Regionalspezifische Veränderung von Klima, Wasserhaushalt und Abfluss in den Untersuchungsräumen – bezogen auf das Gesamtgebiet	A35
Karte 36a:	Veränderung des Gewässerabflusses in den Untersuchungsgebieten für das MAGICC/SCENGEN-Klimaszenario	A36
Karte 36b:	Veränderung des Gewässerabflusses in den Untersuchungsgebieten für das STAR-Klimaszenario	A37
Karte 37:	Schematische Darstellung der Bilanzgrößen im Untersuchungsgebiet „Salziger See“	A38

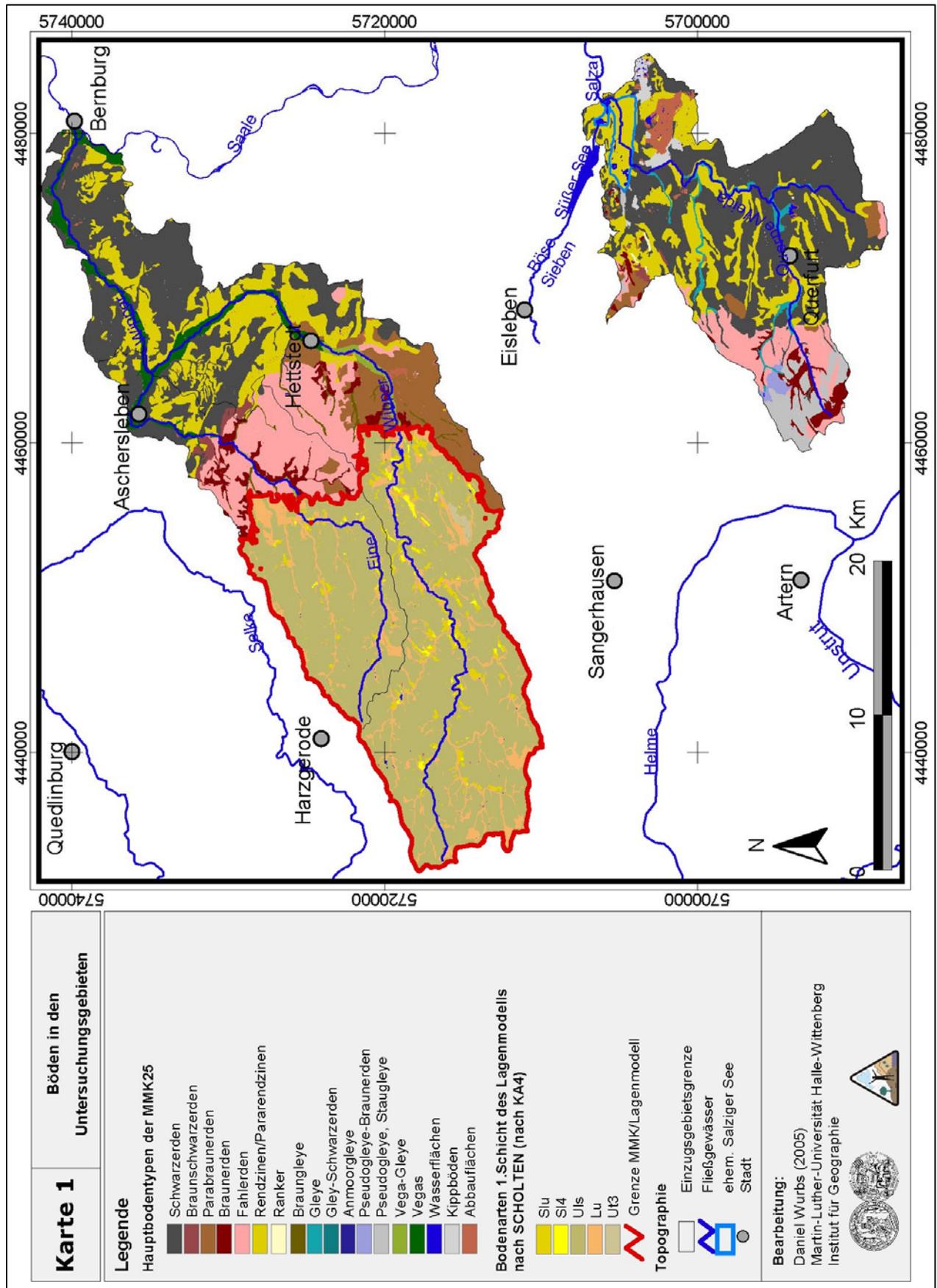
Verzeichnis der Tafeln

	Seite	
Tafel 1:	Güte des hydrologischen Modells für die Wipper/ Pegel Wippra (Kalibrierungsphase 1984-2000)	A39
Tafel 2:	Güte des hydrologischen Modells für die Wipper/ Pegel Mansfeld-Leimbach (Kalibrierungsphase 1984-2000)	A40
Tafel 3:	Güte des hydrologischen Modells für die Eine/ Pegel Stangerode (Kalibrierungsphase 1993-2000)	A41
Tafel 4:	Güte des hydrologischen Modells für die Eine/ Pegel Aschersleben (Kalibrierungsphase 1984-2000)	A42
Tafel 5:	Güte des hydrologischen Modells für die Querne/Weida/ Pegel Stedten (Validierungsphase 1966-1983)	A43
Tafel 6:	Güte des hydrologischen Modells für die Wipper/ Pegel Groß Schierstedt (Validierungsphase 1961-1983)	A44
Tafel 7:	Abflusscharakteristik der Querne/Weida (Pegel Stedten) für den Zeitraum 1951-2000	A45
Tafel 8:	Abflusscharakteristik der Wipper (Pegel Groß Schierstedt) für den Zeitraum 1951-2000	A46
Tafel 9:	Abflusscharakteristik der Eine (Pegel Stangerode) für den Zeitraum 1951-2000	A47
Tafel 10:	Schematische Darstellung der hydrologischen Verhältnisse im Umfeld des Salzigen Sees	A48

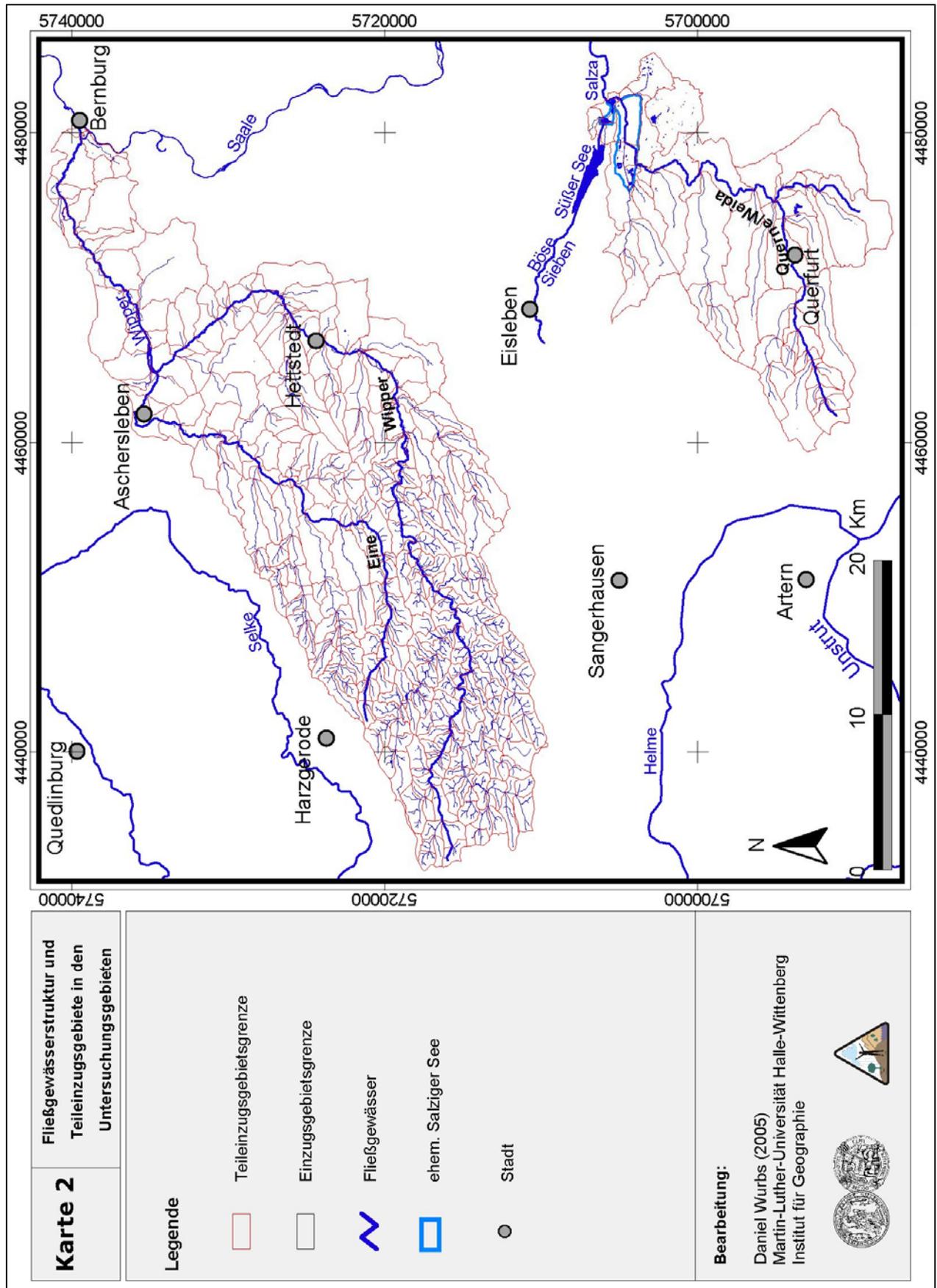
Verzeichnis der Tabellen

	Seite	
Tabelle Anh.1:	Datenquellen der raumbezogenen Daten für die Untersuchungsgebiete	A49
Tabelle Anh.2:	Präprocessing und Vorgehensweise zur Generierung quasi homogener Bodeneinheiten aus dem Lagenmodell nach SCHOLTEN & BEHRENS	A50
Tabelle Anh.3:	Arbeitsschritte zur Erstellung von Fließgewässernetz und Teileinzugsgebietsstruktur	A50
Tabelle Anh.4:	Datenlücken der Klimastationen des KL-Datenkollektivs des Deutschen Wetterdienstes	A51
Tabelle Anh.5:	Klimatologische und hydrologische Zeitreihen	A52
Tabelle Anh.6:	Halbjahresbezogene Trends für ausgewählte Klimaparameter, bezogen auf die 0,5°-Grids des MAGICC/SCENGEN-Klimaszenarios und daraus abgeleitete Trendwerte für die Klimastationen bis 2050	A53
Tabelle Anh.7:	Stationswertevergleich für ausgewählte Klimaparameter in Abhängigkeit von den Szenarien	A54
Tabelle Anh.8:	Klassifizierung täglicher Niederschläge der Klimaszenarien für die 50-jährige Reihe der Station Halle	A54

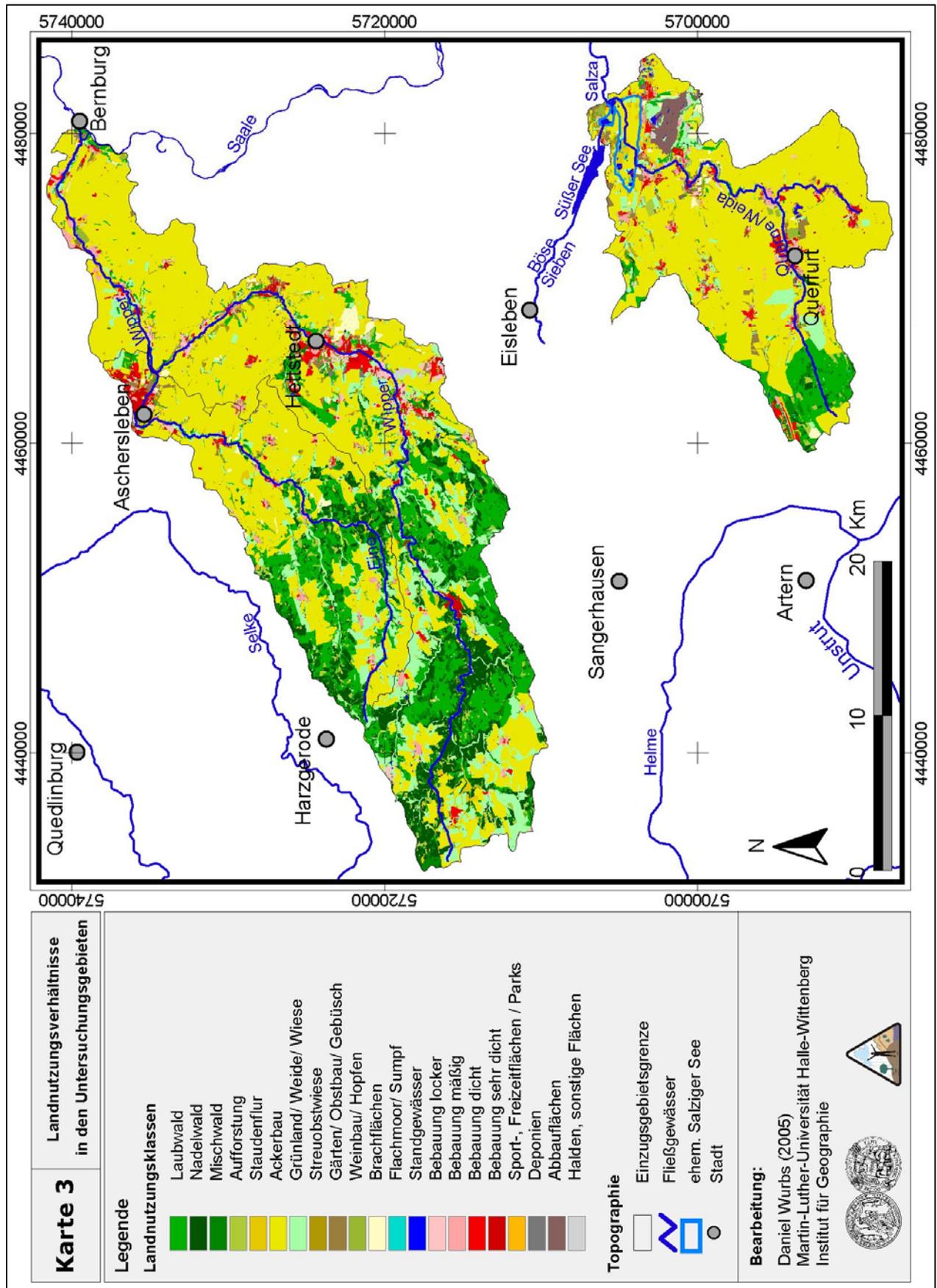
Karte 1: Böden in den Untersuchungsgebieten



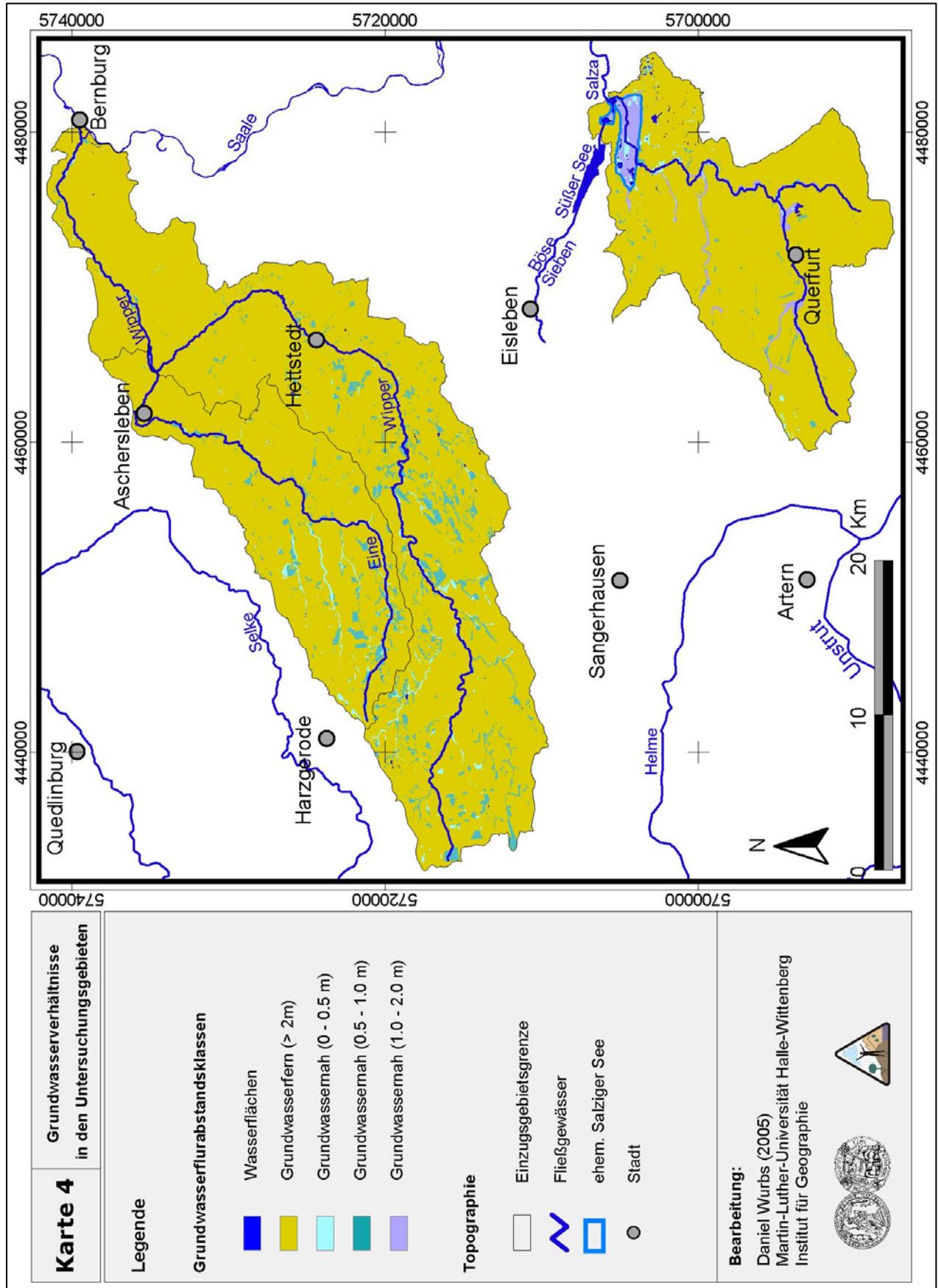
Karte 2: Fließgewässerstruktur und Teileinzugsgebiete in den Untersuchungsgebieten



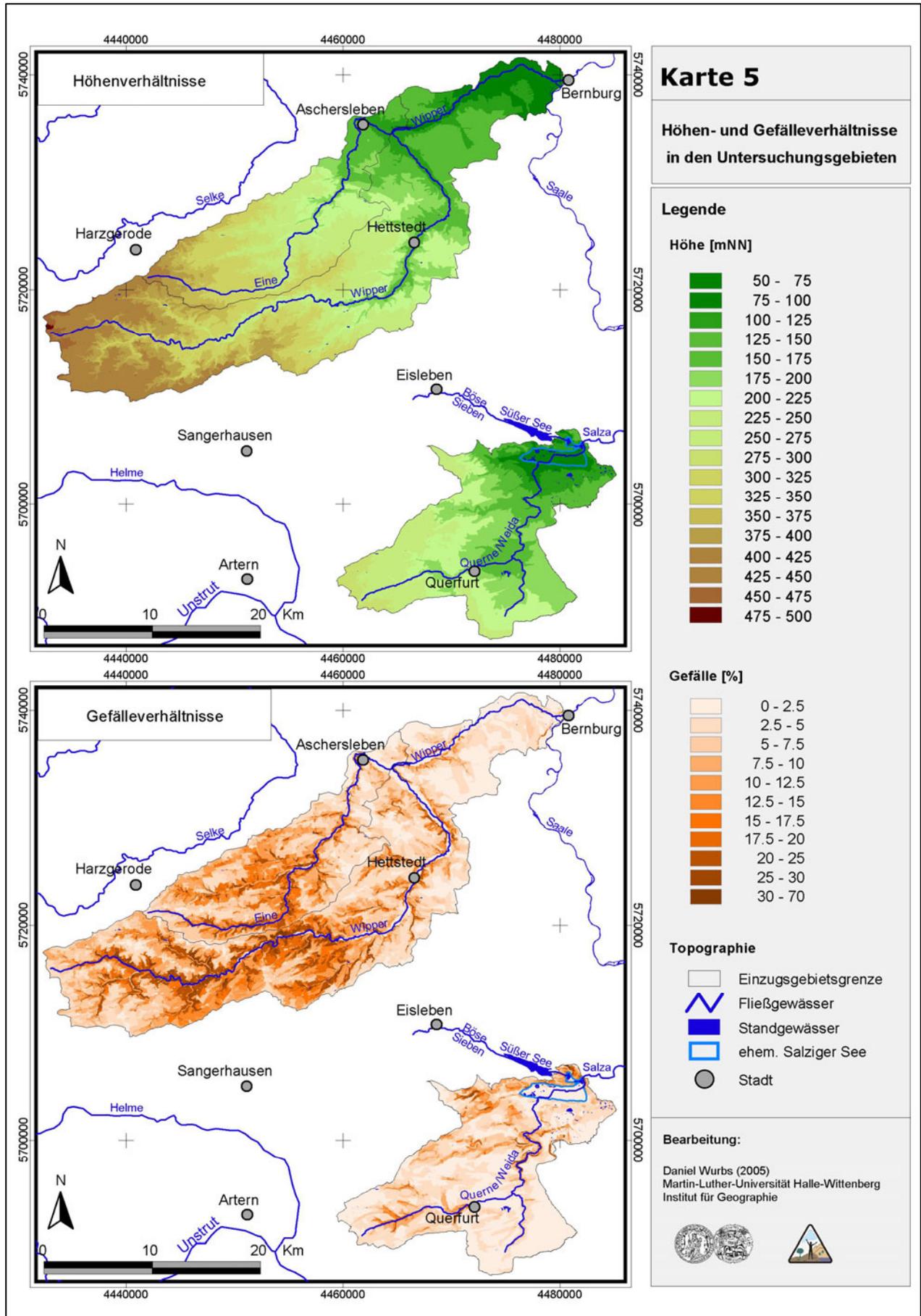
Karte 3: Landnutzungsverhältnisse in den Untersuchungsgebieten



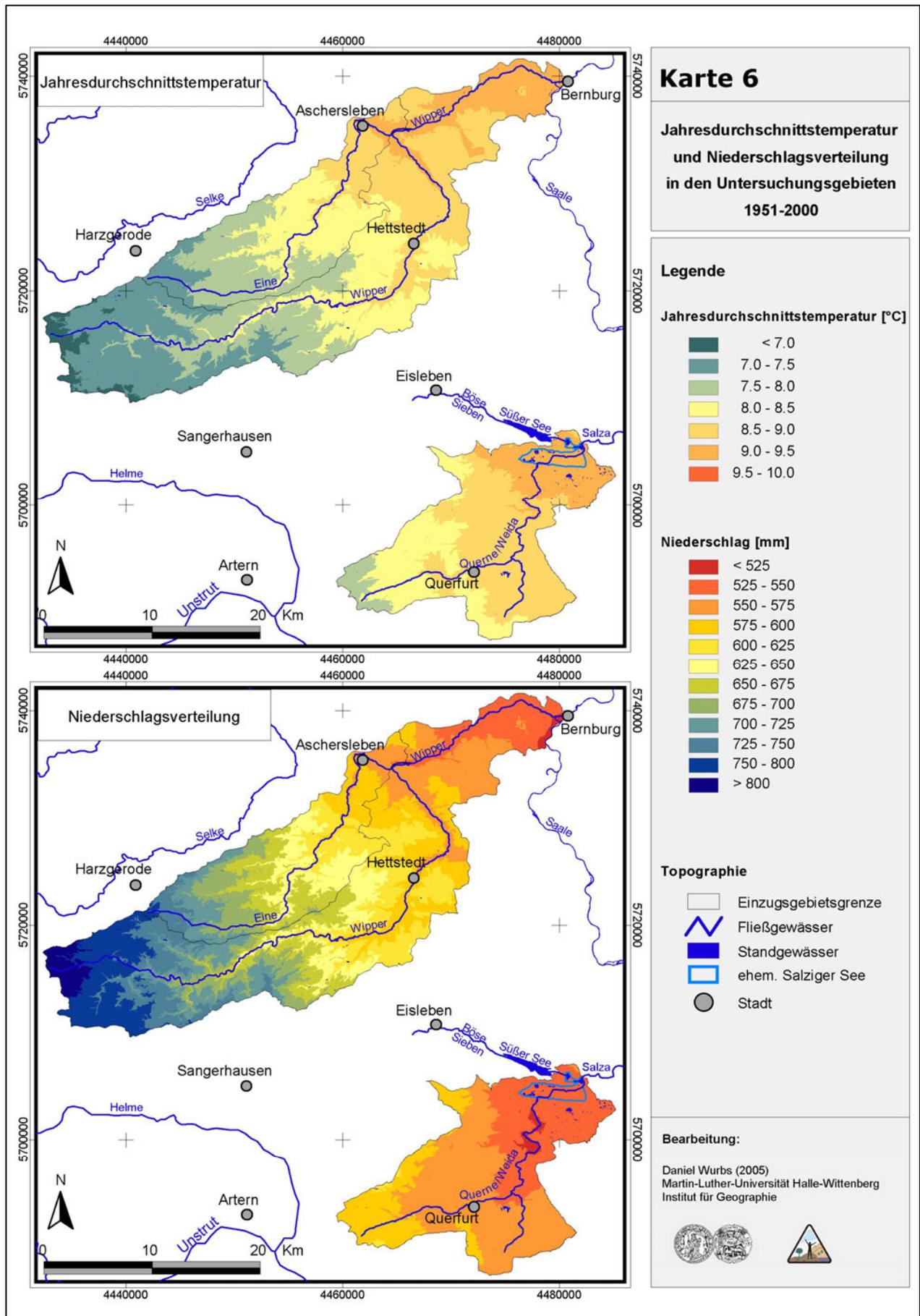
Karte 4: Grundwasserverhältnisse in den Untersuchungsgebieten



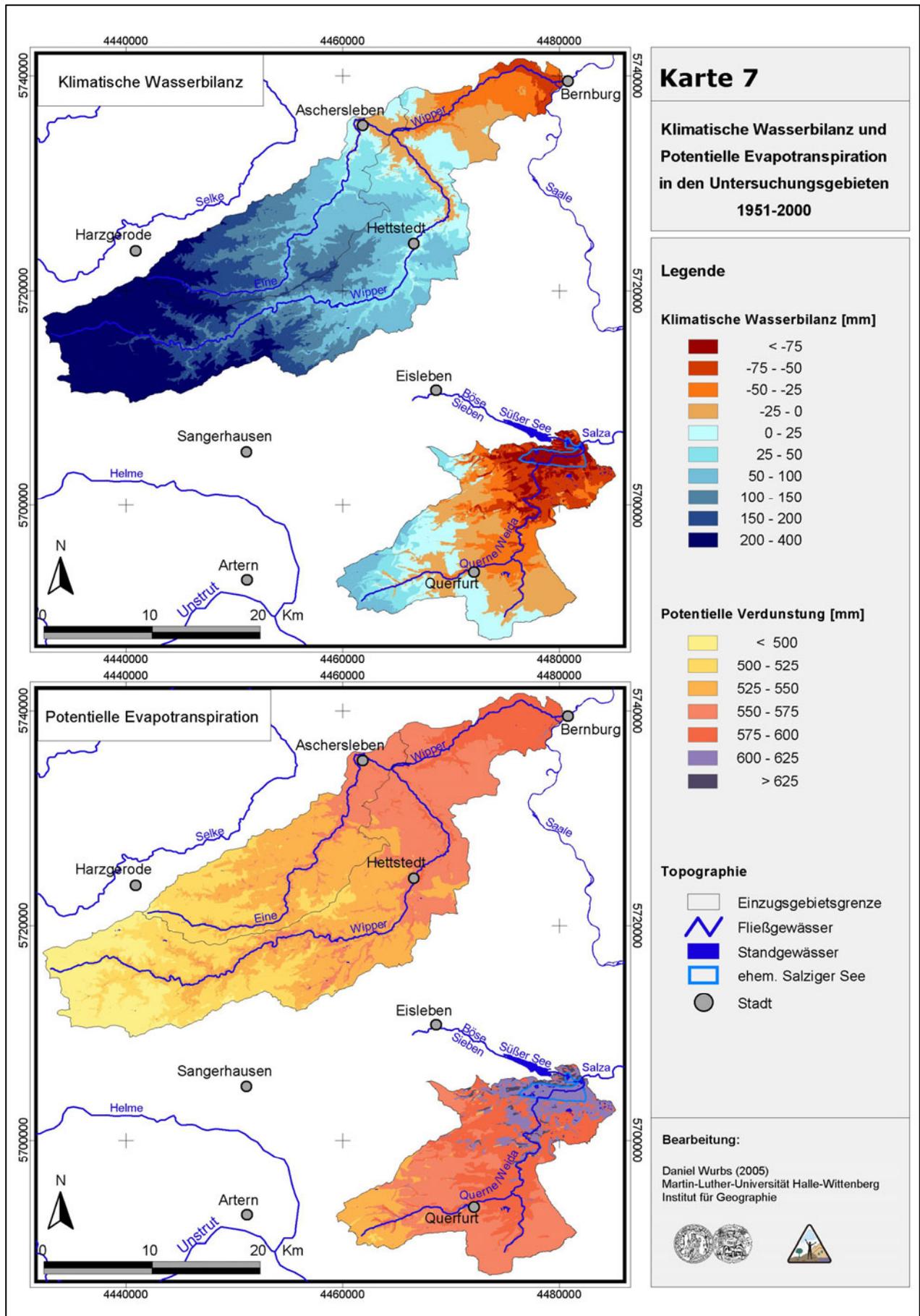
Karte 5: Höhen- und Gefälleverhältnisse in den Untersuchungsgebieten



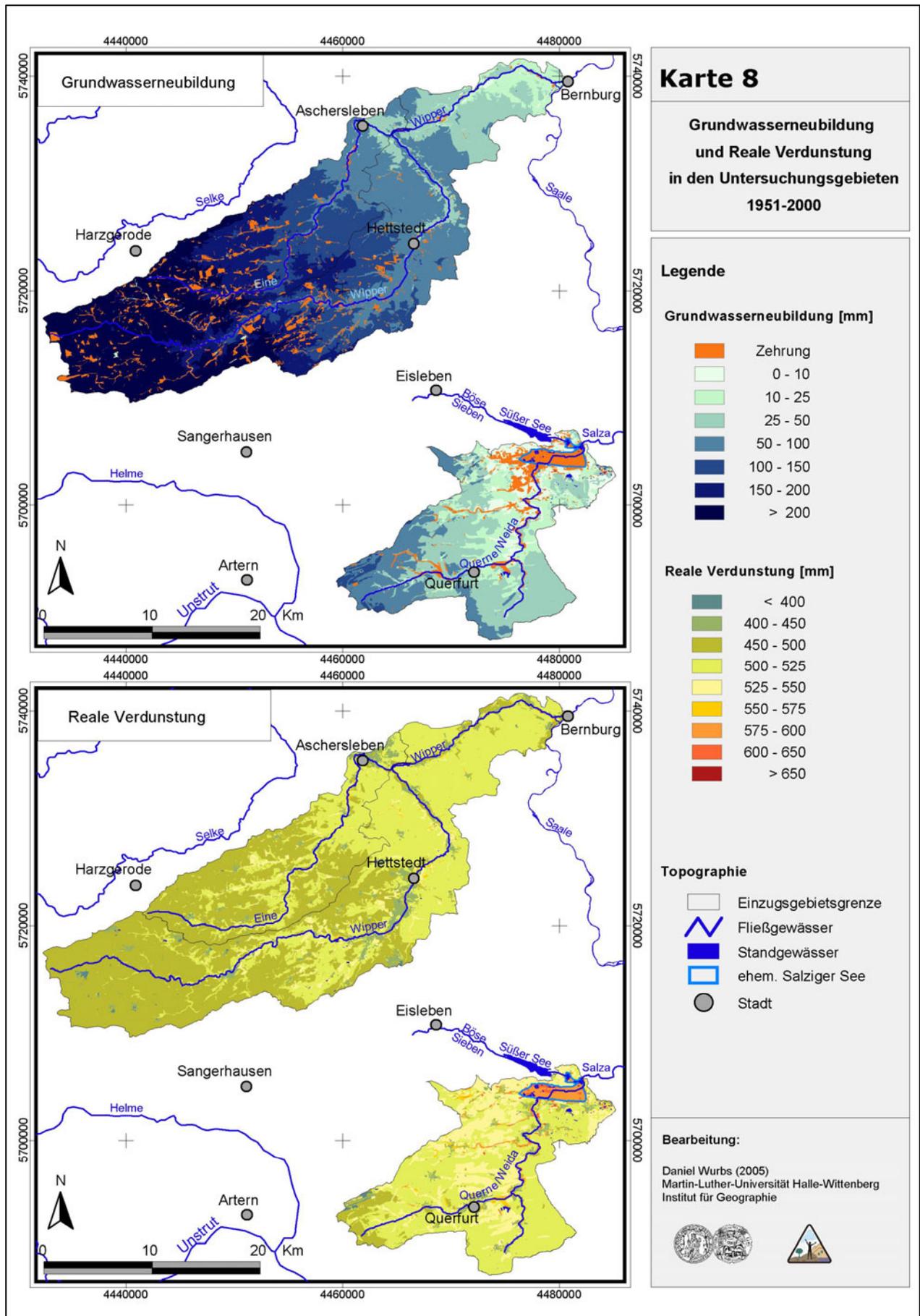
Karte 6: Jahresdurchschnittstemperatur und Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsgebieten 1951-2000



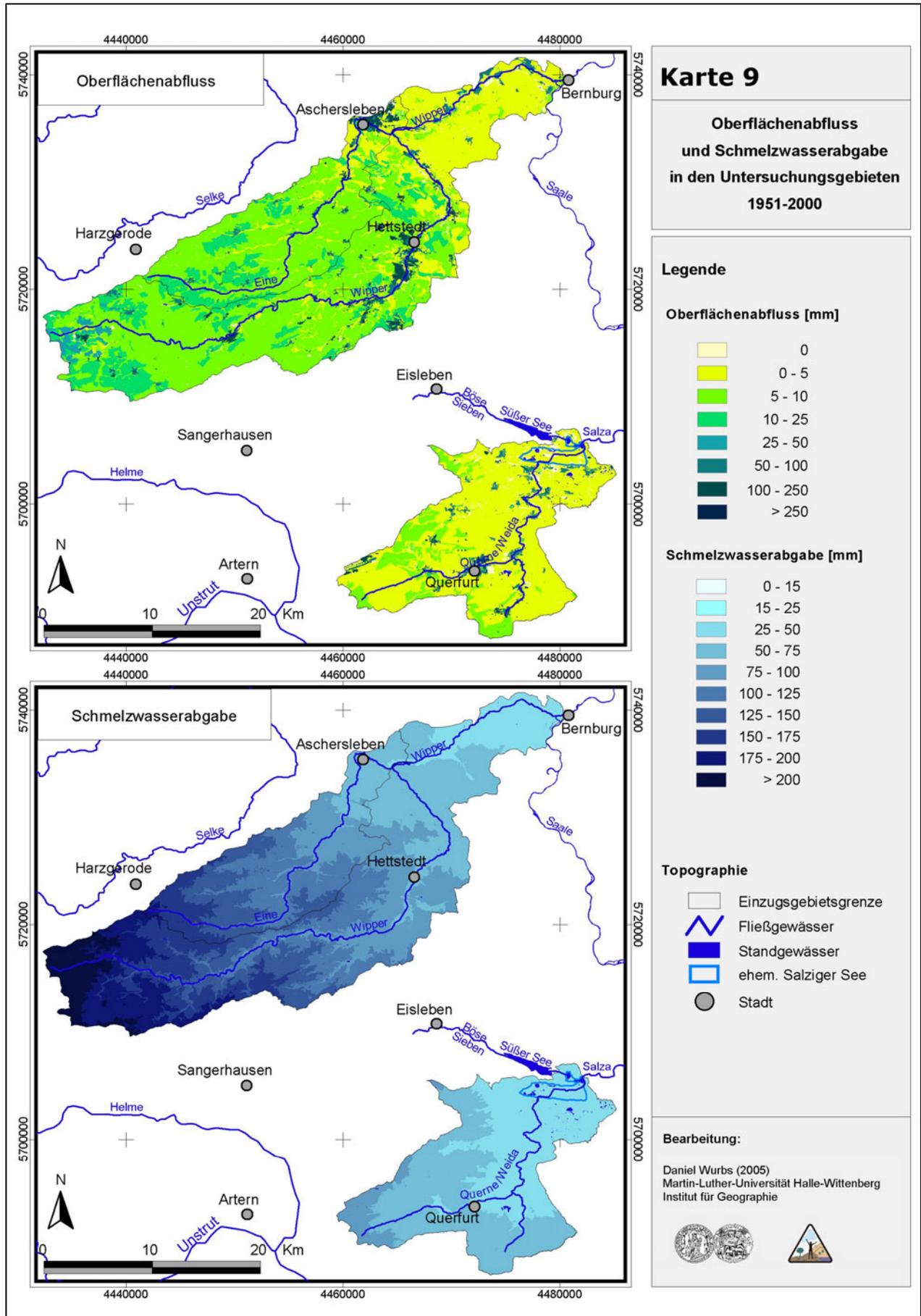
Karte 7: Klimatische Wasserbilanz und Potentielle Evapotranspiration in den Untersuchungsgebieten 1951-2000



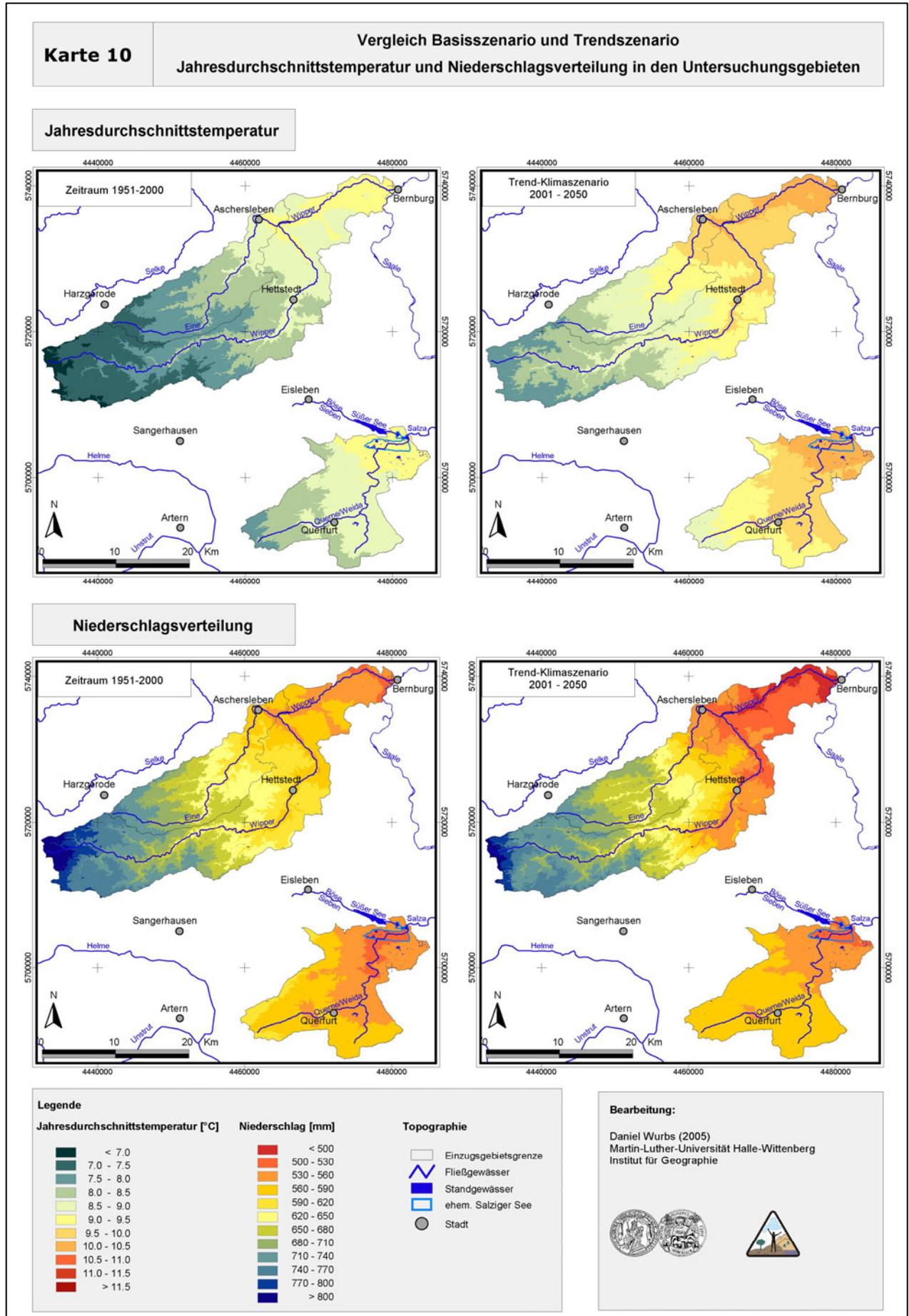
Karte 8: Grundwasserneubildung und Reale Verdunstung in den Untersuchungsgebieten 1951-2000



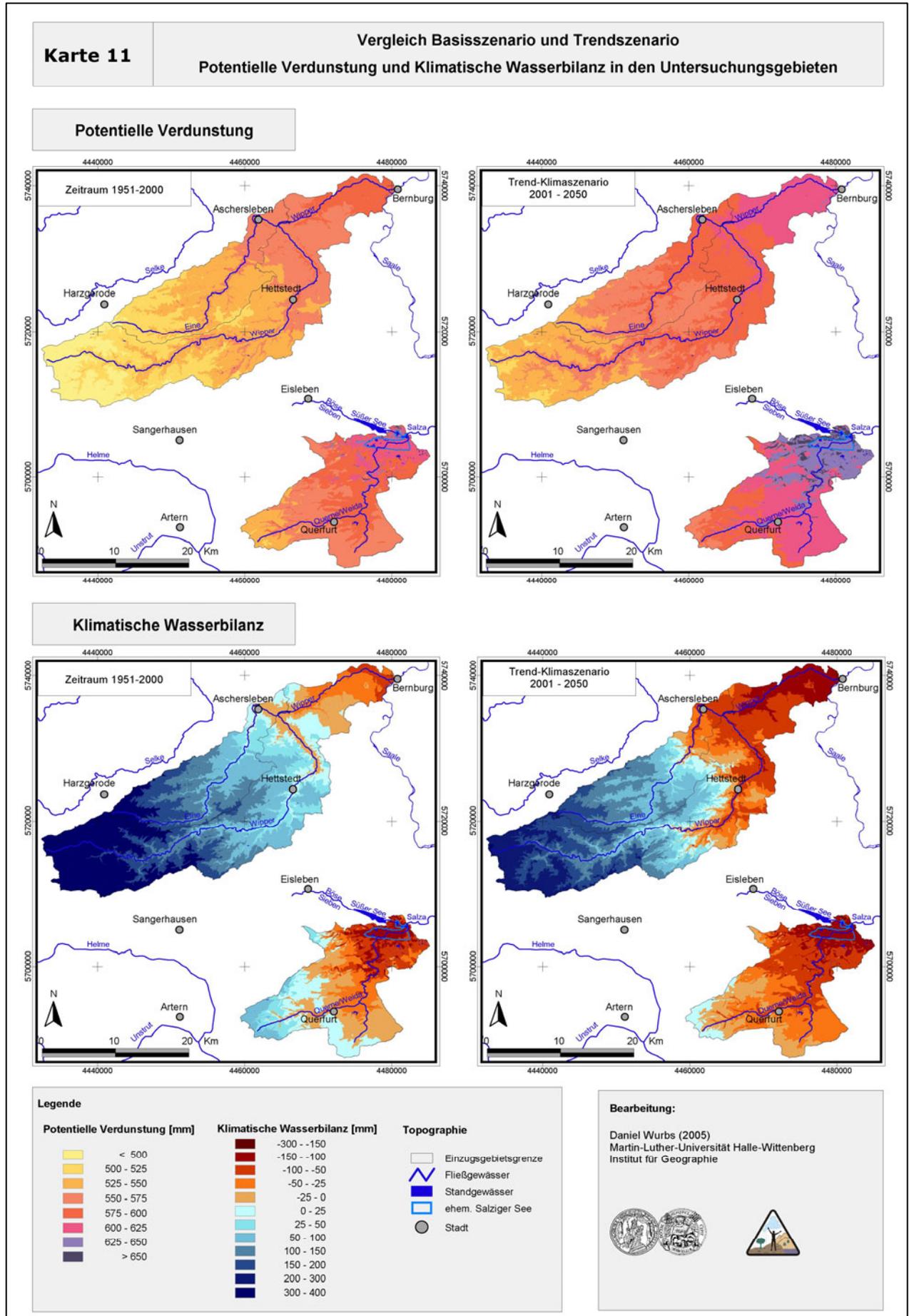
Karte 9: Oberflächenabfluss und Schmelzwasserabgabe in den Untersuchungsgebieten 1951-2000



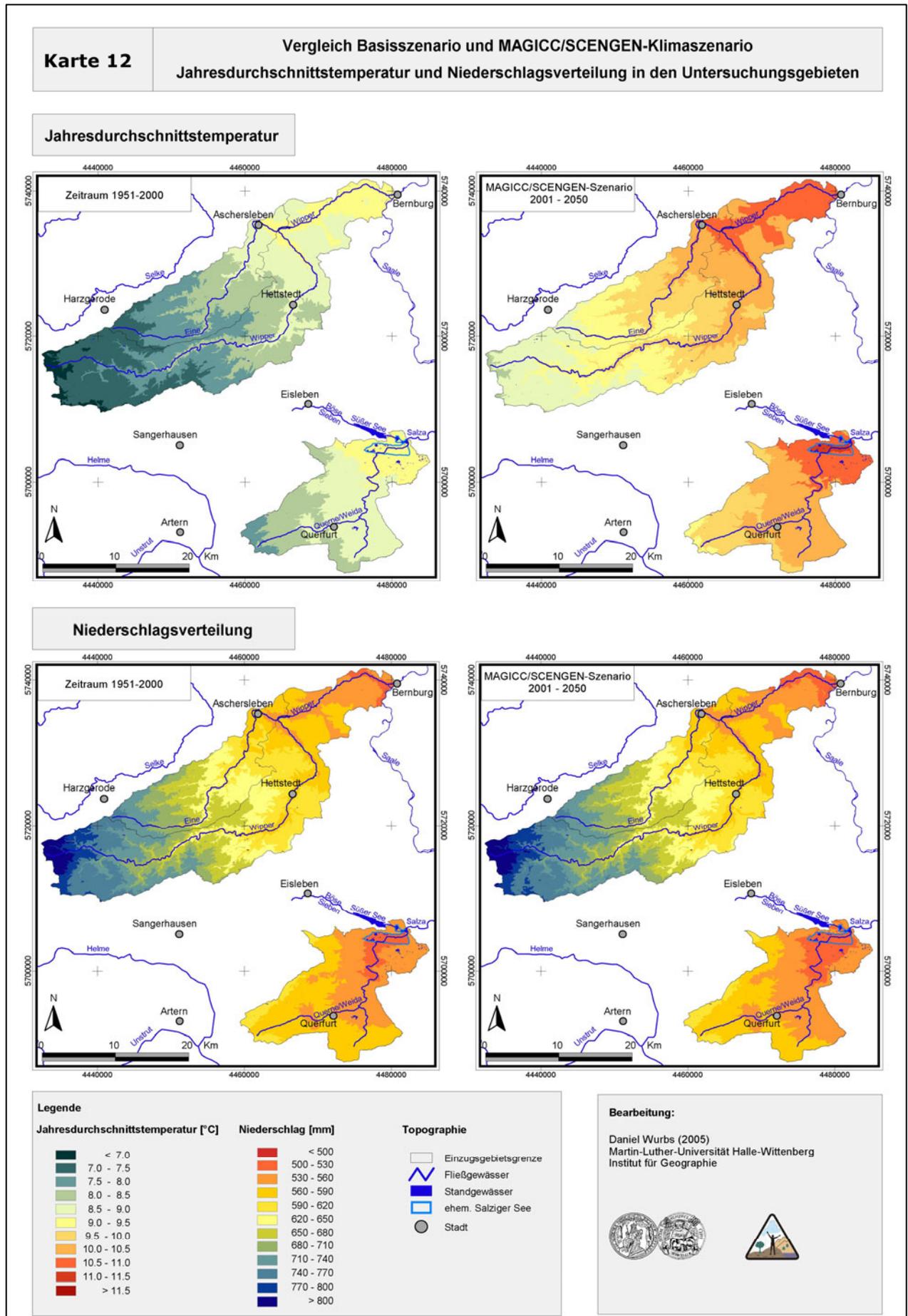
Karte 10: Vergleich Basisszenario und Trendszenario – Jahresdurchschnittstemperatur und Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsgebieten



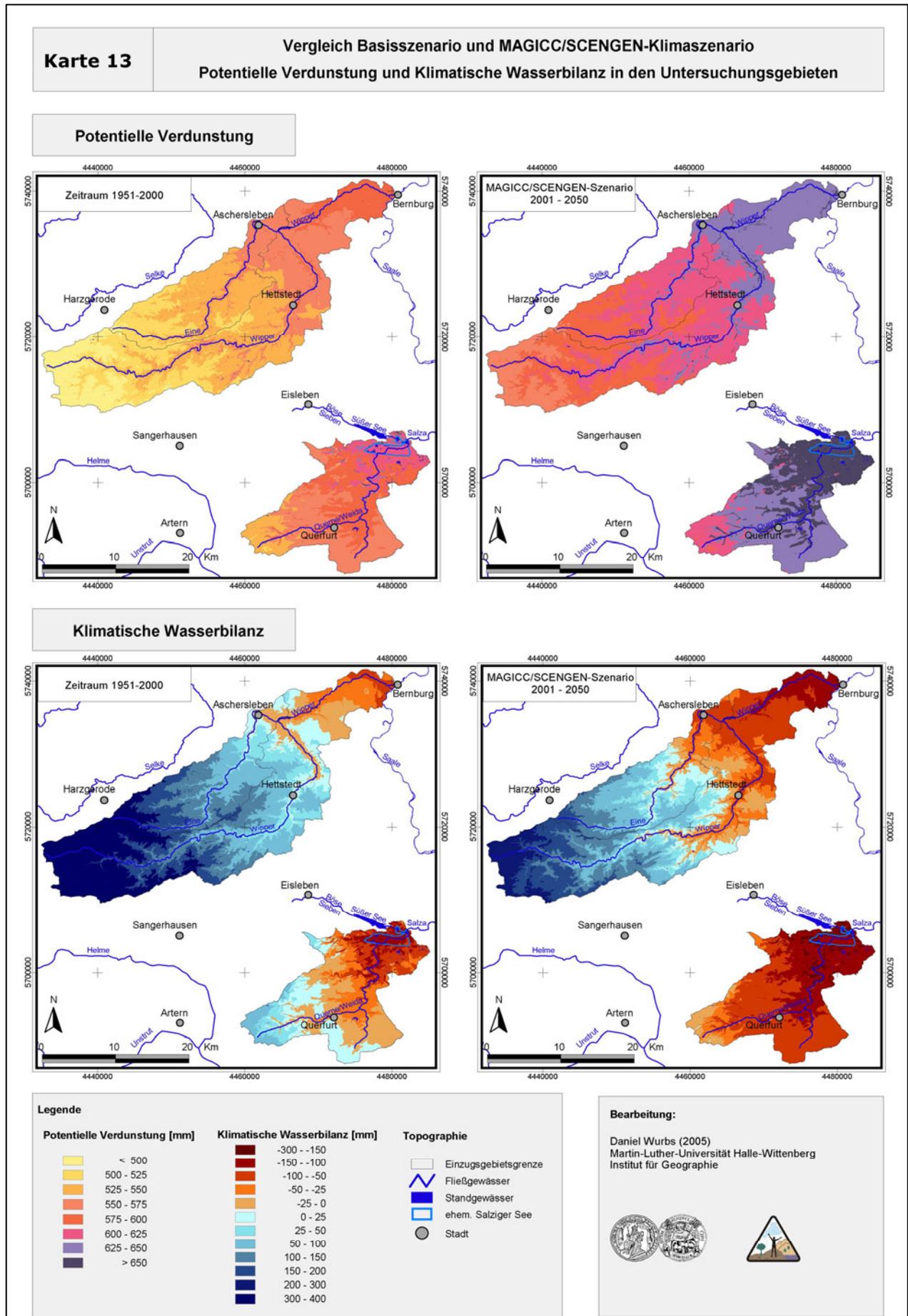
Karte 11: Vergleich Basisszenario und Trendszenario – Potentielle Evapotranspiration und Klimatische Wasserbilanz in den Untersuchungsgebieten



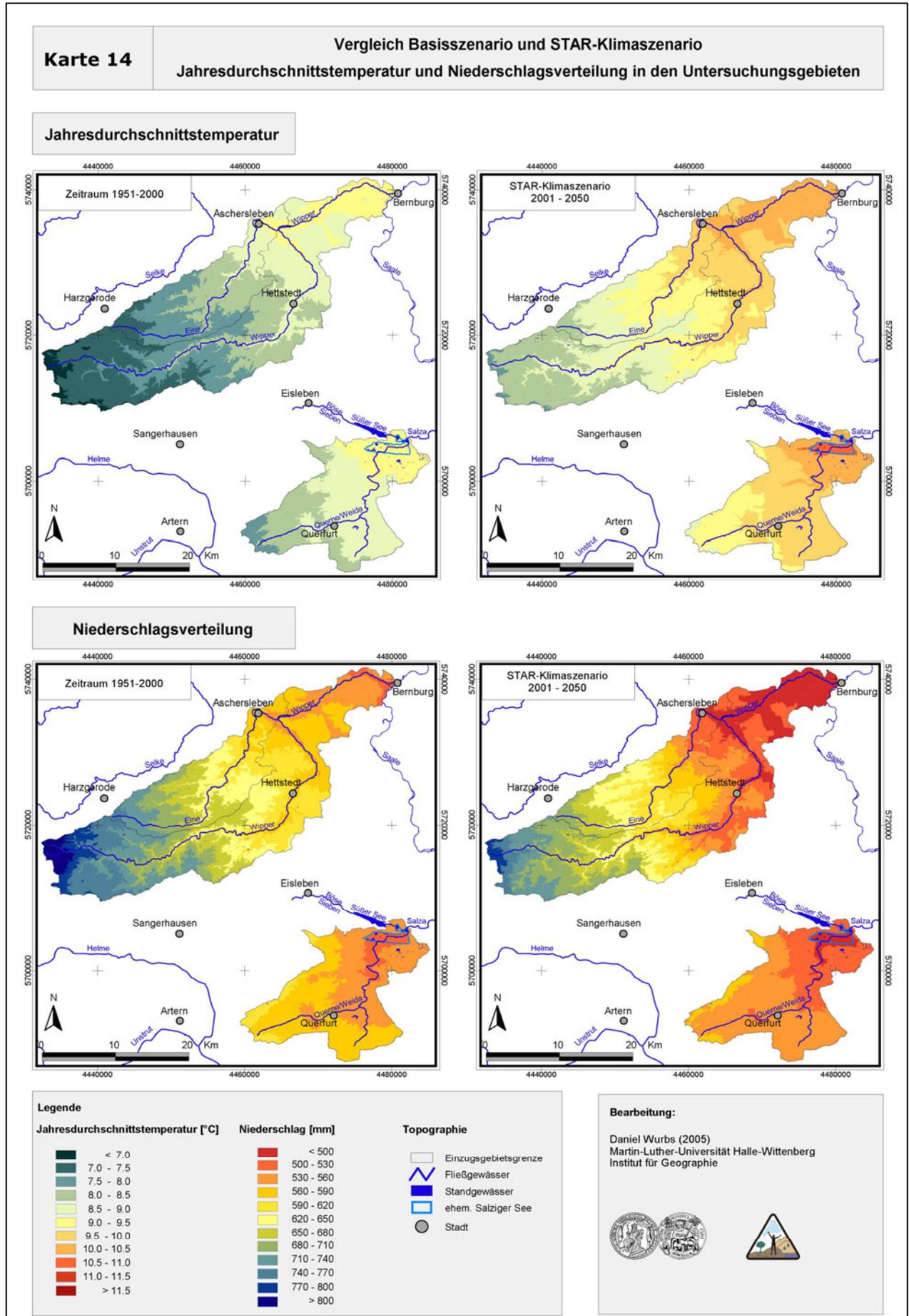
Karte 12: Vergleich Basisszenario und MAGICC/SCENGEN-Klimaszenario – Jahresdurchschnittstemperatur und Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsgebieten



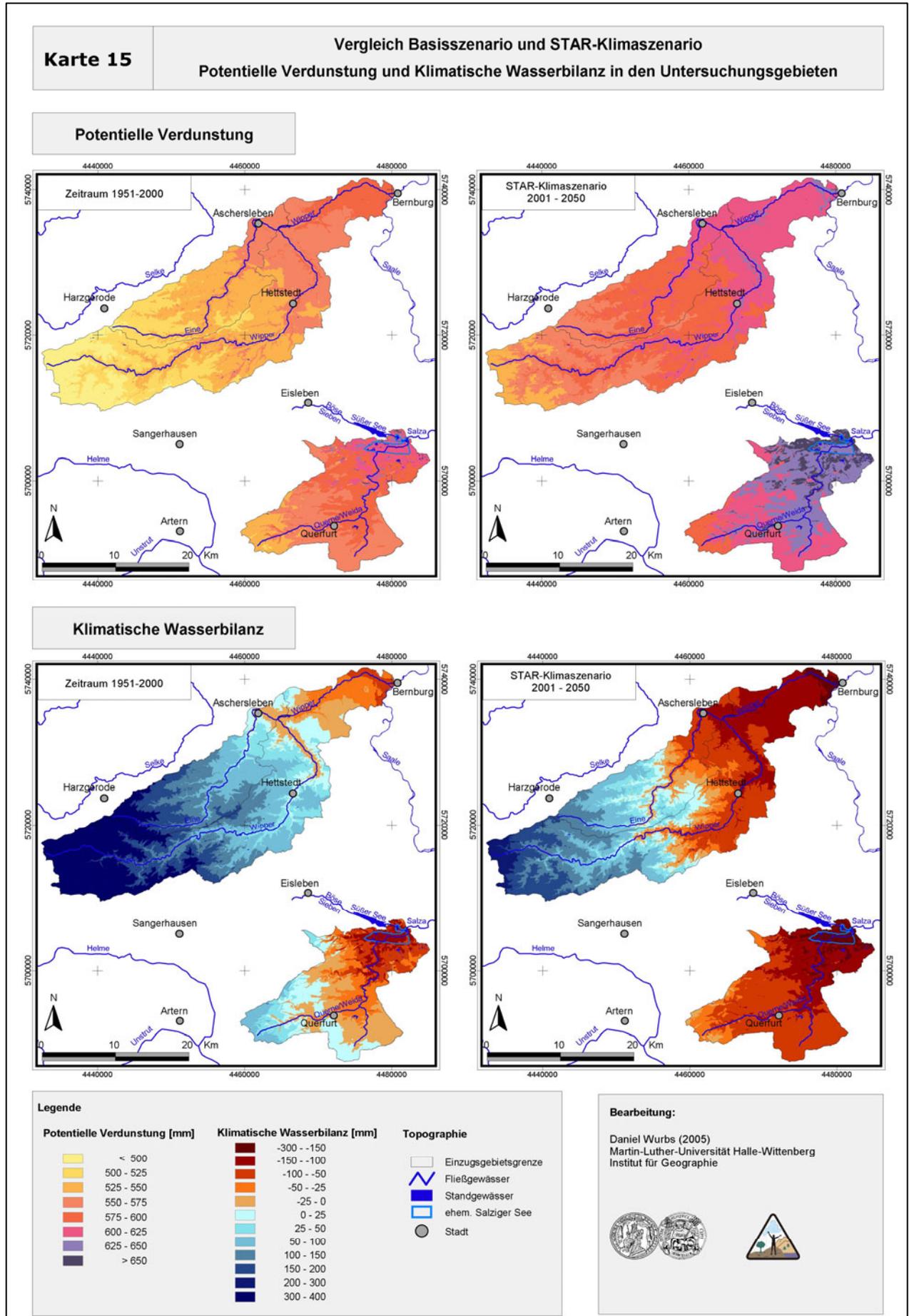
Karte 13: Vergleich Basisszenario und MAGICC/SCENGEN-Klimaszenario – Potentielle Evapotranspiration und Klimatische Wasserbilanz in den Untersuchungsgebieten



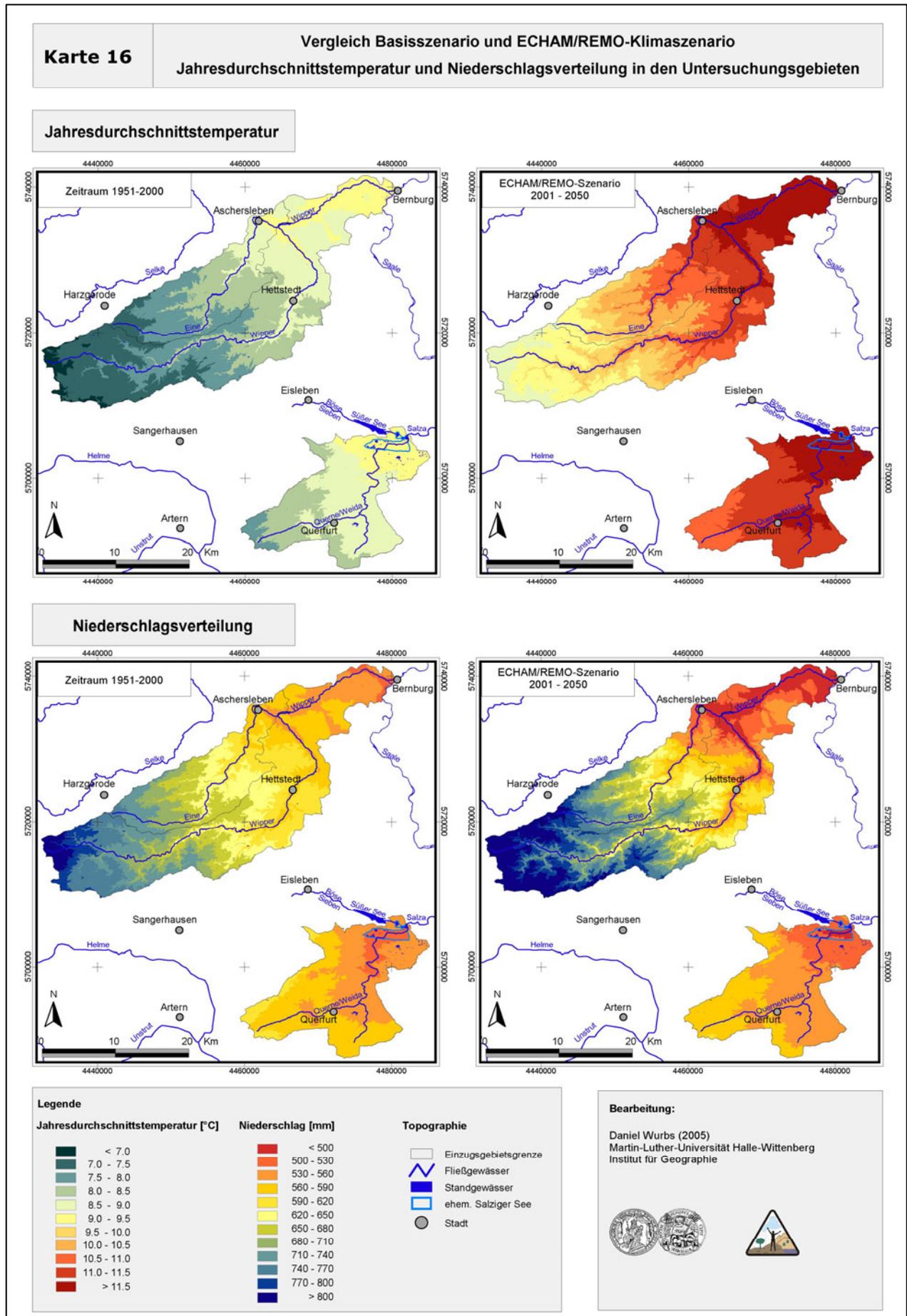
Karte 14: Vergleich Basisszenario und STAR-Klimaszenario – Jahresdurchschnittstemperatur und Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsgebieten



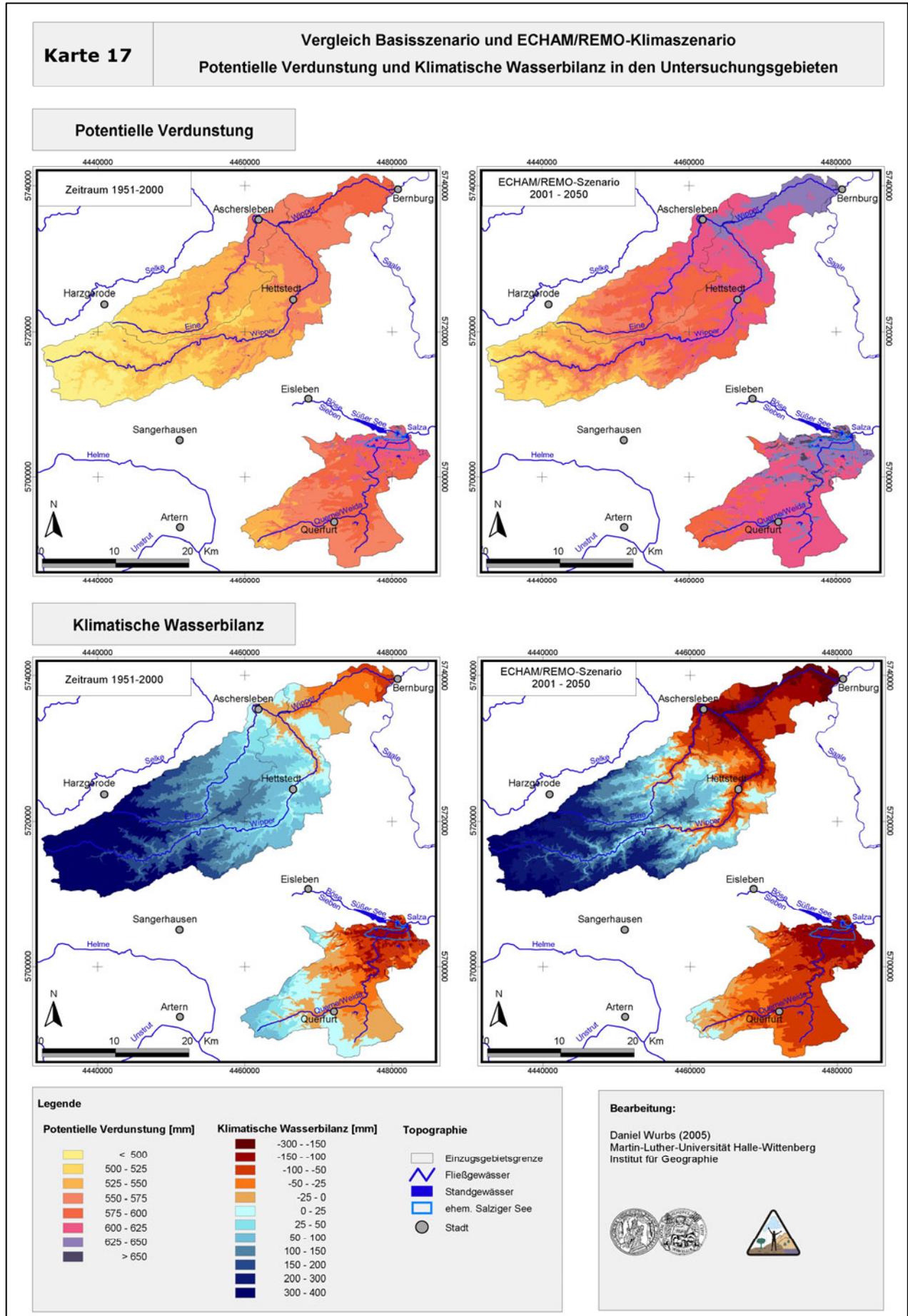
Karte 15: Vergleich Basisszenario und STAR-Klimaszenario – Potentielle Evapotranspiration und Klimatische Wasserbilanz in den Untersuchungsgebieten



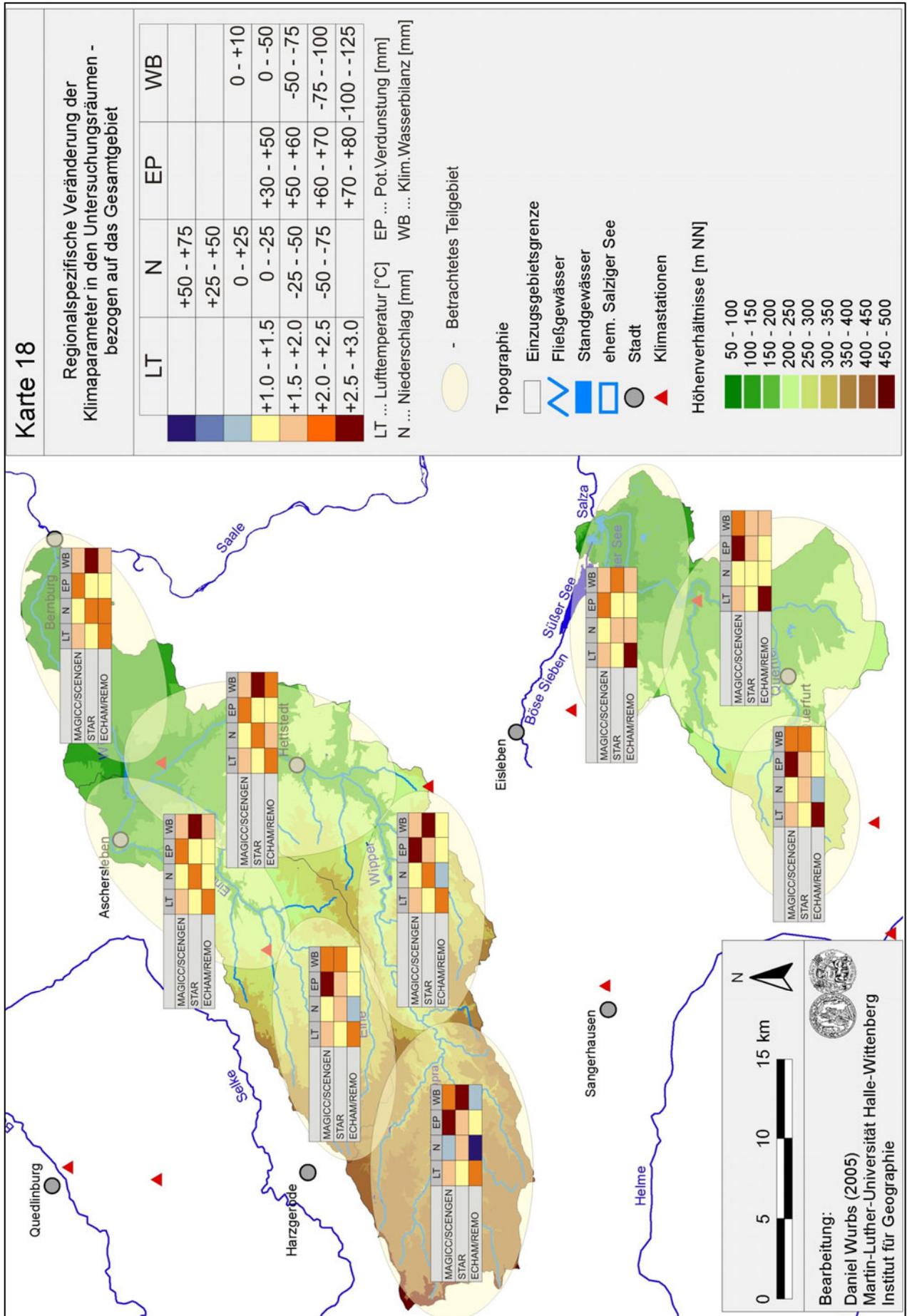
Karte 16: Vergleich Basisszenario und ECHAM/REMO-Klimaszenario – Jahresdurchschnittstemperatur und Niederschlagsverteilung in den Untersuchungsgebieten



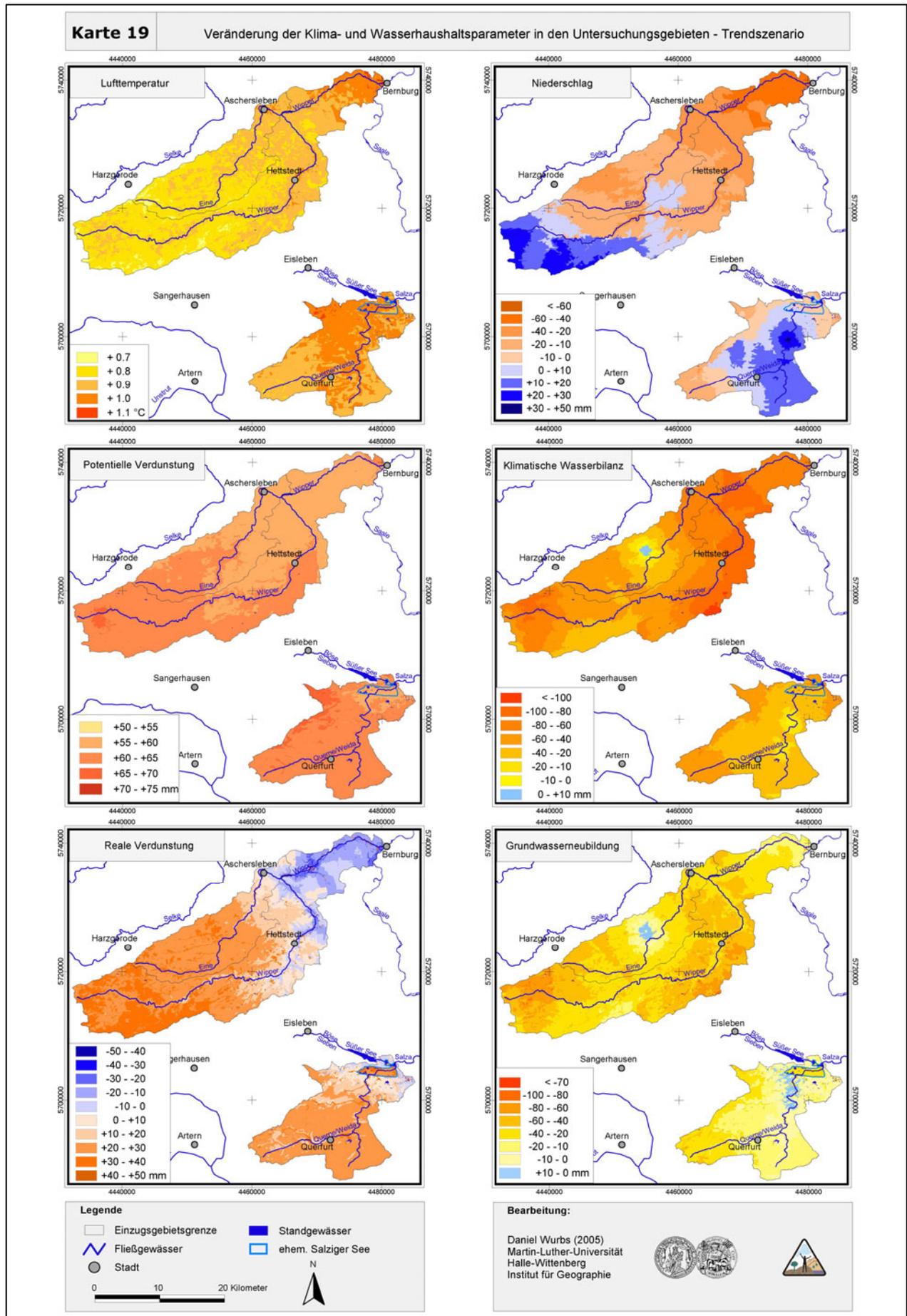
Karte 17: Vergleich Basisszenario und ECHAM/REMO-Klimaszenario – Potentielle Evapotranspiration und Klimatische Wasserbilanz in den Untersuchungsgebieten



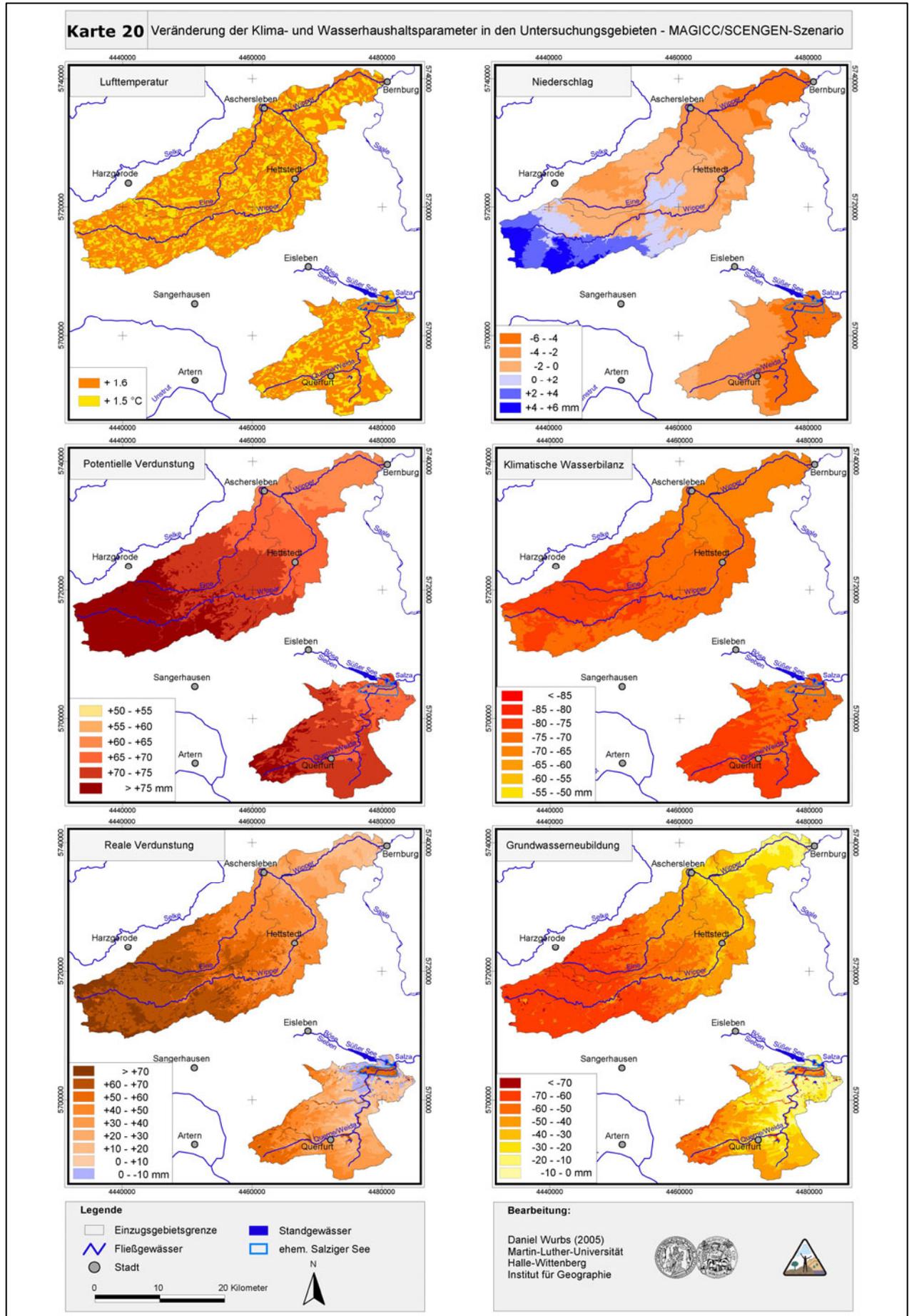
Karte 18: Regionalspezifische Veränderung der Klimaparameter in den Untersuchungsräumen



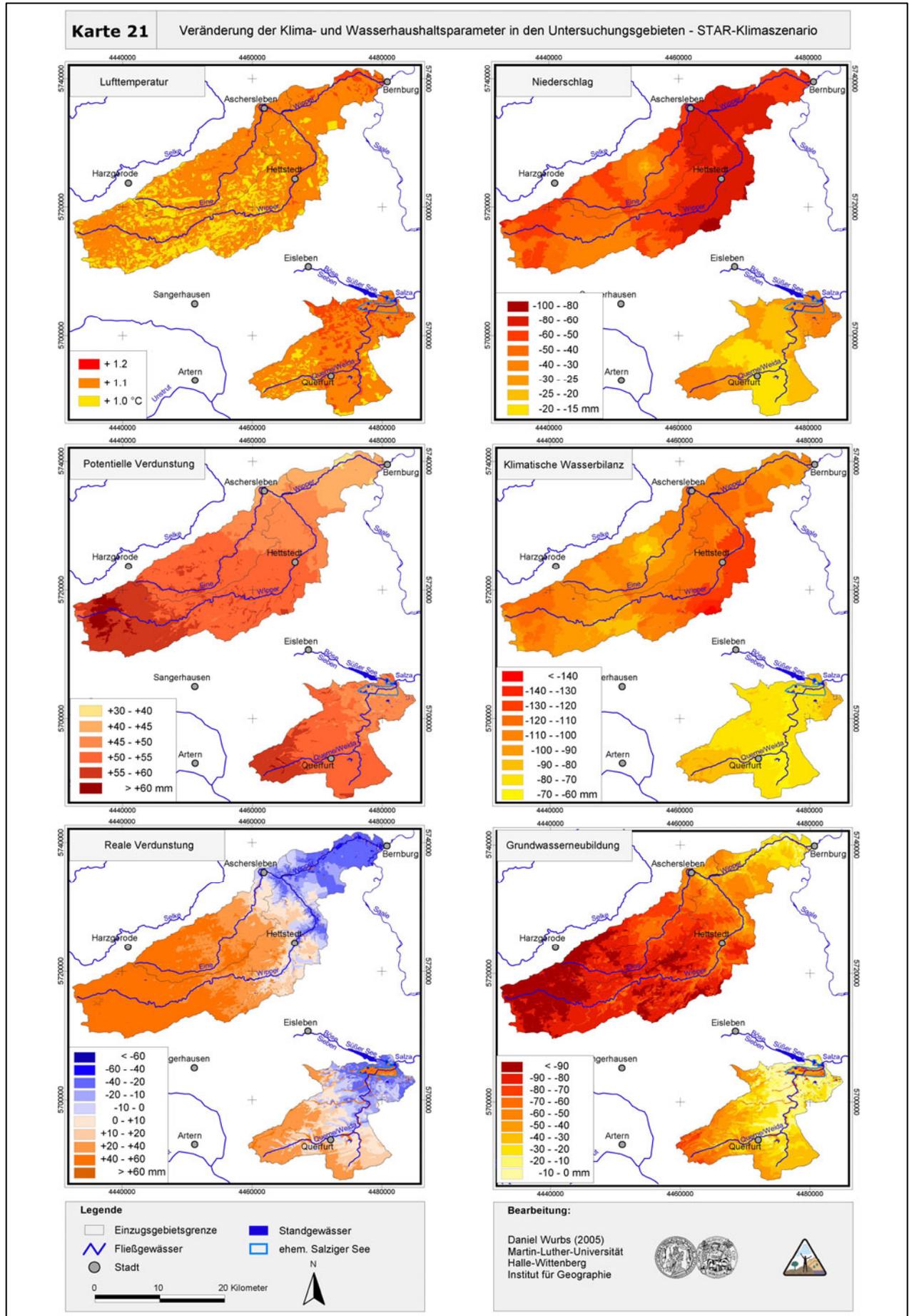
Karte 19: Veränderung der Klima- und Wasserhaushaltsparameter in den Untersuchungsgebieten – Trendszenario



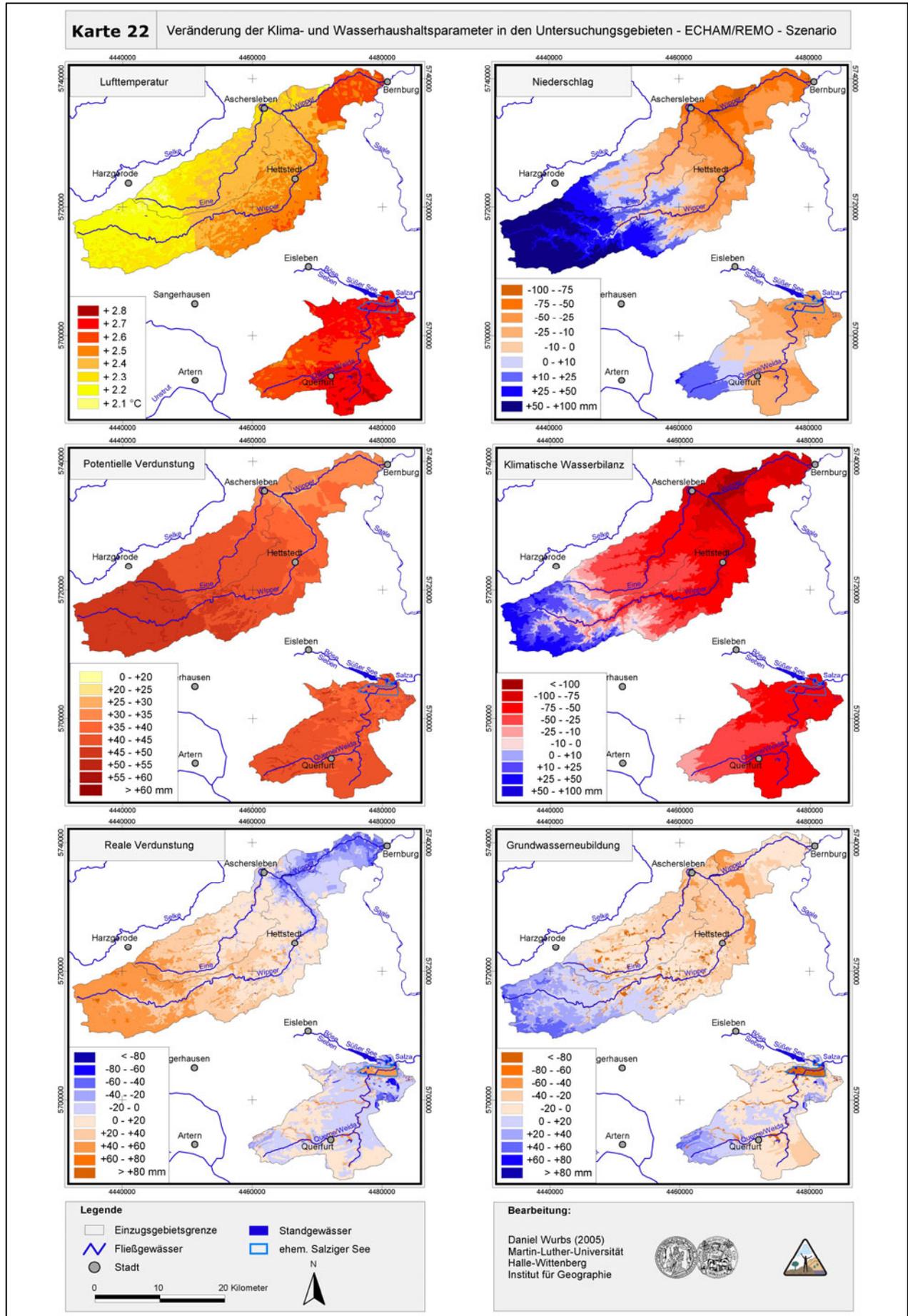
Karte 20: Veränderung der Klima- und Wasserhaushaltsparameter in den Untersuchungsgebieten - MAGICC/SCENGEN-Szenario



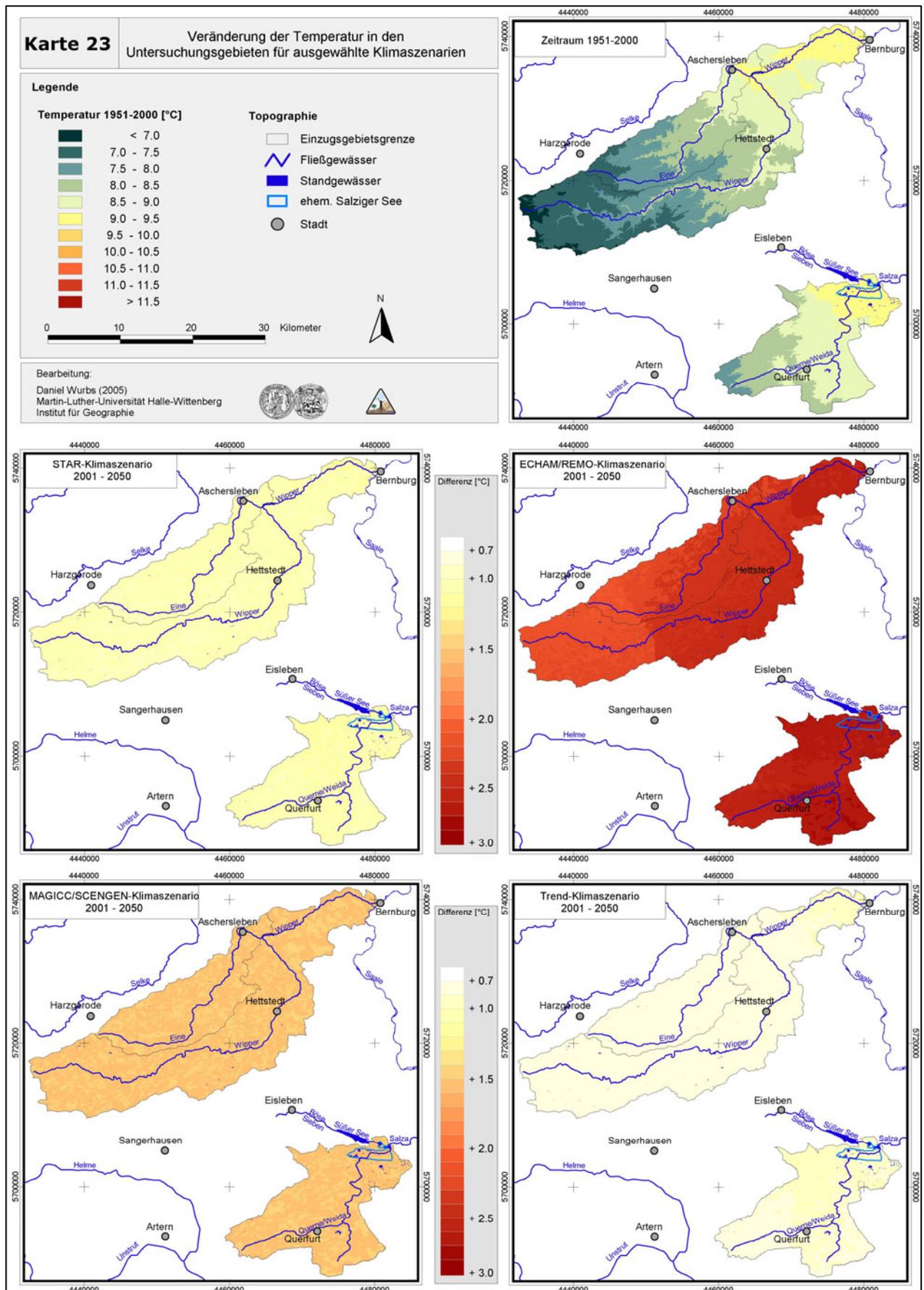
Karte 21: Veränderung der Klima- und Wasserhaushaltsparameter in den Untersuchungsgebieten - STAR-Klimaszenario



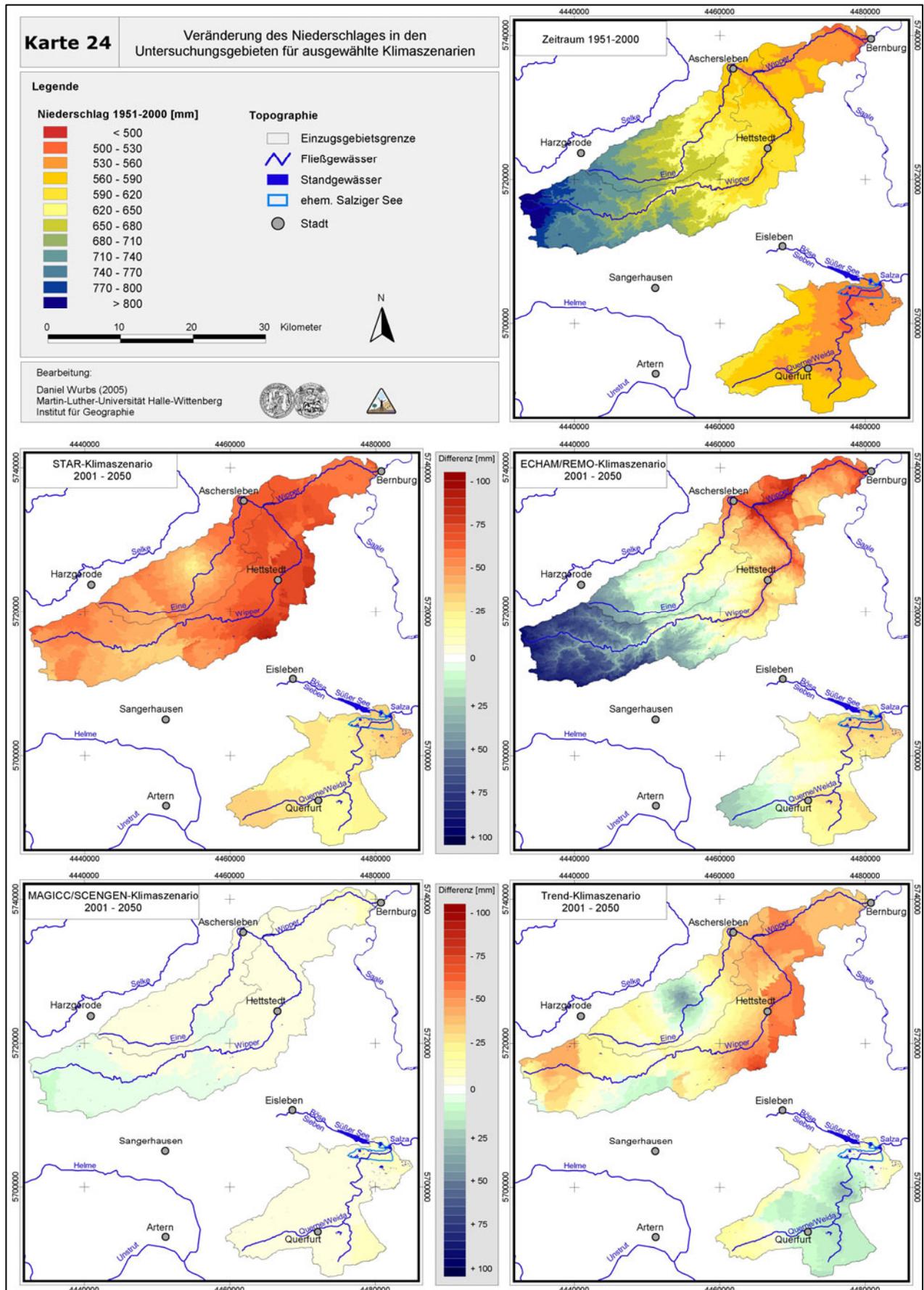
Karte 22: Veränderung der Klima- und Wasserhaushaltsparameter in den Untersuchungsgebieten - ECHAM/REMO-Szenario



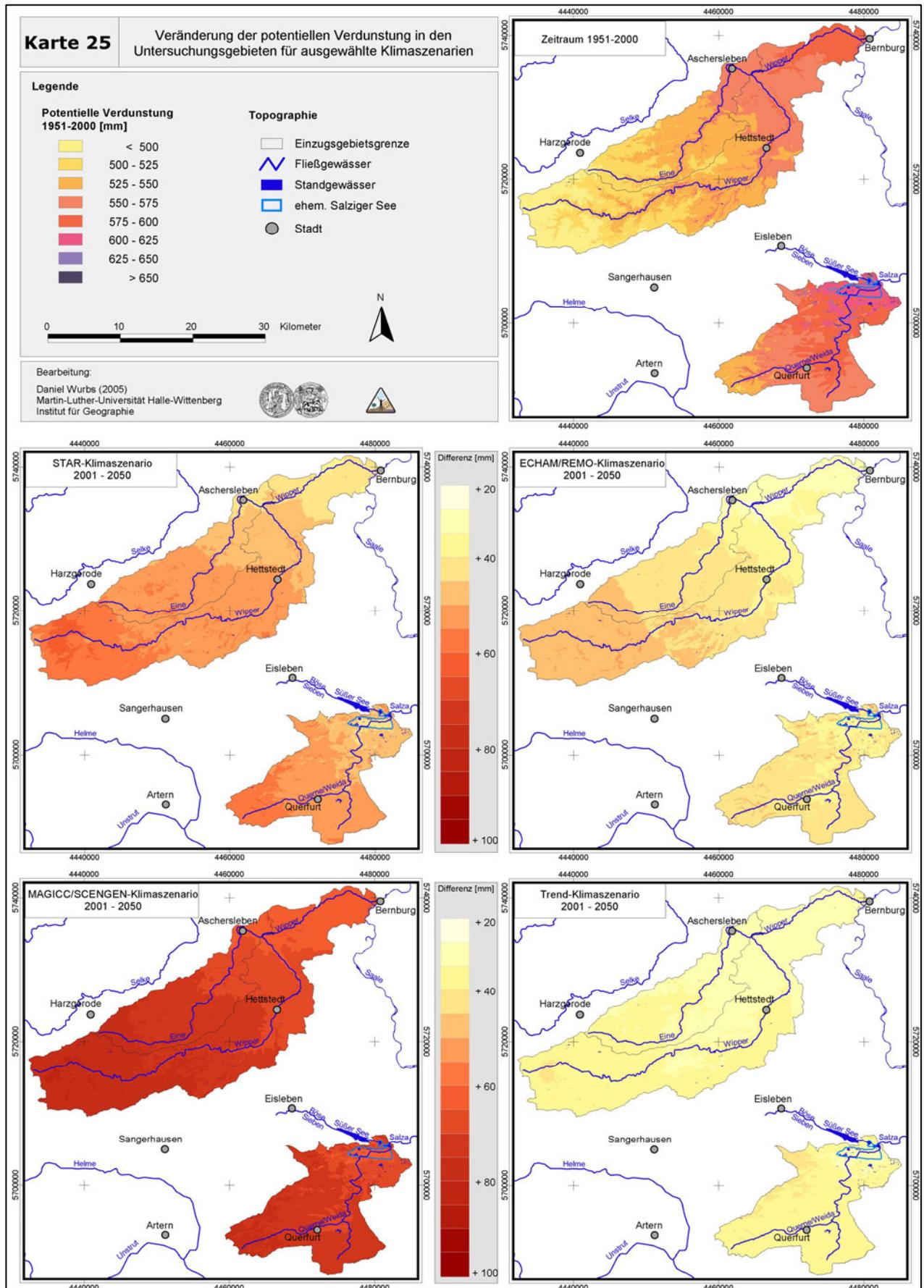
Karte 23: Veränderung der Temperatur in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien



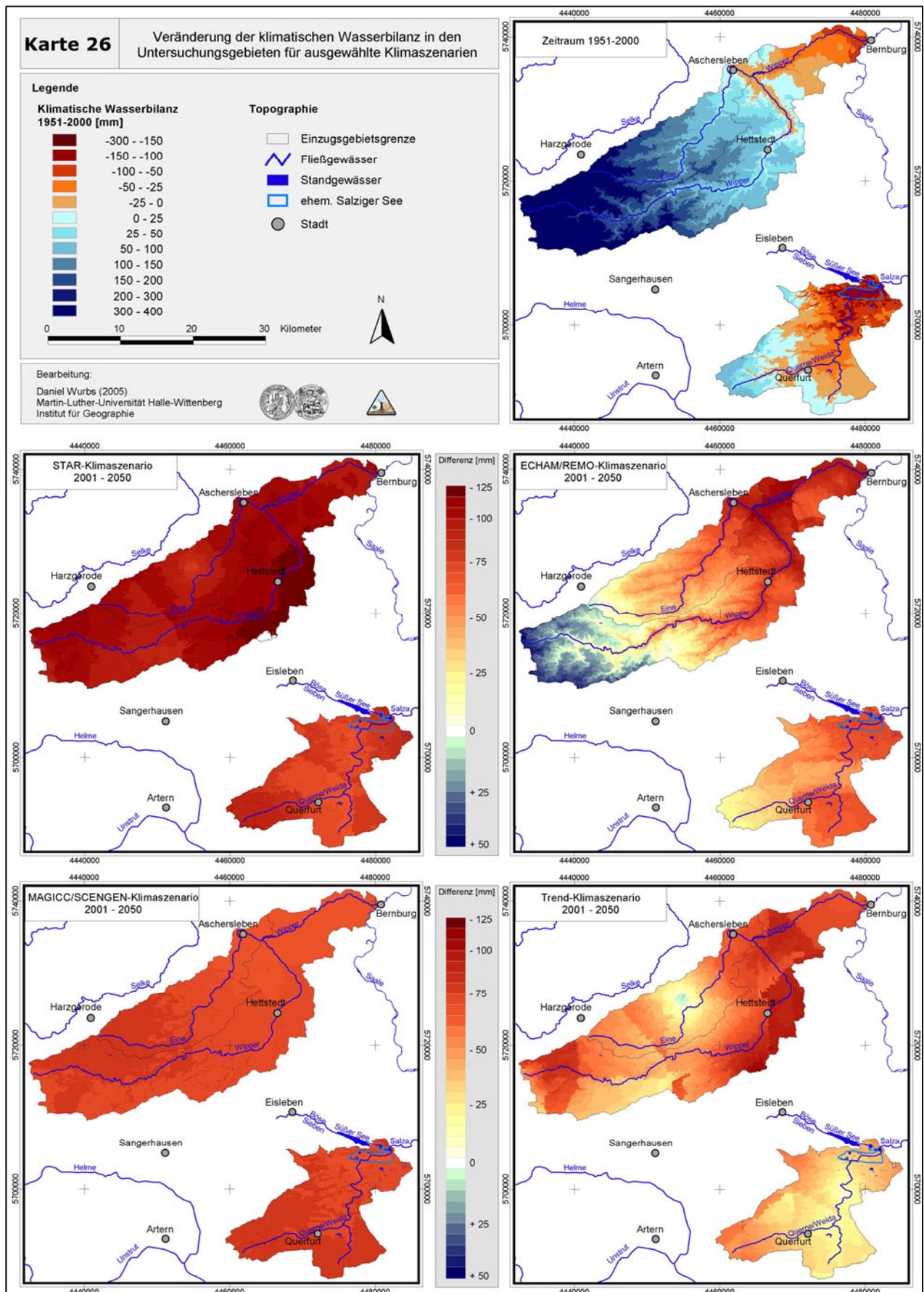
Karte 24: Veränderung des Niederschlages in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien



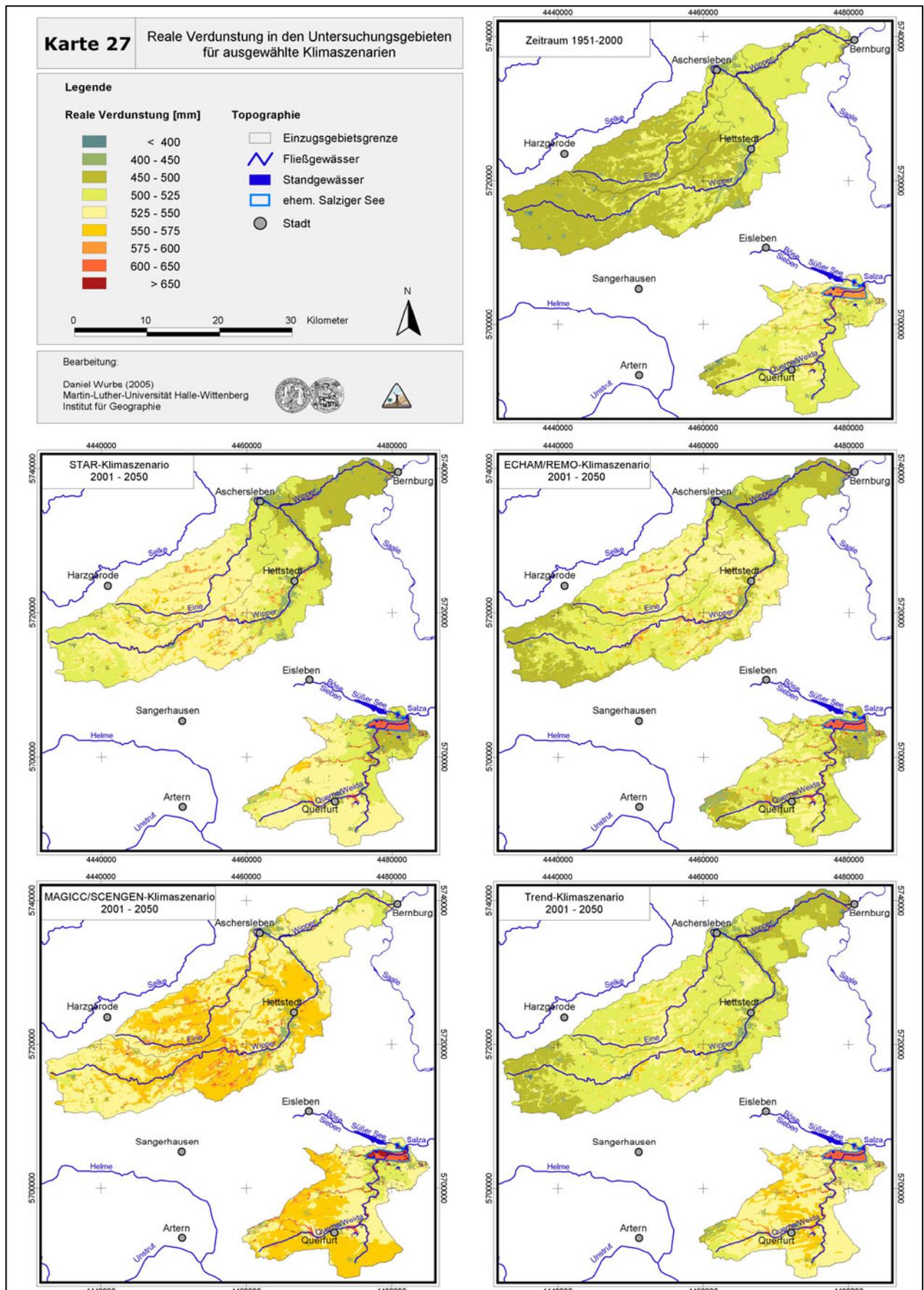
Karte 25: Veränderung der Potentiellen Verdunstung in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien



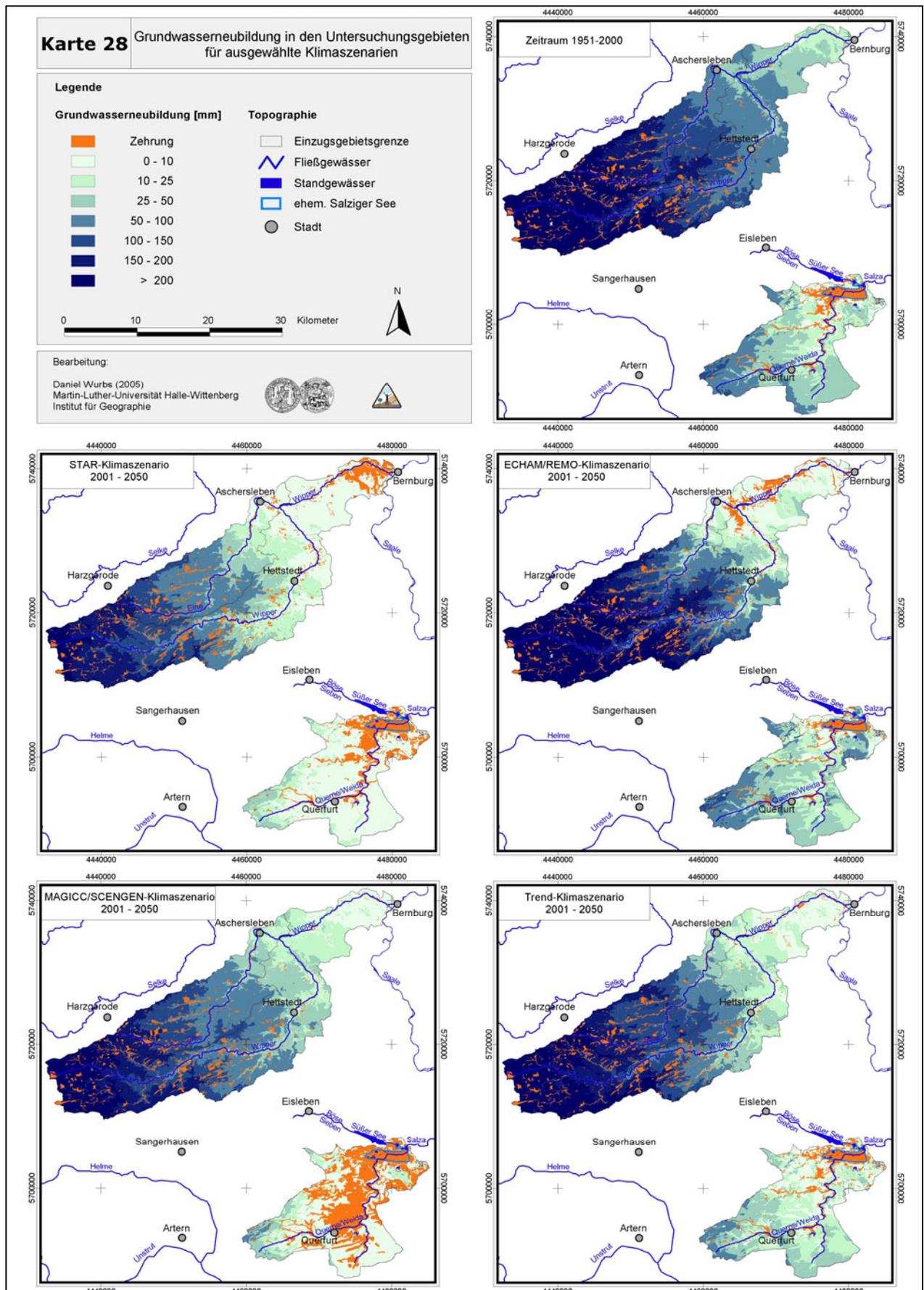
Karte 26: Veränderung der Klimatischen Wasserbilanz in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien



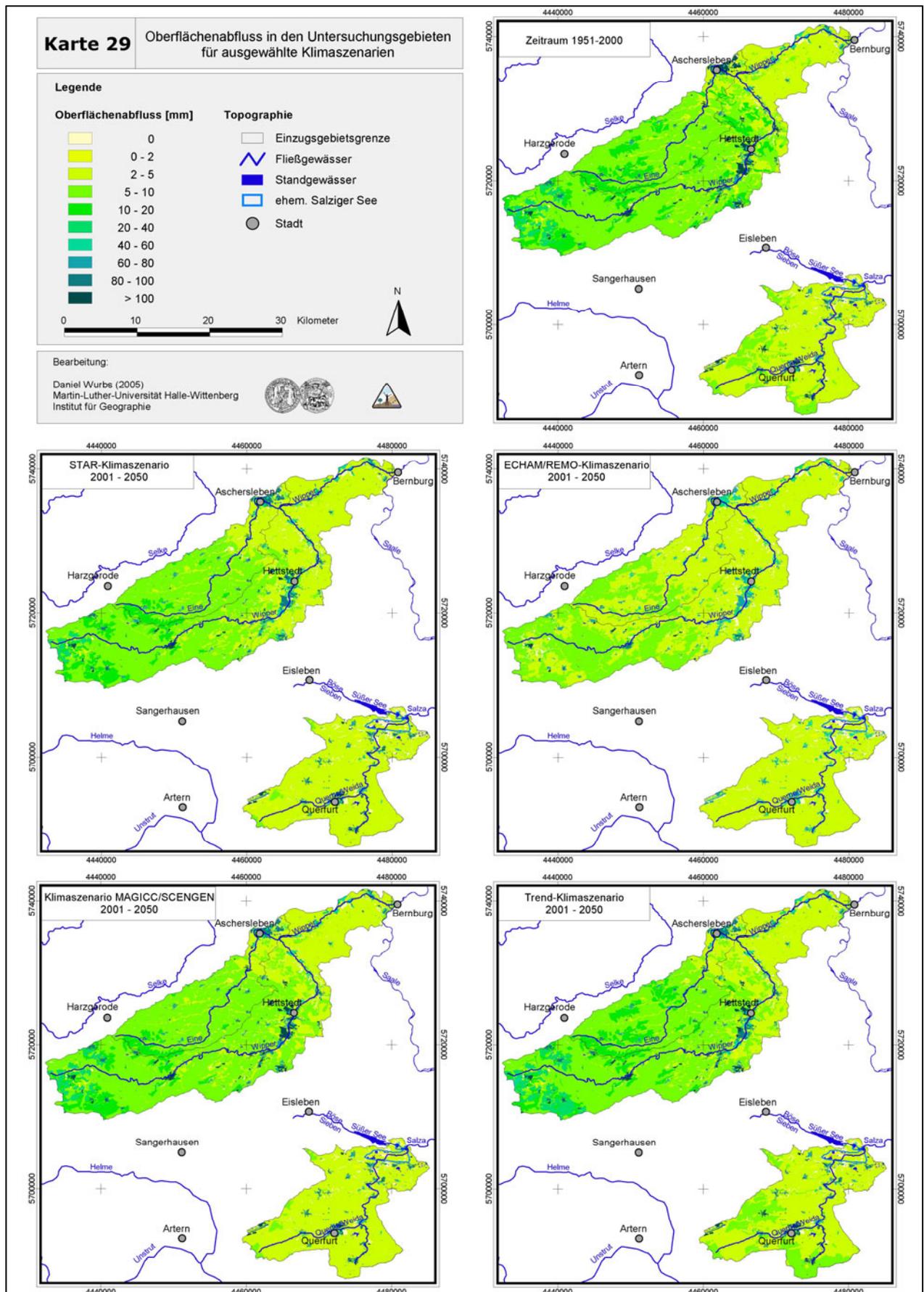
Karte 27: Reale Verdunstung in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien



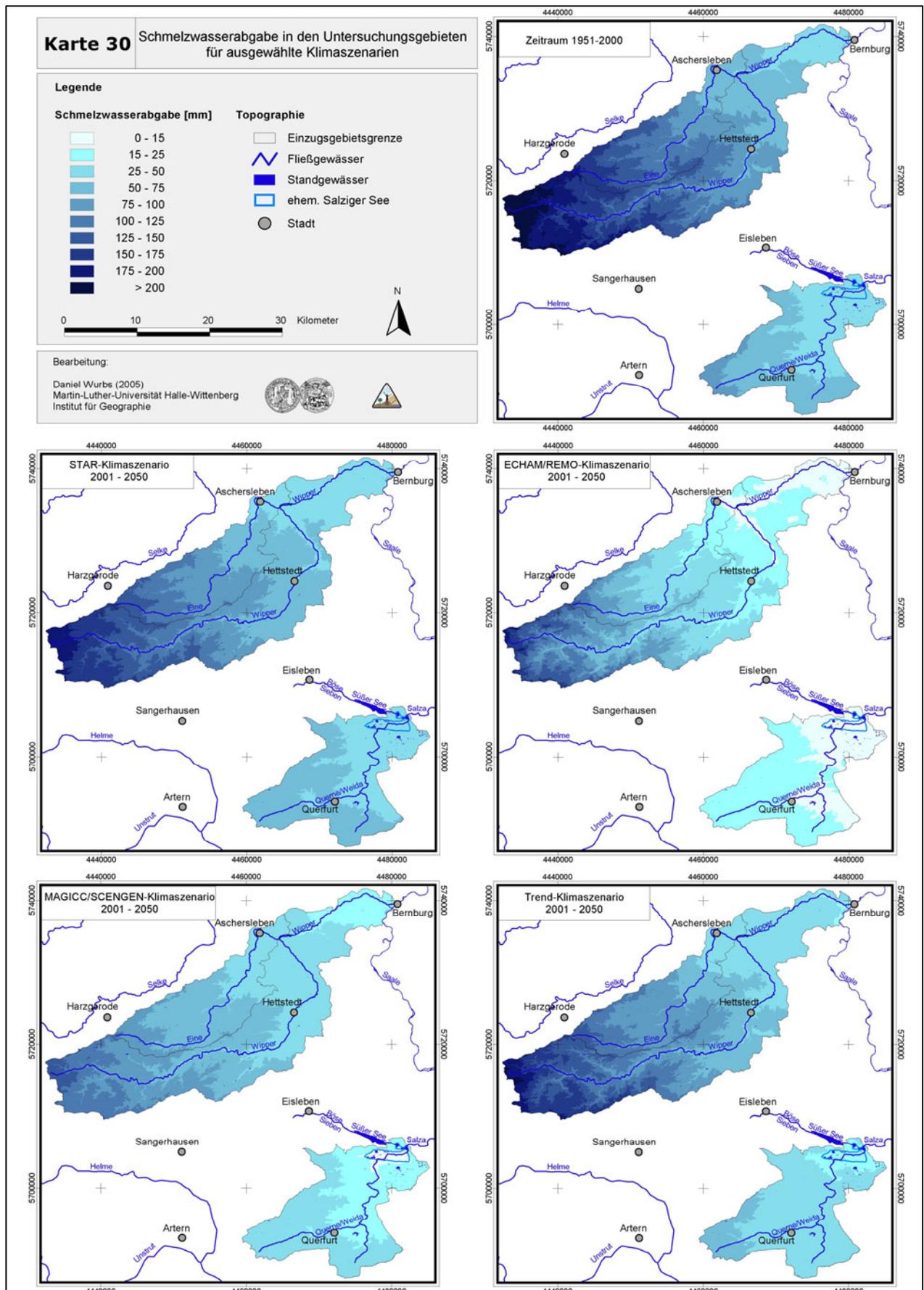
Karte 28: Grundwasserneubildung in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien



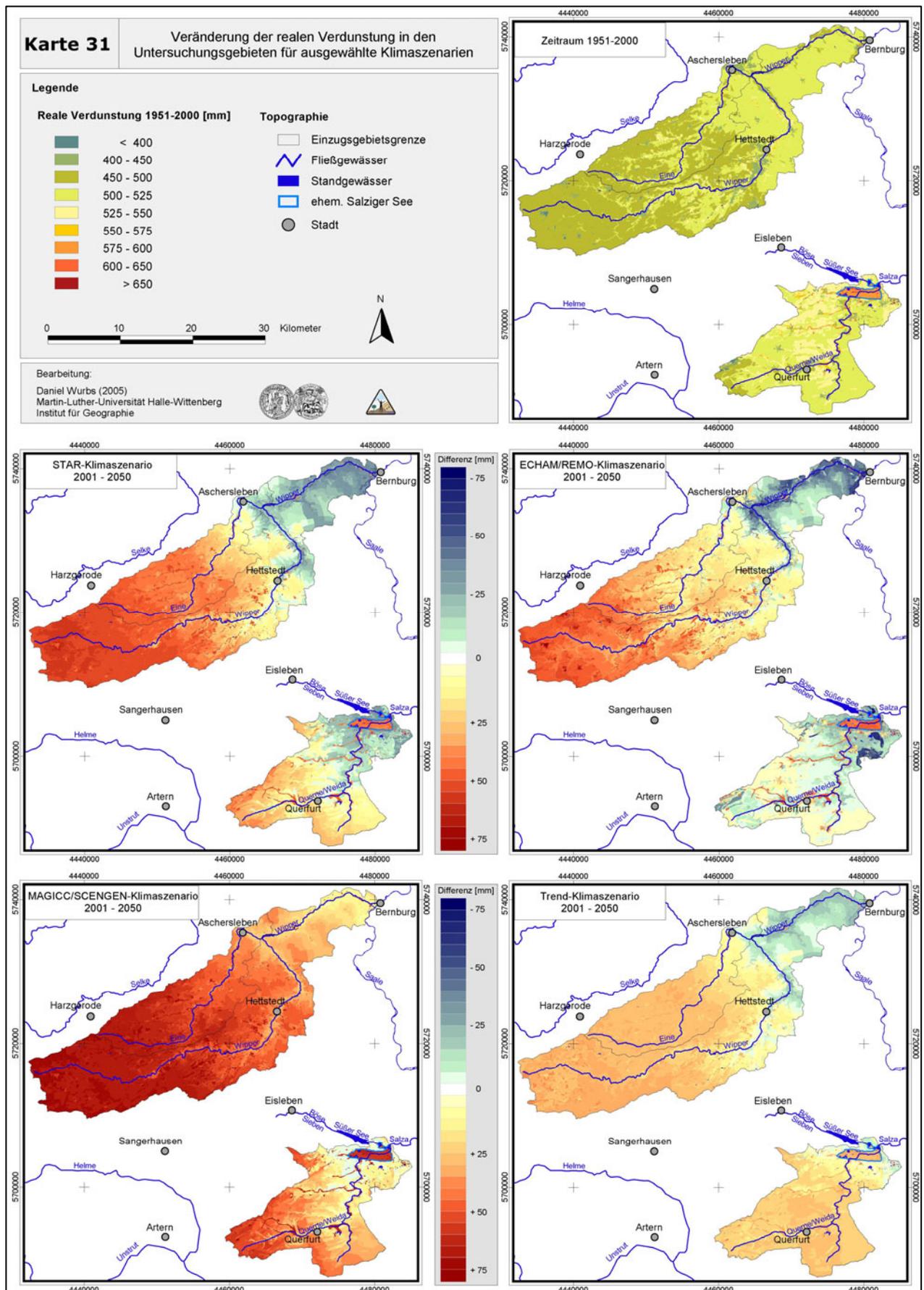
Karte 29: Oberflächenabfluss in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien



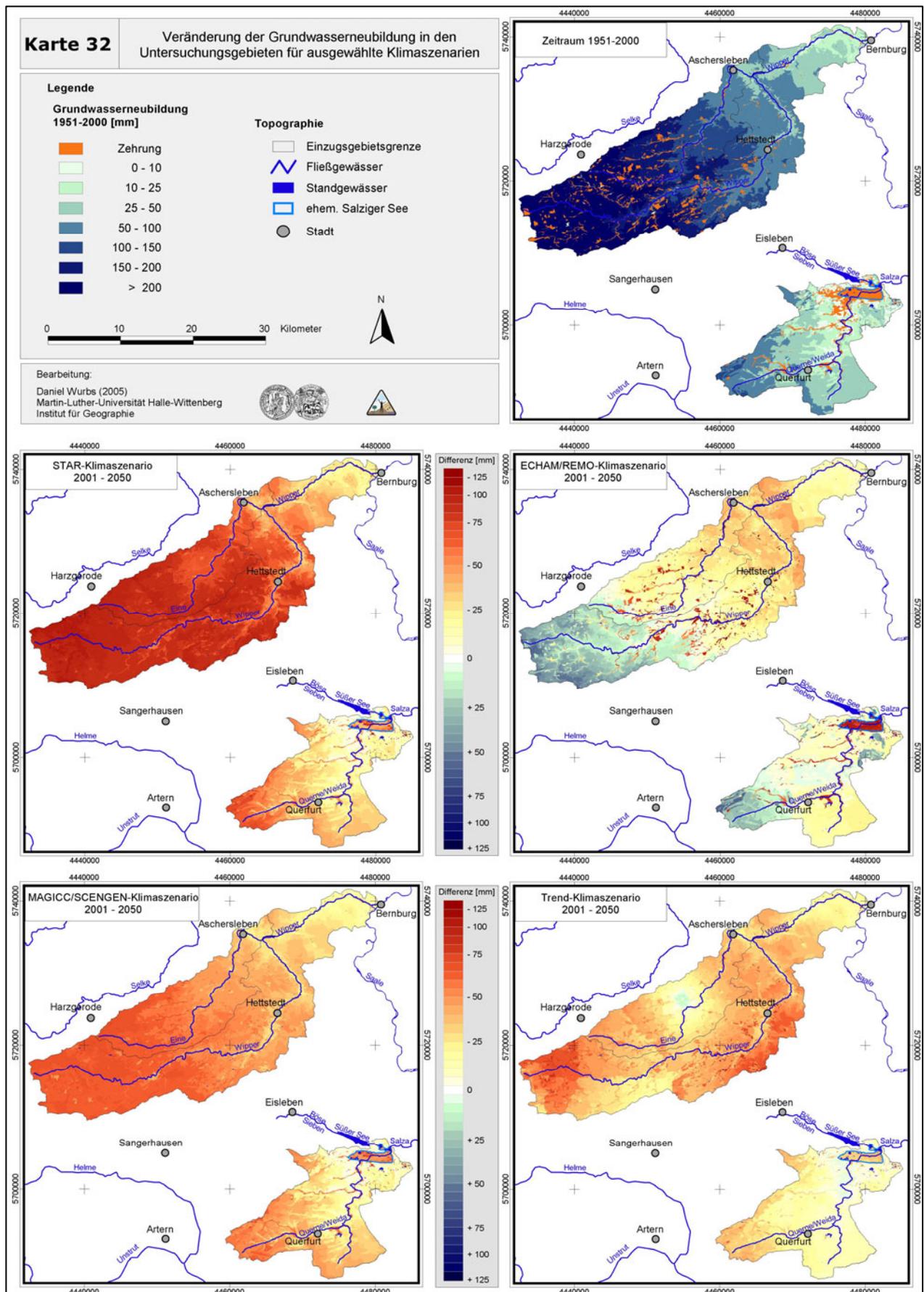
Karte 30: Schmelzwasserabgabe in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien



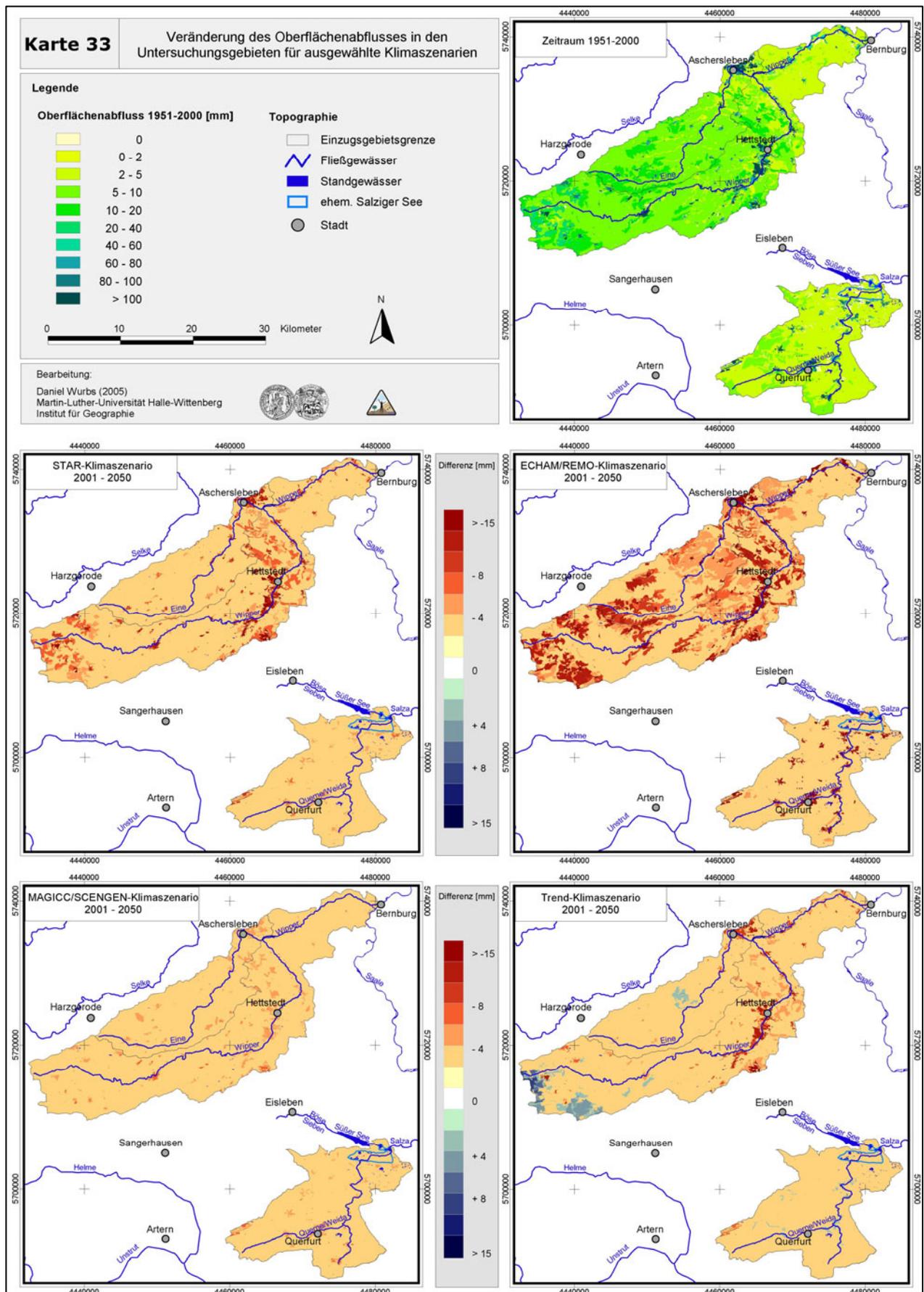
Karte 31: Veränderung der Realen Verdunstung in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien



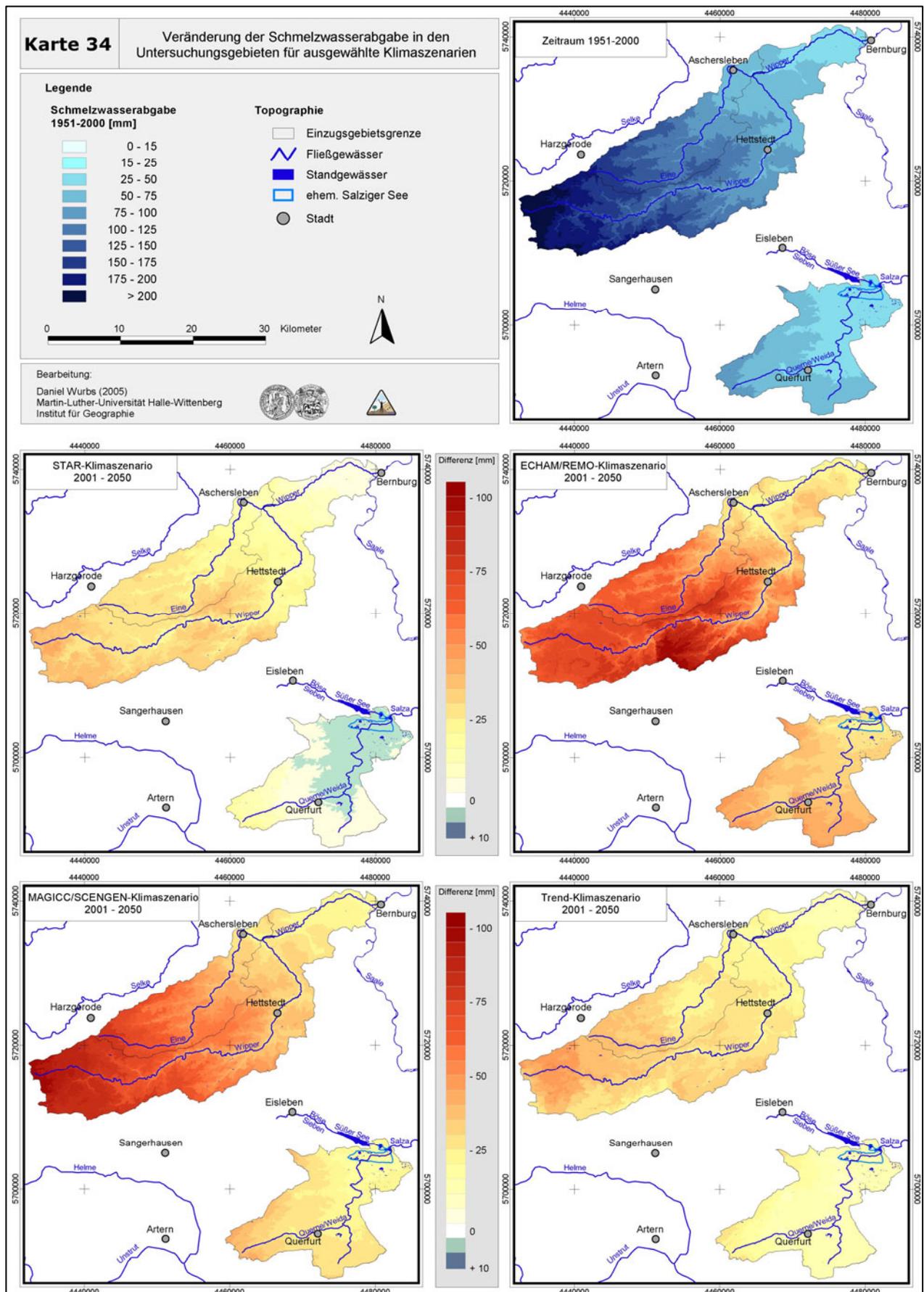
Karte 32: Veränderung der Grundwasserneubildung in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien



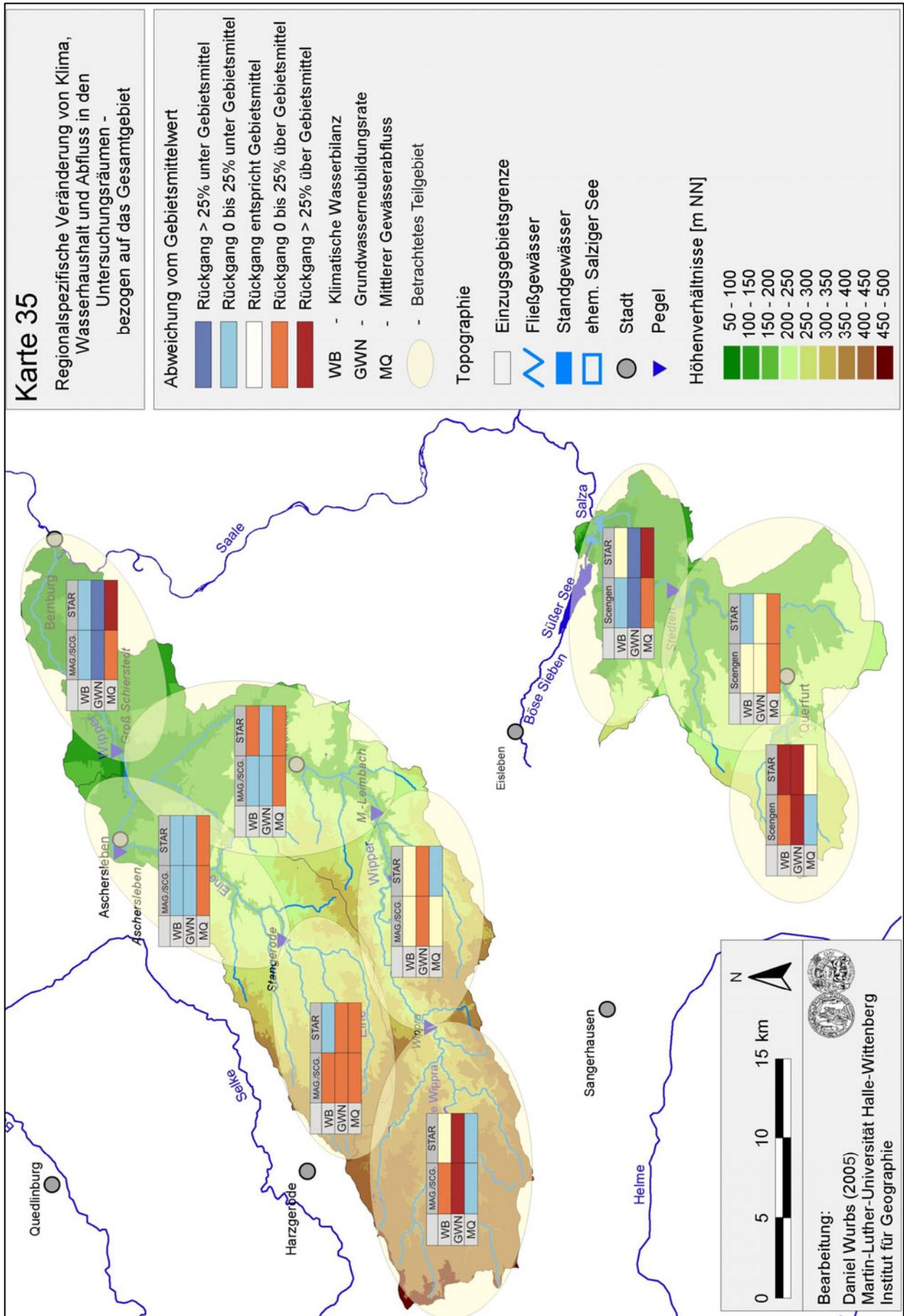
Karte 33: Veränderung des Oberflächenabflusses in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien



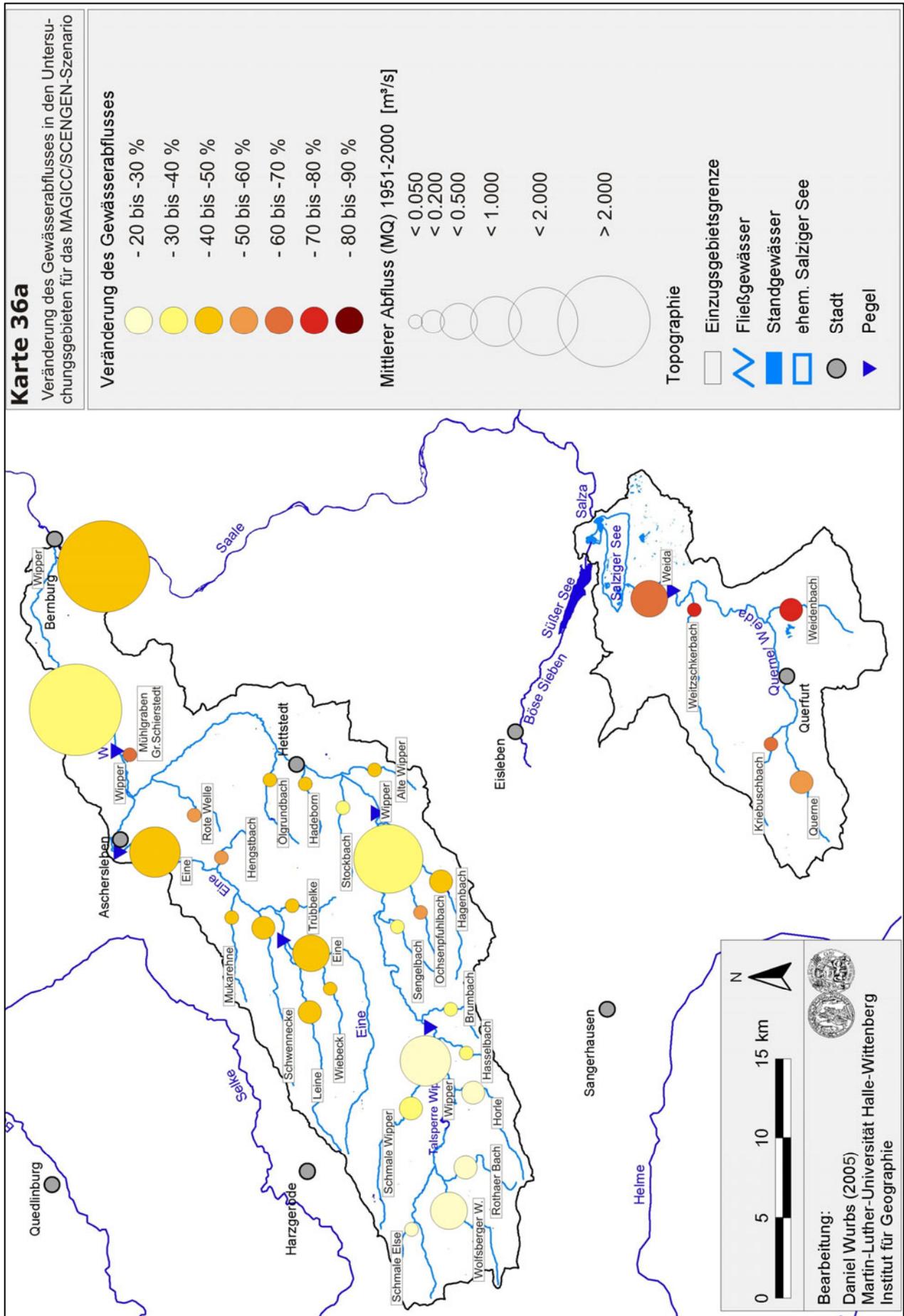
Karte 34: Veränderung der Schmelzwasserabgabe in den Untersuchungsgebieten für ausgewählte Klimaszenarien



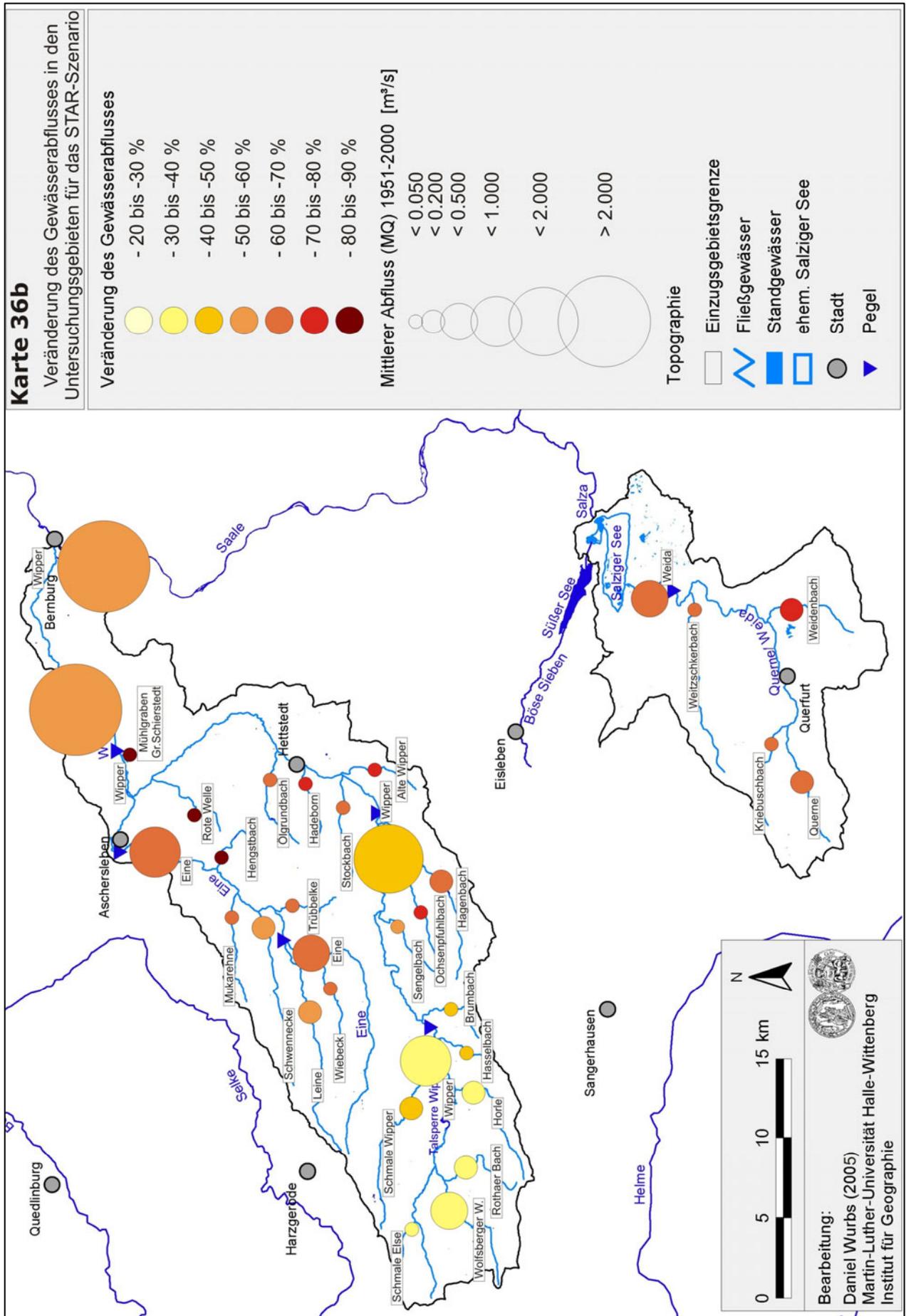
Karte 35: Regionalspezifische Veränderung von Klima, Wasserhaushalt und Abfluss in den Untersuchungsräumen – bezogen auf das Gesamtgebiet



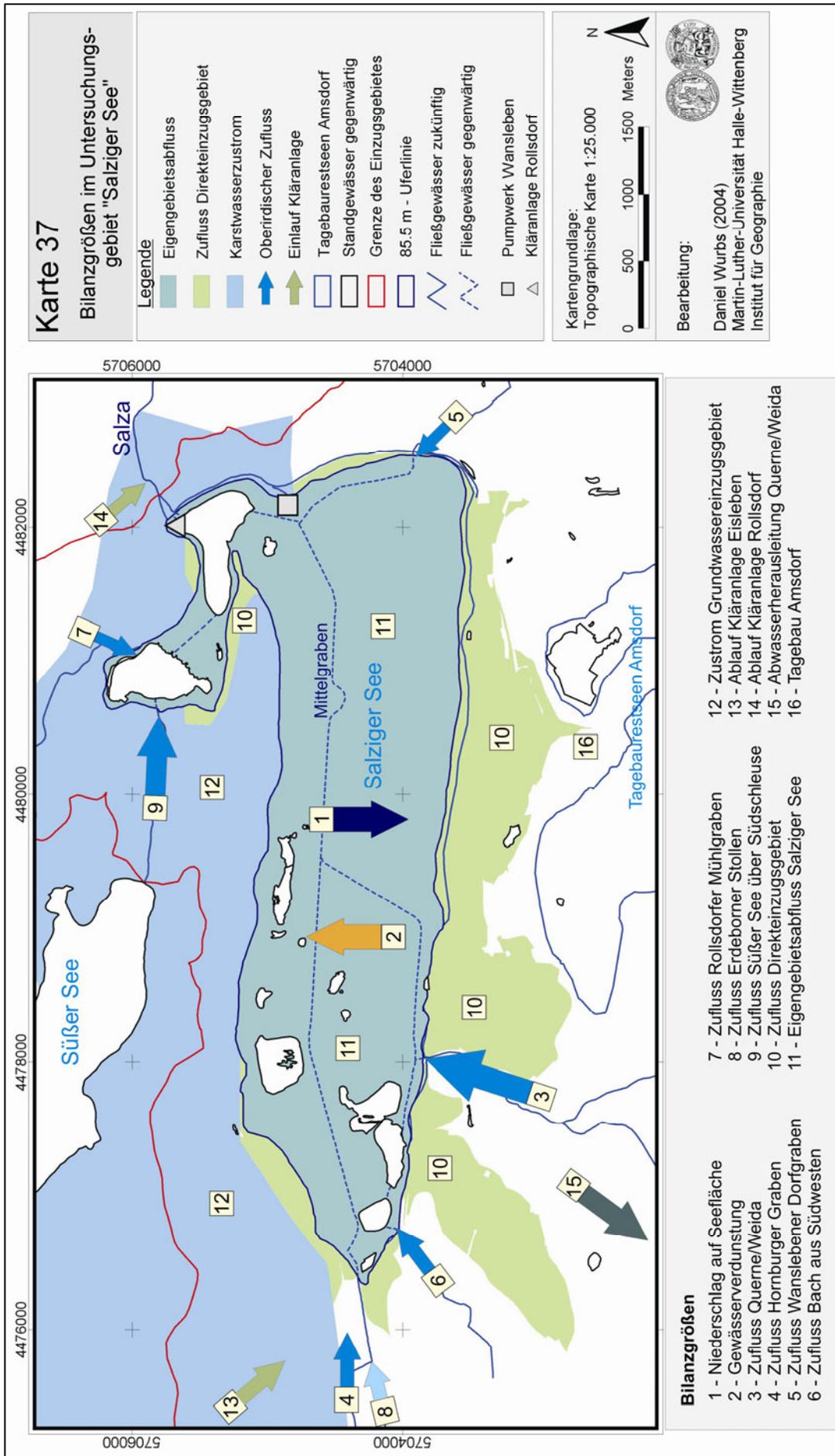
Karte 36a: Veränderung des Gewässerabflusses in den Untersuchungsgebieten für das MAGICC/SCENGEN-Klimaszenario



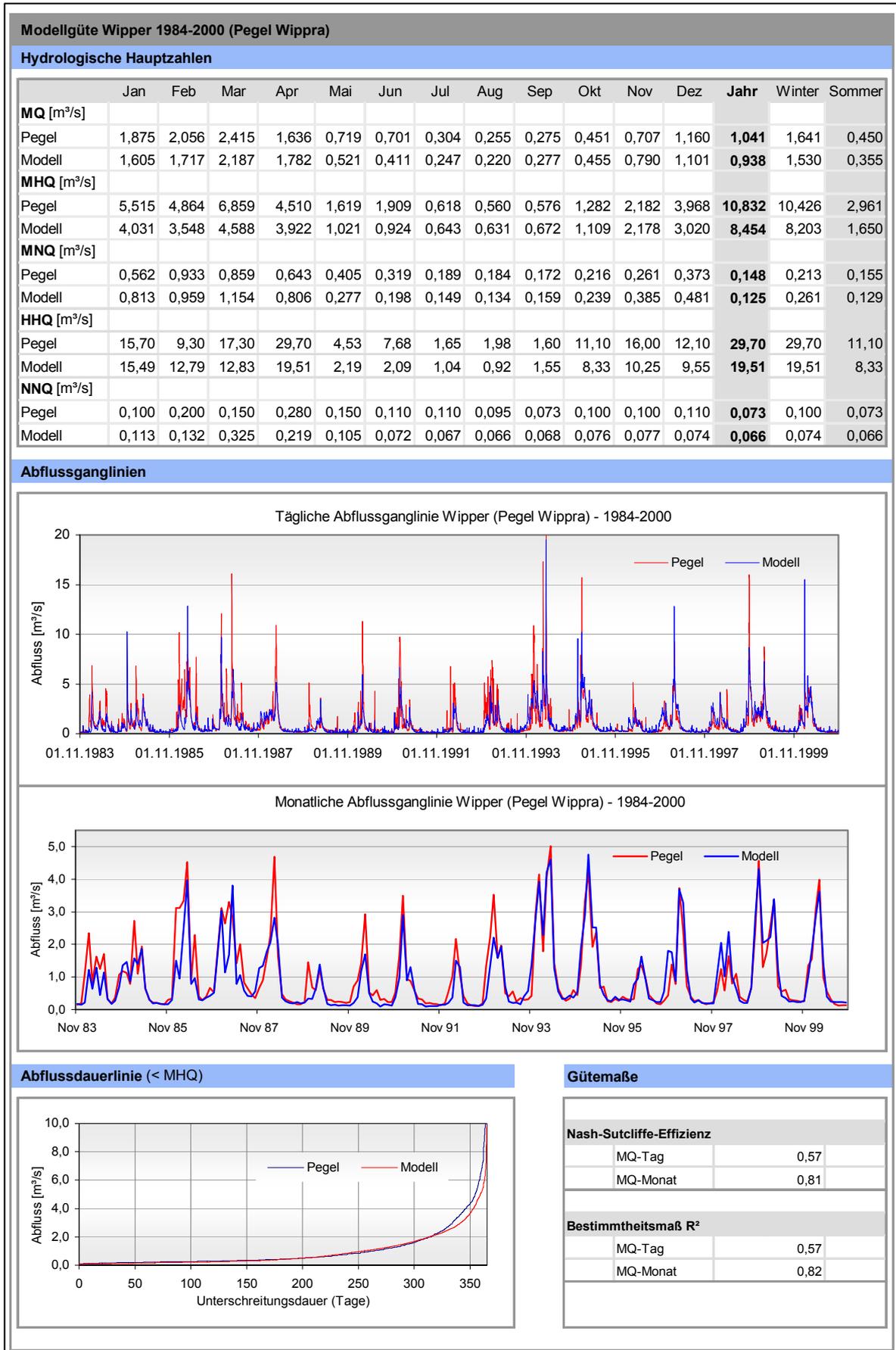
Karte 36b: Veränderung des Gewässerabflusses in den Untersuchungsgebieten für das STAR-Klimaszenario



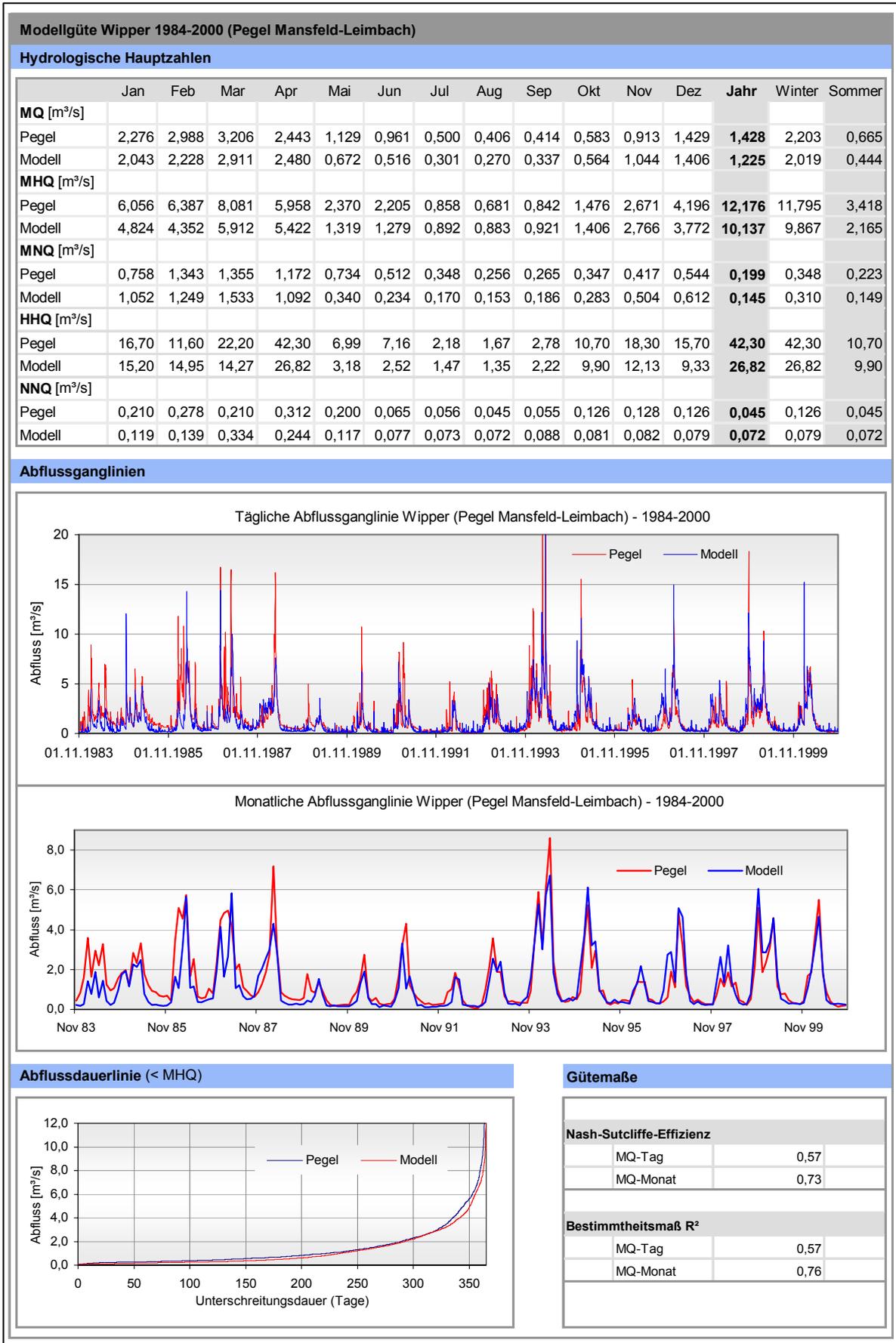
Karte 37: Schematische Darstellung der Bilanzgrößen im Untersuchungsgebiet „Salziger See“



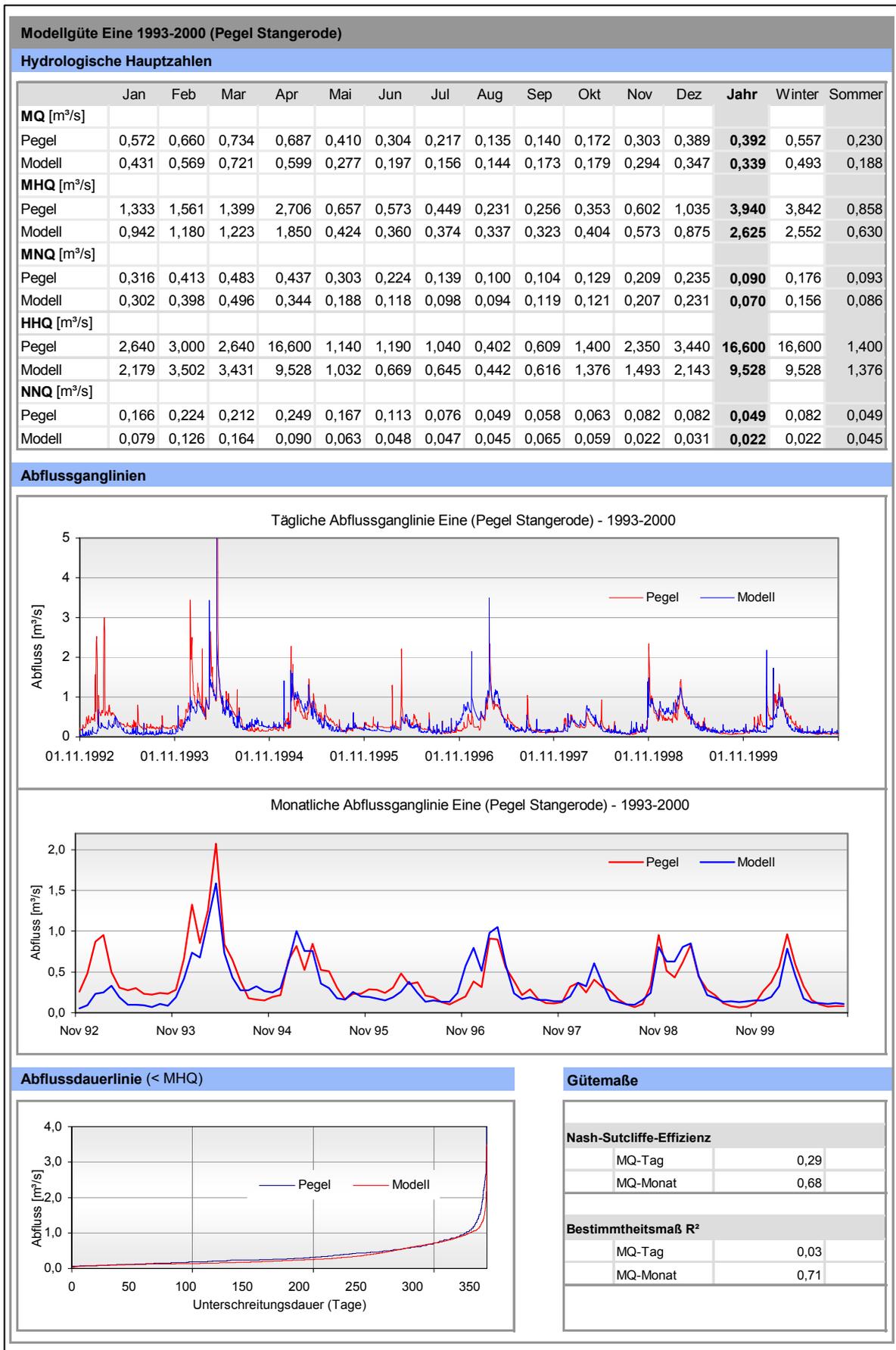
Tafel 1: Güte des hydrologischen Modells für die Wipper/ Pegel Wippra (Kalibrierungsphase 1984-2000)



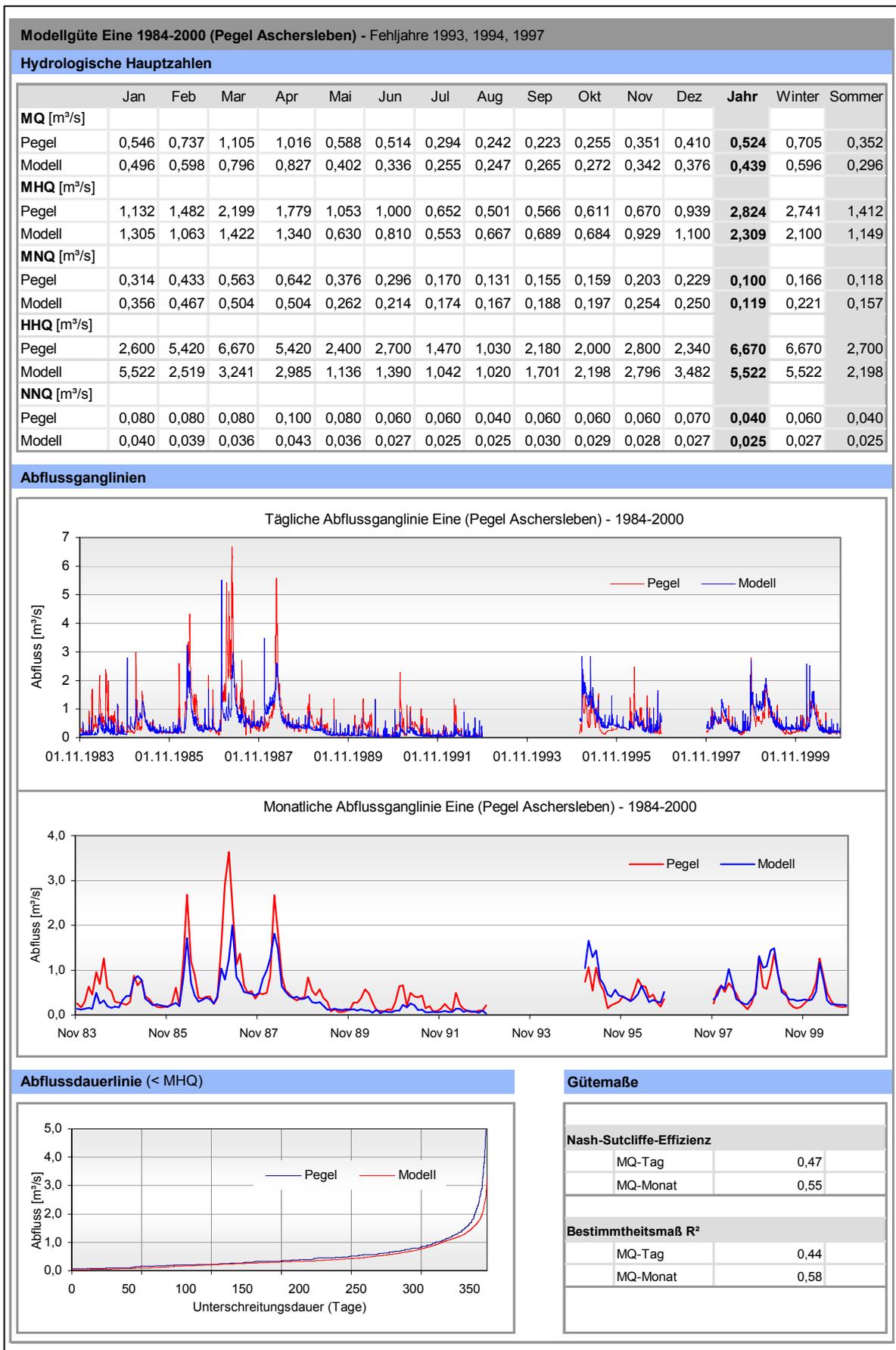
Tafel 2: Güte des hydrologischen Modells für die Wipper/ Pegel Mansfeld-Leimbach (Kalibrierungsphase 1984-2000)



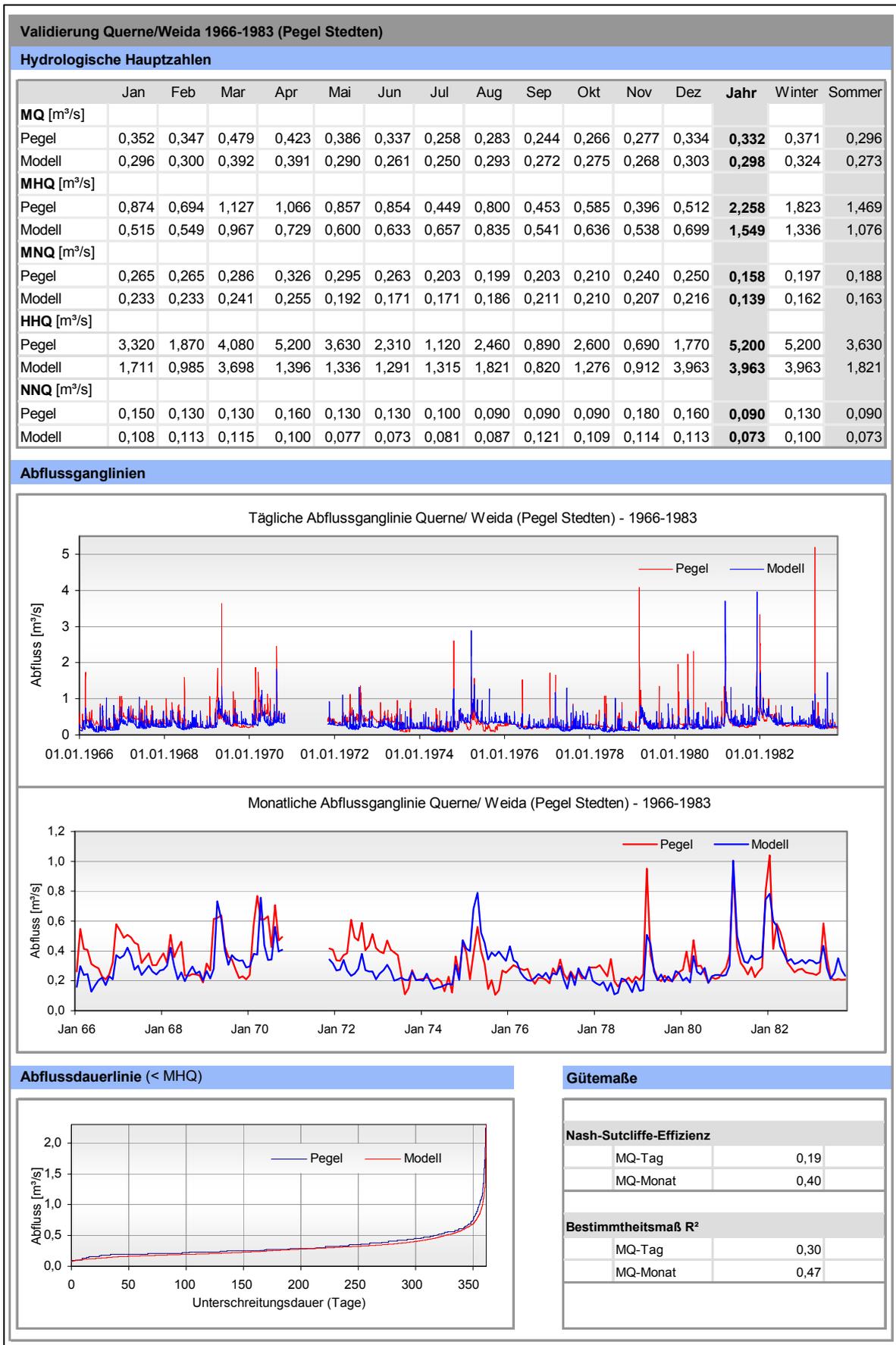
Tafel 3: Güte des hydrologischen Modells für die Eine/ Pegel Stangerode (Kalibrierungsphase 1993-2000)



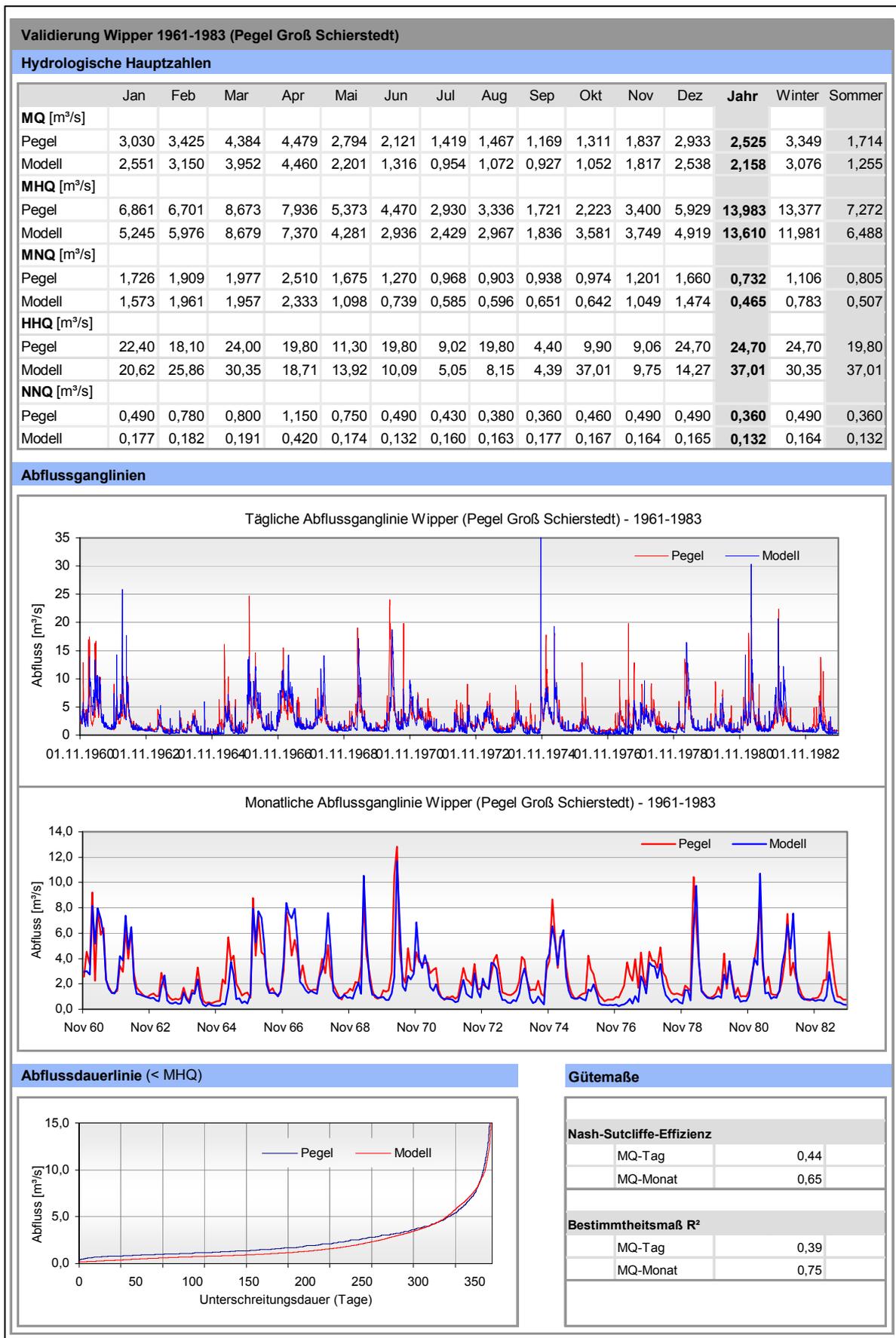
Tafel 4: Güte des hydrologischen Modells für die Eine/ Pegel Aschersleben
(Kalibrierungsphase 1984-2000)



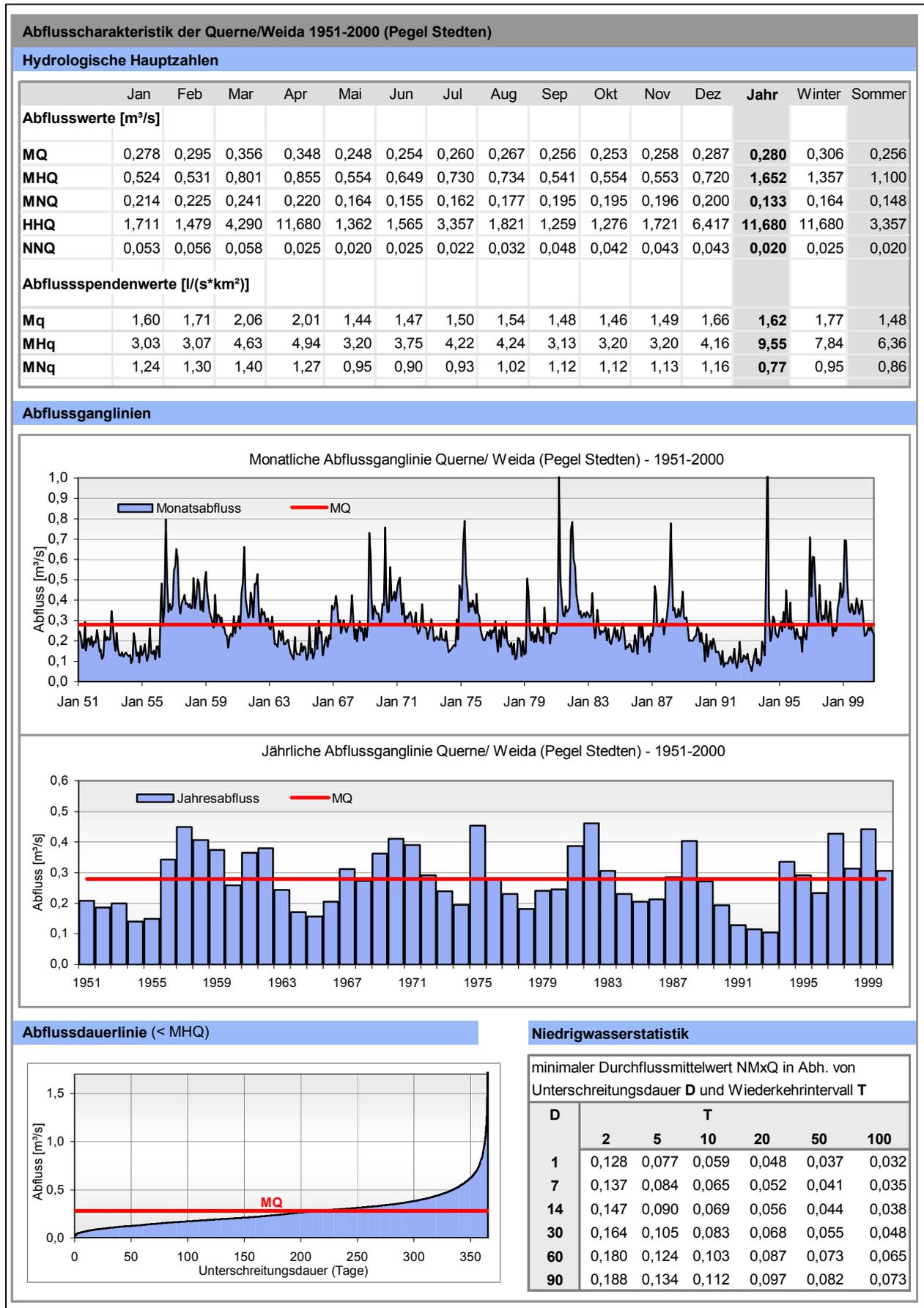
Tafel 5: Güte des hydrologischen Modells für die Querne/Weida/ Pegel Stedten (Validierungsphase 1966-1983)



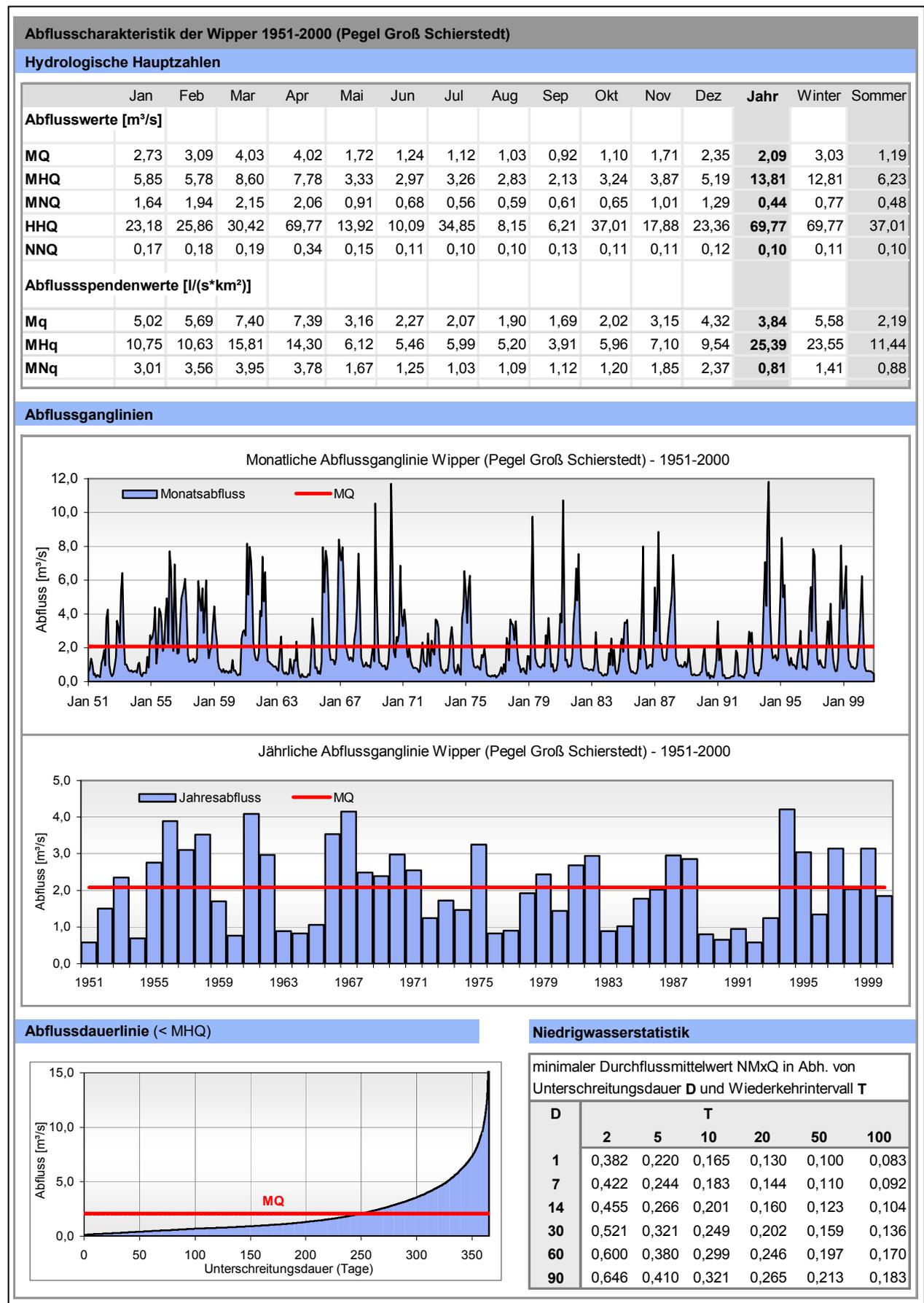
Tafel 6: Güte des hydrologischen Modells für die Wipper/ Pegel Groß Schierstedt (Validierungsphase 1961-1983)



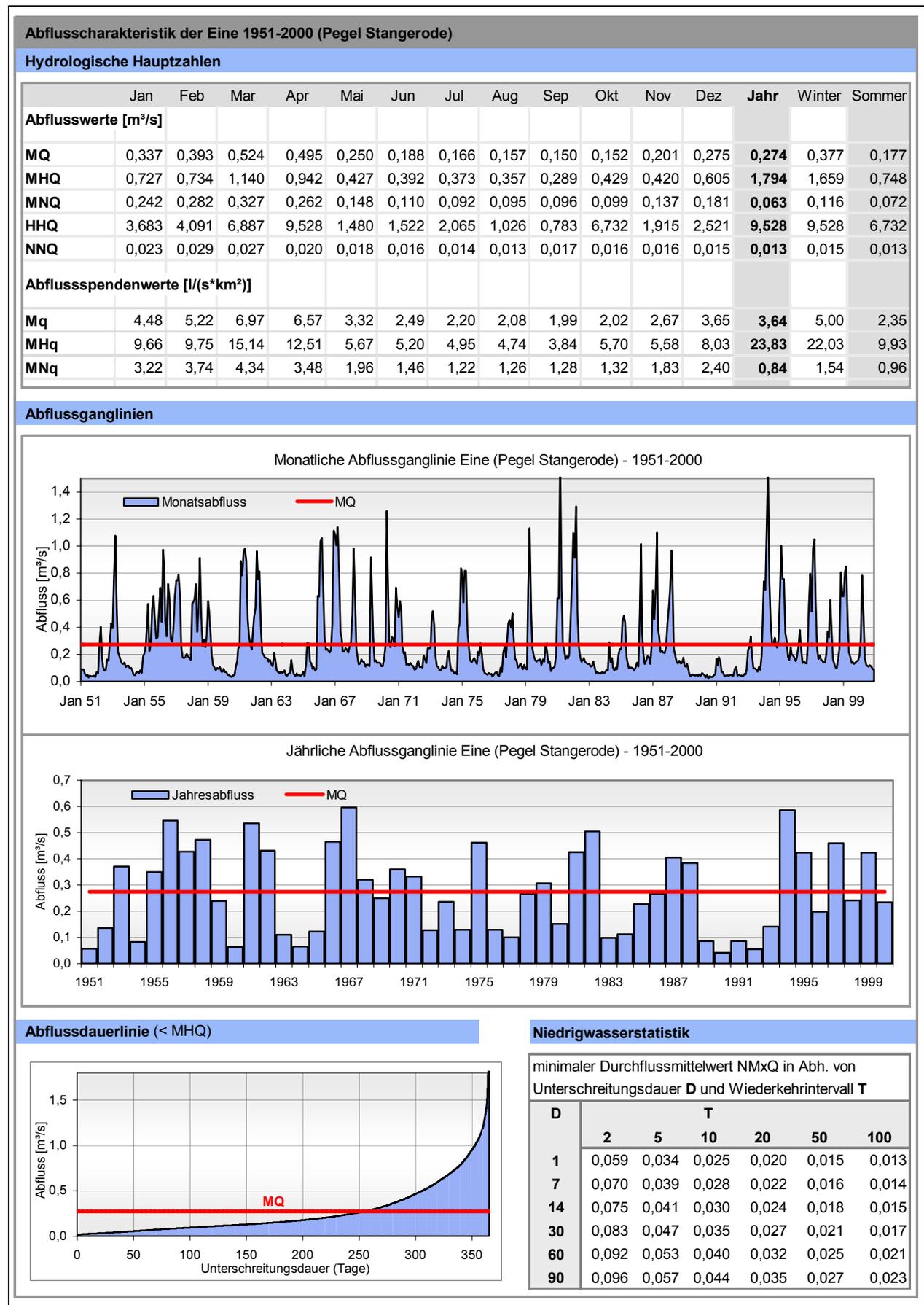
Tafel 7: Abflusscharakteristik der Querne/Weida (Pegel Stedten) für den Zeitraum 1951-2000



Tafel 8: Abflusscharakteristik der Wipper (Pegel Groß Schierstedt) für den Zeitraum 1951-2000



Tafel 9: Abflusscharakteristik der Eine (Pegel Stangerode) für den Zeitraum 1951-2000



Tafel 10: Schematische Darstellung der hydrologischen Verhältnisse im Umfeld des Salzigen Sees

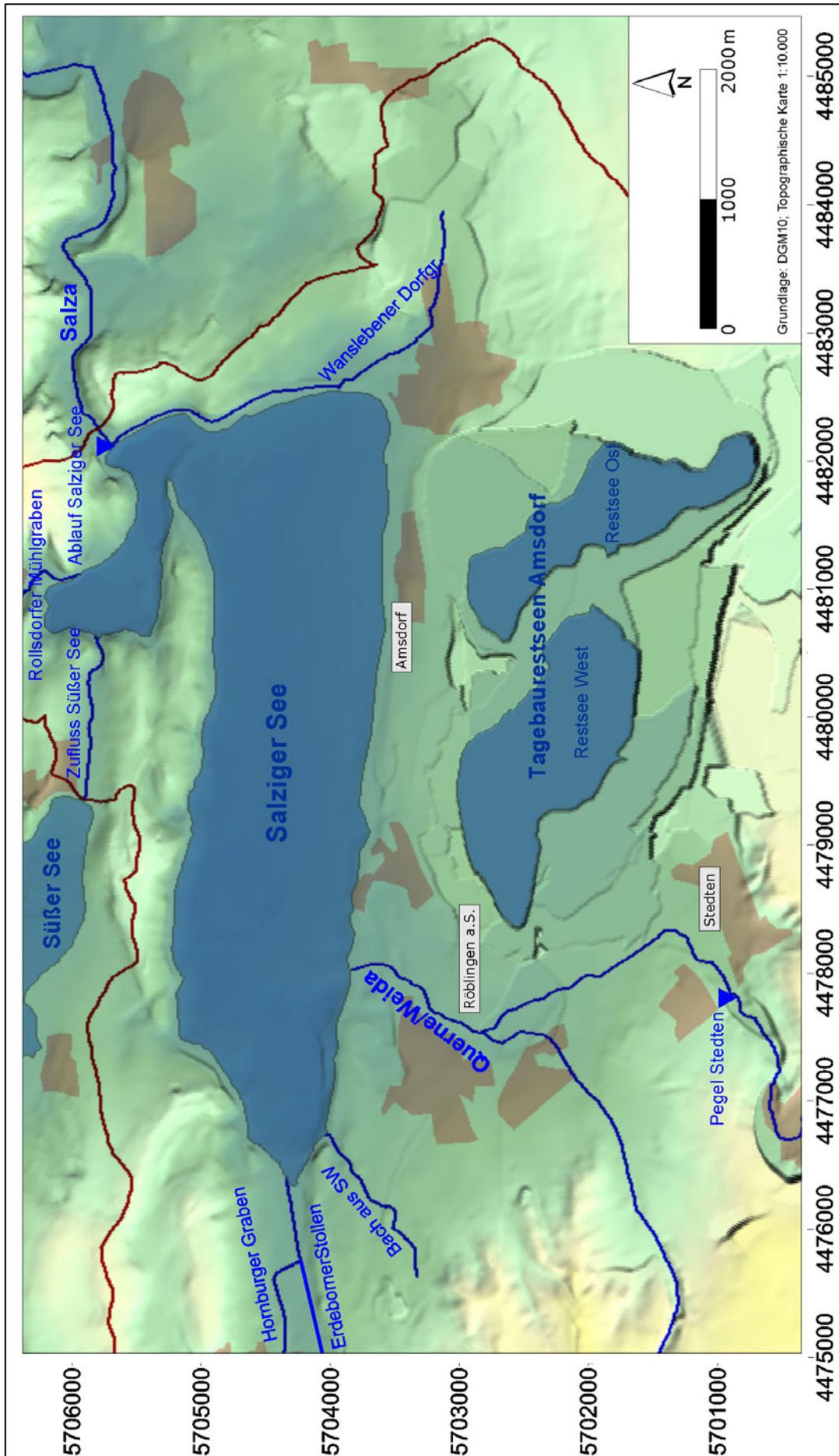


Tabelle Anh.1: Datenquellen der raumbezogenen Daten für die Untersuchungsgebiete

	Querne/Weida	Wipper
Landnutzung	<ul style="list-style-type: none"> • CIR-Luftbild-Interpretationsdaten des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Befliegung 1992/93, Maßstab 1:10.000 • Topographische Karte 1:25.000 des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt • Topographische Karte 1:25.000 des Thüringer Landesvermessungsamtes 	<ul style="list-style-type: none"> • CIR-Luftbild-Interpretationsdaten des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Befliegung 1992/93, Maßstab 1:10.000 • Topographische Karte 1:25.000 des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt
Böden	<ul style="list-style-type: none"> • Bodenkarten für das Einzugsgebiet der Querne/Weida 1995/96 des Geologischen Landesamtes Sachsen-Anhalt (GLA), Maßstab 1:25.000. Bereitgestellt durch das Staatliche Amt für Umweltschutz Halle (STAU) 	<ul style="list-style-type: none"> • Karte der Mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK25) des Geologischen Landesamtes Sachsen-Anhalt (GLA), Maßstab 1:25.000 • Synthetische Konzeptbodenkarte für das Gebiet des Osthartz nach SCHOLTEN, BEHRENS & FELIX-HENNINGSEN. Bereitgestellt durch das Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB)
Grundwasser- verhältnisse	<ul style="list-style-type: none"> • CIR-Luftbild-Interpretationsdaten des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Befliegung 1992/93, Maßstab 1:10.000 • Bodenkarten für das Einzugsgebiet der Querne/Weida 1995/96 des Geologischen Landesamtes Sachsen-Anhalt (GLA), Maßstab 1:25.000. Bereitgestellt durch das Staatliche Amt für Umweltschutz Halle (STAU) • Grundwasserflurabstandskarte für das Einzugsgebiet der Querne/Weida. Bereitgestellt durch das Staatliche Amt für Umweltschutz Halle (STAU). Erstellt durch PFÜTZNER, KRONE & PAGENKOPF (1996) für Hydrologische Grundlagenuntersuchungen im Einzugsgebiet der Salza. 	<ul style="list-style-type: none"> • CIR-Luftbild-Interpretationsdaten des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Befliegung 1992/93, Maßstab 1:10.000 • Karte der Mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK25) des Geologischen Landesamtes Sachsen-Anhalt (GLA), Maßstab 1:25.000 • Synthetische Konzeptbodenkarte für das Gebiet des Osthartz nach SCHOLTEN, BEHRENS & FELIX-HENNINGSEN. Bereitgestellt durch das Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB)
Topographie	<ul style="list-style-type: none"> • Digitales Geländemodell (DGM) des Landesamtes für Landesvermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt, Rasterdaten 10x10m. 	<ul style="list-style-type: none"> • Digitales Geländemodell (DGM) des Landesamtes für Landesvermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt, Rasterdaten 10x10m.
Gewässernetz & Teileinzugsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Fließgewässer im Einzugsgebiet der Querne/Weida. - Bereitgestellt durch das Staatliche Amt für Umweltschutz Halle (STAU). Erstellt durch PFÜTZNER, KRONE & PAGENKOPF (1996) für Hydrologische Grundlagenuntersuchungen im Einzugsgebiet der Salza. • Geobasisdaten der Fließgewässer des Amtlichen Topographisch-kartographischen Informationssystems (ATKIS) des Landesamtes für Landesvermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt, Maßstab 1:25.000. • Topographische Karte 1:25.000 des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt • Topographische Karte 1:25.000 des Thüringer Landesvermessungsamtes • Digitale Daten der Gewässereinzugsgebiete Salza und Wipper des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Geobasisdaten der Fließgewässer des Amtlichen Topographisch-kartographischen Informationssystems (ATKIS) des Landesamtes für Landesvermessung und Datenverarbeitung Sachsen-Anhalt, Maßstab 1:25.000. • Topographische Karte 1:25.000 des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt • Digitale Daten der Gewässereinzugsgebiete Salza und Wipper des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt.

Tabelle Anh.2: Präprocessing und Vorgehensweise zur Generierung quasi homogener Bodeneinheiten aus dem Lagenmodell nach SCHOLTEN & BEHRENS

Arbeitsschritt	Beschreibung
Import der Rasterdaten	<ul style="list-style-type: none"> • Import von >2 Mio. Rasterpunkten in ArcViewGIS, wobei räumliche Begrenzung auf definierten Flächenausschnitt erfolgte (oberes Einzugsgebiet der Wipper) • Fehlerkontrolle & -korrektur
Elementarflächenbezogene Mittelwertbildung für Korngrößenanteile und Lagenmächtigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Berechnung der durchschnittlichen Korngrößenanteile und Lagenmächtigkeiten für 11.667 Elementarflächen, basierend auf Rasterdaten <ul style="list-style-type: none"> ◦ Bedingung zur Fehlerminimierung: Wertbelegung der Rasterpunkte je Elementarfläche > 50 % (dadurch wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass Mittellage in großen Bereichen nicht ausgeprägt ist und dort somit nicht ausgewiesen wird (vgl. SCHOLTEN & BEHRENS 2002))
Ableitung der Bodenarten	<ul style="list-style-type: none"> • Elementarflächenbezogene Ableitung der Bodenarten aus Korngrößenanteilen nach KA4
Lagenklassifizierung und Zusammenführung zu Gesamtmodell	<ul style="list-style-type: none"> • Klassifizierung der Einzellagen nach Mächtigkeiten mit 10cm-Klassendifferenz <ul style="list-style-type: none"> ◦ Ergebnis: Hauptlage = 3 Klassen, Mittellage = 6 Klassen, Basislage = 6 Klassen • Zusammenführung der Einzellagen zu Gesamtmodell • Ergebnis: Elementarflächen mit Informationen zu Lagenanzahl, Mächtigkeitsklasse und Bodenart je Lage
Generierung quasi homogener Bodeneinheiten	<ul style="list-style-type: none"> • Die Generierung von Bodeneinheiten kann ausschließlich über die Lagenanzahl, -mächtigkeitsklassen und Bodenarten erfolgen. Da die Anzahl der Mächtigkeitsklassen und Bodenarten eine Vielzahl verschiedener Kombinationen aus beiden bewirkt, ist zur späteren Integration in ein hydrologisches Modell eine Generalisierung erforderlich. Die Zusammenfassung verschiedener Kombinationen erfolgte nach folgendem Schema: • Kombinationen mit Anzahl (n) < 10 oder Fläche (A) < 10ha wurden nach folgenden Ähnlichkeitsmerkmalen (ÄM) zusammengefasst: <ol style="list-style-type: none"> 1. ÄM – Anzahl der Lagen, 2. ÄM – Bodenart Hauptlage, 3. ÄM – Bodenart Mittellage, 4. ÄM – Bodenart Basislage, 5. ÄM – Mächtigkeit Hauptlage, 6. ÄM – Mächtigkeit Mittellage, 7. ÄM – Mächtigkeit Basislage • Ergebnis: 188 Kombinationen aus Lagenanzahl, Mächtigkeitsklassen und Bodenarten zur anschließenden Bodenparametrisierung • Generierung der quasi homogenen Bodeneinheiten ermöglicht bessere Aussagen zur Ausprägung der Lagen- bzw. Bodeneigenschaften im Untersuchungsgebiet

Tabelle Anh.3: Arbeitsschritte zur Erstellung von Fließgewässernetz und Teileinzugsgebietsstruktur

Arbeitsschritt	Beschreibung
Fehleranalyse & Aufbereitung der Fließgewässer	<ul style="list-style-type: none"> • Homogenisierung der Gewässerabschnitte zwischen Gewässerknoten oder -bauwerken <ul style="list-style-type: none"> ◦ Bereinigung von Lücken und Einzellinien ◦ Entfernen von Overlays • Hierarchisierung – Orientierung aller Gewässer zum Auslass (ggf. Flippen von Linien) • Bereinigung falscher Verzweigungen und Senken
Homogenisierung	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassung der Gewässerknoten bzw. -auslässe an Teileinzugsgebietsgrenzen
Generalisierung	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenführung von Teileinzugsgebieten (TEG) ohne Fließgewässerknoten • Zuweisung von abflusslosen Teileinzugsgebieten zu Unterliegern unter Berücksichtigung der LAWA-Richtlinie
Attributierung & Hierarchisierung	<ul style="list-style-type: none"> • Identifizierung der Gewässerabschnitte und Teileinzugsgebiete nach LAWA-Richtlinie (Gewässerkennzahl, Name, Unter-, Unterlieger) • Zuweisung besonderer Punkte im Gewässernetz (Pegel, Talsperren, Bauwerke, Auslässe) • Zuweisung der TEG-ID an jeweiligen Gewässerabschnitt
Erzeugung von Gewässerknoten (Nodes)	<ul style="list-style-type: none"> • Zuweisung von Nodes an Gewässerabschnitte • Identifizierung der Nodes (ID, Höhe, X-Y-Koordinaten)

Tabelle Anh.4: Datenlücken der Klimastationen des KL-Datenkollektivs des Deutschen Wetterdienstes

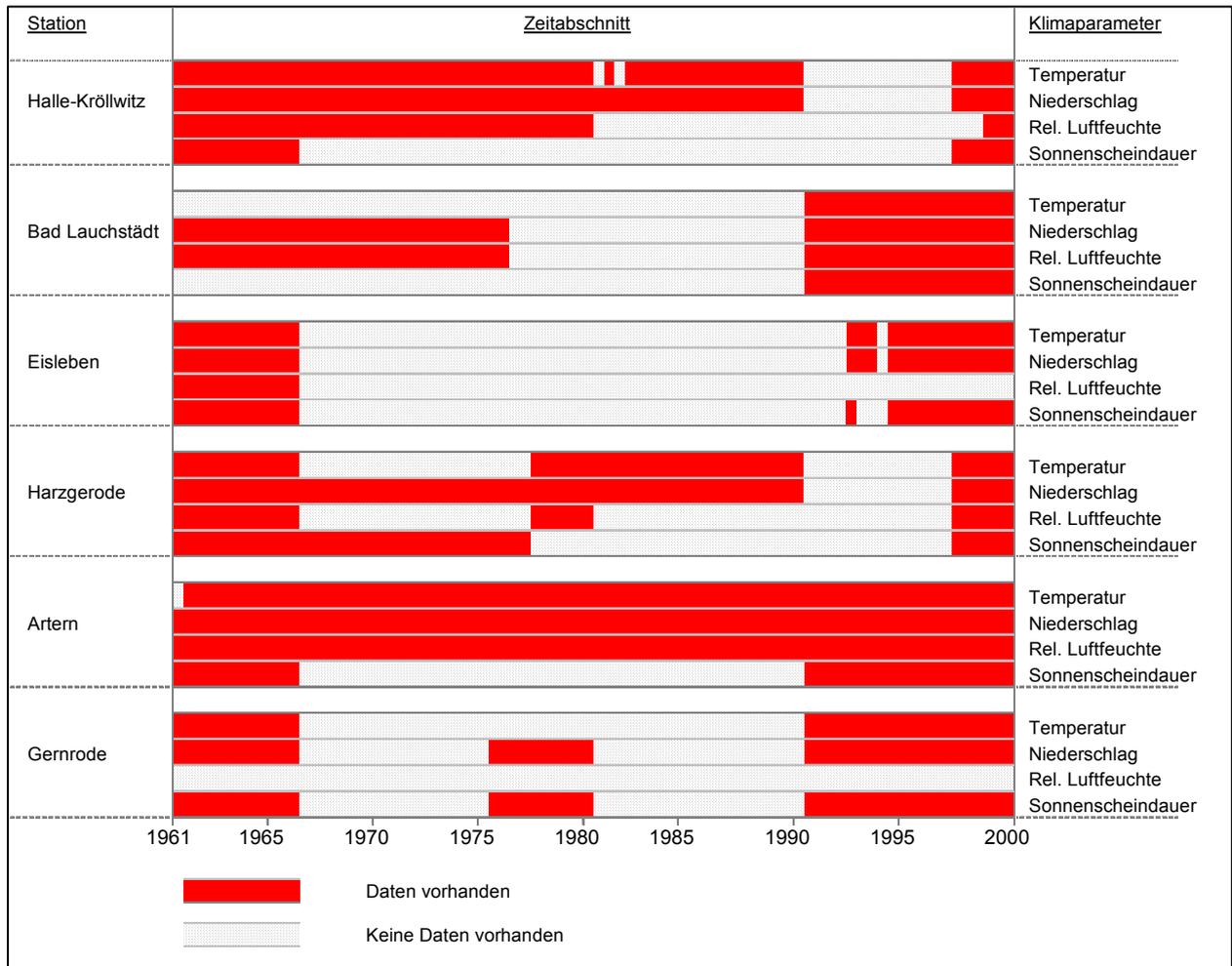


Tabelle Anh.5: Klimatologische und hydrologische Zeitreihen

Klimastationen (Basisszenarien 1951-2000 aus dem Projekt "GLOWA-Elbe", bereitgestellt durch das PIK Potsdam)							
Stationsname	Stationstyp	Hochwert	Rechtswert	Höhe [m NN]	Zeitraum	Lücken	Anmerkungen
Artern	Hauptstation	56 95 121	44 51 281	164	1951-2000		
Bad Lauchstädt	Hauptstation	56 96 008	44 91 650	119	1951-2000		
Eisleben	Hauptstation	57 07 213	44 70 144	146	1951-2000		
Gernrode	Hauptstation	57 33 062	44 40 590	210	1951-2000		
Halle-Kröllwitz	Hauptstation	57 09 351	44 96 530	96	1951-2000		
Bernburg	Niederschlagsstation	57 42 762	44 80 695	84	1951-2000		
Brumby	Niederschlagsstation	57 51 662	44 80 729	70	1951-2000		
Gatersleben	Niederschlagsstation	57 42 970	44 50 360	110	1951-2000		
Hayn (Harz)	Niederschlagsstation	57 15 314	44 36 221	435	1951-2000		
Herrmannsacker	Niederschlagsstation	57 13 282	44 22 322	315	1951-2000		
Kelbra (Talsp.)	Niederschlagsstation	56 99 794	44 31 853	170	1951-2000		
Klostermansfeld	Niederschlagsstation	57 16 143	44 65 344	230	1951-2000		
Mehringen	Niederschlagsstation	57 32 821	44 66 840	110	1951-2000		
Mücheln (Geiseltal)	Niederschlagsstation	56 84 896	44 86 052	165	1951-2000		
Neustadt (Harz)	Niederschlagsstation	57 16 630	44 21 680	450	1951-2000		
Neutz	Niederschlagsstation	57 20 485	44 89 612	154	1951-2000		
Quedlinburg	Niederschlagsstation	57 38 616	44 41 345	132	1951-2000		
Sangerhausen	Niederschlagsstation	57 05 120	44 52 765	179	1951-2000		
Schönewerda	Niederschlagsstation	56 87 290	44 56 085	119	1951-2000		
Schraplau	Niederschlagsstation	56 99 390	44 77 052	135	1951-2000		
Stangerode	Niederschlagsstation	57 26 237	44 55 037	210	1951-2000		
Wolmirsleben	Niederschlagsstation	57 57 306	44 65 627	70	1951-2000		
Ziegelroda	Niederschlagsstation	56 88 347	44 63 064	263	1951-2000		
Gewässerpegel (Durchflussmesswerte, bereitgestellt durch den LHW Sachsen-Anhalt)							
Stationsname	Gewässer	Hochwert	Rechtswert	Einzugsgebiet [km ²]	Zeitraum	Lücken	Anmerkungen
Stedten	Weida	57 00 820	44 77 730	173,0	1966 - 2000	1970/ 71	09/1997 – 12/1999 (FRÜHAUF & SCHMIDT 1999)
Vorsperre Wippra	Wipper	57 14 999	44 45 093	71,4	1984 - 2000	-----	
Wippra	Wipper	57 15 940	44 50 100	136,0	1951 - 2000	-----	
Mansfeld-Leimbach	Wipper	57 19 280	44 63 620	210,0	1960 - 2000	1982/ 83	
Groß Schierstedt	Wipper	57 35 500	44 67 540	544,0	1961 - 2000	-----	
Stangerode	Eine	57 25 119	44 55 630	75,3	1960 - 2000	1967; 1973-88; 1991/92	
Aschersleben	Eine	57 35 330	44 61 180	167,0	1956 - 2000	1993-94	

Tabelle Anh.6: Halbjahresbezogene Trends für ausgewählte Klimaparameter, bezogen auf die 0,5°-Grids des MAGICC/SCENGEN-Klimaszenarios und daraus abgeleitete Trendwerte für die Klimastationen bis 2050

Werte der aus MAGICC/SCENGEN abgeleiteten und auf die Klimastationen aufgeprägten Trends der Reihe 2001-2050									
Klimastation	Lufttemperatur [°C]			Niederschlag [mm]			Tägl.Sonnenscheindauer [h]		
	Sommer	Winter	Jahr	Sommer	Winter	Jahr	Sommer	Winter	Jahr
Artern	1,6	1,7	1,7	-20,6	22,7	0,9	1,8	-0,1	0,9
Bad Lauchstädt	1,6	1,7	1,7	-24,5	17,5	-3,7	1,8	-0,5	0,7
Bernburg	1,6	1,7	1,7	-21,2	17,4	-2,0	1,6	-0,5	0,6
Brumby	1,6	1,7	1,7	-22,1	18,5	-1,9	1,6	-0,5	0,6
Eisleben	1,6	1,7	1,7	-22,5	19,9	-1,5	1,8	-0,3	0,7
Gatersleben	1,6	1,7	1,7	-21,6	18,5	-1,7	1,7	-0,3	0,7
Gernode	1,6	1,7	1,7	-20,6	19,6	-0,6	1,8	-0,3	0,8
Halle-Kröllwitz	1,6	1,7	1,7	-22,7	17,3	-2,8	1,7	-0,5	0,6
Hayn (Harz)	1,6	1,7	1,7	-19,5	21,3	0,7	1,8	-0,1	0,8
Herrmannsacker	1,6	1,7	1,7	-19,4	21,3	0,8	1,8	-0,1	0,9
Kelbra (Talsp.)	1,6	1,7	1,7	-19,0	22,0	1,3	1,8	-0,1	0,9
Klostermansfeld	1,6	1,7	1,7	-22,0	19,5	-1,4	1,7	-0,3	0,7
Mehringen	1,6	1,7	1,7	-20,8	17,9	-1,6	1,7	-0,4	0,6
Mücheln (Geiseltal)	1,6	1,7	1,7	-27,5	19,2	-4,3	1,9	-0,4	0,8
Neustadt (Harz)	1,6	1,7	1,7	-19,3	21,2	0,8	1,8	-0,1	0,9
Neutz	1,6	1,7	1,7	-23,3	17,8	-2,9	1,6	-0,4	0,6
Quedlinburg	1,6	1,7	1,7	-21,5	18,8	-1,6	1,7	-0,3	0,7
Sangerhausen	1,6	1,7	1,7	-21,2	20,8	-0,3	1,8	-0,3	0,8
Schönewerda	1,6	1,7	1,7	-19,9	23,2	1,5	1,8	-0,1	0,9
Schraplau	1,6	1,7	1,7	-22,4	19,2	-1,8	1,8	-0,3	0,8
Stangerode	1,6	1,7	1,7	-20,1	19,5	-0,5	1,7	-0,3	0,7
Wolmirsleben	1,6	1,7	1,7	-22,6	18,5	-2,2	1,6	-0,4	0,6
Ziegelroda	1,6	1,7	1,7	-21,8	21,7	-0,2	1,8	-0,2	0,8
Werte der aus MAGICC/SCENGEN abgeleiteten Trends für die 0,5°-Grids der Reihe 2001-2050									
0,5°-Grid (Raumbezug lt. Abb. 4.5)	Lufttemperatur [°C]			Niederschlag [mm]			Tägl.Sonnenscheindauer [h]		
	Sommer	Winter	Jahr	Sommer	Winter	Jahr	Sommer	Winter	Jahr
10505100	1,6	1,7	1,7	-24,9	20,2	-2,6	1,9	0,0	0,9
11005100	1,6	1,7	1,7	-12,1	26,4	7,0	1,9	0,0	0,9
11505100	1,6	1,7	1,7	-34,0	19,6	-7,4	1,9	-0,4	0,8
12005100	1,6	1,7	1,7	-14,1	13,9	-0,2	2,0	-0,5	0,8
10505150	1,6	1,7	1,7	-17,0	20,7	1,7	1,8	-0,1	0,8
11005150	1,6	1,7	1,7	-23,0	19,1	-2,1	1,8	-0,3	0,7
11505150	1,6	1,7	1,7	-19,6	15,4	-2,2	1,6	-0,5	0,5
12005150	1,6	1,7	1,7	-22,7	20,3	-1,4	1,6	-0,5	0,5
10505200	1,6	1,7	1,7	-23,6	27,0	1,5	1,6	-0,2	0,7
11005200	1,6	1,7	1,7	-22,3	17,0	-2,8	1,6	-0,4	0,6
11505200	1,6	1,7	1,7	-26,3	23,4	-1,7	1,5	-0,4	0,6
12005200	1,6	1,7	1,7	-6,6	20,7	6,9	1,7	-0,4	0,6

Tabelle Anh.7: Stationswertevergleich für ausgewählte Klimaparameter in Abhängigkeit von den Szenarien

Klimastation	Klimaszenario	Temperatur [°C]	Niederschlag [mm]	Relative Feuchte [%]	Sonnenscheindauer [h]
Station Artern	Basisszenario 1951-2000	8.7	479.4	77.7	4.1
	MAGICC/SCENGEN-Szen.	10.3	478.8	77.7	4.3
	STAR-Klimaszenario	9.7	426.9	76.2	4.4
	ECHAM/REMO-Szenario	11.2	481.2	82.4	4.1
	Trendszenario	9.6	443.0	75.0	4.1
Station Halle	Basisszenario 1951-2000	9.2	469.4	76.7	4.3
	MAGICC/SCENGEN-Szen.	10.7	463.4	75.6	4.5
	STAR-Klimaszenario	10.2	437.2	74.2	4.5
	ECHAM/REMO-Szenario	11.5	470.4	80.6	4.3
	Trendszenario	9.9	458.0	72.1	4.3
Station Eisleben	Basisszenario 1951-2000	9.1	532.9	76.9	4.4
	MAGICC/SCENGEN-Szen.	10.4	529.6	74.1	4.6
	STAR-Klimaszenario	10.3	511.7	75.1	4.7
	ECHAM/REMO-Szenario	11.8	495.2	83.2	4.4
	Trendszenario	10.1	514.6	74.0	4.4
Station Bad Lauchstädt	Basisszenario 1951-2000	9.2	528.2	77.3	4.5
	MAGICC/SCENGEN-Szen.	10.8	522.3	76.1	4.6
	STAR-Klimaszenario	10.2	471.1	74.2	4.8
	ECHAM/REMO-Szenario	11.9	470.1	83.2	4.5
	Trendszenario	10.0	488.7	71.9	4.5
Station Gernrode	Basisszenario 1951-2000	8.8	546.0	75.5	4.5
	MAGICC/SCENGEN-Szen.	10.4	529.6	74.1	4.6
	STAR-Klimaszenario	9.9	480.7	73.0	4.8
	ECHAM/REMO-Szenario	10.8	515.3	79.4	4.5
	Trendszenario	9.6	467.1	71.3	4.5

Tabelle Anh.8: Klassifizierung täglicher Niederschläge der Klimaszenarien für die 50-jährige Reihe der Station Halle

Szenarien	Niederschlagsklassen [mm]						Niederschlagstage/ Jahr (> 0.1 mm)
	0 - 0.1	0.1 – 2	2 - 5	5 - 10	10-20	> 20	
Basisszenario 1951 - 2000	216	79	38	21	9	2	149
MAGICC/SCENGEN-Szenario	216	79	38	21	9	2	149
STAR-Klimaszenario	236	64	35	19	9	2	130
ECHAM/REMO-Klimaszenario	57	212	85	11	0	0	308

9 ANLAGE

CD „Vergleichende Untersuchungen zu den Folgewirkungen von Klima- und Landnutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt in Flusseinzugsgebieten – Anlage“

Die CD umfasst folgende Inhalte:

A - Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tabelle A1: Flächenanteile und modellspezifische Parameter der Landnutzungsklassen in den UG's	1
Tabelle A2: Bodenklassifizierung, modellspezifische Parameter und Flächenanteile im UG Querne/Weida	2
Tabelle A3: Bodenklassifizierung, modellspezifische Parameter und Flächenanteile im UG Wipper	4
Tabelle A4: Bodenarten und ihre modellspezifischen Parameter (nach KA4)	9
Tabelle A5: Flächenanteile und Ableitungsmethodik der Grundwasserflurabstandsklassen in den UG's	10
Tabelle A6: Ausgewiesene Hydrotopklassen und ihr Flächenanteil in den UG's	11
Tabelle A7: Einzellinearspeicher und zugeordnete Hydrotopklassen in den UG's	12
Tabelle A8: Detaillierte methodische Vorgehensweise zur Erstellung des Landnutzungsszenarios	13
Tabelle A9: Bilanzparameter und detaillierte Methodenbeschreibung für die Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees	14
Tabelle A10: Minimale Durchflussmittelwerte (NMxQ) der Querne/Weida (Pegel Stedten) in Abhängigkeit von Unterschreitungsdauer, Wiederkehrintervall und Klimaszenario	16
Tabelle A11: Minimale Durchflussmittelwerte (NMxQ) der Wipper (Pegel Wippra) in Abhängigkeit von Unterschreitungsdauer, Wiederkehrintervall und Klimaszenario	17
Tabelle A12: Minimale Durchflussmittelwerte (NMxQ) der Wipper (Pegel Mansfeld-Leimbach) in Abhängigkeit von Unterschreitungsdauer, Wiederkehrintervall und Klimaszenario	18
Tabelle A13: Minimale Durchflussmittelwerte (NMxQ) der Wipper (Pegel Groß Schierstedt) in Abhängigkeit von Unterschreitungsdauer, Wiederkehrintervall und Klimaszenario	19
Tabelle A14: Minimale Durchflussmittelwerte (NMxQ) der Eine (Pegel Stangerode) in Abhängigkeit von Unterschreitungsdauer, Wiederkehrintervall und Klimaszenario	20
Tabelle A15: Minimale Durchflussmittelwerte (NMxQ) der Eine (Pegel Aschersleben) in Abhängigkeit von Unterschreitungsdauer, Wiederkehrintervall und Klimaszenario	21
Tabelle A16: Durchschnittliche jährliche Häufigkeit des Trockenfallens ausgewählter Gewässer	22
Tabelle A17.1: Gewässerkundliche Hauptzahlen - Querne/Weida (Pegel Stedten)	25
Tabelle A17.2: Gewässerkundliche Hauptzahlen - Querne	26
Tabelle A17.3: Gewässerkundliche Hauptzahlen - Weidenbach	27
Tabelle A17.4: Gewässerkundliche Hauptzahlen - Kriebuschbach	28
Tabelle A17.5: Gewässerkundliche Hauptzahlen - Weitzschkerbach	29
Tabelle A17.6: Gewässerkundliche Hauptzahlen - Wipper (Pegel Wippra)	30
Tabelle A17.7: Gewässerkundliche Hauptzahlen - Wipper (Pegel Mansfeld-Leimbach)	31
Tabelle A17.8: Gewässerkundliche Hauptzahlen - Wipper (Pegel Groß Schierstedt)	32
Tabelle A17.9: Gewässerkundliche Hauptzahlen - Eine (Pegel Stangerode)	33
Tabelle A17.10: Gewässerkundliche Hauptzahlen - Eine (Pegel Aschersleben)	34
Tabelle A17.11: Gewässerkundliche Hauptzahlen - Schmale Else	35
Tabelle A17.12: Gewässerkundliche Hauptzahlen – Rother Bach	36
Tabelle A17.13: Gewässerkundliche Hauptzahlen – Wolfsberger Wipper	37
Tabelle A17.14: Gewässerkundliche Hauptzahlen - Horle	38
Tabelle A17.15: Gewässerkundliche Hauptzahlen – Schmale Wipper	39

Tabelle A17.16:	Gewässerkundliche Hauptzahlen - Hasselbach)	40
Tabelle A17.17:	Gewässerkundliche Hauptzahlen - Brumbach	41
Tabelle A17.18:	Gewässerkundliche Hauptzahlen - Sengelbach	42
Tabelle A17.19:	Gewässerkundliche Hauptzahlen - Ochsenpühlbach	43
Tabelle A17.20:	Gewässerkundliche Hauptzahlen - Hagenbach	44
Tabelle A17.21:	Gewässerkundliche Hauptzahlen – Alte Wipper	45
Tabelle A17.22:	Gewässerkundliche Hauptzahlen - Stockbach	46
Tabelle A17.23:	Gewässerkundliche Hauptzahlen - Hadeborn	47
Tabelle A17.24:	Gewässerkundliche Hauptzahlen – Rote Welle	48
Tabelle A17.25:	Gewässerkundliche Hauptzahlen – Mühlgraben Groß Schierstedt	49
Tabelle A17.26:	Gewässerkundliche Hauptzahlen - Ölgrundbach	50
Tabelle A17.27:	Gewässerkundliche Hauptzahlen - Trübbelke	51
Tabelle A17.28:	Gewässerkundliche Hauptzahlen - Schwennecke	52
Tabelle A17.29:	Gewässerkundliche Hauptzahlen - Mukarehne	53
Tabelle A17.30:	Gewässerkundliche Hauptzahlen - Wiebeck	54
Tabelle A17.32:	Gewässerkundliche Hauptzahlen - Leine	55
Tabelle A17.33:	Gewässerkundliche Hauptzahlen - Hengstbach	56
Tabelle A18:	Fördermengen und bilanzierte Zuflüsse am Pumpwerk Wansleben (Modellvalidierung)	57

B - Modellergebnisse

- Berechnungsergebnisse der hydrologischen Modellierung für die Gewässerabflüsse und Wasserhaushaltsparameter aller Klimaszenarien – zusammengestellt als pdf-Dateien
- Berechnungsergebnisse der Wasserhaushaltsbilanzierung des Salzigen Sees für die Bilanzierungsvarianten I bis IV der Prioritäten „Salza“ und „Salziger See“ – zusammengestellt als pdf-Dateien

C - Anlage Raumdaten

- Dateien für die räumliche Zuordnung der Modellergebnisse zu Fließgewässern, Teileinzugsgebieten und Elementarflächen
 - o Start über „D:\Anlage\GIS\anlage_raumdaten.apr“

D - Karten

- Zusammenstellung der Karten (laut Kartenverzeichnis) im .jpg-Format

E – Fotos der Untersuchungsgebiete

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel und Quellen angefertigt zu haben. Die den genutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Daniel Wurbs

Halle, den 24. Juni 2005

Lebenslauf

Angaben zur Person:

Name: Wurbs
Vorname: Daniel
Geburtsdatum: 25. September 1974
Geburtsort: Halle (Saale)
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstand: ledig, 1 Kind
Wohnanschrift: Herweghstraße 98, 06114 Halle (Saale)

Schulausbildung:

09/1981 – 08/1990 Polytechnische Oberschule „Wilhelm Koenen“, Halle
09/1990 – 07/1993 Thomas-Müntzer-Gymnasium, Halle
Abschluss: Abitur

Studium:

10/1994 – 09/2000 Studium der Geographie an der Martin-Luther-
Universität Halle-Wittenberg
Nebenfächer: Bodenschutz, Geologie, Geobotanik
09/2000 Abschluss: Diplom-Geograph

Wehrdienst:

10/1993 – 09/1994 Grundwehrdienst in Cham (Opf.)

Wissenschaftlicher Werdegang/ berufliche Erfahrungen:

07/1993 – 09/1993 Mitarbeiter im Vermessungsbüro „Medack“, Halle
09/2000 – 03/2001 Freie Mitarbeit im Büro für Landschaftsplanung „Karsten Obst“, Halle
04/2001 – 04/2005 Promotionsstudent am Institut für Geographie der Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg
seit 05/2005 freiberuflich tätig als Diplom-Geograph