

ARCEGMO

BAH

**DAS
HYDROLOGISCHE
MODELLIERUNGSSYSTEM**



SACHSEN-ANHALT



Landesbetrieb für
Hochwasserschutz und
Wasserwirtschaft
Sachsen-Anhalt

Gewässerkundlicher Landesdienst

LHW

www.lhw.sachsen-anhalt.de

Nr. 1 / 2015

**Ermittlung hydrologischer Bemessungs-
und Bewirtschaftungsgrundlagen**
für das Land Sachsen-Anhalt auf der Basis
des Wasserhaushaltsmodells ArcEGMO

Fotos Titelseite:

1	2	
3		
4	5	

1 - Elbe Hochwasser Elbe bei Torgau, Januar 2003 (Foto: Werner Lahmer)

2 - Wassertropfen – mögliche Interzeptionsverdunstung (Foto: Werner Lahmer)

3 - Fließgewässer (Foto: Werner Lahmer)

4 - Abflusspegel am Rhin
(Foto: Werner Lahmer)

5 - Prieros an der Dahme (Foto: Werner Lahmer)

Fotos Rückseite:

	1
2	
3	4

Foto 1 - 4 H hydrologische Impressionen
(Foto: Werner Lahmer)

Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt

Gewässerkundlicher Landesdienst

Otto- von Guericke- Str. 5

39104 Magdeburg

Nr. 1 / 2015

Januar 15

Ermittlung hydrologischer Bemessungs-/Bewirtschaftungsgrundlagen für das Land Sachsen-Anhalt auf der Basis des Wasserhaushaltsmodells ArcEGMO

Bearbeitung

LHW Sachsen-Anhalt - Gewässerkundlicher Landesdienst

Sachbereich Hydrologie

Dr. Bernd Pfützner - Dipl.-Hydrologe

Dr. Silke Mey – Dipl.-Geographin

Büro für Angewandte Hydrologie

Köberlesteig 6

13156 Berlin

Vorwort

Mit dem vorliegenden Wasserhaushaltsmodell für Sachsen-Anhalt auf der Basis des Modellierungssystems ArcEGMO[®] steht ein einheitliches Instrument zur Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen mit landesweiten, vielfältigen und fachübergreifenden Einsatzmöglichkeiten zur Verfügung. Es kann sowohl für wasserwirtschaftliche Planungen, für konzeptionelle Betrachtungen zum Neubau bzw. zur Erweiterung von Anlagen zur Wasserspeicherung, für Grundwasserhebungen im Zusammenhang mit der überbetrieblichen Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Wasserressourcen als auch für die Aufgaben des Grundwasserkatasters zur einzugsgebietsbezogenen Ermittlung des vorhandenen Grundwasserdargebotes und für Maßnahmen zur naturnahen Gewässerentwicklung verwendet werden.

ArcEGMO stellt ein anerkanntes, physikalisch basiertes Modell dar, das fundierte Berechnungsmethoden der Gebietswasserhaushaltsgrößen beinhaltet. Die Berechnung der Abflusskomponenten erfolgt in diesem Projekt mit dem ökohydrologischen Abflussbildungsmodul PSCN (Plant-Soil-Carbon-Nitrogen Model; Klöcking, 2009) im Rahmen von ArcEGMO. Dieses Modell entstand durch die Kopplung verschiedener Wachstumsmodelle für Wald- und landwirtschaftliche Flächen mit einem detaillierten Bodenmodell und erlaubt somit die Simulation der saisonal wechselnden Wirkung der Vegetation auf den Landschaftswasserhaushalt. Durch die Nachschaltung des auf dem Lithofazies-Konzept in Kombination mit dem Differenzganglinienverfahren beruhenden Moduls SlowComp (Schwarze et. al, 2009) wird eine plausible Aufteilung der unterirdischen Abflusskomponenten ermöglicht.

Das Modell wurde erstmals 2007 für die Ermittlung von Abflusskenngrößen im Land Sachsen-Anhalt erstellt. Darauf aufbauend wurden im Jahr 2012 die landesweiten Untersuchungen zur Auswirkung von Klimaänderungen auf Wasserhaushaltsgrößen mit diesem Modell im Auftrag des Landesumweltamtes durchgeführt. Für die Ermittlung der Wasserhaushaltsgrößen in Sachsen-Anhalt erfolgte 2013 eine umfangreiche Aktualisierung der Datengrundlagen (Boden, Landnutzung, DGM etc.) und damit des zugrunde liegenden GIS-Datenbestandes.

In diesem Zusammenhang möchten wir uns insbesondere beim Landesamt für Geologie und Bergwesen, Dr. Feldhaus, der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Dr. Schrödter und nicht zuletzt beim DWD, Frau Dr. Malitz für die Datenbereitstellung bedanken.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
1 Veranlassung, Zielstellung	13
2 Modellgrundlagen	14
3 Bearbeitungsmethodik - Anforderung an die Modellierung	17
4 Aufbereitung der Basisdaten	21
4.1 Bodendaten	22
4.1.1 Beschreibung der verwendeten Bodendaten.....	22
4.1.1.1 Bodendaten Sachsen-Anhalt.....	23
4.1.1.2 Bodendaten Niedersachsen.....	24
4.1.1.3 Bodendaten Sachsen.....	26
4.1.1.4 Bodendaten Thüringen.....	26
4.1.1.5 Bodendaten Brandenburg.....	27
4.1.2 Erstellung einer einheitlichen Bodenkarte.....	28
4.1.3 Verlängerung der Bodenprofile.....	29
4.2 Ertragsklassen	30
4.3 Grundwasserdaten	32
4.3.1 Mittlere Grundwasserflurabstände und –klassen	32
4.3.2 Dynamische Grundwasserflurabstände (Grundwassergang).....	35
4.3.3 Lithofazies-Einheiten und SlowComp-Parameter.....	36
4.3.4 Drainage.....	39
4.4 Landnutzungsdaten	40
4.4.1 Landnutzung Sachsen-Anhalt.....	41
4.4.2 Landnutzung Niedersachsen.....	44
4.4.3 Landnutzung Sachsen.....	46
4.4.4 Landnutzung Thüringen.....	48
4.4.5 Landnutzung Brandenburg.....	49
4.4.6 Erstellung einer einheitlichen Landnutzungskarte	49
4.4.7 Phänologie und Bewirtschaftung.....	51
4.5 Digitale Geländedaten	57
4.6 Meteorologische Daten	58
4.7 Hydrologische Daten	62
5 Modellaufbau	66
5.1 Erstellung der Basisgeometrien	66
5.2 Berücksichtigung der Oberflächenmorphologie	67
5.3 Hydrographische und wasserwirtschaftliche Verhältnisse	72

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

5.3.1	Bearbeitung des Gewässernetzes, der Teileinzugsgebiete, Oberflächenwasser und Grundwasserkörper.....	72
5.3.2	Grenzpegel / Einspeisungen.....	75
5.3.3	Bewirtschaftungsdaten Bauwerke / Talsperren.....	76
5.4	Einbindung der meteorologischen Daten in das Modell	77
6	Modellpräzisierung im Ergebnis erster Modellsimulationen	85
6.1	Anpassung der Basisdaten nach Sichtung erster Ergebnisse	85
6.2	Ein Modellvergleich zur ersten Plausibilisierung der Ergebnisse	89
6.3	Plausibilisierung des Modells mittels großräumiger Bilanzierungen	91
7	Modellkalibrierung und -validierung	93
7.1	Grundsätzliche Überlegungen	93
7.2	Modellanalysen zur Parametrisierung des SlowComp-Ansatzes	94
7.3	Validierung der landesweiten Basisparametrisierung	96
7.4	Potenziale für regionale Verbesserungen	103
7.4.1	Nutzung eines erweiterten SlowComp-Ansatzes mit Jahresgang.....	103
7.4.2	Weitere Analysen zur Grundwassermodellierung.....	106
7.4.3	Modellrechnungen zur Gewässerretention.....	109
7.4.4	Beispielhafte Darstellung der Anpassungspotenziale.....	110
8	Ergebnisse.....	113
8.1	Flächenbezogene Wasserhaushaltsgrößen	113
8.1.1	Landeswasserbilanz und mittlere Wasserhaushaltsergebnisse für Sachsen-Anhalt	113
8.1.2	Regionale Unterschiede der Wasserhaushaltsgrößen.....	116
8.1.3	Räumlich differenzierte Wasserhaushaltsgrößen.....	119
8.2	Zuflusskomponenten ins Gewässersystem und Gewässerabflüsse	129
9	Zusammenfassung.....	133
10	Ergebnisübergabe.....	135
11	Datenquellen und verwendete Unterlagen.....	137
12	Literatur.....	139
13	Anhang.....	148

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Simulation der Abflussbildung im Modul PSCN (oben) und nachgeschaltetes Einzellinearspeichermodell der Abbildung der lateralen unterirdischen Flüsse (unten).....	15
Abbildung 3-1: Aus den Oberflächenwasserkörpern abgeleitetes Modellgebiet	19
Abbildung 3-2: Modellgebiet mit den fünf Bundesländern	20
Abbildung 4-1: Räumliche Verteilung der verwendeten Bodenkarten	29
Abbildung 4-2: Ertragsklassen nach AEpot und SQR Ansatz	31
Abbildung 4-3: In ArcEGMO verwendete Ertragsklassen	31
Abbildung 4-4: Flurabstandsklassen in Sachsen-Anhalt (FUGRO-Datenbasis).....	32
Abbildung 4-5: Flurabstandsklassen im Modellgebiet (Bodendaten)	33
Abbildung 4-6: Synthetisierter Jahresgang des Grundwasserflurabstandes (MNGW: mittlerer Grundwassertiefstand, MHGW: mittlerer Grundwasserhochstand) (Auszug)	35
Abbildung 4-7: Lage der Flächen mit dynamischen Flurabständen.....	36
Abbildung 4-8: Räumliche Verteilung der verwendeten Lithofazies-Einheiten.....	38
Abbildung 4-9: Räumliche Verteilung von Drainageflächen im Modellgebiet.....	39
Abbildung 4-10: ATKIS BbIM25 - Niedersachsen	45
Abbildung 4-11: OBK-CIR Thüringen	48
Abbildung 4-12: Auszug aus der Kartieranleitung Thüringen.....	48
Abbildung 4-13: Einheitliche Landnutzungskarte für das Modellgebiet.....	50
Abbildung 4-14: Phänologische Stationen und Naturraumgruppen in Sachsen-Anhalt.....	52
Abbildung 4-15: Zuordnung der forstlichen Wuchsgebiete im Land Sachsen-Anhalt zu den LVG	55
Abbildung 4-16: Verwendete Geländedaten.....	57
Abbildung 4-17: Lage des HYRAS Modellgitters, Untersuchungsgebiet (rote Umrandung)	59
Abbildung 4-18: Vergleich der Flächenübertragung der Niederschläge aus HYRAS- und Stationsdaten	60
Abbildung 4-19: Vergleich der Flächenübertragung der Lufttemperatur aus HYRAS- und Stationsdaten	60
Abbildung 4-20: Vergleich der Flächenübertragung der Globalstrahlung aus HYRAS- und Stationsdaten	61
Abbildung 4-21: Vergleich der Flächenübertragung der relativen Luftfeuchte aus HYRAS- und Stationsdaten.....	61
Abbildung 4-22: Pegelstandorte und Einzugsgebiete.....	65
Abbildung 5-1: Höhe [mNN] im Untersuchungsgebiet	69
Abbildung 5-2: Gefälle [%] im Untersuchungsgebiet	70

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Abbildung 5-3: Hangausrichtung im Untersuchungsgebiet	71
Abbildung 5-4: Fließgewässer mit Teileinzugsgebieten und Oberflächenwasserkörper	73
Abbildung 5-5: Lage der Grenzpegel und Talsperren	75
Abbildung 5-6: Niederschlagsdifferenz von HYRAS Daten und stationsbezogenen Werten	78
Abbildung 5-7: Differenz der Tagestemperatur von HYRAS Daten und stationsbezogenen Werten	79
Abbildung 5-8: Differenz der Globalstrahlung von HYRAS Daten und stationsbezogenen Werten	80
Abbildung 5-9: Differenz der relative nLuftfeuchte von HYRAS Daten und stationsbezogenen Werten	81
Abbildung 5-10: HYRAS und Klimastationen	82
Abbildung 5-11: Vergleich der Niederschläge mit und ohne Richterkorrektur	84
Abbildung 5-12: Vergleich der akt. Verdunstung mit und ohne Niederschlagskorrektur nach Richter ...	84
Abbildung 6-1: Grundwasserganglinien im Mitteldeutschen Trockengebiet, an denen kaum Grundwasserneubildung zu erkennen ist	85
Abbildung 6-2: Grundwasserganglinien im Mitteldeutschen Trockengebiet, an denen Grundwasserneubildung zu erkennen ist	86
Abbildung 6-3: In ArcEGMO verwendete Ertragsklassen	87
Abbildung 6-4: Räumliche Verteilung der für die Modellierung verwendeten Flurabstandsklassen	88
Abbildung 6-5: Wasserhaushaltsgrößen verschiedener Modelle für Sachsen-Anhalt.....	90
Abbildung 6-6: Eigeneinzugsgebiete des Pegels Tangermünde und Calbe-Grizehne.....	92
Abbildung 7-1: Anpassung der 21 Kalibrierungspegel mit Abflussspenden $< 15 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$	97
Abbildung 7-2: Anpassung der Pegel mit Abflussspenden $> 8 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$	100
Abbildung 7-3: Anpassung der Pegel mit Abflussspenden $< 10 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$	101
Abbildung 7-4: Pegelbezogene Abweichungen des simulierten und gemessenen MQ (die Kalibrierungspegel sind durch Kreise hervorgehoben).....	102
Abbildung 7-5: Jahresgang für den Faktor der Speicherfüllung zweier verschiedener Parametersätze (Parametersatz1: $C = -1, D = 0.5$; Parametersatz2: $C = -0.5, D = 1.5$)	104
Abbildung 7-6: Verbesserung der Pegelanpassung mit EGMO-GW am Pegel Peseckendorf	106
Abbildung 7-7: Verbesserung der Pegelanpassung mit EGMO-GW am Pegel Laucha.....	107
Abbildung 7-8: Verbesserung der Pegelanpassung mit EGMO-GW am Pegel Trautenstein.....	107
Abbildung 7-9: Verbesserung der Pegelanpassung mit EGMO-GW am Pegel Stolberg.....	108
Abbildung 7-10: Verbesserung der Pegelanpassung mit EGMO-GW am Pegel Hanneckenbruch	108
Abbildung 7-11: Wirkung verschiedener Rückgangsfaktoren auf die Ganglinie am Pegel Barby.....	109
Abbildung 7-12: Wirkung verschiedener Rückgangsfaktoren auf die Ganglinie am Pegel Oschersleben	110

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Abbildung 7-13: Effizienzen an den Kalibrierungspegeln.....	111
Abbildung 7-14: Erreichte Effizienzen durch Kalibrierungsrechnungen (die Kalibrierungspegel sind durch Kreise hervorgehoben).....	112
Abbildung 8-1: Fläche für die Ermittlung der Landeswasserbilanz	114
Abbildung 8-2: Naturräumliche Gliederung Sachsen-Anhalts: 1 = Altmark / Drömling, 2 = Elbetal / glazialer Osten, 3 = Harz, 4 = Schwarzerdegebiet, 5 = Schwarzerderegeion im Regenschatten des Harzes	117
Abbildung 8-3: Wasserhaushaltsgrößen [mm/a] für die fünf Regionen	117
Abbildung 8-4: Räumliche Verteilung der Niederschläge.....	119
Abbildung 8-5: Räumliche Verteilung der berechneten potenziellen Verdunstung	120
Abbildung 8-6: Räumliche Verteilung der berechneten realen Verdunstung.....	122
Abbildung 8-7: Räumliche Verteilung der berechneten Sickerwassermengen	123
Abbildung 8-8: Räumliche Verteilung der berechneten langsamen Grundwasserkomponente	124
Abbildung 8-9: Räumliche Verteilung der berechneten schnellen Grundwasserkomponente	125
Abbildung 8-10: Räumliche Verteilung des berechneten hypodermischen Abflusses.....	126
Abbildung 8-11: Räumliche Verteilung des berechneten Drainageabflusses	127
Abbildung 8-12: Räumliche Verteilung des berechneten Oberflächenabflusses	128
Abbildung 8-13: Abflusskomponenten am Pegel Elend.....	129
Abbildung 8-14: Abflusskomponenten am Pegel Hadmersleben	130
Abbildung 8-15: Abflusskomponenten am Pegel Mansfeld-Leimbach.....	131
Abbildung 8-16: Abflusskomponenten am Pegel Alleringersleben.....	131
Abbildung 8-17: Abflusskomponenten am Pegel Dobbrun.....	132
Abbildung 10-1: Grundwasserkörper für die Aggregierung der Wasserhaushaltsergebnisse	136

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Bodenparameter für alle Horizonte jedes Bodentyps (+erforderlich, - optional).....	22
Tabelle 4-2: Übersicht über die für die jeweiligen Bundesländer verwendeten Bodenkarten.....	23
Tabelle 4-3: Ersetzungsreihenfolge der Nutzungstypen für die nutzungsbedingten Bodenprofile.....	24
Tabelle 4-4: Substitution der Humus-Klassen durch Humus-Werte.....	24
Tabelle 4-5: Substitution der Grobbodenklassen durch den Skelettanteil.....	25
Tabelle 4-6: Substitution der Lagerungsdichte-Klassen durch LD-Werte.....	25
Tabelle 4-7: ID-Bereiche der einzelnen Teilbodendatenbestände.....	28
Tabelle 4-8: Flurabstandsklassen mit repräsentativem Flurabstand	34
Tabelle 4-9: Tabelle mit DIFGA-Parametern	37
Tabelle 4-10: Übersicht der für die jeweiligen Bundesländer verwendeten Landnutzungsdaten	40
Tabelle 4-11: Kartierschlüssel Sachsen-Anhalt.....	42
Tabelle 4-12: Homogener Kartierschlüssel für das Modellgebiet.....	43
Tabelle 4-13: ATKIS BbIM25 - Niedersachsen (Auszug).....	44
Tabelle 4-14: Umcodierung Niedersachsen.....	44
Tabelle 4-15: Zuordnung der LVG zu den Naturraumgruppen (NRG, siehe Abbildung 4-14) in Sachsen-Anhalt mit je zehngliedriger Fruchtfolge.....	53
Tabelle 4-16: Forstliche Wuchsgebiete mit Ausdehnung und Anzahl der Wuchsbezirke (WB) in Sachsen-Anhalt, Haupt-Bestandestypen (IDSA - Landesschlüssel)	56
Tabelle 4-17: Pegel.....	63
Tabelle 6-1: Zur Modellierung verwendete Flurabstandsklassen.....	89
Tabelle 6-2: Charakterisierung und Ergebnisse der verschiedenen WH-Modelle.....	90
Tabelle 6-3: Simulierte Eigengebietsabflüsse der Pegel Tangermünde und Calbe-Grizehne.....	91
Tabelle 7-1: Bilanzfehler von gemessenen und simulierten mittleren Abflüsse (MQ) an allen betrachteten Pegeln	98
Tabelle 7-2: Auszug aus den Variationsrechnungen zur Anpassung des jahreszeitlich variablen Speichervolumen.....	105
Tabelle 8-1: Zu- und Abflüsse Sachsen Anhalts (1971-2000)	115
Tabelle 8-2: Mittlere Wasserhaushaltsgrößen (1971-2000).....	115
Tabelle 8-3: Mittlere Wasserhaushaltsgrößen der fünf Regionen.....	118

Abkürzungen und Symbole

4C	Waldwachstumsmodell nach LASCH ET AL. (2005)
A	Acker
a	Jahr
AEpot	Standortbezogenes ackerbauliches Ertragspotential
ArcEGMO	GIS-EinzugsGebietsMOdell (PFÜTZNER 2002; BECKER ET AL. 2002)
ArcEGMO-ST	Wasserhaushalts- und Niederschlags-Abfluss-Modell für Sachsen-Anhalt
ATKIS	Amtliches Topographisches Informationssystem (ATKIS) der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV)
BAH	Büro für Angewandte Hydrologie
BB	Brandenburg
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BKkonz	Bodenkonzeptkarte von Sachsen
BÜK	Bodenübersichtskarte
BGK50TH	Bodengeologische Konzeptkarte Thüringen
CIR	Color-Infrarot
cm	Zentimeter
d	Tag
DGM	Digitales Höhenmodell
dm	Dezimeter
DWD	Deutscher Wetterdienst
EFL	Elementarfläche (Modellierungseinheit in ArcEGMO)
EP	Potenzielle Verdunstung (auch GRV)

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

EPIC	Erosion-Productivity Impact Calculator Model (WILLIAMS ET AL. 1989; http://epicapex.brc.tamus.edu/)
ER	Verdunstung (reale)
FGW	Fließgewässerabschnitt
FK	Feldkapazität
FSK	Forstliche Standortkarte
g	Gramm
G	Grünland
GAK	Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes"
GIS	Geographisches Informationssystem
GRV	FAO Gras-Referenzverdunstung (auch EP)
GW	Grundwasser
GWFA	Grundwasserflurabstand
GWK	Grundwasserkörper
GWN	Grundwasserneubildung
GWP	Gewässerpunkt
ha	Hektar
HBU	Hainbuche
HU	Wärmeeinheit (heat unit)
HYK	Hydrogeologische Karte
HYRAS	Hydrometeorologische Referenzdaten für Mitteleuropa (Raster)
ID	Identifikationsnummer
IDS	Landesschlüssel Sachsen-Anhalt für forstliches Wuchsgebiet,
IDW	Inverse Distanzwichtung
K_RG1	Speicherkonstanten für schnellen Grundwasserabfluss

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

K_RG2	Speicherkonstanten für langsamen Grundwasserabfluss
KA5	Bodenkundliche Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODENKUNDE 2005)
KE	Kartiereinheit
kg	Kilogramm
km	Kilometer
L	Laubwald
LAI	Blattflächenindex
LAGB	Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt
LAGR	Landesamt für Geologie und Rohstoffe Brandenburg
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LHW	Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
LLFG	Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt
LNTZ	Landnutzung
LVG	Landwirtschaftliche Vergleichsgebiete
m	Meter, Monat
M	Mais
MHGW	Mittlerer Grundwasserhochstand
MGW	Mittlerer Grundwasserstand
MMK	Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkarte
MNGW	Mittlerer Grundwassertiefstand
MQ	Mittlerer Abfluss [m^3/s]
N	Nadelwald
NI	Niedersachsen
nFK	Nutzbare Feldkapazität [mm]
NRG	Naturraumgruppe nach MEYNEN & SCHMITHÜSEN (1953-62)
NSE	Nash-Sutcliffe Efficiency Coefficient

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

OWK	Oberflächenwasserkörper
PI	Korrigierter Niederschlag [mm/a]
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
PSCN	Plant-Soil-Carbon-Nitrogen Model im Rahmen von ArcEGMO (KLÖCKING 2009)
PWP	Äquivalent- (permanenter) Welkepunkt [Vol.%]
Q	Durchfluss
Qc	Gesamtabfluss im Gewässer
Q_Oberli	Oberliegerzufluss
Q_RG1	Abfluss der schnellen Grundwasserkomponente im FGW
Q_RG2	Abfluss der langsamen Grundwasserkomponente im FGW
Q_Drain	Drainageabfluss im FGW
Q_inter	Zwischenabfluss im FGW
Q_RO	Landoberflächenabfluss im FGW
Q_Extern	Externer Zufluss über die Grenzpegel
Ra	Winterraps
RD	Drainageabfluss
RG	Grundwasserabfluss
RG1	Abfluss der schnellen Grundwasserkomponente aus SlowComp
RG2	Abfluss der langsamen Grundwasserkomponente aus SlowComp
RGN	Nassflächenabfluss (-zehrung) aus SlowComp
RH	hypodermischer Abfluss (interflow)
RT	Abfluss über die Trennkanalisation
RO	Oberflächenabfluss
s	Sekunde
SE	Struktureinheit

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

SG	Sommernenggetreide
Smax	Maximale Speicherfüllung
SN	Sachsen
SQR	Müncheberger Soil Quality Rating
ST	Sachsen-Anhalt
SWAT	Einzugsgebietsmodell: Soil Water Assessment Tool (NEITSCH ET AL. 2005), auch SWAT2000 und SWAT2005
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TEI	Traubeneiche
TG	Teileinzugsgebiet
TGL	Technische Güte- und Lieferbedingungen
TH	Thüringen
T _D	Tageslänge
USDA	United States Department of Agriculture
VBK	Vorläufige Bodenkarte 1:50.000 von Sachsen-Anhalt (04.10.2004)
VEGEN	Generisches Vegetationsmodell in PSCN
W	Wald
WB	Forstlicher Wuchsbezirk
We	Durchwurzelungstiefe in cm
WH	Wasserhaushalt
WRRL	EU-Wasserrahmenrichtlinie
WW	Winterweizen
WR	Winterroggen
WG	Wintergerste
ZR	Zucker- und Futterrüben

1 Veranlassung, Zielstellung

Im Ergebnis dieser Untersuchung sollte ein einheitliches Instrument zur Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen geschaffen werden. Es sollte für wasserwirtschaftliche Planungen einsetzbar sein sowie für Konzeptionen des Neubaus und der Erweiterung von Anlagen zur Wasserspeicherung. Im Kontext von Grundwassererhebung bei überbetrieblicher Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Wasserressourcen und bei Aufgaben des Grundwasserkatasters zur einzugsgebietsbezogenen Ermittlung des vorhandenen Grundwasserdargebotes sollte es ebenso zum Einsatz kommen. Weiterhin sollte es für Maßnahmen zur naturnahen Gewässerentwicklung gemäß den Grundsätzen für die Förderung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen Punkte 2.3., 2.4 und 2.7 des GAK-Rahmenplanes 2011-2014 anwendbar sein.

Eine wesentliche Zielstellung der vorliegenden Untersuchung war die Ermittlung der Wasserhaushaltsgrößen

- Niederschlag PI,
- potentielle Verdunstung EP,
- reale Verdunstung ER,
- oberirdischer Abfluss RO,
- hypodermischer Abfluss RH,
- Drainageabfluss RDrain sowie
- schneller Grundwasserabfluss RG1 und
- langsamer Grundwasserabfluss RG2

für alle Oberflächen- und Grundwasserkörper in Sachsen-Anhalt für den Bezugszeitraum 1971 bis 2000.

Die Abgrenzung des Modellgebiets erfolgte anhand der Oberflächenwasserkörper Sachsen-Anhalts, die teilweise über die Landesgrenze hinausgehen, so dass das Modellgebiet das gesamte Gebiet Sachsen-Anhalts, aber auch Teilgebiete der fünf angrenzenden Bundesländer Brandenburg, Sachsen, Thüringen und Niedersachsen beinhaltet.

Die Modellkalibrierung und -validierung erfolgte für repräsentative Einzugsgebiete anhand von Tageswerten über den gesamten Modellzeitraum.

2 Modellgrundlagen

Grundlage für die hier durchgeführten Modelluntersuchungen war das hydrologische Modellierungssystem ArcEGMO. ArcEGMO (PFÜTZNER 2002; BECKER ET AL. 2002) ist eine hydrologische Toolbox, mit der alle wesentlichen Komponenten des Gebietswasserhaushaltes von den Wechselbeziehungen zwischen Atmosphäre-Vegetation-Boden bis hin zu den ober- und unterirdischen Abflusskonzentrationsprozessen bei Berücksichtigung von anthropogenen Steuerungen und natürlichen Störungen beschrieben werden können. Je nach Datenverfügbarkeit, Anwendungsmaßstab und Fragestellung können adäquate Teilprozessmodelle zu einem Gebietsmodell verknüpft werden. Eine ausführliche Modellbeschreibung inklusive diverser Anwendungsbeispiele befindet sich unter www.ArcEGMO.de.

Die Berechnung der Grundwasserneubildung erfolgt in diesem Projekt mit dem ökohydrologischen Abflussbildungsmodul PSCN (Plant-Soil-Carbon-Nitrogen Model; KLÖCKING 2009). Dieses Modell entstand durch die Kopplung verschiedener Wachstumsmodelle für Wald- und landwirtschaftliche Flächen mit einem detaillierten Bodenmodell und erlaubt somit die Simulation der saisonal wechselnden Wirkung der Vegetation auf den Landschaftswasserhaushalt. Durch die Nachschaltung des auf dem Lithofazies-Konzept in Kombination mit dem Differenzganglinienverfahren beruhenden Moduls SlowComp (SCHWARZE ET AL. 2004) wird eine plausible Aufteilung der unterirdischen Abflusskomponenten ermöglicht (Abbildung 2-1). Die Perkolation wird hierbei als Grundwasserneubildung in eine schnelle und eine langsame Komponente aufgeteilt. Diese Abflusskomponenten repräsentieren verschiedene Fließwege: den schnellen in Zersatz-, Störungs- und Zerrüttungszonen und den langsamen in Klüften und Poren.

Als treibende klimatische Größen werden Lufttemperatur, Niederschlag, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung in täglicher Auflösung verwendet, die durch die in ArcEGMO integrierten Regionalisierungsverfahren aus den Stationsdaten für jedes simulierte Raumelement berechnet werden.

Das Modell unterscheidet zwischen folgenden Abflusskomponenten, die in ihrer räumlichen und zeitlichen Genese simuliert und ausgewertet werden können:

- Oberflächenabfluss von nicht an das Kanalnetz angeschlossenen versiegelten und unversiegelten Flächen,
- Kanalisationsabfluss von versiegelten und teilversiegelten Flächen (Siedlungs-, Industrie- und Verkehrsflächen), unterteilt in Misch- und Trennkanalisationsabfluss,
- hypodermischer Abfluss aus der Bodenzone (Interflow über geneigten StauhORIZONTEN),
- Drainageabfluss,

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

- schnelle Grundwasserkomponente RG1,
- langsame Grundwasserkomponente RG2,
- Nassflächenabfluss (-zehrung) RGN.

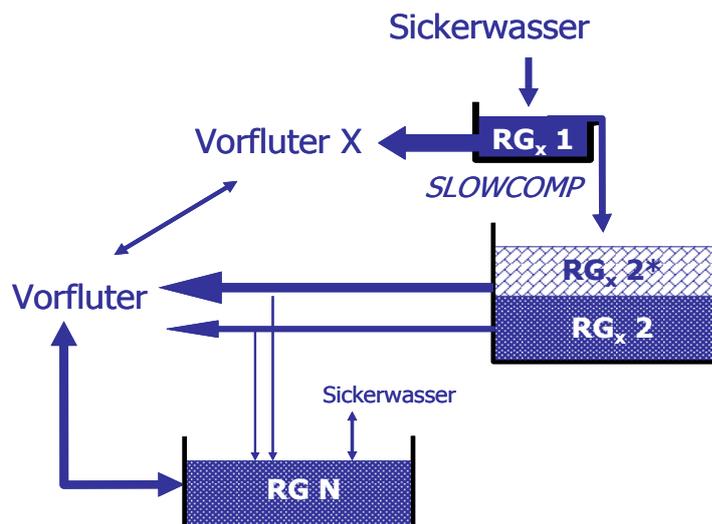
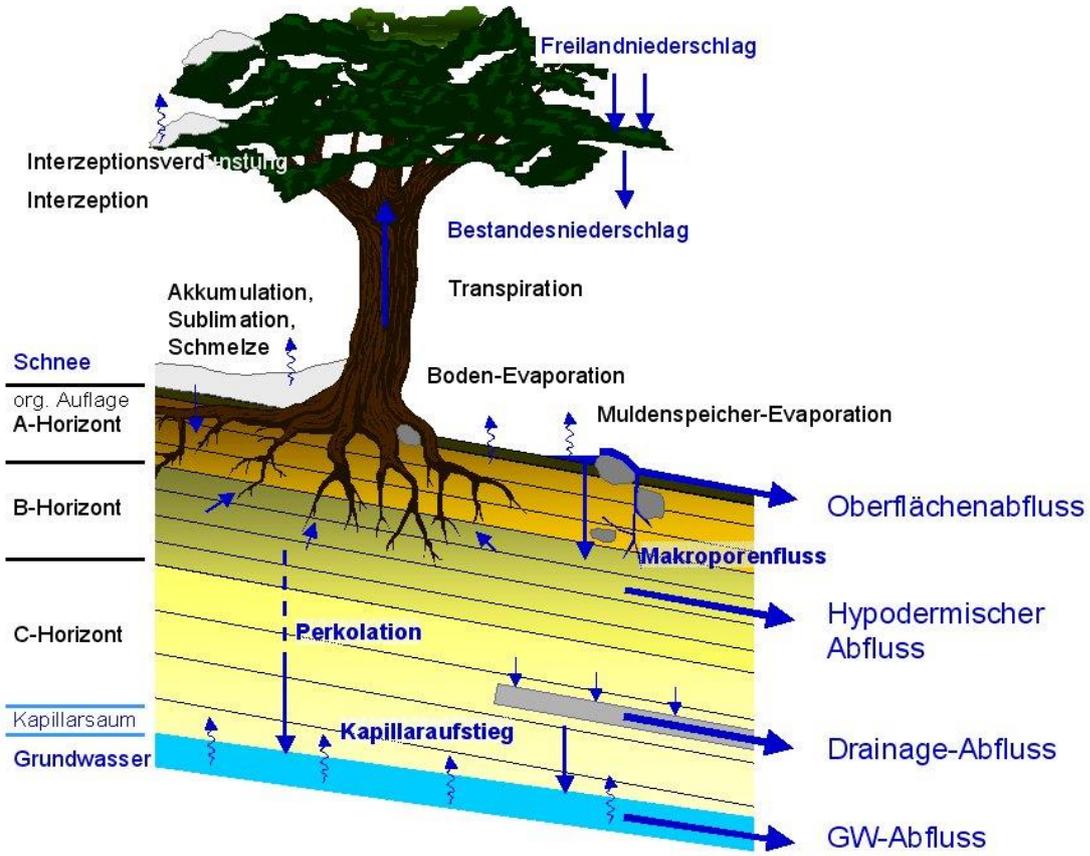


Abbildung 2-1: Simulation der Abflussbildung im Modul PSCN (oben) und nachgeschaltetes Einzellinearspeichermodell der Abbildung der lateralen unterirdischen Flüsse (unten)

ArcEGMO-PSCN enthält vier unterschiedliche Vegetationsmodelle, die sich den zwei Gruppen „gesteuerte Modelle“ und „Feedback-Modelle“ zuordnen lassen. Für makroskalige Wasserhaushaltssimulationen, wie z. B. der WH-Studie Sachsen-Anhalt (BAH 2007) bzw. Modellanwendungen für bekannte Vegetationsverläufe, haben sich die beiden, über zeitvariable Randbedingungen (vorgegebene Zeitfunktionen der Entwicklung phänologischer Kennwerte) gesteuerten Modellansätze bewährt.

Sind jedoch Szenariosimulationen oder die Abbildung nicht so gut beobachteter Standorte das Ziel der Modellanwendung, muss die Dynamik der Vegetationsdecke explizit in Abhängigkeit von der Witterung und den übrigen Standortbedingungen simuliert werden. Dafür stehen die beiden „Feedback-Modelle“ zur Verfügung. Neben dem Einsatz des Waldwachstumsmodells 4C (LASCH ET AL. 2005) hat sich ein generisches Wachstumsmodell auf der Basis eines Wärmesummenansatzes zur Simulation der phänologischen Entwicklung bewährt (KLÖCKING ET AL. 2005). Mit diesem Modell lassen sich auch die Erträge landwirtschaftlicher Kulturen in Abhängigkeit von den aktuellen Standortbedingungen und somit auch die Ertragsauswirkungen des Klimawandels auf den Ertrag für verschiedene Böden berechnen. Es handelt sich hierbei um eine vereinfachte Version des EPIC-Wachstumsmodells (WILLIAMS ET AL. 1989), wie sie auch in SWAT2000/2005 (NEITSCH ET AL. 2005) enthalten ist.

Die phänologische Modellierung folgt der sogenannten „Heat Unit Theory“. Diese beruht auf der Annahme, dass das Wachstum der Vegetation vor allem von der Temperatur gesteuert wird (BOSWELL 1926). Bei jeder Pflanze muss eine festgelegte Basistemperatur erreicht werden, bevor das Wachstum beginnt. Über dieser Schwellentemperatur beschleunigt sich das Wachstum mit steigenden Temperaturen bis zu einer Optimaltemperatur. Steigt die Tagesmitteltemperatur über die Optimaltemperatur, verlangsamt sich das Wachstum bis zu einer Maximaltemperatur, oberhalb derer schließlich das Wachstum endet. Eine „Heat Unit“ (HU) ist dabei die Differenz aus der Mitteltemperatur eines bestimmten Tages und der pflanzenspezifischen Minimaltemperatur. Die Ausbildung bestimmter phänologischer Stadien erfolgt anhand pflanzenspezifischer kumulierter HU.

Das Pflanzenwachstum erfolgt direkt proportional zur zugehörigen HU, begrenzt durch Stressbedingungen (Temperatur, Wasser-, Nährstoffmangel). Eine zentrale Stellung kommt dabei der Entwicklung des Blattflächenindex (LAI) zu. Alle übrigen Vegetationsgrößen (Biomasse, Ertrag, Wurzeltiefe, etc.) sowie die potenzielle Nährstoff- und Wasseraufnahme werden direkt oder indirekt in Abhängigkeit vom LAI berechnet.

Bei den mehrjährigen bzw. den Winterfruchtarten erfolgt die Berücksichtigung der Vegetationspause im Winter bei Unterschreitung einer minimalen (sortenunabhängigen) Tageslänge T_D , die sich aus der kürzesten Tageslänge im Jahr für einen Standort plus einem vom Längengrad abhängigen Summanden ergibt.

Die Simulation der primär lateral gerichteten Prozesse untergliedert sich in die Modellierung der Konzentration des Oberflächenabflusses, der Grundwasserdynamik sowie der Abflussprozesse in den oberirdischen Gewässern.

Für die Simulation der Konzentration des Landoberflächenabflusses zum Vorfluter wird die kinematische Welle angewendet. Dieser Ansatz beschreibt die Fließgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der aktuellen Effektivniederschlagshöhe, dem Geländegefälle und der Oberflächenrauheit (abhängig von der Flächennutzung).

Die Grundwasserkomponente wird über mehrere Einzellinearspeicher in einem Einzugsgebiet erfasst, die in Abhängigkeit von der Oberflächenmorphologie und ihrer Entfernung zum Vorfluter, vor allem aber in Abhängigkeit von der Hydrogeologie (Lithofazies-Konzept - SCHWARZE ET AL. 2004) ein unterschiedliches Zeitverhalten aufweisen.

Die Abflussprozesse in den oberirdischen Gewässern werden durch systemhydrologische Ansätze (Speicher-kaskaden, Kalinin-Miljukov-Verfahren von ROSEMAN & VEDRAL 1971) auf Basis der Fließgewässerabschnitte und der diesen zugeordneten Teileinzugsgebieten modelliert. Insbesondere in größeren Gebieten mit der Möglichkeit, über Pegelmessreihen eine Modellkalibrierung vorzunehmen, haben sich hierfür Speicheransätze bewährt. Diese werden u. a. über die Länge und das Gefälle des Vorfluters als maßgebende und leicht aus GIS-Daten ableitbare Eigenschaften für die sich ausbildende Abflussdynamik parametrisiert.

Eine Beschreibung der einzelnen Teilmodelle gibt PFÜTZNER (2002).

3 Bearbeitungsmethodik - Anforderung an die Modellierung

Bei der Bearbeitung wurde auf das 2005 erstellte und 2007 erweiterte, landesweite Modell ArcEGMO-ST zur Separation der Abflusskomponenten aufgesetzt, das im Auftrag des LHW im Zusammenhang mit der Bearbeitung der Aufgaben der WRRRL als Grundlage für die Einschätzung diffuser Stoffeinträge erstellt worden war. Dieses Modell wurde 2012 im Rahmen der Untersuchungen zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt aktualisiert.

In der aktuellen Bearbeitung waren weitere Aktualisierungen hinsichtlich der zu verwendenden Grundlagendaten vorzunehmen. Aus diesen neuen Basisdaten wurde ein komplett neues GIS-Modell aufgebaut und anhand repräsentativer Pegelreihen kalibriert. Das neue landesweite Modell wurde dann für die finalen Modellsimulationen der flächenbezogenen Wasserhaushaltskomponenten genutzt, die flächendeckend für das komplette Untersuchungsgebiet durchgeführt wurden. Im Vorfeld der eigentlichen Bearbeitung mussten die Grenzen des Untersuchungsgebietes festgelegt werden.

Diese Festlegung orientierte sich an der Ausdehnung der Oberflächenwasserkörper (OWK) und Teileinzugsgebiete (TG) in Sachsen-Anhalt (Abbildung 3-1), die teilweise über die

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Bundeslandgrenze Sachsen-Anhalts hinausgehen. Da die räumliche Ausdehnung der Oberflächenkörper und Teileinzugsgebiete in den letzten Jahren aktualisiert worden ist, änderte sich auch die Ausdehnung des Modellgebietes im Vergleich zum 2007 für Sachsen-Anhalt erstellten Landesmodell.

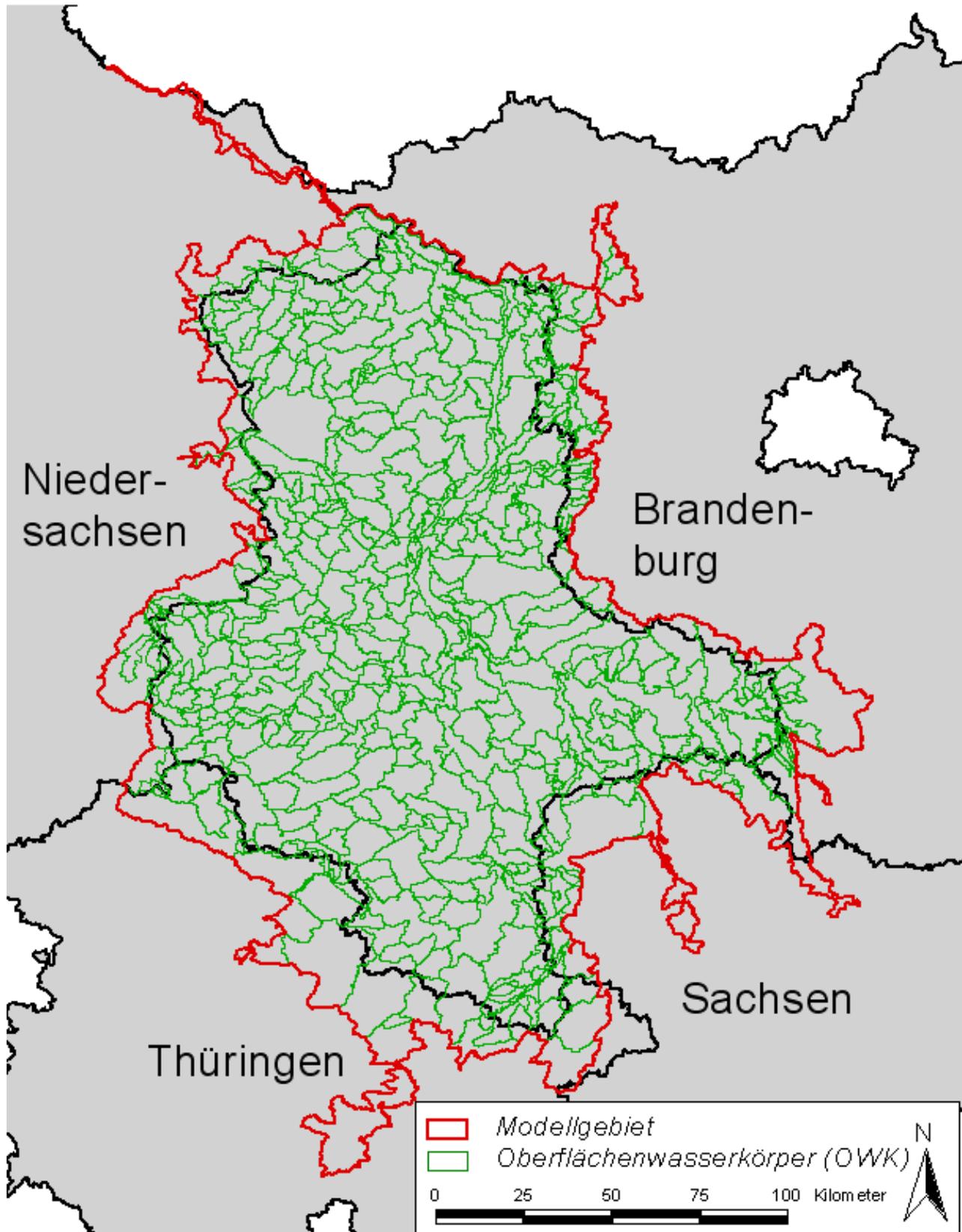


Abbildung 3-1: Aus den Oberflächenwasserkörpern abgeleitetes Modellgebiet

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Das so ausgegrenzte Modellgebiet liegt in fünf Bundesländern (Abbildung 3-2), aus denen die Basisdaten zusammengetragen wurden. Für die außerhalb Sachsen-Anhalts liegenden Modellflächen wurden die aktuellsten Datenbestände aus den benachbarten Bundesländern ins Modell integriert. Verwendet wurden nach Möglichkeit und Verfügbarkeit der Daten, die dort jeweils flächendeckend existieren und die eine mit den sachsen-anhaltinischen Daten vergleichbare inhaltliche und räumliche Auflösung besitzen. Sofern möglich erfolgte eine Homogenisierung mit den Landesdaten aus Sachsen-Anhalt.



Abbildung 3-2: Modellgebiet mit den fünf Bundesländern

4 Aufbereitung der Basisdaten

Für das neue Modellgebiet mussten folgende Daten aufbereitet werden:

- die Flächendaten wie Boden- und Landnutzungsinformationen, Geländemodell und Hydrogeologie,
- die hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Daten (Gewässernetz und Einzugsgebiete, Pegelreihen, Bauwerke inkl. ihrer Bewirtschaftung) und
- die meteorologischen Daten.

Da auch für etliche der Datengrundlagen aktualisierte Datenquellen zur Verfügung standen, wurden die Daten für die fünf Bundesländer neu beschafft und für die Modellerstellung neu aufbereitet.

Folgende Datengrundlagen standen in aktualisierter Form zur Verfügung:

- das Fließgewässernetz und die Teileinzugsgebiete,
- die Geländemodelle von Sachsen-Anhalt und Brandenburg,
- die Landnutzungskarten von Sachsen-Anhalt, Sachsen, Niedersachsen und Thüringen,
- die Bodenkarte von Sachsen-Anhalt, Sachsen, Niedersachsen und Thüringen,
- die Flurabstände für Sachsen-Anhalt,
- die Ertragspotenziale für Sachsen-Anhalt,
- die Abschätzung der Drainageflächen für Sachsen-Anhalt,
- der HYRAS-Datensatz für die meteorologischen Eingangsdaten.

Die Aufbereitung der benötigten Datengrundlagen wird im Folgenden erläutert. Die Erstellung des GIS-Datenmodells und die Verwendung der Datengrundlagen für das Modell werden in dem darauffolgenden Hauptkapitel (Kapitel 5) beschrieben.

4.1 Bodendaten

Für die Modellierung werden flächendeckende Bodendaten (Bodenkarten) benötigt, deren Einheiten jeweils ein Bodenprofil mit den Angaben der bodenphysikalischen Speichergrößen (Feldkapazität FK, nutzbare Feldkapazität nFK bzw. permanenter Welkepunkt PWP und Gesamtporenvolumen GVP) sowie Durchlässigkeitsbeiwerte der einzelnen Horizonte zugeordnet werden können. Die benötigten Bodeneingangsdaten sind in Tabelle 4-1 aufgeführt. Wenn nicht alle geforderten Größen vorliegen, können diese teilweise durch Standardparameter aus der KA5 ersetzt werden. Für welche Parameter eine Ersetzung aus der KA5 erfolgen kann, ist in Tabelle 4-1 vermerkt.

Tabelle 4-1: Bodenparameter für alle Horizonte jedes Bodentyps (+erforderlich, - optional)

Parameter/Bezeichnung	Dimension	Bemerkung
Boden ID	-	numerisch
Bodentyp	-	- Kurzbezeichnung nach KA4/5
Ertragspotential	-	- (0: keine bis 3: hoch)
Horizontnummer	-	numerisch, mit 1 in der obersten Schicht beginnend (auch wenn diese eine organische Auflage ist)
Horizontbezeichnung	-	-
Horizontmächtigkeit	mm	+
Durchwurzelungsintensität	-	(0-nicht durchwurzelt, 1- durchwurzelt)
Bodenart	-	+ Kurzbezeichnung nach KA4/5
Lagerungsdichte	g/cm ³	+ (alternativ: Trockenrohdichte)
Skelettanteil	Vol.%	+
Humusklasse	-	- Klasse 0 bis 7 nach KA4/KA5
Tongehalt	Masse%	+ (alternativ: Bestimmung nach KA4/KA5)
Schluffgehalt	Masse%	- (alternativ: Bestimmung nach KA4/KA5)
Sandgehalt	Masse%	- (alternativ: Bestimmung nach KA4/KA5)
Welkepunkt	Vol.%	+ (alternativ: Bestimmung nach KA4/KA5)
Feldkapazität	Vol.%	+ (alternativ: Bestimmung nach KA4/KA5)
Gesamtporenvolumen	Vol.%	+ (alternativ: Bestimmung nach KA4/KA5)
Makroporen	Vol.%	- (alternativ: modellinterne Abschätzung)
Gesättigte Leitfähigkeit	mm/h	+ (alternativ: Bestimmung nach KA4/KA5)

4.1.1 Beschreibung der verwendeten Bodendaten

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Die Datengrundlage für die Böden ist in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich. Tabelle 4-2 zeigt für die einzelnen Bundesländer die verwendeten Bodenkarten. Für eine einheitliche Beschreibung der Bodendaten in einem Gesamtmodell, das sich über mehrere Bundesländer erstreckt, mussten die Daten aneinander angeglichen werden. In den kleinmaßstäbigen Bodenkarten sind Fehlstellen, z. B. auf Flächen mit Ortslagen oder Gewässern, enthalten. Diese Bereiche wurden aus den Bodenkarten ausgeschnitten und mit der BÜK1000 ersetzt, sodass im gesamten Modellgebiet flächendeckend Bodendaten vorlagen. Teilweise ergaben sich an der Grenze zwischen zwei Bundesländern ebenfalls Fehlstellen. Diese wurden mit den Bodendaten benachbarter Flächen aufgefüllt.

Tabelle 4-2: Übersicht über die für die jeweiligen Bundesländer verwendeten Bodenkarten

Bundesland	Bodenkarte	Maßstab	Besonderheit
Sachsen-Anhalt	VBK50_ST	1:50 000	Zuordnung der nutzungsbezogenen Bodenprofile zu der Bodenkarte unter Verwendung der Landnutzung
Brandenburg	BUEK300_BB	1:300 000	größerer Maßstab als andere Bundesländer, geringer differenzierte Bodentypen
Sachsen	BKkonz_SN	1:50 000	Informationen aus MMK und FSK, keine Angabe der bodenphysikalischen Speichergrößen
Niedersachsen	BUEK50_NI	1:50 000	Konvertierung der Klassen und Ergänzung mit Gesamtporenvolumen
Thüringen	BGK50TH (Bodengeologische Karte)	1:50 000	keine Profilinformatio- nen, Substratinformatio- nen nur bis 1 m Tiefe
Gesamt	BUEK1000	1:1 000 000	sehr grobe Auflösung

4.1.1.1 Bodendaten Sachsen-Anhalt

Die vorläufige Bodenkarte (VBK) im Maßstab von 1:50 000 für Sachsen-Anhalt ist die aktuellste und umfassendste Bodenkarte, die in hoher Auflösung landesweit vorliegt. Sie ist in 1581 unterschiedliche Böden untergliedert, für die auch Profilingaben sowie die Ausweisung von Grundwasserbeeinflussung vorliegen.

Die Bodenprofile variieren je nach ihrem Nutzungstyp. Verwendete Nutzungstypen sind A = Acker, G = Grünland, W = Wald, L = Laubwald, N = Nadelwald.

Um Unstimmigkeiten mit der Landnutzungskarte zu vermeiden, wurde die Bodenkarte mit der Landnutzungskarte verschnitten und so die Böden nach den fünf Landnutzungstypen

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

klassifiziert. Dabei entstanden 677 Bodenklassifizierungen, die in der Profildatenbasis nicht enthalten waren. Es ergab sich beispielsweise ein Boden mit Laubwaldnutzung, für dessen Boden-ID nur ein Bodenprofil mit Mischwaldnutzung angegeben war oder ein anderer Boden mit Waldnutzung für dessen Boden-ID nur Bodenprofile mit Acker oder Grünlandnutzung vorlagen. Da diese nicht parametrisierten Böden aber nur 0,78% der Gesamtfläche betrafen, wurde für sie eine Ersetzung mit der jeweils ähnlichsten Nutzung der vorhandenen Bodenprofile vorgenommen.

Dabei wurde folgende stufenweise Ersetzungsreihenfolge gewählt: Für Wald wurde erst nach einem Laubwald- oder Nadelwaldbodenprofil gesucht. Wenn diese nicht vorhanden waren, wurde eine Ersetzung mit einem Grünland- oder - im schlechtesten Fall - mit einem Ackerbodenprofil vorgenommen. Entsprechend wurde mit Laub- und Nadelwaldböden vorgegangen. Für einen Ackerboden wurde als erstes nach einem Grünlandbodenprofil gesucht, dann nach einem Waldbodenprofil und wenn dieses nicht vorhanden war nach einem Laub- oder Nadelwaldbodenprofil. In einigen wenigen Fällen gab es auch für Grünlandböden keine Bodenprofile. Diese wurden vorzugsweise mit einem Acker Bodenprofil ersetzt, und wenn dies nicht vorhanden war, ebenfalls mit einem Wald-, Laubwald- oder Nadelwaldbodenprofil.

Tabelle 4-3: Ersetzungsreihenfolge der Nutzungstypen für die nutzungsbedingten Bodenprofile

Ausgangsnutzung	Schritt 1	Schritt 2	Schritt 3	Schritt 4
W	->L	->N	->G	->A
L	->W	->N	->G	->A
N	->W	->L	->G	->A
A	->G	->W	->L	->N
G	->A	->W	->L	->N

4.1.1.2 Bodendaten Niedersachsen

Die Bodenkarte für Niedersachsen im Maßstab 1:50 000 ist räumlich gut aufgelöst.

Die zugehörige Bodenprofilltabelle beinhaltet Angaben zur Humusklasse, Skelettklasse und Klasse der Lagerungsdichte, die zunächst in Werte zum Humusgehalt, Skelettgehalt und der Lagerungsdichte (in cm³/g) nach Tabelle 4-4 bis Tabelle 4-6 übersetzt wurden, da für das Bodenwassermodul PSCN die Einteilung in Klassen nicht verwendbar ist. Die Übersetzung der Klassen in Werte erfolgte in Anlehnung an die KA5, in der einer Wertespanne Klassen zugeordnet werden. Hier wurde invers verfahren: den einzelnen Klassen wurde jeweils der Mittelwert ihrer Wertespanne nach KA5 zugeordnet.

Tabelle 4-4: Substitution der Humus-Klassen durch Humus-Werte

Humus-Klasse	Humusgehalt (Massen%)
0	0
1	0.5
2	1.5
3	3
4	6
5	11.5
6	22.5
7	40

Tabelle 4-5: Substitution der Grobbodenklassen durch den Skelettanteil

Grobboden-Klasse	Skelettanteil (Vol%)
0	0
1	1
2	6
3	17
4	37
5	62
6	80

Tabelle 4-6: Substitution der Lagerungsdichte-Klassen durch LD-Werte

LD-Klasse	LD (cm ³ /g)
1	0.7
2	1.5
3	1.7
4	1.9
5	2.0

Den Bodenhorizonten konnten die nutzbare Feldkapazität, die Feldkapazität und der KF-Wert zugeordnet werden. Angaben für die Luftkapazität waren nicht enthalten, sodass das Gesamtporenvolumen aus der KA5 abgeleitet werden musste. Dabei musste darauf geachtet werden, dass die angegebenen und ergänzten Speichergrößen zusammenpassen, was nicht immer der Fall war. Teilweise waren die zugeordneten Feldkapazitäten höher als das Gesamtporenvolumen laut KA5. In diesen Fällen wurde das Gesamtporenvolumen durch Addition von Luftkapazität und Feldkapazität neu berechnet.

4.1.1.3 Bodendaten Sachsen

In der Bodenkonzeptkarte (BKkonz) für Sachsen sind Informationen aus der MMK (Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Kartierung) und der FSK (Forstliche Standortkartierung) zusammengetragen worden. Sie liegt im Maßstab 1:50 000 vor und beinhaltet 2020 unterschiedliche Böden. Damit ist sie die räumlich differenzierteste Bodenkarte der fünf verwendeten Bundesländer. Sie beinhaltet Angaben zu den Bodenarten inklusive Skelettangaben.

Die Zuordnung der bodenphysikalischen Speichergrößen wurde mittels der Bodenart aus der KA5 abgeleitet. Eine Begrenzung der Bodentiefe erfolgte über die Angabe von Stau- und Grundwassereinfluss der Bodenhorizonte.

4.1.1.4 Bodendaten Thüringen

Die Bodengeologische Konzeptkarte 1:50 000 ist räumlich gut aufgelöst.

Die zugehörige Bodentabelle beinhaltet Kennwerte für maximal drei Leitbodenformen einer Kartiereinheit auf der Grundlage der Standortregionaltypen der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkarte (MMK) sowie der Lokalbodenformen der Forstlichen Standortkarte (FSK). Die MMK-Angaben basieren auf TGL-Standard (Technischen Güte- und Lieferbedingungen) und wurden in Bodensubtypen und Bodenarten nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA5 (AD-HOC-AG BODENKUNDE 2005) übersetzt. Für die Substratart nach TGL wurde jeweils das Spektrum der Bodenarten nach KA5 aufgeführt. Eine näherungsweise Angleichung der Leitbodenformen an die Nomenklatur der Bodenkundlichen Kartieranleitung wurde der Legendenkartei nachträglich beigefügt (THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR GEOLOGIE 2000). In der Bodengeologischen Konzeptkarte 1:50 000 sind keine Horizontangaben oder Profilinformatoren enthalten. Für die Verwendung in ArcEGMO ist eine Untergliederung der Böden in einzelne Horizonte inklusive ihrer Mächtigkeiten aber notwendig. Zusätzlich trifft die Bodengeologische Karte wie auch die MMK nur Aussagen bis zu einem Meter Bodenmächtigkeit. Tiefer liegende Schichten sind nicht erfasst. In Zusammenarbeit mit dem LAGB (Dr. Feldhaus) wurde für die Bodengeologische Karte eine Bodenprofillabelle entwickelt, die den Anforderungen von ArcEGMO entspricht. Dazu waren folgende Arbeiten notwendig:

1. Ableitung der Bodenhorizonte / Schichtabfolge:

Das Bodenprofil mit der Horizontabfolge wurde aus den Angaben zu den Leitbodenformen Thüringens (THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR GEOLOGIE 2000) aus den Angaben „Petrographie des Substrates“ und „Bodenprofil“ abgeleitet und mit der Horizontabfolge der Bodentypen und Subtypen aus der KA5 abgeglichen bzw. ergänzt.

Die Zuordnung von Horizontmächtigkeiten erfolgte soweit möglich ebenfalls nach der Beschreibung der Leitbodenformen Thüringens, in der allerdings meist nur Mächtigkeiten für die ersten beiden Horizonte (oder auch Trennung von Substratschicht 1 und 2)

angegeben waren. Unterstützend wurden die Horizontmächtigkeiten aus der KA5 herangezogen.

Die durchwurzelbare Bodentiefe wurde nach unten hin als unbegrenzt angenommen, solange keine Angaben zu unterlagernden Fels oder nicht durchwurzelbaren Substratunterlagerungen gegeben waren.

2. Zuordnung der Bodenart nach KA5:

Der Bodenart TGL konnte jeweils eine Bandbreite von KA5-Bodenarten zugeordnet werden. Mithilfe der KA5 (AD-HOC-AG BODENKUNDE 2005 Tabelle 30, S.144) und den Angaben zu der Substratbeschaffenheit der Horizonte aus der Beschreibung der Leitbodenformen Thüringens (Thüringer Landesanstalt für Geologie 2000) wurde diese weiter eingegrenzt, sodass für jeden einzelnen Horizont eine Bodenart abschätzt werden konnte.

3. Staunässe- oder Grundwasserbeeinflussung:

Die Staunässe bzw. Tendenz zur Staunässe (ja – nein), sowie der mögliche Grundwassereinfluss wurden aus der Beschreibung der Leitbodenformen Thüringens (THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR GEOLOGIE 2000) entnommen.

4. Humus- und Skelettanteil:

Auch der Humus- und Skelettanteil (H7 = Torf; Skelett 100% = anstehender Fels) konnte mit der KA5 (AD-HOC-AG BODENKUNDE 2005, Tabellen 15 und Tabelle 33), sowie mit den Angaben aus der Beschreibung der Leitbodenformen Thüringens (THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR GEOLOGIE 2000) in etwa abgeschätzt werden.

5. Ertragspotenzial:

Das Ertragspotenzial (gering / mittel / hoch) des Bodens, sowie eine mögliche Melioration (ja, nein, evtl.) wurde anhand der Anbaueignung aus der Beschreibung der Leitbodenformen Thüringens (THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR GEOLOGIE 2000) abgeleitet.

4.1.1.5 Bodendaten Brandenburg

Für die brandenburgischen Gebiete wurde für die Grenzbereiche nach Sachsen-Anhalt vom Landesamt für Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LAGR) die BÜ300_BB geliefert. Diese im Maßstab 1:300 000 vorliegende Datenbasis ist die derzeit flächendifferenzierteste, landesweit vorliegende Bodenkarte für Brandenburg.

Im Vergleich zu den Nachbarländern ist diese Brandenburgische Bodenkarte eher gering aufgelöst. Sie unterscheidet weniger als 100 Bodentypen. Für die Parametrisierung werden die bodenphysikalischen Speichergrößen der dominanten Bodenformen innerhalb einer Legendeneinheit verwendet, die für die einzelnen Bodenhorizonte angegeben sind.

4.1.2 Erstellung einer einheitlichen Bodenkarte

Nachdem die Fehlstellen oder Flächen ohne Angaben (z. B. auch Siedlung, Gewässer) in den jeweiligen Bodenkarten mit der BÜK1000 ergänzt worden sind, wurden die Bodenkarten der einzelnen Bundesländer zusammengefügt. Da die Bodenkarten nicht exakt mit der räumlichen Ausdehnung der Bundeslandgrenzen übereinstimmten, wurden die Bodenkarten zuerst auf die jeweilige Bundeslandgrenze reduziert. Entstandene Fehlstellen wurden mit Böden der benachbarten Flächen aufgefüllt.

Vor dem Zusammenfügen der Einzeldatenbestände wurden die Legenden homogenisiert, indem die IDs der Einzelkarten in separate Adressräume transformiert wurden. So konnten Überschneidungen vermieden und eine Zuordnung zu den Kennwerten der ursprünglichen Bodeneinheiten ermöglicht werden. Auf eine Vereinheitlichung der Legenden und damit auf eine Reduzierung der Legendeneinheiten wurde verzichtet. Dies hätte ein beträchtliches pedologisches Spezialwissen erfordert. Im Ergebnis wäre die Differenzierung der Böden weitaus geringer als jetzt ausgefallen, was sich aber nur in geringeren Rechenzeiten niedergeschlagen hätte. Die folgende Tabelle 4-7 zeigt die Wertebereiche der IDs in den Ausgangskarten und in der Gesamtbodenkarte für das Modellierungsgebiet.

Tabelle 4-7: ID-Bereiche der einzelnen Teilbodendatenbestände

Bezugsraum	Bodenkarte	Anzahl Böden	Bereich der Ausgangs-IDs		neue KA4-ID	
			min	max	min	max
Fehlstellen	BÜK1000	70	1	72	1	72
Niedersachsen	BÜK50	564	206	30656	101	694
Brandenburg	BÜK300	98	1	99	701	798
Thüringen	BÜK50	69	1111	6111	801	869
Sachsen-Anhalt	VBK	1582	1800	4452	1000	2582
Sachsen	BKkonz	2019	1	2020	3001	5020

Allen Bodenkarten wurden dieselben Attribute zugeordnet:

- Original Boden-ID (Ori_ID),
- ArcEGMO Boden-ID (AE_BOD),
- Herkunft (Name der Bodenkarte),

- Name des Bundeslandes.

Anschließend wurden die sechs Bodenkarten zusammengefügt.

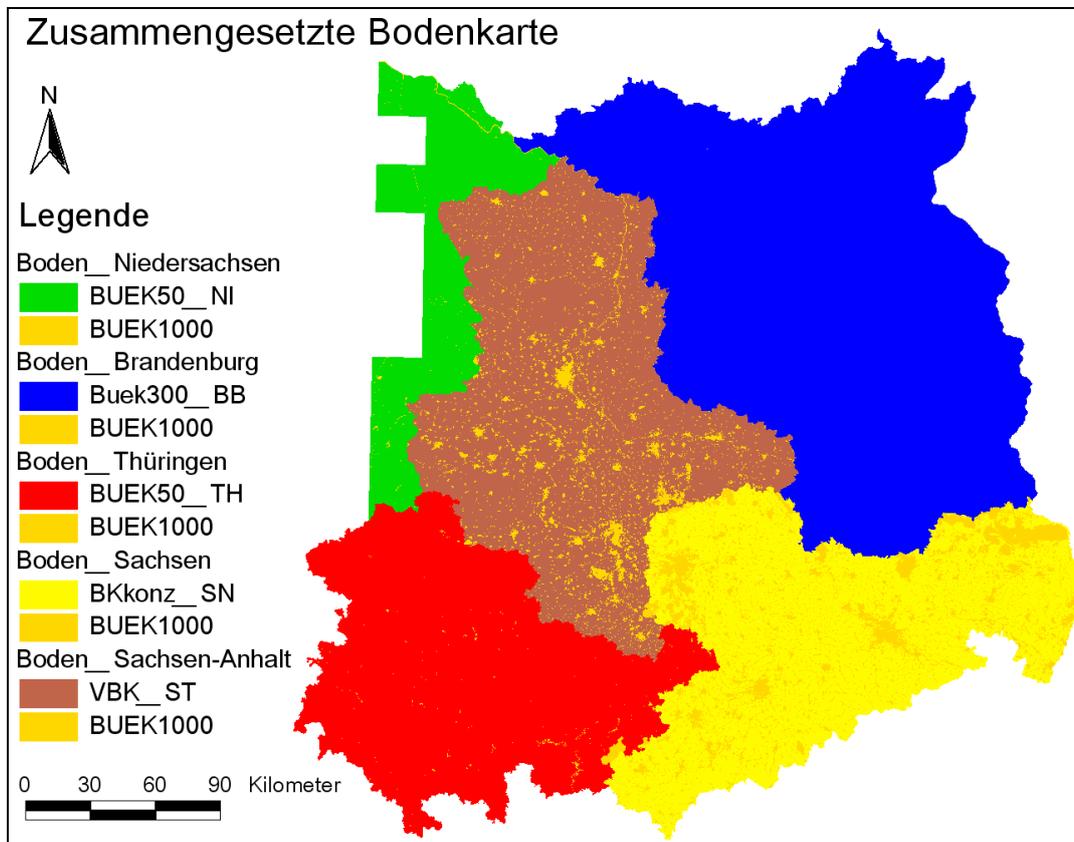


Abbildung 4-1: Räumliche Verteilung der verwendeten Bodenkarten

4.1.3 Verlängerung der Bodenprofile

Die Ausschöpfbarkeit der ungesättigten Bodenzone durch die Pflanzendurchwurzelung richtet sich nach der Durchwurzelungstiefe der Vegetation. Mit dem Vegetationswachstumsmodell VEGEN ist die Durchwurzelungstiefe aber keine fest vorgegebene Größe, sondern wird pro Zeitschritt in Abhängigkeit vom Wasser- und Wärmeangebot neu berechnet. Um zu gewährleisten, dass die Ausschöpfungstiefe nicht durch die vorgegebenen Mächtigkeiten der Bodenprofile begrenzt wird, wurden die Bodenprofile unter der Annahme, dass die Pflanzen auch tieferliegende Bodenschichten erreichen können, wenn das unterlagernde Substrat dies zulässt, auf 2 Meter erweitert. Für die VBK-Böden mit den IDs 1843, 1851, 1863, 1943, 1961, 2012, 2178, 2302, 2360, 2723, 2724, 3076, 3925, 3926, 3929, 4049, 4449 und 4452 wurde auf Empfehlung von Herrn Helbig (LAGB) unterhalb des Bodenprofils noch ein zusätzlicher Horizont eingefügt, da sich das Substrat dieser Böden unterhalb des angegebenen Bodenprofils ändert. Für alle anderen Böden wurde in Absprache mit Herrn Feldhaus (LAGB) die Verlängerung der Bodenprofile im untersten Bodenhorizont verwirklicht, wenn keine

anderen Angaben dagegen sprachen. Keine Verlängerung der Bodenprofile erfolgte, wenn Angaben wie die effektive Durchwurzelungstiefe (W_e in cm), der Grundwasserflurabstand oder Stauwasserbeeinflussung der Böden und die Festgesteinsunterlagerung der Böden als Begrenzung der potentiellen Ausschöpftiefe angegeben waren. Die dafür benötigten Grundwasserflurabstände wurden anhand der in der VBK50 für Sachsen-Anhalt, der BÜK50 für Niedersachsen und der Bkkonz für Sachsen enthaltenen Angaben zum Schwankungsbereich des Grundwassers (mittlerer Grundwasserhochstand MHGW und mittlerer Grundwassertiefstand MNGW) für die einzelnen Bodenprofile abgeleitet, in dem das arithmetische Mittel aus beiden gebildet wurde.

4.2 Ertragsklassen

Das LAGB stellte die flächendeckenden Ertragsklassen zur Verfügung, die nach zwei verschiedenen Methoden abgeleitet worden sind:

- das standortbezogene ackerbauliche Ertragspotential (AEpot) und
- das Müncheberger Soil Quality Rating (SQR).

Das Ertragspotential (AEpot) widerspiegelt die Fähigkeit des Bodens, ein ertragreiches und gesundes Wachstum von Kulturpflanzen zu ermöglichen. Als Eingangsdaten fungieren die bodenkundliche Feuchtestufe, der gewichtete Tongehalt im effektiven Wurzelraum und die effektive Durchwurzelungstiefe.

Das Müncheberger Soil Quality Rating (SQR) ist ein Verfahren zur einheitlichen Quantifizierung der Eignung und Limitierung von Böden hinsichtlich ihrer Nutzung als Ackerland oder Grasland über größere Regionen (MÜLLER ET AL. 2007 & 2008). Für die Bodenbewertung werden das Bodensubstrat, der Humusvorrat im Ap-Horizont, die effektive Durchwurzelungstiefe, die nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum, der Grundwassereinfluss und die Hangneigung ausgewertet.

Da die Ermittlung der Ertragsklassen nach der Müncheberger Methode als die genauere und plausiblere (Dr. Feldhaus) eingeschätzt wird, wurde sie zur Erstellung der Ertragsklassen für ArcEGMO verwendet. Für die Modellierung in ArcEGMO wird lediglich eine dreistufige Einteilung der Ertragsklassen benötigt. Dazu wurden die Klassen eins und zwei als gering eingestuft, die Klassen drei und vier wurden als mittlere Ertragsklasse verwendet und lediglich die Ertragsklasse fünf wurde für hohe Erträge gewertet. Die nicht belegten Flächen (999) wurden mit der mittleren Ertragsklasse belegt, ebenso die Flächen der benachbarten Bundesländer, für die keine Zuordnung zu einer Ertragsklasse möglich war. Für die thüringischen Flächen wurde die Ertragsfähigkeit des jeweiligen Bodens aus der Anbaueignung abgeleitet. Zusätzlich wurde gewährleistet, dass die hohen Ertragsklassen nur auf Flächen mit Ackernutzung angesetzt wurden.

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Die in ArcEGMO verwendete räumliche Verteilung der Ertragsklassen ist in Abbildung 4-3 dargestellt.

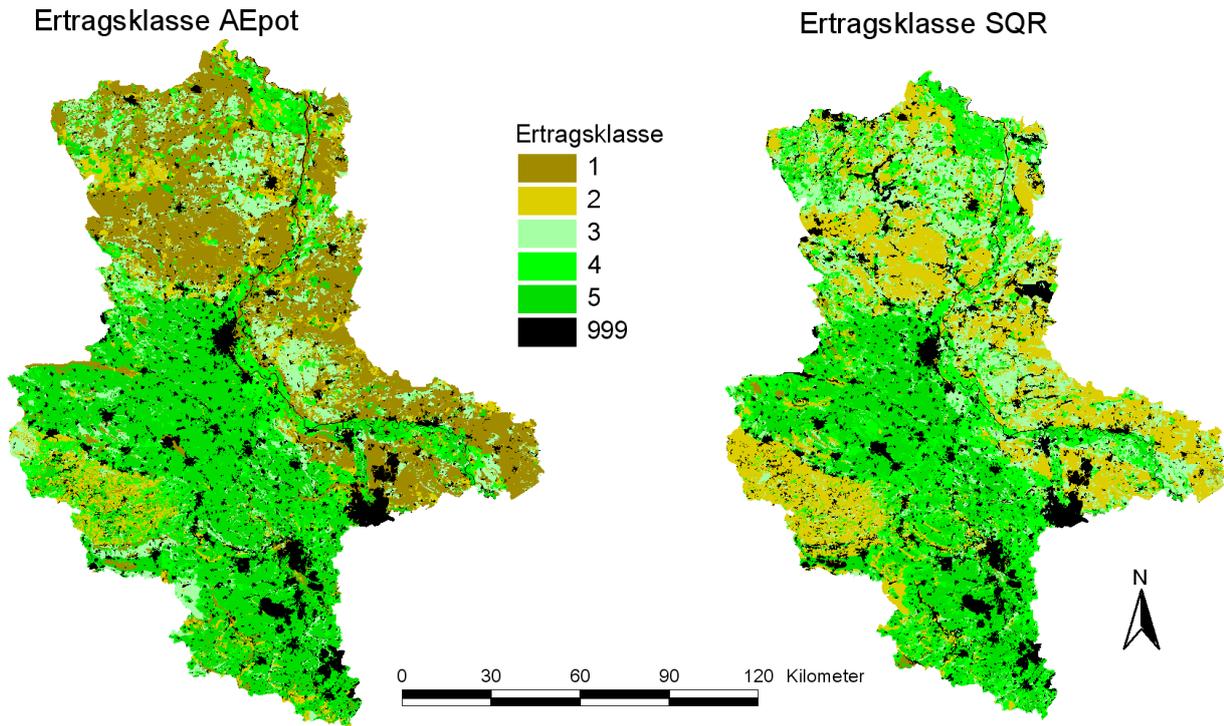


Abbildung 4-2: Ertragsklassen nach AEpot und SQR Ansatz

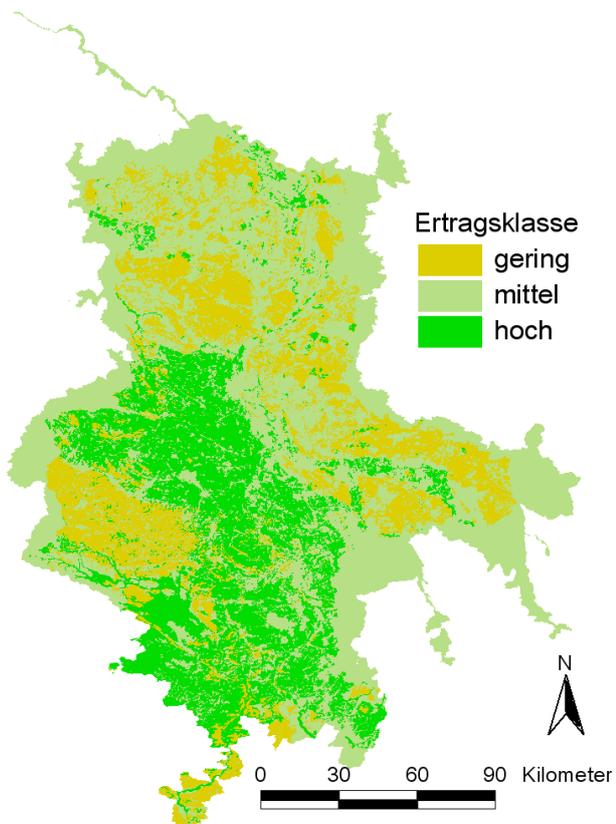


Abbildung 4-3: In ArcEGMO verwendete Ertragsklassen

4.3 Grundwasserdaten

4.3.1 Mittlere Grundwasserflurabstände und –klassen

Für die Ableitung der Grundwasserflurabstandsklassen standen zwei Datenquellen zur Verfügung:

1. die Grundwasserflurabstände aus dem Projekt „Ausweisung vernässungsgefährdeter Bereiche in Sachsen-Anhalt“ von FUGRO (2011) und
2. die Angaben zum mittleren Grundwasserhöchststand (MHGW) und Grundwassertiefststand (MNGW) aus den Bodenkarten VBK50 für Sachsen Anhalt, der BÜK50 für Niedersachsen und der Bkkonz für Sachsen.

Die von FUGRO erstellte Grundwasserflurabstandskarte stellt den mittleren Grundwasserstand im oberen, wasserwirtschaftlich relevanten Grundwasserleiter für Mittelwasserverhältnisse dar (siehe Abbildung 4-4). Belastbare Grundwasserflurabstände beschränken sich auf den Lockergesteinsbereich. Vor allem in der Harzregion sind die angegebenen Grundwasserflurabstände aufgrund fehlender Angaben zu nutzbaren Grundwasserleitern nicht belastbar.

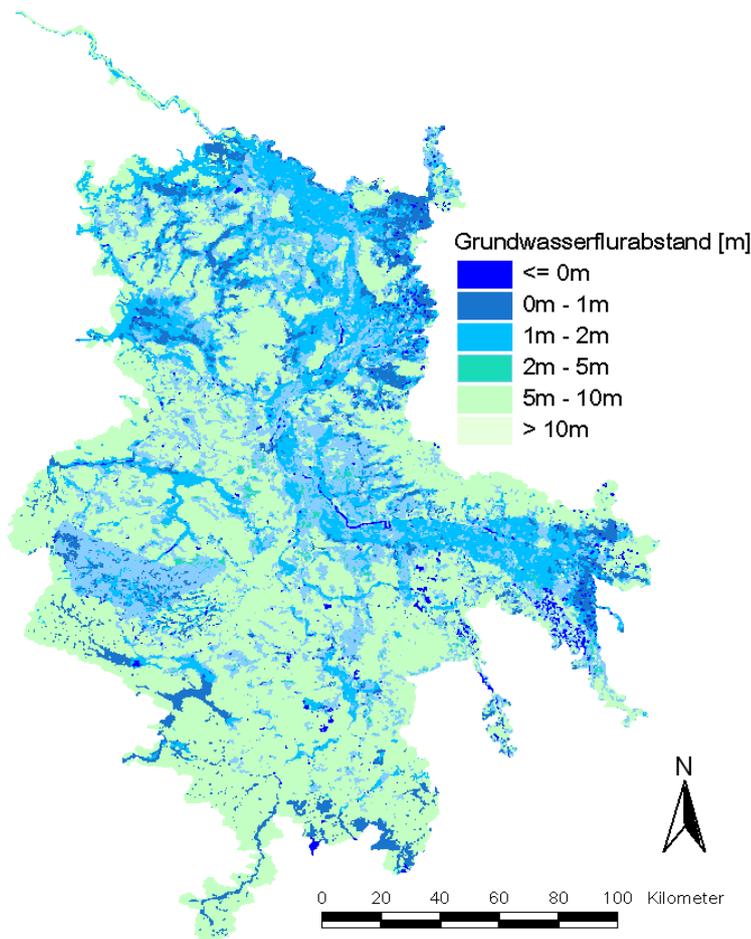


Abbildung 4-4: Flurabstandsklassen in Sachsen-Anhalt (FUGRO-Datenbasis)

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Einige Bodenkarten enthalten Angaben zum Schwankungsbereich des Grundwassers für die einzelnen Bodenprofile. In den Bodenkarten VBK für Sachsen-Anhalt, BÜK50 Niedersachsen und Sachsen (BKkonz) ist der mittlere Grundwasserhochstand (MHGW) und der mittlere Grundwassertiefstand (MNGW) angegeben, welche aus den Go- und Gr-Horizonten (G = Grundwasser, o = oxidiert, r = reduziert) der Bodenprofile abgeleitet wurden. Aus diesen wurde das arithmetische Mittel zur Ermittlung des mittleren Grundwasserflurabstandes gebildet. Für die in Thüringen gelegenen Gebiete wurde der mittlere Grundwasserflurabstand aus der Angabe der Grundwasserbeeinflussung der Böden abgeleitet. Für die Brandenburger Gebiete wurden Angaben zur Grundwasserbeeinflussung aus dem ArcEGMO-basierten Landesmodell übergeben.

Die räumliche Verteilung der sich aus den Bodendaten abgeleiteten Flurabstandsklassen ist in Abbildung 4-5 dargestellt.

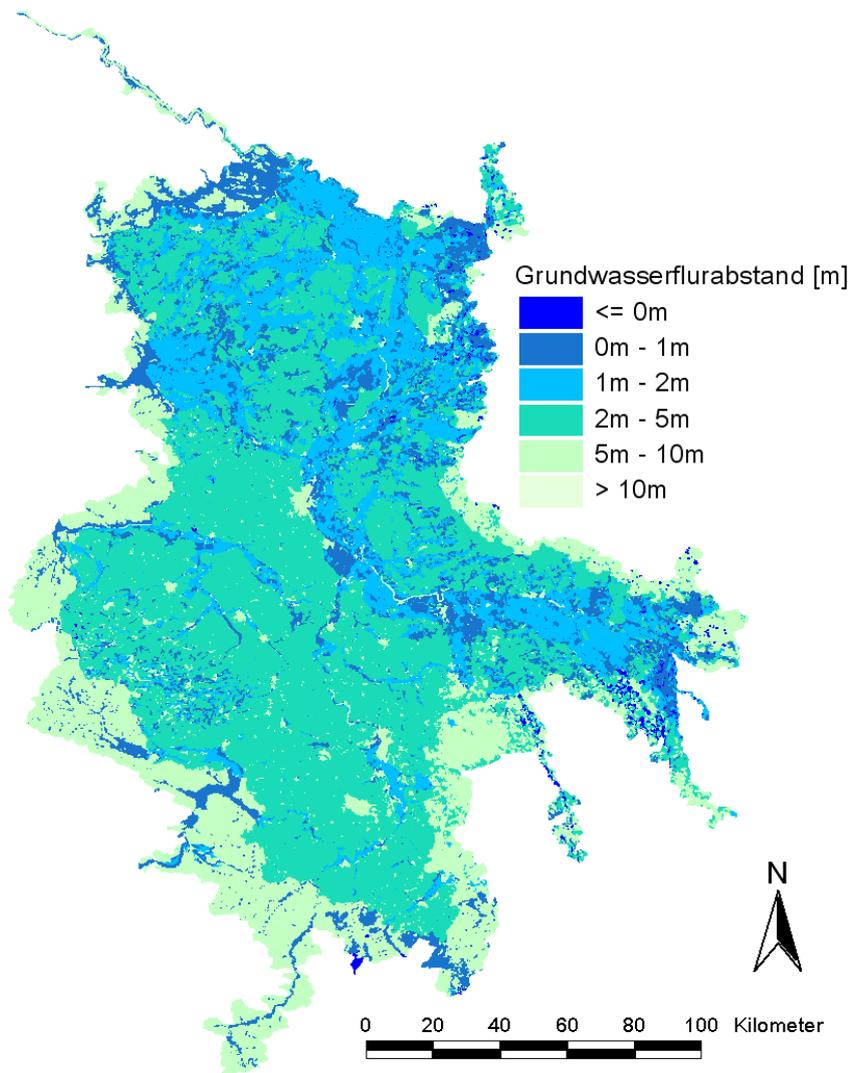


Abbildung 4-5: Flurabstandsklassen im Modellgebiet (Bodendaten)

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Bei Betrachtung der räumlichen Verteilung der Flurabstände fällt auf, dass ein Großteil der in Sachsen-Anhalt gelegenen Flächen der Flurabstandsklasse 2 - 5 m zugeordnet ist, während die benachbarten Flächen angrenzender Bundesländer der Flurabstandsklasse 5 - 10 m angehören. Das kann darauf zurückgeführt werden, dass fundierte Angaben größerer Flurabstände in den Bodendaten von Sachsen, Thüringen und Niedersachsen nicht möglich sind, weil die Bodenprofile diese Tiefe nicht erreichen. Flächen ohne Angaben wurden der größten Flurabstandsklasse zugeordnet. In Sachsen-Anhalt wird dagegen für eine große Anzahl an Flächen ein mittlerer Grundwasserflurabstand (MGW) mit 30 dm angegeben.

Wie die Gegenüberstellung der beiden Flurabstandskarten zeigt, unterscheiden sich die Flurabstandsklassen teilweise stark voneinander. Die aus den Bodendaten abgeleiteten Flurabstände sind geringer als die im Vernässungsprojekt (FUGRO 2011) angegebenen Werte. Für die Modellierung wurden daher vorerst beide Datengrundlagen aufbereitet und die Beeinflussung der Ergebnisse in einer Vergleichsrechnung ausgewertet. Die für die endgültige Modellierung verwendeten Flurabstandsklassen sind im Kapitel Kalibrierung dargestellt.

Die Flurabstände wurden für die Modellierung in folgende Flurabstandsklassen (GWFA) unterteilt.

Tabelle 4-8: Flurabstandsklassen mit repräsentativem Flurabstand

GWFA-Klasse	Flurabstand [m]	Repräsentativer Flurabstand [m]
1	0 - 0,2	0,2
2	0,2 - 1	0,8
3	1 - 2	1,5
4	2 - 5	4,5
5	5 - 100	5

4.3.2 Dynamische Grundwasserflurabstände (Grundwassergang)

Auf Flächen mit geringen Flurabständen (<2m) ist die Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen Vegetation und Grundwasser von großer Wichtigkeit für die Simulation der Wasserhaushaltsgrößen Evapotranspiration und Sickerwasser. Vor allem, wenn auch die Vegetation mit veränderlichen Wurzeltiefen im Modell abgebildet wird, ist die Berücksichtigung des innerjährlichen Grundwassergangs sinnvoll. Daher wurden der mittlere Grundwasserhochstand (MHGW) und der mittlere Grundwassertiefstand (MNGW) aus den Bodenkarten VBK50 für Sachsen Anhalt, der BÜK50 für Niedersachsen und der Bkkonz für Sachsen für die Zuordnung mittlerer Jahresschwankungen des Grundwasserflurabstandes zwischen dem MNGW in Absenkungsperioden (Hoch- und Spätsommer) und dem MHGW in Zeiten geringer Flurabstände (Februar bis März) herangezogen.

Die ursprünglich im Landesmodell Sachsen-Anhalt enthaltenen 10 Grundwassergänge wurden auf insgesamt 70 Klassen erweitert, um alle angegebenen Schwankungsbereiche zu erfassen. In Abbildung 4-6 ist eine Auswahl der erstellten Jahressgänge für verschiedene Tiefen dargestellt.

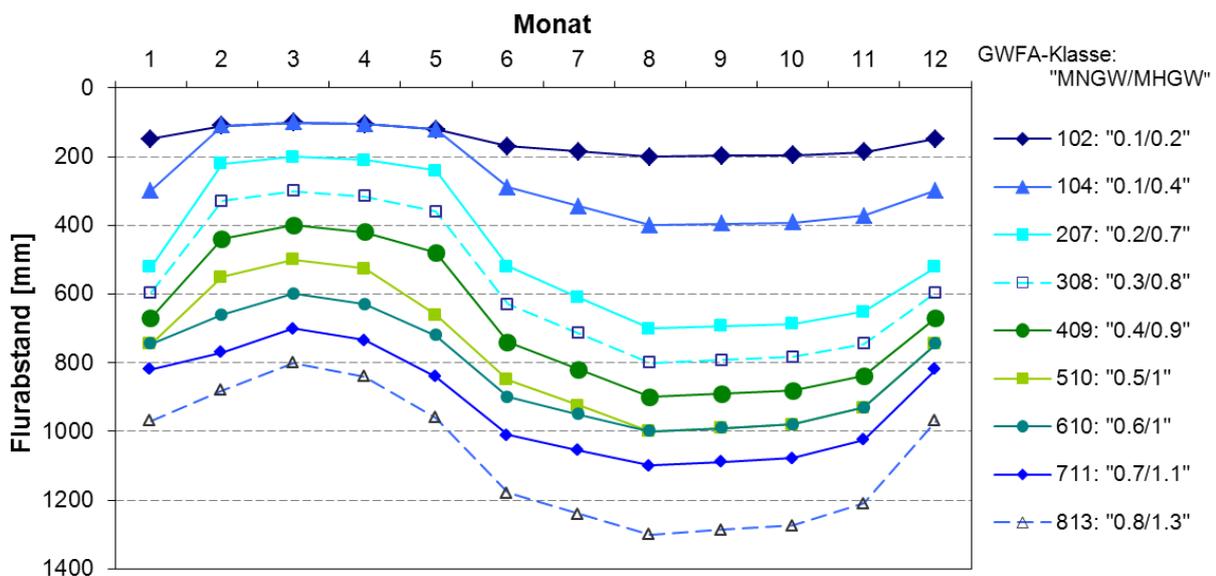


Abbildung 4-6: Synthetisierter Jahressgang des Grundwasserflurabstandes (MNGW: mittlerer Grundwassertiefstand, MHGW: mittlerer Grundwasserhochstand) (Auszug)

Auf drainierten Flächen wurden keine Grundwasserschwankungen angenommen, da diese durch die Drainagen annähernd auf demselben Niveau gehalten werden.

Die Flächen, für die ein Jahressgang des Grundwasserflurabstandes vorgegeben wird, sind in der Abbildung 4-7 gekennzeichnet. Sie liegen typischerweise in den Auen und grundwassernahen Gebieten. Es wird aber auch deutlich, dass für Brandenburg und Thüringen

keine Angaben zum Schwankungsbereich des Grundwassers vorlagen und es somit hier zu einem Bruch an den Landesgrenzen kommt.

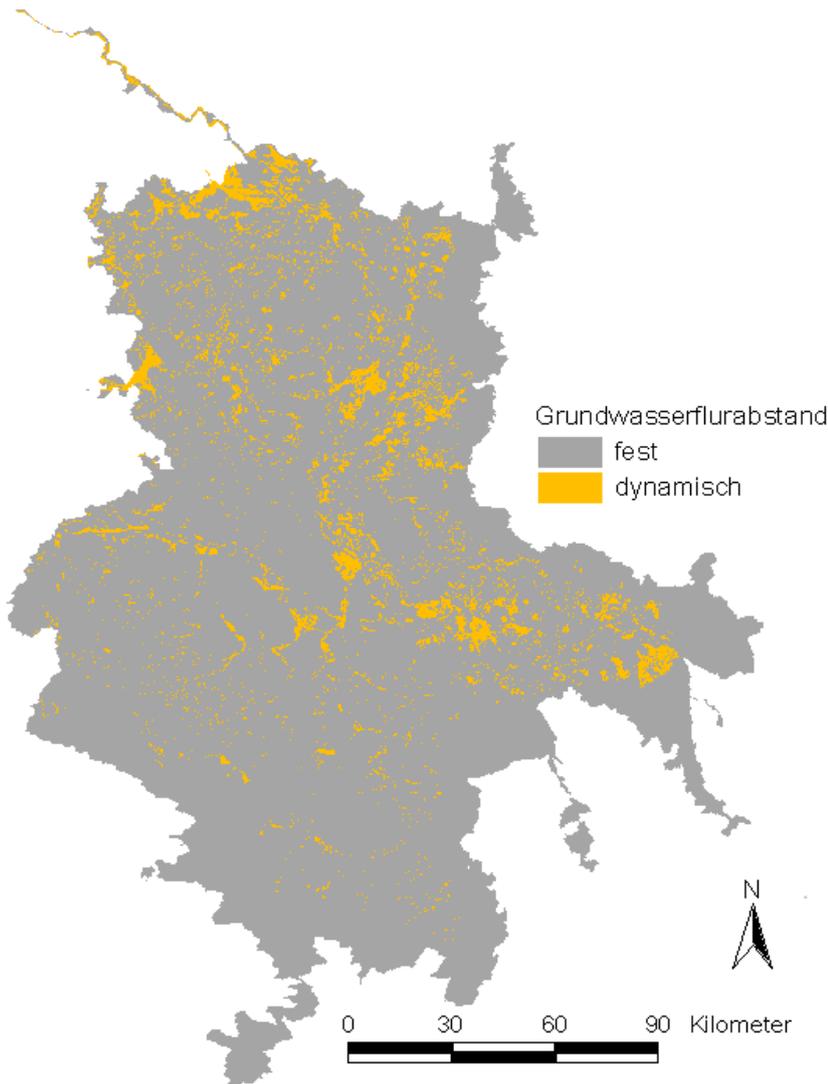


Abbildung 4-7: Lage der Flächen mit dynamischen Flurabständen

Für die Bundesländer Thüringen und Brandenburg konnte aufgrund der fehlenden Angaben von MNGW und MHGW keine Grundwasserdynamik ins Modell integriert werden. Für Thüringen ist dies auch wenig relevant, da im Süden des Modellgebiets ohnehin überwiegend größere Flurabstände auftreten. An der Landesgrenze zwischen Sachsen-Anhalt und Brandenburg kommt es dagegen sowohl in nördlichen als auch in südlichen Abschnitten zu einem Wechsel von dynamischen zu statischen Grundwasserflurabständen. Der Einfluss auf die Modellergebnisse wird aber aufgrund des geringen Flächenanteils der betroffenen Flächen als gering eingeschätzt.

4.3.3 Lithofazies-Einheiten und SlowComp-Parameter

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Für die Verlagerung des Bodenwassers in der ungesättigten Bodenzone unterhalb der Bodenprofile wurde der SlowComp-Ansatz (SCHWARZE 2004) verwendet, anhand dessen die Abflusskonzentration im Grundwasser über Einzellinearspeicher parametrisiert werden kann.

Für Sachsen-Anhalt liegen die SlowComp-Parameter flächendeckend vor (SCHWARZE 2004). Für die benachbarten Bundesländer wurde im LAGB eine Zuordnung über die HYK200 vorgenommen, sodass allen Modellflächen eine Lithofazies-ID zugewiesen werden konnte. Die SlowComp-Parameter K_{RG1} , K_{RG2} und S_{max} (Speicherkonstanten für den schnellen und langsamen Grundwasserabfluss und maximale Speicherfüllung) variierten innerhalb der Lithofazies-Einheiten. Darum wurden innerhalb einer Lithofazies-Einheit jeweils der Mittelwert, das Minimum und das Maximum dieser Parameter ermittelt (siehe Tabelle 4-9). Bei der Modellkalibrierung wurden die SlowComp-Parameter innerhalb dieser Wertespanne angepasst.

Zusätzlich wurde eine neue Lithofazies-Einheit für die Auen hinzugefügt, die die Standorte beschreibt, deren Flurabstand weniger als 1 m beträgt. Die Parameter (K_{RG1} , K_{RG2} und S_{max}) für die Auen wurden aus der Lithofazies-Tabelle des 2007er Modellstandes (Bericht 2007) übernommen, in der die Auen als eigenständige Klassen enthalten waren. Einige Flächen mussten umklassifiziert werden, da für sie keine Parameter vorhanden waren: Den Flächen mit der Lithofazies-Klasse 66 (= Unklassifizierte) wurde die Lithofazies-Einheit der jeweils nächstgelegenen Nachbarfläche zugeordnet. Die ID 88 (= anthropogene) wurde den Gewässern zugeordnet, da für beide keine Retention angenommen wurde.

Tabelle 4-9: Tabelle mit DIFGA-Parametern

ID	BEZEICHNUNG	K_{RG1}	K_{RG1}	K_{RG1}	K_{RG2}	K_{RG2}	K_{RG2}	SMA	SMA	SMA
		mit	min	max	mit	min	max	Xmit	Xmin	Xmax
2	Lockergestein	14	11	18	512	460	640	11	1	22
3	Buntsandstein	15	10	18	752	750	791	18	3	106
4	Sandstein	10	10	10	610	610	610	6	5	6
5	Rotliegend Molasse, Konglomerat	9	9	9	425	425	425	2	1	4
6	Flysch	8	8	8	410	410	410	0	0	0
7	Magmatisches Tiefengestein	10	10	10	355	355	355	20	1	42
8	Gneis	12	12	12	340	340	340	33	18	47
10	Quarzit/ Phycodenschiefer	11	11	11	350	350	350	0	0	0
12	Grauwacke	9	9	9	320	320	320	0	0	0

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

ID	BEZEICHNUNG	K_RG1	K_RG1	K_RG1	K_RG2	K_RG2	K_RG2	SMA	SMA	SMA
		mit	min	max	mit	min	max	Xmit	Xmin	Xmax
13	Magmatisches Ergussgestein	12	12	12	300	300	300	15	11	49
15	Tonschiefer	8	8	8	260	260	260	17	13	43
16	Kalkstein	13	8	20	187	140	210	3	1	34
17	Zechstein	6	6	6	150	150	150	0	0	0
18	Tonstein	13	6	16	132	120	150	4	1	20
20	Olistostrome	11	8	13	236	220	250	32	6	68
99	Gewässer	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	Auen	5	5	13	1000	1000	1000	50	5	50

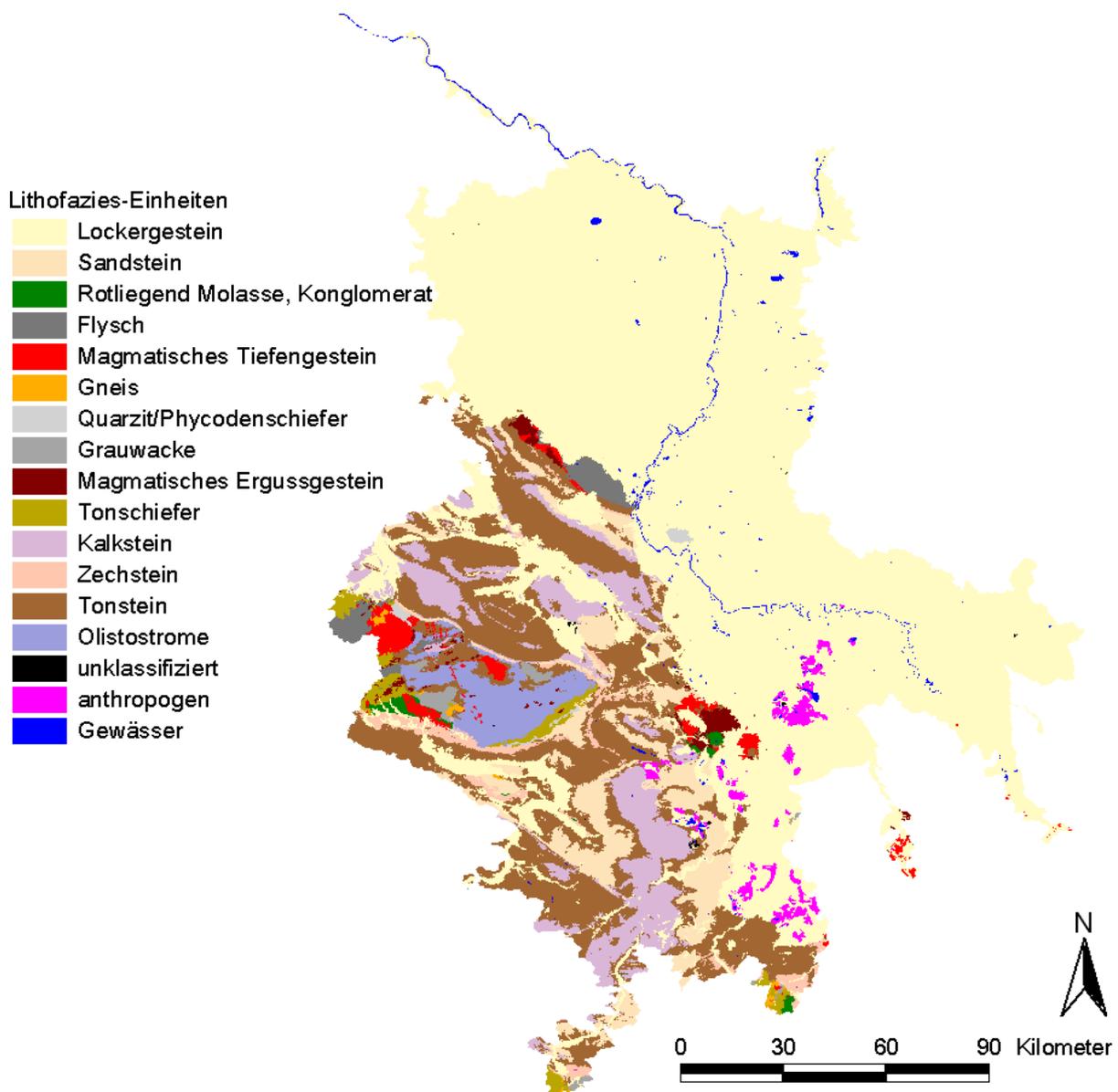


Abbildung 4-8: Räumliche Verteilung der verwendeten Lithofazies-Einheiten

4.3.4 Drainage

Die Melioration kann einen wesentlichen Einfluss auf den Gebietswasserhaushalt in Tieflandeinzugsgebieten haben. Angaben zu den potentiell meliorierten und potentiell drainierten Flächen, der potentiellen Drainagetiefe, der Entwässerungswahrscheinlichkeit (Anschlussgrad) und des potentiellen Drainagetyps (Graben oder Rohrdrainage) wurden aus dem Projekt

Überprüfung und Validierung der Dränflächen Sachsen-Anhalts; Projektbericht MISB (Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz) 2011 im Auftrag des LHW Sachsen-Anhalt

herangezogen (Abbildung 4-9).

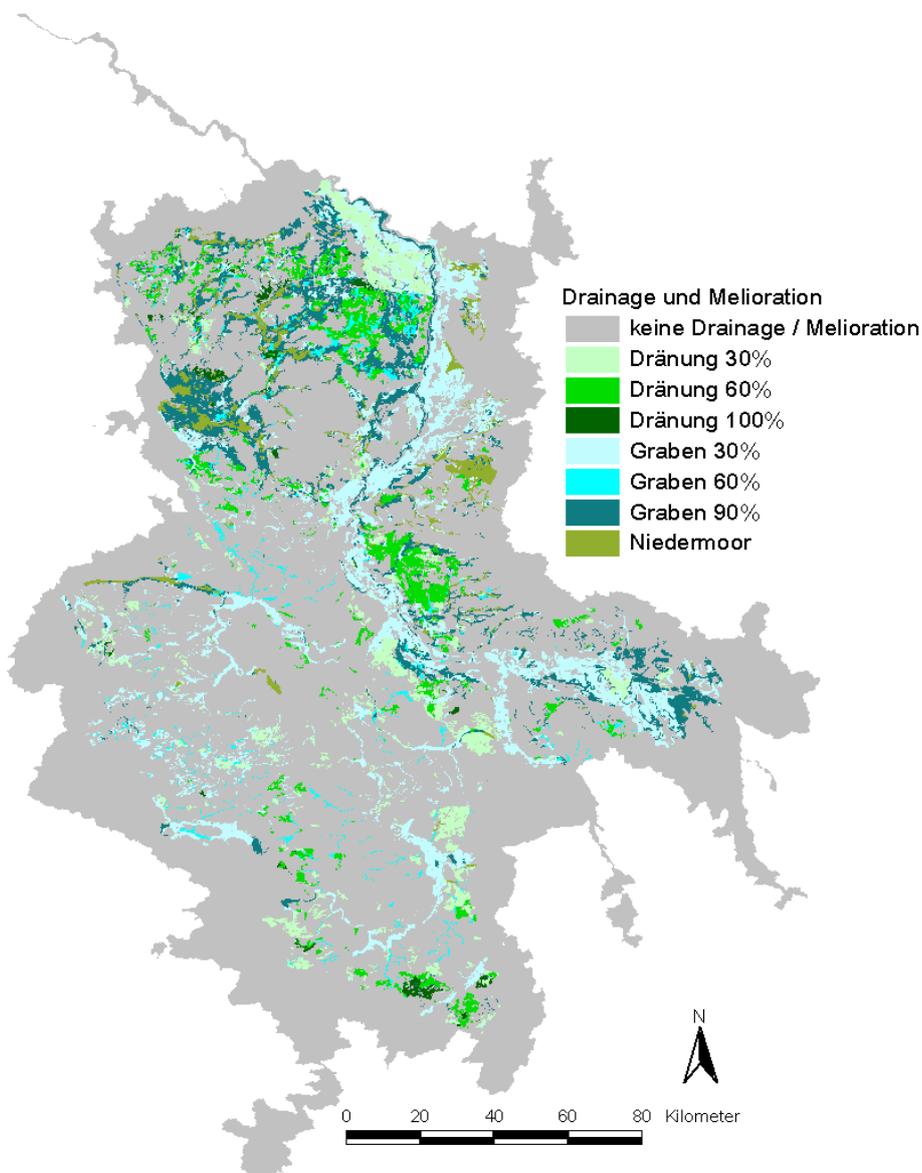


Abbildung 4-9: Räumliche Verteilung von Drainageflächen im Modellgebiet

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Im Modell wird der Drainageabfluss in Abhängigkeit von der aktuellen Bodenfeuchte ausgewiesen. Bei Sättigung (Feldkapazität) der Bodenschicht innerhalb der Drainagetiefe wird jedes Zusatzwasser sofort dem Drainagesystem zugeführt und im gleichen Zeitschritt abflusswirksam. Liegt die Entwässerungswahrscheinlichkeit unter 100 %, so wird nur der entsprechende Anteil der Bodenlösung über Feldkapazität dem Vorfluter zugeführt. Der Rest steht weiterhin für die Verdunstung und Tiefenversickerung zur Verfügung.

4.4 Landnutzungsdaten

Die Datengrundlagen für die Landnutzung in den einzelnen Bundesländern waren ebenso wie für die Bodendaten sehr unterschiedlich. Das bedeutet, dass alle Teildatenbestände der einzelnen Bundesländer mit ihrer jeweiligen Landnutzung aufbereitet und zu einem einheitlichen Kartierschlüssel (siehe Tabelle 4-12) zusammengeführt werden mussten. Eine Auflistung der in den einzelnen Bundesländern verwendeten Datengrundlagen befindet sich in Tabelle 4-10.

Tabelle 4-10: Übersicht der für die jeweiligen Bundesländer verwendeten Landnutzungsdaten

Bundesland	Landnutzungsdaten
Sachsen-Anhalt	CIR-Daten Befliegung 2005 (LNTZ-ST)
Brandenburg	Biotoptypenkartierung für Brandenburg (LNTZ-BB)
Sachsen	Biotoptypen- und Landnutzungskartierung (LNTZ-SN)
Niedersachsen	ATKIS BbIM25 Grenzbereich Niedersachsen (LNTZ-NI)
Thüringen	Offenlandbiotopkartierung und CIR-Biotop- und Nutzungstypenkartierung (LNTZ-TH)

Bei der Zusammenführung der verschiedenen Landnutzungen der Bundesländer wurde aber anders als bei den Bodendaten vorgegangen. Grundlage waren die Landnutzungsklassen von Sachsen-Anhalt. Die Landnutzungsdaten wurden aufbereitet, indem alle für die Modellierung geeigneten Klassen analysiert und diesen Klassen eine Landnutzungs-ID (LNTZ-ID) für die Modellierung zugeordnet wurden. Die Landnutzungen der anderen Bundesländer wurden in diese Landnutzungsklassifizierung eingepasst.

4.4.1 Landnutzung Sachsen-Anhalt

Verwendet wurden hier CIR-Daten des Bundeslandes Sachsen-Anhalt aus der Befliegung 2005 (LNTZ-ST). Der Datenbestand beschreibt mit 566 171 Einzelflächen die Landnutzung in Sachsen-Anhalt. Diese luftbildgestützte Kartierung von Biotop- und Landnutzungstypen gestattet eine sehr differenzierte Betrachtung vegetationsbestandener Flächen und ebenfalls eine, wenn auch grobe Abschätzung der Versiegelungsgrade bebauter Flächen.

Die für die Klassifizierung der Landnutzung verwendete CIR-Codierung (Landesamt für Umweltschutz, 1992) beschreibt über eine hierarchisch angeordnete Buchstabenkombination (bis zu acht Zeichen) sieben Kartiereinheiten (KE), die sich weiter in insgesamt 42 Struktureinheiten (SE) untergliedern. Eine Struktureinheit umfasst wiederum mehrere Biotoptypen/Nutzungstypen.

Dieser Zeichenkettenkode wurde aufgesplittet und die ersten zwei Zeichen für eine Umklassifizierung verwendet. Somit wurden die Kartiereinheiten *Wald (W)*, *Gehölz (H)*, *Krautige Vegetation (K)*, *Gewässer (G)*, *Vegetationsfreie Fläche (F)*, *Acker-, Garten-, Weinbau (A)* und *Bebauter Bereich (B)* mit ihren Klassendifferenzierungen (zweistellig) der Gesamtklassifizierung zugeordnet.

Bei der Kartiereinheit „Bebauter Bereich (B)“ liegt eine Differenzierung des Versiegelungsgrades an der fünften Stelle des Zeichenkodes vor. Der Versiegelungsgrad ist wie folgt gegliedert:

- *gering versiegelt (weniger als 25 %)*
- *mäßig versiegelt (25-50 %)*
- *stark versiegelt (50-75 %)*
- *sehr stark versiegelt (75-100 %)*

Diese Differenzierung des Versiegelungsgrades wurde für die Erstellung des homogenen Kartierschlüssels übernommen.

Tabelle 4-11 zeigt die Klassifizierung der CIR-Daten (zweistellig) und die Angabe des Versiegelungsgrades.

Aus dieser Klassifizierung wurden für die Modellierung geeignete Landnutzungsklassen gebildet und ein homogener Kartierschlüssel für das Modellgebiet erstellt (siehe Tabelle 4-12). Die Landnutzungen der benachbarten Bundesländer wurden in diesen Kartierschlüssel eingepasst.

Tabelle 4-11: Kartierschlüssel Sachsen-Anhalt

WL	Laubwald-Reinbestand
WN	Nadelwald-Reinbestand
WU	Laubmischwald
WE	Nadelmischwald
WM	Mischwald
WA	Auwald
WS	Schluchtwald
WB	Blockschuttwald
WF	Bruch-, Sumpfwald (Feuchtwald)
WT	Trockenwald
WR	Waldrand
HH	Hecke
HU	Gebüsch
HN	Gehölzpflanzung, nicht standortgerecht
HG	Baumgruppe
HR	Baumreihe
HE	Einzelbaum
HS	Streuobstwiese
KG	Grünland
KS	Staudenflur
KM	Magerrasen
KC	Wildgrasflur/Calamagrostis
KH	Heide
KW	Wacholdertrift
KO	Hoch-/Übergangsmoor
KF	Flachmoor/Sumpf
KB	Binnensalzstelle/Salzsumpf
GQ	Quellbereich
GB	Fließgewässer < 5 m (Bach/Graben)
GF	Fließgewässer > 5 m (Fluss/Kanal)
GK	Stillgewässer < 1 ha naturnah (Kleingewässer)
GT	Stillgewässer < 1 ha anthropogen (Teich)
GS	Stillgewässer > 1 ha naturnah (See)
GA	Stillgewässer > 1 ha anthropogen
FN	Vegetationsfreie Fläche naturnah
FA	Vegetationsfreie Fläche anthropogen
AA	Acker
AG	Erwerbsgartenbau
AW	Weinbau
BS	Bebauung im Siedlungs- und Außenbereich
BSv	Bebauung im Siedlungs- und Außenbereich (sehr stark versiegelt (75-100 %))
BSs	Bebauung im Siedlungs- und Außenbereich (stark versiegelt (50-75 %))
BSm	Bebauung im Siedlungs- und Außenbereich (mäßig versiegelt (25-50 %))

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

BSg	Bebauung im Siedlungs- und Außenbereich (gering versiegelt (weniger als 25 %))
BS-	Bebauung im Siedlungs- und Außenbereich (ohne Angabe Versiegelungsgrad)
BG	Grünfläche
BV	Verkehrsfläche
BQ	Querbauwerke an Fließgewässern
BX	Baustelle ohne erkennbare Folgenutzung

Tabelle 4-12: Homogener Kartierschlüssel für das Modellgebiet

LNTZ_ID	BEZEICHNUNG
1100	Gewässer (Fließgewässer, Stillgewässer, Quellbereich)
1110	Feuchtfleichen (Hoch-/Übergangsmoor, Flachmoor, Sumpf)
1210	Grünland
1230	Trocken/Halbtrockenrasen
1240	Staudenflur
1300	Heide
1400	Wald
1410	Laubwald
1420	Nadelwald
1430	Mischwald
1440	Feuchtwald (Auwald, Bruch-, Sumpfwald)
1450	Gehölz
1460	Blockschuttwald
1470	Streuobstwiese
1510	Acker
1520	Erwerbsgartenbau
1530	Weinbau (Obstanbau)
1600	Bebauter Bereich
1610	Bebauter Bereich, Einzelhäuser, Kleinsiedlung (gering versiegelt, weniger als 25 %)
1620	Bebauter Bereich, Einzel- und Reihenhaussiedlung, Straße (25-50 %)
1630	Bebauter Bereich, Zeilenbebauung, Punktbebauung, Hochhäuser (50-75 %)
1640	Bebauter Bereich, Städtisches Kerngebiet (75-100 %)
1700	Verkehrsflächen
1900	Vegetationsfreie Fläche (Fels, Kies, Müll, Kohle, Schlamm, Ton)

4.4.2 Landnutzung Niedersachsen

Die Landnutzungsdaten für Niedersachsen (LNTZ-NI) wurden von der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung bereitgestellt und entstammen dem Amtlichen Topographischen Informationssystem (ATKIS BbIM25). Die Daten wurden als Shape-File mit 46296 Einträgen bereitgestellt (siehe Tabelle 4-13).

Tabelle 4-13: ATKIS BbIM25 - Niedersachsen (Auszug)

OBJECTID	NUTZUNG	CODE	RULEID	RULEID_1	RULEID_2	SHAPE_AREA	SHAPE_LEN
63	Ackerland	430011010	4	4	4	39581.6736	785.1169
341	Ackerland	430011010	4	4	4	5011.6853	388.8022
314	Ackerland	430011010	4	4	4	16250.1046	767.9294

Tabelle 4-14: Umcodierung Niedersachsen

Über die Spalte Nutzung sind 30 Klassen vergeben, siehe Legende Abbildung 4-10. Diese 30 Klassen wurden in den Landnutzungscode eingepasst, wie Tabelle 4-14 beispielhaft für vier Nutzungsarten zeigt.

NUTZUNG	LNTZ_ID	Beschreibung
Ackerland	1510	Acker
Flugverkehr	1700	Verkehrsflächen
Grünland	1210	Grünland
Laub- und Nadelholz	1430	Mischwald

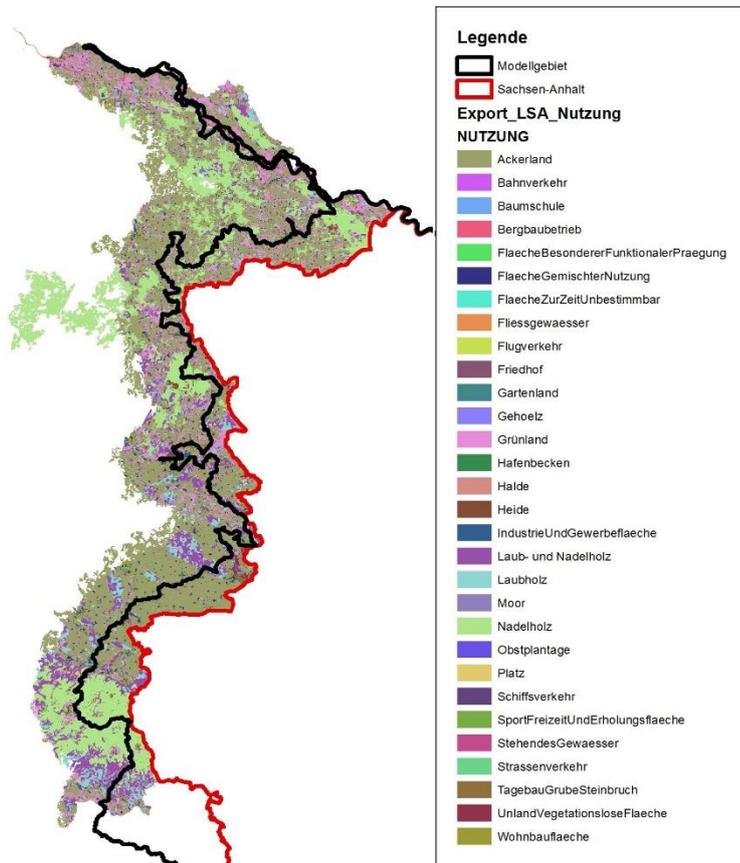


Abbildung 4-10: ATKIS BbIM25 - Niedersachsen

4.4.3 Landnutzung Sachsen

Die Biotoptypen- und Landnutzungskartierung (LNTZ-SN) wird durch einen neunstelligen Zahlenkode wie folgt charakterisiert:

Gruppeneinteilung:

- x Hauptgruppe (1. Stelle)
- x Untergruppe (2. Stelle)
- xxx Bestand/Biotoptyp (3. bis 5. Stelle)
- x Ausprägung (6. Stelle)
- x Nutzung (7. Stelle)
- x Sekundärnutzung (8. Stelle)
- x Sondernutzung, Besonderheit (9. Stelle)

Diese Gruppeneinteilung ist sehr detailliert und zeigt z. B. auch die einzelnen Baumarten auf. Daher musste die detaillierte Gruppeneinteilung bis auf die dritte Stelle reduziert werden. Somit wurde, wie folgendes Bsp. zeigt, der Kode 715022000 in die LNTZ_ID 1410 Laubwald umklassifiziert (anhand des homogenen Kartierschlüssels für das Modellgebiet, siehe Tabelle 4-12).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
7	1	5	0	2	2	0	0	0	→ Umklassifizierung in: 1410 (Laubwald)

71 Laubwald (Reinbestand)

- 711 Eiche
- 712 Buche
- 713 Esche
- 714 Robinie
- 715 Pappel
- 716 Birke
- 717 Erle
- 719 sonstiger Laubholzreinbestand/nicht differenziert/Baumart nicht erkannt

Begleiter:

- 00 kein Begleiter
- 01 Fichte
- 02 Kiefer
- 03 Lärche
- 04 sonstiges Nadelholz/nicht differenziert/Baumart nicht erkannt
- 05 Buche
- 06 Eiche

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

08 Birke

09 sonstiges Laubholz/nicht differenziert/Baumart nicht erkannt

4.4.4 Landnutzung Thüringen

Die Landnutzungsdaten für Thüringen wurden von der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie als Shapefile mit 91005 Flächen bereitgestellt (LNTZ-NI). Über die Spalte „Biototyp“ sind 242 Klassen vergeben, deren räumliche Verteilung in Abbildung 4-11 dargestellt ist. Aus der Kartieranleitung zur Offenland-Biotopkartierung im Freistaat Thüringen (Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, 2001) kann die Landnutzung zugeordnet werden (Auszug siehe Abbildung 4-12).

Die Klassen der Spalte „Biototyp“ wurden in die LNTZ_ID umklassifiziert Bsp. 4110 (Ackerland) → LNTZ_ID 1510 (Acker).

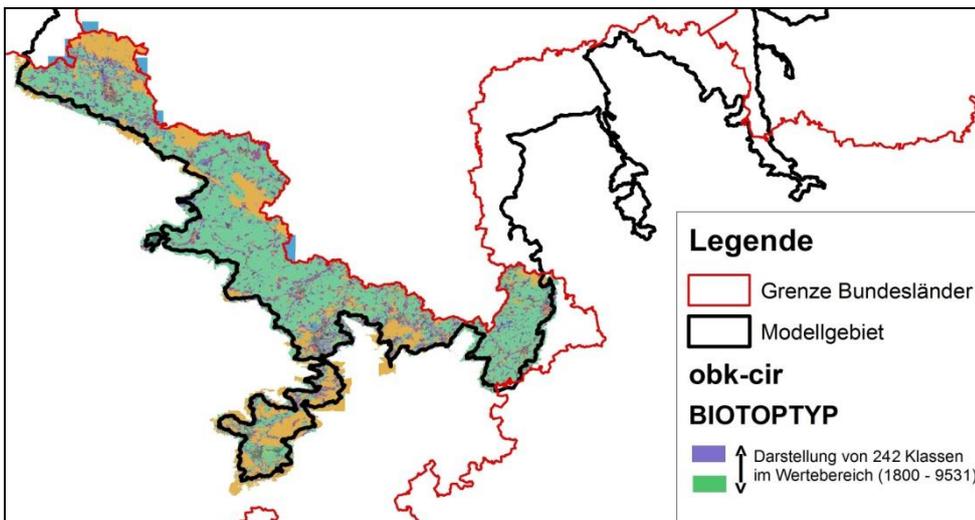


Abbildung 4-11: OBK-CIR Thüringen

Codesystem der Luftbildauswert.	Codesystem der Geländekartierung	Mindestmaße	Bezeichnung
3200			Nieder-(Flach-)moor, Anmoor, Sumpf
3210			Kleinseggen- und Binsenbestände
	3211	§ ---	Flachmoor, kalkarm
	3212	§ ---	Flachmoor, kalkreich
	3213	§ 3m breit, 100m²	Binsensumpf
3220	3220	§ 3m breit, 100m²	Großseggenried
3230	3230	§ 3m breit, 50m²	Landröhricht
----	3241	§ ---	Naturnahe Binnensalzstellen
----	3242	§ ---	Anthropogene Binnensalzstellen
4000			Landwirtschaft, Grünland, Staudenfluren
4100	4100		Ackerflächen
4110	4110		Ackerland
4160	4160		Sonderkulturen
4170	4170		Acker-Dauerbrache
4190	4190		Ackerwirtschaft auf kleinen Feldern (bis 1 ha) mit Strukturen

Abbildung 4-12: Auszug aus der Kartieranleitung Thüringen

4.4.5 Landnutzung Brandenburg

Die Biotoptypenkartierung für Brandenburg (LNTZ-BB) nutzt einen neunstelligen, hierarchischen Zahlenkode. Insgesamt elf Hauptklassen sind in den ersten beiden Ziffern verschlüsselt. Die weiteren Ziffern untersetzen dann die elf Hauptklassen mit weiteren Informationen. Hauptaugenmerk wurde bei dieser Kartierung auf eine möglichst umfassende Abbildung der Vegetation gelegt. Der neunstellige Kode wurde auf drei Stellen verkürzt und die einzelnen Klassen in den homogenen Kartierschlüssel (siehe Tabelle 4-12) eingepasst.

Beispiel Laubwald

- 08 Wälder und Forsten
- 083 Laubbestände
- 0831 Laubbestände - Eichen (*Quercus robur*, *Quercus petraea*)

⇒ Umklassifizierung in LNTZ_ID 1410 Laubwald

4.4.6 Erstellung einer einheitlichen Landnutzungskarte

Um die Landnutzungskarten der einzelnen Bundesländer zusammensetzen zu können, wurden sie mit den Landesgrenzen ausgeschnitten und zusammengefügt. Randgebiete, denen keine Landnutzung zugewiesen wurde, erhielten die Landnutzung der nächstgelegenen benachbarten Fläche.

Die einheitliche Landnutzungskarte mit 24 Nutzungsklassen ist in Abbildung 4-13 in ihrer räumlichen Verteilung dargestellt.

Durch die Umklassifizierung der Landnutzungsklassen der jeweiligen Teildatenbestände in den homogenen Kartierschlüssel (Tabelle 4-12) und das Zusammenführen der umklassifizierten Landnutzungsdaten von Sachsen-Anhalt mit den angrenzenden Bundesländern wurde eine einheitliche flächenweite Flächennutzung geschaffen.

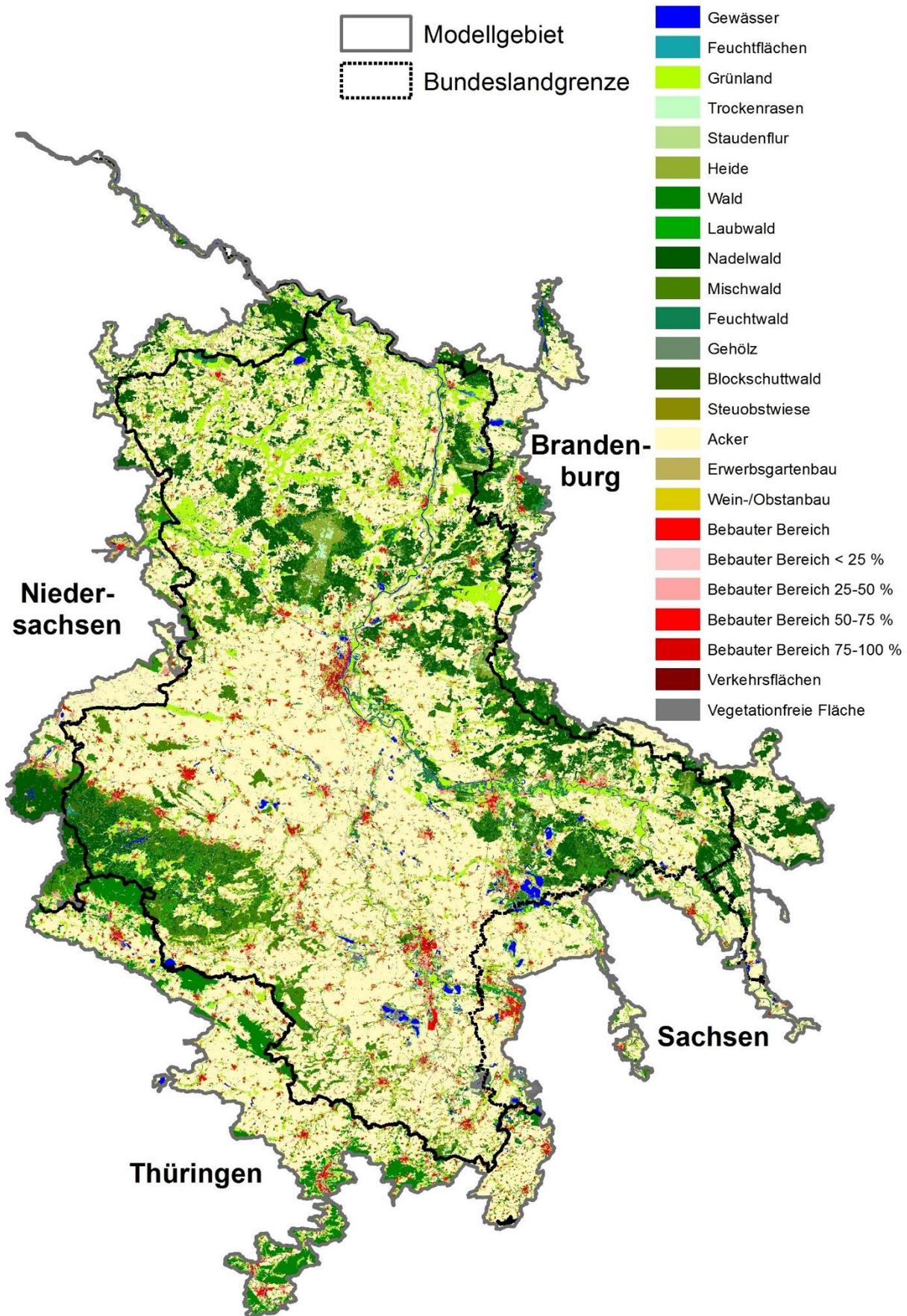


Abbildung 4-13: Einheitliche Landnutzungskarte für das Modellgebiet

4.4.7 Phänologie und Bewirtschaftung

Die Transpiration bzw. die Verdunstung der Vegetation ist in Sachsen-Anhalt die mit Abstand größte Verlustgröße im Landschaftswasserhaushalt. Aus diesem Grunde wurde, wie im Kapitel 2 dargelegt, zur Beschreibung des Vegetationseinflusses auf den Wasserhaushalt ein komplexes Vegetationsmodell eingesetzt. Die Simulation der Vegetationsdynamik erfolgte mit einem generischen Ansatz in Abhängigkeit von den aktuellen Umweltbedingungen. Durch den breiten Einsatz des zugrunde liegenden Vegetationsmodells (vereinfachte Version des EPIC-Wachstumsmodells nach Williams et al., 1989 – vgl. Kapitel 2) stehen für fast alle Kulturarten geprüfte pflanzenspezifische Parametersätze zur Verfügung. Die vom United States Department of Agriculture (USDA) publizierte Parametersammlung (<http://www.brc.tamus.edu>) enthält u. a. die Daten für Winterweizen, Silomais, Winterroggen, Wintergerste und Sommergerste. Jedoch war eine Überprüfung dieser Parameter für die Standortbedingungen in Sachsen-Anhalt erforderlich. Außerdem mussten standortspezifisch für jede Fruchtart die erforderlichen Wärmeeinheiten (HU) bis zur Reife und die Basistermine zum gegenwärtigen Management erarbeitet werden. Diese Arbeiten erfolgten im Rahmen der Klimafolgenstudie 2012 des Landes Sachsen-Anhalt (PFÜTZNER ET AL. 2013) und waren die Grundlage für die Parametrisierung der Pflanzenparameter im aktuellen Landesmodell. Zum besseren Verständnis werden die Grundprinzipien der damaligen Parametrisierung hier nochmals wiedergegeben.

Als Grundlage für die Ableitung der Basistermine zum gegenwärtigen Management wurden die vom Deutschen Wetterdienst seit 1951 erhobenen Beobachtungsdaten des phänologischen Grundnetzes genutzt. Dieses besteht zurzeit aus ca. 1300 aktiven Stationen. Das Programm der phänologischen Beobachtungen des Deutschen Wetterdienstes enthält 167 Phasen (Entwicklungsstadien). An ausgewählten Bäumen, Sträuchern und Stauden werden z. B. Blattentfaltung, Blüte, Fruchtreife und Laubverfärbung beobachtet. Bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen werden neben ausgesuchten Entwicklungsstadien auch Daten zu Bestellung und Ernte erhoben.

Insgesamt standen für die im Untersuchungsgebiet zu berücksichtigenden Fruchtarten Beobachtungsdaten für den Zeitraum 1991-2010 (Sommergetreide 1951-1991) an einer Vielzahl von phänologischen Beobachtungsstationen in Sachsen-Anhalt zur Verfügung (Abbildung 4-14). Da sowohl der Beobachtungszeitraum als auch das Fruchtartenspektrum an den einzelnen Stationen sehr unterschiedlich ist, wurden die Daten für die phänologischen Naturraumgruppen (NRG) nach MEYNEN UND SCHMITHÜSEN (1953 - 1962) zusammengefasst und fruchtartspezifisch analysiert.

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Von der LLFG wurde eine Gliederung in Landwirtschaftliche Vergleichsgebiete (LVG) vorgeschlagen, um für landwirtschaftlich genutzte Flächen typische Fruchtfolgen für die Modellierung vorgeben zu können.

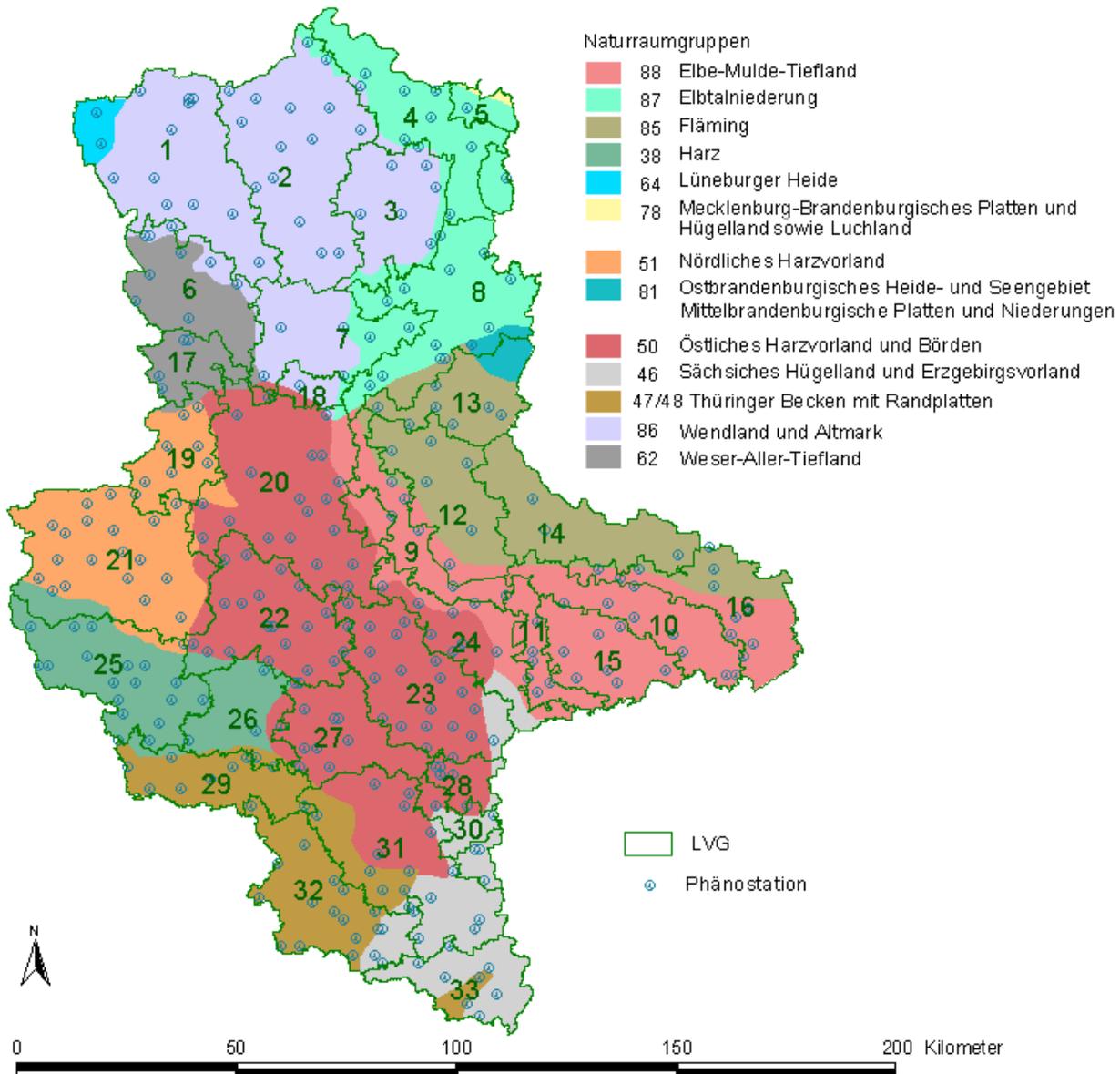


Abbildung 4-14: Phänologische Stationen und Naturraumgruppen in Sachsen-Anhalt

Anhand der Anbauspektren (Fruchtartenverteilung) in den LVG 2007-2009 wurde von der LLFG für jedes LVG eine zehngliedrige Fruchtfolge der Hauptfruchtarten auf den Ackerflächen erarbeitet (Tabelle 4-15). Einbezogen wurden die Fruchtarten mit dem jeweils größten Flächenanteil:

- WW - Winterweizen,
- WR - Winterroggen,
- WG - Wintergerste,
- Ra - Winterraps,
- M - Mais,

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

ZR - Zucker- und Futterrüben,

SG - Sommergetreide.

Durch Zuordnung der LVG zu den Naturraumgruppen nach MEYNEN UND SCHMITHÜSEN (1953-1962) konnte dann der mittlere Wärmebedarf als auch durchschnittliche Saat- und Erntetermine für die einzelnen Fruchtarten bestimmt werden. Die räumliche Zuordnung der LVG zu den NRG erfolgte nach dem Dominanzprinzip (Tabelle 4-15).

Tabelle 4-15: Zuordnung der LVG zu den Naturraumgruppen (NRG, siehe Abbildung 4-14) in Sachsen-Anhalt mit je zehngliedriger Fruchtfolge

ID	LVG	NRG	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Westliche Altmarkplatten*	86	Ra	WW	ZR	M	WR	WG	Ra	WR	M	WR
2	Mittlere Altmarkplatten	86	Ra	WW	M	WR	WG	Ra	WR	M	WW	WR
3	Östliche Altmark	86	Ra	WW	M	WW	WG	Ra	WW	WR	M	WR
4	Nördliche Elbaue*	87	Ra	WW	M	WW	WG	Ra	WW	M	WW	WR
5	Kyritzer Platte*	62	WR	WR	M	WW	WR	M	WR	WR	SG	M
6	Drömling	86	Ra	WW	M	WR	WR	M	WR	WR	WG	WR
7	Heiden der südl. Altmark*	87	Ra	WW	M	WR	WR	M	WR	WR	WG	WR
8	Elbtalniederung	88	Ra	WW	M	WW	WR	Ra	WR	M	WG	WR
9	Mittlere Elbaue	88	Ra	WW	ZR	M	WW	WR	Ra	WW	WW	WG
10	Südliche Elbaue	85	Ra	WW	M	WW	WR	Ra	WW	WG	M	WW
11	Muldeau	85	Ra	WW	WR	M	WW	WG	Ra	WW	WR	WG
12	Zerbster Land	88	Ra	WR	M	WW	WR	Ra	WW	WR	WG	WW
13	Nördlicher Vorfläming	85	Ra	WR	M	WR	WR	M	WW	WR	WG	WR
14	Südlicher Vorfläming*	62	Ra	WR	M	WR	WR	Ra	WW	WR	WG	WR
15	Dübener Heide	51	Ra	WR	M	WR	WR	M	WW	WR	WG	WR
16	Elbe/Elster-Tiefland*	50	Ra	WR	M	WR	WR	M	WW	WR	WG	WR
17	Ostbraunsch. Flachland*	51	Ra	WW	ZR	M	WW	WR	Ra	WW	WG	WR
18	Nördlicher Löbübergang	50	Ra	WW	ZR	M	WW	WR	Ra	WW	WG	WW
19	Nördliches Harzvorland*	50	Ra	WW	WW	ZR	M	WW	WW	WG	WW	WW
20	Löbebene d. nördl. Börde	38	Ra	WW	WW	ZR	M	WW	WG	Ra	WW	WW
21	Nördliches Harzvorland*	50	Ra	WW	WW	ZR	M	WW	WG	Ra	WW	WW
22	Lößbedeckte wellige Hochflächen der südlichen Börde	48	Ra	WW	WW	ZR	M	WW	WG	Ra	WW	WW
23	Köthener-Hallesche Löbebene	46	Ra	WW	WW	ZR	M	WW	WG	Ra	WW	WW
24	Sandlößgürtel	46	Ra	WW	WW	WG	M	WW	WG	Ra	WW	WR
25	Unter- und Mittelharz	87	Ra	WW	WW	WG	Ra	WW	WW	WG	WR	SG
26	Östliches Harzvorland*	87	Ra	WW	WR	M	WW	WW	WG	Ra	WW	SG
27	Lößplateau und Wettiner Hügelland*	88	Ra	WW	WW	ZR	M	WW	WW	Ra	WW	WG
28	Osthallesches Sandlößplateau	85	Ra	WW	WW	WG	ZR	SG	WW	Ra	WW	WW

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

ID	LVG	NRG	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
29	Helme-/Unstrutniederung*	86	Ra	WW	M	WW	WW	Ra	WW	WG	Ra	WW
30	Saale- und Elsteraue	86	Ra	WW	ZR	M	WG	WW	SG	Ra	WW	WG
31	Querfurter Platte*	88	Ra	WW	ZR	M	WW	WW	WG	Ra	WW	WW
32	Untere Unstrutplatten und Schichtstufenland des Mittleren Saaletales*	88	Ra	WW	WW	WG	M	WW	WW	Ra	WW	SG
33	Südliches Löbhoogelland	38	Ra	WW	WW	M	WW	WW	WG	Ra	WW	WG

* kompletter Name siehe Abbildung 4-15

Die Simulation des Wasserhaushalts der forstlich genutzten Böden erfolgte durch Zuordnung der LVG zu den forstlichen Wuchsgebieten Sachsen-Anhalts (Abbildung 4-14, Tabelle 4-16). Pro LVG wurden entsprechend ihrer Lage in den Wuchsgebieten der derzeit dominierende Nadelholzbestandestyp (mittleres Umtriebsalter) und eine standortangepasste Laub- oder Mischwaldform berücksichtigt.

Aufgrund der unterschiedlichen Raumgliederung bei der Ausweisung der LVG und der forstlichen Wuchsgebiete konnte nicht immer eine exakte Zuordnung erfolgen. LVG an den Grenzen benachbarter Wuchsgebiete wurden dem Wuchsgebiet mit dem größten Flächenanteil zugeordnet.

Die Übertragung der Fruchtfolgen und der Bestandestypen wie auch der phänologischen Parameter auf das Landesmodell erfolgte ebenfalls über eine Zuordnung der Modellflächen zu den LVG. Die Randbereiche außerhalb der Landesgrenze wurden durch Erweiterung der Gebiete (LVG und FWG) über den Rand von Sachsen-Anhalt belegt.

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

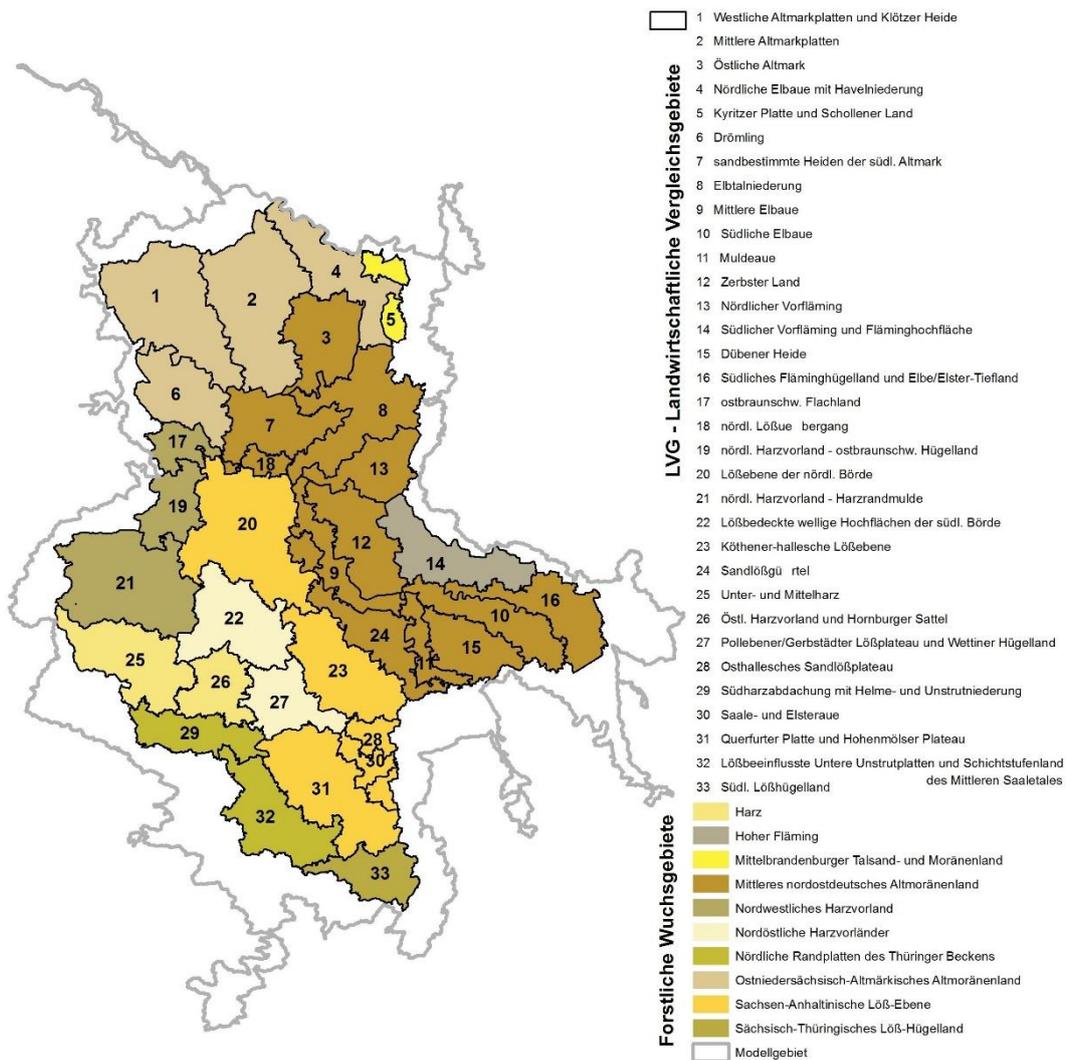


Abbildung 4-15: Zuordnung der forstlichen Wuchsgebiete im Land Sachsen-Anhalt zu den LVG

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Tabelle 4-16: Forstliche Wuchsgebiete mit Ausdehnung und Anzahl der Wuchsbezirke (WB) in Sachsen-Anhalt, Haupt-Bestandestypen (IDSA - Landesschlüssel)

IDSA	Wuchsgebiet	Fläche [km²]	Anzahl WB	LVG	Bestandestyp
11	Mittelbrandenburger Talsand- und Moränenland	838	7	5	Kiefer (Stieleiche)
13	Ostniedersächsisch-Altmarkisches Altmoränenland	3849	16	1, 2, 4, 6	Kiefer
14	Mittleres Nordostdeutsches Altmoränenland	5234	18	3, 7-13, 15, 16, 18, 24	Kiefer
16	Hoher Fläming	601	3	14	Kiefer (Buche)
21	Nordwestliches Harzvorland	1222	4	17, 19, 21	Kiefer, Buche (Eiche)
22	Nordöstliche Harzvorländer	1914	4	22, 27	Buche, Eiche
23	Sachsen-Anhaltinische Löß-Ebene	3529	7	20, 23, 28, 30, 31	Eiche
25	Sächsisch-Thüringisches Löß-Hügelland	362	1	33	Buche, Eiche
30	Nördliche Randplatten des Thüringer Beckens	1297	7	29, 32	Eiche (Buche)
40	Harz	1396	7	25, 26	Fichte (Buche)

4.5 Digitale Geländedaten

Für die Beschreibung der Morphologie im Modellgebiet standen verschiedene Geländemodelle als Datenquellen zur Verfügung (Abbildung 4-16):

- DGM10 und DGM1 für Sachsen-Anhalt mit einer Höhengenaugigkeit von 15 cm,
- DGM10 Brandenburg mit einer Höhengenaugigkeit von 30 cm sowie
- SRTM Höhenmodell in 100m Auflösung und einer Höhengenaugigkeit im Meterbereich.

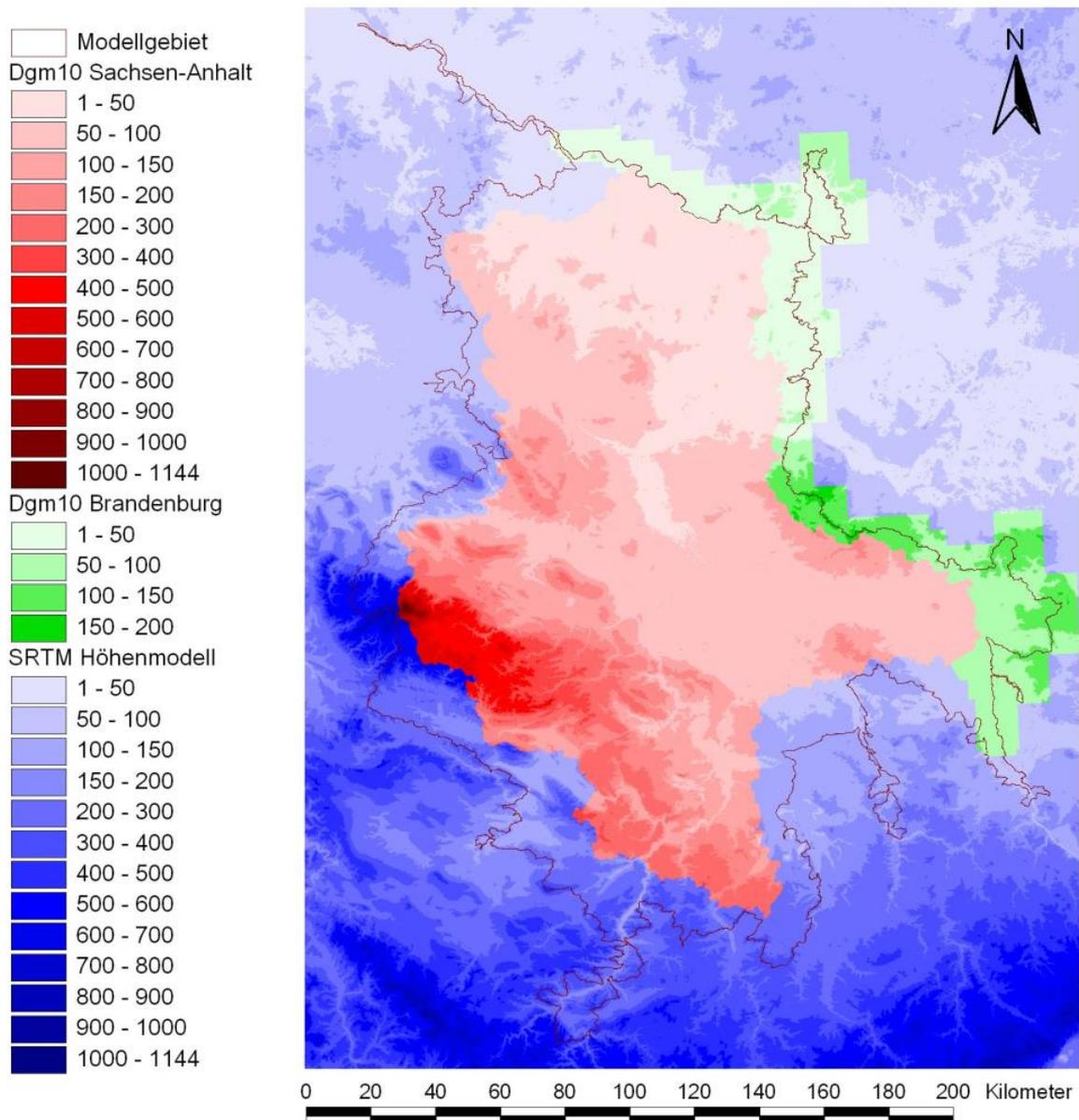


Abbildung 4-16: Verwendete Geländedaten (Angaben in Meter)

Die verschiedenen Geländemodelle wurden nicht zu einem flächendeckenden Modell zusammengefügt. Stattdessen wurden für jede einzelne Modellfläche je nach ihrer räumlichen

Lage die Daten aus den entsprechenden Geländemodellen abgefragt, wie in Kapitel 5.2 detailliert beschrieben wird.

4.6 Meteorologische Daten

Für die meteorologischen Eingangsgrößen standen sowohl stationsbezogene Klimadaten zur Verfügung, die auch im vorherigen Landesmodell genutzt wurden, als auch der durch die BfG bereitgestellte, rasterbasierte HYRAS Datensatz (RAUTHE ET AL. 2013). Den HYRAS-Daten liegen regionalisierte Niederschlagshöhen (siehe DWD, Stichwort REGNIE) zugrunde. Im KLIWAS-Projekt (www.kliwas.de) wurden weitere Klimagrößen ergänzt. Für die Landesflächen von Sachsen-Anhalt standen ca. 1500 HYRAS-Zellen zur Verfügung.

Die stationsbezogenen Daten wurden an etwa 500 Niederschlagsstationen und an etwa 100 Klimastationen erfasst. Für letztere stehen zusätzlich zur Tagessumme des Niederschlages die folgenden Größen zur Verfügung:

- Tagesmitteltemperatur [$^{\circ}\text{C}$],
- mittlere relative Luftfeuchte [%],
- Tagessumme der Globalstrahlung [J/cm^2] und die
- mittlere Windgeschwindigkeit [m/s].

Die stationsbezogenen Datensätze weisen aufgrund der unterschiedlichen Anzahl der meteorologischen Stationen infolge der Messnetzoptimierung des DWD's insbesondere ab 2005/2006 Inkonsistenzen auf. Im Gegensatz dazu ist der HYRAS-Datenatz quasi homogen, d. h. es liegen für den Gesamtzeitraum 1951 bis 2006 für alle Rasterzellen Werte vor, die vom DWD aus den stationsbezogenen Werten räumlich interpoliert wurden (siehe Abbildung 4-17).

Für jede der Rasterzellen liegen interpolierte Werte für die

- Tagessumme des Niederschlages [mm/Tag],
- Tagesmitteltemperatur [$^{\circ}\text{C}$],
- mittlere relative Luftfeuchte [%] und die
- Tagessumme der Globalstrahlung [J/cm^2] vor.

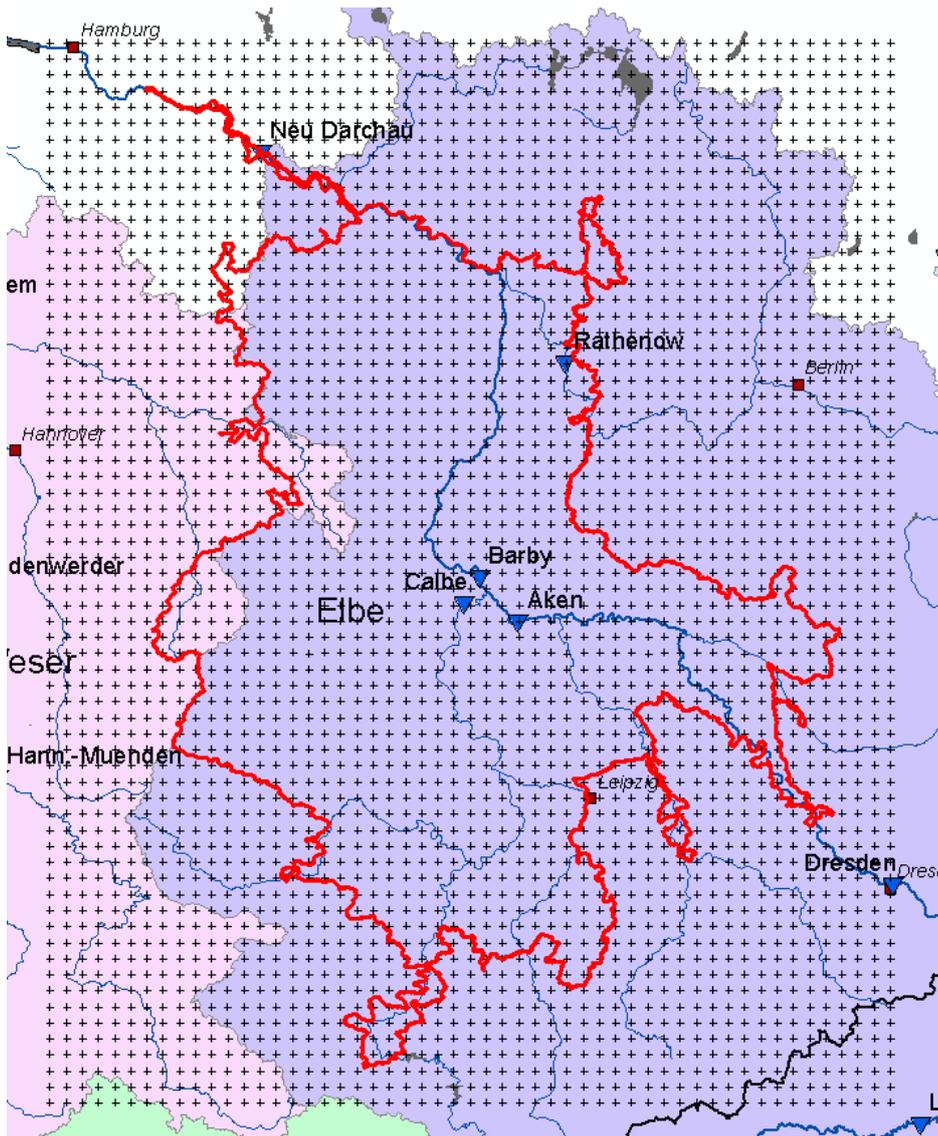


Abbildung 4-17: Lage des HYRAS-Modellgitters, Untersuchungsgebiet (rote Umrandung)

Der Vergleich der meteorologischen Größen beider Datensätze zeigt, dass bei einer Übertragung auf das Modellgebiet die Eingangsgrößen Niederschlag, relative Luftfeuchte und Tagesmitteltemperatur keine großen Unterschiede aufweisen, wie in Abbildung 4-18, Abbildung 4-19 und Abbildung 4-21 zu sehen ist.

Größere Unterschiede zeigen sich in der räumlichen Verteilung der Globalstrahlung (Abbildung 4-20), für die in der programminternen, räumlichen Interpolation das Geländegefälle und die Hangausrichtung berücksichtigt wird, während für HYRAS nur eine IDW-Interpolation angewendet wurde.

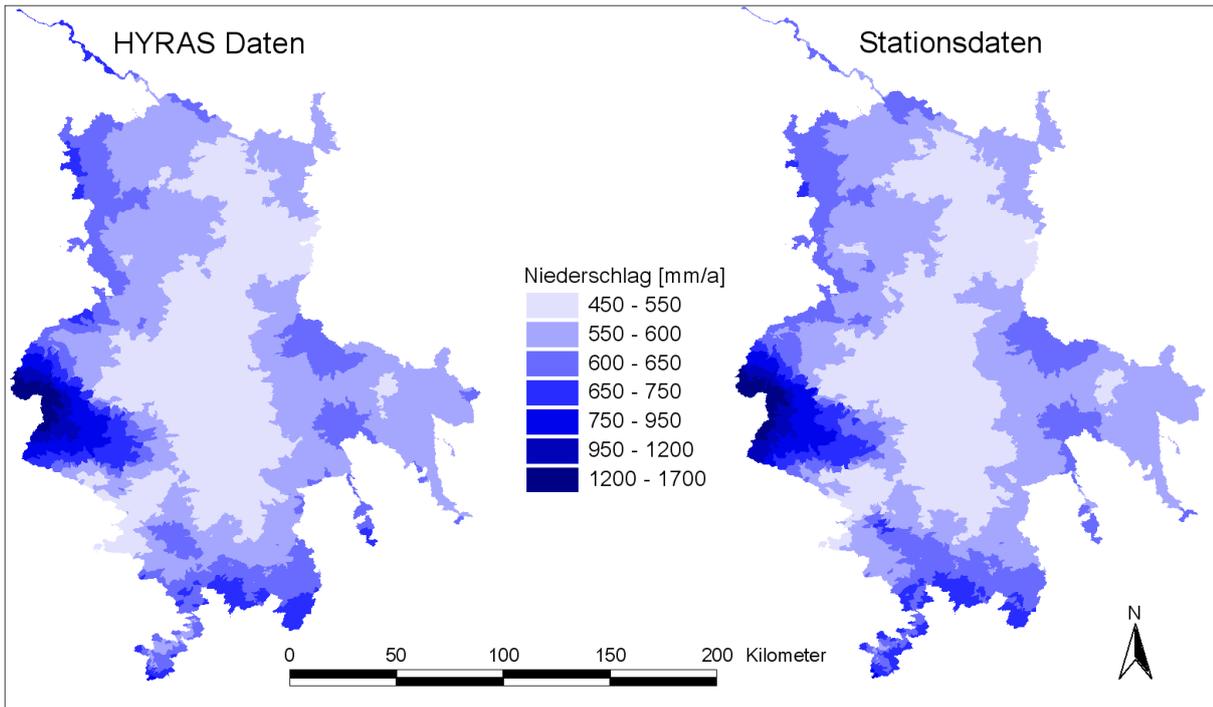


Abbildung 4-18: Vergleich der Flächenübertragung der Niederschläge aus HYRAS- und Stationsdaten

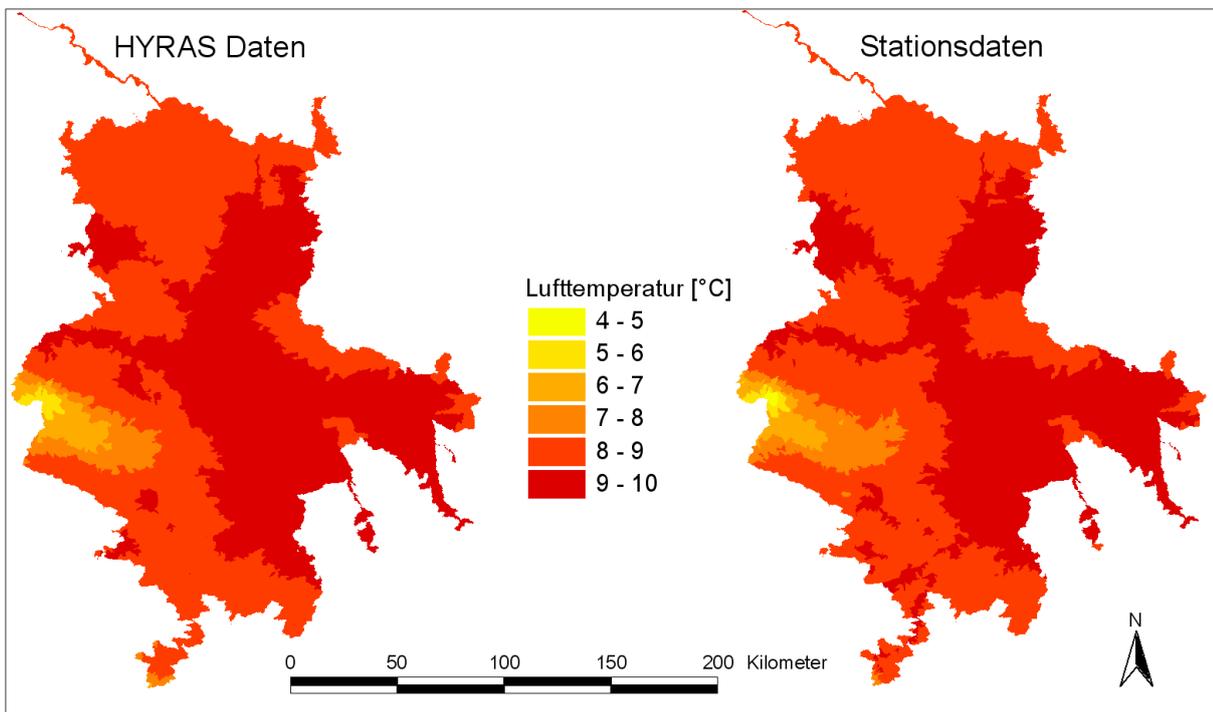


Abbildung 4-19: Vergleich der Flächenübertragung der Lufttemperatur aus HYRAS- und Stationsdaten

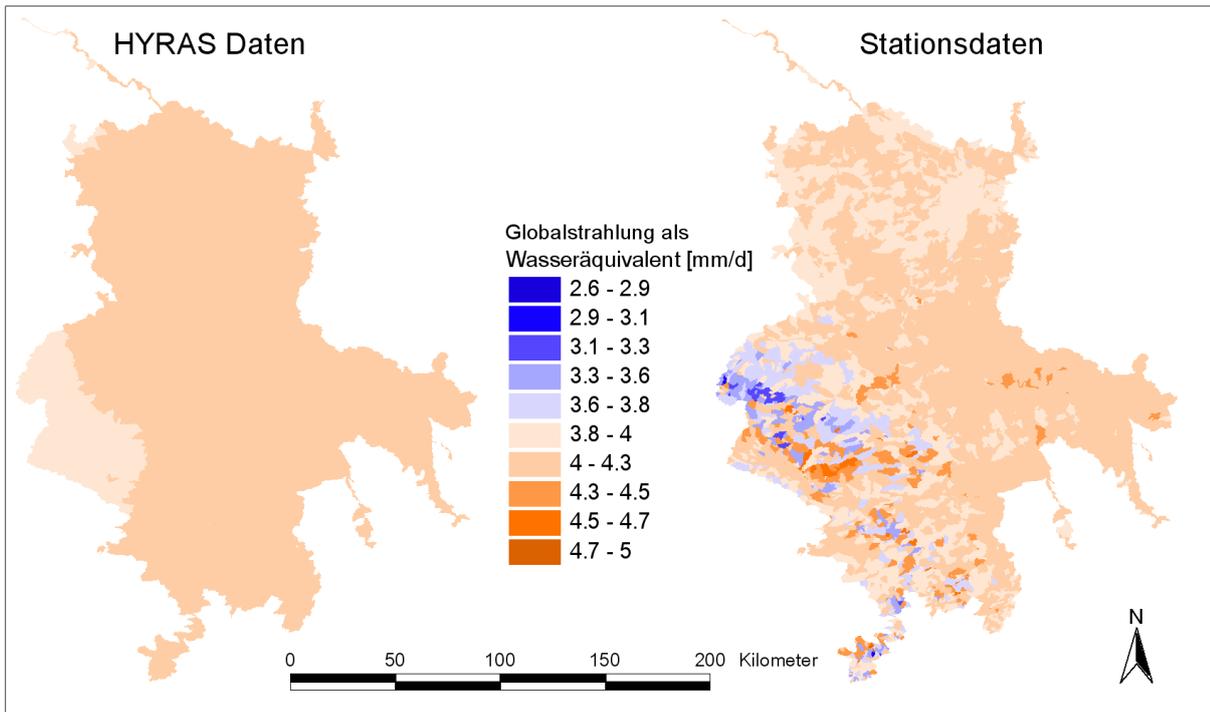


Abbildung 4-20: Vergleich der Flächenübertragung der Globalstrahlung aus HYRAS- und Stationsdaten

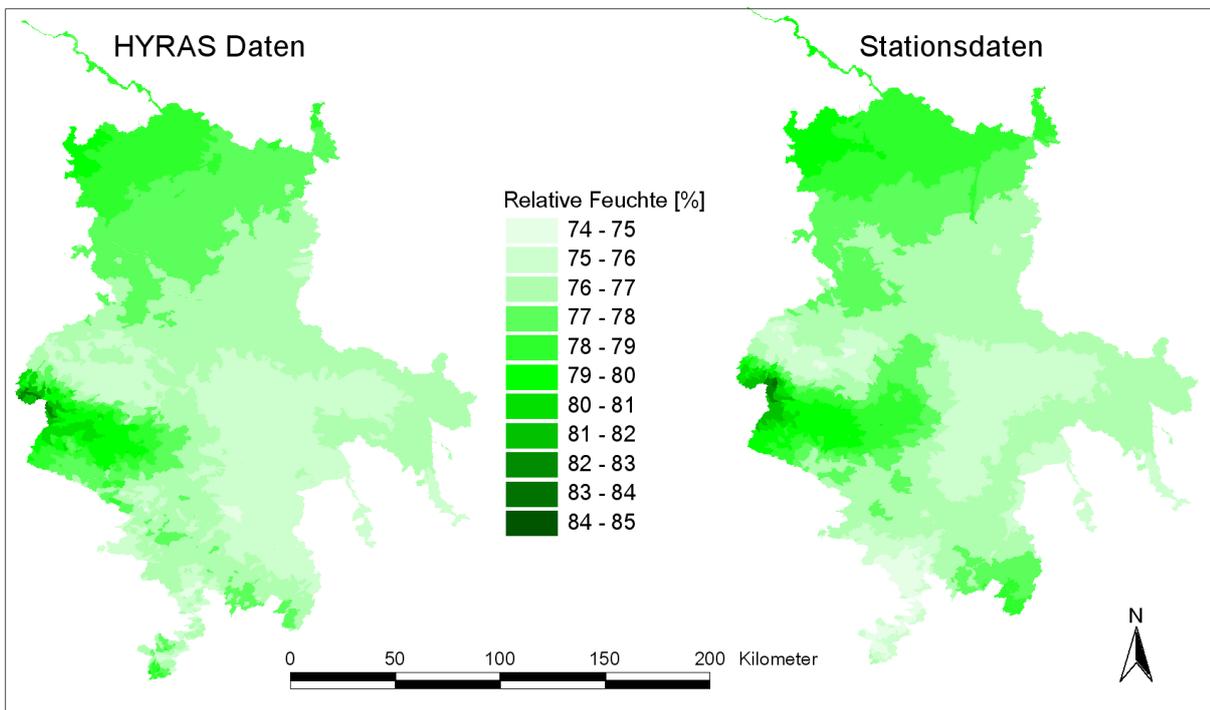


Abbildung 4-21: Vergleich der Flächenübertragung der relativen Luftfeuchte aus HYRAS- und Stationsdaten

Die Integration der meteorologischen Daten in das Modell und eine Erläuterung, welcher der beiden Datensätze verwendet wurde, ist in Kapitel 5.4 beschrieben.

4.7 Hydrologische Daten

Für die Modellierung wurden vom LHW für die 21 Kalibrierungspegel, 11 Grenzpegel und den Pegel Oberthau die Messdaten des Durchflusses in täglicher Auflösung bereitgestellt.

Die Auswahl der für die Modellkalibrierung zu verwendenden Pegel erfolgte unter Berücksichtigung folgender Anforderungen:

- mindestens 15-jährige Reihe,
- anthropogen wenig beeinflusst oder mit quantifizierbaren Beeinflussungen, die entweder zur Bereinigung der Reihe verwendet werden können oder eine Abbildung der Beeinflussung im Modell erlauben,
- abgrenzbares Einzugsgebiet, d. h. unterirdisches Einzugsgebiet gleich dem oberirdischen (meist im Festgesteinsbereich gegeben) oder bekanntes unterirdisches Einzugsgebiet.

Die ausgewählten Pegel sollten weiterhin die in Sachsen-Anhalt repräsentativen Einzugsgebietstypen (Harz, Harzvorland, Lößgebiete, Tiefland) widerspiegeln und die im Zuge der landesweiten Modellierung zu simulierenden Maßstabsbereiche (Kleinst-einzugsgebiete, mittlere und große Flussgebiete) umfassen.

Der Pegel Oberthau wird im Modell nachgeführt (der simulierte Abfluss wird durch den gemessenen ersetzt), weil Teile des Einzugsgebietes der Weißen Elster im Modellgebiet fehlen. Abbildung 4-22 zeigt die Lage der Pegel mit zugehörigen Flusseinzugsgebiet. Tabelle 4-17 listet die Pegel mit der Einzugsgebietsgröße und dem verfügbaren Messdatenzeitraum auf.

Es wurde jeweils der komplett verfügbare Zeitraum, der für die Pegel vorliegt, übergeben (zum Teil ab 1893 bis 2010), so dass mit diesen Daten der Modellkalibrierungszeitraum (1971 - 2000) abgedeckt werden konnte. Für die Kalibrierungspegel Stangerode und Priorau ist die Messwertverfügbarkeit im Modellierungszeitraum kleiner 50 %. Für die Zuflusspegel aus Brandenburg Kietz, Saldernhorst Wehr OP, Voigtsbrücke Wehr UP liegen keine bzw. nur wenige Messdaten vor. Da sie außerhalb der Kalibrierungsgebiete liegen und auch nur einen geringen Flächenanteil haben, wurden die Daten auch nicht zwingend benötigt.

Die verfügbaren Pegelreihen wurden aufbereitet und ins Modell eingepflegt. Die Zeitreihen der Grenzpegel dienten als Randbedingung und wurden als Zufluss (Input) ins Modellgebiet genutzt, während die anderen Pegelreihen nur zu Vergleichszwecken im Rahmen der Modellkalibrierung und -validierung genutzt wurden.

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Tabelle 4-17: Pegel

	Pegel	Gewässer	EZG [km²]	von	bis
Kalibrierungspegel	Alleringersleben	Aller	152	01.11.1970	01.01.2011
	Allstedt	Rohne	119	01.11.1969	01.01.2011
	Barby	Elbe	94060	01.11.1899	31.12.2010
	Bennungen	Helme	902	01.11.1940	01.01.2011
	Calbe-Grizehne	Saale	23719	01.11.1931	01.01.2011
	Calvörde	Ohre	732.1	01.11.1950	01.01.2011
	Elend	Kalte Bode	25.7	01.11.1950	01.01.2011
	Gardelegen	Milde	154	01.11.1979	01.01.2011
	Groß-Gischau	Jeetze	186	01.11.1971	01.01.2011
	Hadmersleben	Bode	2758	01.11.1930	01.01.2011
	Halle-Trotha UP	Saale	17988	01.11.1954	01.01.2011
	Laucha	Unstrut	6218	01.11.1945	01.01.2011
	Mansfeld-Leimbach	Wipper	210	01.11.1959	01.01.2011
	Mertendorf	Wethau	205	01.11.1962	01.01.2011
	Naumburg-Grochlitz	Saale	11449	01.11.1931	01.01.2011
	Priorau	Mulde	6990	01.01.1995	01.01.2011
	Stangerode	Eine	75.3	01.01.1959	01.01.2011
	Stolberg	Thyra	31.7	01.11.1953	30.12.2010
Tanne	Warme Bode	71.5	01.11.1960	01.01.2011	
Thalwinkel	Biberbach	54.5	01.11.1965	31.12.2010	
Wegeleben	Bode	1215	01.11.1893	01.01.2011	
Grenzpegel / Nachführungspegel	Bad Dübener See	Vereinigte Mulde	6170	01.11.1960	01.01.2011
	Camburg-Stöben	Saale	3977	01.11.1931	31.10.2012
	Gera-Langenberg	Weißer Elster	2186	01.11.1950	31.10.2012
	Kietz	Rhin (Mühlenthor)	1759	01.11.1980	01.01.2011
	Löben	Schwarze Elster	4327	01.11.1973	01.01.2011
	Niedertreba	Ilm	894.3	01.11.1922	31.10.2012
	Oldisleben	Unstrut	4173.9	01.11.1922	31.10.2012
	Rathenow (UP)	Havel	19288	01.11.1970	31.12.2012
	Saldernhorst Wehr OP	Dosse (Neue Dosse)	881	01.11.1995	31.10.2004
	Torgau	Elbe	55211	01.11.1935	01.01.2011
Voigtsbrügge Wehr UP	Neue Jäglitz	500	01.11.2001	31.10.2004	

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Oberthau	Weißer Elster	4939	01.11.1972	01.01.2011
----------	---------------	------	------------	------------

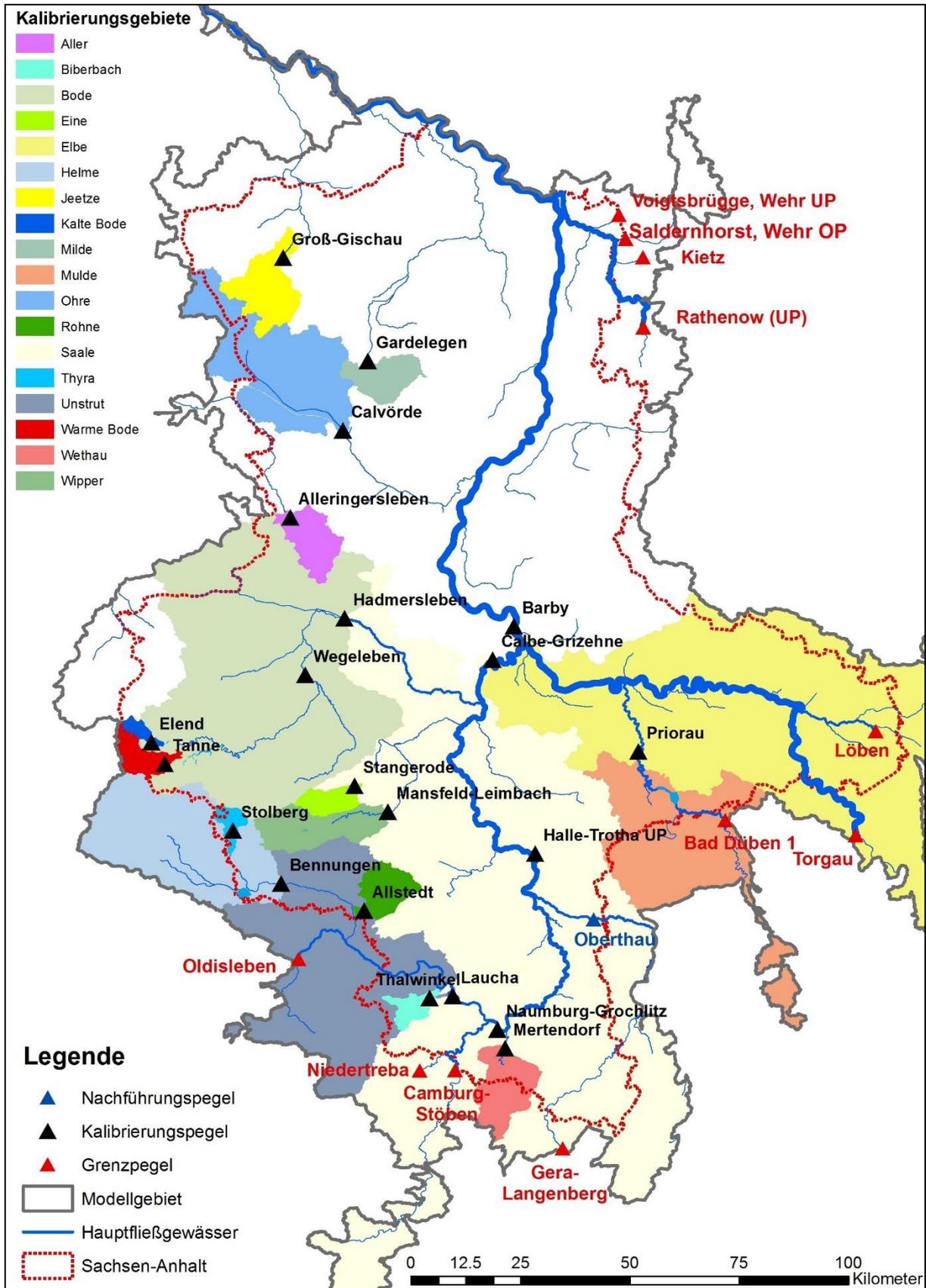


Abbildung 4-22: Pegelstandorte und Einzugsgebiete

5 Modellaufbau

5.1 Erstellung der Basisgeometrien

Die geforderte Aktualisierung der Basisdaten, insbesondere die Nutzung des aktuellen Gewässernetzes und des Teilgebietsdatenbestandes machte einen kompletten Neuaufbau des GIS-Datenmodells unumgänglich, d. h. es waren

- die hydrologisch relevanten Flächendaten (Flächennutzung, Angaben zu den Versiegelungsgraden, den Anschlussgraden an die Kanalisation und zur Art der Kanalisation, Boden, Grundwasserflurabstände, DGM, Drainageflächen, Lithofazies-Einheiten für SlowComp) mit der TG-Datenbasis zu Elementarflächen zu verschneiden,
- das Gewässernetz zu hierarchisieren (Oberlieger-Unterlieger-Beziehungen abzuleiten) und
- die Teileinzugsgebiete mit den Gewässerabschnitten zu verknüpfen.

Da das GIS-Datenmodell ohnehin neu erstellt werden musste, bot sich eine gleichzeitige Aktualisierung der Flächendaten (z. B. CIR20xx, BÜK50) an. Die Aufbereitung der dafür benötigten Basisdaten wurde im Kapitel 4 beschrieben.

Dies wiederum erforderte eine Anpassung der bisherigen Kennwertzuordnung zu den Basisinformationen (z. B. wie ist der Boden geschichtet und welche Kennwerte haben die einzelnen Schichten, durch welche Kennwerte sind bestimmte Vegetationen gekennzeichnet).

Das GIS-Datenmodell beruht auf den bisher im Kapitel 4 beschriebenen Datengrundlagen mit unterschiedlichem Raumbezug:

- Flächendaten
 - Boden,
 - Landnutzung,
 - Oberflächenmorphologie und
 - Grundwasserflurabstände,
- Liniendaten
 - Gewässerabschnitte und
- Punktdaten
 - Klima- und Niederschlagsstationen,
 - Abflussmessstellen und
 - besondere Gewässerpunkte (GWP) wie Bauwerke, Steuereinrichtungen, Einleitungen und Entnahmen aus der fließenden Welle, aber auch aus dem Grundwasser (Brunnen).

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Diese Daten wurden über das GIS-Datenmodell miteinander verknüpft und konnten so für die Modellierung erschlossen werden.

Die zur Erstellung des GIS-Datenmodells notwendige Datenaufbereitung umfasste u. a.

- die Verschneidung der Basiskarten Boden, Landnutzung und Teilgebiete zu Elementarflächen,
- die Hierarchisierung des Gewässernetzes (Unterlieger- Oberlieger-Verknüpfung, Festlegung der Berechnungsreihenfolge) und Ergänzung mit modellrelevanten Zusatzattributen wie Lage der Pegel und u. U. relevante Wassernutzer und
- die Verknüpfung von Teileinzugsgebieten und Gewässerabschnitten als Elemente des Gewässernetzes.

Im Ergebnis entstanden die folgenden digitalen Karten auf Vektorbasis als Grundlage für die Modellierung:

1. Elementarflächen EFL (insgesamt 1.29 Mio. Einzelflächen mit Größen zwischen 0.01 m² und 29.9 km² bei einer mittleren Größe von 2.3 ha), als Verschneidung/Kombination von Boden- und Landnutzungsinformationen mit den hydrologischen Teileinzugsgebieten, denen weitere Kennwerte zugeordnet wurden, wie Informationen zur Charakterisierung
 - der Oberflächenmorphologie (mittlere Höhe, mittleres Gefälle und Exposition) anhand der zur Verfügung stehenden DGMs (siehe Kapitel 4.5),
 - der Grundwasserverhältnisse (Grundwasserwasserflurabstand) und
 - der hydrogeologischen Gegebenheiten (Lithofazies-Zuordnung),
2. oberirdische Teileinzugsgebiete TG (insgesamt 4 051 Teilgebiete mit Flächen zwischen 7.8 m² und 97.6 km² bei einer mittleren Größe von 7.2 km²),
3. Fließgewässerabschnitte FGW (insgesamt 8 821 Abschnitte mit Längen zwischen 1.4 m und 23.9 km bei einer mittleren Länge von 1 655 m) inklusive Gewässerknoten zur Abbildung von Bauwerken etc. und
4. meteorologische Stationen (insgesamt 1 524, davon 102 Klimastationen).

5.2 Berücksichtigung der Oberflächenmorphologie

Zur Berücksichtigung der Oberflächenmorphologie werden im Rahmen der Modellierung die Kenngrößen Geländehöhe, Geländegefälle und Hangausrichtung (Aspekt) benötigt.

Für die Erstellung eines Höhenmodells für das Modellgebiet wurden das DGM10 Sachsen-Anhalt, DGM10 Brandenburg, sowie das SRTM Höhenmodell in einer Auflösung von 100 m als Datenquellen verwendet (Abbildung 4-16). Das SRTM Höhenmodell wurde hierbei für alle

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

umliegenden Bundesländer verwendet, die durch das DGM10 Sachsen-Anhalt und Brandenburg nicht erfasst werden konnten.

Zur Ableitung eines einheitlichen Höhenmodells für das gesamte Modellgebiet wurden die mittlere Höhe und mittlere Neigung für jede Elementarfläche mit „zonal statistics“ aus den drei Geländemodellen ermittelt und den Elementarflächen je nach ihrer Lage zugeordnet. Eine direkte Zuordnung der mittleren Höhen und Neigung aus dem DGM10 Sachsen-Anhalt wurde nur für die Elementarflächen vorgenommen, deren Fläche zu mindestens 90 % durch das DGM10 Sachsen-Anhalt abgedeckt ist. Für Randflächen, die mit weniger als 90 % vom DGM10 Sachsen-Anhalt abgedeckt werden, wurden Höhe und Gefälle flächengewichtet nach ihrem jeweiligen Anteil in den zur Verfügung stehenden DGM ermittelt.

Die Daten zur Hangausrichtung, wurden über „zonal aspect“ aus den angegebenen Datenquellen abgeleitet. Analog zur Ableitung der Höhe und des Gefälles, wurde auch hier zwischen Flächen die überwiegend in Sachsen-Anhalt liegen und Randflächen bzw. Flächen in den angrenzenden Bundesländern unterschieden. Für Flächen, die mindestens zu 50 % auf dem Gebiet des DGM10 Sachsen-Anhalts liegen, wurde die Hangausrichtung aus dem DGM10 Sachsen-Anhalt übertragen. Für die Brandenburger Flächen wurde die Hangausrichtung aus dem DGM10 Brandenburg übertragen. Für Flächen außerhalb Sachsen-Anhalts und Brandenburgs wurde das SRTM verwendet.

Außerdem wurden einigen Flächen aufgrund zu geringer Flächengröße keine Werte zugeordnet. Diesen wurde die Höhe, Neigung und Hangausrichtung ihrer nächstgelegenen Nachbarflächen zugewiesen.

Das Ergebnis der flächendeckenden Aufbereitung der Daten zur Oberflächenmorphologie ist in den folgenden Abbildungen (Abbildung 5-1 bis Abbildung 5-3) dargestellt. Sie zeigen die Höhen- und Gefälleverhältnisse und die Hangausrichtung im Untersuchungsgebiet.

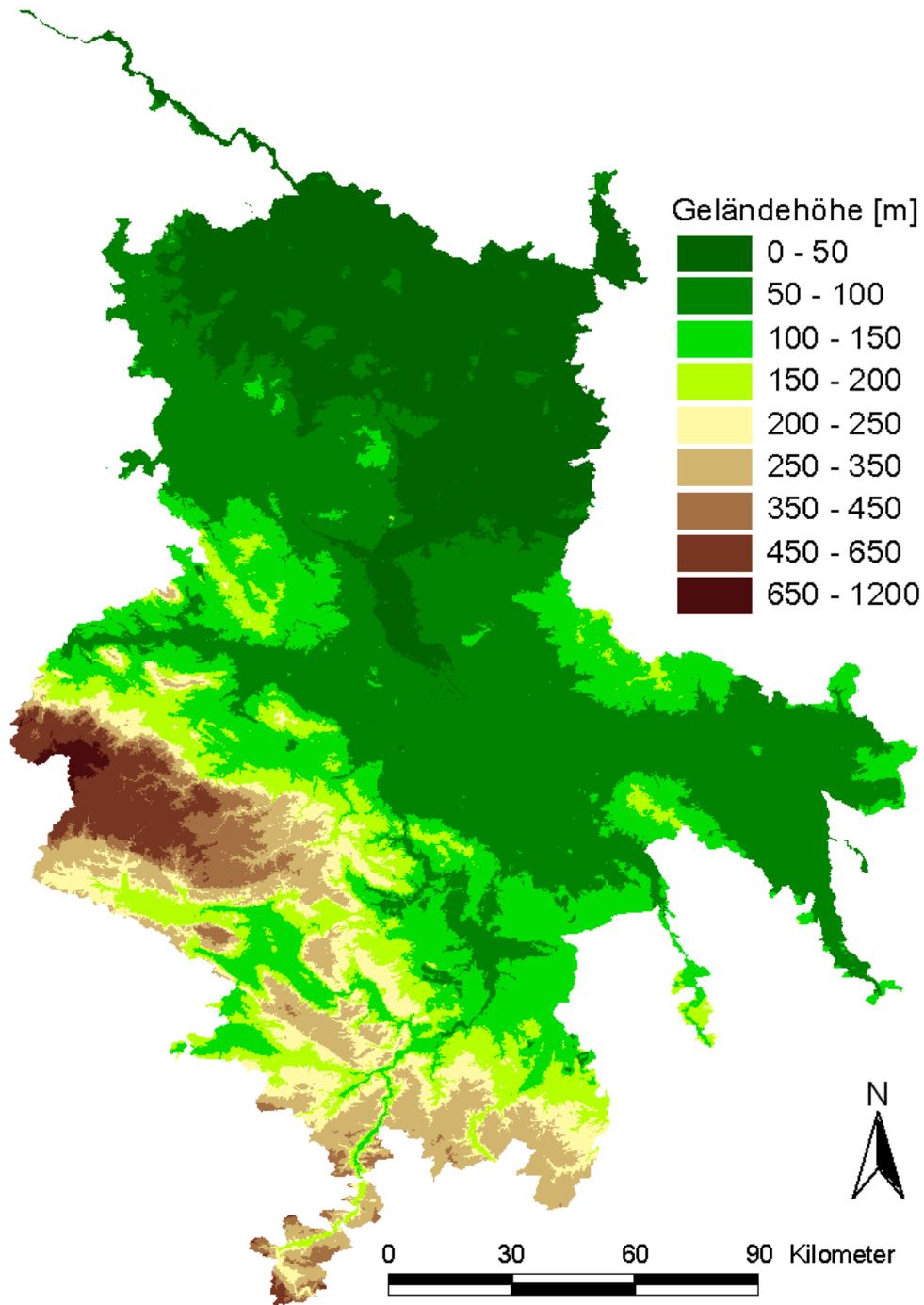


Abbildung 5-1: Höhe [mNN] im Untersuchungsgebiet

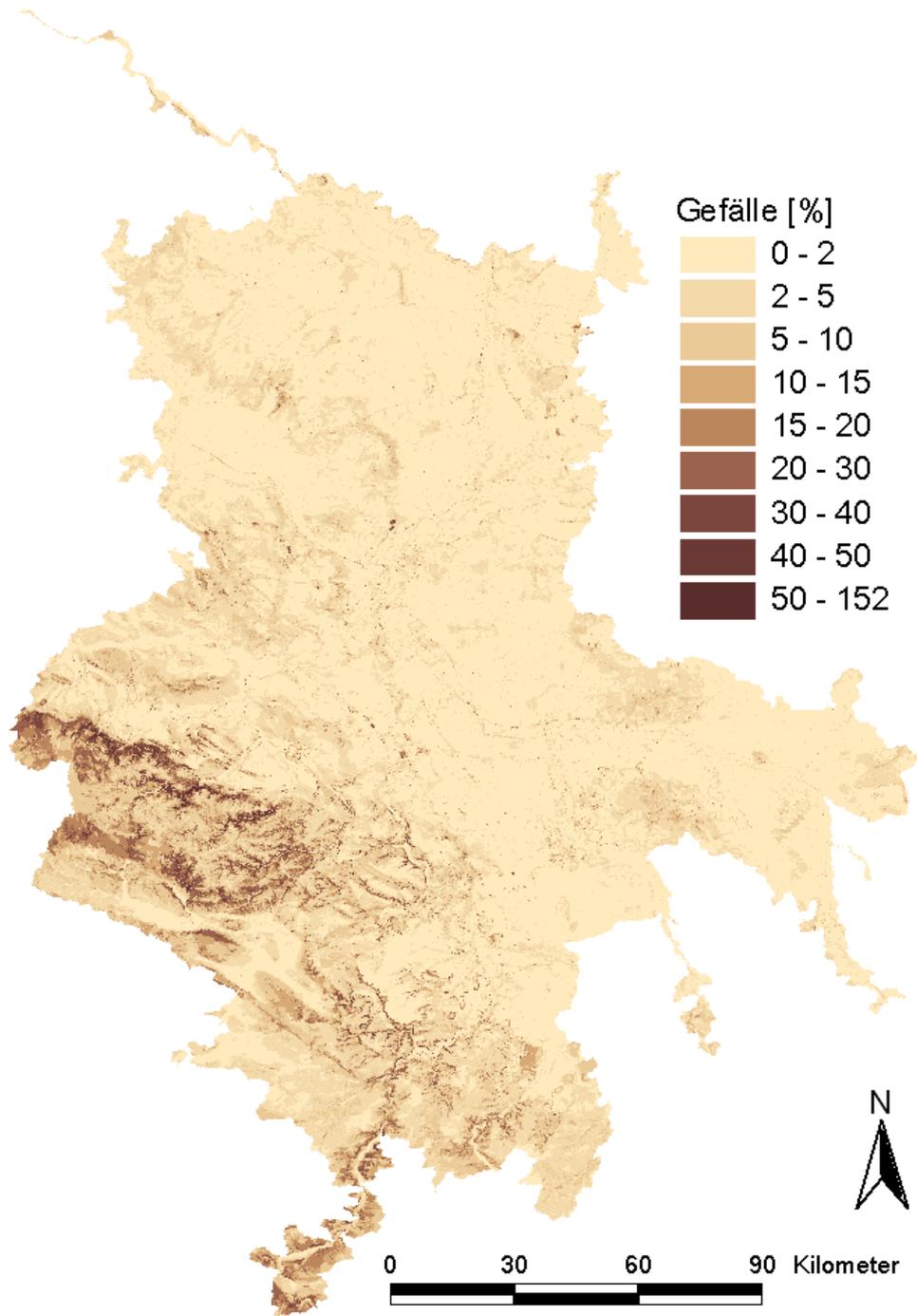


Abbildung 5-2: Gefälle [%] im Untersuchungsgebiet

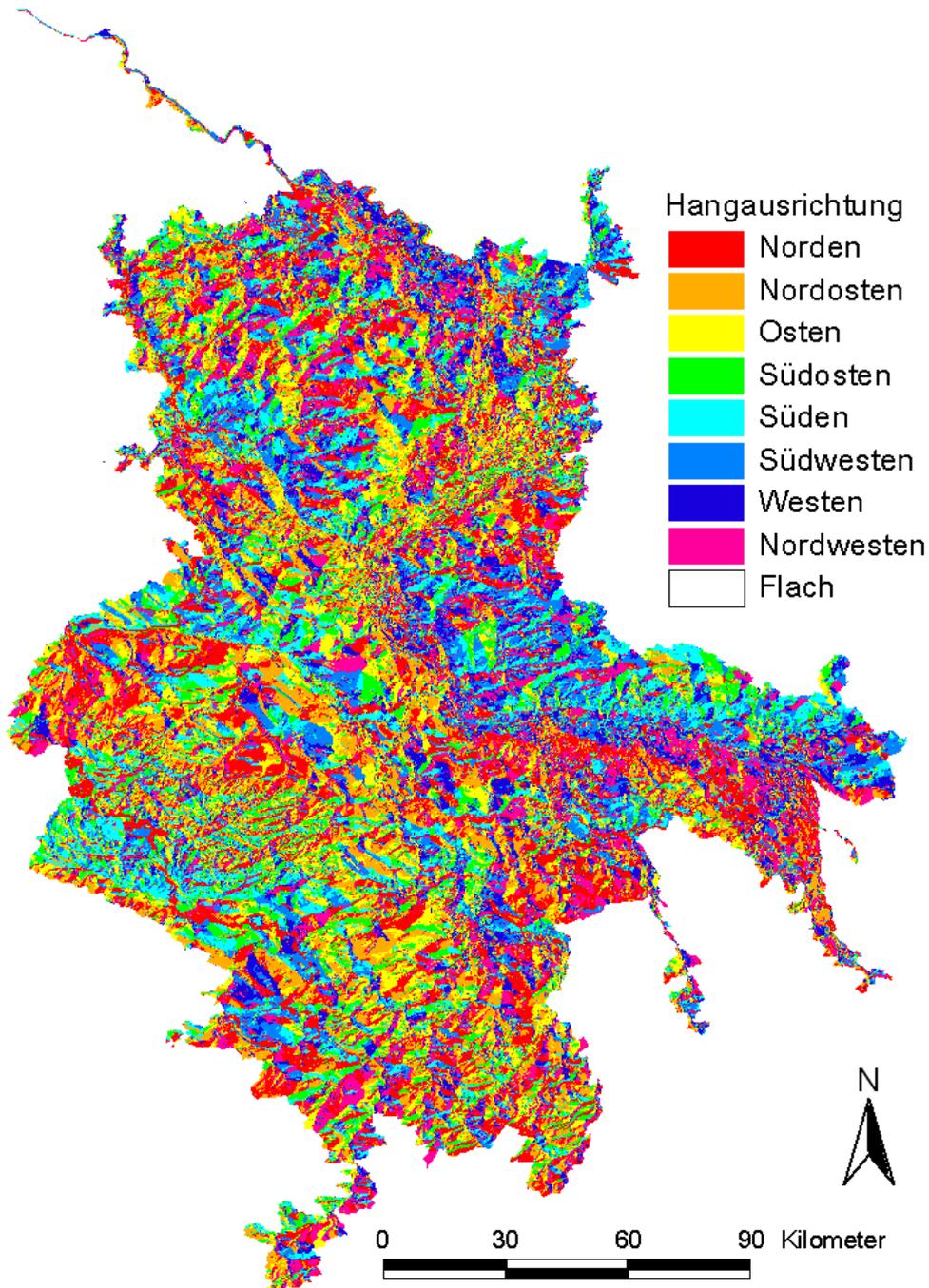


Abbildung 5-3: Hangausrichtung im Untersuchungsgebiet

5.3 Hydrographische und wasserwirtschaftliche Verhältnisse

5.3.1 Bearbeitung des Gewässernetzes, der Teileinzugsgebiete, der Oberflächenwasser- und Grundwasserkörper

An eine für die hydrologische Modellierung nutzbare Gewässerdatenbasis sind die folgenden Anforderungen zu stellen:

- Das Gewässernetz muss geometrisch korrekt sein, d. h.
 - zusammenhängend (ohne Lücken),
 - frei von geometrischen Fehlern (Überlagerungen, Kreuzungen, ungetrennte Anschlüsse, intern ungeordnete Linienelemente etc.) und
 - in Fließrichtung ausgerichtet sein.
- Es muss eine eindeutige Attribuierung (LAWA-Nr. oder IDs) aufweisen.
- Gewässerabschnitte sollten ihren Speisungsflächen eindeutig zuordenbar sein, d. h. Teilgebiets- und Fließgewässer-Cover müssen aufeinander abgestimmt sein.
- Bei Verzweigungen muss das Hauptgewässer vorgegeben sein, um eine eindeutige Unterliegerzuordnung vornehmen zu können (Vorgabe z. B. über LAWA-Gewässernummer).

Das durch das LHW bereitgestellte Fließgewässernetz entsprach weitgehend obigen Anforderungen. Es besteht aus ca. 8 200 Gewässerabschnitten und konnte bis auf geringfügige geometrische Änderungen unmittelbar als Grundlage für die Modellierung verwendet werden. Für die Modellierung wurde diese Datenbasis um verschiedene Attribute, wie Unterlieger und mittleres Sohlgefälle, ergänzt. Das Sohlgefälle definiert im Modell, ob ein Abschnitt schnell oder langsam entwässert und ist somit ein wichtiger Kennwert für die Berechnung der Abflusskonzentration im Gewässernetz. Die Gefällewerte wurden bestimmt, indem die Höhenwerte für den oberen und unteren Knoten eines jeden Gewässerabschnittes im DGM1 ermittelt wurden und die Höhendifferenz auf die Länge des Abschnittes bezogen wurde. Dabei wurden für die Höhenermittlung der in Sachsen-Anhalt liegenden Gewässerknoten das DGM1 verwendet, für Brandenburg das DGM10 und für die restlichen Punkte in Sachsen, Thüringen und Niedersachsen das SRTM. Bei der Gefälleermittlung ergaben sich auch negative Gefällewerte. Vor allem sehr kurze Gewässerabschnitte und/oder sehr gefällearme Bereiche waren davon betroffen. Zur Korrektur dieser Werte wurde eine eigens dafür entwickelte ArcView-Extension genutzt, mit der die Gefällewerte geglättet bzw. räumlich interpoliert werden, in dem bei negativen Gefällewerten die Gefälle des Ober- und Unterliegers mit einbezogen und über diese drei Gewässerabschnitte das Gefälle gemittelt.

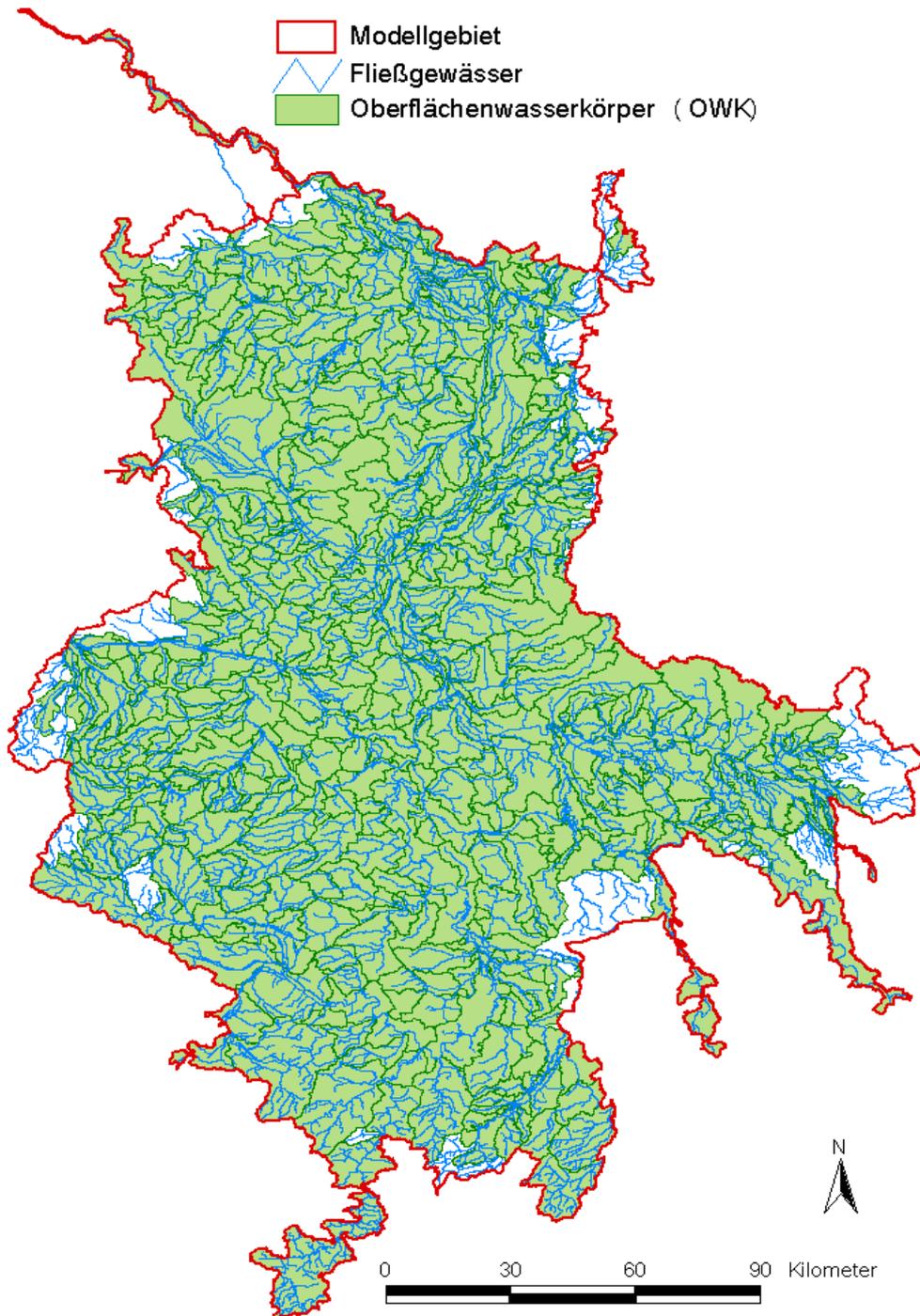


Abbildung 5-4: Fließgewässer mit Teileinzugsgebieten und Oberflächenwasserkörper

Das so erstellte Modellgewässernetz bildet über die zugeordneten Oberlieger-Untерlieger-Beziehungen Baumstrukturen ab und gestattet eine Festlegung einer Berechnungsreihenfolge von den Quellen zur bzw. zu den Mündungen. Diese Hierarchisierung gewährleistet, dass jeder Gewässerabschnitt im Zuge der Abflusskonzentrationssimulationen erst dann bearbeitet wird, wenn sämtliche Oberliegerzuflüsse berechnet sind.

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Für die in diesem Auftrag geforderte Ermittlung von Wasserhaushaltsgrößen für Oberflächenwasser- und Grundwasserkörper war außerdem eine eindeutige Zuordnung der Gewässerabschnitte und der Teileinzugsgebiete zu diesen Wasserkörpern notwendig.

Die Zuordnung der Teilgebiete und Gewässerabschnitte zu den Oberflächenwasserkörpern erfolgte über zwei Attribute. Das Attribut OWKID ordnet das Geometrieelement (TG bzw. FGW) einem OWK zu. Das Attribut OWKAUS kennzeichnet das Geometrieelement, das quasi den Gebietsauslass darstellt und im Zuge der Berechnungen den kumulativen Abfluss aller internen Teilgebiete bzw. Gewässerabschnitte dieses OWKs zugewiesen bekommt.

5.3.2 Grenzpegel / Einspeisungen

In der Pegeldatenbasis bilden die Grenzpegel eine besondere Kategorie. Die Pegelwerte werden als Zuflüsse ins Modell integriert bzw. eingespeist. Diese Einspeisungen sind notwendig, weil das erstellte Modell nur Teile der hydrologischen Einzugsgebiete von Elbe, Mulde und Saale beinhaltet und somit die Durchflüsse dieser Gewässer nur simuliert werden können, wenn die nicht simulierten Einzugsgebiete über ihren Zufluss nach Sachsen-Anhalt berücksichtigt werden (siehe Abbildung 5-5). Der Pegel Oberthau ist Nachführungspegel (der simulierte Abfluss im Modell wird durch den gemessenen ersetzt), da ein Flächenanteil der Weißen Elster im Modellgebiet fehlt. Im Einzelnen wurden folgende 12 Pegel ins Modell eingespeist:

Grenzpegel

- **Elbe**
(Torgau)
- **Saale**
(Camburg)
- **Unstrut**
(Oldisleben)
- **Mulde**
(Bad Düben)
- **Ilm**
(Niedertreba)
- **Weißer Elster**
(Gera Langenbeck)
- **Schwarze Elster**
(Löben)
- **Havel**
(Rathenow)
- **Rhin**
(Kietz)
- **Neue Jäglitz**
(Voigtsbrücke, Wehr UP)
- **Dosse**
(Saldernhorst)

Nachführungspegel

- **Weißer Elster**
(Oberthau)

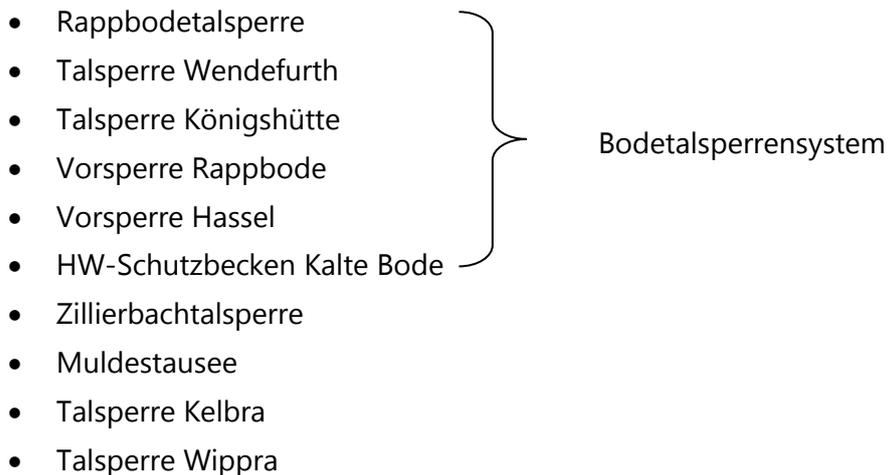


Abbildung 5-5: Lage der Grenzpegel und Talsperren

5.3.3 Bewirtschaftungsdaten Bauwerke / Talsperren

Die folgenden zehn wichtigen Talsperren und Speicher in Sachsen-Anhalt wurden inklusive ihrer Bewirtschaftung in das Modell integriert.

Abbildung 5-5 zeigt Ihre Lage im Untersuchungsgebiet.

- Rappbodetalsperre
 - Talsperre Wendefurth
 - Talsperre Königshütte
 - Vorsperre Rappbode
 - Vorsperre Hassel
 - HW-Schutzbecken Kalte Bode
 - Zillierbachtalsperre
 - Muldestausee
 - Talsperre Kelbra
 - Talsperre Wippra
- 
- Bodetalsperrensystem

Die verwendeten Daten/Kennwerte und Angaben zur Bewirtschaftung/Steuerung werden im Anhang 1 erläutert. Die Angaben zum Muldestausee und zu den Talsperren Kelbra und Wippra wurden neu erfasst und in das Modell integriert, während die Speicher und Talsperren aus dem Bodetalsperrensystem und die Zillierbachtalsperre aus dem Projekt „HW-Bode“ (Haberlandt et al., 2009) übernommen wurden, weil keine aktuelleren Daten zu diesen Talsperren vorlagen.

Da in der vorliegenden Untersuchung die mittleren Abflussverhältnisse im Vordergrund standen, wirkte sich die Einbeziehung der Talsperren nur dann auf die Modellergebnisse aus, wenn deren Bewirtschaftung nicht nur auf eine Vergleichmäßigung der Abflüsse abzielt (Hochwasserreduzierung, Niedrigwasseraufhöhung), sondern auch Bilanzänderungen (Trink- und Brauchwasserbereitstellung) zur Folge hat. Dies ist in nennenswertem Umfang nur für das Bodetalsperrensystem gegeben, aus dem etwa 2 m³/s Wasser entnommen und über Fernwasserleitungen an die FWV Elbaue-Ostharz GmbH geleitet werden. Aus der Talsperre Königshütte werden maximal 8 m³/s Wasser entnommen und in die Rappbodetalsperre übergeleitet. Die Integration dieser Nutzungen in das Modell wurden anhand der verbesserten Abbildung der Abflussbilanzen an den Pegeln Hirtenstieg und Wendefurth sichtbar. Die Vergleichmäßigung der Abflüsse durch die Talsperrenbewirtschaftung zeigte sich anhand der verbesserten Anpassungsgüte an den Pegeln Königshütte KB, Hirtenstieg, Wendefurth und Wernigerode. Der Wirkungsnachweis für alle im Modell abgebildeten Talsperren wird im Anhang 1 erbracht.

5.4 Einbindung der meteorologischen Daten in das Modell

Eingangsgroßen in die Abflussmodellierung sind neben dem Niederschlag Klimagrößen zur Berechnung der potenziellen Verdunstung. Für die Modellierung mit ArcEGMO, unter Nutzung des PSCN-Moduls zur Simulation des Vegetationseinflusses, wird die Gras-Referenzverdunstung GRV (ATV-DVWK, 2002) nach der Penman-Monteith-Beziehung empfohlen. Für diese Verdunstungsberechnung werden:

- die Globalstrahlung (alternativ die Sonnenscheindauer zur programminternen Berechnung der Globalstrahlung),
- die relative Luftfeuchte,
- die Tagesmitteltemperatur und
- die mittlere Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe

benötigt.

Der HYRAS-Datensatz beinhaltet keine Windgeschwindigkeit, so dass diese Daten alleine nicht für die Verdunstungsmodellierung ausreichen, da für die Berechnung der Grasreferenzverdunstung die Windgeschwindigkeit benötigt wird. Daher wurden die Stationsdaten zusätzlich mit einbezogen.

Wie in Kapitel 4.6 gezeigt wurde, haben die aus den Stationsdaten auf das Modellgebiet räumlich interpolierten Größen Lufttemperatur, Niederschlag und relative Luftfeuchte ein sehr ähnliches Muster in der gleichen Größenordnung wie die HYRAS-Daten.

Die folgenden Abbildungen stellen lokale Unterschiede anhand von Differenzkarten aus den interpolierten meteorologischen Größen des HYRAS-Datensatzes und des Stationsdatensatzes dar. Dabei kennzeichnen die rötlich eingefärbten Flächen Regionen, in denen die HYRAS-Daten größere Werte aufweisen als die Stationsdaten und bläulich eingefärbte Flächen Regionen, in denen die HYRAS-Daten geringere Werte beinhalten.

Für die Niederschläge treten lokal beträchtliche Unterschiede auf, vor allem im Harz und im Harzvorland. Diese sind darauf zurückzuführen, dass der Niederschlag eine räumlich sehr variable Größe ist. Da die Niederschlagsstationen nicht die gesamte Fläche repräsentieren können, erfolgen linear höhenabhängige Korrekturen der Stationswerte. Beim HYRAS-Datensatz sind die Stationsdaten entfernungsgewichtet korrigiert, so dass hier eine höhere Genauigkeit erwartet wird.

Der Niederschlag als Eingangsgroße in die Modellierung wurde daher aus dem HYRAS-Datensatz verwendet. Die HYRAS- Niederschläge sind jedoch unkorrigiert und mussten daher noch korrigiert werden (siehe unten).

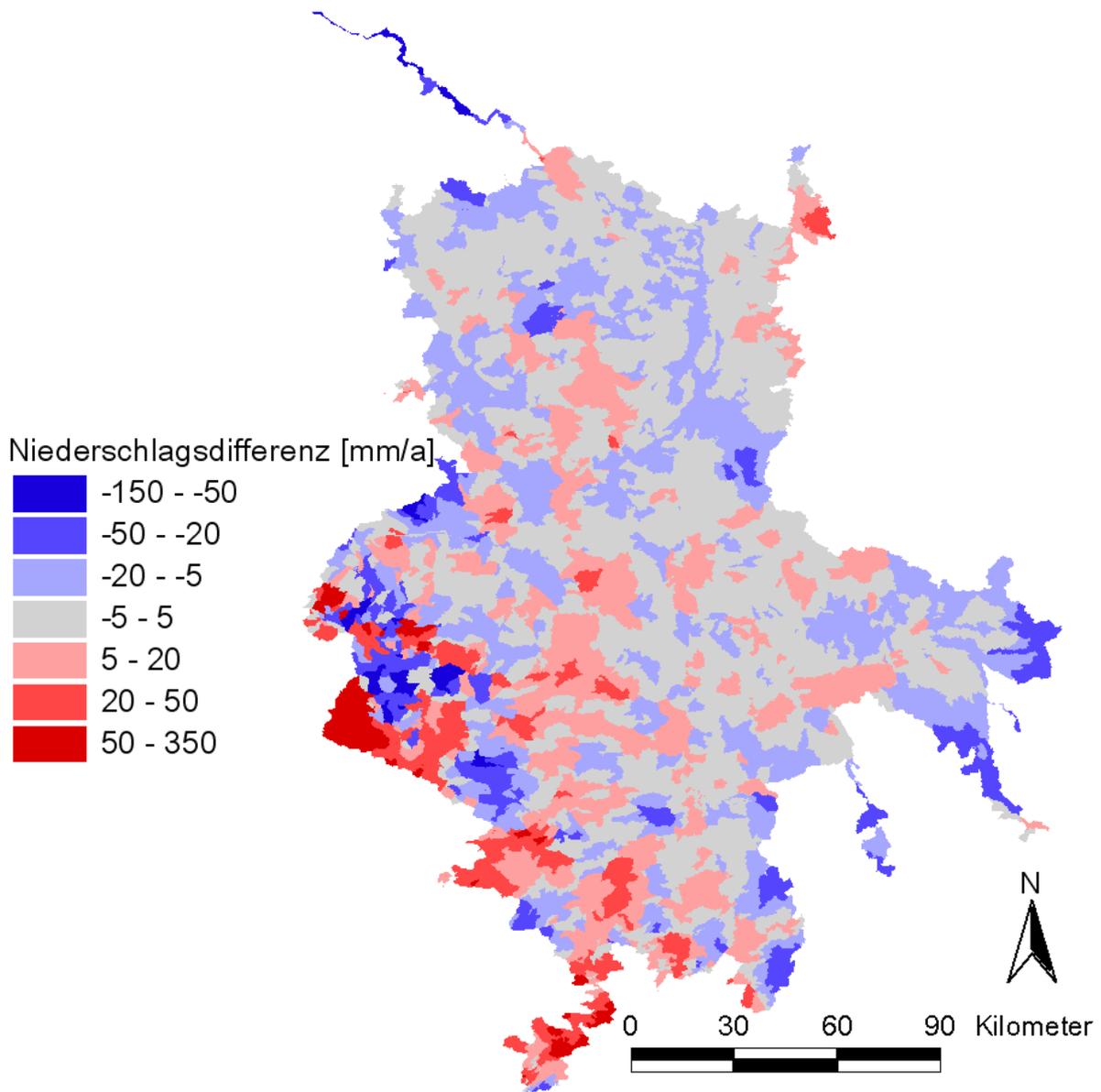


Abbildung 5-6: Niederschlagsdifferenz aus HYRAS-Daten und stationsbezogenen Werten

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Bei der Tagesmitteltemperatur zeigen sich lokale Unterschiede $\pm 1^\circ\text{C}$. Vor allem im Windschatten des Harzes liegen die HYRAS-Daten deutlich unter den Stationswerten.

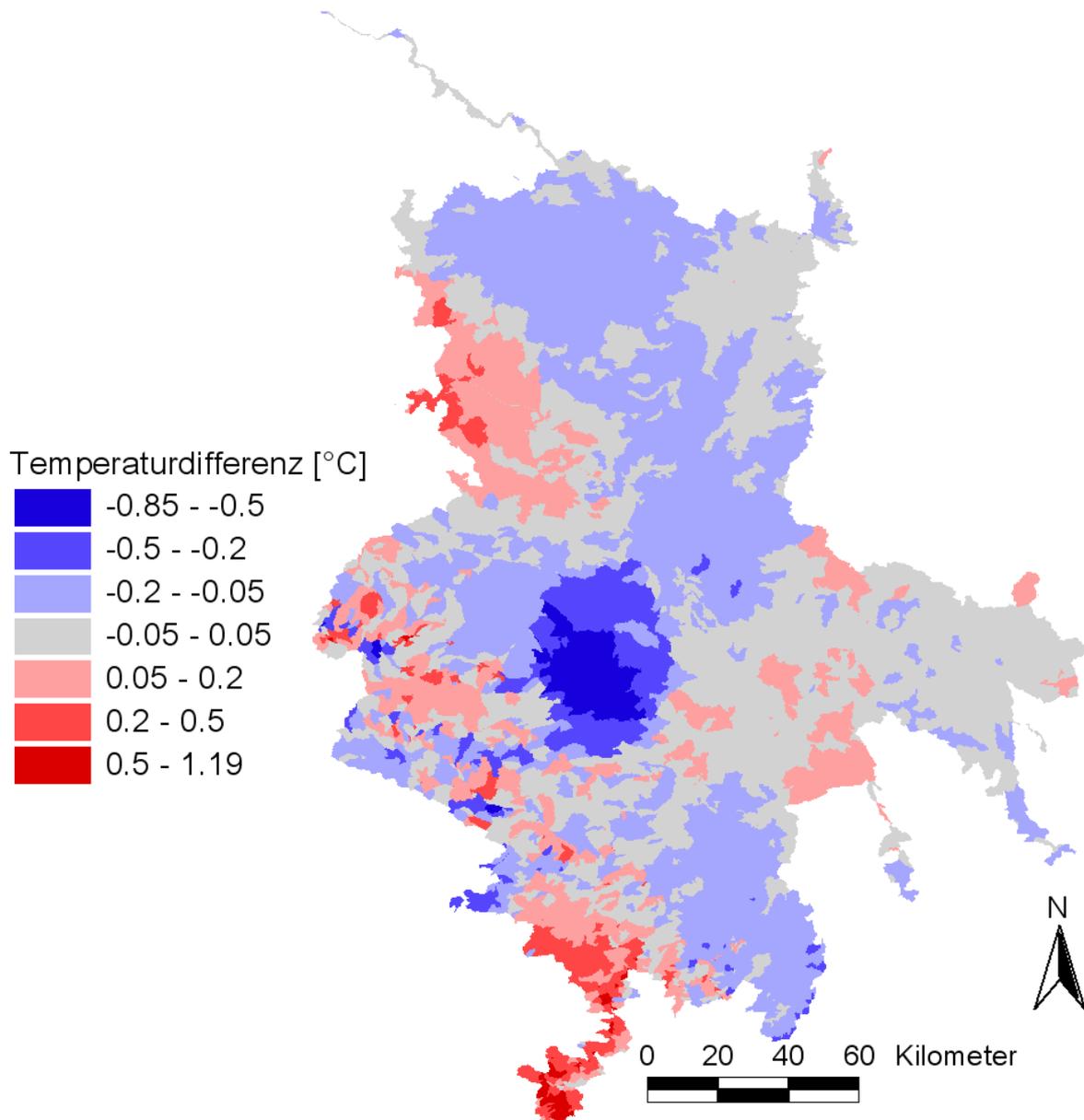


Abbildung 5-7: Differenz der Tagestemperatur aus HYRAS-Daten und stationsbezogenen Werten

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Die Globalstrahlung zeigt dagegen größere Unterschiede, da bei der programminternen räumlichen Interpolation aus den Stationsdaten das Geländegefälle und die Hangausrichtung berücksichtigt wurde, während für HYRAS nur eine IDW -Interpolation angewendet wurde (siehe Kapitel 4.6). Es ist also sinnvoll, die Globalstrahlung für die Verdunstungsberechnung aus den Stationsdaten zu verwenden.

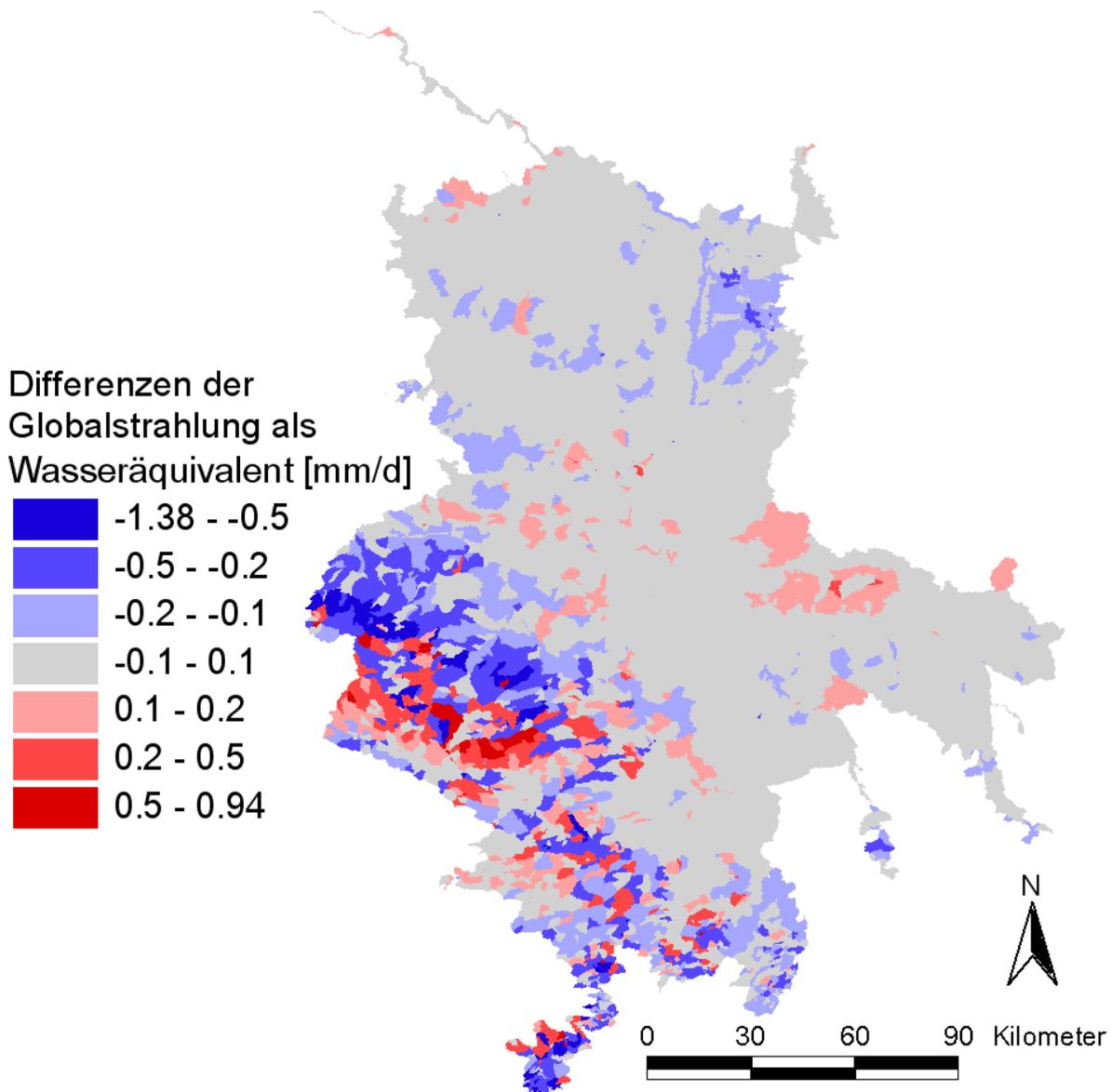


Abbildung 5-8: Differenz der Globalstrahlung aus HYRAS-Daten und stationsbezogenen Werten

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Die relative Luftfeuchte in beiden Datensätze ist sehr ähnlich, wie an der großen Ausdehnung der grauen Flächen in Abbildung 5-9 zu erkennen ist.

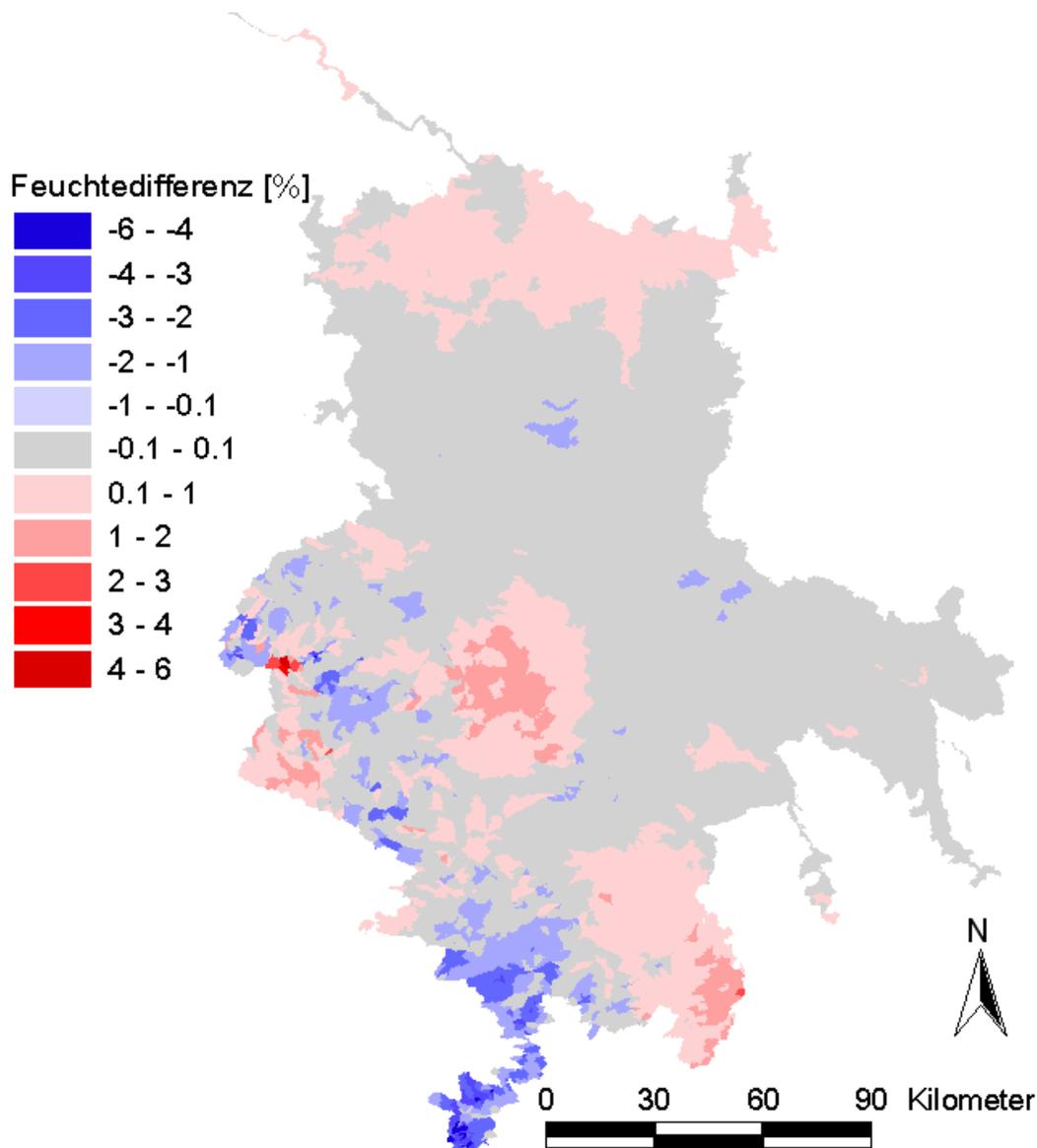


Abbildung 5-9: Differenz der relativen Luftfeuchte aus HYRAS-Daten und stationsbezogenen Werten

Die Analyse der meteorologischen Daten machte deutlich, dass für die Modellierung eine Kombination aus HYRAS-Daten und Stationsdaten sinnvoll ist. So wurden die Niederschläge aus dem HYRAS-Datensatz und die anderen meteorologischen Größen aus dem Stationsdatensatz verwendet. Die Lage der HYRAS- und Klimastationen ist in Abbildung 5-10 dargestellt.

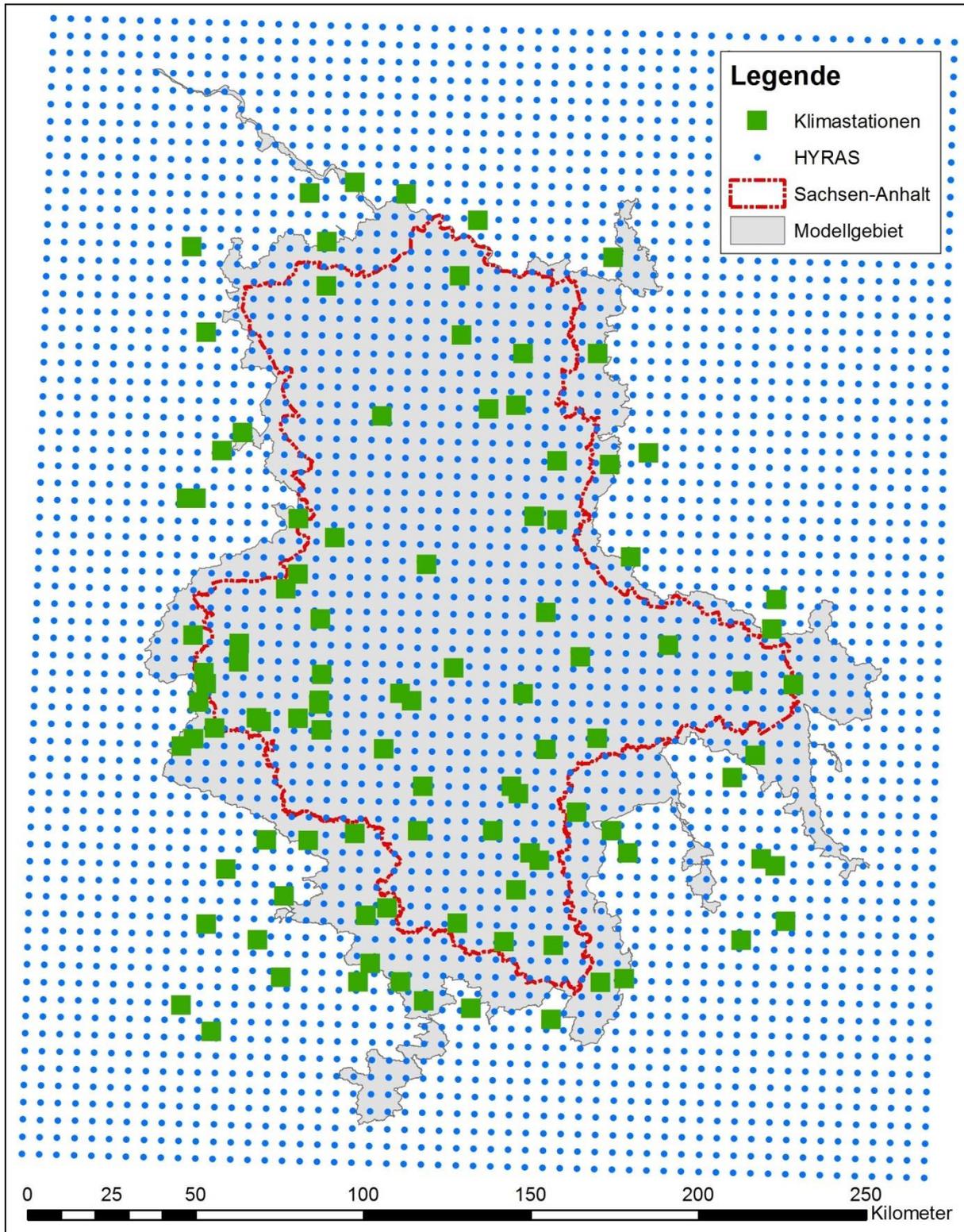


Abbildung 5-10: HYRAS-Rasterpunkte und Klimastationen

Die in den Reihen teilweise vorhandenen Datenlücken wurden programmintern durch eine höhen- und entfernungsgewichtete Interpolation von Werten benachbarter Stationen geschlossen.

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Da die HYRAS-Niederschläge unkorrigiert sind, mussten sie korrigiert werden, um Windfehler und Benetzungsverluste auszugleichen. Dafür gibt es in ArcEGMO zwei Möglichkeiten:

- a. die Vorgabe von festen Korrekturfaktoren (4% bis 7% bei Regen, 20% bis 35% bei Schnee, Differenzierung Regen/Schnee über eine Grenztemperatur) und
- b. die Korrektur nach Richter (1995), die mit Absolutwerten arbeitet.

Die Richterkorrektur wurde in den letzten Jahren vielfach angewendet, weil diese die Niederschläge nicht pauschal nur in Abhängigkeit von der Temperatur, sondern abhängig von den lokalen Gegebenheiten korrigiert. Entscheidend dabei ist die Windexposition der Messstelle, die über den Geschütztheitsgrad der Station berücksichtigt wird. In der Literatur existieren für die Richterkorrektur verschiedene Varianten:

1. Roers (2013) differenziert in flüssigen Niederschlag bei Temperaturen $> 2^{\circ}\text{C}$, Schneefall bei Temperaturen $\leq 1^{\circ}\text{C}$ und Mischniederschlag.
2. Im Regionalen Klimainformationssystem ReKIS der Länder Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt wird ebenfalls in drei Niederschlagsformen differenziert, allerdings mit anderen Grenztemperaturen (flüssiger Niederschlag bei $> 3^{\circ}\text{C}$ und Schneefall bei Temperaturen $\leq -0.7^{\circ}\text{C}$).
3. UData unterscheidet bei der Erstellung eines Klimadatensatzes für Sachsen im WASKLIM-Projekt nur in flüssigen und festen Niederschlag (Grenztemperatur 0.7°C).

Insbesondere die Tatsache, dass im Regionalen Klimainformationssystem ReKIS mit der Richterkorrektur gearbeitet wurde, führte im Rahmen des vorliegenden Projektes dazu, die Richterkorrektur mit der Variante 2 - ReKIS in ArcEGMO zu integrieren. Da die Stützstellen im HYRAS-Datensatz Rasterzellen sind und somit keine echten Stationen repräsentieren, musste eine „mittlere Geschütztheit“ angenommen werden.

Die nach Richter korrigierten Niederschläge sind gegenüber den unkorrigierten im Mittel um 5.2 % erhöht, wie die räumliche Verteilung in Abbildung 5-11 zeigt.

Vergleicht man die simulierten Verdunstungshöhen, die sich zum einen bei Verwendung des unkorrigierten und zum anderen mit den korrigierten Niederschlägen ergeben, so zeigt sich eine um 2.6 % erhöhte reale Verdunstung mit korrigierten Niederschlägen. Dies ist aber kaum noch in der räumlichen Verteilung der Verdunstung sichtbar (siehe Abbildung 5-12).

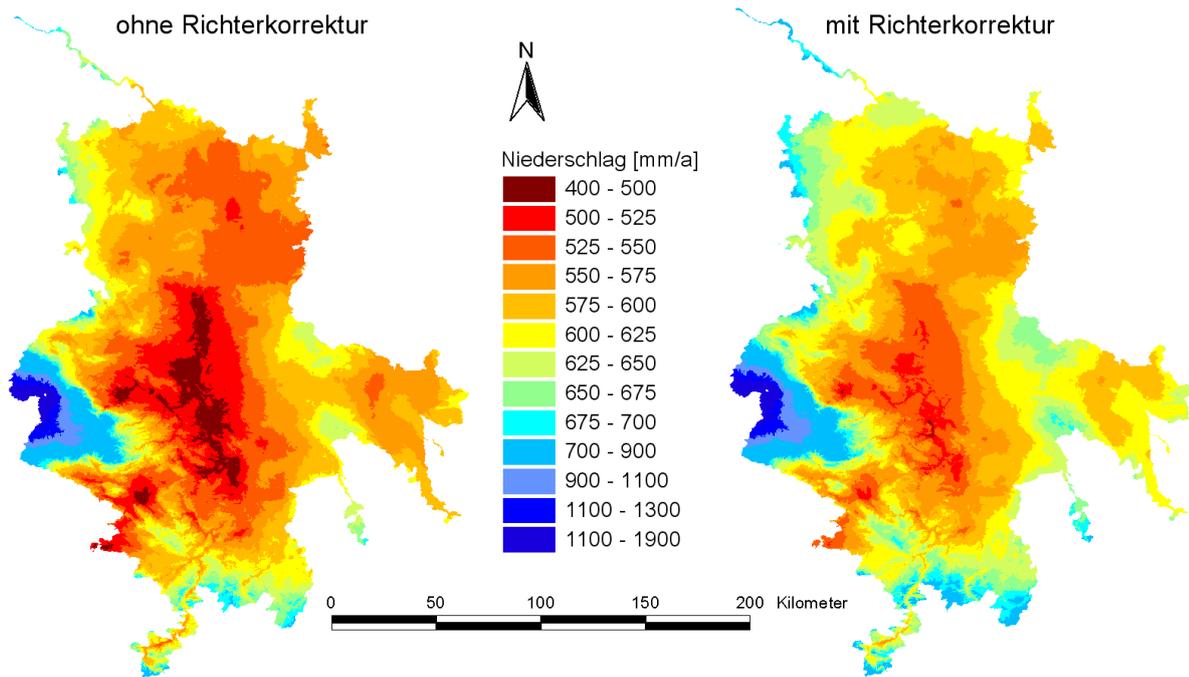


Abbildung 5-11: Vergleich der Niederschläge mit und ohne Richterkorrektur

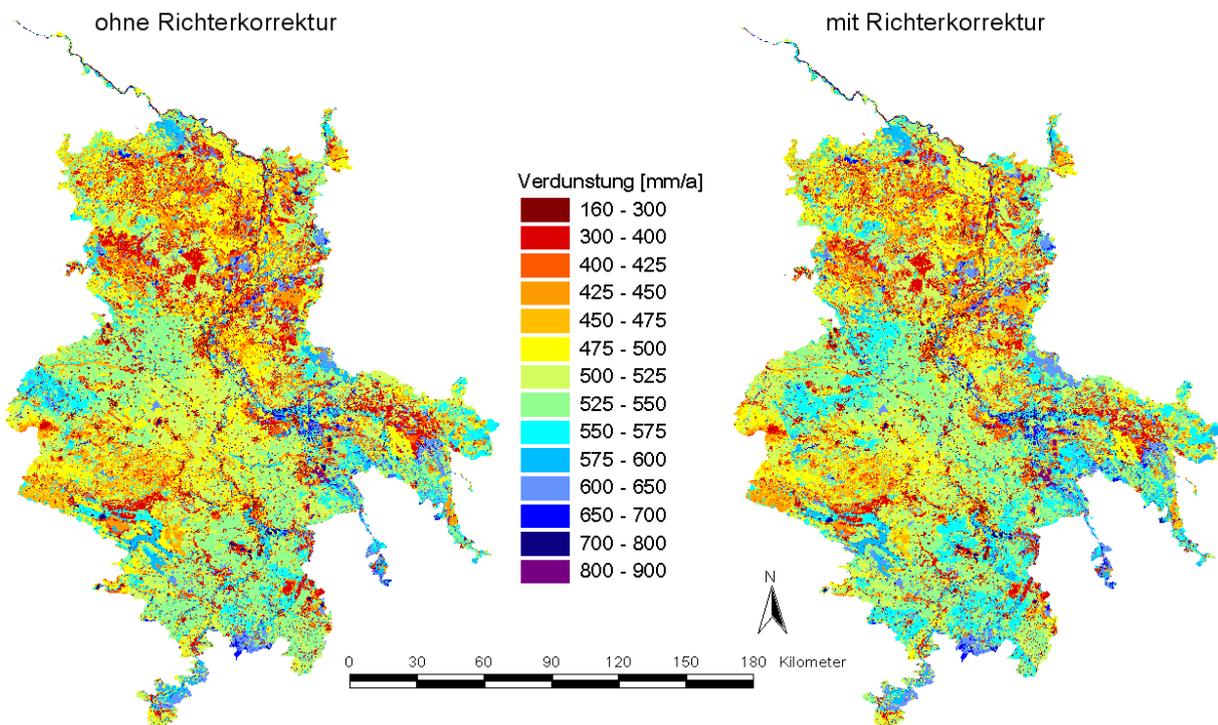


Abbildung 5-12: Vergleich der realen Verdunstung mit und ohne Richterkorrektur

6 Modellpräzisierung im Ergebnis erster Modellsimulationen

6.1 Anpassung der Basisdaten nach Sichtung erster Ergebnisse

Mit dem gemäß den Ausführungen im Kapitel 5 aufgebauten Modell wurden Wasserhaushalts- und Abflusssimulationen durchgeführt.

Die räumliche Verteilung der simulierten Sickerwassermengen zeigte sehr geringe, teilweise sogar leicht negative Sickerwasserraten im Regenschatten des Harzes. Dies machte eine genauere Analyse dieses Gebietes erforderlich. Diese Region wird auch als Mitteldeutsches Trockengebiet bezeichnet und ist durch sehr geringe Niederschläge und sehr fruchtbare Lößböden gekennzeichnet. Diese sehr bindigen Böden sorgen für eine gute Wasserspeicherung, so dass die geringen Niederschläge nahezu komplett von der Vegetationsdecke transpiriert werden. Die hohen Entzugsraten über die Pflanzenwurzeln haben damit sehr geringe Sickerwasserraten zur Folge.

Eine Auswertung von Grundwasserganglinien auf grundwasserfernen Standorten im Mitteldeutschen Trockengebiet zeigt, dass an einigen Standorten tatsächlich sehr geringe Grundwasserneubildungen auftreten (siehe Abbildung 6-1). An anderen Standorten findet dagegen eine mehr oder weniger regelmäßige Grundwasserneubildung statt, welche zu den in Abbildung 6-2 erkennbaren Grundwasserstandsschwankungen führt.

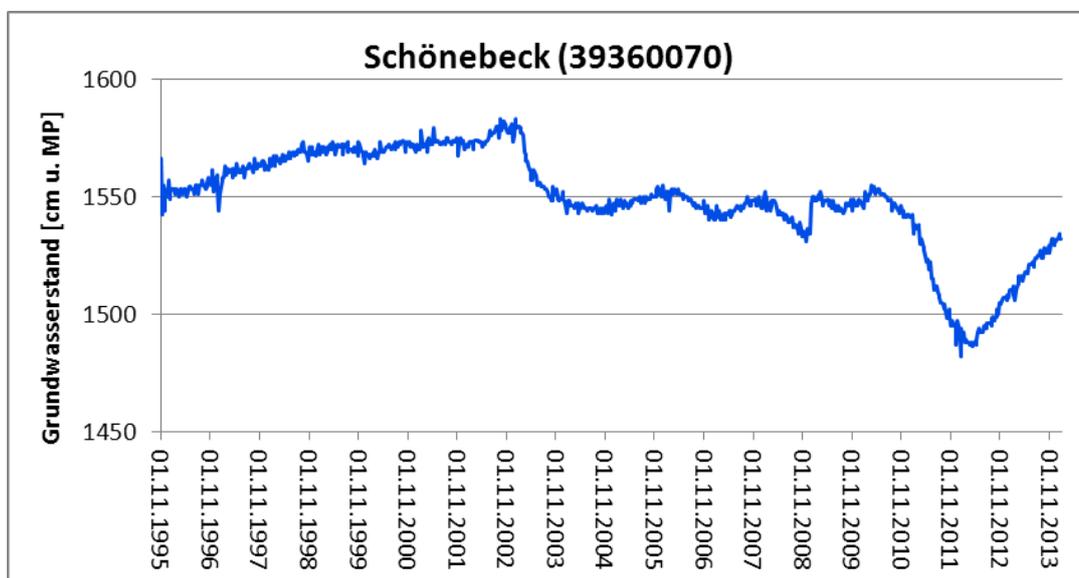


Abbildung 6-1: Grundwasserganglinien im Mitteldeutschen Trockengebiet, bei denen kaum Grundwasserneubildung zu erkennen ist

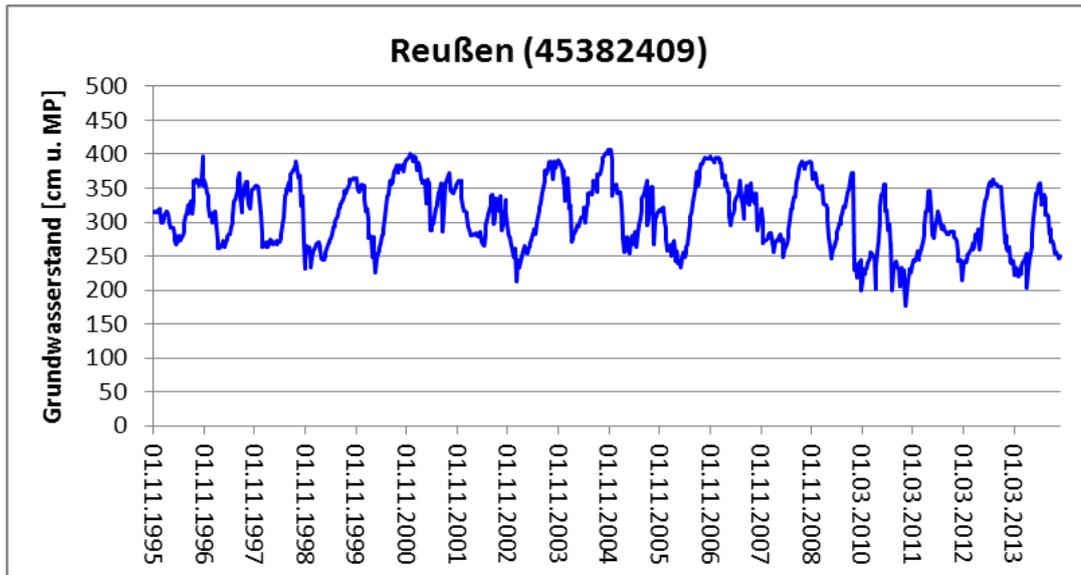


Abbildung 6-2: Grundwasserganglinien im Mitteldeutschen Trockengebiet, bei denen Grundwasserneubildung zu erkennen ist

Daraufhin wurden folgende Anpassungen am Modell vorgenommen:

- Im Trockengebiet wurde für Standorte mit hohem Ertragspotential davon ausgegangen, dass die hohen Erträge hier nur mit Bewässerung erzielt werden können, die im Modell aber nicht berücksichtigt ist. Dementsprechend wurden die hohen Ertragsklassen auf mittlere reduziert (Abbildung 6-3).
- Die Grundwasserflurabstandsklasse 2-5 m wurde stärker untersetzt, da Analysen gezeigt hatten, dass Grundwasserzehrungen auf besonders bindigen Böden auch auf gewöhnlich grundwasserfernen Flächen mit Grundwasserflurabständen von > 2 m möglich sind.

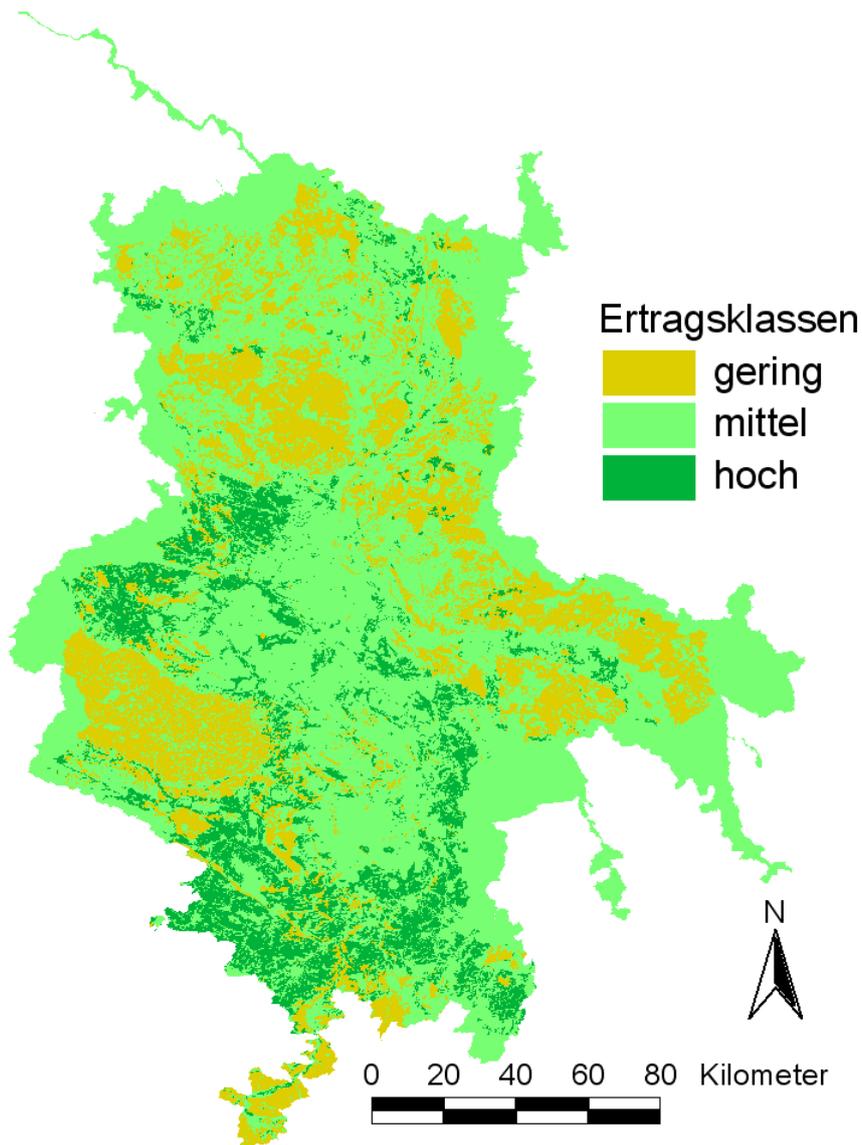


Abbildung 6-3: In ArcEGMO verwendete Ertragsklassen

Der aus den Bodendaten abgeleitete Flurabstand orientiert sich an der Horizontschichtung des jeweiligen Bodens und ist dementsprechend für tiefere Flurabstände nur pauschal angesetzt (für Sachsen-Anhalt z. B. mit 30 dm). Daher wurden die Flurabstände aus den Bodendaten nur für Flächen mit Flurabständen ≤ 2 m verwendet. Für die größeren Flurabstände wurden die Daten aus dem Vernässungsprojekt (FUGRO 2011) verwendet. Für die neue Untergliederung der Klasse 2 bis 5 m wurden die originalen FUGRO-Daten (Flurabstände im 10 m-Raster) herangezogen und erneut ausgewertet. Für Flächen, auf denen die Bodendaten einen größeren Grundwasserflurabstand als 2 m aufwiesen, die FUGRO-Daten aber kleinere Flurabstände als 2 m zeigten, wurden die Flurabstände aus den Bodendaten übernommen, weil diese die hier abzubildenden mittleren Verhältnisse besser repräsentieren.

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Die für das Modell verwendeten Flurabstandsklassen sind in Abbildung 6-4 in ihrer räumlichen Verteilung dargestellt.

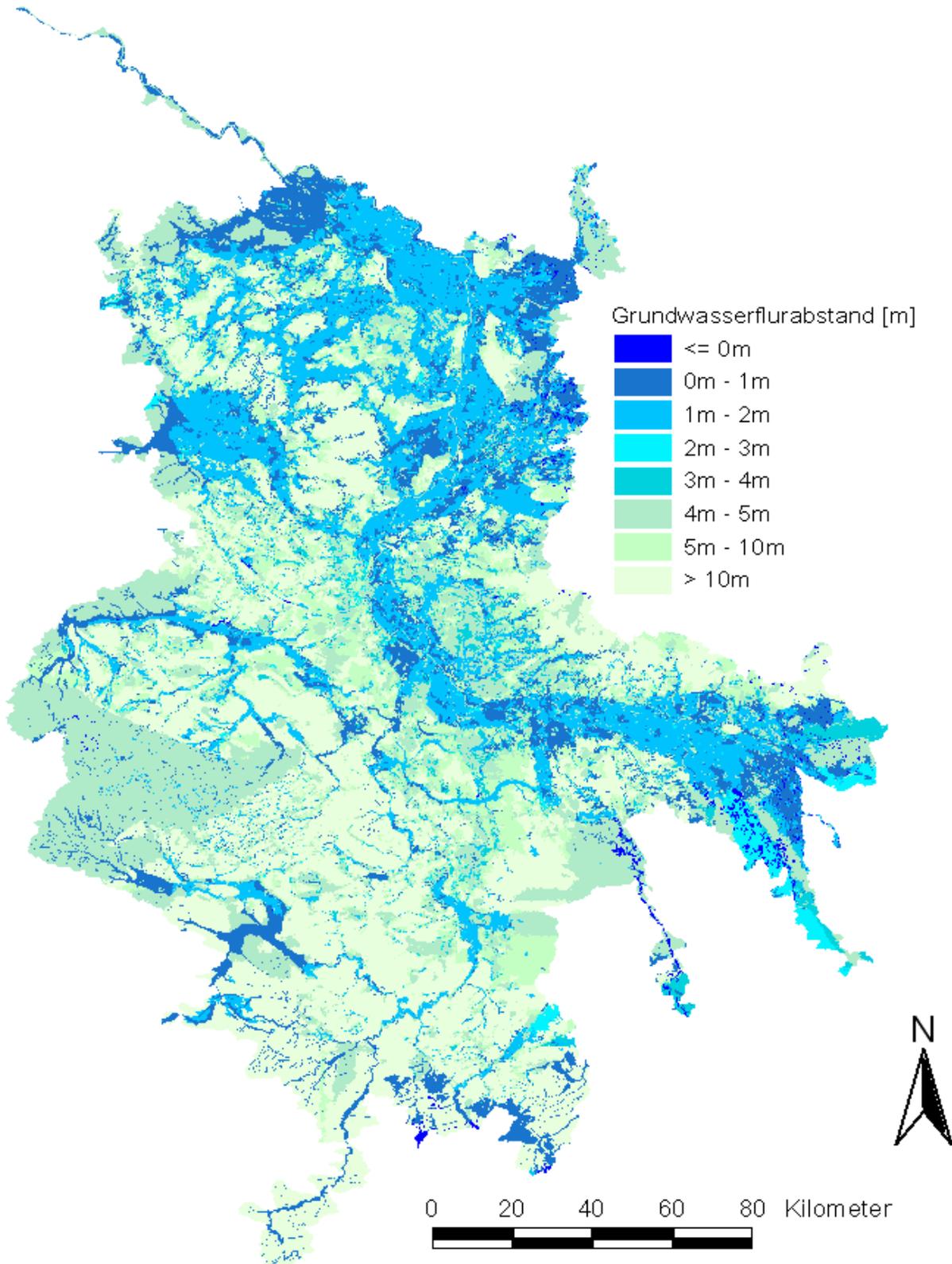


Abbildung 6-4: Räumliche Verteilung der für die Modellierung verwendeten Flurabstandsklassen

Die Flurabstände wurden für die Modellierung in folgende Flurabstandsklassen (GWFA) unterteilt.

Tabelle 6-1: Zur Modellierung verwendete Flurabstandsklassen

GWFA-Klasse	Flurabstand [m]	Repräsentativer Flurabstand [m]
1	0 - 0.2	0.2
2	0.2 - 1	0.8
3	1 - 2	1.5
4	2 - 3	2.5
5	3 - 4	3.5
6	4 - 5	4.5
7	5 - 10	7.5
8	10 -100	20

6.2 Ein Modellvergleich zur ersten Plausibilisierung der Ergebnisse

Eine Möglichkeit zur Plausibilisierung der Wasserhaushaltsergebnisse besteht im Vergleich mit anderen Modellen. Da die Wasserhaushaltsergebnisse in der Vergangenheit mit ABIMO und SlowComp berechnet wurden, wurden diese beiden Modellergebnisse dafür herangezogen.

ABIMO ist ein Wasserhaushaltsmodell, das von der Bundesanstalt für Gewässerkunde für großräumige Wasserhaushaltsanalysen wie die Erstellung des Hydrologischen Atlas von Deutschland verwendet wird. Es wurde in den 80er-Jahren im damaligen Institut für Wasserwirtschaft Berlin entwickelt. ABIMO nutzt das BAGROV/GLUGLA-Verfahren zur Ermittlung der Wasserhaushaltsgrößen reale Verdunstung ER und Gesamtabfluss R mit seinen Komponenten oberirdischer Abfluss Row und unterirdischer Abfluss RU. Auf eine Beschreibung des Verfahrens wird an dieser Stelle verzichtet. Hier wird auf GLUGLA & FÜRTIG (1997) verwiesen. Die in der Vergangenheit verwendeten Wasserhaushaltsgrößen wurden mit ABIMO für den Zeitraum 1961 - 1990 berechnet.

SlowComp (SCHWARZE ET. AL 2004) ist ein Ansatz, bei dem mittels einem Differenzganglinienverfahrens beobachtete Pegelreihen in verschiedene unterirdische Abflusskomponenten aufteilt werden. Diese Abflusskomponenten repräsentieren verschiedene Fließwege: den schnellen Fließweg in Zersatz-, Störungs- und Zerrüttungszonen und den langsamen Fließweg in Klüften und Poren. Anschließend wird versucht, mit einfachen systemhydrologischen Ansätzen diese Komponentenganglinien nachzubilden. Für die Parameter dieser Ansätze (Einzellinearspeicherkonstanten und maximale Speicherkapazitäten) werden dann Abhängigkeiten von den Gebietseigenschaften gesucht. Als prägend haben sich dabei die hydrogeologischen Verhältnisse bzw. die Lithofazies-Einheiten erwiesen. Die Ermittlung unterschiedlich schneller

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Grundwasserabflusskomponenten für das Land Sachsen-Anhalt mit SlowComp (SCHWARZE 2009) wurden für den Zeitraum 1951 - 2004 durchgeführt.

Ein Vergleich der aktuellen Ergebnisse mit früheren Berechnungen mit ABIMO und SlowComp ergab Unterschiede bei den Wasserhaushaltsgrößen (Abbildung 6-5 und Tabelle 6-2), die zum einen auf die unterschiedlichen Bezugsräume (zeitlich, aber auch räumlich, Tabelle 6-2) zurückgeführt werden konnten. Zum anderen führen die sehr unterschiedlichen Ansätze in den einzelnen Modellen nur bedingt zu vergleichbaren Aufteilungen des Abflusses in einzelne Komponenten.

Tabelle 6-2: Charakterisierung und Ergebnisse der verschiedenen WH-Modelle

WH-Modelle	ABIMO	SlowComp	ArcEGMO
<i>Bezugszeitraum</i>	1961-1990	1951-2004	1971-2000
<i>Modellgebiet</i>	Sachsen-Anhalt	Sachsen-Anhalt	größer als Sachsen-Anhalt
<i>Diskretisierung</i>	mittel	gering	hoch
<i>PI [mm/a]</i>	603 (100%)	624 (100%)	604 (100%)
<i>ER [mm/a]</i>	497 (82%)	492 (79%)	505 (84%)
<i>RU (inkl. RD+RH) [mm/a]</i>	95 (16%)	128 (21%)	79 (13%)
<i>RO [mm/a]</i>	11 (2%)	18 (3%)	18 (3%)

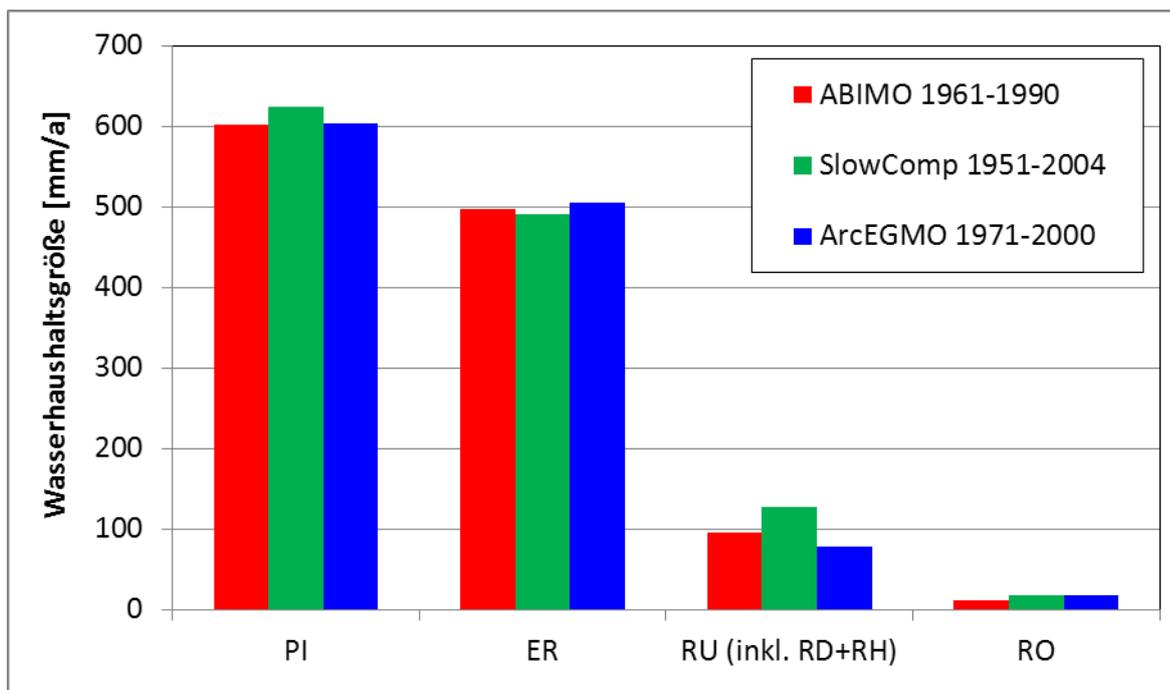


Abbildung 6-5: Wasserhaushaltsgrößen verschiedener Modelle für Sachsen-Anhalt

6.3 Plausibilisierung des Modells mittels großräumiger Bilanzierungen

Aus den oben genannten Gründen ist es sinnvoller, den simulierten Gesamtabfluss an den Pegeln zu vergleichen. Für kleine Einzugsgebiete wirken sich allerdings unbekannte Nutzungseinflüsse und unsichere Kenntnisse zu den Bilanzgebietsgrenzen, insbesondere zum unterirdischen Einzugsgebiet stark auf die Aussagekraft eines solchen Bilanzvergleichs aus.

Daher wurden die Bilanzierungen auf große Einzugsgebiete beschränkt. Für die Pegel Tangermünde und Calbe-Grizehne wurde der simulierte Eigengebietsabfluss (der auf der Fläche des modellierten Gebietes gebildet wird) dem gemessenen gegenübergestellt.

Die Bilanzgebiete der beiden Pegel Calbe-Grizehne und Tangermünde sind in Abbildung 6-6 dargestellt. Die Grenzpegel, an denen die Einspeisungen ins Modellgebiet vorgenommen werden, sind ebenfalls dargestellt, weil sie die Bilanzgebiete begrenzen und die dort gemessenen Abflüsse bei der Kalkulation der Eigengebietsabflüsse subtrahiert wurden.

Bei Betrachtung der Gebietswasserbilanzen sind die Wasserhaushaltsergebnisse der beiden Modelle ArcEGMO und ABIMO in etwa vergleichbar. Für das ArcEGMO-Modell lagen jedoch die Eingangsdaten in einer größeren Genauigkeit vor und zusätzlich wurden physikalisch fundierte Ansätze verwendet. Dementsprechend können die Abflussbilanzen an den Pegeln etwas besser getroffen werden als mit dem einfacheren ABIMO-Modell (Tabelle 6-3).

Tabelle 6-3: Simulierte Eigengebietsabflüsse der Pegel Tangermünde und Calbe-Grizehne

Tangermünde (Eigengebietsabfluss abzüglich der Einspeisungen)	MQ-gem [m³/s]	MQ-sim [m³/s]	Bilanzfehler [%]
ArcEGMO (1971-2000)	62	61	-2
ABIMO (1961-1990)	71	60	-17
Calbe-Grizehne (Eigengebietsabfluss abzüglich der Einspeisungen)	MQ-gem [m³/s]	MQ-sim [m³/s]	Bilanzfehler [%]
ArcEGMO (1971-2000)	36	39	7
ABIMO (1961-1990)	40	36	-8

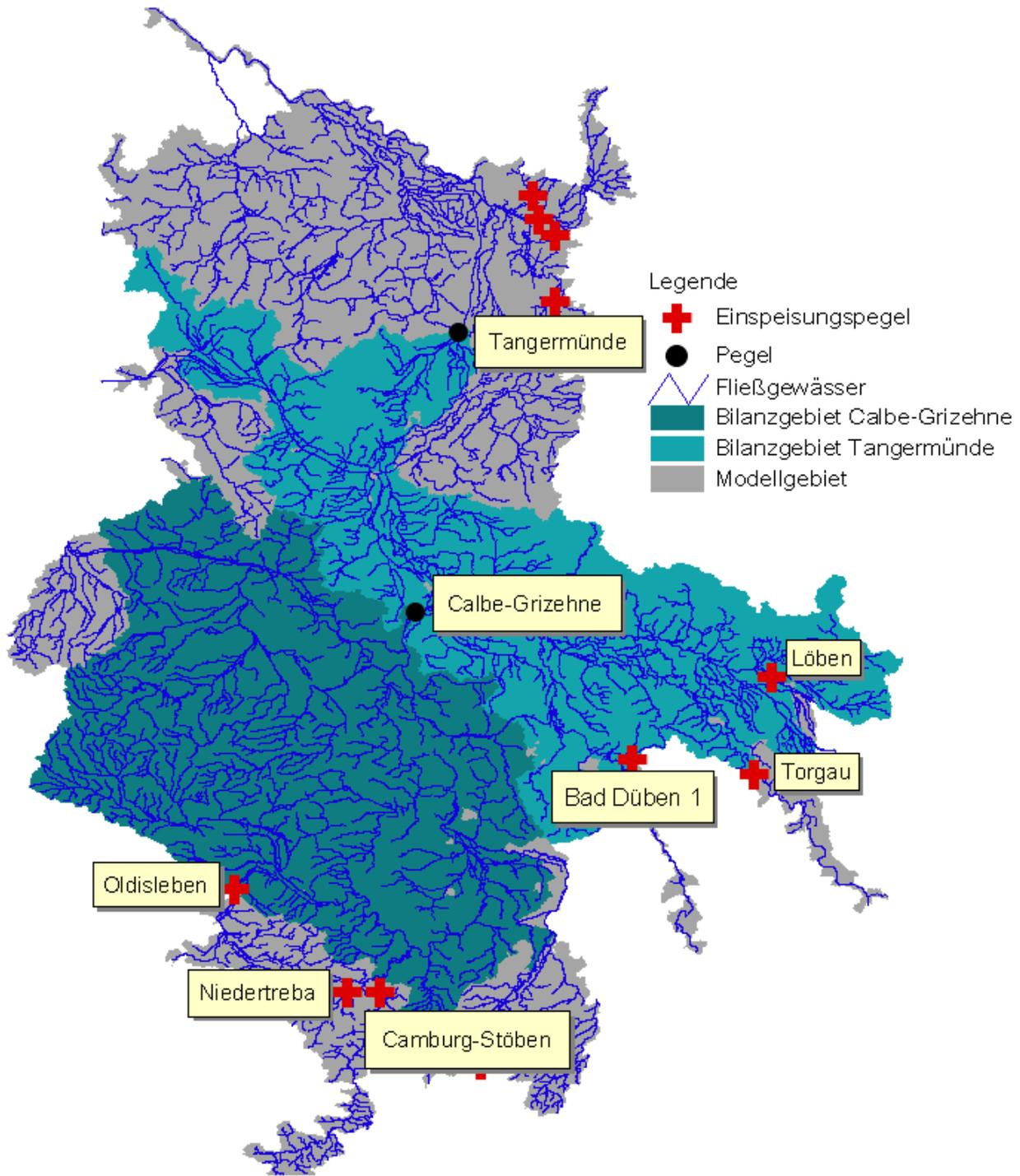


Abbildung 6-6: Eigeneinzugsgebiete des Pegels Tangermünde und Calbe-Grizhne

7 Modellkalibrierung und -validierung

7.1 Grundsätzliche Überlegungen

Mit den im letzten Kapitel beschriebenen Präzisierungen wurde eine Datengrundlage geschaffen, die es erlaubte, eine landesweit einheitliche Basisparametrierung des Wasserhaushaltsmodells vorzunehmen.

Aufgrund der im verwendeten Modellierungssystem ArcEGMO-PSCN genutzten physikalisch fundierten Ansätze wurden die Modellparameter weitgehend aus den Kennwerten der zugrundeliegenden GIS-Daten regelbasiert abgeleitet.

Eine direkte Kalibrierung war demzufolge nur bedingt und nur für wenige Parameter sinnvoll. Lediglich für die Kalibrierung der Abflussdynamik (Ganglinien) konnten die Parameter des SlowComp-Ansatzes (innerhalb der vorgegebenen Grenzen, siehe Tabelle 4-9) und die Retentionsparameter für das Gewässernetz verwendet werden.

Zudem war durch die Komplexität des erstellten Modells eine klassische Parameterkalibrierung auch technisch nicht möglich, da selbst auf leistungsstarken PCs die Rechenzeit für eine 30-jährige, landesweite Wasserhaushalts- und Abflusssimulation ca. zwei Tage betrug. Eine programmgestützte Parametersuche z. B. mit PEST (DOHERTY 2005) erfordert aber erfahrungsgemäß 500 bis 2000 Modellläufe, ist also für den zu betrachtenden Modellraum nicht realisierbar.

Deshalb wurde für die weiteren Modellanalysen die folgende Bearbeitungsstrategie gewählt:

- 1) Den Modellanalysen für die landesweite Ermittlung der Wasserhaushaltsgrößen, der Gewässerabflüsse und der Zuflusskomponenten zum Gewässersystem wurde eine einheitliche Basisparametrisierung zugrundegelegt. Diese Ergebnisse werden in den folgenden Kapiteln nach verschiedenen Gesichtspunkten validiert.
- 2) Weitere Modellanalysen wurden dann durchgeführt, um zu zeigen, welche Potenziale sich durch lokale Präzisierungen bestimmter Modellparameter oder unter Verwendung modifizierter Modellansätze für regionale Verbesserungen der Simulationsergebnisse ergeben können.

7.2 Modellanalysen zur Parametrisierung des SlowComp-Ansatzes

Für die einzelnen Lithofazies-Einheiten wurden regional unterschiedliche SlowComp-Parameter ermittelt (SCHWARZE 2009). Die drei variablen Parameter sind:

1. S_{max}: empirisch ermittelte, durchschnittlich maximal mögliche Speicherfüllung einer Lithofazies-Einheit verschiedener Standorte, sowie deren Maximal- (S_{max_max}) und Minimalwert (S_{max_min}).
2. K_{RG1}: empirisch ermittelter durchschnittlicher Speicherkoeffizient für den schnellen Basisabfluss einer Lithofazies-Einheit verschiedener Standorte, sowie deren Maximal- (K_{RG1_max}) und Minimalwert (K_{RG1_min}).
3. K_{RG2}: empirisch ermittelter durchschnittlicher Speicherkoeffizient für den langsamen Basisabfluss einer Lithofazies-Einheit verschiedener Standorte, sowie deren Maximal- (K_{RG2_max}) und Minimalwert (K_{RG2_min}).

Es wurden 27 Rechnungen mit allen Kombinationen der 3 Parameter in ihrer maximalen, minimalen und mittleren Ausprägung durchgeführt. Als Kriterium zur Charakterisierung der Anpassungsgüte wurde die in der Hydrologie vielfach gebräuchliche Nash-Sutcliffe-Effizienz EFF verwendet.

$$EFF = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (x_s(t) - x_o(t))^2}{\sum_{t=1}^n (x_o(t) - \bar{x}_o(t))^2} = 1 - \frac{MSE}{Var(x(t))}$$

Die EFF hat den Zielwert „1“, d. h. der Zähler des Bruches soll gegen Null gehen. Die Abweichung zwischen berechneten und gemessenen Werten wird mit der Abweichung vom Mittelwert (Streuung) verglichen. Falls die EFF negativ ist, weist dies auf eine schlechte Anpassungsgüte hin. Infolge der quadratischen Abweichung bewertet die EFF die Abweichung der Scheitelwerte stärker. Damit ist die EFF eigentlich ein Kriterium, das zur Bewertung der Abbildungsgüte im hier nicht zu betrachtenden Hochwasserbereich geeignet ist.

Für die Bewertung der Anpassungsgüte steht deshalb im vorliegenden Bericht die Bilanzabweichung im Vordergrund.

Aus den 27 gerechneten Varianten wurde für das Basismodell der Parametersatz ausgewählt, der an den meisten Pegeln gute Ergebnisse brachte. Diese Basisvariante verwendet die minimale Speicherkapazität für den oberen Grundwasserspeicher und die maximalen Speicherkonstanten für beide Grundwasserspeicher. Für einige Pegel liefern diese Parameter allerdings schlechtere Ergebnisse als mit dem jeweiligen Mittelwert der drei Parameter berechnet wurden, so dass für regionale Anwendungen lokale Anpassungen sinnvoll sind. Die Möglichkeiten für diese lokalen Anpassungen sind im Kapitel 7.4 dargestellt.

Für die Tieflandpegel (z. B. Deetz, Hagenau, Dobbrun, Tornau) wurden die besten Anpassungen mit einer geringen Speicherkapazität und einem großen Speicherkoeffizienten für den

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

schnellen Grundwasserabfluss ermittelt. Die geringe Speicherkapazität sorgt dafür, dass große Anteile der Versickerung an den langsamen Basisabflussspeicher weitergegeben werden. Der große Speicherkoeffizient sichert einen sehr gleichmäßigen bzw. gedämpften Ausfluss aus dem schnellen Speicher.

In den Harzregionen können meist die besten Pegelanpassungen mit einer großen Speicherkapazität und einem kleinen Speicherkoeffizienten für den schnellen Grundwasserabfluss erzielt werden. Beispiele hierfür sind Hasselfelde, Silberhütte, Stolberg und Trautenstein.

7.3 Validierung der landesweiten Basisparametrisierung

Eine Validierung der berechneten Wasserhaushaltsgrößen ist aufgrund mangelnder Möglichkeiten zur Messung einzelner Größen (reale Verdunstung, Abflusskomponenten) nur bedingt möglich.

1. Es kann lediglich davon ausgegangen werden, dass der Gesamtabfluss als Summe aller Abflusskomponenten korrekt ist, wenn der mittlere Abfluss an den zu betrachtenden Oberflächenwasserpegeln gut getroffen wird.

Voraussetzung ist allerdings, dass der Pegelabfluss den natürlichen Abfluss des Bilanzgebietes repräsentiert, d. h. Unterschiede zwischen unterirdischen und oberirdischen Einzugsgebieten und eventuelle Nutzungseinflüsse (Entnahmen, Einleitungen) gering sind. Die genannten Voraussetzungen sind vor allem für große Einzugsgebiete gegeben.

2. Es kann weiterhin davon ausgegangen werden, dass die Abflusskomponenten, die sich vor allem durch ihre zeitliche Dynamik unterscheiden, gut vom Modell erfasst werden, wenn die Durchflussdynamik an den Oberflächenwasserpegeln gut abgebildet wird.

Für diese Analysen sind vor allem kleine Einzugsgebiete geeignet, weil hier im Hinblick auf die Abflussdynamik der Einfluss der Abflussbildungsprozesse dominiert, während in größeren Einzugsgebieten die Abflusskonzentration im Gewässernetz an Einfluss gewinnt.

Die Modellanalysen wurden für den Zeitraum 1971 bis 2000 durchgeführt. Gemäß Auftrag erfolgte die Validierung an gemessenen Durchflussreihen für ca. 15 repräsentative Teileinzugsgebiete. Vom Auftraggeber wurden 21 mögliche Pegel zur Wahl gestellt.

Abbildung 7-1 beinhaltet die berechneten und simulierten mittleren Pegelabflüsse. Zu erkennen ist, dass die ermittelten Größen im realistischen Bereich liegen, da die Durchflüsse der 21 Kalibrierungspegeln größtenteils gut nachgebildet werden. So wurden für 13 der Kalibrierungspegel geringere Abweichungen als 10 % ausgewiesen. 6 Pegel zeigten Abweichungen im Bereich von 10 - 30 %. Lediglich für die Pegel Mertendorf und Gardelegen liegen die Abweichungen geringfügig über 30 %.

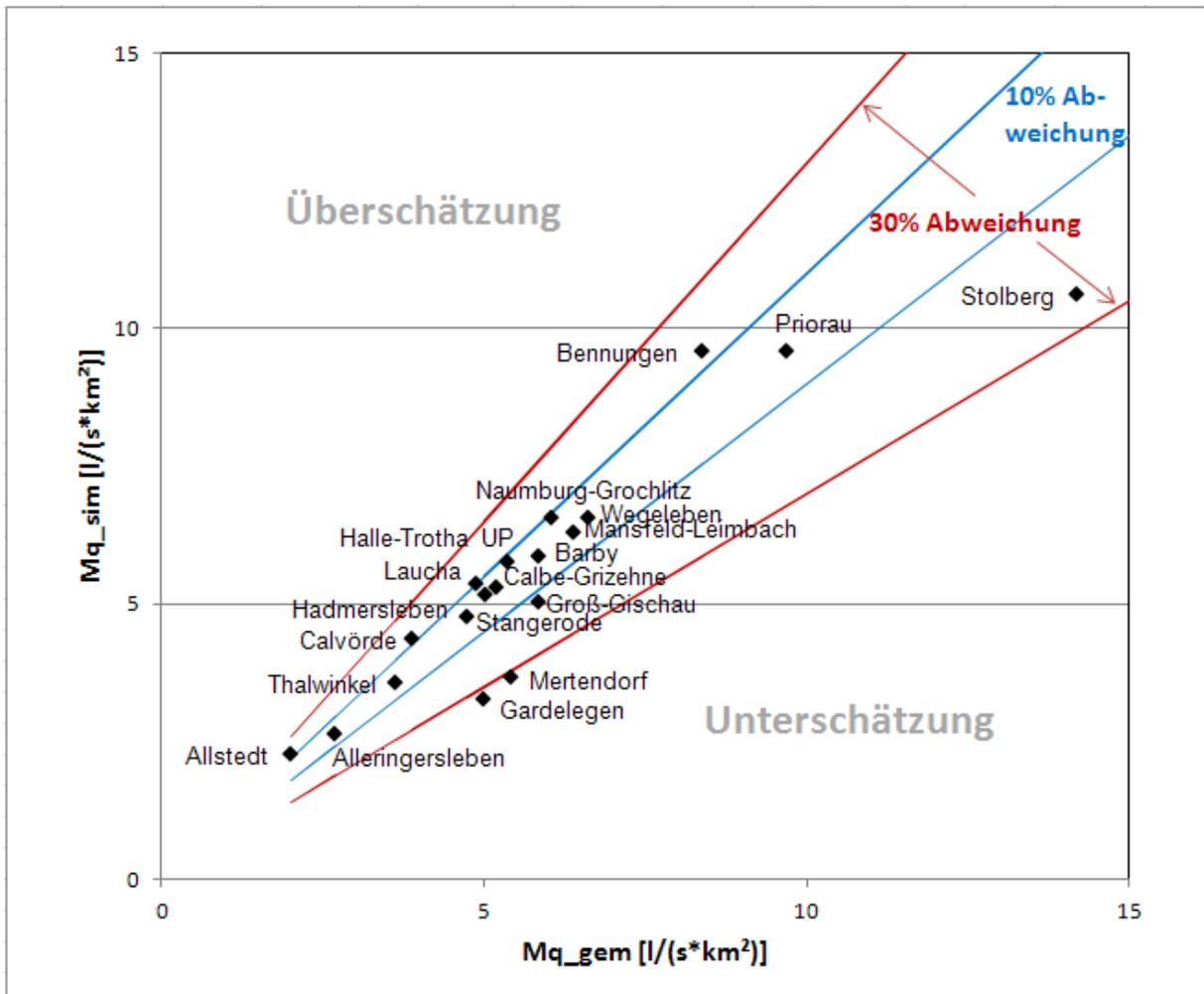


Abbildung 7-1: Anpassung der 21 Kalibrierungspegel mit Abflusspenden $< 15 \text{ l/(s*km}^2)$

Werden zusätzliche Pegel herangezogen (insgesamt 83), liegen etwa 45 % der Pegel (38 Pegel) innerhalb der 10 %igen Abweichung und weitere 35 % der Pegel (30 Pegel) haben eine 10 – 30 %ige Abweichung. Nur bei 18 % der Pegel (15 Pegel) treten Abweichungen von mehr als 30 % auf.

In Tabelle 7-1 sind alle verwendeten Pegel mit den Abweichungen zwischen den Mittelwerten der gemessenen und berechneten Abflüsse dargestellt. Negative Bilanzfehler stehen für eine Unterschätzung der Pegelabflüsse, positive Bilanzfehler für eine Überschätzung durch das Modell. In der Abbildung 7-4 sind die mittleren Abweichungen an allen verfügbaren Pegeln in ihrer räumlichen Verteilung dargestellt.

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Tabelle 7-1: Bilanzfehler von gemessenen und simulierten mittleren Abflüsse (MQ) an allen betrachteten Pegeln

Stationsname	MQ gemessen (1) [m ³ /s]	MQ simuliert (2) [m ³ /s]	Bilanzfehler ((2) – (1))/(1) [%]
Alleringersleben	0.41	0.39	-5.21
Allstedt	0.24	0.27	12.56
Aschersleben	0.60	0.62	3.40
Barby	546.59	547.28	0.13
Bennungen	7.48	8.44	12.84
Benzingerode	0.02	0.04	45.71
Berga	1.10	1.29	17.97
Calbe-Grizehne	118.66	121.10	2.06
Calvörde	2.84	3.13	10.17
Dannigkow	0.96	0.81	-15.52
Deetz	0.18	0.17	-6.67
Derenburg (Hellbach)	0.07	0.09	43.81
Ditfurt	5.44	5.89	8.39
Dobbrun	5.98	5.52	-7.64
Dodendorf	0.21	0.15	-26.08
Elend	0.73	0.77	5.67
Gardelegen	0.77	0.50	-34.78
Genthin-Hagen	0.56	1.05	86.44
Goldbeck	1.44	1.61	11.62
Görsbach	5.40	6.95	28.72
Groß-Gischau	1.09	0.94	-13.99
Hadmersleben	13.02	12.93	-0.74
Hagenau	1.90	2.01	6.03
Halle-Trotha UP	96.24	102.15	6.14
Hanneckenbruch	0.29	0.29	2.25
Hasselfelde	0.64	0.44	-31.60
Hausneindorf	1.88	1.94	2.93
Havelberg	105.56	98.63	-6.56
Hirtenstieg-ÜLSP	2.01	1.07	-46.93
Hödingen	0.08	0.10	21.97
Königshütte	2.47	2.46	-0.47
Königshütte-KB	1.05	1.20	13.95
Laucha	30.00	32.81	9.37

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Stationsname	MQ gemessen (1) [m ³ /s]	MQ simuliert (2) [m ³ /s]	Bilanzfehler ((2) – (1))/(1) [%]
Magdeburg	551.54	549.68	-0.34
Mahndorf	1.31	1.28	-2.42
Mansfeld-Leimbach	1.33	1.29	-2.77
Meisdorf	1.49	1.34	-9.91
Mertendorf	1.10	0.74	-32.92
Minsleben	0.09	0.07	-15.91
Mühlstedt	0.66	0.41	-37.26
Naumburg-Grochlitz	68.96	74.42	7.93
Nienhagen	1.59	1.66	4.62
Nordhausen	3.47	4.61	32.95
Nutha	1.58	1.68	6.73
Oberthau	25.19	18.36	-27.11
Oschersleben	2.36	2.80	18.92
Peseckendorf	0.27	0.22	-19.14
Pfeifenkrug	0.18	0.21	18.94
Priorau	67.80	67.03	-1.13
Ritzleben	0.39	0.51	31.95
Saaleck	39.70	40.93	3.09
Silberhütte	1.16	0.90	-22.33
Stangerode	0.35	0.35	0.02
Stassfurt	12.66	13.52	6.79
Stedten	0.28	0.42	49.21
Steinerne Renne	0.36	0.41	14.11
Stendal	0.47	0.60	25.93
Stolberg	0.44	0.33	-25.50
Strinum	0.41	0.30	-27.34
Ströbeck	0.05	0.03	-34.56
Sundhausen	1.49	1.81	21.59
Tangermünde	558.63	557.31	-0.23
Tanne	2.11	1.88	-10.54
Thalwinkel	0.20	0.19	-5.02
Tornau	0.32	0.38	17.36
Trautenstein	0.77	0.70	-8.37
Treseburg (Luppode)	0.35	0.40	12.62
Ummendorf	0.13	0.13	0.92

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Stationsname	MQ gemessen (1) [m ³ /s]	MQ simuliert (2) [m ³ /s]	Bilanzfehler ((2) – (1))/(1) [%]
Unterrißdorf	0.15	0.39	151.04
VS Wippra Zulaufpegel	0.67	0.62	-7.89
Walbeck	0.67	0.65	-3.35
Weferlingen	0.90	0.77	-13.96
Wegeleben	8.00	7.81	-2.40
Wendefurth	3.80	4.28	12.56
Wernigerode	0.32	0.24	-23.30
Wickerode(Leine)	0.27	0.36	35.36
Wippra	1.02	0.91	-11.52
Wittenberg	358.76	357.22	-0.43
Wittenberge	684.34	657.21	-3.96
Wolmirstedt	3.81	5.51	44.80
Zeitz	16.54	15.90	-3.91
Zillierbach TS-Zulauf	0.15	0.17	13.22

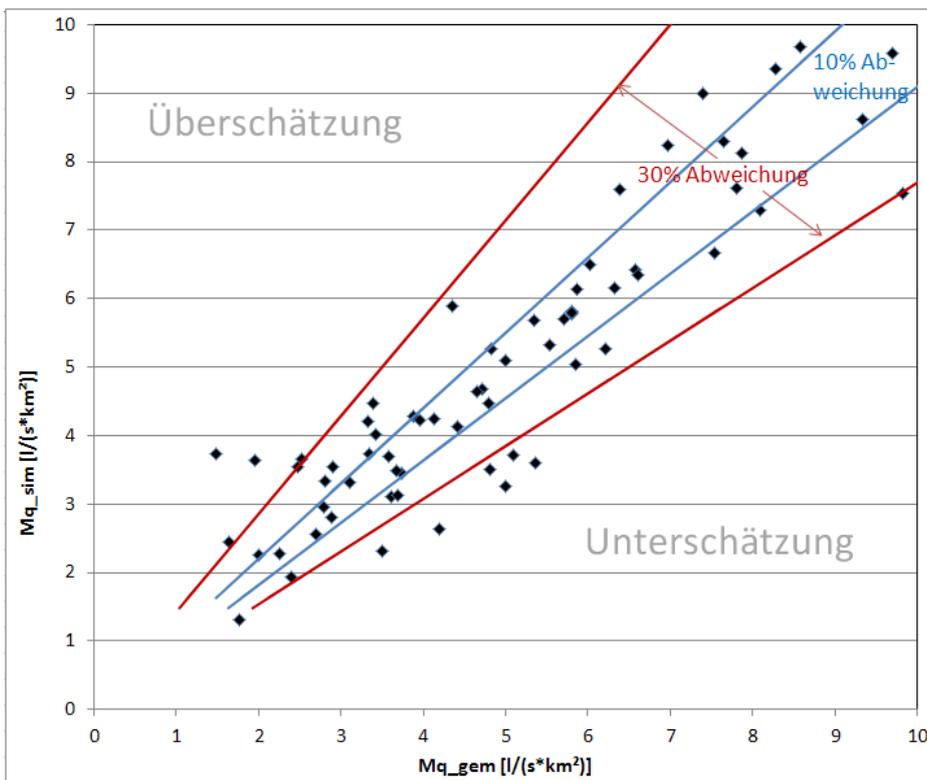


Abbildung 7-2: Anpassung der Pegel mit Abflussspenden > 8 l/(s*km²)

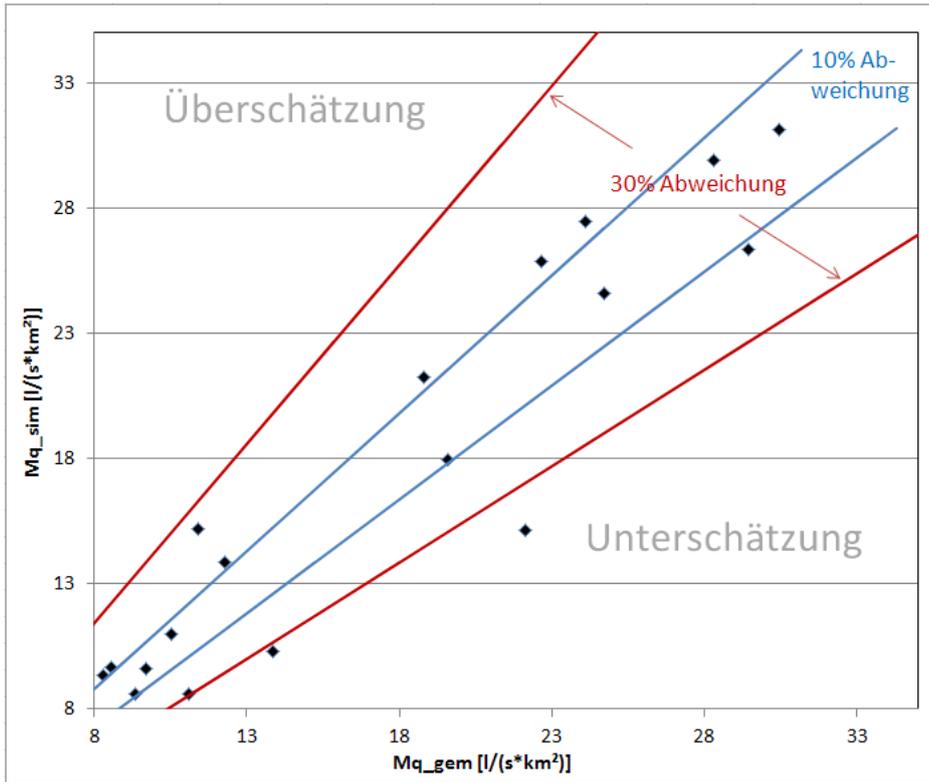


Abbildung 7-3: Anpassung der Pegel mit Abflusspenden $< 10 \text{ l/(s*km}^2)$

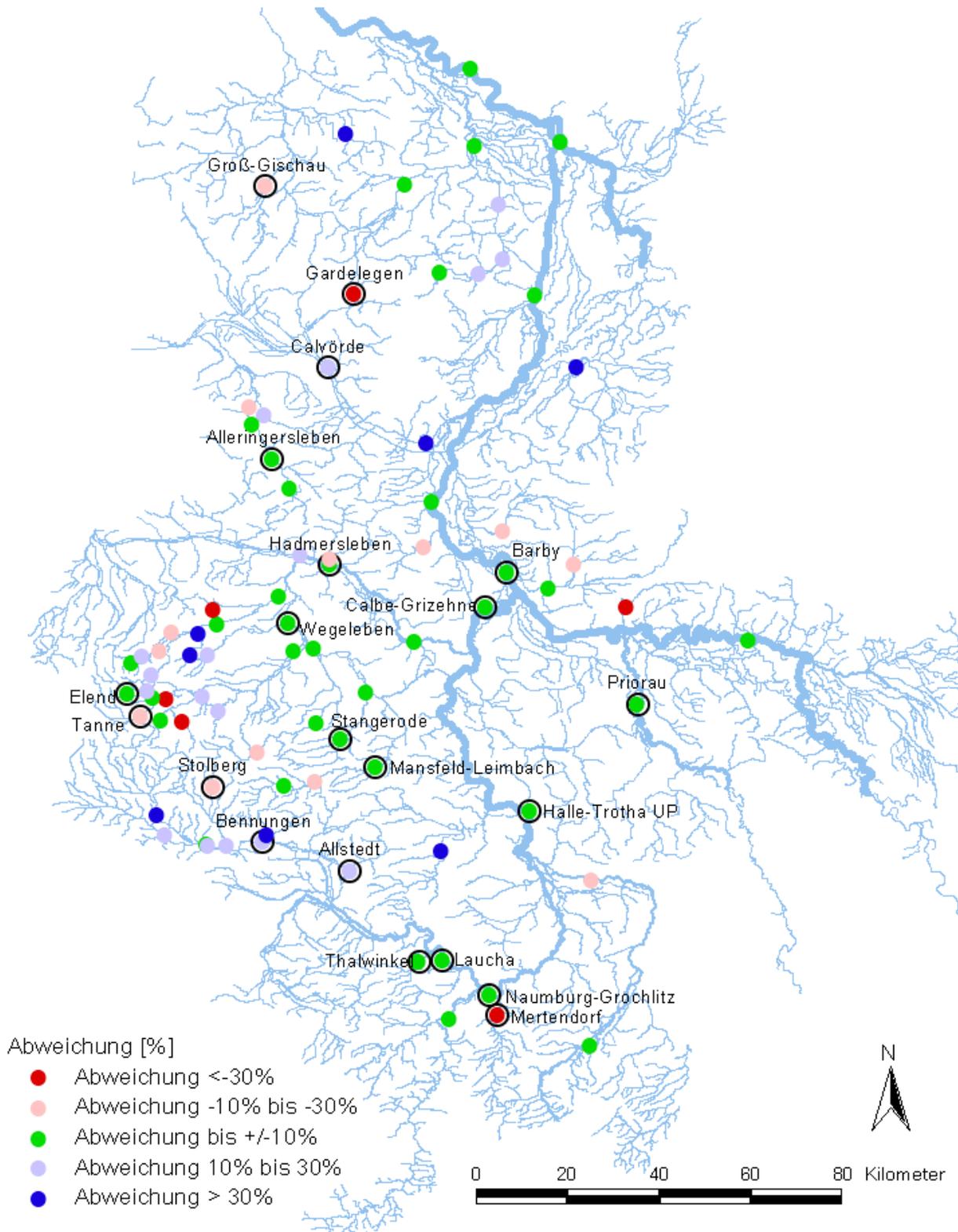


Abbildung 7-4: Pegelbezogene Abweichungen des simulierten und gemessenen MQ (die Kalibrierungspegel sind durch Kreise hervorgehoben)

Die Abflussbilanzen befinden sich überwiegend im gut angepassten Bereich (grüne Punkte in Abbildung 7-4). Besonders gut getroffen werden die Pegel mit Abflussmengen $> \sim 50 \text{m}^3/\text{s}$. Das liegt teilweise auch daran, dass hier Einspeisungen an der Modellgebietsgrenze vorgenommen werden, die bereits einen beträchtlichen Anteil des Durchflusses ausmachen.

Für die Pegel mit sehr geringen Abflüssen liegen die Abweichungen dagegen oftmals im Bereich zwischen $\pm 10\%$ bis $\pm 30\%$. Das ist darauf zurückzuführen, dass bei kleinen Pegeldurchflüssen schon eine geringe Unter- oder Überschätzung des absoluten MQ-Wertes zu einer größeren relativen Abweichung führt. Ursachen dafür können die nicht berücksichtigten Nutzungseinflüsse oder vor allem im Tiefland auch nicht berücksichtigte Unterschiede zwischen unter- und oberirdischem Einzugsgebiet sein.

Besonders gut werden dagegen die Pegel mit mittleren Abflüssen getroffen, da sich hier die positiven und negativen Abweichungen oberhalb liegender Gebiete wieder ausgleichen.

7.4 Potenziale für regionale Verbesserungen

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der beste Parametersatz für die Abbildung der einzelnen Pegel sehr unterschiedlich sein kann. Daher wurden verschiedene Variationsrechnungen durchgeführt, um das Potenzial der lokal möglichen Modellverbesserung darzustellen.

7.4.1 Nutzung eines erweiterten SlowComp-Ansatzes mit Jahresgang

Zeitlich parallel zur vorliegenden Untersuchung wurde im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie durch die TU Dresden der Wasserhaushalt in Sachsen landesweit mit ArcEGMO modelliert, wobei dort die gleiche Modellkonstellation (PSCN und SlowComp, siehe Kapitel 2) wie in der hier vorgestellten Untersuchung genutzt wurde. In der sächsischen Untersuchung zeigte sich, dass der innerjährliche Gang der Grundwasserneubildung nicht optimal vom Modell abgebildet wird. Deshalb wurde von Dr. Schwarze als SlowComp-Entwickler dieser Ansatz durch jahreszeitlich variable Kapazitäten des oberen Grundwasserspeichers erweitert und vom BAH in ArcEGMO integriert. Da in Sachsen mit diesem neuen Ansatz bessere Ergebnisse erzielt wurden, bot es sich an, ihn auch in Sachsen-Anhalt zu testen.

Die Abbildung des Jahresganges erfolgt über eine Sinusfunktion. Zur Anpassung stehen 3 Parameter zur Verfügung:

1. Parameter C für die Amplitude der Sinuskurve.
2. Parameter D für die horizontale Verschiebung auf der X-Achse: Dieser ist vor allem notwendig, damit kein negativer Speicherraum entsteht.
3. Parameter T für eine Verschiebung auf der Zeitachse (Verschiebung auf der Y-Achse).

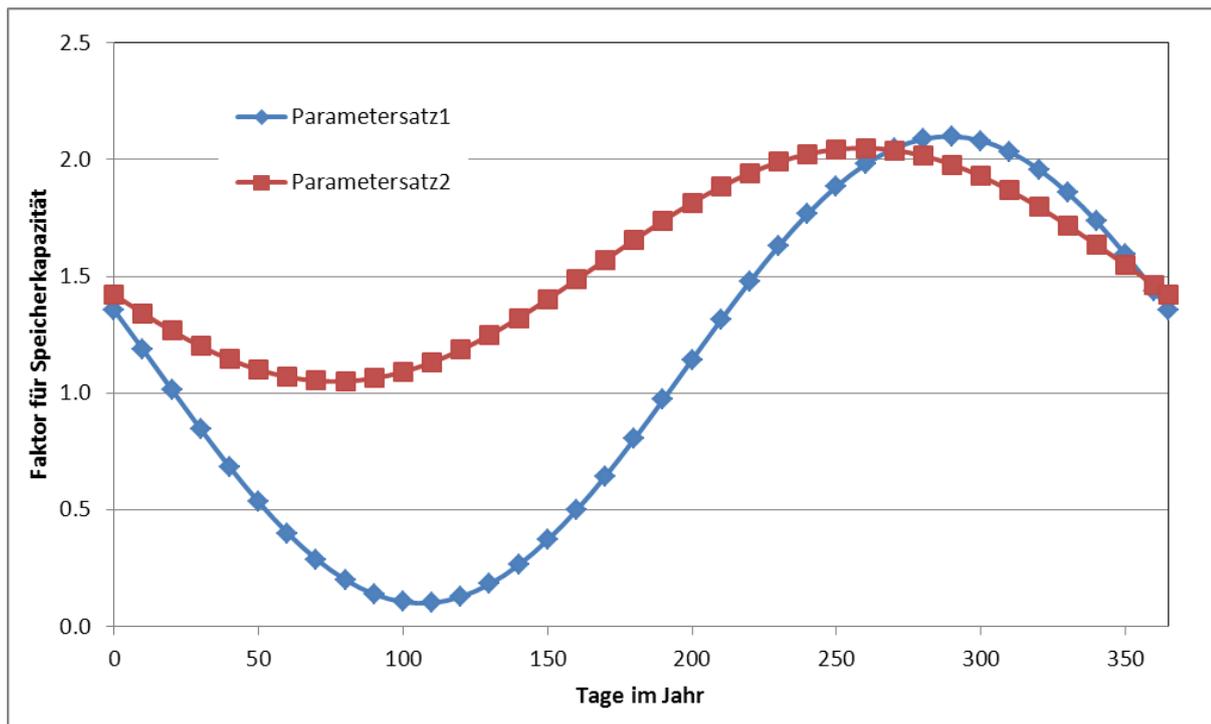


Abbildung 7-5: Jahresgang für den Faktor der Speicherfüllung zweier verschiedener Parametersätze (Parametersatz1: $C = -1$, $D = 0.5$; Parametersatz2: $C = -0.5$, $D = 1.5$)

Eine Parameterermittlung erfolgte für 12 der 21 Kalibrierungspegel (Allstedt, Gardelegen, Groß-Gischau, Stangerode, Calvörde, Tanne, Elend, Stolberg, Mertendorf, Alleringersleben, Mansfeld-Leimbach, Thalwinkel). Die Parametersuche wurde für jeden der zwölf Pegel mit jeweils 100 Variationsrechnungen mit verschiedenen Kombinationen der Parameter C ($-1.3 \leq C \leq -0.4$) und D ($0.5 \leq D \leq 1.6$) durchgeführt. Für die anderen Pegel waren diese aufwändigen Rechnungen aufgrund ihrer der Einzugsgebietsgröße und den damit verbundenen langen Rechenzeiten nicht mehr leistbar bzw. zum Teil auch nicht sinnvoll, weil insbesondere bei den Elbe- und Saalepegeln maßgebliche Abflussanteile als externer Zufluss ins Modell eingespeist wurden.

Eine verbesserte Abbildung der beobachteten Durchflüsse konnte für acht der zwölf Pegel (Tanne, Elend, Stolberg, Mertendorf, Alleringersleben und Mansfeld-Leimbach, Thalwinkel, Stangerode) erzielt werden. Dabei zeigten sich teilweise Optima bei verschiedenen Kombinationen, so dass die Festlegung auf eine optimale Variante problematisch erschien. Die erzielten Verbesserungen waren allerdings gering: Die Effizienzen konnten maximal um 0.16 erhöht werden, wie ein Auszug aus den Ergebnissen der Optimierungsrechnungen in Tabelle 7-2 zeigt.

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Tabelle 7-2: Auszug aus den Variationsrechnungen zur Anpassung des jahreszeitlich variablen Speichervolumens

SlowComp-Parameter		Erzielte Effizienzen an den Pegeln							
C	D	Tanne	Elend	Stolberg	Merten dorf	Mansfeld- Leimbach	Alleringers leben	Stangerode	Thalwinkel
-1.3	1.15	0.495	0.482	0.568	0.242	0.580	0.272	0.014	0.082
-1.3	1.20	0.505	0.485	0.576	0.229	0.584	0.263	0.013	0.081
-1.3	1.25	0.514	0.487	0.582	0.214	0.586	0.256	0.010	0.080
-1.3	1.30	0.522	0.490	0.588	0.200	0.586	0.249	0.013	0.078
-1.3	1.35	0.529	0.492	0.592	0.190	0.586	0.244	0.008	0.077
-1.3	1.40	0.535	0.494	0.592	0.180	0.586	0.239	0.003	0.075
-1.3	1.45	0.540	0.495	0.596	0.171	0.585	0.235	-0.001	0.073
-1.3	1.50	0.544	0.497	0.600	0.163	0.585	0.232	-0.005	0.071
-1.3	1.55	0.548	0.498	0.602	0.156	0.584	0.229	-0.008	0.069
-1.3	1.60	0.551	0.499	0.605	0.150	0.583	0.226	-0.011	0.067
-1.2	1.05	0.493	0.482	0.567	0.267	0.580	0.274	0.015	0.083
-1.2	1.10	0.503	0.485	0.575	0.254	0.584	0.266	0.014	0.082
-1.2	1.15	0.512	0.488	0.582	0.235	0.586	0.258	0.010	0.081
-1.2	1.20	0.520	0.490	0.588	0.216	0.586	0.251	0.006	0.079
-1.2	1.25	0.527	0.492	0.592	0.200	0.586	0.246	0.002	0.078
-1.2	1.30	0.533	0.494	0.596	0.187	0.586	0.241	-0.002	0.076
-1.2	1.35	0.539	0.496	0.600	0.177	0.585	0.237	-0.005	0.074
-1.2	1.40	0.543	0.497	0.603	0.168	0.585	0.234	-0.008	0.072
-1.2	1.45	0.547	0.498	0.605	0.160	0.584	0.231	-0.011	0.070
-1.2	1.50	0.550	0.499	0.607	0.153	0.583	0.228	-0.013	0.068
-1.1	0.95	0.490	0.482	0.567	0.243	0.580	0.277	0.015	0.084
-1.1	1.00	0.501	0.485	0.575	0.226	0.584	0.268	0.014	0.083
-1.1	1.05	0.510	0.488	0.582	0.209	0.586	0.260	0.011	0.082
-1.1	1.10	0.518	0.490	0.587	0.194	0.587	0.253	0.007	0.081
-1.1	1.15	0.525	0.492	0.592	0.181	0.587	0.248	0.003	0.079
-1.1	1.20	0.532	0.494	0.596	0.170	0.586	0.243	-0.001	0.077
-1.1	1.25	0.537	0.496	0.600	0.161	0.586	0.239	-0.005	0.075
-1.1	1.30	0.542	0.497	0.602	0.153	0.585	0.235	-0.008	0.073
-1.1	1.35	0.546	0.498	0.605	0.149	0.584	0.232	-0.010	0.071
-1.1	1.40	0.549	0.500	0.607	0.145	0.584	0.229	-0.013	0.069
-1.0	0.85	0.487	0.483	0.566	0.199	0.580	0.280	0.016	0.086
-1.0	0.90	0.498	0.486	0.574	0.187	0.584	0.270	0.015	0.085
-1.0	0.95	0.507	0.488	0.581	0.176	0.586	0.262	0.012	0.084
-1.0	1.00	0.516	0.490	0.587	0.166	0.587	0.256	0.008	0.082
-1.0	1.05	0.523	0.492	0.592	0.159	0.587	0.250	0.003	0.080
-1.0	1.10	0.530	0.494	0.596	0.152	0.586	0.245	-0.001	0.078
-1.0	1.15	0.535	0.496	0.599	0.147	0.586	0.241	-0.004	0.076
-1.0	1.20	0.540	0.497	0.602	0.144	0.585	0.237	-0.007	0.074
-1.0	1.25	0.545	0.499	0.605	0.141	0.585	0.234	-0.010	0.072
-1.0	1.30	0.548	0.500	0.607	0.138	0.584	0.231	-0.013	0.070

Für die Tiefland-Pegel Allstedt, Gardelegen, Groß-Gischau, und Calvörde konnten die Pegelanpassungen mit dem jahreszeitlich variablen Speichervolumen nicht verbessert werden.

7.4.2 Weitere Analysen zur Grundwassermodellierung

Wie in den vorangegangenen Kapiteln schon dargelegt wurde, konnten die im Tiefland gelegenen Pegel, wie z. B. Gardelegen, Groß-Gischau und Calvörde, mit dem SlowComp-Ansatz nicht angepasst werden. Daher wurden alternativ zum SlowComp-Ansatz zusätzlich Berechnungen mit dem klassischen EGMO-Ansatz durchgeführt, der pro Teileinzugsgebiet mit drei Grundwasserspeichern arbeitet, die je nach Gebietsausprägung (grundwassernah/ grundwasserfern, flach/steil) durch schnellere oder langsamere Auslaufzeiten charakterisiert sind. Dieser Ansatz wurde ursprünglich vor allem zur Abbildung der Grundwasserverhältnisse im Lockergesteinsbereich entwickelt.

Mit diesem Ansatz konnte für etliche Tieflandpegel (Ritzleben, Strinum, Ummendorf, Dobbrun, Goldbeck, Peseckendorf, Stendal, Tornau) aber auch für einige Harz- und Harzvorlandpegel (Hanneckenbruch, Hasselfelde, Königshütte, Trautenstein, Ströbeck und Stolberg) die Anpassungsgüte verbessert werden. Die folgenden Abbildungen zeigen exemplarisch die Ergebnisse für die Pegel Peseckendorf, Laucha, Trautenstein, Stollberg und Hanneckenbruch.

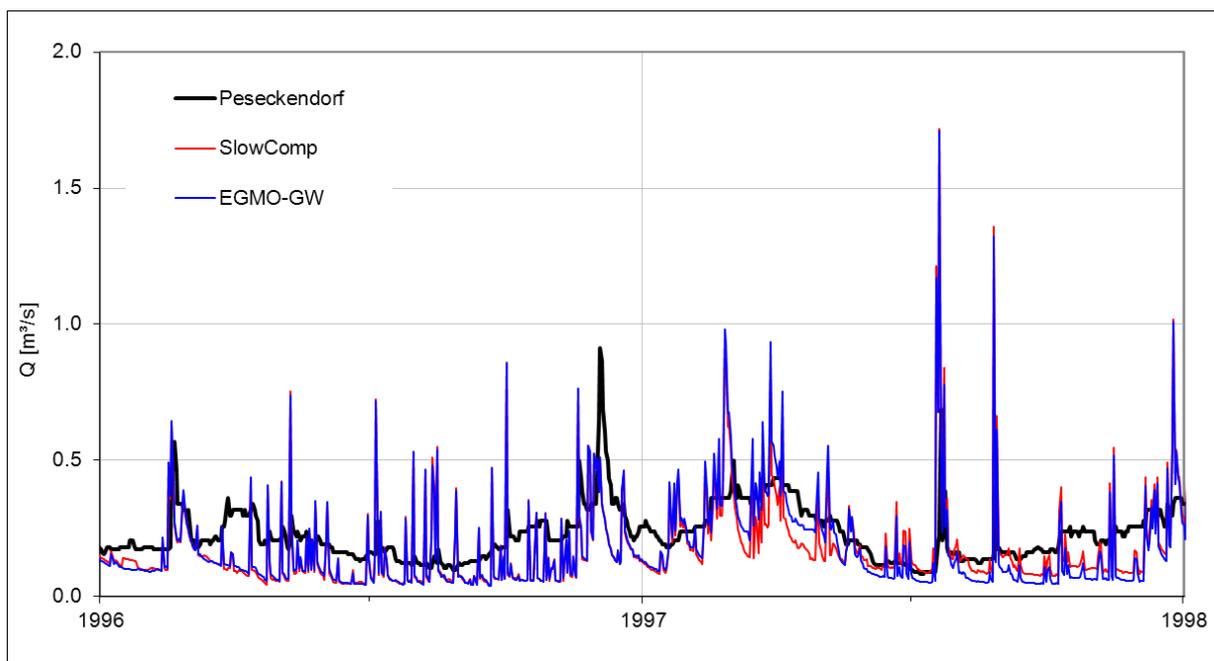


Abbildung 7-6: Verbesserung der Pegelanpassung mit EGMO-GW am Pegel Peseckendorf

Abbildung 7-7: Verbesserung der Pegelanpassung mit EGMO-GW am Pegel Laucha

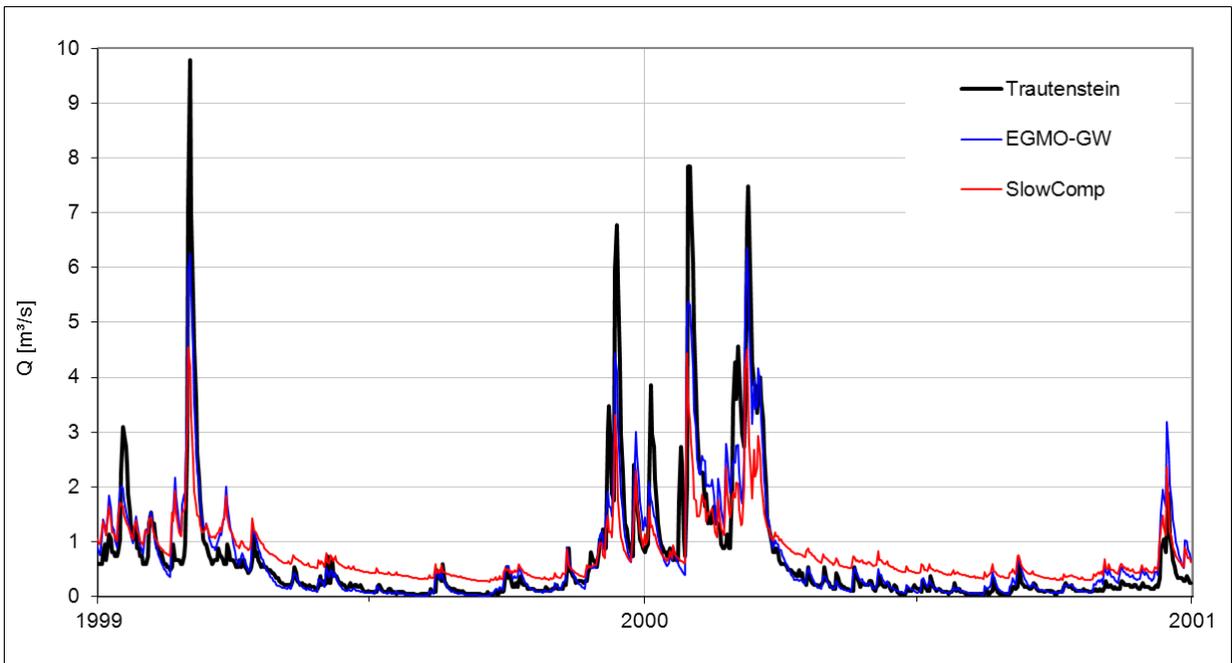
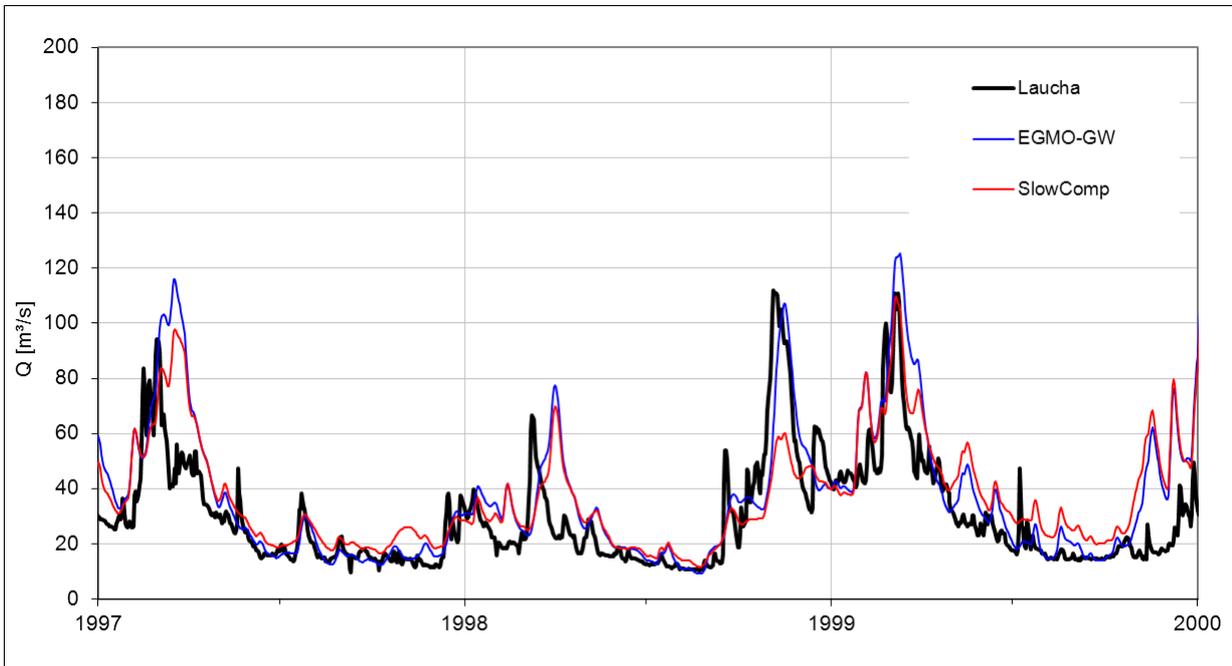


Abbildung 7-8: Verbesserung der Pegelanpassung mit EGMO-GW am Pegel Trautenstein

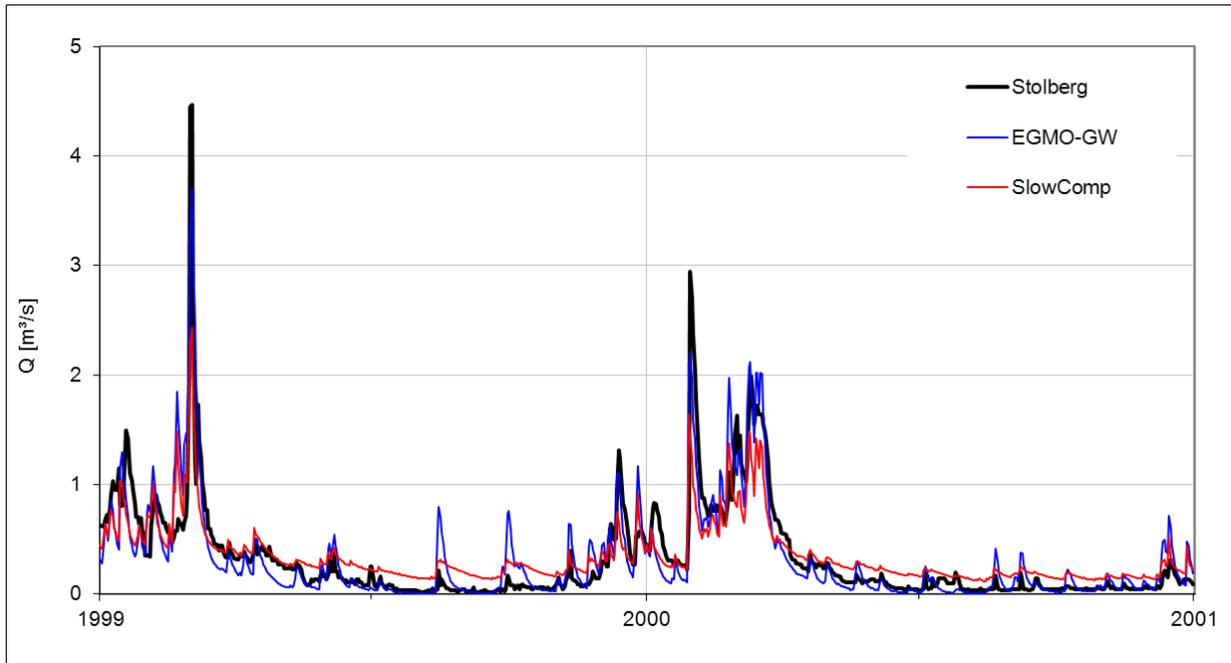


Abbildung 7-9: Verbesserung der Pegelanpassung mit EGMO-GW am Pegel Stolberg

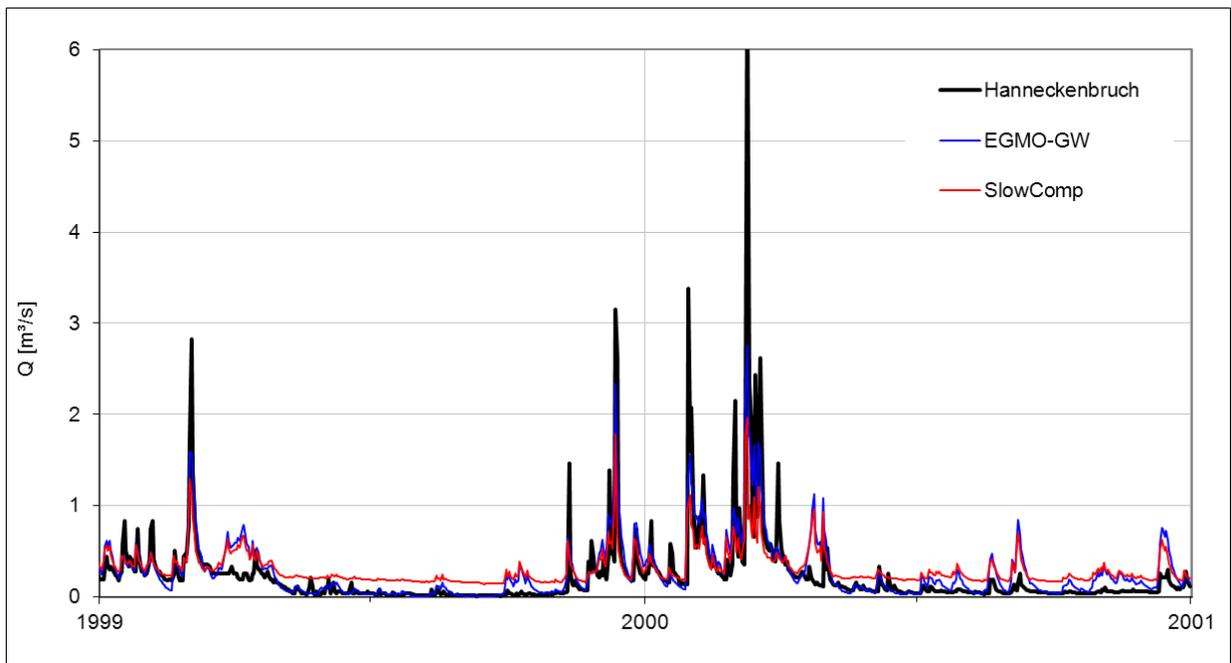


Abbildung 7-10: Verbesserung der Pegelanpassung mit EGMO-GW am Pegel Hanneckenbruch

7.4.3 Modellrechnungen zur Gewässerretention

Im verwendeten Modell steuert der Rauigkeitsfaktor die Gewässerretention für die einzelnen Fließgewässer. Dieser Faktor wurde in sieben Abstufungen jeweils für das gesamte Modellgebiet variiert.

Die Analysen zeigen, dass für kleinere Einzugsgebiete eine stärkere Retention zu den besten Ergebnissen führt und dass für die größeren Einzugsgebiete eine geringere Retention (Abflussbeschleunigung) die Ergebnisse verbessert, wie in Abbildung 7-11 für den Pegel Barby und in Abbildung 7-12 für den Pegel Oschersleben dargestellt ist.

Im Hinblick auf zukünftige Hochwasseranalysen für Sachsen-Anhalt, in denen die Gewässerretention ohnehin genauer zu berücksichtigen wäre, gelten die hier durchgeführten Kalibrierungsrechnungen nur zur Orientierung, in welchem Maße Modellanpassungen durch die Kalibrierung der Retentionsparameter möglich wären.

Der Einfluss der Gewässerretention zeichnet sich vor allem im Hochwasserfall aus. Das derzeitige Modell ist aber unter Nutzung des PSCN für die Simulation von Hochwasserspitzen nicht geeignet.

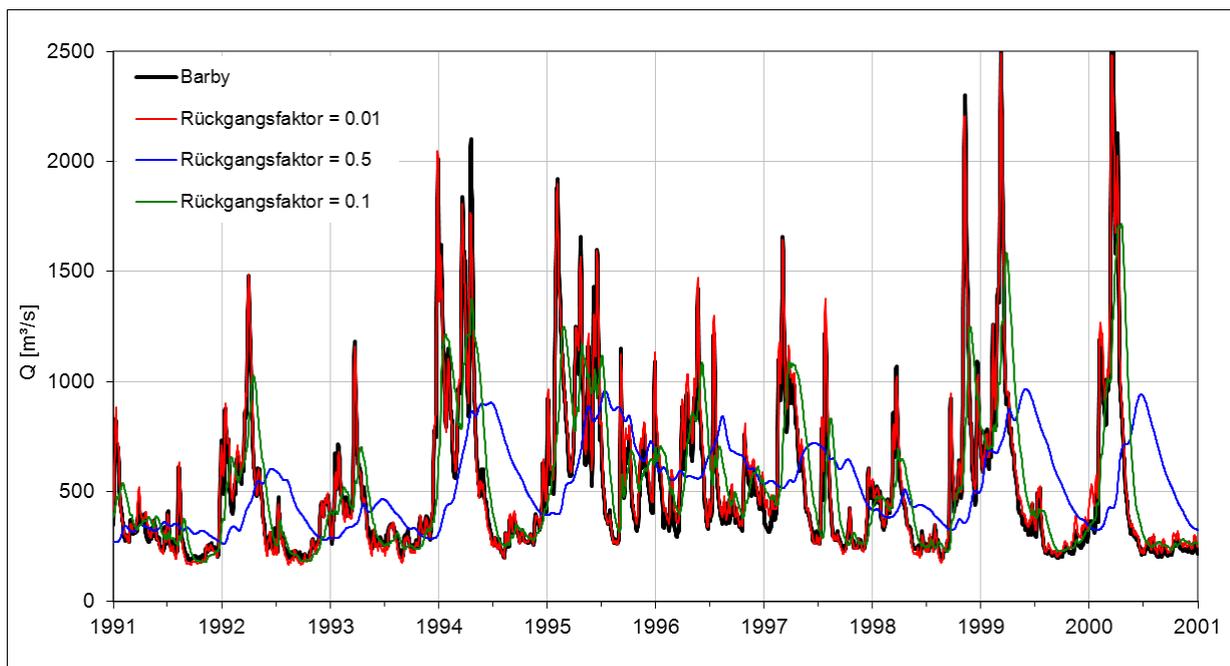


Abbildung 7-11: Wirkung verschiedener Rückgangsfaktoren auf die Ganglinie am Pegel Barby

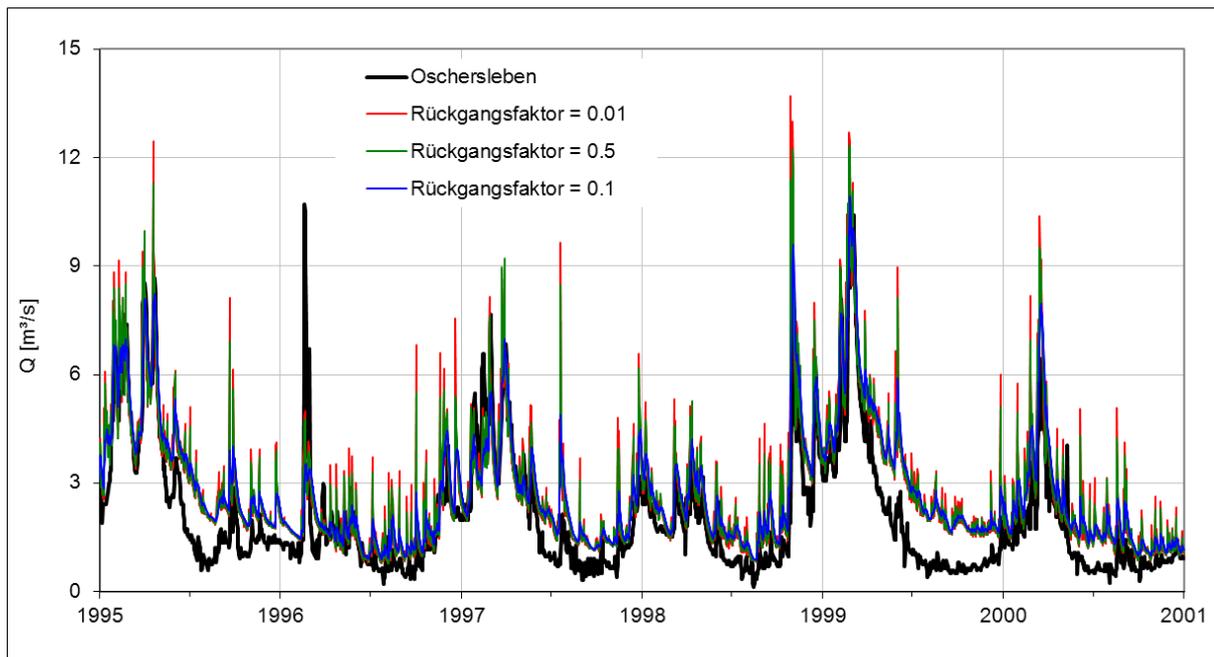


Abbildung 7-12: Wirkung verschiedener Rückgangsfaktoren auf die Ganglinie am Pegel Oschersleben

7.4.4 Beispielhafte Darstellung der Anpassungspotenziale

Die Anpassungsgüte der einzelnen Pegel, die anhand der Effizienzen bewertet werden kann, ist sehr unterschiedlich. Die meisten Pegelabflüsse konnten mit der verwendeten Basisvariante schon gut abgebildet werden. Für einige der Pegel sind allerdings durch Parametervariationen noch erhebliche Steigerungen der Effizienz möglich.

Die Auswertung in Abbildung 7-13 zeigt das unterschiedliche Anpassungspotenzial der Kalibrierungspegel. Während sich einige Pegel (Barby, Calbe-Grizehne, Halle Trotha) sehr sensitiv bei den Parametervariationen zeigten (was an der großen Spanne der Effizienzen zu erkennen ist), war an anderen Pegeln das Anpassungspotenzial über die betrachteten Modellparameter begrenzt. Die Pegel Gardelegen und Groß-Gischau konnten mit keiner der Berechnungsvarianten gut abgebildet werden und sind daher in der Abbildung nicht dargestellt. Bei anderen Pegeln wie Allstedt, Laucha und Thalwinkel konnten die Anpassungen zwar verbessert werden. Allerdings konnte mit keiner der Varianten eine gute oder sehr gute Anpassung erzielt werden.

Die Durchflussmengen an den grenznahen Pegeln (Priorau, Naumburg-Grochlitz, Halle-Trotha) sind maßgeblich durch Einspeisungen an die Grenzpegel beeinflusst, sodass die Anpassungen unabhängig von den Parametervariationen meist sehr gut sind.

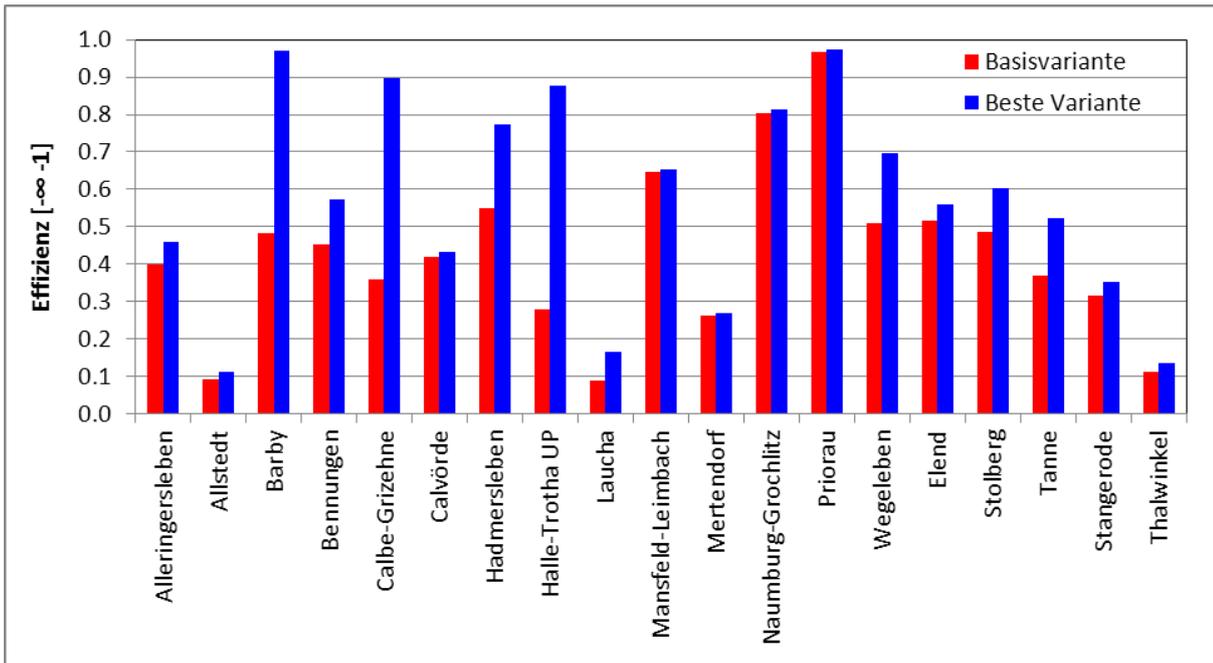


Abbildung 7-13: Effizienzen an den Kalibrierungspegeln

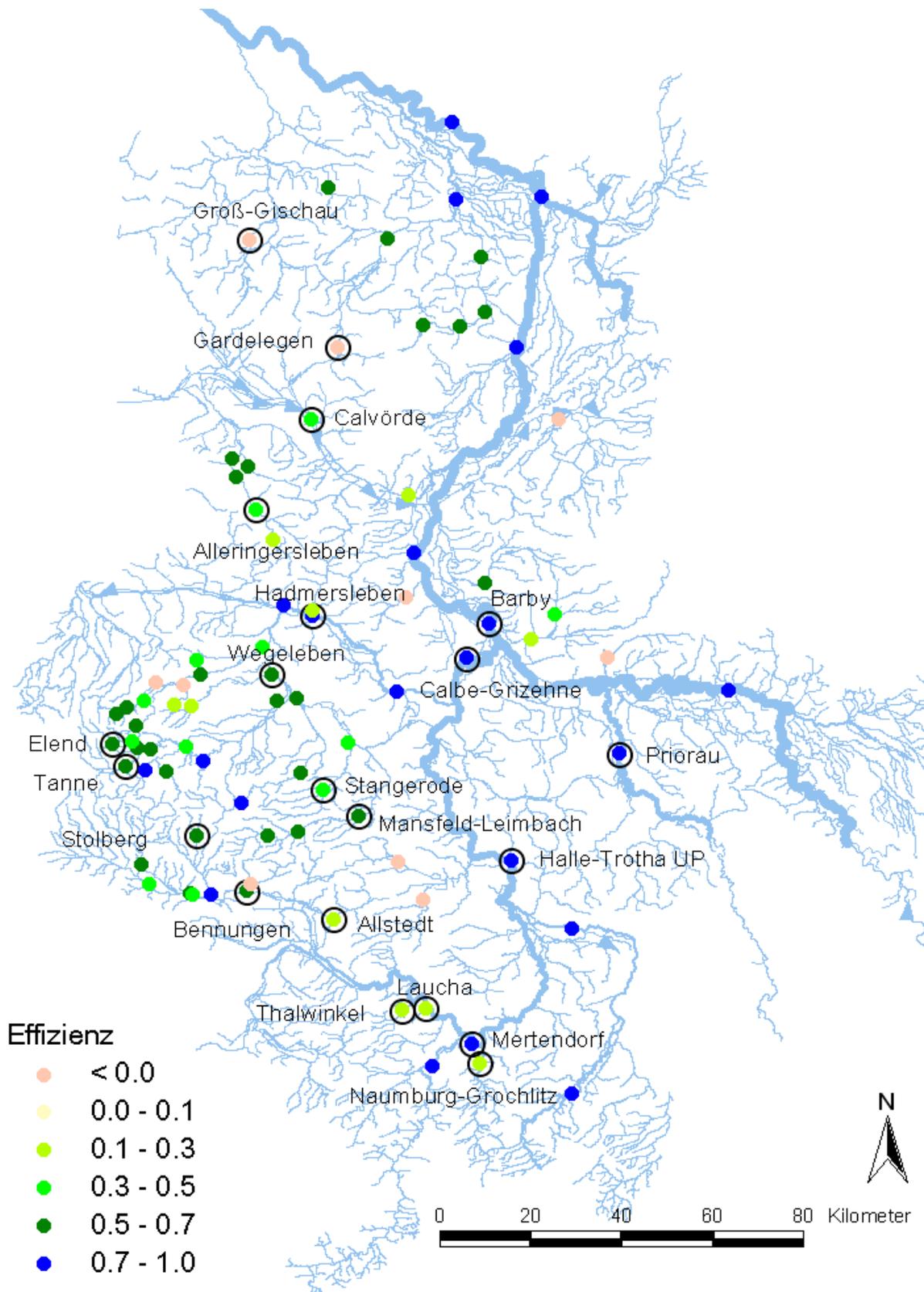


Abbildung 7-14: Erreichte Effizienzen durch Kalibrierungsrechnungen (die Kalibrierungspegel sind durch Kreise hervorgehoben)

8 Ergebnisse

8.1 Flächenbezogene Wasserhaushaltsgrößen

Die mittleren Wasserhaushaltsgrößen wurden über den Zeitraum von 1971 - 2000 flächendifferenziert (auf Elementarflächen) berechnet und für verschiedene Raumeinheiten (Oberflächenwasserkörper, Grundwasserkörper, Teileinzugsgebiete) aggregiert.

8.1.1 *Landeswasserbilanz und mittlere Wasserhaushaltsergebnisse für Sachsen-Anhalt*

Für die Landeswasserbilanz für Sachsen-Anhalt wurden die Zufluss-Pegel dem Abfluss am Pegel Wittenberge gegenübergestellt. Die Abflussdifferenz ist die Wassermenge, die sich aus den Abflusskomponenten der Wasserhaushaltsgrößen auf der Landesfläche ergibt.

Dabei ist zu beachten, dass die Landesgrenze nicht identisch mit den natürlichen Einzugsgebieten verläuft. Das Modellgebiet wurde so gewählt, dass die natürlichen Einzugsgebiete kleinerer Fließgewässer nicht getrennt wurden, sodass eine größere Fläche als die Landesfläche von Sachsen-Anhalt modelliert wurde.

Beim Erstellen der Landeswasserbilanz für Sachsen-Anhalt musste also die Modellfläche abzüglich der Einzugsgebiete der Grenzpegel verwendet werden. Dieses Bilanzgebiet ist mit etwa 25 550 km² größer als die Landesfläche (etwa 20 550 km²).

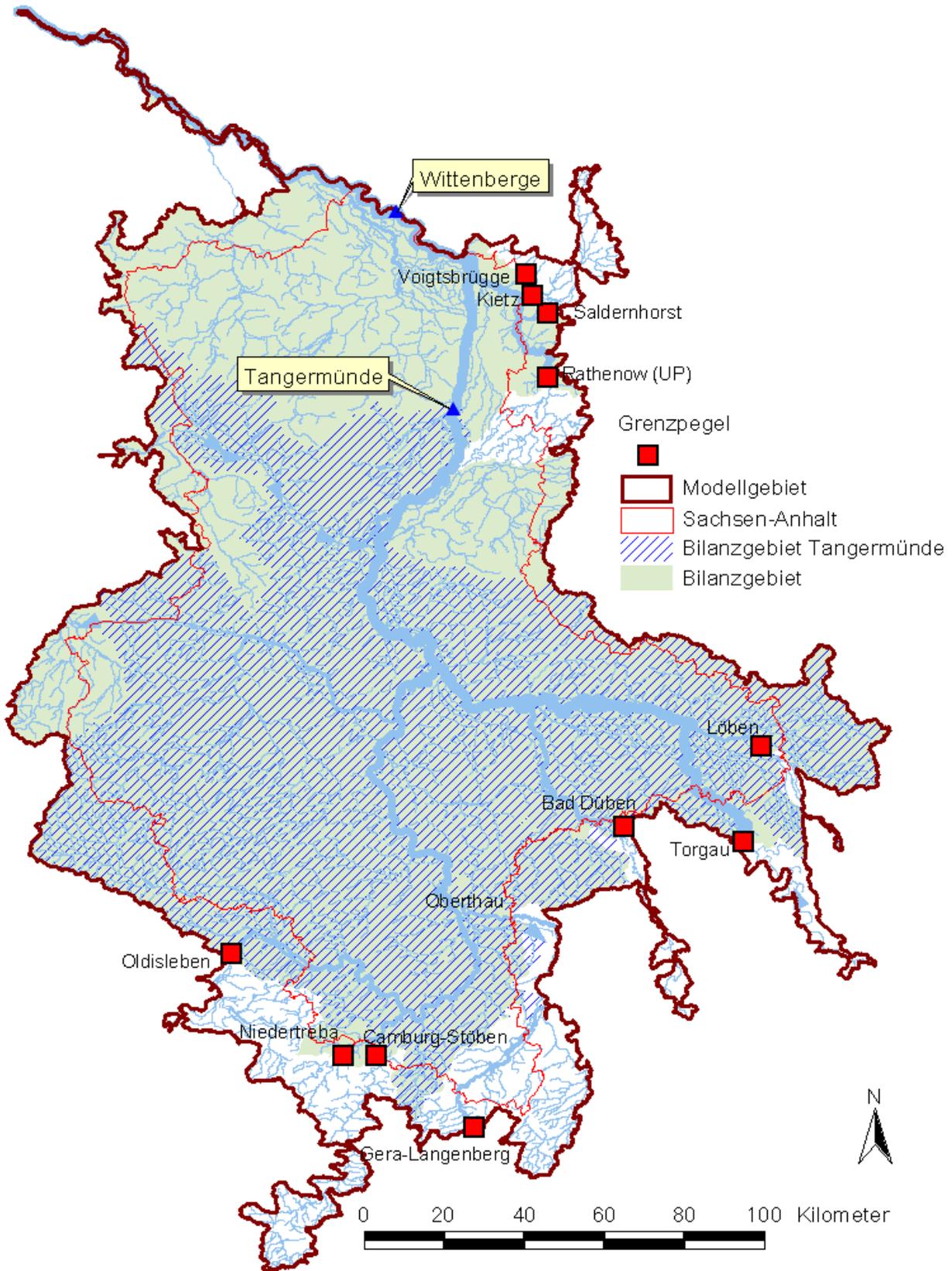


Abbildung 8-1: Fläche für die Ermittlung der Landeswasserbilanz

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Die messtechnisch erfassten Zu- und Abflüsse über die Grenze des Bilanzgebietes sind in Tabelle 8-1 zusammengestellt. Die Abflussdifferenz vom 97 m³/s bzw. 120 mm/a entspricht der Abflussbildung im Bilanzgebiet. Vom Modell wurde mit 109 mm/a ein etwa um 10 % geringerer Gesamtabfluss berechnet. Der Pegel Wittenberge wird dabei unterschätzt. Da der Pegel Tangermünde mit einer geringen Abweichung von 2 % sehr gut getroffen wird, kann diese Abweichung auf eine Überschätzung der Verdunstung in den Tieflandgebieten zurückgeführt werden.

Tabelle 8-1: Zu- und Abflüsse Sachsen-Anhalts (1971 - 2000)

Zufluss [m³/s]	MQ	Bemerkung	Abfluss [m³/s]	MQ
Löben	19.7	Messwerte erst ab 1973	Wittenberge	684
Torgau	331.5		Weferlingen	0.90
Bad Dübén	62.1		Hödingen	0.08
Camburg	32.0		Groß-Gischau	1.09
Niedertreba	6.1			
Odisleben	19.6			
Oberthau	25.2	Messwerte erst ab 1972		
Kiez	ca. 5	Messwerte nur 1980 -1982		
Rathenow	82.7			
Saldernhorst	ca. 4	Messwerte erst ab 1995		
Voigtsbruegge	ca. 1	Messwerte erst ab 2001		
Summe	589		Summe	686

Die mittleren Wasserhaushaltsgrößen für das Modellgebiet, das Bilanzgebiet und die Landesfläche von Sachsen-Anhalt sind in Tabelle 8-2 aufgeführt.

Tabelle 8-2: Mittlere Wasserhaushaltsgrößen (1971 - 2000)

	Sachsen-Anhalt	Modellgebiet	Bilanzgebiet
Bezugsfläche [km²]	20 550	29 330	25 550
Wasserhaushaltsgröße [mm/a]			
Niederschlag (PI)	604	623	621
Potenzielle Verdunstung (EP)	592	593	591
Reale Verdunstung (ER)	505	517	512
Drainageabfluss (RDrain)	20	15	16
Hypodermischer Abfluss (RH)	15	16	16
Oberflächenabfluss (RO)	18	19	18
Schneller GW-abfluss (RG1)	15	16	16

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Langsamer GW-abfluss (RG2)	29	40	42
Gesamtabfluss	98	106	109

8.1.2 Regionale Unterschiede der Wasserhaushaltsgrößen

Zusätzlich zu den geforderten Ergebnissen für die Oberflächenwasser- und Grundwasserkörper wurden die Wasserhaushaltsgrößen auch für die fünf Naturräume Sachsen-Anhalts (Abbildung 8-2) aggregiert, die schon in der Klimafolgenstudie 2012 für Sachsen-Anhalt (PFÜTZNER ET AL. 2013) zugrunde gelegt wurden.

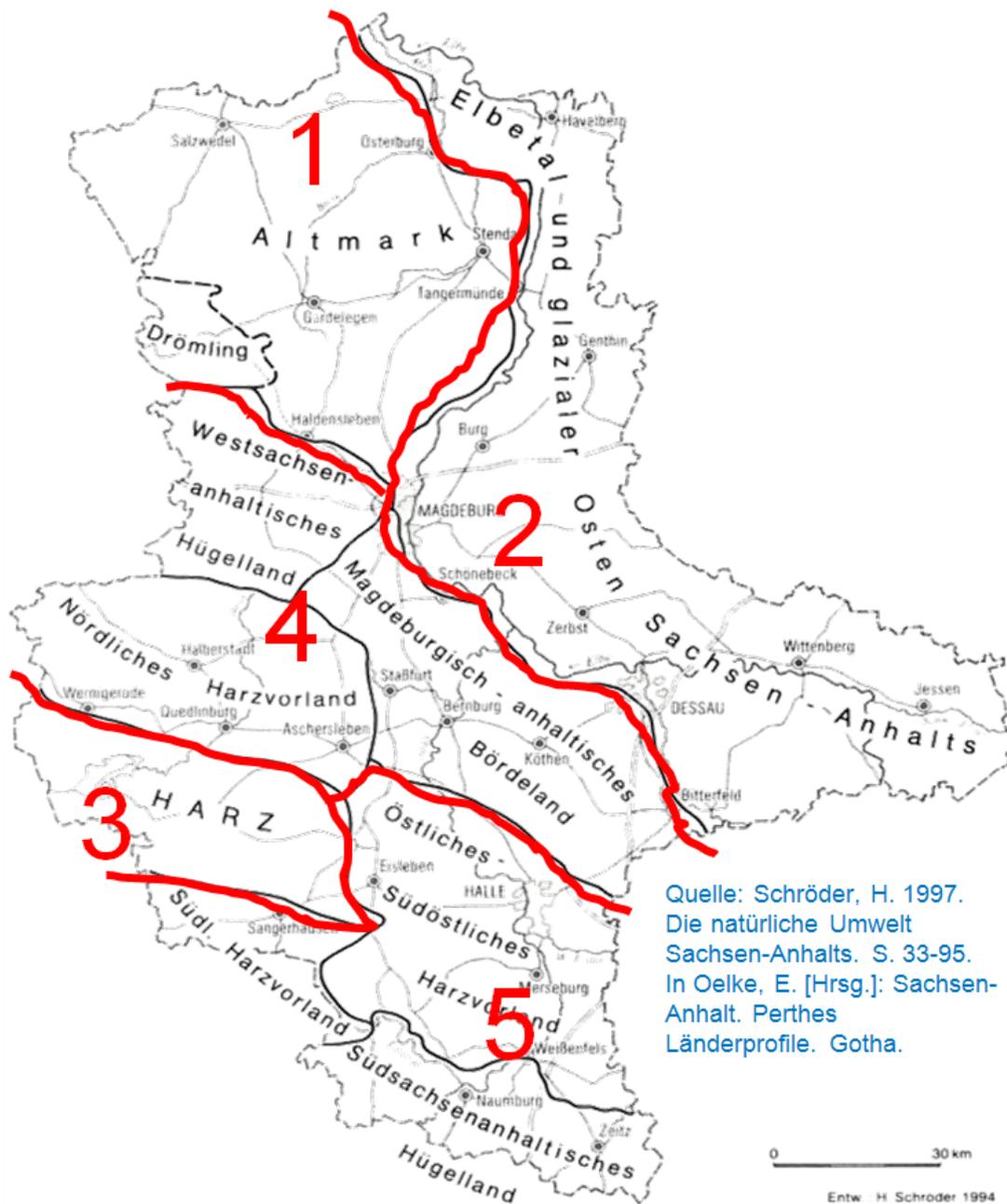


Abbildung 8-2: Naturräumliche Gliederung Sachsen-Anhalts: 1 = Altmark / Drömling, 2 = Elbetal / glazialer Osten, 3 = Harz, 4 = Schwarzerdegebiet, 5 = Schwarzerderegion im Regenschatten des Harzes

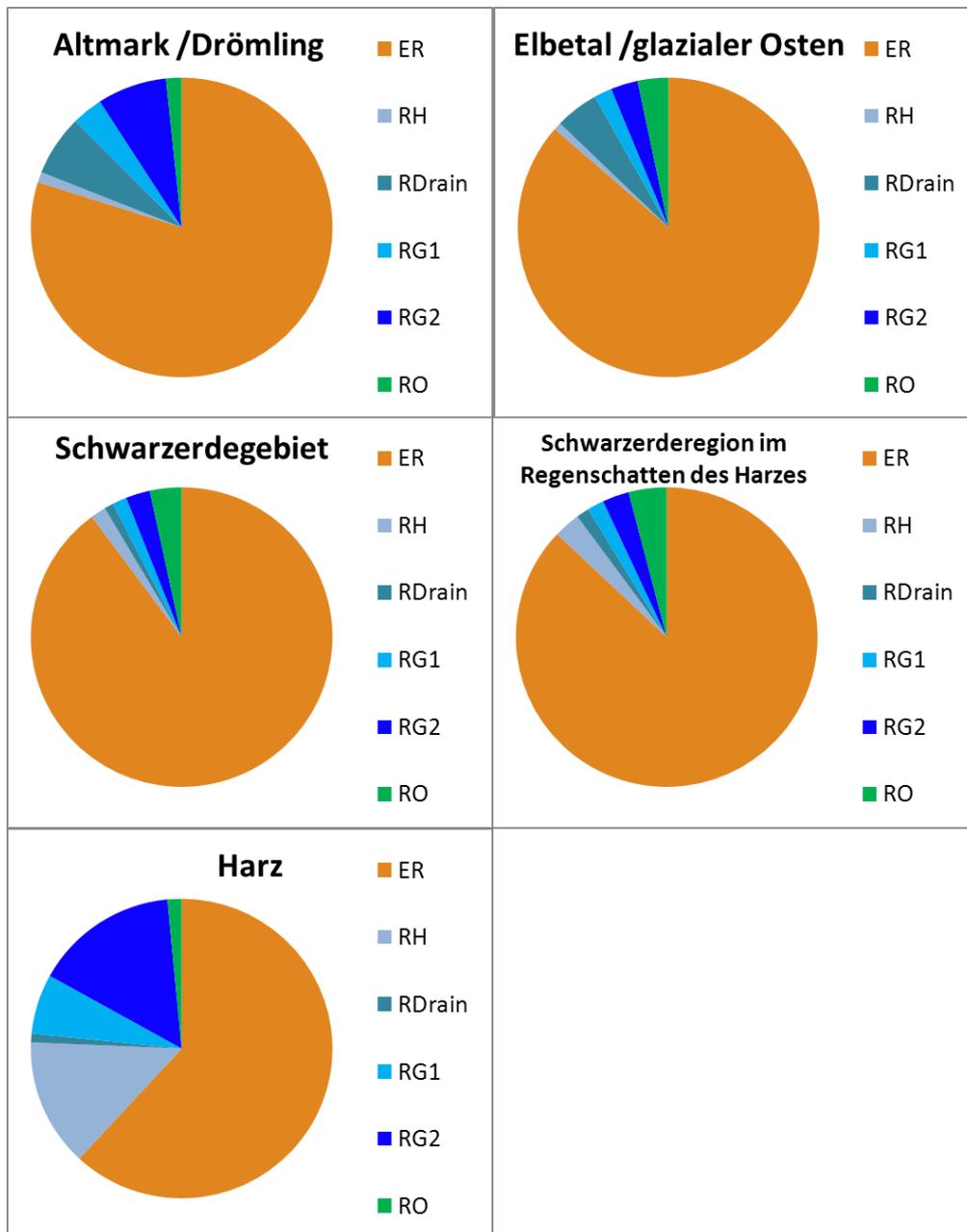


Abbildung 8-3: Wasserhaushaltsgrößen [mm/a] für die fünf Regionen

Die Unterschiede in der Zusammensetzung der Wasserhaushaltsgrößen der fünf Regionen zeigen den Harz als Neubildungsgebiet mit einem großen Anteil an schnellen und langsamen Abflusskomponenten, während in allen anderen Regionen der Abfluss bedeutend geringer ist und die Verdunstung ER bei weitem überwiegt. Erwähnenswert ist, dass für den Drömling und das Elbtal der Drainabfluss eine nicht zu vernachlässigende Größenordnung erreicht. Den geringsten Abfluss weisen die Schwarzerderegionen auf (Abbildung 8-3 und Tabelle 8-3).

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Die Zusammensetzung der Abflusskomponenten ist in den Regionen Schwarzerdegebiet, Schwarzerderegion im Regenschatten des Harzes und Elbetal und glazialer Osten sehr ähnlich. Der Drainageabfluss tritt hauptsächlich in den Tieflandgebieten Altmark und Dröling und Elbetal und glazialer Osten auf. Im Harz wird der Abfluss überwiegend aus dem Grundwasserabfluss und dem hypodermischen Abfluss gebildet, während Oberflächen- und Drainageabfluss sehr gering sind. Der hypodermische Abfluss wird in der Region Harz durch das hohe Gefälle und den hohen Waldanteil erzeugt. Das auf den Waldboden auftreffende Niederschlagswasser kann schnell in den Oberboden eindringen und fließt dann oberflächenparallel als hypodermischer Abfluss ab. Dadurch kommt es kaum zu Oberflächenabfluss (siehe auch Abbildung 8-10 und Abbildung 8-12).

Tabelle 8-3: Mittlere Wasserhaushaltsgrößen der fünf Regionen

WH- Größe [mm/a]	Altmark / Drömling	Elbetal / glazialer Osten	Harz	Schwarz- erdegebiet	Schwarzerderegion im Regenschatten des Harzes
PI	605	593	817	571	589
ER	483	511	504	513	513
RH	7	5	113	9	17
RDRAIN	40	28	8	6	8
RG1	20	11	53	9	11
RG2	45	17	126	15	17
RO	10	20	12	19	24
PI-ER	123	82	312	57	76

8.1.3 Räumlich differenzierte Wasserhaushaltsgrößen

Die räumliche Verteilung der Wasserhaushaltsgrößen ist in Abbildung 8-4 bis Abbildung 8-12 dargestellt. Die Niederschlagsverteilung in Abbildung 8-4 zeigt deutlich die hohen Niederschläge im Harz mit > 1000 mm/a und das im Regenschatten des Harzes gelegene Trockengebiet mit Niederschlägen zwischen 450 und 550 mm/a.

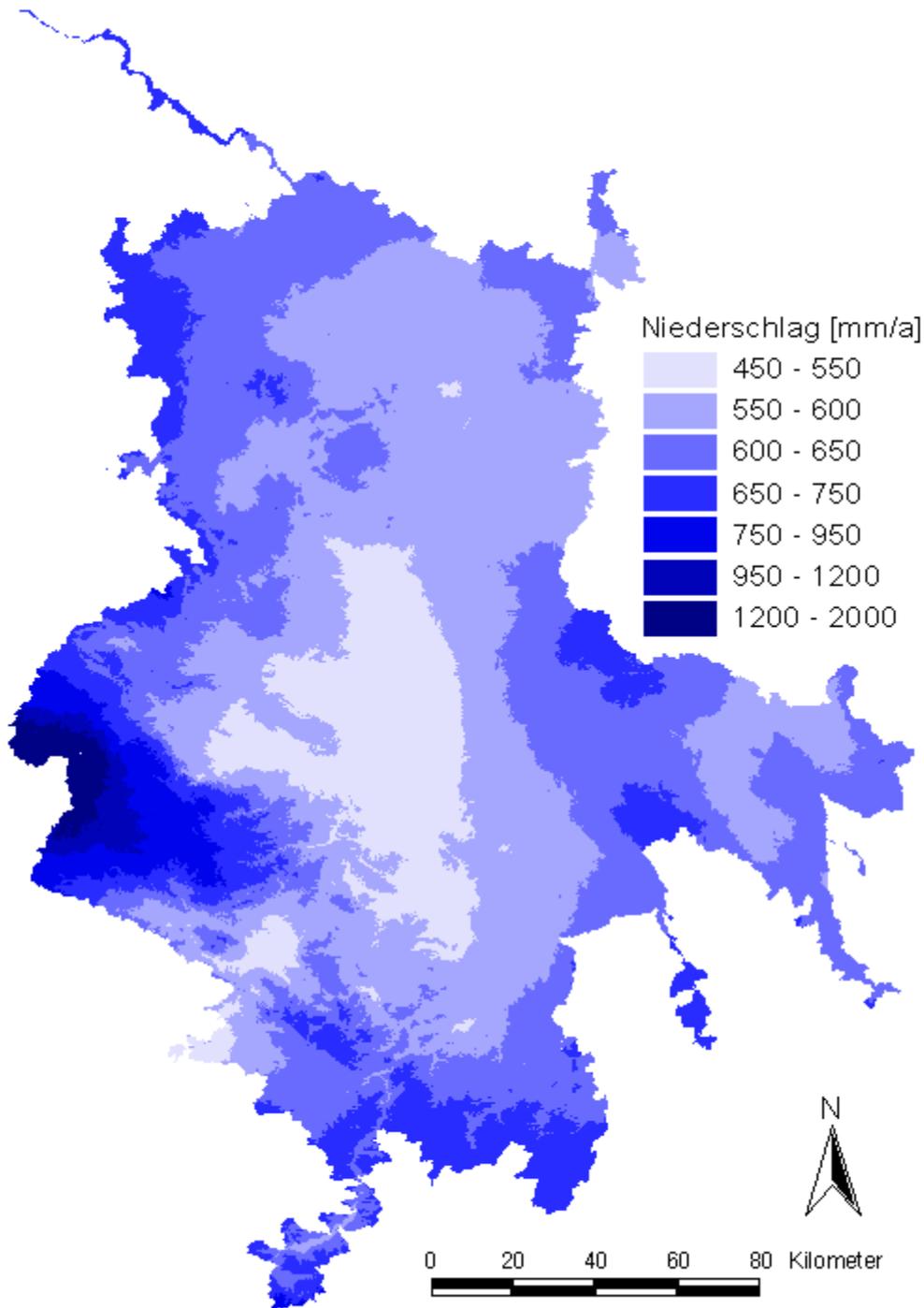


Abbildung 8-4: Räumliche Verteilung der Niederschläge

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Die potentielle Verdunstung ist für das gesamte Modellgebiet sehr ähnlich. Lediglich die Harzregionen zeichnen sich durch eine geringere potenzielle Verdunstung aus, während die süd-östlichen Gebiete etwas höhere Verdunstungspotenziale zeigen.

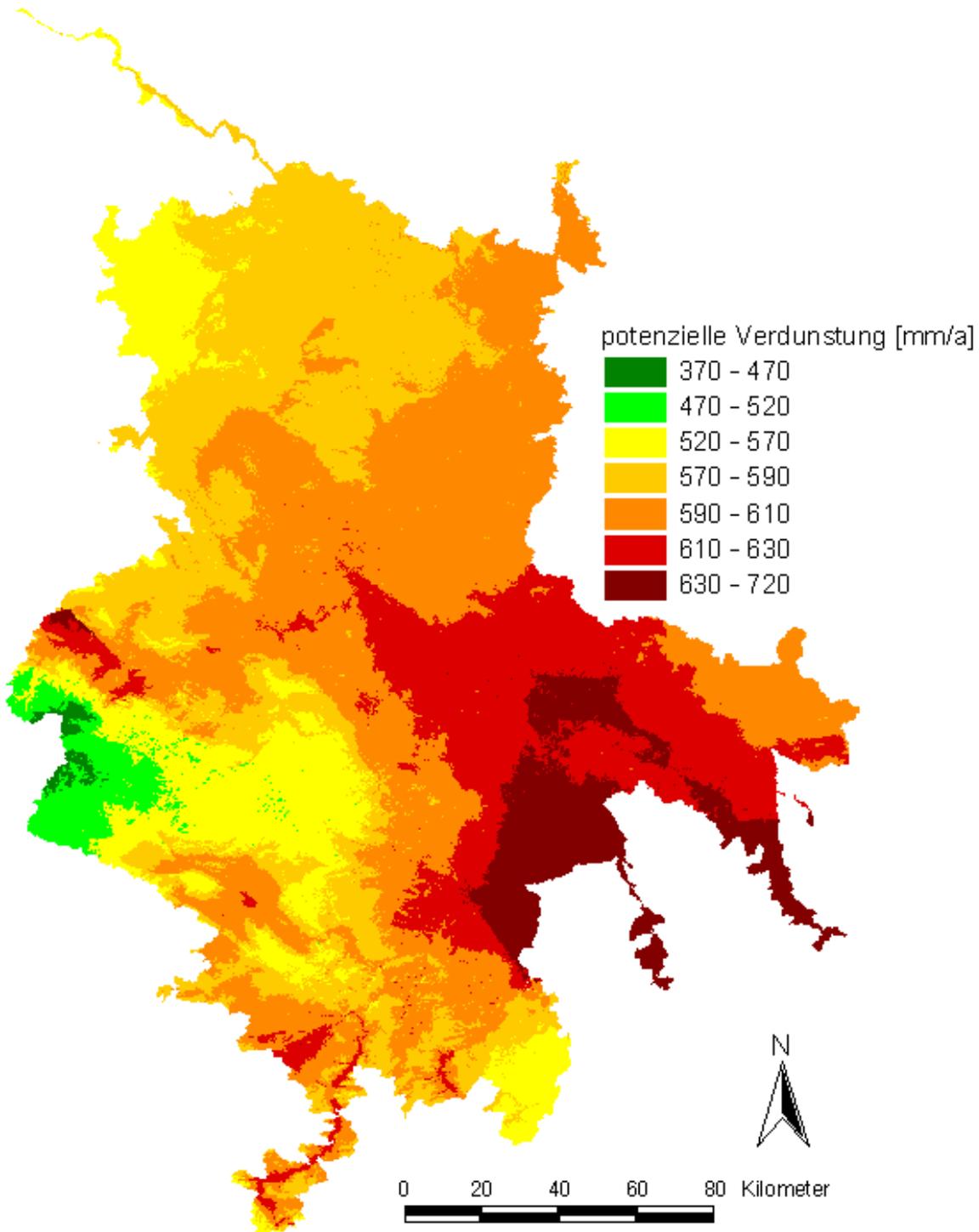


Abbildung 8-5: Räumliche Verteilung der berechneten potenziellen Verdunstung

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Die reale Verdunstung ist räumlich differenzierter. Hier zeigen sich bereits grundwassernahe Flächen mit dunkelroten Farbtönen (Verdunstung > 650 mm/a).

Die Verdunstung von Wasserflächen liegt aufgrund des hohen Albedos dieser Flächen gewöhnlich 20 bis 30 % über der potenziellen Verdunstung. Im Modell wird davon ausgegangen, dass immer genügend Wasser zur Verfügung steht, um diesen hohen Verdunstungsanspruch zu gewährleisten. Allerdings werden durch die Verdunstung von Seeflächen die Ergebnisse bei der Aggregation verfälscht. Das dort verdunstende Wasser muss nicht über den Niederschlag nachgeliefert werden, sondern wird aus den ohnehin vorhandenen Wasserspeichern der Wasserflächen entnommen, die nicht in der Bilanz enthalten sind. So ergeben sich Bilanzfehler, abhängig von der Größe des Wasserflächenanteils im betrachteten Bilanzgebiet. Um diese Bilanzprobleme zu vermeiden, wurden die Seeflächen bei der Aggregation ausgeschlossen.

Ein ähnliches Problem ergibt sich bei der Verdunstung von grundwassernahen Flächen. Hier wird ebenfalls davon ausgegangen, dass der Verdunstungsanspruch aus einem hinreichend großen Grundwasserspeicher gedeckt werden kann und eine Limitierung nur über die kapillare Aufstiegsrate erfolgt. Es wird also ebenfalls ein in der Bilanz nicht berücksichtigter Wasserspeicher angezapft, ohne dass die Nachlieferung der gezehrten Wassermenge mit der Wasserbilanz im Gebiet abgeglichen wird. Das führt zu einer Ausweisung von negativen Speicheränderungen. Je größer der Anteil der grundwassernahen Flächen ist und je höher die kapillaren Aufstiegsraten der Böden sind, desto größer sind diese Speicheränderungen. Im Gebietsmittel machen sie nur -5 mm/a aus, aber für einzelne Grundwasserkörper werden hier Werte von bis zu -30 mm/a ausgewiesen.

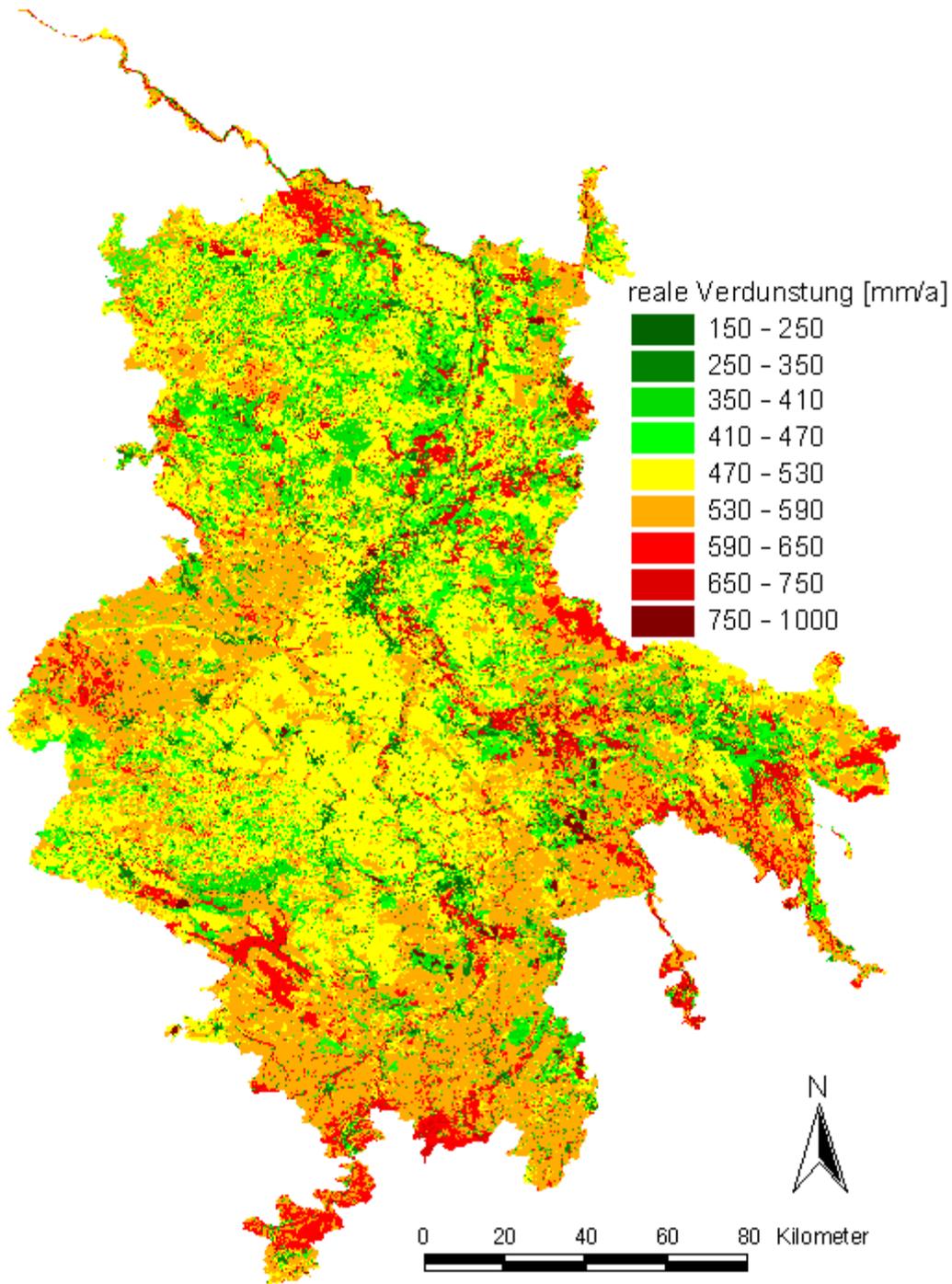


Abbildung 8-6: Räumliche Verteilung der berechneten realen Verdunstung

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Die Sickerwassermenge (GWN) wird in eine schnelle (RG1) und eine langsame Grundwasserkomponente (RG2) unterteilt. Diese Unterteilung erfolgte anhand des SlowComp-Ansatzes. Wie oben bereits beschrieben, ist die Unterteilung in die Abflusskomponenten rein empirisch.

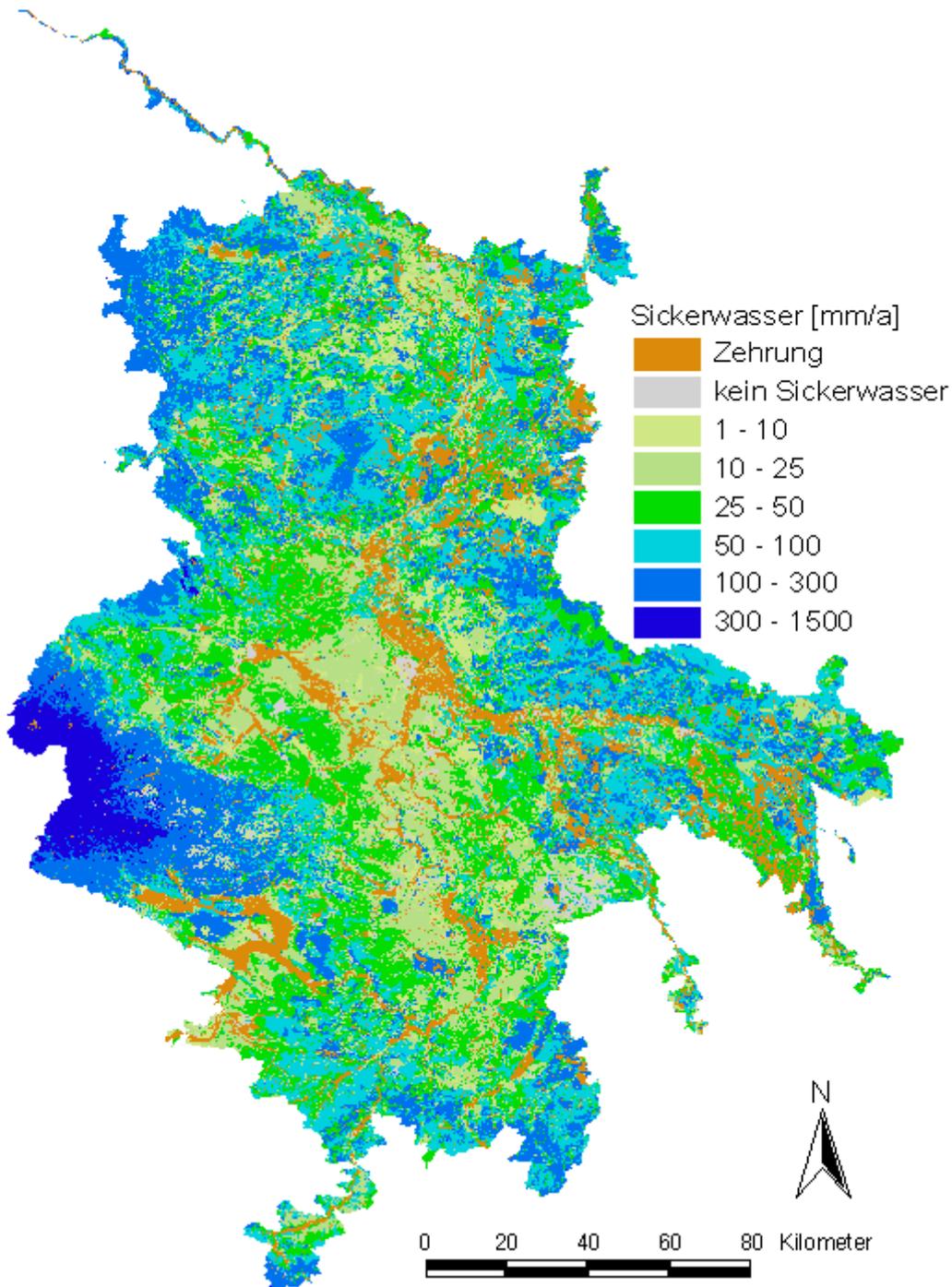


Abbildung 8-7: Räumliche Verteilung der berechneten Sickerwassermengen

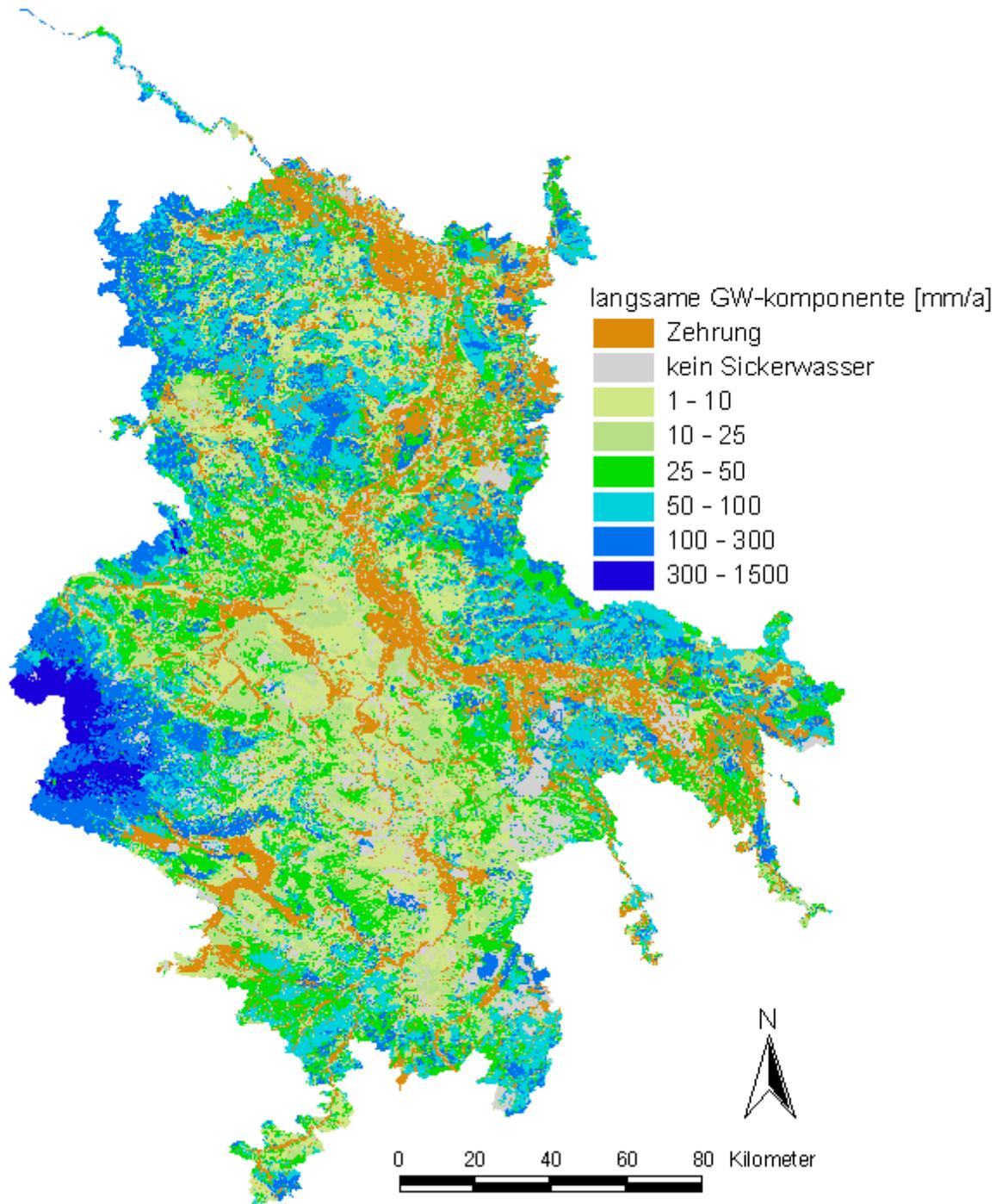


Abbildung 8-8: Räumliche Verteilung der berechneten langsamen Grundwasserkomponente

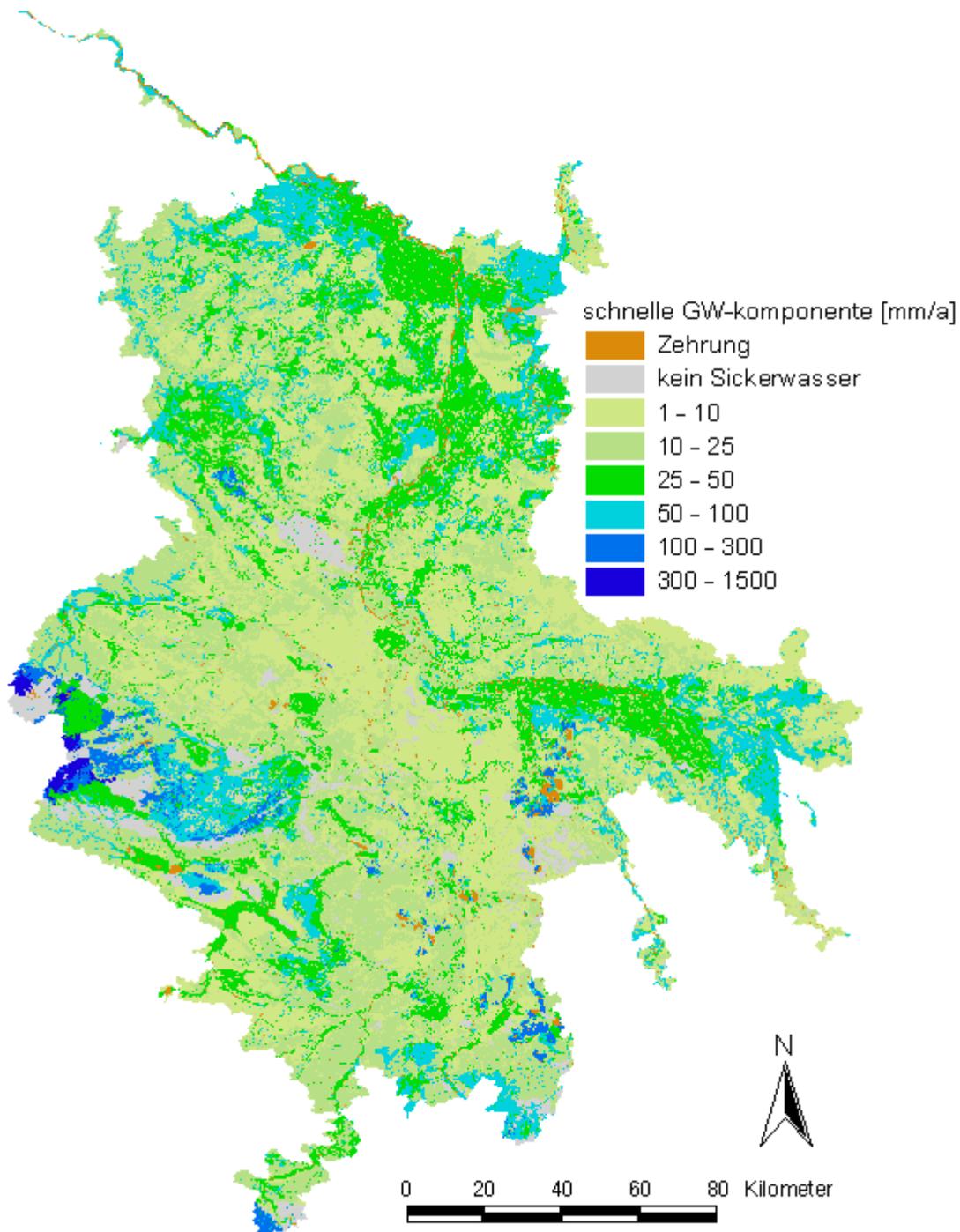


Abbildung 8-9: Räumliche Verteilung der berechneten schnellen Grundwasserkomponente

Anhand der Abbildung 8-10 wird deutlich, dass in den Festgesteinsbereichen des Harzes der größte hypodermische Abfluss auftritt. Dies ist auf den hohen Waldanteil im Harz zurückzuführen. Die gut durchlässige Auflageschicht der Waldböden führt dazu, dass das Niederschlagswasser direkt versickert und auf den schlechter durchlässigen Schichten als Zwischenabfluss oder hypodermischer Abfluss oberflächenparallel abfließt. Daher wird im Harz kaum direkter Oberflächenabfluss gebildet.

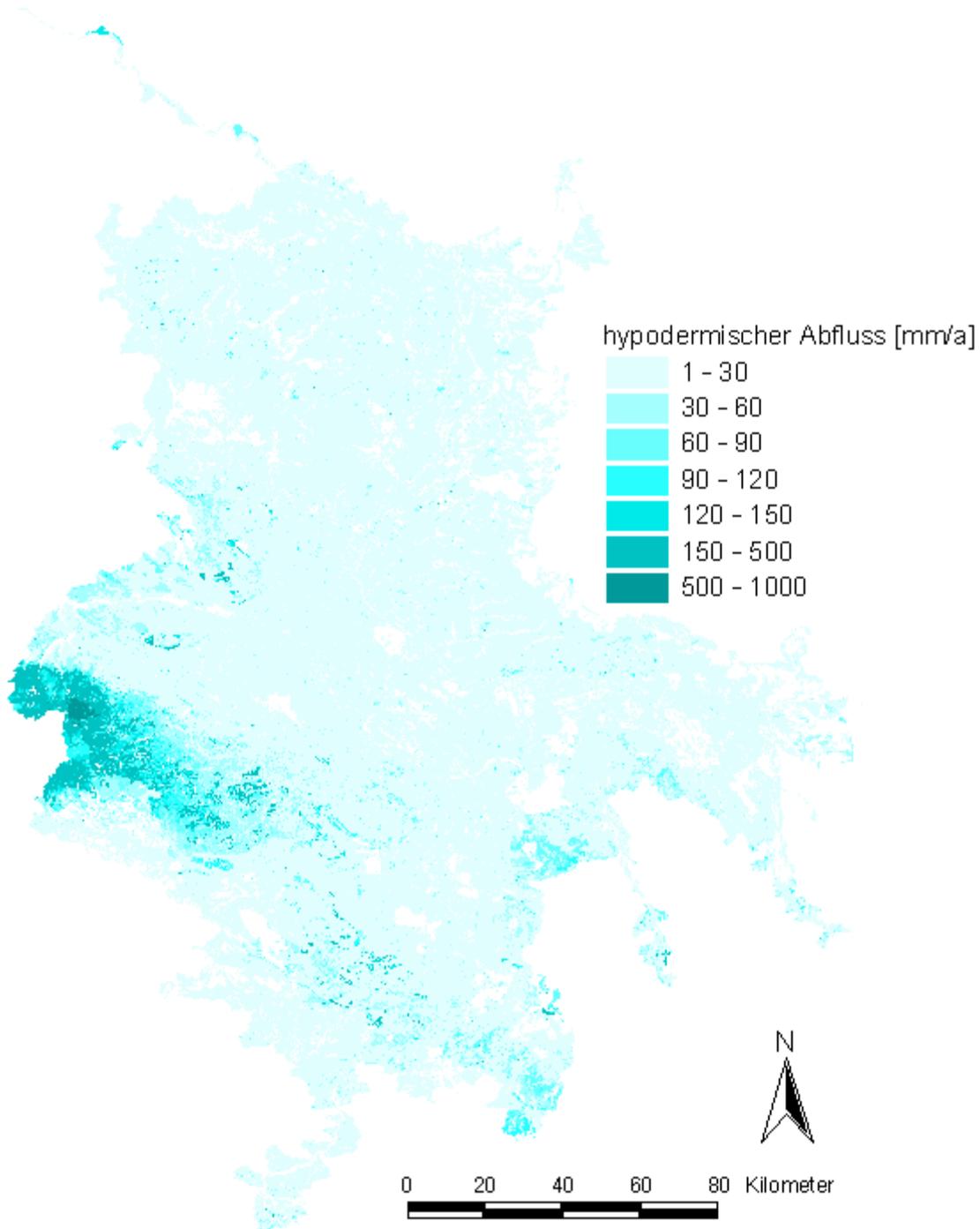


Abbildung 8-10: Räumliche Verteilung des berechneten hypodermischen Abflusses

Für den hypodermischen Abfluss wurde angenommen, dass dieser auch den Vorfluter erreicht. Inwiefern sich aber die lokalen Stauer in der Bodenmatrix bis zum Vorfluter fortsetzen, ist nicht bekannt. Der hypodermische Abfluss kann auf dem Weg zum Vorfluter auch wieder aus dem Boden austreten (Quellen am Hangfuß) oder in die Tiefe versickern und die lokale Grundwasserneubildung erhöhen.

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Der Drainageabfluss tritt in den Niederungen und Auenbereichen auf. Für die Drainageabflüsse wurde angenommen, dass die landesweit vorliegenden Informationen zu den Drainagen die aktuellen Verhältnisse vor Ort widerspiegeln.

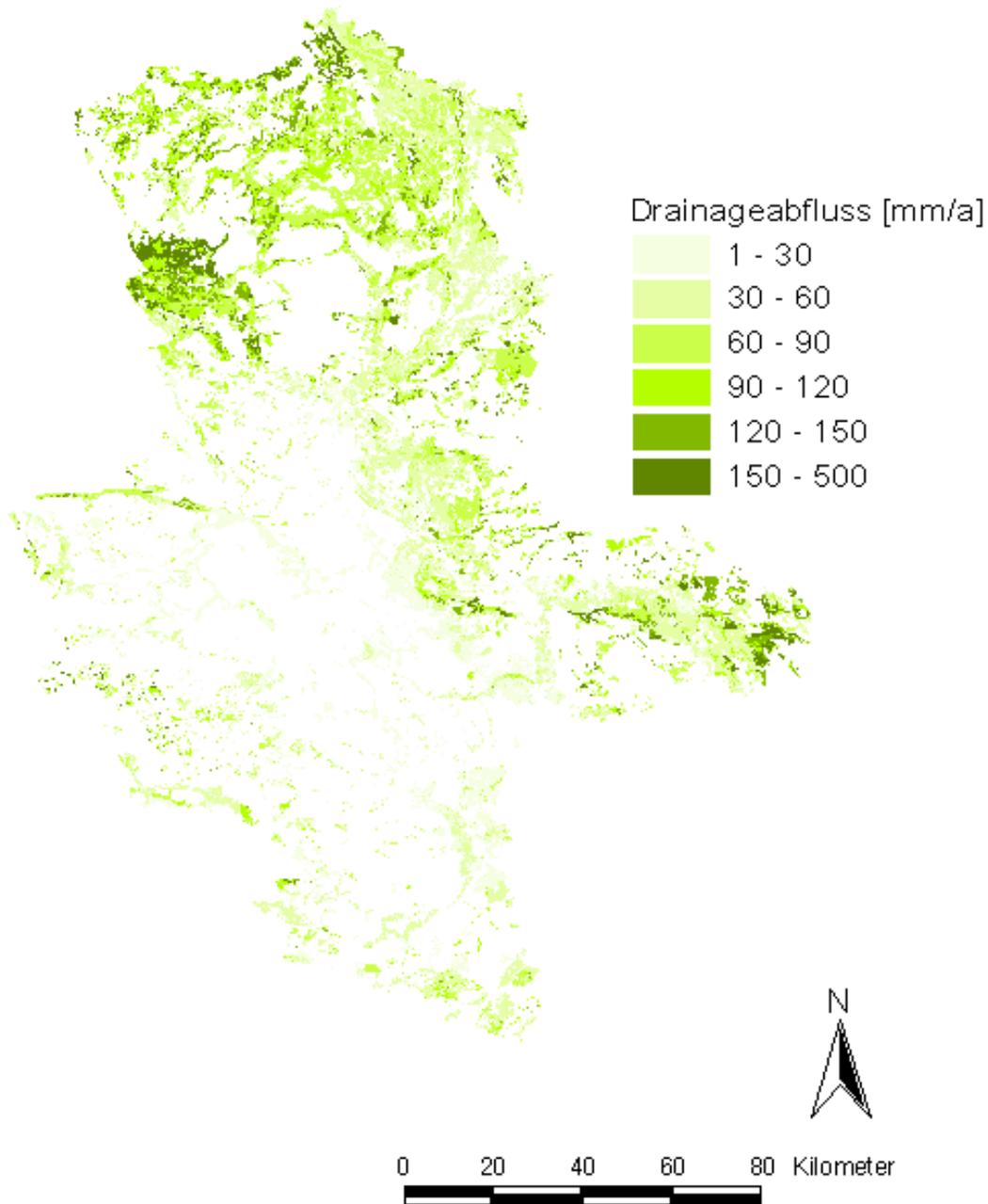


Abbildung 8-11: Räumliche Verteilung des berechneten Drainageabflusses

Zu bedenken ist aber, dass in diesem landesweiten Datenbestand Informationen der Meliorationsbetriebe (sofern vorhanden) zu durchgeführten Meliorationsmaßnahmen eingeflossen sind. Inwiefern die Drainageeinrichtungen heute noch wirksam sind, ist allerdings unsicher. Sofern keine Informationen zu durchgeführten Meliorationen verfügbar waren, wurde angenommen, dass die potenziell zur Vernässung neigenden Böden auch drainiert wurden.

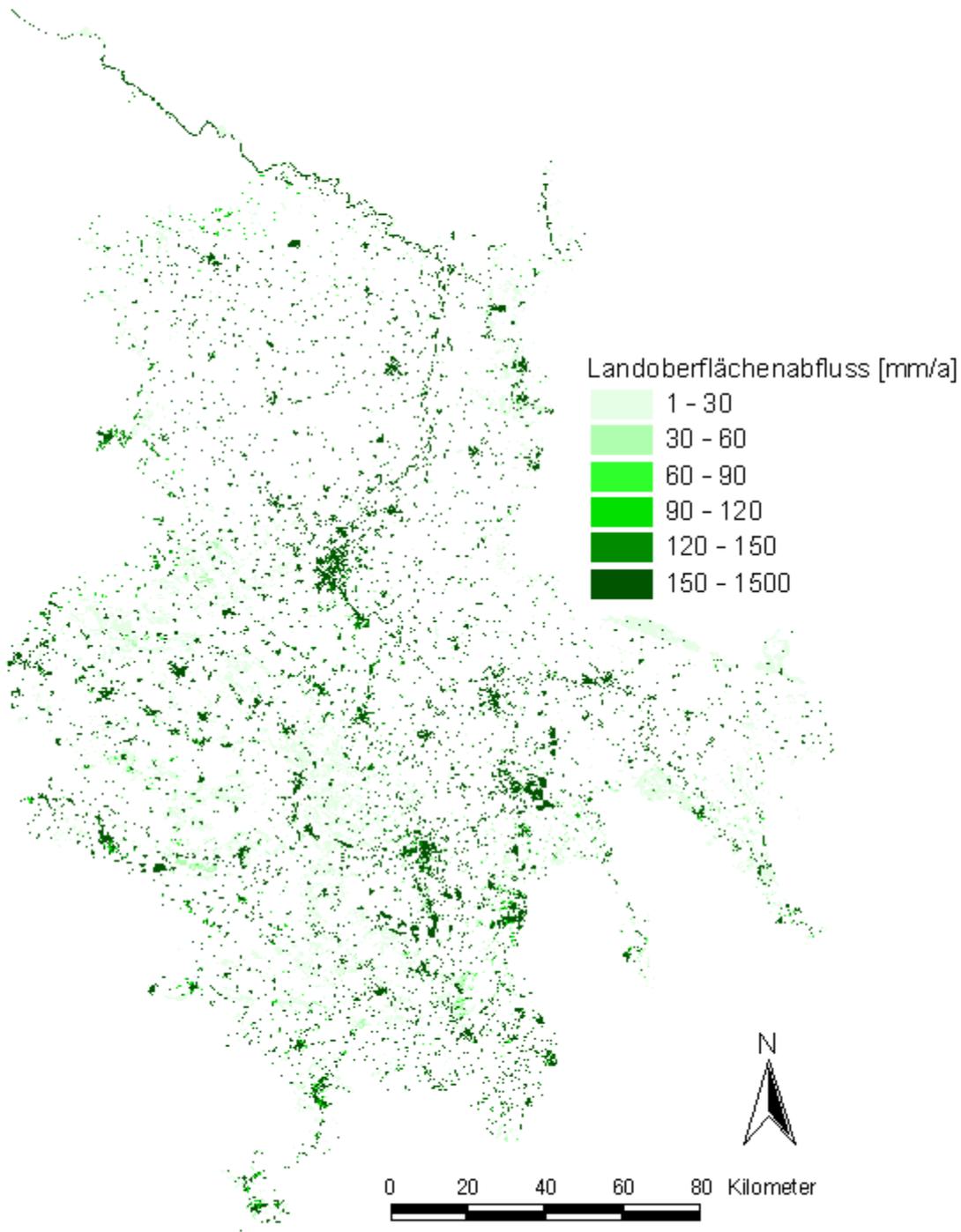


Abbildung 8-12: Räumliche Verteilung des berechneten Oberflächenabflusses

Die Simulationsergebnisse des hypodermischen Abflusses und des Drainageabflusses sind also mit Unsicherheiten behaftet, die den Anwender mit lokalen Kenntnissen berechtigen, diese beiden Komponenten gegebenenfalls der Grundwasserneubildung zuzuschlagen.

$$RG2 \leq \text{Grundwasserneubildung} \leq RU = (RG2 + RG1 + R_{\text{Drain}} + RH)$$

8.2 Zuflusskomponenten ins Gewässersystem und Gewässerabflüsse

Zusätzlich zu den Wasserhaushaltskomponenten wurden verschiedene fließgewässerbezogene Größen ermittelt. So wurden neben den Durchflusswerten verschiedene Zuflusskomponenten zum Vorfluter wie Direktzufluss (Q_{Ro}), schnelle unterirdische Zuflüsse von drainierten Flächen (Q_{Drain}) und hypodermischer Abfluss (Q_{int}) und der schnelle und langsame Grundwasserzufluss (Q_{RG1} und Q_{RG2} nach SlowComp) für jeden Fließgewässerabschnitt im Modell berechnet.

Die aus diesen Komponenten zusammengesetzten Ganglinien wurden für fünf Pegel mit verschiedenen Ausprägungen (Harzpegel, Harzvorlandpegel und Tieflandpegel) beispielhaft dargestellt.

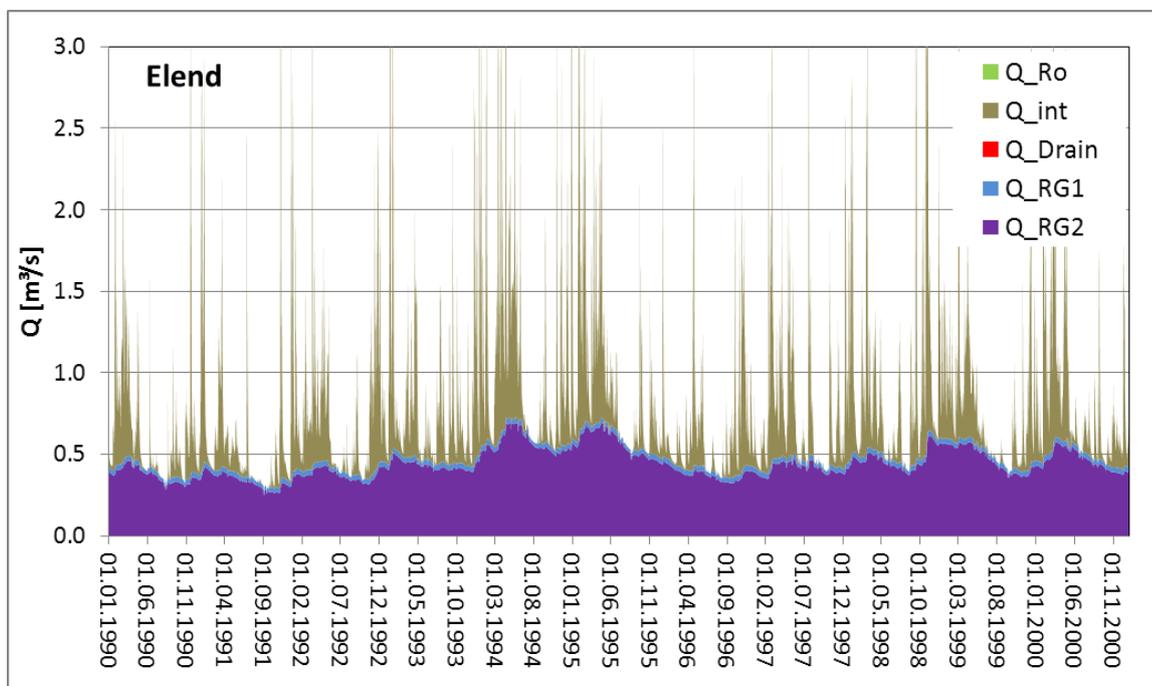


Abbildung 8-13: Abflusskomponenten am Pegel Elend

Am Pegel Elend ist die größte Abflusskomponente der langsame Grundwasserabfluss (Q_{RG2}). Der schnelle Grundwasserabfluss (Q_{RG1}) macht nur einen geringen Anteil aus. Die Abflussspitzen werden überwiegend durch den Zwischenabfluss (Q_{int}) gebildet. Landoberflächenabfluss (Q_{Ro}) tritt kaum auf. Das ist für ein Einzugsgebiet mit großem Gefälle eher untypisch. Man kann es aber darauf zurückzuführen, dass die Hangflächen meistens bewaldet sind und die Waldflächen im Modell mit einer sehr durchlässigen Bodenaufgabe versehen sind, die den auftreffenden Niederschlag sofort versickern lässt und Oberflächenabfluss damit kaum möglich macht. Erreicht das Niederschlagswasser beim Versickern undurchlässigere Schichten, wird Zwischenabfluss gebildet. Legt der

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Zwischenabfluss keine lange Versickerungstrecke zurück, erreicht er ähnlich schnell wie der Landoberflächenabfluss den Vorfluter, so dass für die Harzregionen die Unterscheidung in Zwischenabfluss und Landoberflächenabfluss eher eine Definitionsfrage ist und die Abflussganglinie nicht merklich verändert.

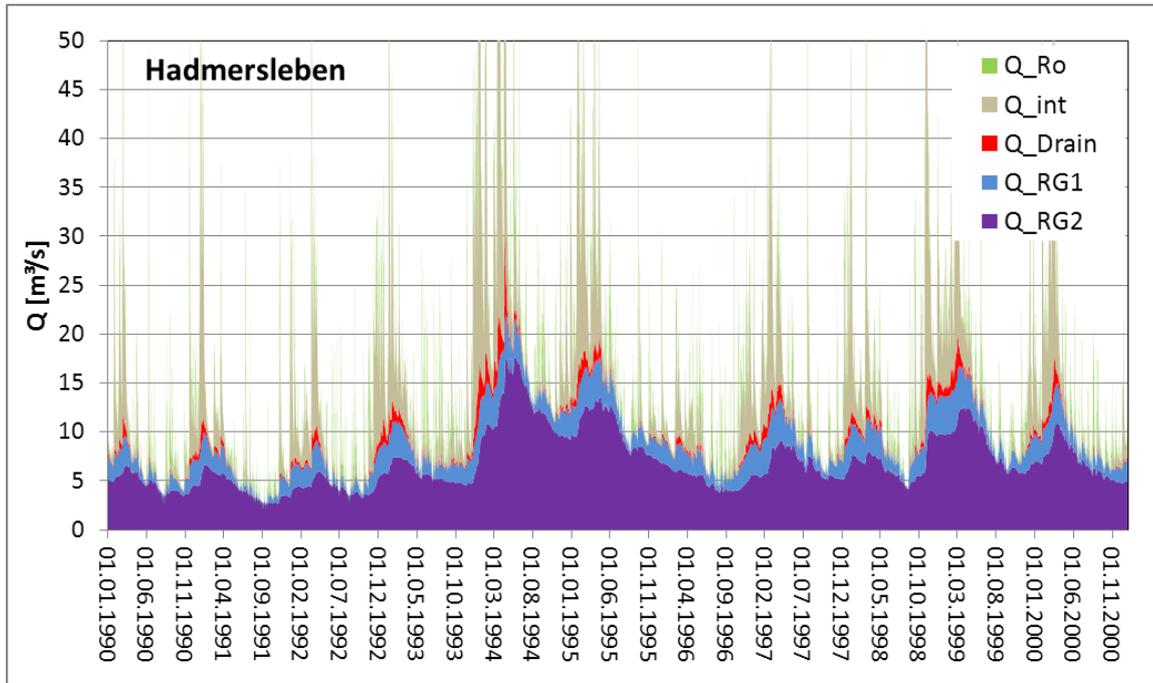


Abbildung 8-14: Abflusskomponenten am Pegel Hadmersleben

Am Pegel Hadmersleben bekommt die schnelle Grundwasserkomponente etwas mehr Bedeutung. Zusätzlich tritt an diesem Pegel auch Drainageabfluss auf. Der Interflow oder Zwischenabfluss bildet zusammen mit dem Landoberflächenabfluss die Abflussspitzen. Für Mansfeld-Leimbach ist die schnelle Grundwasserkomponente (Q_{RG1}) größer als der langsame Grundwasserabfluss. Die Abflussspitzen werden auch hier durch den Zwischenabfluss gebildet. Landoberflächenabfluss tritt kaum auf.

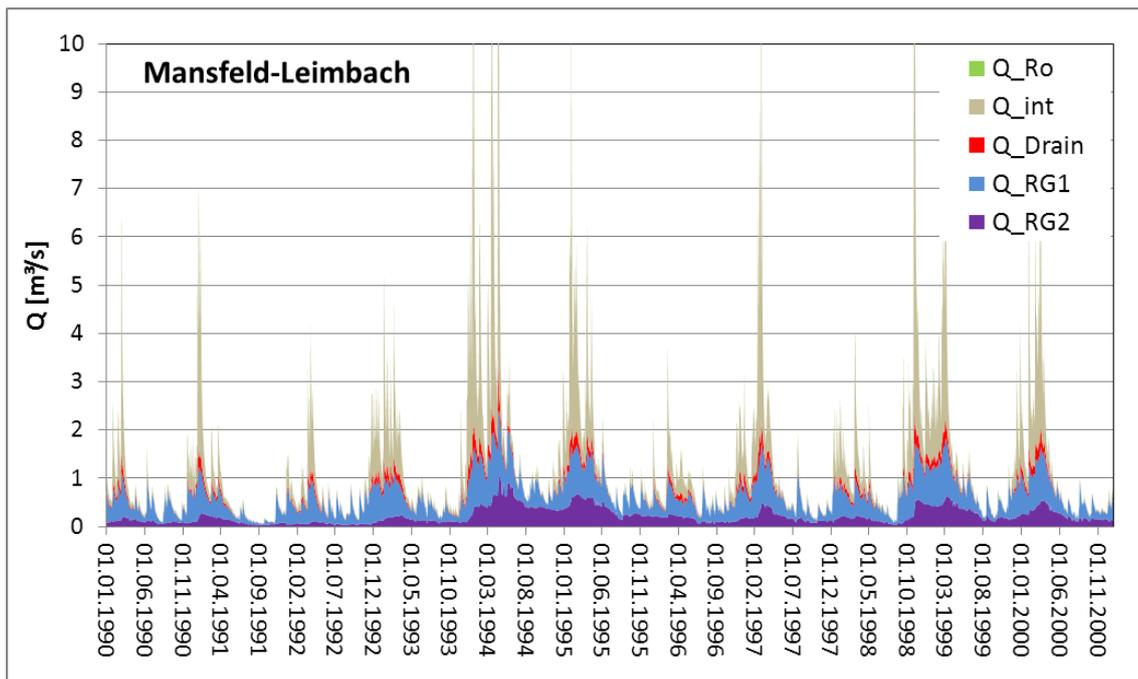


Abbildung 8-15: Abflusskomponenten am Pegel Mansfeld-Leimbach

Die beiden Tieflandpegel Alleringersleben und Dobbrun zeichnen sich durch einen hohen Drainageabfluss aus.

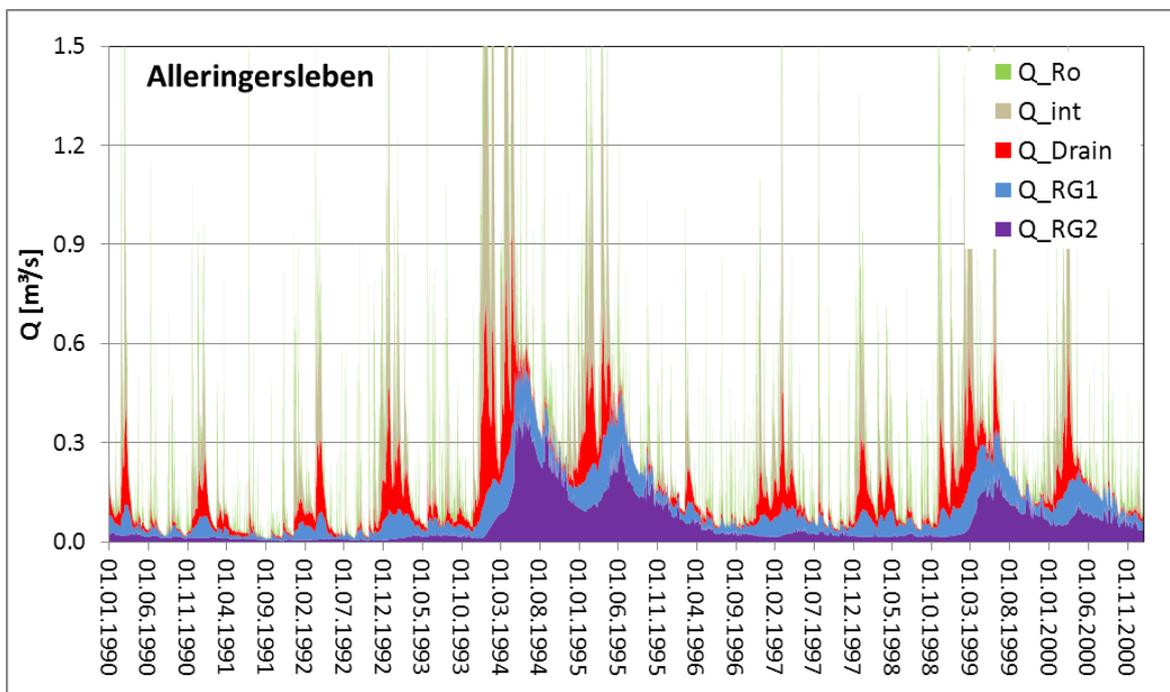


Abbildung 8-16: Abflusskomponenten am Pegel Alleringersleben

Während in Alleringersleben noch der Landoberflächenabfluss und Zwischenabfluss die Abflussspitzen dominieren, ist in Dobbrun der Drainageabfluss annähernd allein für die Abflussspitzen verantwortlich.

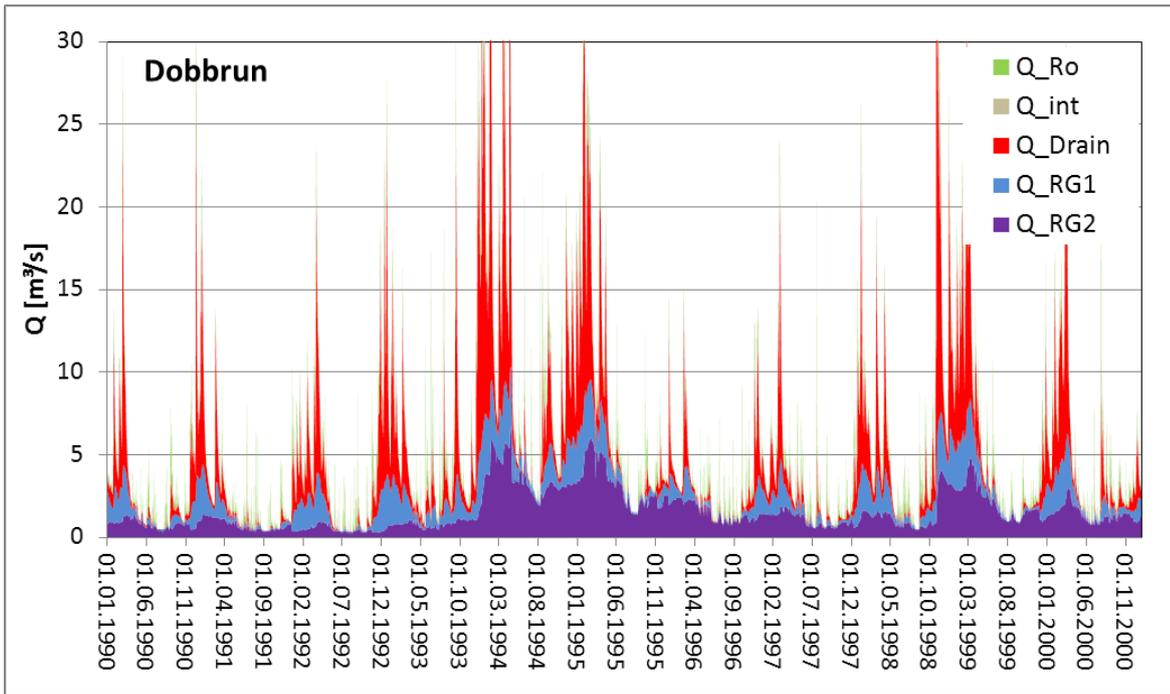


Abbildung 8-17: Abflusskomponenten am Pegel Dobbrun

9 Zusammenfassung

In dem hier vorgestellten Projekt wurde das landesweite Wasserhaushaltsmodell für Sachsen-Anhalt umfassend aktualisiert und auf neue, räumlich sehr differenzierte und inhaltlich fundierte Datengrundlagen gestellt. Dies betrifft vor allem die Bodendaten, die Grundwasserflurabstände, Bauwerks- und Bewirtschaftungsdaten und die meteorologischen Eingangsdaten. Die Landnutzungsdaten inklusive Ertragspotenziale und Informationen zur Oberflächenmorphologie (DGM) und zu den Drainagen wurden aktualisiert.

Die verwendeten Modellansätze, insbesondere zur Abbildung des Vegetationseinflusses auf die Verdunstung sind physikalisch fundiert und erlauben eine belastbare Abschätzung der Transpiration. Dies ist vor allem deshalb von Bedeutung, weil Sachsen-Anhalt in weiten Teilen eine negative klimatische Wasserbilanz aufweist und die reale Verdunstung die mit Abstand größte Wasserhaushaltskomponente ist.

Mit dem erstellten, räumlich sehr hoch aufgelösten Modell wurden landesweite Simulationsrechnungen im Tageszeitschritt für den Zeitraum 1971 bis 2000 durchgeführt. Aus den Ergebnissen wurden Wasserhaushaltsbilanzen in verschiedenen räumlichen Auflösungen (ca. 1.3 Mio. Elementarflächen, 4051 Teileinzugsgebiete, 429 Oberflächenwasserkörper, 86 Grundwasserkörper, 5 Regionen, Bundesland komplett) abgeleitet, die neben dem Niederschlag und der Verdunstung verschiedene Abflusskomponenten beinhalten.

Hinsichtlich der Simulationsergebnisse zum hypodermischen Abfluss und zum Drainageabfluss ist auf Unsicherheiten hinzuweisen, die auf eine unzureichende Berücksichtigung der konkreten lokalen Gegebenheiten im Rahmen einer landesweiten Modellierung zurückzuführen sind.

Für das Gewässersystem wurden für alle im Landesmodell enthaltenen ca. 9 000 Abschnitte die aus dem Eigeneinzugsgebiet zufließenden Abflusskomponenten und der Gesamtabfluss im Gewässer inklusiver sämtlicher Oberlieger ermittelt.

Die Ergebnisse wurden auf ihre Plausibilität hin untersucht. Ein Großteil der modellierten Abflusspegel konnte gut bis sehr gut vom Modell abgebildet werden (siehe Kapitel 7).

Ein Vergleich mit ABIMO zeigte, dass die mittleren Gesamtabflüsse beider Modelle und damit auch die Modellfehler in ähnlicher Größenordnung liegen, wobei allerdings anzumerken ist, dass in die Validierung von ArcEGMO wesentlich mehr Pegel eingeflossen sind, die Aussagen also lokal belastbarer sind. Die Vorteile der hier vorgestellten Modelluntersuchung liegen neben den aktuelleren Datengrundlagen (Landnutzungsverteilung, Bodenkarte, DGM) vor allem in der besseren inhaltlichen Differenzierung und höheren zeitlichen Auflösung der Berechnungsergebnisse und der fundierteren Physikalität der genutzten Modellansätze. Mit den aktuellen Ergebnissen ist eine Differenzierung der Abflüsse in maximal 2 ober- und 4 unterirdische Komponenten möglich, womit perspektivisch gute Grundlagen für die Beschreibung der an Abflusskomponenten gekoppelten Stoffausträge gegeben sind. Die

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

höhere zeitliche Auflösung erlaubt Aussagen zu Extremsituationen anhand des zugrunde liegenden 30-jährigen Bezugszeitraums und zum innerjährlichen Gang relevanter Wasserhaushaltsgrößen. Die fundiertere Physikalität der genutzten Modellansätze, wie z. B. des Vegetationsmodells, erhöht die Belastbarkeit der ableitbaren Modellaussagen und ist die Voraussetzung dafür, das aufgebaute Modell unter Ansatz bisher nicht beobachteter Randbedingungen (Klimaänderungen) einsetzen zu können (Extrapolierbarkeit der Modellaussagen).

Das erstellte Modell und die Ergebnisdatenbasis (siehe Kapitel 8 und 10) können künftig die Grundlage bilden für verschiedene Analysen, sowohl für wasserwirtschaftliche Planungen im Bereich des Oberflächenwassers (Neubau und die Erweiterung von Anlagen zur Wasserspeicherung, Maßnahmen zur naturnahen Gewässerentwicklung) als auch für die Aufgaben des Grundwasserkatasters (einzugsgebietsbezogene Ermittlung des vorhandenen Grundwasserdargebotes, Grundwasseranhebung im Zusammenhang mit der überbetrieblichen Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Wasserressourcen).

Die fließgewässerbezogenen Ergebnisse wurden über eine landesweit einheitliche, regelbasierte Parametrisierung des Modells ermittelt. Diese Ergebnisse sind vor allem hinsichtlich der mittleren Abflussverhältnisse in meso-skaligen Einzugsgebieten (ab ca. 200 km²) belastbar. Regionale und lokale Untersetzungen über Parameteroptimierungen waren aber aufgrund der Komplexität des erstellten Modells nicht möglich, da schon eine einzige Simulation ca. 48 Stunden lief. Es wurden deshalb umfangreiche Parametervariationen durchgeführt, die zeigten, welche Anpassungspotenziale bei lokalen Modellanwendungen gegeben sind, die bei einer landesweiten Modellierung nicht ausgeschöpft werden konnten.

Es bietet sich aufbauend auf dem landesweiten Modell an, wie in der Vergangenheit bei Bedarf regionale Untersetzungen vorzunehmen, beispielsweise zur Ermittlung von Hochwasserbemessungswerten in den Einzugsgebieten der Thyra, der Bösen Sieben und der Milde/Biese/Uchte. In diesen kleineren Flußgebieten können dann durch die Nutzung von Parameteroptimierungen sehr effizient z. B. verbesserte Parameter zur Beschreibung der Gewässerretention gefunden werden, die dann wiederum in das landesweite Modell zurückgeführt werden und dieses so sukzessive weiter qualifizieren.

Ebenso denkbar wäre eine Nutzung des Modells zur Erstellung regionaler Wasserbilanzen als Grundlage für wasserrechtliche Genehmigungen.

10 Ergebnisübergabe

Die flächendifferenziert (auf Elementarflächen) berechneten Wasserhaushaltsgrößen wurden für verschiedene Raumeinheiten (Oberflächenwasserkörper, Grundwasserkörper, Landschaftsräume und auf Bundeslandebene) aggregiert und dem Auftraggeber in Tabellenform übergeben. Im Einzelnen sind das die Wasserhaushaltsgrößen [mm/a] als Mittelwerte über die 30 simulierten Jahre (1971-2000) für:

- Elementarflächen (kleinste Modelleinheiten, 1.3 Mio. EFL-Flächen),
- Teileinzugsgebiete (4051 TG-Flächen),
- Oberflächenwasserkörper (429 OWK-Flächen),
- Grundwasserkörper (86 GWK-Flächen),
- Fließgewässerabschnitte (8821 FGWs) und
- Regionen (5 Regionen).

Die Ergebnis-Tabellen sind nach den zugrundeliegenden Raumeinheiten benannt (EFL_Ergebnisse.txt, OWK_Ergebnisse.txt, GWK_Ergebnisse.txt, TG_Ergebnisse.txt) und beinhalten neben der ID der jeweiligen Raumeinheit (für Grundwasserkörper siehe Abbildung 10-1, für Oberflächenwasserkörper siehe Abbildung 3-1 und für die Regionen siehe Abbildung 8-2) die berechneten Wasserhaushaltsgrößen als Mittelwert in mm/a über den Modellierungszeitraum von 1971 bis 2000.

Für die Fließgewässerabschnitte werden die Abflusskomponenten, die dem jeweiligen Fließgewässerabschnitt aus dem Eigeneinzugsgebiet zufließen, bereitgestellt. Der Gesamtabfluss im Gewässer (Q_c) setzt sich aus dem Oberliegerzufluss (Q_{Oberli}), der langsamen Grundwasserkomponente (Q_{RG2}), der schnellen Grundwasserkomponente (Q_{RG1}), dem Drainageabfluss (Q_{Drain}), dem Zwischenabfluss (Q_{inter}), dem Landoberflächenabfluss (Q_{RO}) und wenn vorhanden einem externen Zuflusse über die Grenzpegel (Q_{Extern}) zusammen.

Zusätzlich werden die Ergebnisse als Shapes (EFL_Ergebnisse.shp, TG_Ergebnisse.shp, OWK_Ergebnisse.shp, GWK_Ergebnisse.shp und Regionen_Ergebnisse.shp, FGW_Ergebnisse.shp) zur Verfügung gestellt.

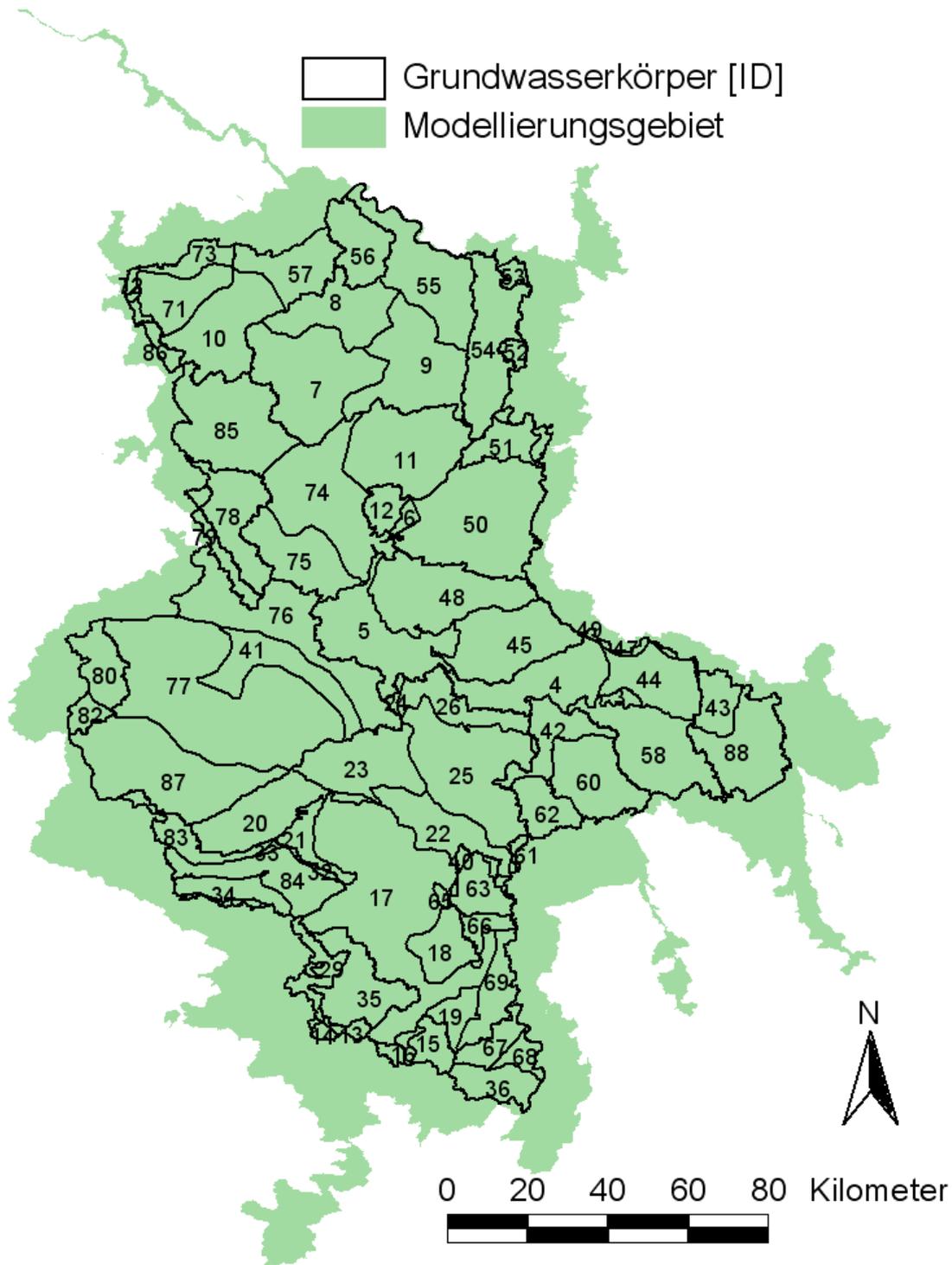


Abbildung 10-1: Grundwasserkörper für die Aggregation der Wasserhaushaltsergebnisse

11 Datenquellen und verwendete Unterlagen

Folgende Daten wurden zur Aktualisierung bzw. Qualifizierung des Modells (Version der Klimafolgenstudie 2012) verwendet:

Zitat im Text	Quelle
ArcEGMO-ST	Modell zur Ermittlung von Abflusskomponenten für Wasserkörper des Landes Sachsen-Anhalt im Auftrag des LHW Sachsen-Anhalt
BKKONZ_S	Bodenkonzeptkarte des Freistaates Sachsen, Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen (LfUG)
BUEK1000	Bodenkundliche Übersichtskarte M 1:1.000.000 der Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe (LGR)
BUEK300_BB	Bodenkundliche Übersichtskarte M 1:300.000 des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR Brandenburg)
BUEK50_NI	Bodenkundliche Übersichtskarte M 1:50.000 des Geologischen Landesamtes Niedersachsen
BUEK50_TH	Bodenkundliche Übersichtskarte M 1:100.000 des Geologischen Landesamtes Thüringen
DGM10 BB	Digitales Geländemodell Brandenburg 1:10.000
DGM10 ST	Digitales Geländemodell Sachsen-Anhalt 1:10.000
dgn 25_st (Stand: 9.8.13) weg_st (Stand: 9.8.13)	aktuelles Gewässernetz LSA + aktuelle TEG bereitgestellt durch den LHW
Drainagekarte 2011	Shape „Pot_Entwässerung_LSA_2011“ und Erläuterungen in „Überprüfung und Validierung der Dränflächen Sachsen-Anhalts“; Projektbericht MISB (Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz) im Auftrag des LHW
Ertrag (AEpot)	Flächendeckende Ertragsklassen nach dem standortbezogenen ackerbaulichen Ertragspotential des LAGB
Ertrag (SQR)	Flächendeckende Ertragsklassen nach dem Müncheberger Soil Quality Rating des ZALF
Grundwasserflurabstandskarte 2011	Shape „V_GWL1.shp“ und Erläuterungen in „Ausweisung vernässungsgefährdeter Bereiche in Sachsen-Anhalt“; Projektbericht FUGRO im Auftrag des LHW Sachsen-Anhalt
HÜK 50	dig. Hydrogeologisches Kartenwerk M 1:50000 bereitgestellt vom LAGB

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Zitat im Text	Quelle
HYRAS	Rasterwerte der regionalisierten Niederschlagshöhen der Reihe 1971 – 2006 (RAUTHE ET AL. 2013) bereitgestellt durch die BfG
LNTZ-BB	Biotoptypenkartierung des Landes Brandenburg http://www.mugv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.310474.de
LNTZ-NI	ATKIS BblM25 bereitgestellt von der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung (Übergabe am 02.09.2013)
LNTZ-SA	CIR-luftbildgestützte Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung Sachsen-Anhalt, Befliegung 2005 (Übergabe des LHW am 16.07.2013)
LNTZ-SN	Landnutzung Sachsen http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/natur/14650.htm
LNTZ-TH	Offenland-Biotopkartierung im Freistaat Thüringen bereitgestellt von der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (Übergabe am 04.09.2013)
MetStat	Klimadaten der meteorologischen Stationen LSA und angrenzender Bundesländer Reihe 1971-2000 aus der DWD/Klimadatenbank LAU bzw. bereits im Modell 2012 vorhanden
owk_st (Stand: 8.8.13) gwk_st (vorläufig)	aktuelle Oberflächenwasserkörper (OWK) und Grundwasserkörper (GWK) Grenzen LSA bereitgestellt durch den LHW
Pegel	Beobachtungsdaten ausgewählter Pegel LSA (R. 1971-2000) bereitgestellt durch den LHW
Schwarze 2009	Projektbericht: „ <i>Parametrisierung des SlowComp-Modells für das Land Sachsen-Anhalt zur Darstellung unterschiedlich schneller Grundwasserabflusskomponenten im integrierten Konzeptmodell zum Nährstoffmanagement</i> “ im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt; Radebeul 2009
SRTM	Europaweites Geländemodell 1:100.000
Talsperren/Speicher	Wichtige Talsperren und Speicher inkl. ihrer Bewirtschaftung bereitgestellt durch den LHW
VBK50_SA	Vorversion der Bodenkundliche Übersichtskarte M 1:50.000 des Landesamtes für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB)

12 Literatur

- Ad-hoc-AG Bodenkunde (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 5. Auflage.
- ATV-DVWK (2002): Verdunstung in Bezug zur Landnutzung, Bewuchs und Boden, Merkblatt ATV-DVWK-M 504, S. 138-139.
- BAH (2007): Projektbericht „Modellgestützte Ermittlung von Abflusskomponenten für Wasserkörper des Landes Sachsen-Anhalt“ im Auftrag des LHW Sachsen-Anhalt.
- Becker, A., Klöcking, B., Lahmer, W., Pfützner, B. (2002): The Hydrological Modelling System ArcEGMO. In: V. P. Singh und D. K. Frevert [Hrsg.] Mathematical Models of Large Watershed Hydrology. Water Resources Publications, 2002, 321-384.
- Boswell, V.G. (1926): The influence of temperature upon the growth and yield of garden peas. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 23:162-168.
- Doherty, J. (2005): PEST Model-Independent Parameter Estimation. User Manual 5th Edition.
- FUGRO (2011): Ausweisung vernässungsgefährdeter Bereiche in Sachsen-Anhalt. Projektbericht im Auftrag des Landesbetriebs für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt. Torgau.
- Glugla, G., Fürtig, G. (1997): Dokumentation zur Anwendung des Rechenprogramms ABIMO, Bundesanstalt für Gewässerkunde.
- Haberlandt, U., Ebner von Eschenbach, A.-D., Hesse, P., Malitz, G., Pfützner, B., Reimer, W., Sodoudi, S., Stricker, K., Willems, W. (2009): Gemeinsame Modellierung von Niederschlag, Abfluss, Überflutung und Schaden im Flussgebiet der Bode. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 53/1, 13-23.
- Lasch, P., Badeck, F.-W., Suckow, F., Lindner, M., Mohr, P. (2005): Model-based analysis of management alternatives at stand and regional level in Brandenburg (Germany). Forest Ecology and Management 207(1-2): 59-74.
- Klöcking, B., Sommer, Th., Pfützner, B. (2005): Das Unstrutgebiet – Modellierungen des Wasser- und Stoffhaushalts unter dem Einfluss des Globalen Wandels. In: Wechsung F., Becker A., Gräfe P. [Hrsg.] Auswirkungen des globalen Wandels

auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet, Weißensee Verlag, 198-207, ISBN 3-89998-062-X.

Klöcking, B. (2009): Das ökohydrologische PSCN-Modul innerhalb des Flussgebietsmodells ArcEGMO. [Online] 2009. http://www.arcegmo.de/PSCN_2009.pdf.

Landesamt für Umweltschutz (1992): Katalog der Biotoptypen und Nutzungstypen für die CIR-luftbildgestützte Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung im Land Sachsen-Anhalt. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz 1992, Heft 4. ISSN 0941-7281.

Meynen, E., Schmithüsen, J. (1953-1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. - Selbstverlag der Bundesanstalt für Landeskunde, Remagen, 1339.

MISB (Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz) (2011): Überprüfung und Validierung der Dränflächen Sachsen-Anhalts. Projektbericht. Im Auftrag des LHW Sachsen-Anhalt.

Müller, L., Schindler, U., Berendt, A., Eulenstein, F., Dannowski, R. (2007): The Muencheberg Soil Quality Rating (SQR) – Field manual for detecting and assessing properties and limitations of soils for cropping and grazing. Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF), Müncheberg. 1. Entwurf, Nov. 2007.

Müller, L., Schindler, U., Berendt, A., Smolentseva, E., Smolentsev, B., Eulenstein, F. (2008): Das Müncheberger Soil Quality Rating (SQR) – ein praktikables Verfahren zur Bodenbewertung bzw. Bodenschätzung im globalen Maßstab? Tagungsbeitrag zu: Vortrags- und Exkursionstagung zur Bodenschätzung AG Bodenschätzung und Bodenbewertung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Thür. Landesfinanzdirektion, Thür. Landesanstalt für Umwelt und Geologie 11. - 12.09.2008 in Weimar.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. (2005): Soil and water assessment tool – Theoretical documentation Version 2005 (<http://www.brc.tamus.edu/swat/>). USDA Agricultural Research Service at the Grassland, Soil and Water Research Laboratory in Temple, Texas, USA, Section 5 and 6, 275-324.

Pfützner, B. (2002): Modelldokumentation ArcEGMO. [Online] 2002. <http://www.arcegmo.de>, ISBN 3-00-011190-5.

- Pfützner, B., Klöcking, B., Schumann, A., Hesse, P. (2013): Klimafolgenstudie 2012, Wasser; In: Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt - Halle (2013) Heft 5 (Band 1), ISSN 0941-7281.
- Pfützner, B., Mährlein, M., Schumann, A., Hesse, P. (2013): Klimafolgenstudie 2012, Wasser. Folgeuntersuchungen; In: Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt - Halle (2013) Heft 5 (Band 2), ISSN 0941-7281.
- Rauthe, M., Steiner, H., Riediger, U., Mazurkiewicz, A., Gratzki, A. (2013): A Central European precipitation climatology – Part I: Generation and validation of a high-resolution gridded daily data set (HYRAS), Vol. 22(3), p 235–256, DOI:10.1127/0941-2948/2013/0436.
- Richter, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 194.
- Roers, M., Gottschalk, P., Conradt, T., Rachimow, C., Wechsung F. (2013): SWIM-live 1.0 – Tagesaktuelle Simulation des Wasserhaushalts und der landwirtschaftlichen Pflanzenentwicklung im Elbegebiet. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 57. H.5. 225-240.
- Rosemann, H. J., Vedral, J. (1971): Das Kalinin-Miljukov-Verfahren zur Berechnung des Ablaufs von Hochwasserwellen. Schriftenreihe der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde, München, H. 6, 1971.
- Schwarze, R. (2009): Parametrisierung des SlowComp - Modells für das Land Sachsen-Anhalt zur Darstellung unterschiedlich schneller Grundwasserabflusskomponenten im integrierten Konzeptmodell zum Nährstoffmanagement. Projektbericht im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt; Radebeul 2009.
- Schwarze, R., Stodolny, U., Schmidt, C. (2004): Untersuchungen des Weg-Zeit-Verhaltens salinärer Einträge in die Unstrut mit isopenhydrologischen Methoden. Teilprojekt 3 innerhalb des Verbundvorhabens „Erstellung eines Management-Tools zur Wasserbewirtschaftung unter den Bedingungen bergbaubedingter salinärer Einträge im Einzugsgebiet der Unstrut“. BMBF Förderprogramm „Forschung für die Umwelt“ Thema „Flussgebietsmanagement“. Abschlussbericht 2004.
- Schwarze, R. (2004): Analyse und Modellierung unterirdischer Abflusskomponenten und ihrer Verweilzeit in Festgesteinseinzugsgebieten der Mulde. Axel Bronstert

et al. [Hrsg.] Wasser- und Stofftransport in heterogenen Flussgebieten. ATV-DVWK, 2004, Bd. 5, Forum für Hydrologie und Wasserwirtschaft Hennef, 209 – 219.

Thüringer Landesanstalt für Geologie (2000): Die Leitbodenformen Thüringens: Legendenkartei zu den „Bodengeologischen Übersichtskarten“ Thüringens im Maßstab 1 : 100 000). Beiheft 3. 2. Überarbeitete und erweiterte Auflage, Geowissenschaftliche Mitteilungen von Thüringen. Weimar.

Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (2001): Kartieranleitung zur Offenland-Biotopkartierung im Freistaat Thüringen.

Williams, J. R., Jones, C. A., Kiniry, J.R., Spanel, D.A. (1989): The EPIC crop growth model. Transactions of the ASAE 32, 497-511.

ANHANG

Bauwerke und Aufteilung

Inhaltsverzeichnis

1	Talsperren	148
1.1	Bodetalsperren	149
1.1.1	HW-Schutzbecken Kalte Bode	151
1.1.1.1	Eingangsdaten HW-Schutzbecken Kalte Bode.....	151
1.1.1.2	Modellannahmen HW-Schutzbecken Kalte Bode.....	152
1.1.1.3	Wirkungsnachweis HW-Schutzbecken Kalte Bode.....	153
1.1.2	Talsperre Königshütte	154
1.1.2.1	Eingangsdaten Talsperre Königshütte.....	154
1.1.2.2	Modellannahmen Talsperre Königshütte	157
1.1.2.3	Wirkungsnachweis Talsperre Königshütte	158
1.1.3	Vorsperre Rappbode	160
1.1.3.1	Eingangsdaten Vorsperre Rappbode.....	160
1.1.3.2	Modellannahmen Vorsperre Rappbode	161
1.1.3.3	Wirkungsnachweis Vorsperre Rappbode	162
1.1.4	Vorsperre Hassel	163
1.1.4.1	Eingangsdaten Vorsperre Hassel.....	163
1.1.4.2	Modellannahmen Vorsperre Hassel	164
1.1.4.3	Wirkungsnachweis Vorsperre Hassel	165
1.1.5	Rappbodetalsperre.....	166
1.1.5.1	Eingangsdaten Rappbodetalsperre	166
1.1.5.2	Modellannahmen Rappbodetalsperre.....	167
1.1.5.3	Wirkungsnachweis Rappbodetalsperre.....	169
1.1.6	Talsperre Wendefurth	170
1.1.6.1	Eingangsdaten Talsperre Wendefurth.....	170
1.1.6.2	Modellannahmen Talsperre Wendefurth	171
1.1.6.3	Wirkungsnachweis Talsperre Wendefurth	172
1.1.7	Zillierbachtalsperre.....	174
1.1.7.1	Eingangsdaten für die Zillierbachtalsperre.....	174
1.1.7.2	Modellannahmen Zillierbachtalsperre.....	175
1.1.7.3	Wirkungsnachweis Zillierbachtalsperre.....	176
1.2	Muldestausee	178
1.2.1	Eingangsdaten Muldestausee	179
1.2.2	Modellannahmen Muldestausee	180
1.2.3	Wirkungsnachweis Muldestausee	181
1.3	Talsperre Kelbra	183
1.3.1	Eingangsdaten Talsperre Kelbra.....	184

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

1.3.2	Modellannahmen Talsperre Kelbra.....	187
1.3.3	Wirkungsnachweis Talsperre Kelbra.....	188
1.4	Talsperre Wippra	190
1.4.1	Eingangsdaten Talsperre Wippra.....	191
1.4.2	Modellannahmen Talsperre Wippra.....	192
1.4.3	Wirkungsnachweis Talsperre Wippra.....	193
2	Aufteilungen.....	196
2.1	Wormke Abschlag Wormsgraben	196

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Karte Bodetalsperrensystem und Zillierbachtalsperre.....	149
Abbildung 2: Speicherschema der Talsperren im Bode-Einzugsgebiet (Talsperrenmeisterei ² , S. 22)...	150
Abbildung 3: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung HW-Schutzbecken Kalte Bode	152
Abbildung 4: Wirkung des HW-Schutzbeckens Kalte Bode	153
Abbildung 5: Höhendifferenzierte Leistung des Überleitungstollens	156
Abbildung 6: Gemessene mittlere monatliche Überleitungsmengen	156
Abbildung 7: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Talsperre Königshütte	157
Abbildung 8: Wirkung der Talsperre Königshütte.....	158
Abbildung 9: Gemessene und simulierte Überleitungsmengen.....	159
Abbildung 10: Wirkung der Talsperre am Pegel Hirtenstieg	159
Abbildung 11: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Vorsperre Rappbode.....	161
Abbildung 12: Wirkung der Vorsperre Rappbode	162
Abbildung 13: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Vorsperre Hassel.....	164
Abbildung 14: Wirkung der Vorsperre Hassel	165
Abbildung 15: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Rappbodetalsperre	167
Abbildung 16: Monatliche Rohwasserlieferung aus der Rappbodetalsperre	167
Abbildung 17: Mittlere monatliche Rohwasserlieferung aus der Rappbodetalsperre	168
Abbildung 18: Wirkung der Rappbodetalsperre	169
Abbildung 19: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Talsperre Wendefurth	171
Abbildung 20: Wirkung der Talsperre Wendefurth.....	172
Abbildung 21: Wirkung der Talsperre Wendefurth am Ablaufpegel Wendefurth	173
Abbildung 22: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Zillierbachtalsperre.....	175
Abbildung 23: Wirkung der Zillierbachtalsperre	176
Abbildung 24: Wirkung der Zillierbachtalsperre am Pegel Wernigerode.....	177
Abbildung 25: Karte Muldestausee	178
Abbildung 26: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Muldestausee	180
Abbildung 27: Wirkung des Muldestausees	181
Abbildung 28: Beckenpegel (gemessen) und Sollwasserstand Modell – Muldestausee	181
Abbildung 29: Wirkung des Muldestausees am Pegel Priorau	182
Abbildung 30: Karte Talsperre Kelbra.....	183

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Abbildung 31: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Talsperre Kelbra.....	187
Abbildung 32: Wirkung der Talsperre Kelbra	188
Abbildung 33: Wirkung der Talsperre Kelbra am Pegel Bennungen	189
Abbildung 34: Karte Talsperre Wippra.....	190
Abbildung 35: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Talsperre Wippra.....	192
Abbildung 36: Wirkung der Talsperre Wippra	193
Abbildung 37: Wirkung der Talsperre Wippra am Pegel VS Wippra Ablaufpegel	194
Abbildung 38: Karte Wormke / Wormsgraben.....	196
Abbildung 39: Abschlag Wormsgaben schematisch (Fotos von Unterhaltungsverband „Ilse/Holtemme“)	197

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kennwerte für das HW-Schutzbecken Kalte Bode.....	151
Tabelle 2: Kennwerte für die Talsperre Königshütte.....	154
Tabelle 3: Leistung des Überleitungsstollens	156
Tabelle 4: Kennwerte für die Vorsperre Rappbode.....	160
Tabelle 5: Kennwerte für die Vorsperre Hassel.....	163
Tabelle 6: Kennwerte für die Rappbodetalsperre	166
Tabelle 7: Kennwerte für die Talsperre Wendefurth.....	170
Tabelle 8: Kennwerte für die Zillierbachtalsperre	174
Tabelle 9: Kennwerte für den Muldestausee	179
Tabelle 10: Kennwerte für die Talsperre Kelbra	184
Tabelle 11: Kennwerte für die Talsperre Wippra	191

1 Talsperren

Die Integration der Talsperren in das Modell erfolgte über die Bauwerkskenndaten, Wasserstands-Abflussbeziehungen, Stauziele, Entnahme- und Überleitungsmengen, den zu gewährleistenden Mindestabfluss und den schadlos abzuführenden Maximalabfluss. Die zur Implementierung benötigten Talsperrendaten wurden durch den Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt zur Verfügung gestellt.

Die Talsperrenbewirtschaftung wird im Modell durch eine Kombination von Regeln für den Normalbetrieb und für extreme Abflusssituationen abgebildet. Dabei wird versucht, durch Wasserabgabe oder –rückhaltung den aktuell vorgegebenen Sollwasserstand in den Talsperren zu erreichen, ohne dass in Niedrigwassersituationen ein vorgegebener Mindestabfluss unter- oder im Hochwasserfall die schadlose Abgabe überschritten wird. Liegt der Wasserstand innerhalb der bewirtschaftbaren Speicherlamelle (Betriebsraum), werden Nutzeransprüche wie Brauchwasserabgaben berücksichtigt.

Die im Modell umgesetzte Bewirtschaftung der Talsperren ist auf die Einhaltung der vorgegebenen jahreszeitlich variablen Sollwasserstände in der Talsperre ausgerichtet. Die damit realisierte Bewirtschaftung ist nur eine Vereinfachung der in der Vergangenheit erfolgten Bewirtschaftung, da zum Beispiel die Sollwasserstände und Mindestabgaben einer Vielzahl von Änderungen unterworfen waren. Eine weitere Vereinfachung war hinsichtlich der Brauchwasserentnahmen notwendig, die nur über ihren Mittelwert berücksichtigt wurden, obwohl sie entsprechend der Wasserbedarfsentwicklung zeitlichen Änderungen unterworfen waren. Das führt dazu, dass letztlich die prinzipielle Wirkungsweise des Talsperrensystems abgebildet wird. Bei Hochwasserereignissen kann es somit vorkommen, dass aufgrund der unsicheren Abbildung der Entnahmen die simulierten Füllungsstände zum Ereignisbeginn nicht den tatsächlichen entsprechen und damit die Retentionswirkung der Talsperre über- oder unterschätzt wird.

Es wurden zehn Talsperren in das Modell integriert, welche in den folgenden Kapiteln mit ihren Eingangsdaten und den Modellannahmen erläutert werden.

Außerdem wird die Wirkung der Talsperren im Modell dokumentiert. Für diesen Wirkungsnachweis der Talsperren im Modell werden die verfügbaren Zuflusspegel oberhalb der Talsperren eingespeist, d. h., die simulierten Zuflüsse werden so weit als möglich durch Messwerte ersetzt, um den Modellfehler im Zulauf der Talsperren zu minimieren.

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Im Oberlauf der Bode liegen sechs zum Bodetalsperrensystem gehörende Talsperren, die seit ihrem Baubeginn (ca. 1952) die Abflüsse in den unterhalb liegenden Gewässern beeinflussen. Die nicht zum Bodetalsperrensystem gehörende Zillierbachtalsperre beeinflusst den Abfluss am Pegel Wernigerode. Das Bodetalsperrensystem unterliegt einer äußerst komplexen Bewirtschaftung, in der mehrere Ziele wie Hochwasserschutz, Niedrigwasseraufhöhung, Brauchwasserbereitstellung für die Fernwasserversorgung und Energieerzeugung (Pumpspeicherwerk) in Einklang gebracht werden müssen. Die Wasserentnahmen aus dem System führen zu einer Bilanzveränderung von 90.5 Mio. m³/a bzw. 56% des mittleren Zuflusses zum Talsperrensystem. Zwischen den Talsperren gibt es eine Überleitung von der Talsperre Königshütte zur Rappbodetalsperre. Eine ausführliche Beschreibung des Bodetalsperrensystems ist in der Literatur „Talsperren in Sachsen-Anhalt“² zu finden. In Abbildung 2 sind die Talsperren in einem Speicherschema dargestellt.

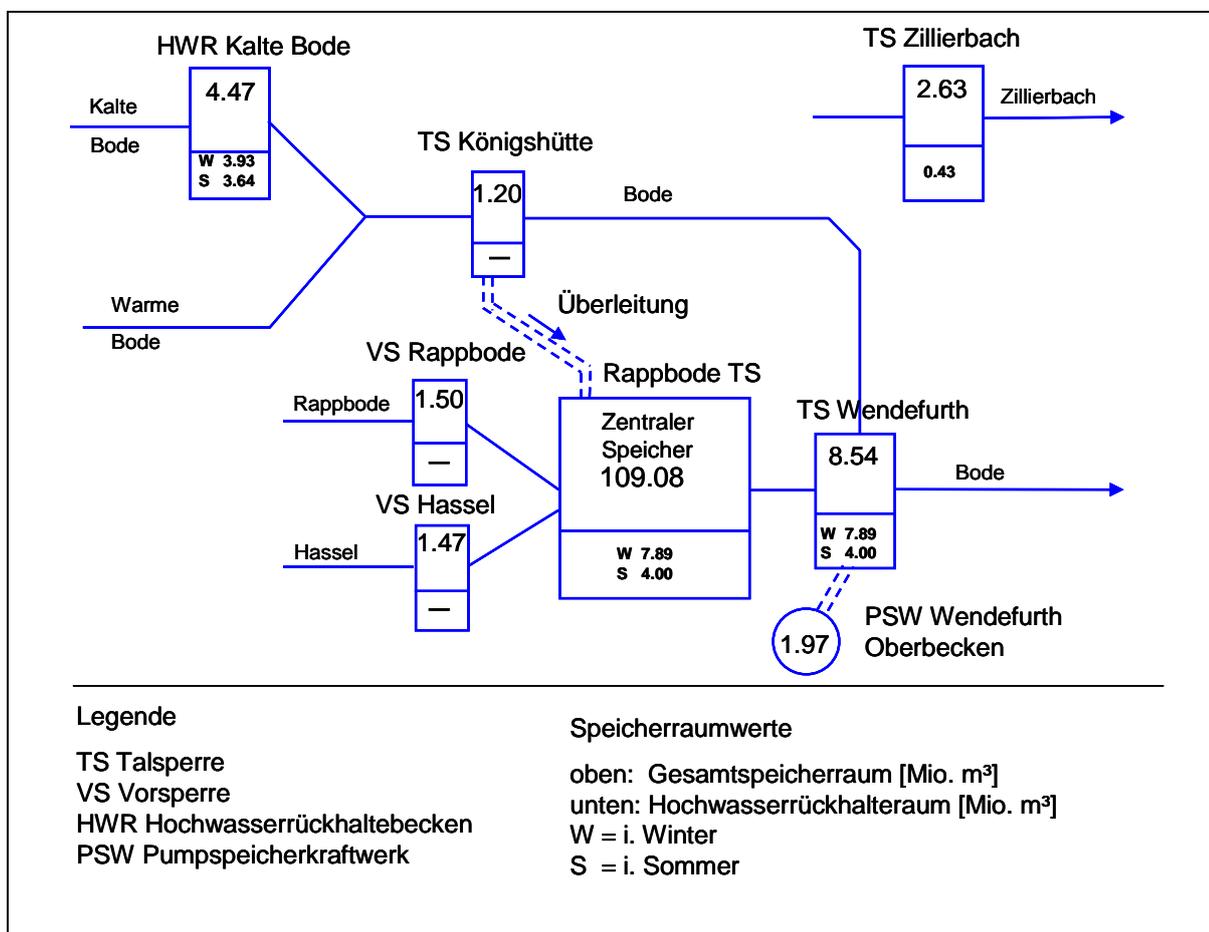


Abbildung 2: Speicherschema der Talsperren im Bode-Einzugsgebiet (Talsperrenmeisterei², S. 22)

² Talsperrenmeisterei (Hrsg.) (1994): Talsperren in Sachsen-Anhalt, Blankenburg/ Harz. Talsperrenmeisterei des Landes Sachsen-Anhalt.

1.1.1 HW-Schutzbecken Kalte Bode

1.1.1.1 Eingangsdaten HW-Schutzbecken Kalte Bode

Tabelle 1: Kennwerte für das HW-Schutzbecken Kalte Bode

Nr	7		
Name	HW-Schutzbecken Kalte Bode		
gestautes Gewässer	Kalte Bode		
EZG km²	34.50		
Stauhöhe HHW in m ü. NN	467.35		
Stauraum Gesamt in hm³	4.95		
Stauhöhe Vollstau in m ü. NN	466.50		
Stauraum Vollstau in hm³	4.47		
Stauhöhe Stauziele in m ü. NN	Wi= 454.00	So= 456.00	
Stauraum nach Stauzielen in hm³	Wi = 0.54	So = 0.83	
gewöhnlicher HWR in hm³	Wi = 3.93	So = 3.64	
Staufläche Stauziel in ha	17.50	14.50	
Stauziel Zeitraum	01.11.-31.03.	01.05.-30.09.	
max. Grundablassleistg. m³/s	Turbine = 2.0	RKV = 3.5	
Qmin m³/s	0.3 m ³ /s		

Vom Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt wurden die Kennwerte für das HW-Schutzbecken Kalte Bode (siehe Tabelle 1) übergeben.

Aus den Recherchen 2006 im Projekt HW-Bode konnten die Angaben zu Beckeninhalt und W-Q-Beziehung entnommen werden (siehe Abbildung 3).

1.1.1.2 Modellannahmen HW-Schutzbecken Kalte Bode

Abbildung 3 zeigt die Speicherinhaltslinie und die WQ-Beziehung des HW-Schutzbeckens Kalte Bode.

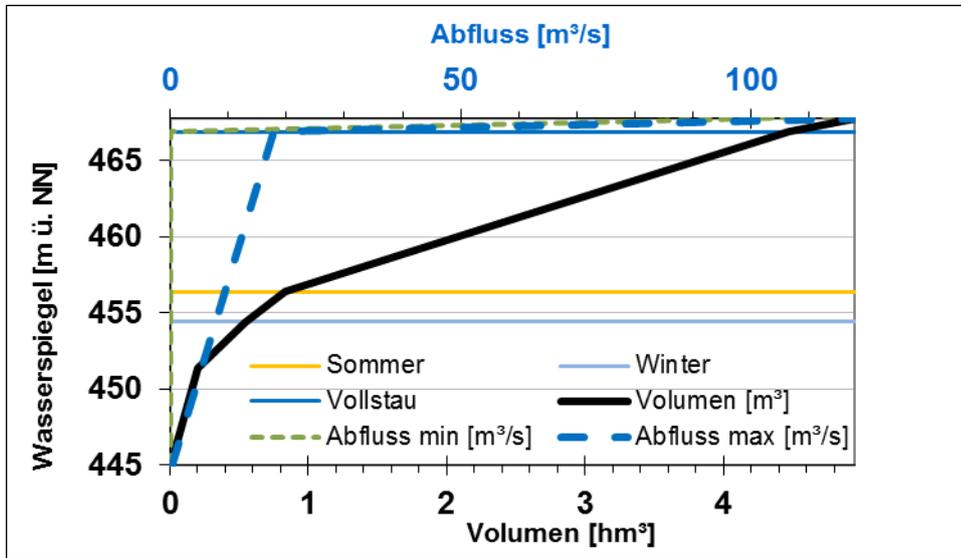


Abbildung 3: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung HW-Schutzbeckens Kalte Bode

1.1.1.3 Wirkungsnachweis HW-Schutzbecken Kalte Bode

Abbildung 4 zeigt die Wirkung des Hochwasserschutzbeckens Kalte Bode. Es werden der simulierte Zufluss zur Talsperre und der simulierte Abfluss gezeigt. Der simulierte Wasserstand entspricht dem Sollwasserstand Modell. Das HW-Schutzbecken Kalte Bode hat nur einen geringen Einfluss auf den Abfluss.

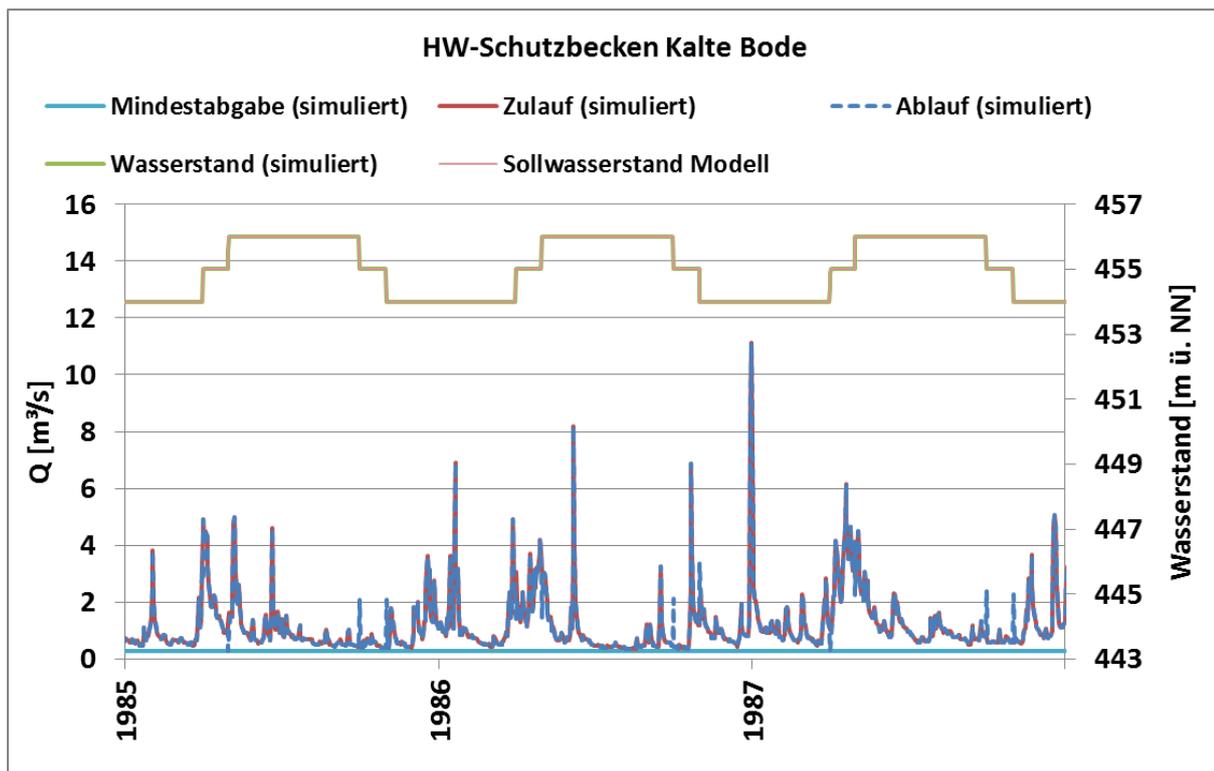


Abbildung 4: Wirkung des HW-Schutzbeckens Kalte Bode

1.1.2 Talsperre Königshütte

1.1.2.1 Eingangsdaten Talsperre Königshütte

Tabelle 2: Kennwerte für die Talsperre Königshütte

Nr	3		
Name	Talsperre Königshütte		
gestautes Gewässer	Bode		
EZG km²	154.20		
Stauhöhe HHW in m ü. NN	424.05		
Stauraum Gesamt in hm³	1.45		
Stauhöhe Vollstau in m ü. NN	423.25		
Stauraum Vollstau in hm³	1.20		
Stauhöhe Stauziele in m ü. NN	oberesZS= 423.25	unteresZS= 418.00	
Stauraum nach Stauzielen in hm³	oberes ZS= 1.20	unteres ZS= 0.18	
gewöhnlicher HWR in hm³	oberes ZS= 0.00	unteres ZS= 1.02	
Staufläche Stauziel in ha	28.50	10.00	
Stauziel Zeitraum	Ganzjährig		
max. Grundablassleistg. m³/s	GA = 5.2	Turbine = 2.0	ÜL-Stollen: 13.5
Qmin m³/s	0.5 m ³ /s		

Vom Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt wurden folgende Daten übergeben:

- Kennwerte Talsperre Königshütte (siehe
- Tabelle 2)
- Monatliche Überleitungsmengen in hm³ von der TS Königshütte in die Rappbodetal-
sperrre in den hydrologischen Jahren 1982-2012 (RTSÜberleitung1982-2012.xls).

Aus den Recherchen 2006 im Projekt HW-Bode konnten die Angaben zu Beckeninhalte und W-Q-Beziehung entnommen werden (siehe Abbildung 7) sowie die Angaben zur Leistung des Überleitungsstollens.

Von der Talsperre Königshütte verläuft ein Überleitungsstollen zur Rappbodetal-
sperrre. Durch diesen Überleitungsstollen wird wasserstandsabhängig, je nach Verhältnis des Wasserstands in der Rappbodetal-
sperrre und des Wasserstands in der Talsperre Königshütte, Wasser aus der Talsperre Königshütte in die Rappbodetal-
sperrre geleitet.

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Tabelle 3 enthält Angaben zur Wassermenge, die bei den jeweiligen Wasserständen in den beiden Talsperren übergeleitet werden kann.

Aus diesen Werten wurden für das Modell die Überleitungsmengen, die sich bei einer bestimmten Höhendifferenz der beiden Talsperren ergeben, ermittelt (siehe Abbildung 5).

Tabelle 3: Leistung des Überleitungsstollens

		Wasserstände in der Rappbodetalsperre [m ü. NN]									
		414	415	416	417	418	419	420	421	422	423
Wasserstände in der Talsperre Königshütte [m ü. NN]	420	9.85	8.95	8.00	6.93	5.66	4.00				
	421	10.58	9.95	8.95	8.00	6.93	5.66	4.00			
	422	11.30	10.58	9.85	8.95	8.00	6.93	5.66	4.00		
	423	12.03	11.30	10.58	9.85	8.95	8.00	6.93	5.66	4.00	
	424	12.75	12.03	11.30	10.58	9.85	8.95	8.00	6.93	5.66	4.00

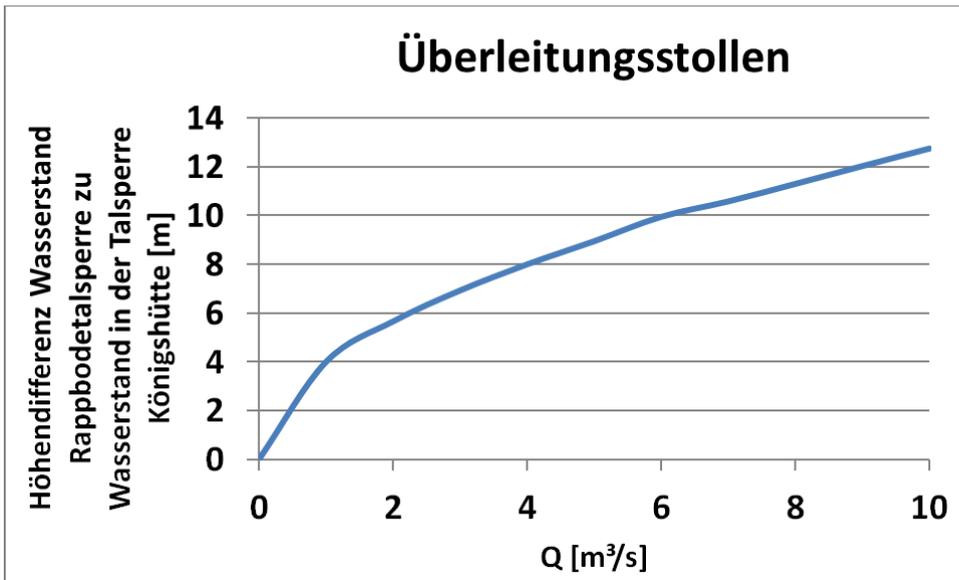


Abbildung 5: Höhendifferenzierte Leistung des Überleitungstollens

Vom Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt wurden die gemessenen monatlichen Überleitungsmengen für den Zeitraum 1981-2011 bereitgestellt (siehe Abbildung 6).

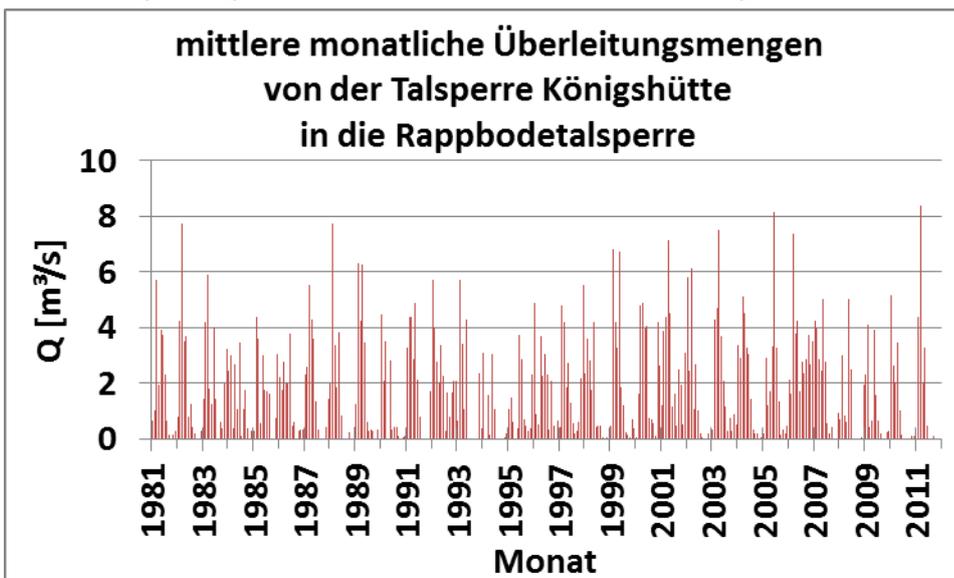


Abbildung 6: Gemessene mittlere monatliche Überleitungsmengen

1.1.2.2 Modellannahmen Talsperre Königshütte

Abbildung 7 zeigt die Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung der Talsperre Königshütte.

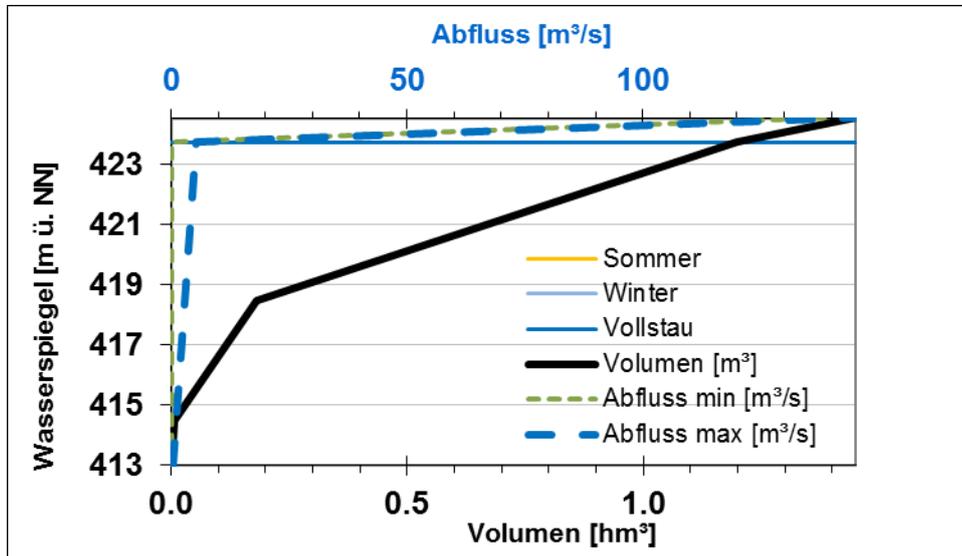


Abbildung 7: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Talsperre Königshütte

1.1.2.3 Wirkungsnachweis Talsperre Königshütte

Abbildung 8 zeigt die Wirkung der Talsperre Königshütte im Modell. Es werden der simulierte Zufluss zur Talsperre und der simulierte Ablauf gezeigt. Die Hochwasserspitzen werden in der Talsperre zwischengespeichert. Diese Zwischenspeicherung zeigt der simulierte Wasserstand. Der ganzjährig gleichbleibende Sollwasserstand des Modells, der als Modellinput aus den Angaben von Abbildung 7 dem Modell bereitsteht, wird durch den simulierten Abfluss über- und unterschritten. In der Abbildung ist die simulierte Abgabe über den Überleitungstollen aufgetragen. Vom simulierten Zulauf werden 64 % des mittleren Abflusses über den Überleitungstollen an die Rappbodetalsperre abgegeben. Abbildung 9 zeigt die gemessenen und simulierten Überleitungsmengen für den Zeitraum 1982-2000. Die mittleren simulierten Überleitungsmengen überschätzen die gemessenen um das fast Anderthalbfache. Es wird zu viel Wasser übergeleitet.

Die Überschätzung der Überleitungsmenge zeigt sich auch am Auslasspegel der Talsperre Königshütte, dem Pegel Hirtenstieg (siehe Abbildung 10). Ohne Talsperren wird der mittlere gemessene Abfluss (MQ) durch den simulierten um 90 % überschätzt. Die Simulation mit Talsperren und Überleitungstollen unterschätzt den MQ um 34 %. Hier zeigt sich erneut, dass im Modell zu viel Wasser übergeleitet wird.

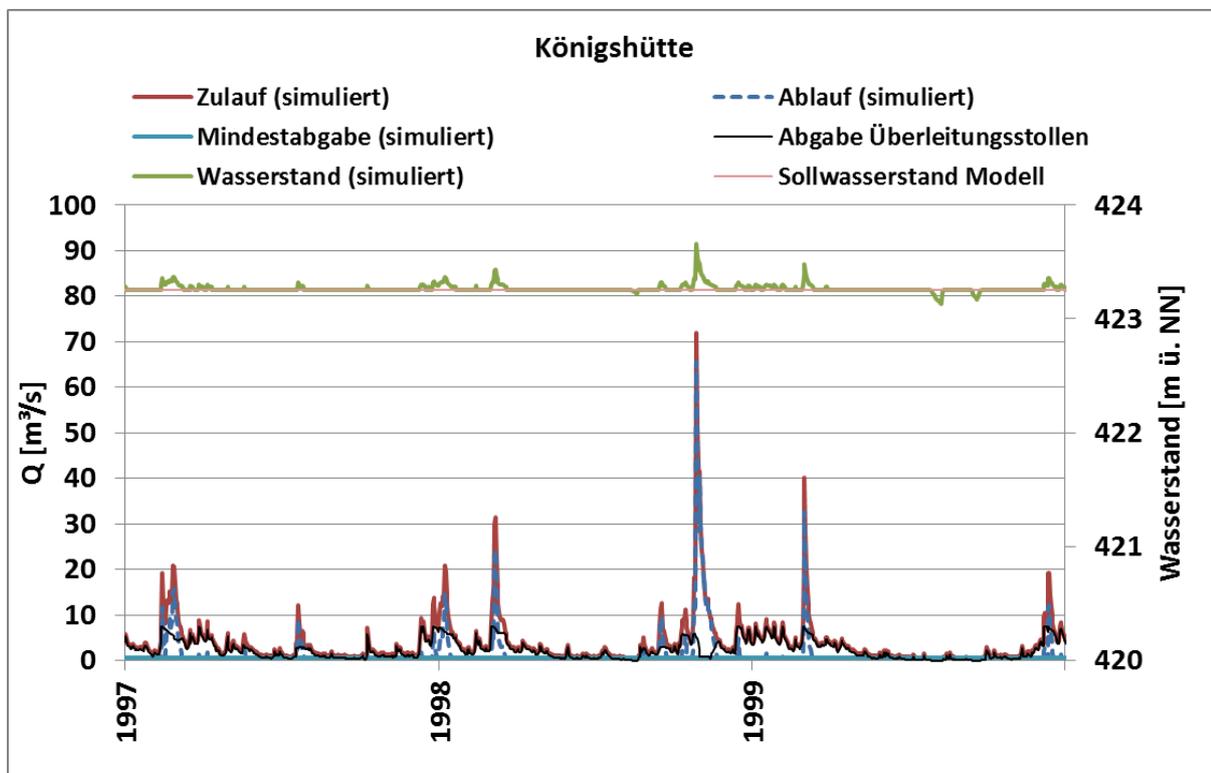


Abbildung 8: Wirkung der Talsperre Königshütte

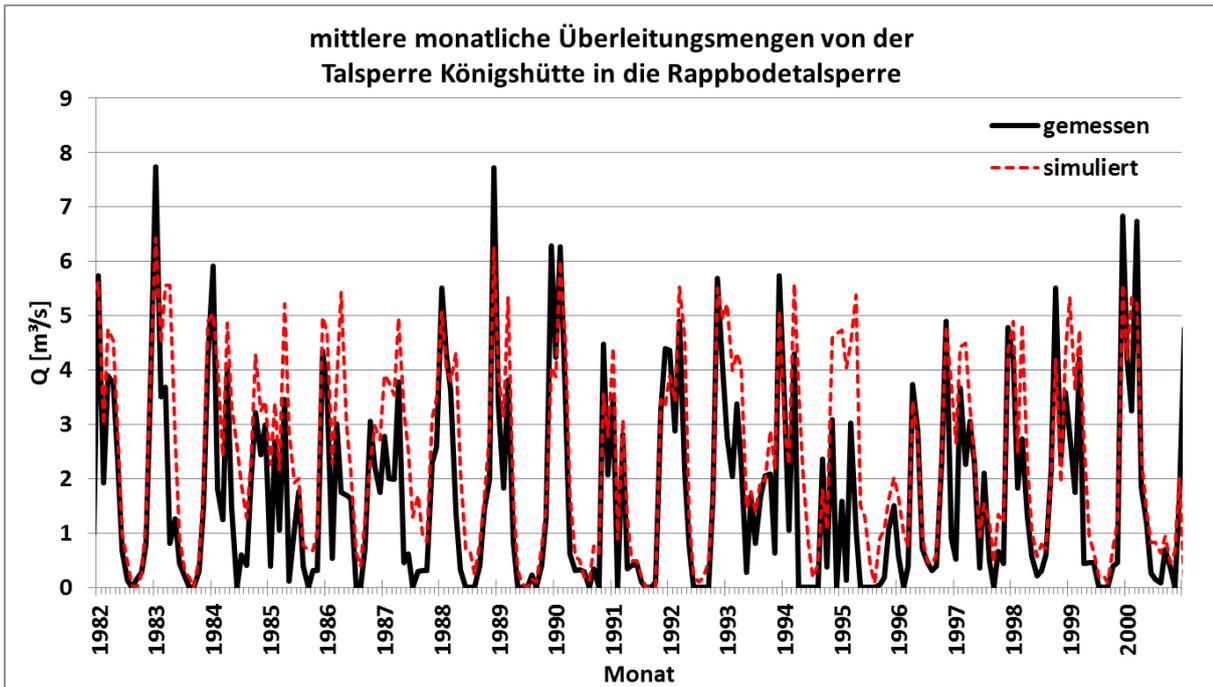


Abbildung 9: Gemessene und simulierte Überleitungsmengen

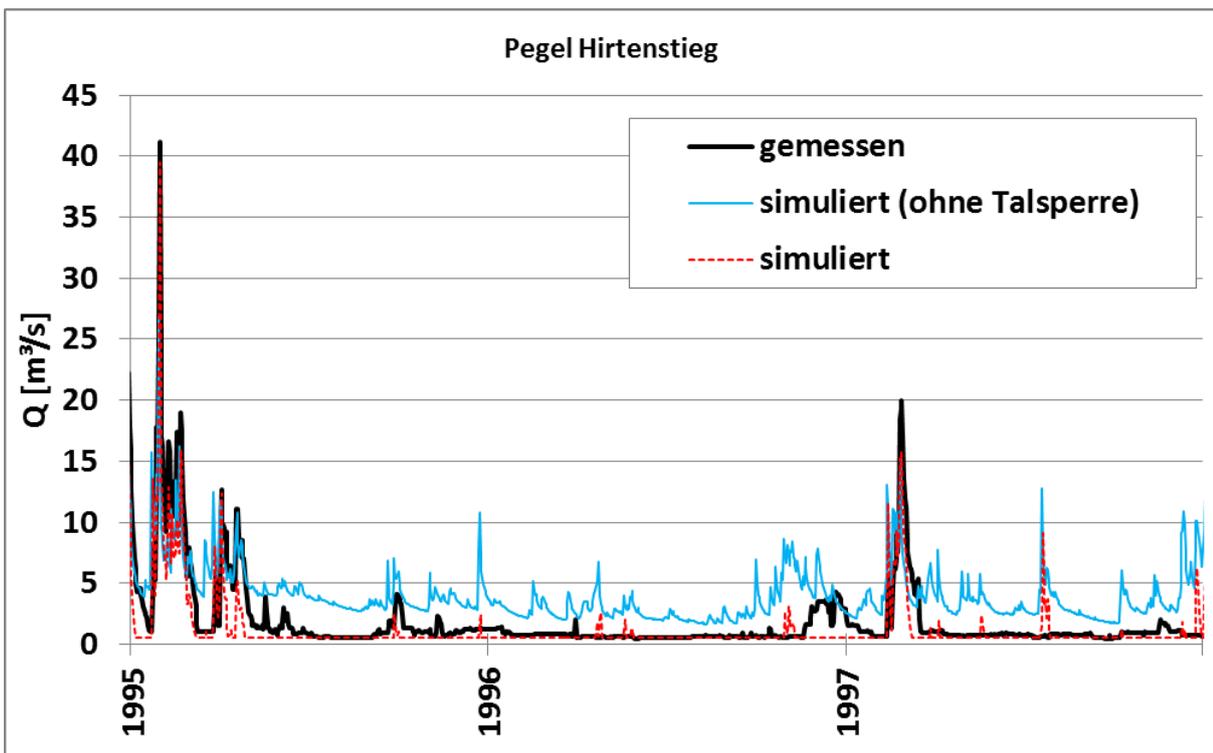


Abbildung 10: Wirkung der Talsperre am Pegel Hirtenstiege

1.1.3 Vorsperre Rappbode

1.1.3.1 Eingangsdaten Vorsperre Rappbode

Tabelle 4: Kennwerte für die Vorsperre Rappbode

Nr	5		
Name	Vorsperre Rappbode		
gestautes Gewässer	Rappbode		
EZG km²	47.6		
Stauhöhe HHW in m ü. NN	439.68		
Stauraum Gesamt in hm³	1.66		
Stauhöhe Vollstau in m ü. NN	439.00		
Stauraum Vollstau in hm³	1.50		
Stauhöhe Stauziele in m ü. NN	Wi= 439.00	So= 439.00	
Stauraum nach Stauzielen in hm³	Wi= 1.497	So= 1.497	
gewöhnlicher HWR in hm³	ganzjährig = 0.00		
Staufläche Stauziel in ha	47.60		
Stauziel Zeitraum	ganzjährig		
max. Grundablassleistg. m³/s	1 x DN 800 Stahl	GA= 6.8	
Qmin m³/s	Zufluss = Abgabe		

Vom Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt wurden die Kennwerte der Vorsperre Rappbode (siehe Tabelle 4) übergeben.

Aus den Recherchen 2006 im Projekt HW-Bode konnten die Angaben zu Beckeninhalt und W-Q-Beziehung entnommen werden (siehe Abbildung 11).

Aus der Vorsperre Rappbode findet eine Trinkwasserentnahme statt (Monatsmittel 0.02 m³/s), die aus den Recherchen 2006 im Projekt HW-Bode übernommen wurde.

1.1.3.2 Modellannahmen Vorsperre Rappbode

Abbildung 11 zeigt die Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung der Vorsperre Rappbode.

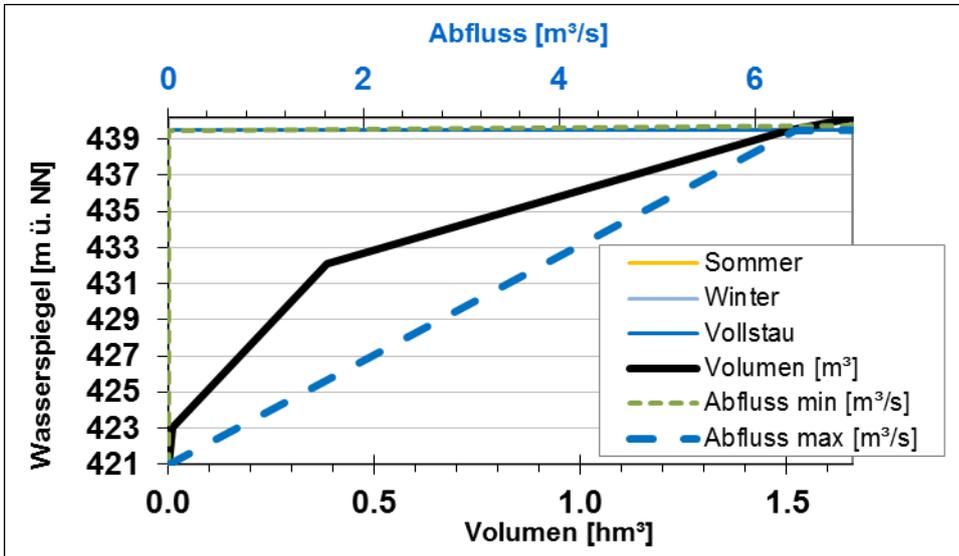


Abbildung 11: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung der Vorsperre Rappbode

1.1.3.3 Wirkungsnachweis Vorsperre Rappbode

Abbildung 12 zeigt die Wirkung der Vorsperre Rappbode. Es werden der simulierte Zufluss zur Talsperre und der simulierte Ablauf gezeigt. Der simulierte Wasserstand entspricht weitestgehend dem Sollwasserstand des Modells. Die Vorsperre Rappbode hat nur einen geringen Einfluss auf den Abfluss. Trinkwasser kann laut Modell entnommen werden.

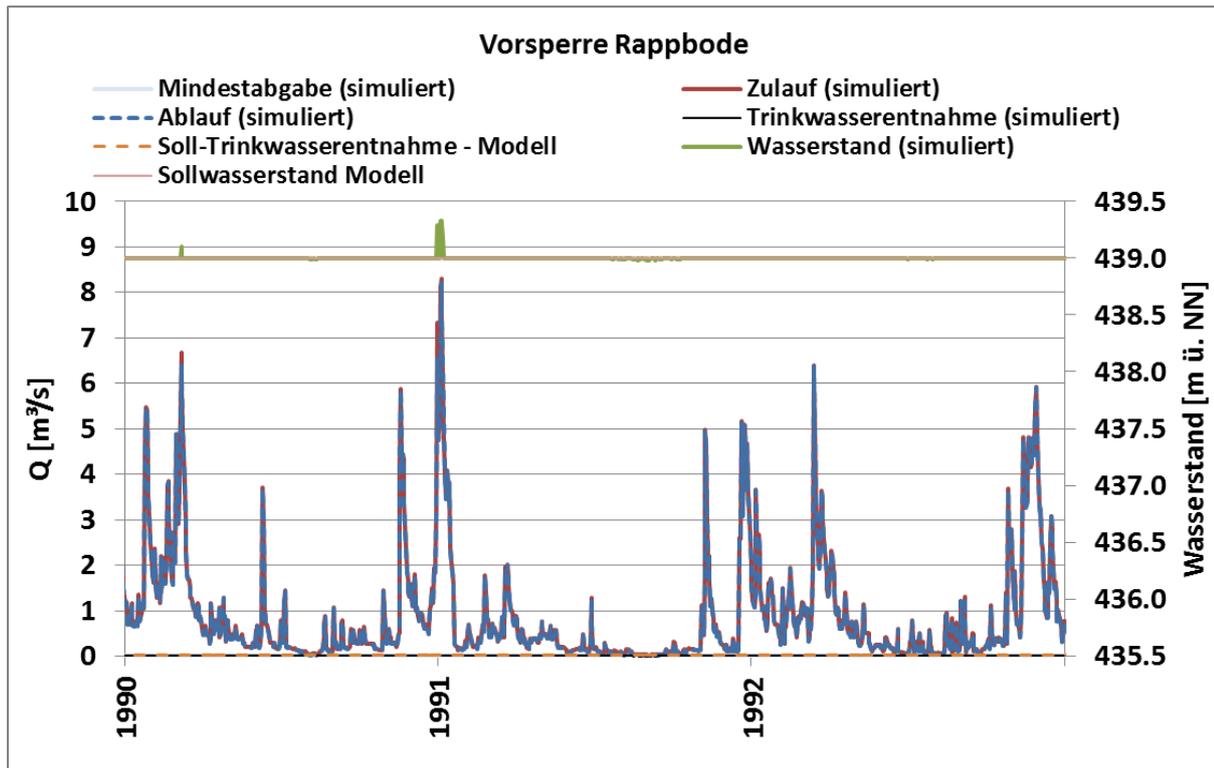


Abbildung 12: Wirkung der Vorsperre Rappbode

1.1.4 Vorsperre Hassel

1.1.4.1 Eingangsdaten Vorsperre Hassel

Tabelle 5: Kennwerte für die Vorsperre Hassel

Nr	6		
Name	Vorsperre Hassel		
gestautes Gewässer	Hassel		
EZG km²	44.60		
Stauhöhe HHW in m ü. NN	433.68		
Stauraum Gesamt in hm³	1.65		
Stauhöhe Vollstau in m ü. NN	433.00		
Stauraum Vollstau in hm³	1.47		
Stauhöhe Stauziele in m ü. NN	Wi= 433.00	So= 433.00	
Stauraum nach Stauzielen in hm³	Wi= 1.47	So= 1.47	
gewöhnlicher HWR in hm³	ganzjährig = 0.00		
Staufläche Stauziel in ha	44.60		
Stauziel Zeitraum	ganzjährig		
max. Grundablassleistg. m³/s	1 x DN 800 Stahl	GA = 5.0	
Qmin m³/s	Zufluss = Abgabe		

Vom Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt wurden die Kennwerte für die Vorsperre Hassel (siehe Tabelle 5) übergeben.

Aus den Recherchen 2006 im Projekt HW-Bode konnten die Angaben zu Beckeninhalt und W-Q-Beziehung entnommen werden (siehe Abbildung 13).

1.1.4.2 Modellannahmen Vorsperre Hassel

Abbildung 13 zeigt die Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung der Vorsperre Hassel.

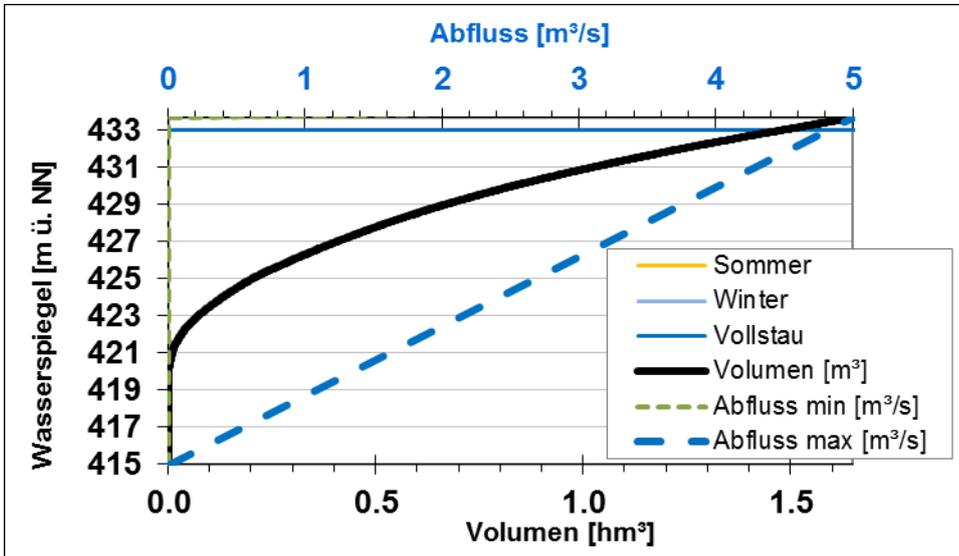


Abbildung 13: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Vorsperre Hassel

1.1.4.3 Wirkungsnachweis Vorsperre Hassel

Abbildung 14 zeigt die Wirkung der Vorsperre Hassel. Es werden der simulierte Zufluss zur Talsperre und der simulierte Ablauf gezeigt. Die Hochwasserspitzen werden in der Talsperre zwischengespeichert. Diese Zwischenspeicherung zeigt der simulierte Wasserstand.

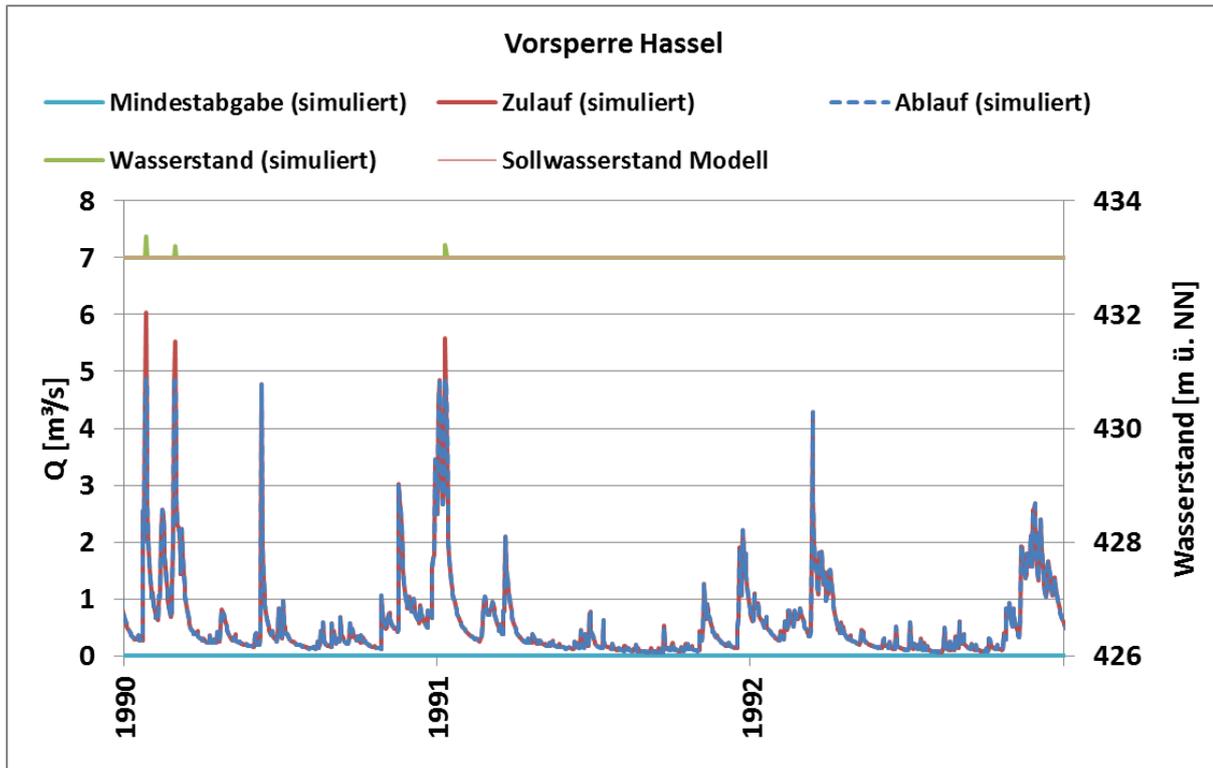


Abbildung 14: Wirkung der Vorsperre Hassel

1.1.5 Rappbodetalsperre

1.1.5.1 Eingangsdaten Rappbodetalsperre

Tabelle 6: Kennwerte für die Rappbodetalsperre

Nr	1		
Name	Rappbodetalsperre		
gestautes Gewässer	Rappbode		
EZG km²	23.6 / 115.80 mit VSR und VSH		
Stauhöhe HHW in m ü. NN	424.68		
Stauraum Gesamt in hm³	113.40		
Stauhöhe Vollstau in m ü. NN	423.60		
Stauraum Vollstau in hm³	109.08		
Stauhöhe Stauziele in m ü. NN	Wi= 419.74	So= 422.57	
Stauraum nach Stauzielen in hm³	Wi= 95.00	So=105.11	
gewöhnlicher HWR in hm³	Wi = 14.08	So = 3.97	
Staufläche Stauziel in ha	Wi= 340.0	So= 390.0	
Stauziel Zeitraum	01.11.-31.03.	01.05.-30.09.	
max. Grundablassleistg. m³/s		U-Stollen= 40.0	
Qmin m³/s	keine Mindestabgabe		

Vom Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt (TSA) wurden folgende Daten übergeben:

- Kennwerte Rappbodetalsperre (siehe Tabelle 6)
- Rohwasserlieferung TSB an FWV Elbaue-Ostharz aus Rappbodetalsperre (1975-2011).

Aus den Recherchen 2006 im Projekt HW-Bode konnten die Angaben zu Beckeninhalt und W-Q-Beziehung entnommen werden (siehe Abbildung 15).

1.1.5.2 Modellannahmen Rappbodetalsperre

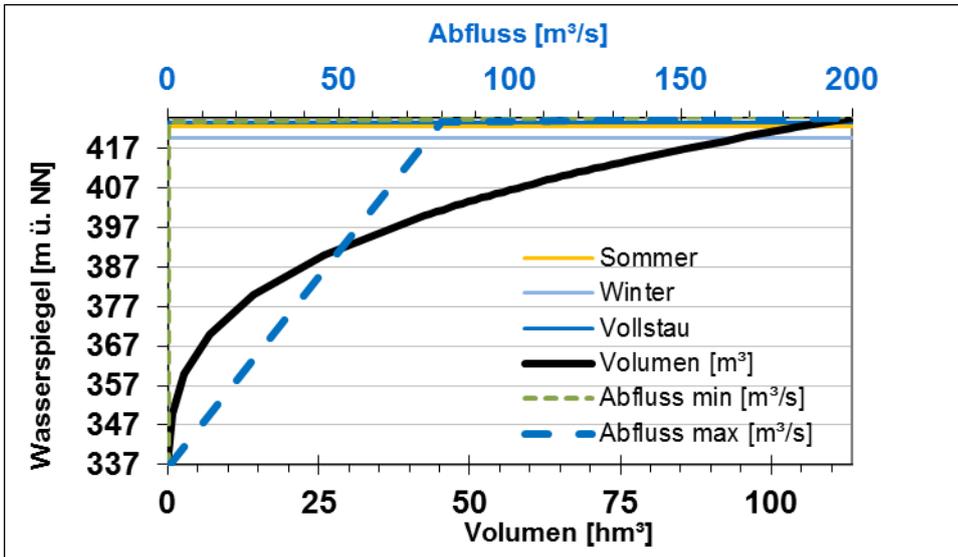


Abbildung 15: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Rappbodetalsperre

Vom TSA wurde die monatliche Rohwasserlieferung aus der Rappbodetalsperre bereitgestellt (siehe Abbildung 16).

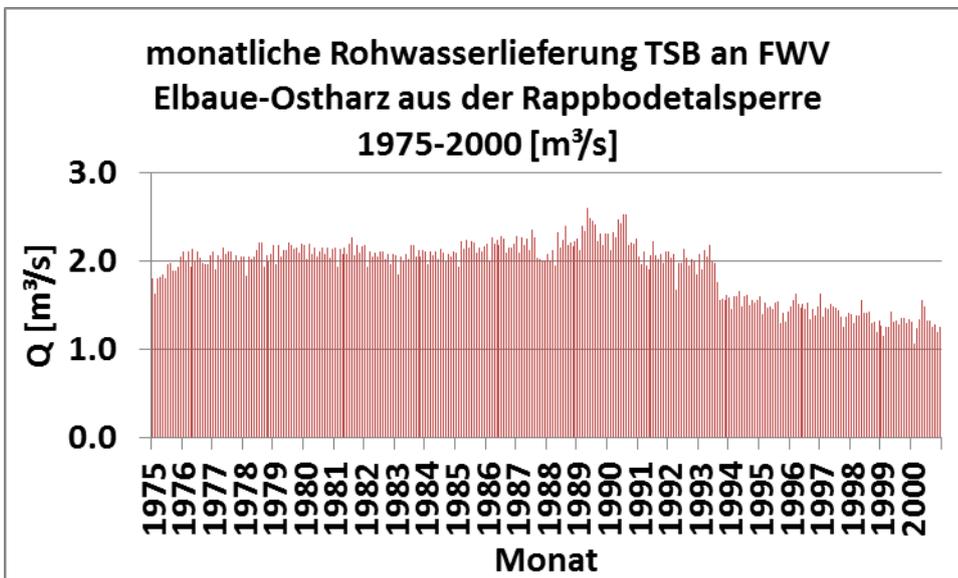


Abbildung 16: Monatliche Rohwasserlieferung aus der Rappbodetalsperre

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

Aus diesen Monatswerten wurden mittlere Monatswerte über den gesamten Zeitraum 1975 - 2000 ermittelt (siehe Abbildung 17). In Abbildung 16, die die Monatswerte zeigt, ist deutlich ein Absinken der monatlichen Rohwasserlieferung ab 1990 zu sehen. Deshalb wurde die mittlere monatliche Rohwasserlieferung auch für den Zeitraum 1975 - 1990 ermittelt und in Abbildung 17 mit aufgetragen. Es zeigt sich, dass sie höher ist, als für den Gesamtzeitraum 1975 - 2000.

In das Modell wurde die aus dem Zeitraum 1975 - 2000 ermittelte mittlere monatliche Rohwasserlieferung als Trinkwasserentnahme integriert.

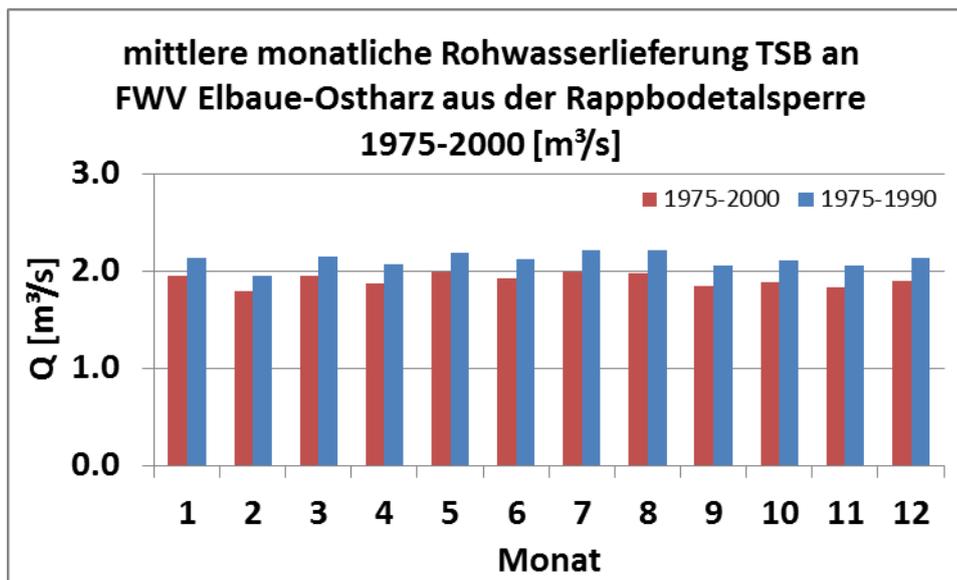


Abbildung 17: Mittlere monatliche Rohwasserlieferung aus der Rappbodetalsperre

1.1.5.3 Wirkungsnachweis Rappbodetalsperre

Abbildung 18 zeigt die Wirkung der Rappbodetalsperre im Modell. Hierzu wurden alle sich oberhalb der Talsperren befindlichen Pegel eingespeist. Die Pegel wurden nur für die Analyse der Talsperrenwirkung eingespeist, um den Modellfehler des simulierten Zuflusses zu umgehen. Im Modell werden dann die Ganglinien der Zuflusspegel nicht eingespeist.

Abbildung 18 zeigt den simulierten Zufluss zur Talsperre und den simulierten Ablauf. Die Hochwasserspitzen werden in der Talsperre zwischengespeichert. Diese Zwischenspeicherung zeigt der simulierte Wasserstand. Der Sollwasserstand des Modells, der als Modellinput aus den Angaben der

Tabelle 6, dem Modell bereitgestellt wird, wird in der Regel durch den simulierten Wasserstand wiedergegeben. Bei großen Zuflüssen (Januar 1994) und begrenzter Talsperrenabgaberegulierung überschreitet der simulierte Wasserstand den Sollwasserstand.

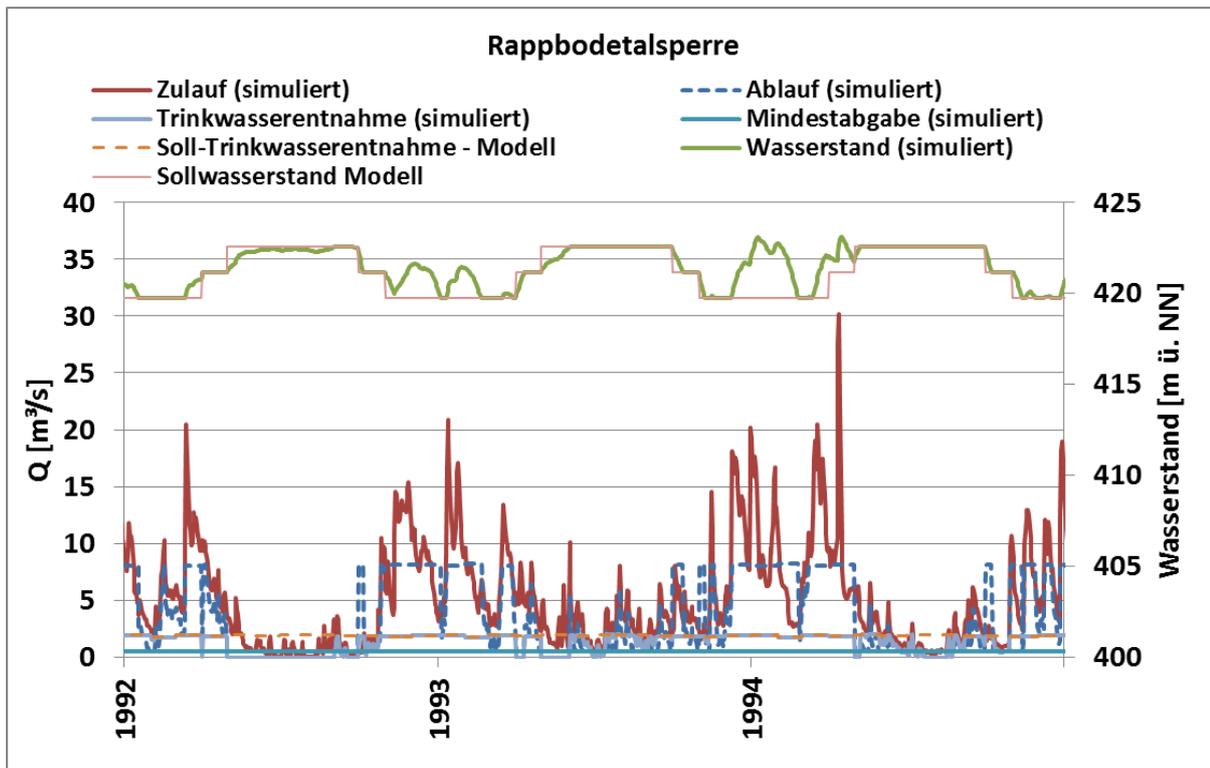


Abbildung 18: Wirkung der Rappbodetalsperre

1.1.6 Talsperre Wendefurth

1.1.6.1 Eingangsdaten Talsperre Wendefurth

Tabelle 7: Kennwerte für die Talsperre Wendefurth

Nr	2		
Name	Talsperre Wendefurth		
gestautes Gewässer	Bode		
EZG km²	309.20		
Stauhöhe HHW in m ü. NN	352.90		
Stauraum Gesamt in hm³	9.22		
Stauhöhe Vollstau in m ü. NN	351.90		
Stauraum Vollstau in hm³	8.54		
Stauhöhe Stauziele in m ü. NN	Wi= 342.35	So= 345.00	
Stauraum nach Stauzielen in hm³	Wi = 3.10	So = 4.35	
gewöhnlicher HWR in hm³	Wi = 5.44	So = 4.19	
Staufläche Stauziel in ha	54.90	62.00	
Stauziel Zeitraum	01.11. - 31.03.	01.05. - 30.09.	
max. Grundablassleistg. m³/s	2 x 35.0		
Qmin m³/s	1.0 m ³ /s		

Vom Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt wurden die Kennwerte der Talsperre Wendefurth (siehe Tabelle 7) übergeben.

Aus den Recherchen 2006 im Projekt HW-Bode konnten die Angaben zu Beckeninhalt und W-Q-Beziehung entnommen werden (siehe Abbildung 19).

Das Wasser aus der Talsperre Wendefurth wird von einem Pumpspeicher-Kraftwerk in einem Oberbecken zwischengespeichert. Die Wirkung des Pumpspeicher-Kraftwerks wurde nicht im Modell abgebildet.

1.1.6.2 Modellannahmen Talsperre Wendefurth

Abbildung 19 stellt die Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung der Talsperre Wendefurth dar.

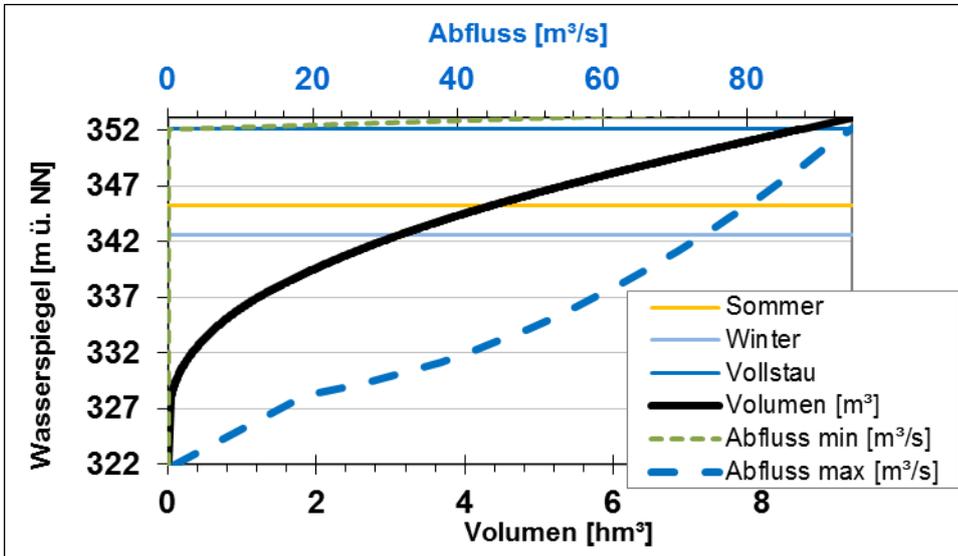


Abbildung 19: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Talsperre Wendefurth

1.1.6.3 Wirkungsnachweis Talsperre Wendefurth

Abbildung 20 zeigt die Wirkung der Talsperre Wendefurth im Modell. Es werden der simulierte Zufluss zur Talsperre und der simulierte Ablauf gezeigt. Die Hochwasserspitzen werden in der Talsperre zwischengespeichert. Diese Zwischenspeicherung zeigt der simulierte Wasserstand. Der Sollwasserstand des Modells, der als Modellinput aus den Angaben von Abbildung 19 dem Modell bereitgestellt wird, wird in den Sommermonaten durch den simulierten Wasserstand wiedergegeben. In den Wintermonaten überschreitet der simulierte Wasserstand den Sollwasserstand.

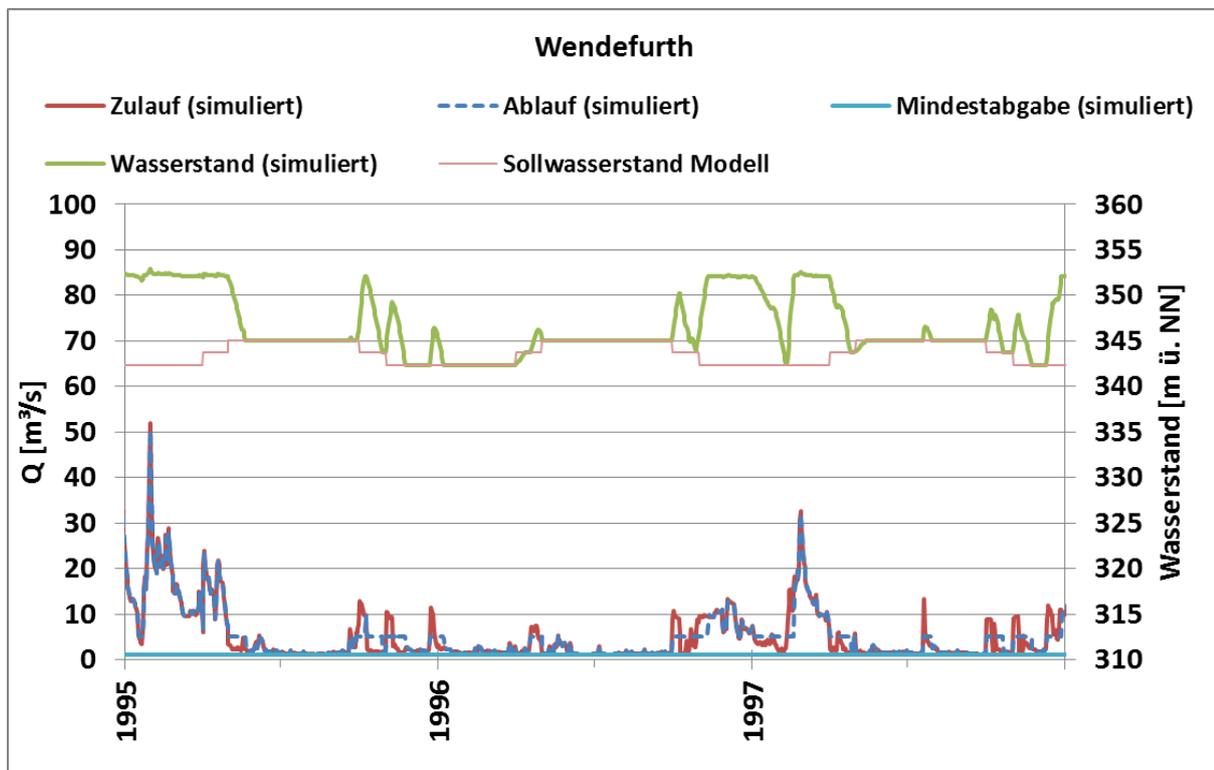


Abbildung 20: Wirkung der Talsperre Wendefurth

Am Ablaufpegel der Talsperre (Wendefurth Ablaufpegel) soll die Wirkung der Talsperre Wendefurth einschließlich ihrer oberhalb liegenden Talsperren im Modell gezeigt werden. Die Talsperre Wendefurth ist im Bodetalsperrensystem die unterste der Kette und der Pegel Wendefurth stellt den Auslasspegel dar. In Abbildung 21 wird die Wirkung des Bodetalsperrensystems gezeigt, in dem die Simulationsrechnungen mit und ohne Bodetalsperrensystem dargestellt und dem gemessenen Abfluss gegenübergestellt werden. Der gemessene mittlere Abfluss (MQ) 1970-2000 beträgt $3.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Der simulierte MQ ohne Talsperren $5.93 \text{ m}^3/\text{s}$ und der simulierte MQ mit Talsperrenwirkung reduziert den simulierten Abfluss um 9 % auf $5.42 \text{ m}^3/\text{s}$. Der gemessene MQ wird mit 43 % weit überschätzt. Das bedeutet, es befindet sich am Auslauf des Bodetalsperrensystems zu viel Wasser im System, welches durch nicht korrekte Abbildung des Überleitungstollens, das im Modell fehlende Pumpspeicherwerk oder durch ungenaue Trinkwasserentnahmemengen (im Modell nur aus Messdaten abgeleitete mittlere Monatswerte) bedingt sein kann.

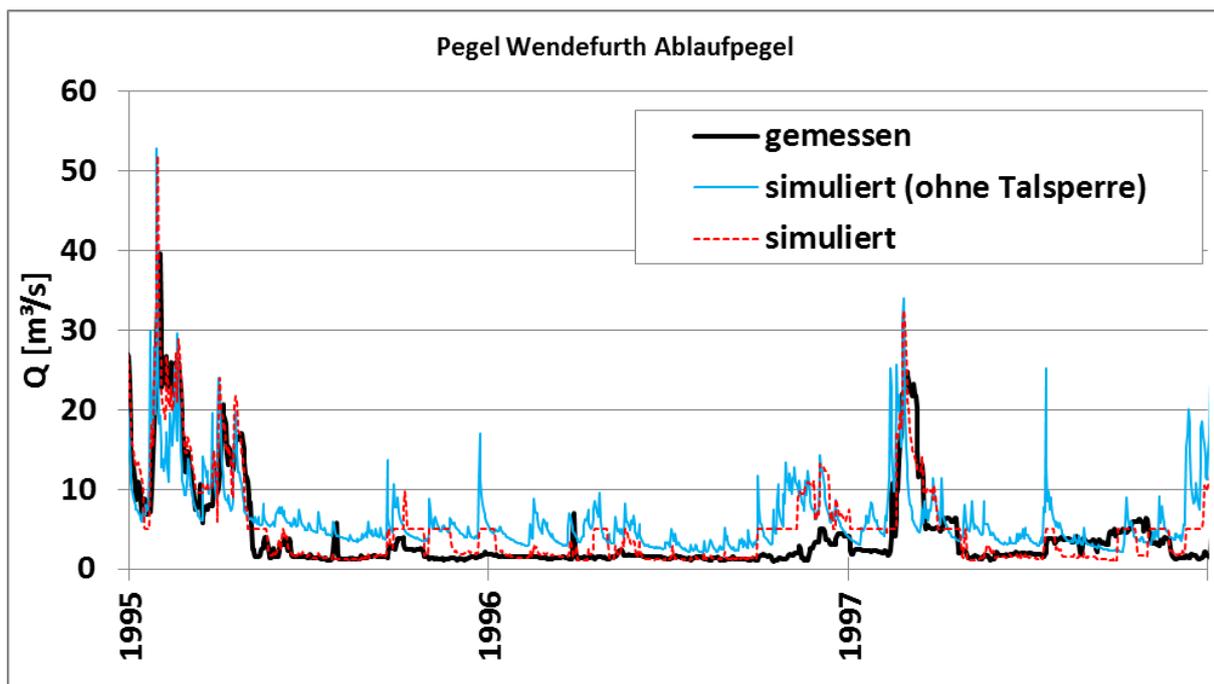


Abbildung 21: Wirkung der Talsperre Wendefurth am Ablaufpegel Wendefurth

1.1.7 Zillierbachtalsperre

1.1.7.1 Eingangsdaten für die Zillierbachtalsperre

Tabelle 8: Kennwerte für die Zillierbachtalsperre

Nr	4		
Name	Zillierbachtalsperre		
gestautes Gewässer	Zillierbach		
EZG km²	10.70		
Stauhöhe HHW in m ü. NN	473.10		
Stauraum Gesamt in hm³	2.85		
Stauhöhe Vollstau in m ü. NN	472.12		
Stauraum Vollstau in hm³	2.63		
Stauhöhe Stauziele in m ü. NN	ganzjährig: 470.19		
Stauraum nach Stauzielen in hm³	ganzjährig: 2.20		
gewöhnlicher HWR in hm³	ganzjährig: 0.43		
Staufläche Stauziel in ha	20.48		
Stauziel Zeitraum	Ganzjährig		
max. Grundablassleistg. m³/s	2 x 4,00 = 8,0		
Qmin m³/s	keine Mindestabgabe		

Vom Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt wurden die Kennwerte der Zillierbachtalsperre (siehe Tabelle 8) übergeben.

Aus den Recherchen 2006 im Projekt HW-Bode konnten die Angaben zu Beckeninhalt und W-Q-Beziehung entnommen werden (siehe Abbildung 22).

Aus der Zillierbachtalsperre findet eine Trinkwasserentnahme statt (Monatsmittel 0.4 m³/s), die aus den Recherchen 2006 im Projekt HW-Bode übernommen wurde.

1.1.7.2 Modellannahmen Zillierbachtalsperre

Abbildung 22 zeigt die Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung der Zillierbachtalsperre.

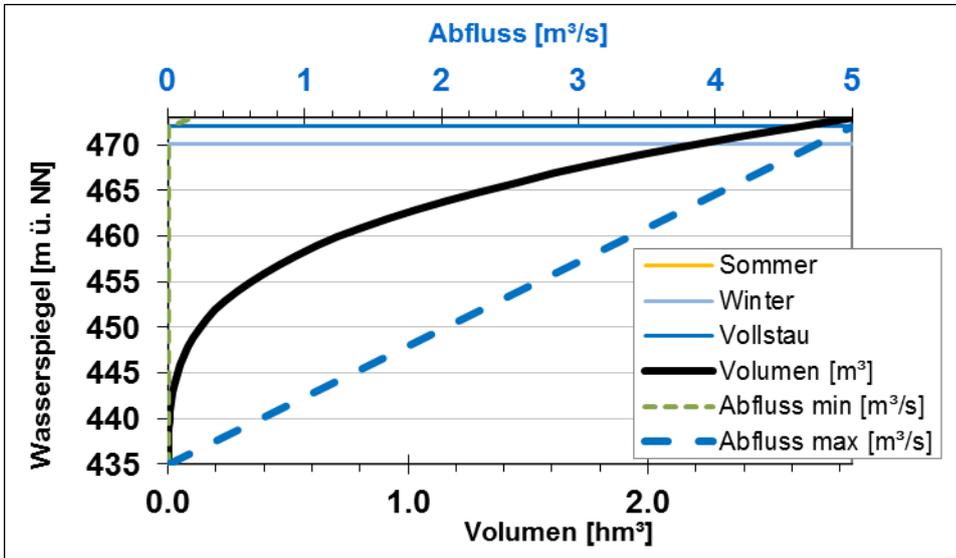


Abbildung 22: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Zillierbachtalsperre

1.1.7.3 Wirkungsnachweis Zillierbachtalsperre

Abbildung 23 zeigt die Wirkung der Zillierbachtalsperre im Modell. Es werden der simulierte Zufluss zur Talsperre und der simulierte Ablauf gezeigt. Der simulierte Wasserstand entspricht dem Sollwasserstand Modell.

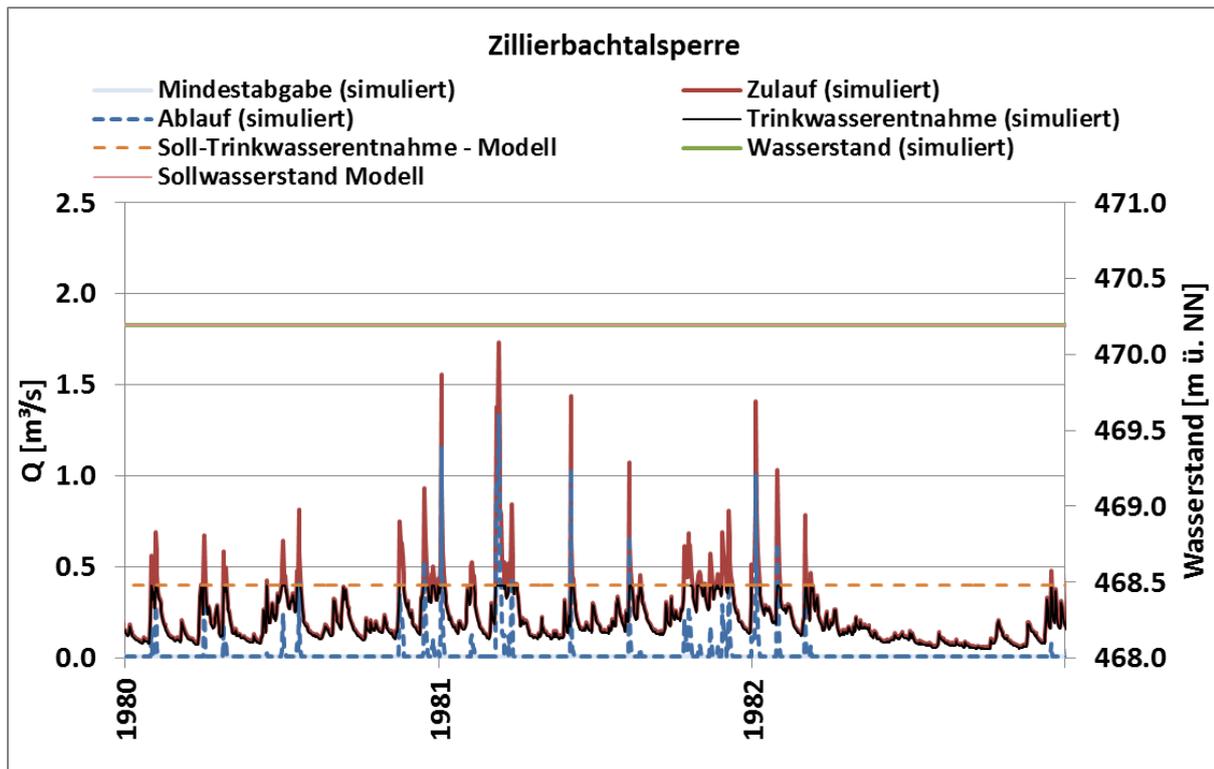


Abbildung 23: Wirkung der Zillierbachtalsperre

Abbildung 24 zeigt die Talsperrenwirkung am Pegel Wernigerode, der sich 7 Kilometer flussabwärts der Zillierbachtalsperre befindet. Ohne Talsperre ist der simulierte mittlere Abfluss 68 % höher als der gemessene. Dagegen wird mit Talsperrenwirkung der gemessene mittlere Abfluss um 24 % unterschätzt.

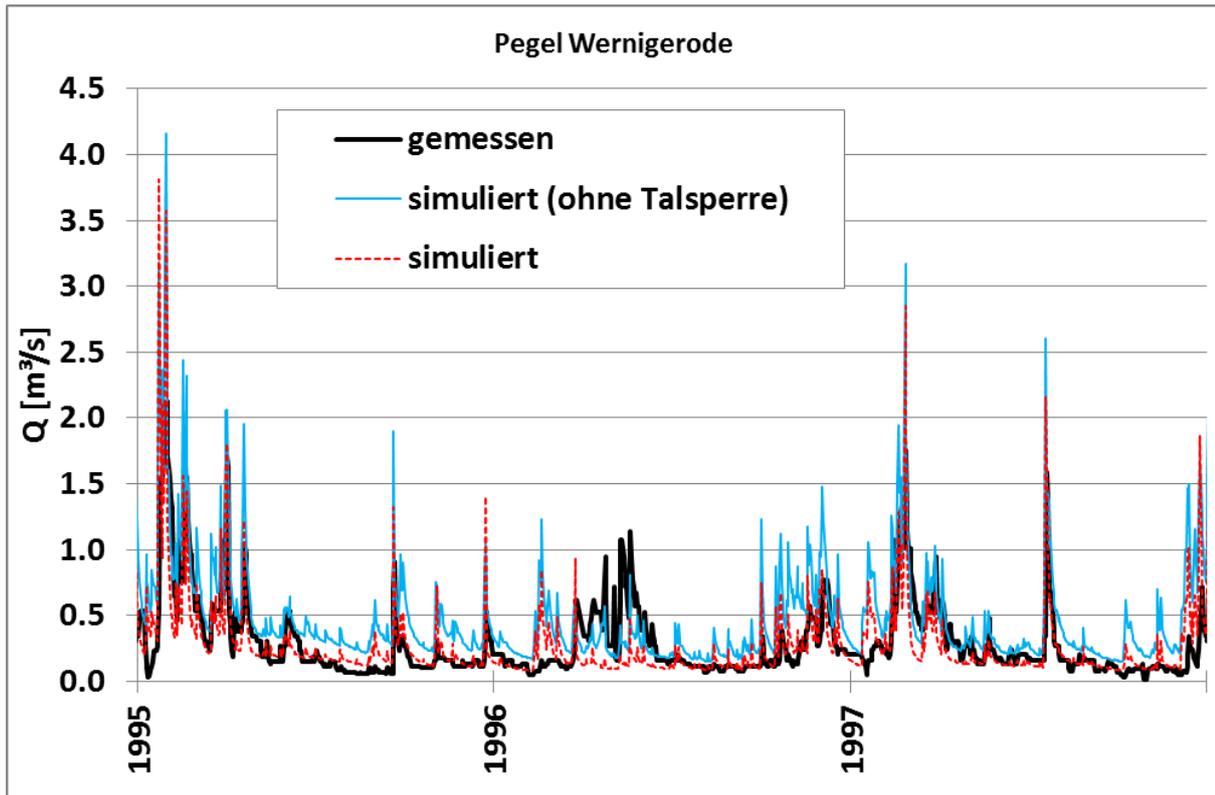


Abbildung 24: Wirkung der Zillierbachtalsperre am Pegel Wernigerode

1.2 Muldestausee

Der Muldestausee ist ein Restloch des ehemaligen Tagebaus Muldenstein, welcher durch die Mulde geflutet wurde. Die Flutung fand 1975 statt und war nach 9 Monaten komplett abgeschlossen. Durch die Flutung wurde die Mulde in ihrem Lauf umgeleitet. Am Einlauf gibt es ein Einlaufbauwerk, welches die Mulde auf einer gewissen Höhe hält. Das Stauwerk bildet eine Brücke, wo zwischen den Pfeilern künstliche Überläufe sind. Aufgrund der geringen Höhe des Stauwerks und des hohen Zuflusses der Mulde dürfte der Hochwasserschutz eher gering ausfallen, trotzdem wird aufgrund der Retentionswirkung ein Spitzenzufluss gedämpft und verzögert (Quelle: <http://www.talsperren.net/Sachsen-Anhalt/Muldestausee/muldestausee.html>).

Abbildung 25 zeigt die Lage des Muldestausees mit dem oberhalb des Muldestausees gelegenen Pegel Bad Düben, dem Beckenpegel Muldestausee und dem nächsten unterhalb des Muldestausees gelegenen Pegel Priorau.

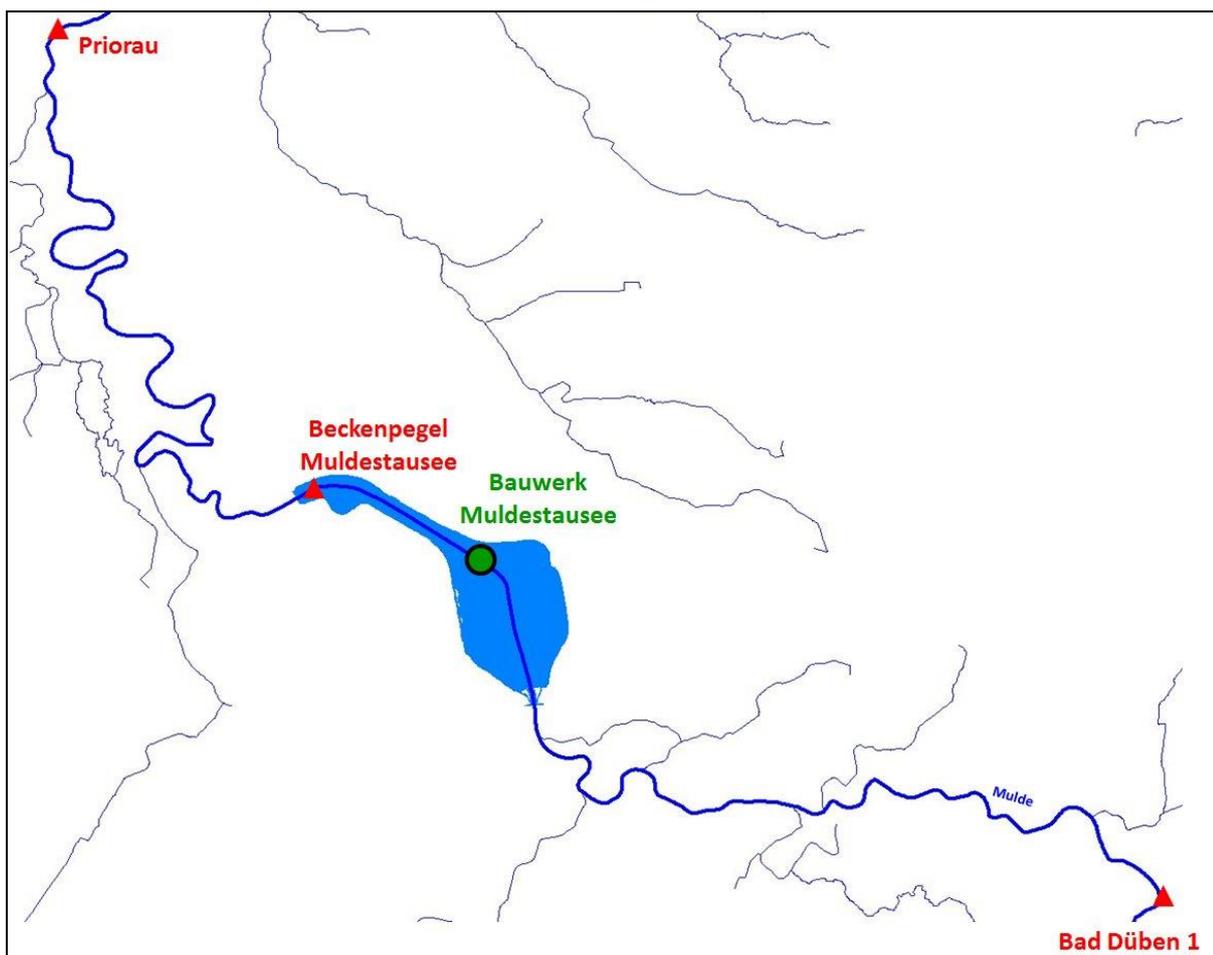


Abbildung 25: Karte Muldestausee

1.2.1 Eingangsdaten Muldestausee

Tabelle 9: Kennwerte für den Muldestausee

Nr	8		
Name	Muldestausee		
gestautes Gewässer	Mulde		
EZG km²	6 709.00		
Stauhöhe HHW in m ü. NN	81.98		
Stauraum Gesamt in hm³	135.50		
Stauhöhe Vollstau in m ü. NN	79.50 fest 79.25 OK bewegl.		
Stauraum Vollstau in hm³	118.00		
Stauhöhe Stauziele in m ü. NN	März-Juli: 79.00	Juli-März: 78.50	
Stauraum nach Stauzielen in hm³	116		
gewöhnlicher HWR in hm³	0.00	a_gewöhn.: 17.50	
Staufläche Stauziel in ha	n. b.		
Stauziel Zeitraum	März-Juli	Juli-März	
max. Grundablassleistg. m³/s	kein GA		
Qmin m³/s	Zufluss = Abgabe	Mindestabgabe 13.0 m ³ /s	über FAA

Vom Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt wurden folgende Daten übergeben:

- Kennwerte Muldestausee (siehe Tabelle 9)
- Wasserinhalt des Muldestausees in Abhängigkeit vom Wasserstand
- Wehrleistungskurve
- Leistungsdiagramm Wehrklappen
- Messdaten Beckenpegel (m ü. NN) u. Abgabepegel (nur Wasserstand in cm).

1.2.2 Modellannahmen Muldestausee

Abbildung 26 zeigt die Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung des Muldestausees.

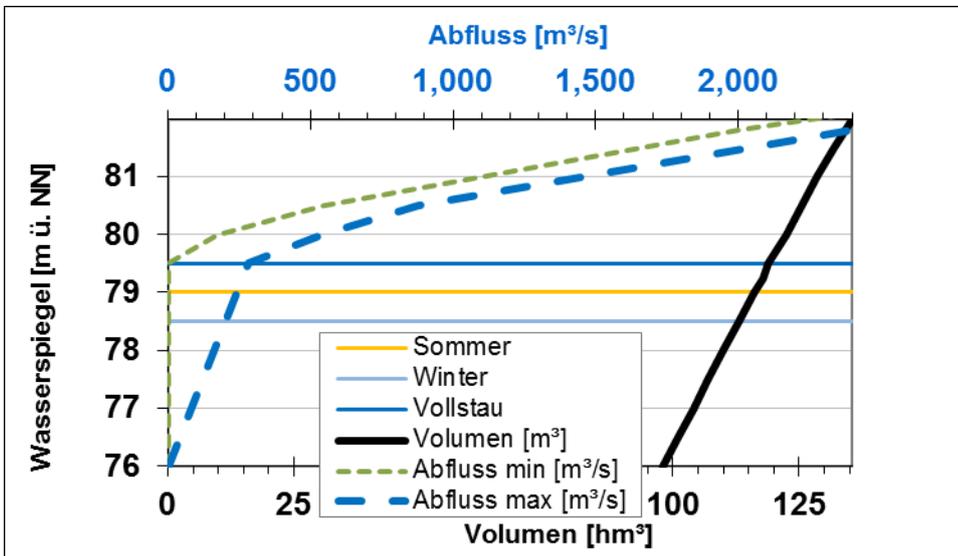


Abbildung 26: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Muldestausee

1.2.3 Wirkungsnachweis Muldestausee

Abbildung 27 zeigt die Wirkung des Muldestausees. Es wird der simulierte Zufluss zum Muldestausee und der simulierte Ablauf gezeigt. Der simulierte Wasserstand entspricht weitestgehend dem Sollwasserstand Modell. Bei Hochwasserspitzen im Zulauf ist der simulierte Wasserstand höher als der Sollwasserstand. Ab 2011 liegen Messwerte des Wasserstandes am Beckenpegel vor. Diese Messwerte variieren aber stark vom vorgegeben Sollwasserstand (siehe Abbildung 28).

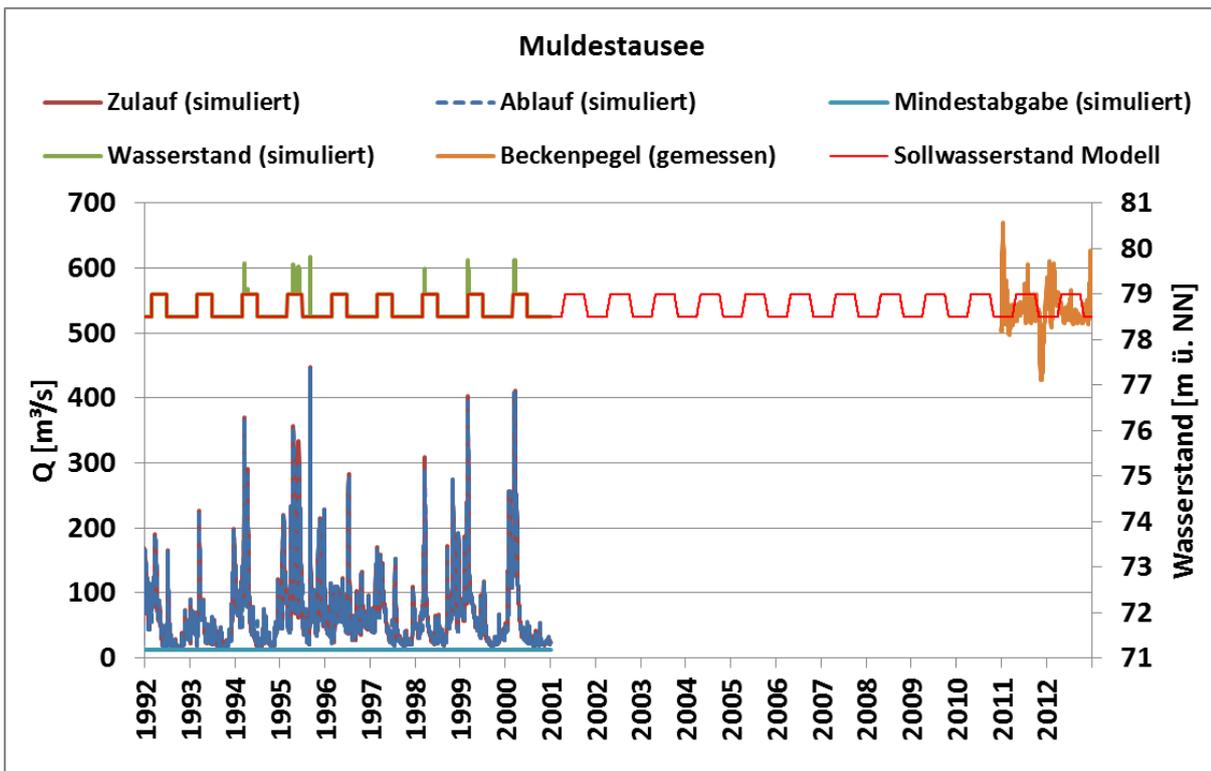


Abbildung 27: Wirkung des Muldestausees

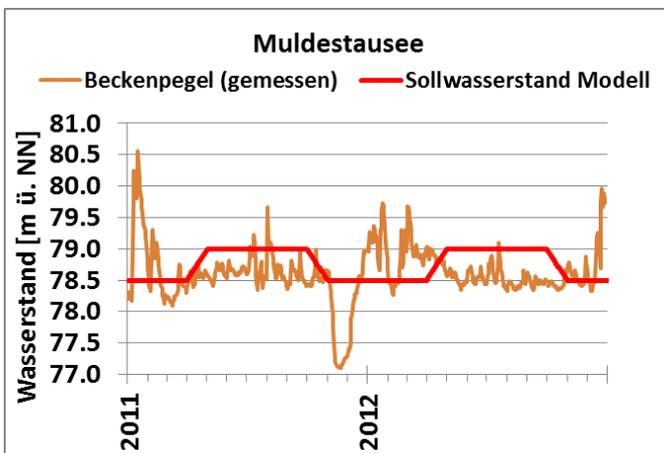


Abbildung 28: Beckenpegel (gemessen) und Sollwasserstand Modell – Muldestausee

Die Talsperrenwirkung soll auch am nächsten, 20 km flussabwärts des Muldestausees befindlichen, Pegel Priorau gezeigt werden (siehe Abbildung 29). Die Wirkung der Talsperre ist gering, es werden einige Hochwasserspitzen zwischengespeichert.

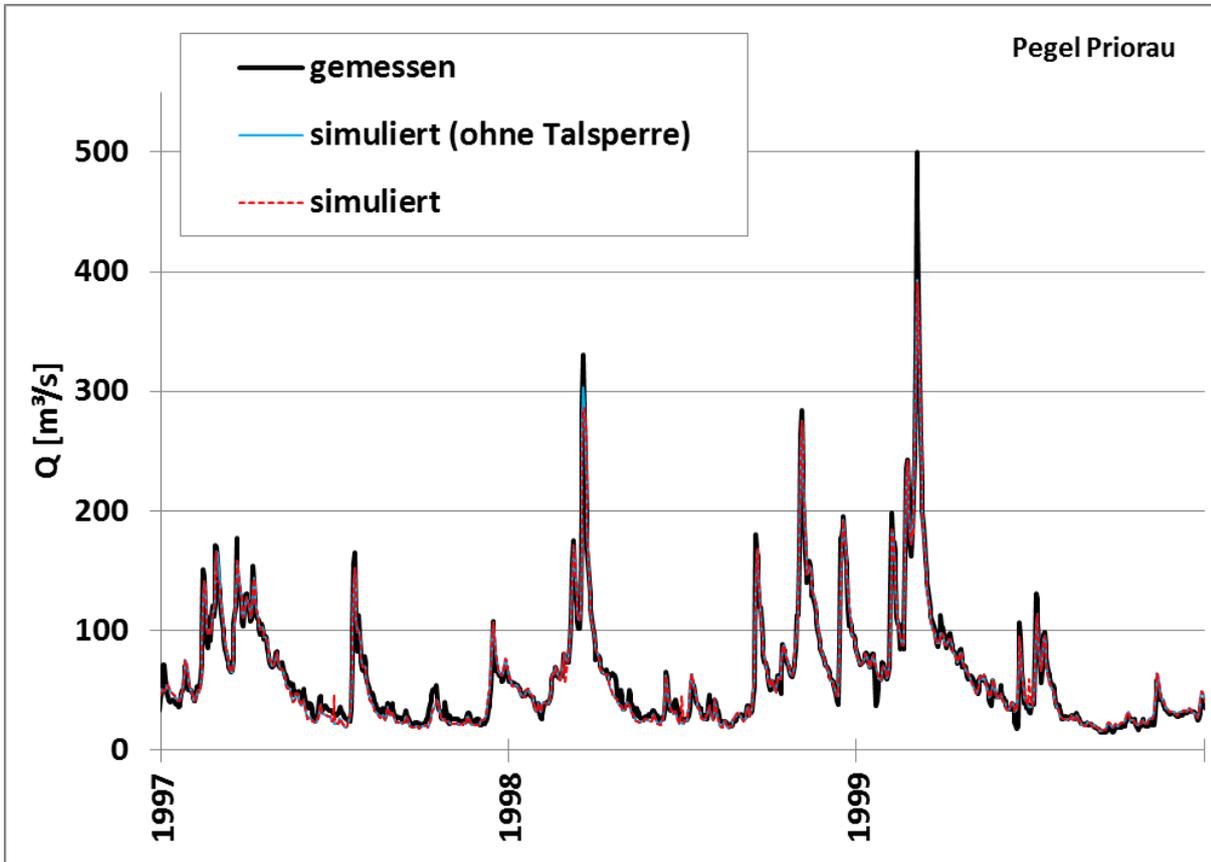


Abbildung 29: Wirkung des Muldestausees am Pegel Priorau

1.3 Talsperre Kelbra

Die Talsperre Kelbra wurde ursprünglich als reines Hochwasserrückhaltebecken für die Helme gebaut. Durch die spätere Errichtung eines Nebendamms wurde die Talsperre in den Dauerstaubereich und den Hochwasserschutzbereich getrennt. Der Dauerstauraum wird mit 12.38 Millionen m³ angegeben. Die Länge des Nebendamms beträgt 3379 m. Derzeit wird die Talsperre hauptsächlich zur Naherholung (Badesee mit Campingplatz), aber auch für die Niedrigwasseraufhöhung und die Fischzucht genutzt. Der Hauptdamm ist ein 13m hoher Erddamm mit außenliegender Dichtung. Der Hauptdamm hat drei Auslaufbauwerke. Das Bauwerk I ist ein reiner Grundablass mit 2x 1000mm Rohren. Das Bauwerk II liegt etwa in der Mitte des Hauptdamms und hat in der Mitte 2x 3.3m breite Betriebsauslässe und jeweils seitlich davon noch mal je eine 11.5m breite und 1.75m hohe Fischbauchklappe als Hochwasserentlastung mit einer Abflusskapazität von 277m³/s gesamt. Und das Bauwerk III an der linken Seite des Damms regelt den Durchfluss aus dem Hochwasserschutzraum parallel zum Dauerstauraum. Bei Vollstau beider Bereiche wird der Nebendamm um ca. 2m überstaut (Quelle: <http://www.talsperren.net/Sachsen-Anhalt/Kelbra/kelbra.html>).

Abbildung 30 zeigt die Lage der Talsperre Kelbra mit dem Zuflusspegel Görsbach und dem nächsten Pegel nach dem Auslass, den Pegel Bennungen. Die Karte zeigt den Dauerstaubereich mit Beckenpegel (BP) 1 und 2, sowie den nördlichen und südlichen Hochwasserschutzraum (HWSR). Die Lage der drei oben genannten Auslaufbauwerke BW I, BW II und BW III ist ebenfalls der Karte zu entnehmen.

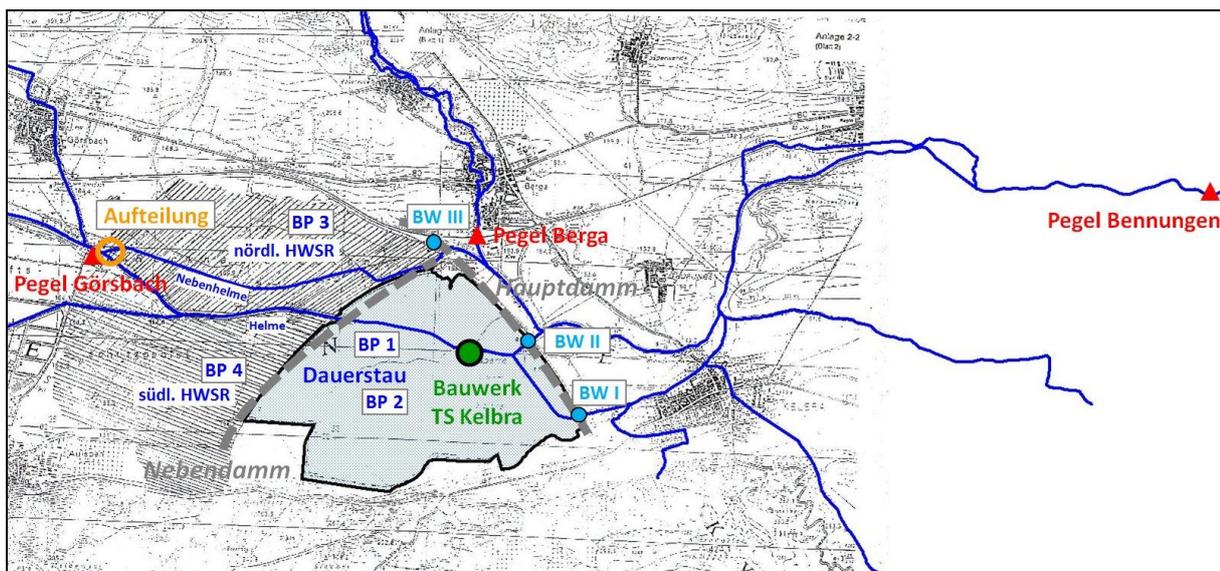


Abbildung 30: Karte Talsperre Kelbra

1.3.1 Eingangsdaten Talsperre Kelbra

Tabelle 10: Kennwerte für die Talsperre Kelbra

Nr	9		
Name	Talsperre Kelbra		
gestautes Gewässer	Helme		
EZG km²	677.40		
Stauhöhe HHW in m ü. NN	157.00		
Stauraum Gesamt in hm³	35.60		
Stauhöhe Vollstau in m ü. NN	157.00		
Stauraum Vollstau in hm³	35.60		
Stauhöhe Stauziele in m ü. NN	Wi = 150.30	So = 155,25	
Stauraum nach Stauzielen in hm³	Wi = 0.00	So = 12,30	
gewöhnlicher HWR in hm³	Wi = 12.3 (35.6)	So = 0.00 (23.3)	
Staufläche Stauziel in ha	0.00	600.00	
Stauziel Zeitraum	15.11.-30.04.	31.05.-15.10.	
max. Grundablassleistg. m³/s	BW I: 5.0	BW II: 104.0 + 82.0	BW III: 37.0
Qmin m³/s	BW I: 0.2 m ³ /s	BW II + BW III: 0.6 m ³ /s (nach BP 1984)	Q Nebenhelme >2.5 - 3.5 m ³ /s (nach BP Güte GLD 2009)

Vom Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt wurden folgende Daten übergeben:

- Kennwerte Talsperre Kelbra (siehe Tabelle Tabelle 10)
- Beckeninhaltsstafel Talsperre Kelbra – Dauerstau und Hochwasserschutzraum (6 Seiten)
- Diagramm Beckeninhalt TS Kelbra
- Topographische Karte Gebiet TS Kelbra mit Kennzeichnung Beckenpegel
- Kelbra_Zufluss_Speicher_Abfluss_ab1968.xls (TS Kelbra: Zufluss, Beckeninhalt, Abgabe aus täglicher Meldung (7:00 Uhr-Werte))
- Durchflussleistungen der Grundablässe in Abhängigkeit vom Wasserstand und vom Drosselungswinkel $Q = f(h)$
- Überfallwassermenge für eine Klappe in Abhängigkeit vom Wasserstand und der Klappenstellung, mit Interpolation für Klappenabsenkung unter 156 m ü. NN
- Freispiegelabfluss durch eine Schutzöffnung unter Berücksichtigung des Rückstaus bei MW, HW und HHW im Unterwasser für Bauwerk 2
- Unterströmung eines Schützes unter Berücksichtigung des Rückstaus bei MW, HW und HHW im Unterwasser für Bauwerk 2
- Freispiegelabfluss und Druckabfluss bei voller Öffnung sowie Teilöffnungen des als scharfkantig angenommenen Schützes für Bauwerk 3
- Informationen aus Rückfragen von Hr. Cöster (Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt)

- Im Hochwasserfall wird zunächst das Stauvolumen des Stausees Kelbra vollständig ausgenutzt. Erst dann werden die Hochwasserschutzräume (HWSR Becken 3 und 4), wenn die Zuflüsse größer sind als die von der HVZ vorgegebene Abgabe aus der TS Kelbra, beansprucht. Die Steuerung erfolgt dabei durch die Abgabe an die Helme über das BW II (BW III ist dann geschlossen). Das Verteilerbauwerk der Nebenhelme (Wehranlage u. des Pegels Görsbach) wird bei entsprechend hohen Zuflüssen geöffnet, um den nördlichen HWSR (Becken 3) schnell zu bespannen. Die Einstellungen am BW II und III werden im Hochwasserfall operativ bzw. nach Vorgabe der HVZ vorgenommen. Es gibt insofern keine allgemeingültigen, festen Zuflussmengen zur Steuerung. Die Entleerung der Becken 3 und 4 erfolgt über die BW II und III, je nach Stauhöhe in den Becken. Werden die Überlaufscharten im Nebendamm (zw. Becken 3 und 4 und dem Dauerstaubereich) noch überströmt, erfolgt die Abgabe über BW II. Findet keine Überströmung mehr statt, wird BW III geöffnet, um diesen Betrag wird BW II geschlossen, um das Steuerziel am Pegel Bennungen zu halten. Bei Unterschreitung der Höhe der Überlaufscharte erfolgt die Entleerung des Beckens 4 über eine, unter der Helme zur Nebenhelme geführte Dükerleitung (Verbindung zw. Becken 3 und 4), und damit über die Steuerung des BW III.
- Die Mindestabgabe am BW I ist auf 0,1 m³/s und die höchste Abgabemenge auf 1,5 m³/s festgelegt.
- Im Hochwasserfall gibt es keine feste zuflussabhängige Regel, sondern die Steuerung erfolgt operativ (z. B. Vorgabe HVZ). Außerhalb von Hochwassereignissen wird die Steuerung wie folgt vorgenommen:
 - November bis April (Stausee ist leer – Winterbetrieb): Die Helme fließt durch die geöffneten Schütze durch BW II. Das Verteilerbauwerk Nebenhelme ist für Durchflüsse zwischen 0.5-2.0 m³/s geöffnet (Nebenhelme Ableitung über BW III). BW I ist bis maximal 1.5 m³/s ebenfalls geöffnet.
 - April bis Mai (Einstauphase): Das Verteilerbauwerk Nebenhelme ist für Durchflüsse zwischen 0.5 -2.0 m³/s geöffnet (Nebenhelme BW III). Die Überschusswassermenge der Helme wird zur Befüllung in den Dauerstaubereich geleitet. BW II ist geschlossen. BW I ist auf die Mindestabgabe von 0.1 m³/s eingestellt.
 - Mai bis September (Sommerstau): Gemäß wasserrechtlicher Nutzungsgenehmigung zum Aufstau und zur Umleitung der Helme (Nebenhelme) vom 01.04.1986 werden alle Zuflüsse bis 1.6 m³/s im Verhältnis 1:1 in Helme und Nebenhelme (BW III) aufgeteilt (Nebenhelme= Mindestwasserführung und Dauerstaubereich= Verdunstungsausgleich). Bei größeren Helmezufüssen erfolgt die Ableitung über die Nebenhelme und damit über BW III. BW II ist i. d. R. aus Gewässergütegründen geschlossen. BW I ist auf die Mindestabgabe von 0.1 m³/s eingestellt.
 - Herbst bis 15.11. (Abstauphase): Die Helme wird über die Nebenhelme und damit über BW III geleitet. BW II ist zur Entleerung des Dauerstaubereiches geöffnet. Abgabe erfolgt unter Beachtung Pegel Bennungen (Durchflussmenge Helme unterhalb Stausee) und unter Berücksichtigung von Güteanforderungen (z. B. Sauerstoffkonzentration, Schweb-

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

stoffführung). Die vollständige Entleerung (Beckeninhalt < 1.0 Mio. m³) erfolgt über BW I. Die maximale Abgabe am BW I ist dabei auf 1.5 m³/s begrenzt.

1.3.2 Modellannahmen Talsperre Kelbra

Die Talsperre Kelbra kann nur sehr vereinfacht im Modell abgebildet werden. Die Aufteilung nach dem Pegel Görsbach erfolgt stark vereinfacht als Modellannahme 50 % in Nebenhelme, 50 % in Helme. Die Talsperre an sich wird im Modell nur über den Dauerstaubereich (Beckenpegel 1 und Beckenpegel 2) abgebildet. Für die Steuerung des Talsperrenablaufs wurden die minimalen/maximalen Auslaufkapazitäten der beiden Grundablässe in Abhängigkeit vom Speicherinhalt des Bauwerks I verwendet (siehe Abbildung 31). Eine Abbildung der Steuerung über Bauwerk I und II konnte im Modell nicht abgebildet werden. Somit wurde der Abfluss aus der Talsperre mit der Auslasssteuerungsregel von Bauwerk I zu 50 % an Auslauf von Bauwerk I und 50 % an den Auslauf von Bauwerk II aufgeteilt. Vom Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt wurden die errechnete Abgabe aus Bauwerk I und Bauwerk II bereitgestellt, welche in Abbildung 32 dem simulierten Ablauf aus der Talsperre gegenübergestellt wird.

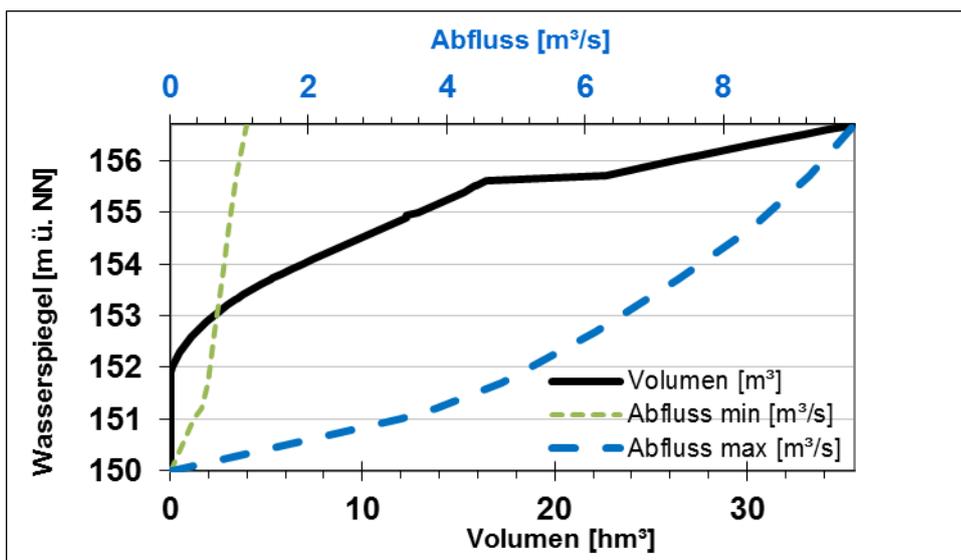


Abbildung 31: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Talsperre Kelbra

1.3.3 Wirkungsnachweis Talsperre Kelbra

Für den Wirkungsnachweis der Talsperre im Modell wurden die Pegel Görsbach und Berga eingespeist. Die Wirkungskontrolle erfolgt anhand des gemessenen Talsperreninhalts des Dauerstaubereichs (Inhalt Dauerstau) im Vergleich zum simulierten Talsperreninhalt (Speicherinhalt) und anhand der vom TSA bereitgestellten „errechneten Abgabe gesamt“ im Vergleich zum simulierten Ablauf.

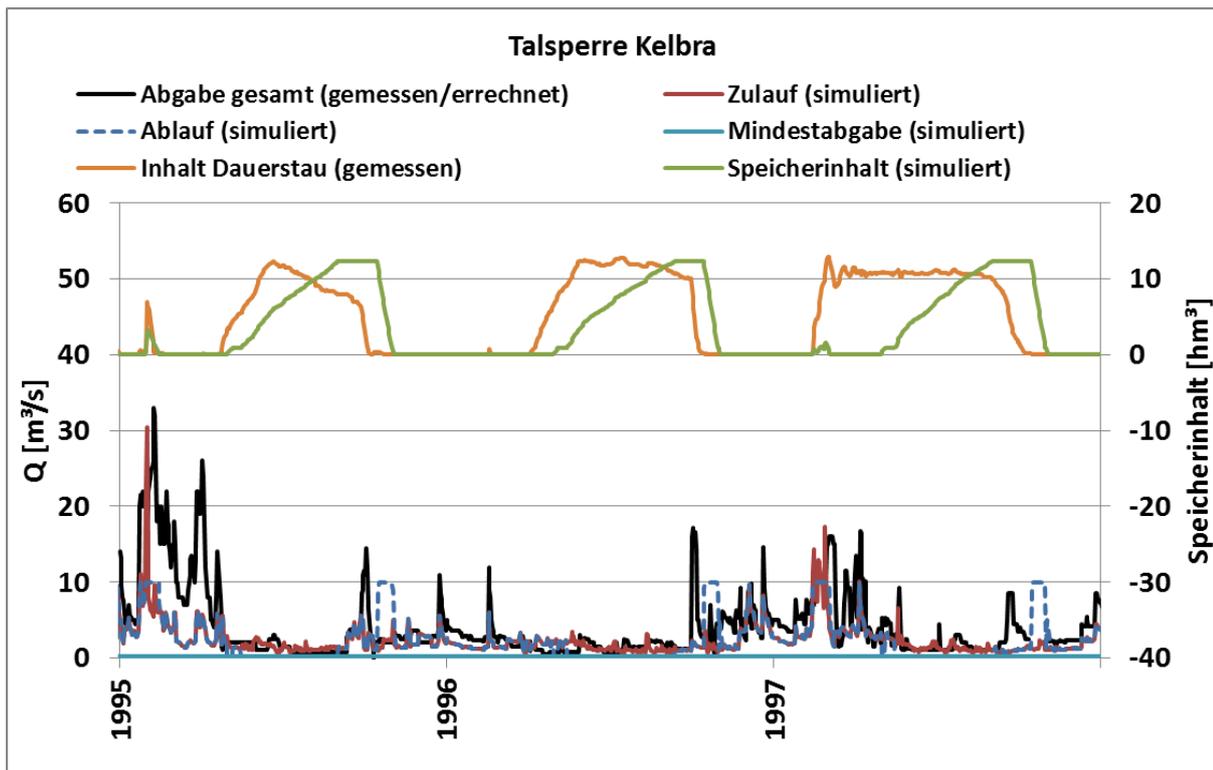


Abbildung 32: Wirkung der Talsperre Kelbra

Die Wirkung der Talsperre wird am Pegel Bennungen gezeigt (siehe Abbildung 33). Hier wird die gemessene Ganglinie mit der simulierten Ganglinie ohne Talsperre und mit Talsperre gezeigt. Ohne Talsperre beträgt die Effizienz nach Nash-Sutcliffe 0.4 [-], mit im Modell integrierter Talsperre zeigt sich eine deutlich bessere Anpassung mit einer Effizienz von 0.6 [-]. Die Hochwasserspitzen werden durch die in das Modell integrierte Talsperre abgemindert, aber sind am Pegel Bennungen trotzdem höher als die gemessenen Werte.

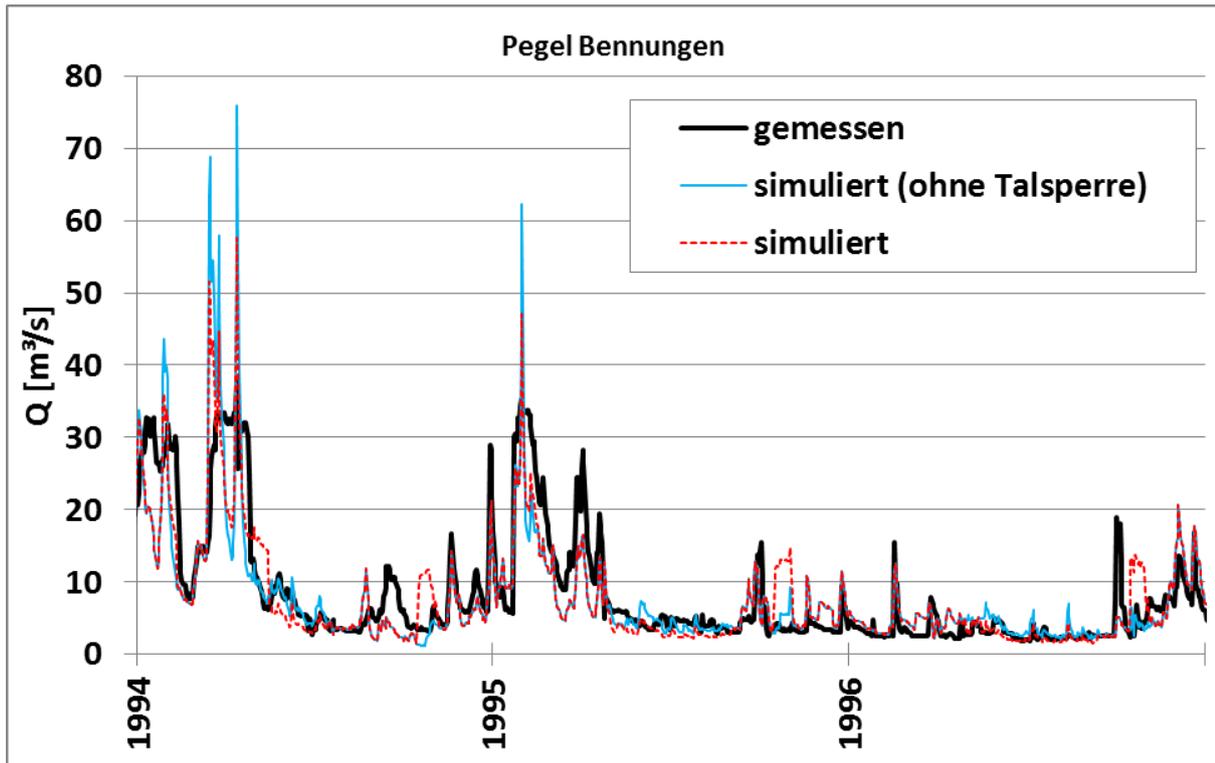


Abbildung 33: Wirkung der Talsperre Kelbra am Pegel Bennungen

1.4 Talsperre Wippra

Die Talsperre Wippra wurde 1952 als Vorsperre für eine wesentlich größere Hauptsperre errichtet. Damit sollte Brauchwasser für die Mansfelder Kupferverhüttung bereitgestellt werden. Allerdings kam es nie zum Bau der Hauptsperre, da der Wasserverbrauch letztlich nicht so hoch war. Damit hat die jetzige Talsperre allerdings keine richtige Funktion. Für den Hochwasserschutz hat sie eine zu geringe Größe und Brauchwasser wird nicht mehr in dieser Menge benötigt. So wird lediglich noch Energie erzeugt, allerdings auch nur in geringem Maße. Der Zufluss ist die Wipper. Sie wird von der 25m hohen Gewichtsstaumauer gestaut. Die Hochwasserentlastung ist ein Kronenüberlauf mit vier gleichen Feldern, wobei in der Mitte der Staumauer der Wasserentnahmeturm außen an der Mauer angebracht ist. Aufgrund des geringen Hochwasserschutzes wird direkt nach der jetzigen Talsperre ein zusätzliches Hochwasserrückhaltebecken gebaut (in Planung), um den Hochwasserschutz für die Stadt Wippra wesentlich zu verbessern (http://www.talsperren.net/Sachsen-Anhalt/Talsperre_Wippra/talsperre_wippra.html).

Abbildung 34 zeigt die Lage der Talsperre Wippra mit den Pegeln Wippra Zulaufpegel, Wippra Beckenpegel und Wippra Ablaufpegel.

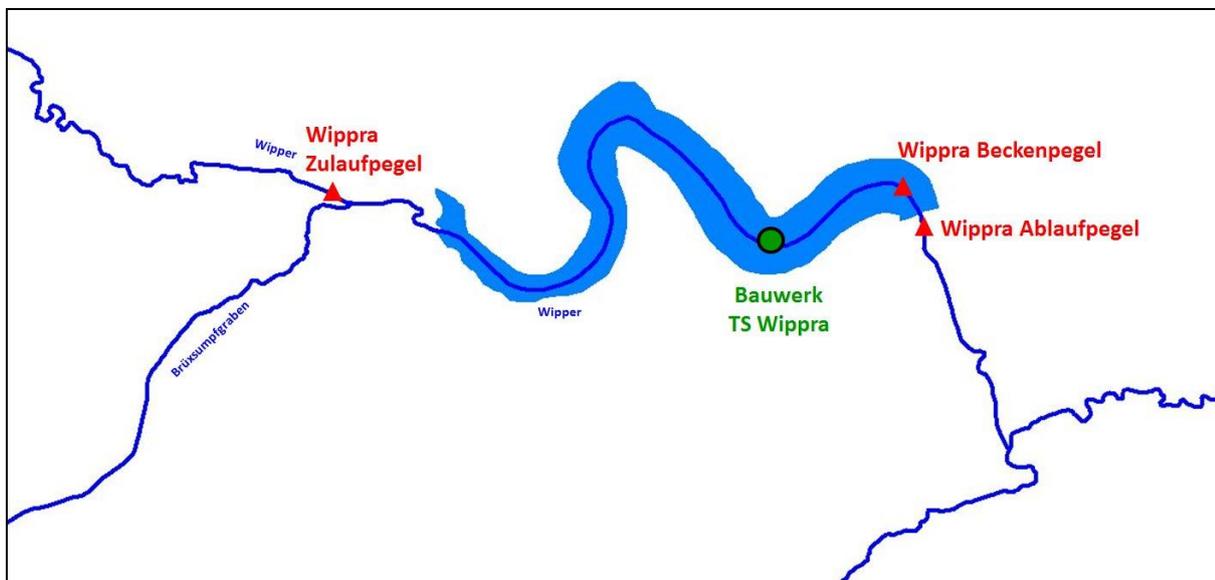


Abbildung 34: Karte Talsperre Wippra

1.4.1 Eingangdaten Talsperre Wippra

Tabelle 11: Kennwerte für die Talsperre Wippra

Nr	10		
Name	Talsperre Wippra		
gestautes Gewässer	Wipper		
EZG km²	71.4		
Stauhöhe HHW in m ü. NN	293.50		
Stauraum Gesamt in hm³	2.21		
Stauhöhe Vollstau in m ü. NN	292.80		
Stauraum Vollstau in hm³	2.00		
Stauhöhe Stauziele in m ü. NN	Wi= 288.645	So= 292.095	
Stauraum nach Stauzielen in hm³	Wi = 1.00	So = 1.80	
gewöhnlicher HWR in hm³	Wi= 1.00	So= 0.20	
Staufläche Stauziel in ha	24.00	30.00	
Stauziel Zeitraum	01.11.-30.04.	01.05.-31.10.	
max. Grundablassleistg. m³/s	GA: 2.6	Turbine 0.12	
Qmin m³/s	0.15 m ³ /s		

Vom Talsperrenbetrieb Sachsen-Anhalt wurden folgende Daten übergeben:

- Kennwerte Talsperre Wippra (siehe Tabelle 11)
- Stauflächenlinie
- Einbauskizze Grundablass TS Wippra
- Speicherinhaltslinie Beckenpegel m ü. NN und Beckeninhalt in m³ (TSWippraPegellinhalt.xlsx)
- Messdaten Speicherinhalt, Zulauf, Abgabe ab 01.01.2000-10.07.2013 (Wippra_Zufluss_Speicher_Abfluss_ab2000.xls).

1.4.2 Modellannahmen Talsperre Wippra

Aus den verfügbaren Eingangsdaten wurde für das Modell die Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung für die Talsperre Wippra abgeleitet (Abbildung 35).

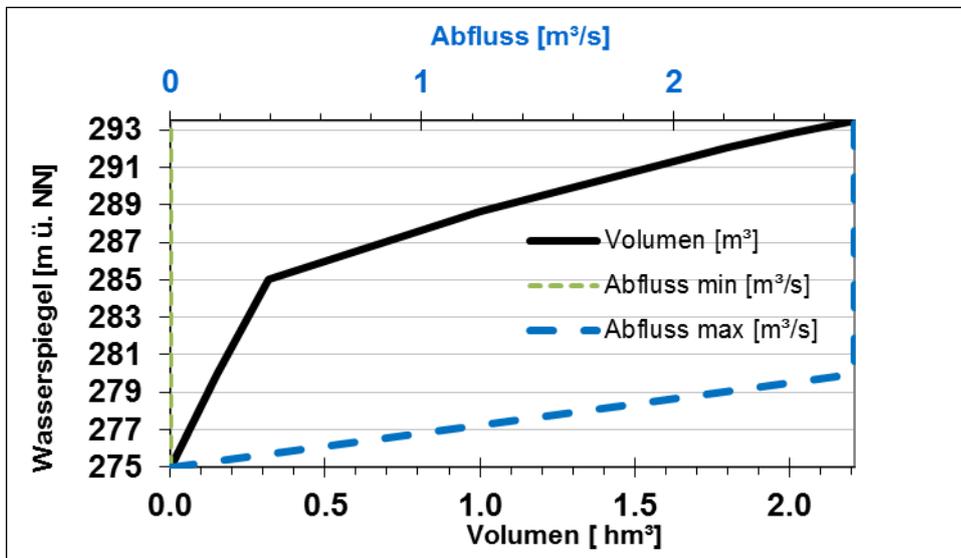


Abbildung 35: Speicherinhaltslinie und WQ-Beziehung Talsperre Wippra

1.4.3 Wirkungsnachweis Talsperre Wippra

Der Wirkungsnachweis für die Modellannahmen der Talsperre Wippra kann zum einen über den gemessenen Beckenpegel im Vergleich zu dem simulierten Wasserstand und zum anderen über die gemessene Abgabe erfolgen (siehe Abbildung 36). Der gemessene Beckenpegel entspricht für 2011 dem Verlauf des Sollwasserstandes, also wurde 2011 die Talsperre nach den Regelsollwasserständen gesteuert. Im Jahr 2000 weicht der gemessene Beckenpegel vom Sollwasserstand ab, d. h. die Talsperre wurde anders gesteuert.

Durch die in das Modell integrierte Talsperre werden die Hochwasserspitzen des simulierten Zulaufs abgemindert und in der Talsperre gespeichert.

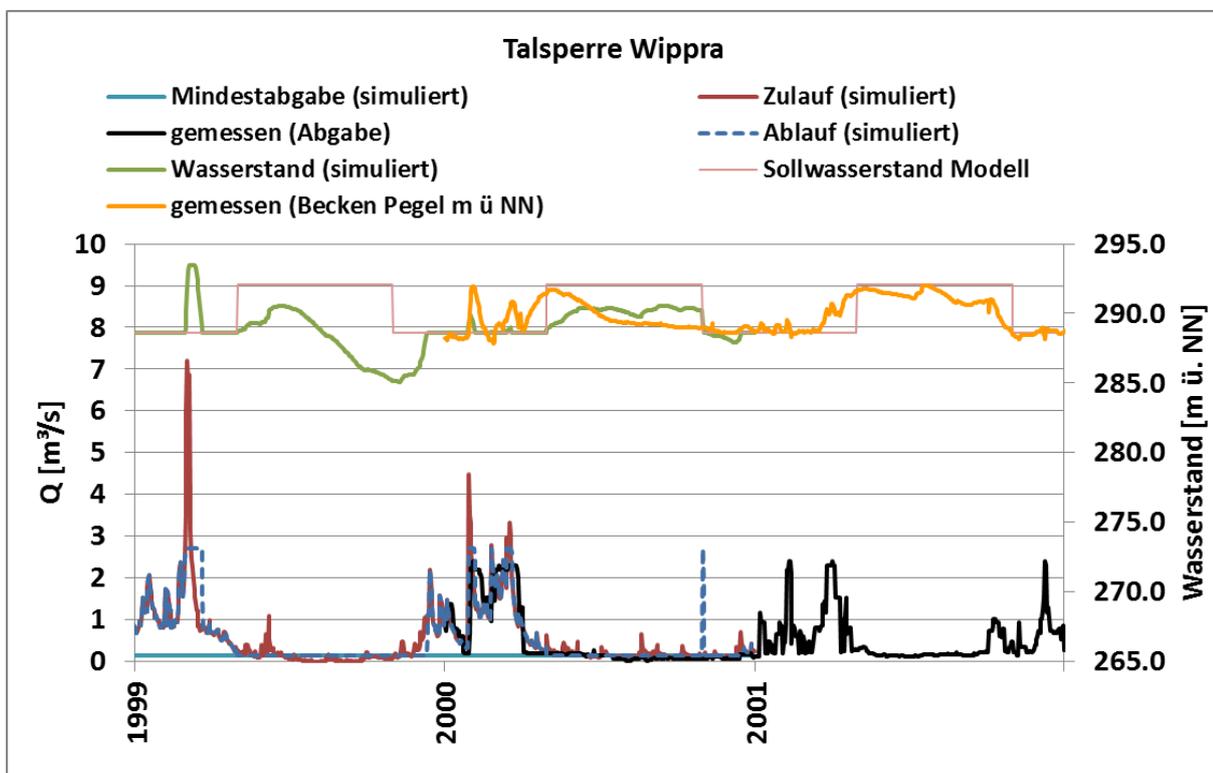


Abbildung 36: Wirkung der Talsperre Wippra

In Abbildung 37 ist der simulierte Abfluss mit und ohne integrierter Talsperre dargestellt. Die Hochwasserspitzen werden deutlich abgemindert und der Verlauf der gemessenen Werte, bis auf eine Hochwasserspitze Ende Oktober 2000 (entsteht durch das Absenken des Sollwasserstandes Sommer zu Sollwasserstand Winter), nachgebildet.

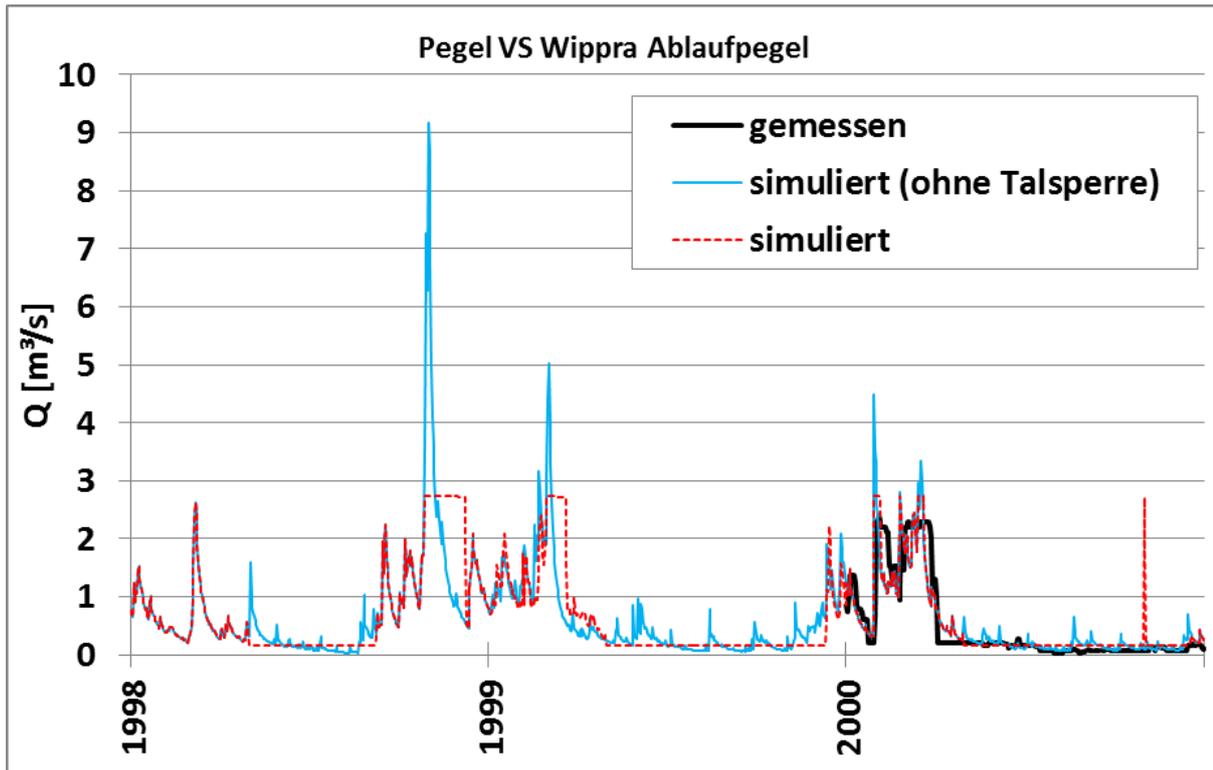


Abbildung 37: Wirkung der Talsperre Wippra am Pegel VS Wippra Ablaufpegel

Aufteilungen

2 Aufteilungen

2.1 Wormke Abschlag Wormsgraben

Im Modell liegt eine Abflussaufteilung in der Wormke vor, welche durch Angaben vom LHW und dem Unterhaltungsverband „Ilse/Holtemme“ für das Modell präzisiert wurden (siehe folgende Seite). Die Aufteilung der Wormke teilt den Abfluss zwischen dem Einzugsgebiet der Zillierbachtalsperre und dem des HW-Schutzbeckens Kalte Bode auf.

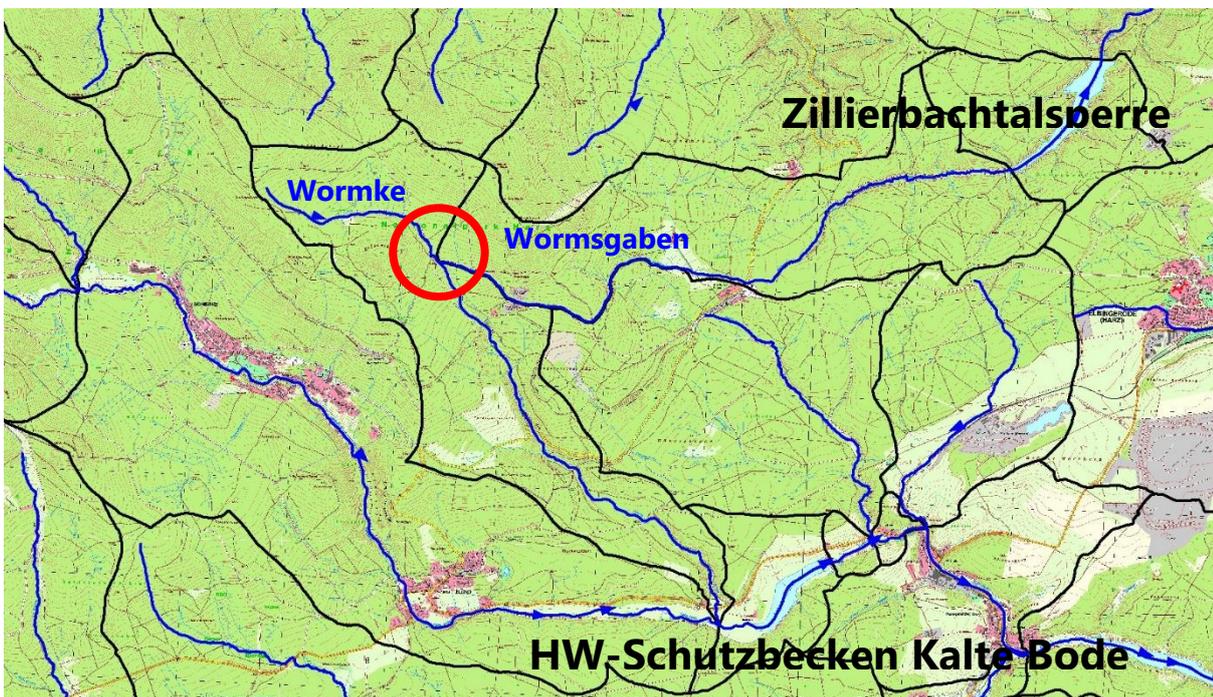


Abbildung 38: Karte Wormke / Wormsgraben

Ermittlung hydrologischer Bemessungs- und Bewirtschaftungsgrundlagen

„In der Wormke (Gewässer 2. Ordnung) befindet sich ein Abschlagwehr, mit welchem das Dargebot bis ca. MHQ in den Wormsgraben abgeschlagen werden kann. Größere Wassermengen als MHQ verbleiben in der Wormke (AE Kalte Bode). Der Wormsgraben ist partiell undicht und weist Versickerungsverluste auf, die ebenfalls im AE Kalte Bode verbleiben. Eine Steuerungsvorschrift ist nicht bekannt.“ (Angaben von Herrn E. Werner, FlussbereichsleiterLHW). Der MHQ wurde für den Zeitraum 1971-2000 mit dem aktuellen Modell berechnet ($0.32 \text{ m}^3/\text{s}$) und eine entsprechende Aufteilungsregel in das Modell integriert).

Die Wormke kommt vom Brockenmassiv. An der Spinne unterhalb des Weges zum Hohnehof ist das Bett der Wormke mit einer aus Natursteinen gemauerten Überlaufschwelle $h = 0.3 \text{ m}$ vollständig abgeriegelt. Das Wasser fließt außer bei Wasserständen $> 0.3 \text{ m}$ vollständig nach links in den Wormsgraben ab. Der Wormsgrabeneinlauf ist mit einem Einlaufbauwerk IW 1.0 m versehen. Der Zulauf ist durch Bohlen in 2 Schienen laufend verschließbar. Allerdings fehlen die Bohlen oder eine Schützentafel vollständig. (Angaben von Frau U. Enders, Unterhaltungsverband „Ilse/Holtemme“).



Abbildung 39: Abschlag Wormsgraben schematisch (Fotos von Unterhaltungsverband „Ilse/Holtemme“)

