

Anlagenband

Schriftenreihe des LfULG, Heft 32/2014

Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen

KliWES

Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen

Wasserhaushaltsberechnungen für den
Ist-Zustand und verschiedene Klima- bzw.
Landnutzungsszenarien

Anlagenband

Projektbearbeitung:

Dr. Robert Schwarze, Corina Hauffe, Agnes Baldy, Dr. Peter Winkler,
Dr. Werner Dröge, Dr. Michael Wagner, Patric Röhm

Projektbegleitung:

Karin Kuhn, Kathleen Lünich, Christina Steinl,
Elisabeth Böhm, Philipp Gründl, Holm Friese

Inhalt

1	Datengrundlagen	7
1.1	Hydrologische Daten – Talsperren	7
1.2	Datengrundlage: Räumliche Verteilung des Grundwasserflurabstandes	7
1.3	Landnutzung.....	9
1.4	Stadtflächen	11
2	Wasserhaushaltsmodell	13
2.1	Darstellung der Landnutzung in ArcEGMO	13
2.1.1	Landnutzungstypen und Wachstumsmodelle	14
2.1.2	Erforderliche Datengrundlage für VEGEN	15
2.1.3	Fazit.....	19
2.2	Aufbau der Modelle	19
2.3	Untersuchung zur Mindestgröße der Hydrotope.....	21
3	Sensitivitätsanalyse	26
4	Kalibrierung und Regionalisierung	34
4.1	Kalibrierte Parameter und deren Gütemaße.....	34
4.2	Regionalisierung der Modellparameter.....	40
5	Sachsenweite Darstellung der Wasserhaushaltsgrößen	43
	Literaturverzeichnis	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung A1:	Simulierte Teilprozesse des Bodenwasserhaushaltes (KLÖCKING 2008)	13
Abbildung A2:	Räumliche Verteilung der Baumartengruppen innerhalb Sachsens	16
Abbildung A3:	Gebietsstrukturen in Sachsen (WINKLER et al. 1999).....	18
Abbildung A4:	Vergleich Rechenzeit von 45 Simulationsjahren mittels ArcEGMO und der Anzahl der Elementarflächen bei verschiedenen Mindestgrößen	23
Abbildung A5:	Vergleich der sieben häufigsten Bodenarten bei unterschiedlicher Mindestgröße im Testgebiet Ebersbach	24
Abbildung A6:	Vergleich der fünf häufigsten Landnutzungstypen bei unterschiedlicher Mindestgröße im Testgebiet Ebersbach	25
Abbildung A7:	Mittlere Jahresgänge des Gesamtabflusses am Pegel Zescha; die Legende zeigt nur die minimale und die maximale Parametrisierung sowie den Standardwert und den Vergleichswert aus Messwerten am Pegel; gepunktet dargestellt sind die Jahresmittelwerte von ArcEGMO (grau) und DIFGA (schwarz)	28
Abbildung A8:	Mittlere Jahresgänge der Evapotranspiration am Pegel Zescha; die Legende zeigt nur die minimale und maximale Parametrisierung sowie Standardwert und gestrichelten Vergleichswert (DIFGA); gepunktet dargestellt sind die Jahresmittelwerte von ArcEGMO (grau) und DIFGA (schwarz).....	30
Abbildung A9:	Mittlere Jahresgänge der Gesamtperkolations unterhalb des Bodens am Pegel Zescha; die Legende zeigt nur die minimale und maximale Parametrisierung sowie Standardwert und gestrichelten Vergleichswert; gepunktet dargestellt sind die Jahresmittelwerte von ArcEGMO (grau) und DIFGA (schwarz).....	31
Abbildung A10:	Mittlere Jahresgänge des Zuflusses zum schnellen Basisabflussspeicher am Pegel Zescha; die Legende zeigt nur die minimale und maximale Parametrisierung sowie Standardwert und gestrichelten Vergleichswert; gepunktet dargestellt sind die Jahresmittelwerte von ArcEGMO (grau) und DIFGA (schwarz).....	32
Abbildung A11:	Mittlere Jahresgänge des Zuflusses zum langsamen Basisabflussspeicher am Pegel Zescha; die Legende zeigt nur die minimale und maximale Parametrisierung sowie Standardwert und gestrichelten Vergleichswert; gepunktet dargestellt sind die Jahresmittelwerte von ArcEGMO (grau) und DIFGA (schwarz).....	33
Abbildung A12:	Mittlere Jahressummen (links 1961–1990, rechts 1981–2010) der Grundwasserkomponente RG des Ist-Zustandes auf den sächsischen Teileinzugsgebietsflächen	43
Abbildung A13:	Mittlere Jahressummen (links 1961–1990, rechts 1981–2010) der schnellen Grundwasserkomponente RG1 des Ist-Zustandes auf den sächsischen Teileinzugsgebietsflächen	43
Abbildung A14:	Mittlere Jahressummen (links 1961–1990, rechts 1981–2010) der langsamen Grundwasserkomponente RG2 des Ist-Zustandes auf den sächsischen Teileinzugsgebietsflächen	44
Abbildung A15:	Mittlere Jahressummen (links 1961–1990, rechts 1981–2010) der schnellen Abflusskomponente RS des Ist-Zustandes auf den sächsischen Teileinzugsgebietsflächen	44
Abbildung A16:	Mittlere Jahressummen (1961–2100) der schnellen Grundwasserkomponente RG1 der Realisierung 66 auf den sächsischen Teileinzugsgebietsflächen.....	45
Abbildung A17:	Mittlere Jahressummen (1961–2100) der langsamen Grundwasserkomponente RG2 der Realisierung 66 auf den sächsischen Teileinzugsgebietsflächen.....	46
Abbildung A18:	Mittlere Jahressummen (1961–2100) der Abflusskomponente RS der Realisierung 66 auf den sächsischen Teileinzugsgebietsflächen	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle A1:	Liste der erforderlichen Stauraumaufteilungs- und Bewirtschaftungsdaten für die Einbindung der Speicherbauwerke in ArcEGMO	7
Tabelle A2:	Schlüssel zur Generalisierung der Landnutzung (ATKIS-DLM), verbessert.....	10
Tabelle A3:	Liste der Städte, für welche weitere Parameter (Versiegelungs- und Anschlussgrad, Kanalisationsart) angegeben werden (GENESIS 2011, online).....	11
Tabelle A4:	Übersicht über Vegetationsmodelle in ArcEGMO mit Angaben zu Vor- und Nachteilen (ohne 4C)	15
Tabelle A5:	Baumarten in Baumartengruppen zusammengefasst	17
Tabelle A6:	Strukturtable der Teileinzugsgebiete	19
Tabelle A7:	Strukturtable der Hydrotöpfe	20
Tabelle A8:	Strukturtable der Fließgewässer	21
Tabelle A9:	Strukturtable zum Knotenschema	21
Tabelle A10:	Anzahl der Elementarflächen in Abhängigkeit der Mindestgröße für die Elementarflächen	22
Tabelle A11:	Auswirkungen der verschiedenen Mindestgrößen hinsichtlich der Gütekriterien des Durchflusses und des Restgliedes.....	25
Tabelle A12:	Parameter der Sensitivitätsuntersuchung	26
Tabelle A13:	Sensitive Parameter für verschiedene Ergebnisgrößen in ArcEGMO; Bedeutungen der Symbole: - keine, + wenig, ++ mittlere, +++ hohe Sensitivität.....	30
Tabelle A14:	Werte der kalibrierten Parameter	34
Tabelle A15:	Gütemaße der Kalibrierung.....	37
Tabelle A16:	Koeffizienten der Regressionsanalyse für Magmatite	41
Tabelle A17:	Koeffizienten der Regressionsanalyse für Metamorphite	41
Tabelle A18:	Koeffizienten der Regressionsanalyse für Lockergestein	41
Tabelle A19:	Koeffizienten der globalen Regressionsbeziehung für e_{norm}	41

Abkürzungsverzeichnis

BKkonz	Bodenkonzeptkarte im Maßstab 1 : 25.000
BÜK200	Bodenübersichtskarte im Maßstab 1 : 200.000
CG1	Rückgangskonstante des kurzfristigen unterirdischen Grundwasserabflusses
CG2	Rückgangskonstante des langfristigen unterirdischen Grundwasserabflusses
DEF	Bilanzfehler
DIFGA	Differenzenganglinienanalyseverfahren
EFL	Elementarflächen
ETR	Reale Evapotranspiration
FGW	Fließgewässer
GWKZ	Gewässerkennzeichen
HAD	Hydrologischer Atlas Deutschland
KA5	Bodenkundliche Kartieranleitung 5. Auflage
KliWES	Klimawandel und Wasserhaushalt
LAI	Blattflächenindex
P	Niederschlag
PHU	potential heat units = benötigte Wärmesummen bis zum Erreichen der Reife (pflanzen-spezifisch) [K]
PSCN	Plant-Soil-Carbon-Nitrogen Model
Q	Gesamtabfluss
QD	Direktabfluss
QG1	Schneller Grundwasserabfluss
QG2	Langsamer Grundwasserabfluss
RD	Zufluss zum Direktabfluss
REST	Restglied der DIFGA-Analyse, bestehend aus Verdunstung und Änderung der verdunstungs-wirksamen Bodenfeuchte
RG1	Zufluss zum schnellen Grundwasserspeicher
RG2	Zufluss zum langsamen Grundwasserspeicher
SG1grenz	Aufteilungsparameter des Grundwasserspeichers
TG	Teileinzugsgebiet
VEGEN	Generisches Vegetationsmodell

1 Datengrundlagen

1.1 Hydrologische Daten – Talsperren

Tabelle A1: Liste der erforderlichen Stauraumaufteilungs- und Bewirtschaftungsdaten für die Einbindung der Speicherbauwerke in ArcEGMO

Stauziele:	Tiefstes Absenckziel (ZT)
	Absenckziel (ZA)
	Stauziel (ZS)
	Vollstau (ZV)
	Hochwasserstauziel (ZH1)
	Hochwasserstauziel (ZH2)
Speicherräume	Totraum (T)
	Reserveraum (R)
	Betriebsraum (BR)
	gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum (GHR)
	außergewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum (AHR)
natürlicher Gesamtzufluss (Z)	
Trinkwasserabgabe (TWA)	
Brauchwasserabgabe (BWA)	
Wildbettaabgabe (W)	
Speicherinhaltslinie	
W-Q-Beziehung der HWE	
Maximaler schadloser Abfluss	

1.2 Datengrundlage: Räumliche Verteilung des Grundwasserflurabstandes

Neben der Festlegung der Leitböden für die nicht belegten Flächen der BKkonz (Maßstab 1 : 25.000) ist auch die sachsenweite Ergänzung der Grundwasserflurabstände (GW-Flurabstände) erforderlich. Sie werden für die Wasserhaushaltsberechnungen mit ArcEGMO benötigt. Die BKkonz enthält für einen Teil der sächsischen Fläche Angaben zu den GW-Flurabständen. Für Flächen außerhalb Sachsens liegen keine Daten vor. Die fehlenden Informationen müssen sinnvoll abgeleitet bzw. aus anderen Datengrundlagen übernommen werden. In diesem Zusammenhang wurden am IHM der TU Dresden verfügbare Kartenmaterialien auf ihre Nutzbarkeit geprüft und, soweit möglich, für die Erstellung einer flächendeckenden Grundwasserflurabstandskarte verwendet. Folgende Datengrundlagen wurden herangezogen:

- Sachdaten aus BKkonz und BSA200
- Digitaler Hydroisohypsenplan für Lockergesteinsbereiche
- Rasterdaten (50 m x 50 m) der Grundwasseroberfläche der HyK50-Kartierung

Der sächsische Bodenatlas (LfULG 2007, Karte; LfUG 2007) erwies sich für die Ableitung von Grundwasserflurabständen als geeignet. Er enthält Angaben der mittleren Grundwasserhöchst- und Grundwasserniedrigstände in Dezimetern (MHGW bzw. MNGW), die aus den Go- und Gr-Horizonten (G = Grundwasser, o = oxidiert, r = reduziert) der Bodenprofile abgeleitet wurden. Dementsprechend weist er nur GW-Flurabstände für grundwassernahe Flächen (z. B. Auen) aus. Alle anderen Flächen enthalten Fehlwerte und werden nicht weiter berücksichtigt. Nach der Mittelwertbildung, welcher als MGW bezeichnet wird, erfolgt die Verschneidung mit der bearbeiteten BKkonz. Flächen, die eine Angabe zum Grundwasserflurabstand aus der ursprünglichen BKkonz wie auch aus dem Bodenatlas aufweisen, erhalten im Ergebnis den Wert des sächsischen Bodenatlas, welcher aufgrund seiner Aktualität und genaueren Angaben des Grundwasserflurabstandes unterhalb 20 dm (LfUG 2007) bevorzugt wird. Flächen, welche nach der Verschneidung der beiden Kartengrundlagen keinen Grundwasserflurabstand aufweisen, werden zunächst als grundwasserfern eingeordnet. Ihnen wird ein Wert von 100 dm zugewiesen. Die betreffenden Flächen befinden sich überwiegend in Festgesteinsgebieten. Weil der Bodenatlas für außerhalb Sachsens gelegene Flussauen keine Werte ausweist, diese Flächen aber nicht als grundwasserfern deklariert werden sollen, erhalten sie einen mittleren Grundwasserflurabstand. Dieser errechnet sich aus allen grundwassernahen Flächen (Grundwasserflurabstand < 20 dm) des betreffenden Flusseinzugsgebietes.

Die in den Lockergesteinsgebieten Sachsens zur Verfügung stehenden Hydroisohypsen (Bearbeitungsstand: 12/2007) mussten zunächst in GW-Flurabstände überführt werden, weil sie als Höhenangaben über NN erfasst sind. Der Hydroisohypsenplan liegt als Raster und auch als Isolinien-Shape vor. Die Ableitung der GW-Flurabstände aus den Rasterdaten erfolgte, in dem diese vom digitalen Geländemodell (DGM) subtrahiert wurden. Neben den zu erwartenden positiven Werten traten bei einer ganzen Reihe von Rasterzellen auch negative Werte von mehreren Metern auf. Das heißt, dass sich diese Werte oberhalb der Geländeoberfläche befinden. Das pauschale Ersetzen dieser negativen Werte durch null ist zwar möglich, führte aber automatisch zu oberflächennahem Grundwasser und nicht zu einer besseren Anpassung der Flurabstände an die örtlichen Gegebenheiten. Die ortsabhängige Korrektur dieses Fehlers wurde als sehr zeitaufwendig eingeschätzt, weswegen sich die Hydroisohypsen als nicht geeignet für die Ableitung der Grundwasserflurabstände erwiesen.

Die Grundwasserflurabstandskarten (LfULG 2004, Karte; Bearbeitungsstand: 3/2002 bis 5/2004) sind als „Nebenprodukt“ der Hydrogeologischen Spezialkarten (Hyk50) entstanden und erwiesen sich als teilweise geeignet. Die Daten liegen als 50 m x 50 m (zum Teil auch als 20 m x 20 m) Raster für die Räume Meißen/Freiberg, Radeburg, Chemnitz/Zwickau, Olbernhau, Dresden, Döbeln/Flöha, Riesa und Zittau vor. Durch das LfULG wurde mitgeteilt, dass die in den Festgesteinsgebieten berechneten Werte der Hyk50 zum Teil stark von den gemessenen abweichen. Daher werden die Informationen nur nachrangig verwendet. Das heißt, dass bei Vorliegen von Daten des sächsischen Bodenatlas oder der BKkonz diese bevorzugt werden.

Ein stichprobenartiger Abgleich der Passfähigkeit der GW-Flurabstände aus den verschiedenen Datengrundlagen kann nur für den Bereich zwischen null und zwei Metern vorgenommen werden, weil der sächsische Bodenatlas und die BKkonz für tieferliegende Wasserstände keine Angaben enthalten. Im Vergleich mit den belegten, grundwassernahen Flächen dieser beiden Kartengrundlagen konnte festgestellt werden, dass die GW-Flurabstände aus der Hyk50 tendenziell etwas größere Werte aufweisen. Die Passfähigkeit für grundwassernahe Flächen wird dennoch als hinreichend genau befunden. Für grundwasserferne Flächen werden die Daten der Grundwassermessstellen für den Abgleich herangezogen. Die Messstellen befinden sich überwiegend in Lockergesteinsgebieten, welche in etwa dem sächsischen Tiefland und den Gebirgsvorländern entsprechen. In den Festgesteinsgebieten liegen nur sehr vereinzelt Messstellen vor, welche zur Überprüfung der GW-Flurabstände in diesen Bereichen genutzt werden können. Weil die nicht belegten Flächen zuvor

einen Wert von 100 dm erhalten haben und damit als Grundwasserfern bezeichnet werden können, werden darüber hinausgehende Werte aus den Grundwasserflurabstandskarten nicht verwendet.

Im Ergebnis stehen flächendeckende mittlere GW-Flurabstände und auch die mittleren GW-Niedrigststände zur Verfügung.

1.3 Landnutzung

Als Datengrundlage wurde ATKIS-DLM genutzt, das eine Vielzahl an Objektarten, die für die sachsenweite Berechnung des Wasserhaushaltes nicht benötigt werden und auch nicht sinnvoll parametrisiert werden können, besitzt. Dies bezieht sich auf Objektarten wie z. B. Brücke, Grenzübergang oder Autokino. Im Rahmen einer Generalisierung wurden diese Objektarten umgeschlüsselt, d. h. sie wurden flächendeckenden und in ihren Merkmalen ähnlichen Objektarten zugeordnet. SCHWARZE et al. (2010, Anlagenband) enthält eine Übersicht zur Umschlüsselung der Objektarten. Diese Tabelle wurde im Rahmen des Projektes erneuert, weil eine stärkere Generalisierung als bisher für sinnvoll erachtet wird. Es waren nach wie vor Landnutzungstypen enthalten, welche aufgrund ihrer geringen räumlichen Ausdehnung nur eine untergeordnete Rolle spielen und anhand der Objekteigenschaften schwer parametrisierbar sind.

Neben den schon erwähnten, irrelevanten Objektarten können auch Flächen der Objektart „4199; Fläche, z. Z. unbestimmbar“ nicht parametrisiert werden. Daher werden Flächen, welche größer sind als 50 000 m², manuell anhand von Satellitenaufnahmen sowie der TOP50 Sachsen (GeoSN 2012, Karte) auf ihre Nutzung überprüft und anschließend einer entsprechenden Objektart zugeordnet. Durch dieses Vorgehen soll vermieden werden, dass nach der Hydrotopbildung Flächen mit der Objektart 4199 auftreten. Zusätzlich wird eine Reihe von bisher in der Übersicht nicht vertretenen Objektarten ergänzt und gegebenenfalls umgeschlüsselt. Die Tabelle zur Umschlüsselung der Objektarten ist Tabelle A10 zu entnehmen.

Im Rahmen des Projektteils 1, Kernkomponente wurde in Abstimmung mit dem LfULG das ATKIS-DLM ausgewählt, um die Nutzung der gleichen Datengrundlage innerhalb der Projekte KliWES und Nährstoffatlas Sachsen (GEBEL et al. 2009) zu gewährleisten. „Die Wahl des ATKIS-DLM wurde dort [Nährstoffatlas Sachsen] nach einem Vergleich verschiedener Landnutzungsdaten getroffen. Durch die Verwendung gleicher Datengrundlagen soll die künftige Übernahme der KliWES-Daten in das Programm Stoffbilanz gewährleistet werden.“ (SCHWARZE et al. 2010) In diesem Zusammenhang wurde am IHM der TU Dresden ausschließlich die räumliche und inhaltliche Auflösung der Daten überprüft. Eine topologische Kontrolle der Daten wurde zunächst nicht vorgenommen. Im Verlauf der Hydrotopbildung wurden Ungereimtheiten festgestellt, die unter anderem eine Topologieüberprüfung der Datengrundlagen erforderten. Die dabei erkannten topologischen Fehler wurden in einer umfangreichen und zeitaufwendigen Korrektur bereinigt, um eine fehlerfreie Hydrotopbildung zu gewährleisten. Dies umfasst

- fehlende Polygone und daraus resultierende Lücken im ATKIS-DLM,
- sich an den Rändern leicht überlappende Polygone,
- sich überlagernde und geometrisch vollkommen identische Polygone mit verschiedenen Landnutzungstypen,
- sich überlagernde Polygone, wobei eine kleine Fläche innerhalb einer größeren Fläche liegt, ohne dass das größere Polygone die kleinere Fläche berücksichtigt,
- sich an den Rändern nicht berührende Polygone, wodurch schmale Lücken zwischen den Polygonen entstehen.

Im Fall der sich vollständig überlappenden Polygone mit unterschiedlichen Landnutzungstypen war eine Zuweisung der tatsächlich vorliegenden Landnutzung anhand verschiedener Kartengrundlagen erforderlich. Nach der Bereinigung der Topologiefehler steht je Modellgebiet ein Landnutzungs-Shape zu Verfügung.

Tabelle A2: Schlüssel zur Generalisierung der Landnutzung (ATKIS-DLM), verbessert

ATKIS-ID	Beschreibung	Reklassifizierungs-ID	Beschreibung Reklassifizierung
2101	Ortslage	2111	Wohnbaufläche
2111	Wohnbaufläche	2111	Wohnbaufläche
2112	Industrie- und Gewerbefläche	2112	Industrie- und Gewerbefläche
2113	Fläche gemischter Nutzung	2113	Fläche gemischter Nutzung
2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung	2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung
2126	Kraftwerk	2112	Industrie- und Gewerbefläche
2129	Kläranlage, Klärwerk	2112	Industrie- und Gewerbefläche
2201	Sportanlage	2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung
2202	Freizeitanlage	2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung
2211	Freilichttheater	2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung
2213	Friedhof	4103	Gartenland
2222	Sportplatz	4103	Gartenland
2223	Schießanlage	4103	Gartenland
2224	Schwimmbad, Freibad	5100	Wasserfläche
2226	Freizeitpark, Safaripark, Wildgehege	2113	Fläche gemischter Nutzung
2227	Grünanlage	4103	Gartenland
2228	Campingplatz	4103	Gartenland
2229	Autokino, Freilichtkino	2113	Fläche gemischter Nutzung
2301	Tagebau, Grube, Steinbruch	2301	Tagebau, Grube, Steinbruch
2302	Halde, Aufschüttung	2302	Halde, Aufschüttung
2314	Absetzbecken, Schlammteich, Erdfaulbecken	5100	Wasserfläche
2316	Turm	2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung
2319	Brunnen	5100	Wasserfläche
2325	Pumpe, Pumpstelle	2325	Pumpe, Pumpstelle
2332	Denkmal, Denkstein, Standbild	2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung
2345	Schwimmbecken	5100	Wasserfläche
3103	Straße	2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung
3301	Flughafen	2112	Industrie- und Gewerbefläche
3302	Flugplatz, Landeplatz	2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung
3303	Rollbahn	2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung
3304	Vorfeld	2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung
3501	Bahnhofsanlage	2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung

ATKIS-ID	Beschreibung	Reklassifizierungs-ID	Beschreibung Reklassifizierung
3502	Raststätte	2112	Industrie- und Gewerbefläche
3511	Grenzübergang	2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung
3514	Brücke, Überführung, Unterführung	2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung
4101	Ackerland	4101	Ackerland
4102	Grünland	4102	Grünland
4103	Gartenland	4103	Gartenland
4104	Heide	4103	Gartenland
4106	Sumpf, Ried	4106	Sumpf, Ried
4107	Wald, Forst	4107	Wald, Forst
4108	Gehölz	4107	Wald, Forst
4109	Sonderkultur	4109	Sonderkultur
4111	Nasser Boden	4106	Sumpf, Ried
4120	Vegetationslose Fläche	4120	Vegetationslose Fläche
4199	Fläche, z.Z. unbestimmbar	4199	Fläche, z.Z. unbestimmbar
5101	Strom, Fluß, Bach	5100	Wasserfläche
5102	Kanal (Schifffahrt)	5100	Wasserfläche
5103	Graben, Kanal (Wasserwirtschaft)	5100	Wasserfläche
5112	Binnensee, Stausee, Teich	5100	Wasserfläche
5302	Talsperre, Wehr	2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung
6211	Felsen, Felsblock, Felsnadel	4120	Vegetationslose Fläche
7211	Insel	5100	Wasserfläche

1.4 Stadtflächen

Tabelle A3: Liste der Städte, für welche weitere Parameter (Versiegelungs- und Anschlussgrad, Kanalisationsart) angegeben werden (GENESIS 2011, online)

Nummerierung	Stadt	Fläche [km ²]	EWZ pro km ²
1	Bautzen	11.4573	611
2	Chemnitz	79.4667	1101
3	Coswig	56.7633	836
4	Dresden	134.5887	1575
5	Freiberg	11.646	868
6	Görlitz	16.5598	832
7	Limbach-Oberfrohna	10.7996	510
8	Meißen	11.9292	896
9	Plauen	22.4945	650
10	Reichenbach	14.9754	688

Nummerierung	Stadt	Fläche [km²]	EWZ pro km²
11	Riesa	12.5761	583
12	Schneeberg	17.3494	666
13	Zwickau	32.7688	920

2 Wasserhaushaltsmodell

2.1 Darstellung der Landnutzung in ArcEGMO

Der Landnutzungstyp besitzt einen erheblichen Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt. Aus diesem Grund ist eine möglichst genaue Abbildung der Realität notwendig. Innerhalb des PSCN-Moduls, welches die Teilprozesse des Bodenwasserhaushaltes gemäß der Abbildung A1 simuliert, stehen vier Vegetationsmodelle unterschiedlicher Komplexität zur Verfügung. Als Vegetationsmodelle sind in ArcEGMO das Waldwachstumsmodell 4C, das generische Vegetationsmodell VEGEN sowie das dynamische und das statische Modell implementiert. Generell können die Vegetationsmodelle für jeden Landnutzungstyp verwendet werden, solange alle notwendigen Parameter zur Verfügung stehen. Für Flächen mit geringer innerjähriger Dynamik sind allerdings die einfacheren Modelle (statisches und dynamisches Modell) ausreichend.

Neben der Simulation der Teilprozesse des Bodenwasserhaushaltes wird der Ertrag sowie die Wasser- und Nährstoffaufnahme der Pflanzen errechnet. Allerdings werden im Rahmen von KliWES – Klimaprojektionen keine Stoffflüsse simuliert, daher wird im Modellaufbau die Ertragssimulation und die Nährstoffaufnahme der Pflanzen nicht berücksichtigt.

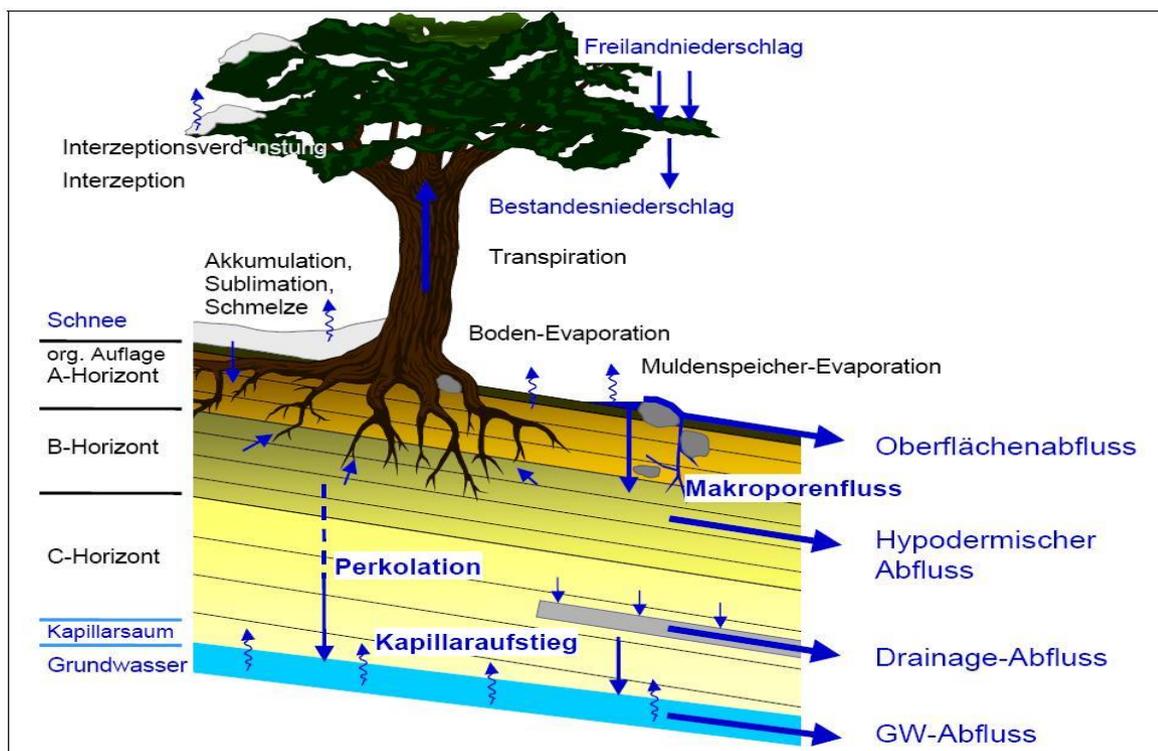


Abbildung A1: Simulierte Teilprozesse des Bodenwasserhaushaltes (KLÖCKING 2008)

2.1.1 Landnutzungstypen und Wachstumsmodelle

Für das Projekt KliWES waren drei der Modelle von Interesse: das generische Vegetationsmodell VEGEN, der statische und dynamische Ansatz. Das Waldwachstumsmodell 4C ist auf Grund der Begrenzung des temporären Speichers eines Rechners nur für kleinskalige Einzugsgebiete geeignet (KLÖCKING 2012).

Das Wachstum von Vegetation auf Acker- und Grünlandflächen kann durch das generische Vegetationsmodell VEGEN simuliert werden. Von Vorteil ist, dass Änderungen in den Umweltbedingungen, wie der Klimawandel, durch das Modell berücksichtigt werden. Allerdings entsteht zusätzlicher Arbeitsaufwand aufgrund der Vielzahl der Modellparameter für das Vegetationsmodells VEGEN, die recherchiert oder errechnet werden müssen. Des Weiteren ist hinsichtlich der VEGEN-Parameter darauf zu achten, dass diese Parameter für die Vereinigten Staaten von Amerika gültig sind, wodurch eine Anpassung der Parameter an sächsische Gegebenheiten notwendig ist. Um eine sachgerechte, sachsenweite Anwendung von VEGEN gewährleisten zu können, musste zunächst eine Recherche zu den notwendigen Parametern durchgeführt werden.

Vegetationen mit innerjährlicher Dynamik wie Ackerflächen, können mittels des dynamischen Modells berücksichtigt werden. Im dynamischen Modell werden Zeitfunktionen zur Beschreibung der innerjährlichen Dynamik der vegetationsspezifischen Parameter Wurzeltiefe und Blattflächenindex (LAI) vorgegeben (Gesteuertes Modell). Weitere Parameter (Albedo, Interzeptionsspeicher, Bedeckungsindex, Rauigkeit, Korrekturfaktor für die Verdunstung), die zur Simulation der Teilprozesse des Bodenwasserhaushaltes wichtig sind, werden als mittlere Kennwerte in PSCN vorgegeben.

Flächen wie Grünland, Moor, Wasser- oder ggf. Schneeflächen werden mit dem statischen Modell behandelt. Dieser Ansatz ist für Flächen ohne große innerjährliche Dynamik in der Phänologie oder dem Wachstum vorgesehen. Daher wird für die Charakterisierung dieser Landnutzungstypen auf existierende Standardwerte aus ATV-DVWK (2002) zurückgegriffen. Die Parameter sind nachfolgend aufgelistet.

- Korrekturfaktoren für die potentielle Verdunstung
- Versiegelungsgrad [%]
- Maximale Wurzeltiefe [m]
- Interzeptionsspeicher
- Bedeckungsindex
- Rauigkeit
- Albedo
- Maximaler Blattflächenindex (LAI)

Zur Verdeutlichung der Vorteile der näher betrachteten Vegetationsmodelle sind diese in

Tabelle A4 gegenüber den Nachteilen aufgelistet. Genauere Ausführungen zu VEGEN oder dem dynamischen und statischen Modell sind in KLÖCKING (2012) enthalten.

Tabelle A4: Übersicht über Vegetationsmodelle in ArcEGMO mit Angaben zu Vor- und Nachteilen (ohne 4C)

Wachstumsmodell	VEGEN	Dynamisches Modell	Statisches Modell
Vorteil	<ul style="list-style-type: none"> Simulation der Phänologie und des Wachstums Berücksichtigung von Änderungen der Umweltbedingungen (Temperatur- und Wasserstress), wodurch die Änderungen des Klimas mit einbezogen werden Landnutzungsänderungen können eingebaut werden Bewirtschaftung: Grünschnitt, Beregnung, Drainagen, Düngung sind möglich Anwendung mit und ohne Simulation des Stoffhaushaltes (Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor) möglich Feedback Modell 	<ul style="list-style-type: none"> Einfaches Modell mit wenigen Parametern (Interzeptionsspeicher, LAI, Wurzeltiefe, ...), Abbildung innerjähriger Dynamik über LAI und Wurzeltiefe möglich Abbildung von Durchforstung möglich Landnutzungsänderung realisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> Einfachstes Modell mit wenigen Parametern (LAI, Wurzeltiefe, Albedo, Interzeptionsspeicher, ...), Landnutzungsänderung realisierbar
Nachteil	<ul style="list-style-type: none"> Durchforstung ist nicht abbildbar die Auswirkungen von Parasitenbefall oder Saurem Regen können nicht berücksichtigt werden Zusätzlicher Aufwand für die Ermittlung und Einbindung von Modellparameter Zusätzliche Parameter je Fruchtart oder Pflanzenart (Saat- und Erntetermin, maximale Vegetationshöhe, Schwellenwert für das Dampfdruckdefizit,...) notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> Änderungen der Umweltbedingungen werden nicht berücksichtigt, da es sich hierbei um gesteuerte Modelle handelt Landnutzungsänderung, ist möglich durch die Eigenschaft von ArcEGMO Berechnungsergebnisse als Startwerte zu verwenden (PFÜTZNER et al., 2007) möglich 	

2.1.2 Erforderliche Datengrundlage für VEGEN

Für die Anwendung von VEGEN auf Vegetationsflächen sind genaue Informationen über die vorherrschenden Pflanzen, deren typische Phänologie in der betrachteten Region und meteorologische Daten notwendig. Für landwirtschaftliche Flächen ist daher die Angabe von Fruchtfolgen, Saat- und Ernteterminen der Fruchtarten und zusätzlichen modellspezifischen Parametern notwendig (KLÖCKING 2012).

Die potential Heat Unit (PHU) stellt eine zentrale Rolle bei der Ermittlung des LAI und der übrigen Vegetationsgrößen dar. Die Berechnung der PHU erfolgt für eine Fruchtart pro Jahr. Neben der Messreihe der aktuellen Tagestemperatur sind regional abhängige Angaben zum Saat- und Erntetermin und zur Basistemperatur der Pflanze, ab der Wachstum beginnt, vonnöten. Aufgrund der unterschiedlichen klimatischen Bedingungen pro Jahr ergeben sich für eine Fruchtart unterschiedliche PHU, daher sind Mittelwerte der PHU für eine Fruchtart in Abhängigkeit der Region zu ermitteln. Weitere Informationen sind unter KLÖCKING (2012) zu finden.

Vorhandene Datengrundlage für VEGEN

Nachfolgend beschriebene Daten forst- und landwirtschaftlicher Flächen zur Anwendung von VEGEN wurden zusammengetragen:

Forstwirtschaftliche Flächen

In Absprache mit dem Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS) wurden die ca. 40 in Sachsen vorliegenden Baumarten in sechs Baumartengruppen zusammengefasst und für jedes Einzugsgebiet in KliWES zur Verfügung gestellt (Tabelle A5). In Abbildung A2 ist eine Übersichtskarte zur räumlichen Verteilung der Baumartengruppen in Sachsen dargestellt, welche wie folgt abgekürzt werden:

- BI Birke
- BU Buche
- EI Eiche
- FI Fichte
- KI Kiefer
- LA Lärche

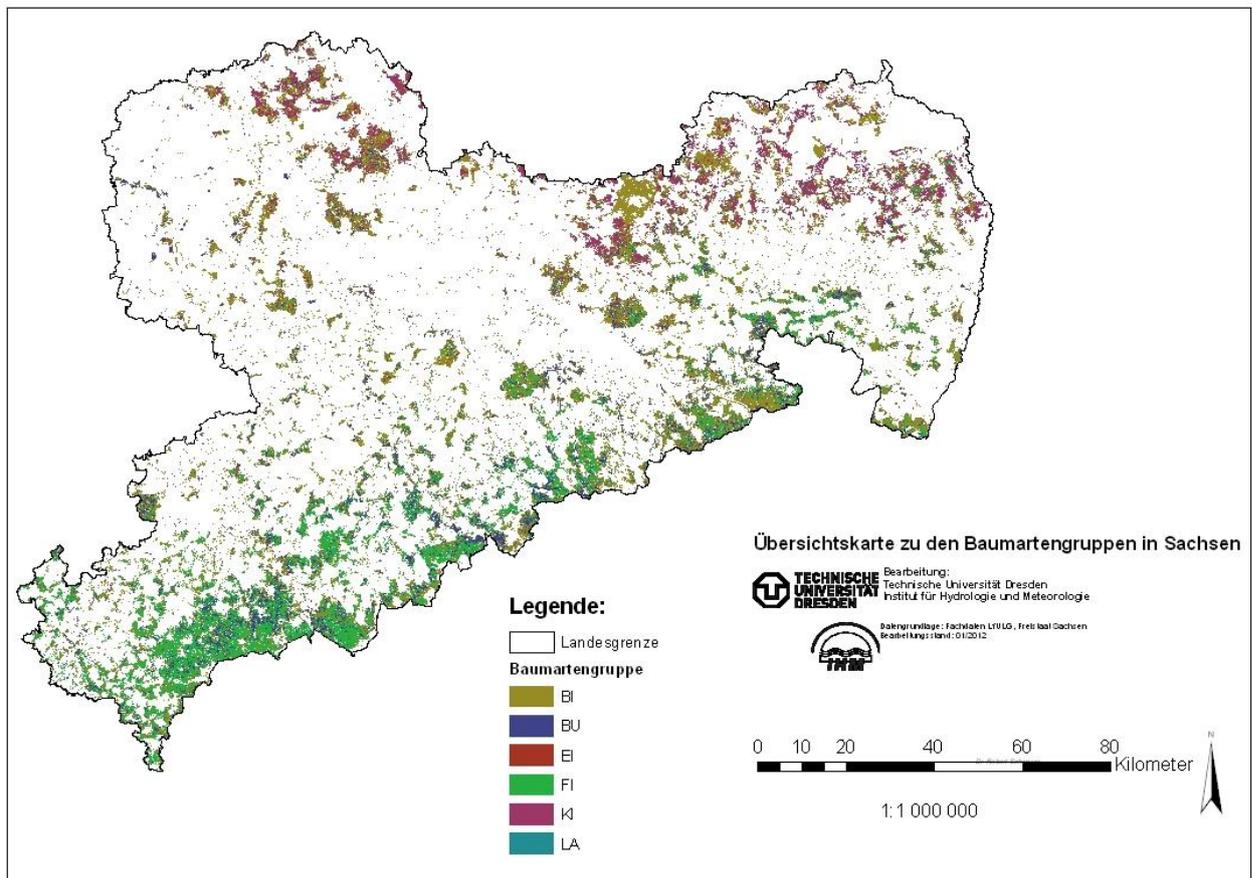


Abbildung A2: Räumliche Verteilung der Baumartengruppen innerhalb Sachsens

Zusätzlich zu den auftretenden Baumarten in Sachsen wurden aus der Walddatenbank folgende Informationen übergeben, die Anhaltspunkte zum Zustand des Waldbestandes und über dessen Bewirtschaftung geben. Diese Liste umfasst die wichtigsten Parameter:

- Jahr der Datenerhebung
- Mittelwert der erfassten Altersmittel der Baumarten in zehn Jahresstufen
- Mittelwert der Bestockungsgrade der erfassten Bestände
- Mittelwert der Oberhöhen der erfassten Baumartenzeilen
- Flächen, die von zweiter Baumschicht eingenommen werden
- Produktions(Umtriebs)zeit (U)
- Möglicher Erntezeitpunkt entsprechend Produktionszeitraum (U) und kürzester Überschirmung (EZmin)
- Möglicher Erntezeitpunkt entsprechend Produktionszeitraum (U) und längster Überschirmung (EZmax)

Tabelle A5: Baumarten in Baumartengruppen zusammengefasst

Baumarten-gruppe	BI	BU	EI	FI	KI
1	Aspe	Bergahorn	Feldahorn	Coloradotanne	Bergkiefer
2	Baumweiden	Bergulme	Roteiche	Douglasie	Kiefer
3	Birke	Flatterulme	Rosskastanie	Fichte	Murraykiefer
4	Eberesche	Esche	Stieleiche	Sonstige Fichten	Sonstige Kiefern
5	Haselnuss	Hainbuche	Sommerlinde	Hemlocktanne	Omorikafichte
6	Moorbirke	Rotbuche	Traubeneiche	Küstentanne	Stechfichte
7	Pappel	Spitzahorn	Vogelkirsche	Lebensbäume	Rumelische Kiefer
8	Schwarzerle	Sonstige Hartlaubebäume	Winterlinde	Nordmantanne	Schwarzkiefer
9	Robinie			Weißtanne	Scheinzypressen
10	Traubenkirsche			Weymouthskiefer	
11	Weißerle			Sonstige Nadelbäume	
12	Sonstige Weichlaubebäume			Sonstige Tannen	
13	Sonstige Weiden				

Landwirtschaftliche Flächen

In Absprache mit dem LfULG wurden dem Institut für Hydrologie der TU Dresden Anbauverhältnisse je Wirtschaftsgebiet und typische Fruchtfolgen für die Wirtschaftsgebiete übergeben. Für die Jahre 1961–2010 wurden Anbauverhältnisse zur Verfügung gestellt, die aus den Statistischen Jahrbüchern der DDR von 1961–1989 und der BRD von 1991–2010 abgeleitet worden sind. Für 1990 wurde das Anbauverhältnis aus den Daten von 1989 und 1991 abgeleitet. Außerdem wurden zur Ermittlung der Anbauverhältnisse je Wirtschaftsgebiet vom LfULG die Dauertestflächen in Bezug auf deren Anbauverhältnis ausgewertet.

In Sachsen wird eine Vielzahl an Fruchtarten angebaut. Um einen Überblick über die vorhandenen Fruchtarten zu erhalten und um den Parametersatz für VEGEN zu minimieren, wurden die angebauten Fruchtarten zu Fruchtartengruppen zusammengefasst:

- Wintergetreide
- Sommergetreide

- Kartoffeln
- Zuckerrübe
- Mais: Silo- und Körnermais
- Ackerfutter: Klee gras u. a.
- Sonstige Futterpflanzen: Hanf, Öllein, Tabak, Lein
- Körnerleguminosen: Erbsen, Ackerbohnen, Lupinen, Wicken, Soja, Linse
- Dauerkulturen/Sonstiges Grünland

Für Fruchtarten wurden mittlere Saat- und Erntetermine (Kapitel 2.1.2) je Wirtschaftsgebiet, landwirtschaftlichem Vergleichsgebiet und landwirtschaftlichem Agrarstrukturgebiet übergeben (Abbildung A3) übergeben.

Bei den drei Wirtschaftsgebieten (Abbildung A3) handelt es sich um

- die Sächsische Heide- und Teichlandschaft (W1),
- das Sächsische Lössgebiet (W2) und
- das Sächsische Mittelgebirge und Vorland (W3).

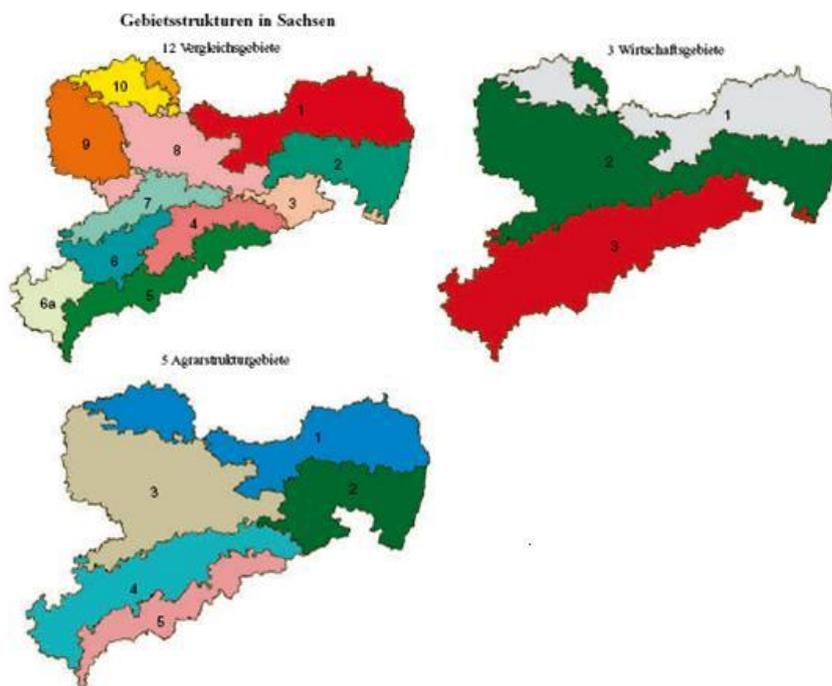


Abbildung A3: Gebietsstrukturen in Sachsen (WINKLER et al. 1999)

Des Weiteren steht dem Institut für Hydrologie der TUD das Anbauverhältnis für das Jahr 2005 je Gemeinde in Sachsen aus dem Projekt STOFFBILANZ (MÖLLER et al. 2009) zur Verfügung. Hierbei wurden folgende Fruchtarten unterschieden:

- Qualitätsweizen
- Wintergetreide: Winterweizen, -gerste und -roggen (Winterroggen, Triticale)
- Sommergetreide: Sommer-, Hartweizen, Hafer, Sommerroggen, Sommermenggetreide, Dinkel

- Silo- und Körnermais
- Raps (Raps, Rübsen) und sonstige Ölfrüchte (Öllein, Körnersenf)
- Kartoffel und sonstige Hackfrüchte (Zuckerrübe, Futterhackfrüchte)
- Sonnenblumen
- Körnerleguminosen (Ackerbohne, Erbse, Lupine) und Futterleguminosen (Klee, Klee gras, Luzerne)
- Feldgras: Ackergras, Feldgras
- Intensivkulturen: Intensivgemüse
- Tabak – hell und Tabak – dunkel
- Erdbeere
- Spargel
- Intensivgrünland: Wiesen, Mähweide, Dauerweide, Sonstige Grünlandfläche, Wechselgrünland
- Extensivgrünland: Streuwiese, Hutung, Streuobstwiese
- Stilllegung

2.1.3 Fazit

Im Ergebnis der Recherche hinsichtlich Datenverfügbarkeit und -qualität der notwendigen Parameter für VEGEN, im Zusammenwirken mit dem LfULG und der Entwicklerin, Dr. Beate Klöcking, wurde die Erkenntnis gewonnen, dass VEGEN zu aufwendig für den Untersuchungsraum in KliWES ist. Zudem liegen die erforderlichen Daten für den Untersuchungsraum in KliWES nicht in der geforderten räumlichen Auflösung vor oder das Zusammentragen der Daten ist besonders zeit- und arbeitsaufwendig. Ein weiterer Grund ist, dass die notwendigen Modellparameter auf Basis der recherchierten Daten entsprechend der Vorgaben (KLÖCKING 2012, Kapitel 2.1.2) für Regionen ermittelt werden müssen. Im Rahmen von KliWES sind diese Arbeiten nicht realisierbar. Aus diesen Gründen wird allein auf die statischen und dynamischen Wachstumsmodelle in PSCN zurückgegriffen.

2.2 Aufbau der Modelle

Für die Implementierung der Teileinzugsgebiete, Hydrotope, Fließgewässer und des Knotenschemas in das Modellsystem ArcEGMO werden die in Tabelle A6 bis Tabelle A9 aufgeführten Attribute benötigt. Zum Aufbau und der Parametrisierung der einzelnen Raumebenen in ArcEGMO finden sich im Endbericht weitere Angaben.

Tabelle A6: Strukturtafel der Teileinzugsgebiete

Schlüsselwort/Attribute	Inhalt	Quelle	Bemerkung
TG_FLAECH	Fläche des Teileinzugsgebietes	TG-Layer	
TG_IDENTIFIKATION	Interne Schlüsselnummer für das Teileinzugsgebiet		
TG_UNTERLIEGER	Verweis auf den Unterlieger (über GWKZ)	TG-Layer	
TG_NAME	Bezeichnung des Teileinzugsgebietes	TG-Layer	Nicht notwendig zur Simulation, als Orientierung

Schlüsselwort/Attribute	Inhalt	Quelle	Bemerkung
X_WERT_TG	X-Koordinate des Flächenschwerpunktes	TG-Layer	
Y_WERT_TG	Y-Koordinate des Flächenschwerpunktes	TG-Layer	
MITTLERE_HOEHE	Mittlere Höhe des Teileinzugsgebietes	DGM	
FLIESSGEWAESSERLAENGE	Summarische Länge aller Fließgewässer innerhalb des Teilgebietes	Fließgewässer-Layer	
GEFAELLEGRAD	Mittleres Gefälle des Teileinzugsgebietes	DGM	
EXPOSITION	Mittlere Exposition	DGM	

Tabelle A7: Strukturtabelle der Hydrotope

Attribute	Inhalt	Quelle	Bemerkung
EFL_FLAECH	Fläche der Hydrotope	Hydrotop-Layer	
EFL_IDENTIFIKATION	Interne Schlüsselnummer		
TG_ZUORDNUNG	Kennung des zugeordneten Teileinzugsgebietes	TG-Layer	Kennzeichnung über GWKZ
BODEN	Zeiger auf Bodenformentabelle	Boden-Layer	Bodenparameter nach BKkonz und KA5
NUTZUNG	Zeiger auf Landnutzungstabelle	Landnutzungs-Layer	Landnutzungsparameter nach ATV-DVWK-M 504
X_WERT_EFL	X-Koordinate des Flächenschwerpunktes	Hydrotop-Layer	
Y_WERT_EFL	Y-Koordinate des Flächenschwerpunktes	Hydrotop-Layer	
GEFAELLEGRAD	Gefälle	DGM	
EXPOSITION	Ausrichtung der Fläche	DGM	
MITTLERE_HOEHE	Mittlere Höhe des Hydrotops	DGM	
GRUNDWASSERFLURABSTAND	Zeiger auf die Grundwasserflurabstandsklassen	Boden-Layer	Vorliegende Karten unvollständig, Verknüpfung der Informationen nötig
Efl_Versiegelungsgrad	Versiegelungsgrad	Versiegelungs-Layer	
MELIORATION	Angabe möglicher Meliorationsmaßnahmen		Fakultativ
AnschlussGRAD	Anschlussgrad an die Kanalisation	Stadtflächen-Layer	Fakultativ
Kanalisationsart	Art der Kanalisation	Pauschale Angabe	Fakultativ
ERTRAGSPOTENTIAL	Ertragspotential, welches in drei Klassen unterteilt ist	Pauschal Ertragsklasse 2 (Mittel)	Fakultative Angabe der Ertragsklasse, Ertragspotential in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften

Tabelle A8: Strukturtablelle der Fließgewässer

Attribute	Inhalt	Quelle	Bemerkung
FGW_IDENTIFIKATION	Identifikation des Gewässerabschnittes	Fließgewässer-Layer	
FROM_NODE	Verweis auf Knotenschema (Anfangspunkt des Gewässerabschnittes)	Berechnet im Routing	
TO_NODE	Verweis auf Knotenschema (Endpunkt des Gewässerabschnittes)	Berechnet im Routing	
UNTERLIEGER_FGW	Zeiger auf ID des Unterliegergewässerabschnitts, kein Unterlieger ist mit -1 zu kodieren	Berechnet im Routing	
TG_ZUORDNUNG	Zeiger auf Teilgebiet, in dem sich der Gewässerabschnitt befindet	TG-Layer	Zuordnung erfolgt über GWKZ
FGW_LAENGE	Länge des Gewässerabschnittes	Fließgewässer-Layer	
FGW_GEFAELLE	Sohlgefälle	DGM	Anstatt Sohlgefälle wird Geländegefälle verwendet
FGW_TYP	Zustandsbeschreibung der Gewässerprofile		
FGW_extZufussgebiet	Fläche des externen Zufussgebietes		

Tabelle A9: Strukturtablelle zum Knotenschema

Attribute	Inhalt	Quelle	Bemerkung
NODE_IDENTIFIKATION	Identifikation des Knotens		
X_WERT	X-Koordinate des Knoten	Fließgewässer-Layer	
Y_WERT	Y-Koordinate des Knoten	Fließgewässer-Layer	
Z_WERT	Höhe des Knoten (Sohlhöhe)	DGM	Anstatt Sohlhöhe wird Geländehöhe verwendet

2.3 Untersuchung zur Mindestgröße der Hydrotople

Bei der Hydrotoplebildung werden verschiedenste Datengrundlagen miteinander verschnitten. Infolge der Verschnidung entstehen Elementarflächen, die zuweilen eine Größe unter 1 m² besitzen. Aus diesem Grund wurde eine Flächenmindestgröße für Elementarflächen eingeführt. Bisher betrug die Mindestgröße 0,25 km² (SCHWARZE et al. 2011). Im Hinblick auf die Qualität der Ergebnisse ist in Rücksprache mit dem BAH Berlin (2012) eine kleinere Mindestgröße für die Modellierung zu wählen. Hierfür wurden verschiedene Mindestgrößen von Elementarflächen bei der Hydrotoplebildung getestet, um die günstigste Einstellung zu finden:

- 1 m² (Referenz)
- 10.000 m²
- 100.000 m²
- 250.000 m²

Die Mindestfläche von einem Quadratmeter, die nahezu keine Generalisierung zur Folge hat, dient dabei als Referenz.

Zur Bewertung wurden folgende Kriterien herangezogen:

- Auswirkungen auf die räumliche Auflösung (Anzahl der Elementarflächen)
- Rechenzeit von ArcEGMO für eine Simulationsdauer von 45 Jahren
- Flächenverhältnis der Bodenarten in den Ausgangsdaten und den Hydrotopen
- Flächenverhältnis der Landnutzungstypen in den Ausgangsdaten und den Hydrotopen
- Ergebnisse der Simulationen unter Berücksichtigung von Gütekriterien für den Durchfluss und das Restglied in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung

Die Untersuchung wurde an drei Einzugsgebieten der Spree durchgeführt:

- Hohberg (50,3 km²)
- Ebersbach (16,8 km²)
- Milkel (26,5 km²)

Die nachfolgende Tabelle A10 enthält die verschiedenen Mindestgrößen und die sich daraus ergebende Anzahl der Elementarflächen nach der automatisierten Hydrotopbildung.

Tabelle A10: Anzahl der Elementarflächen in Abhängigkeit der Mindestgröße für die Elementarflächen

Mindestgröße [m ²]	Hohberg	Ebersbach	Milkel
1	442	1428	1892
10.000	206	275	367
100.000	89	49	74
250.000	47	24	31

Wie zu erwarten, erhöht sich die Anzahl der Elementarflächen (Tabelle A10) und die Rechenzeit von ArcEGMO (Abbildung A4) mit abnehmender Flächenmindestgröße der Elementarflächen bei der automatischen Hydrotopbildung. Zudem ist festzustellen, dass sich die Rechenzeiten von ArcEGMO für die Mindestgrößen der Elementarflächen von 10.000 m², 100.000 m² und 250.000 m² nicht stark unterscheiden. Somit könnten hinsichtlich der Rechenzeit die drei genannten Mindestgrößen bei der Hydrotopbildung eingesetzt werden.

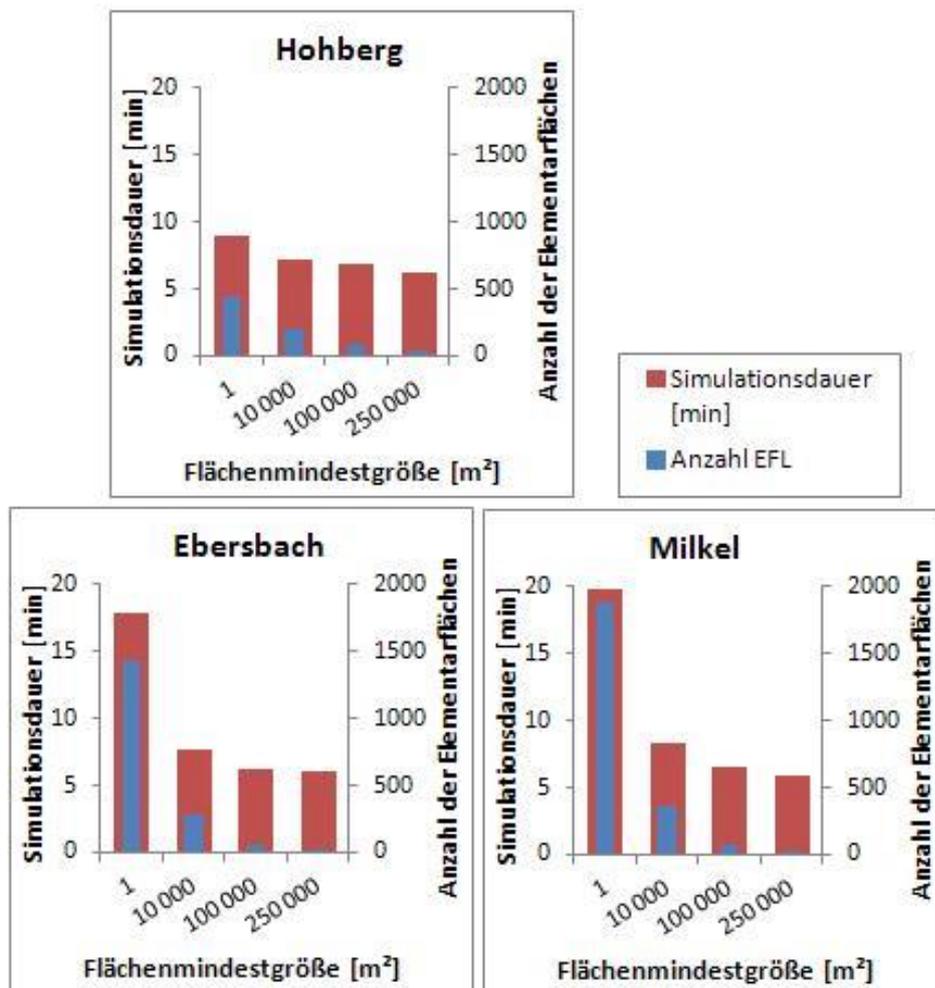


Abbildung A4: Vergleich Rechenzeit von 45 Simulationsjahren mittels ArcEGMO und der Anzahl der Elementarflächen bei verschiedenen Mindestgrößen

Der Vergleich der Landnutzungs- und Bodenverhältnisse bei unterschiedlichen Mindestgrößen der Elementarflächen in den Testgebieten ergibt Folgendes:

- Wenn in einem Gebiet eine homogene Boden- und Landnutzungsverteilung vorliegt, verändert sich durch die Hydrotopbildung mit größerer Flächenmindestgröße diese Verteilung unwesentlich.
- Liegt in einem Gebiet eine heterogene Boden- und Landnutzungsverteilung vor, sind die unterschiedlichen Mindestgrößen für Elementarflächen von Bedeutung. Denn je größer die Flächenmindestgröße ist, desto stärker ist die damit verbundene Generalisierung und folglich auch die Abweichung vom Ausgangszustand.

Die Veränderungen der Boden- und Landnutzungsverhältnisse sollen für das Testgebiet Ebersbach, das eine heterogene Boden- und Landnutzungsverteilung besitzt, beispielhaft dargestellt werden. So liegen für die Referenzgröße von einem Quadratmeter 33 verschiedene Bodenarten vor, von denen etwa die Hälfte einen Flächenanteil von unter einem Prozent aufweist. Wird die Flächenmindestgröße von 10.000 m² bis hin zu 250.000 m² erhöht, so reduziert sich die Anzahl der Bodenarten von 29 auf 15. Ebenso wie bei den Bodenverhältnissen führt die Erhöhung der Flächenmindestgröße von 1 m² auf 250.000 m² bei dem Landnutzungsverhältnis zu einer Halbierung der verschiedenen Landnutzungstypen.

Flächenanteil der sieben verbreitetsten Bodenarten im Gebiet Ebersbach bei unterschiedlicher Mindestgröße

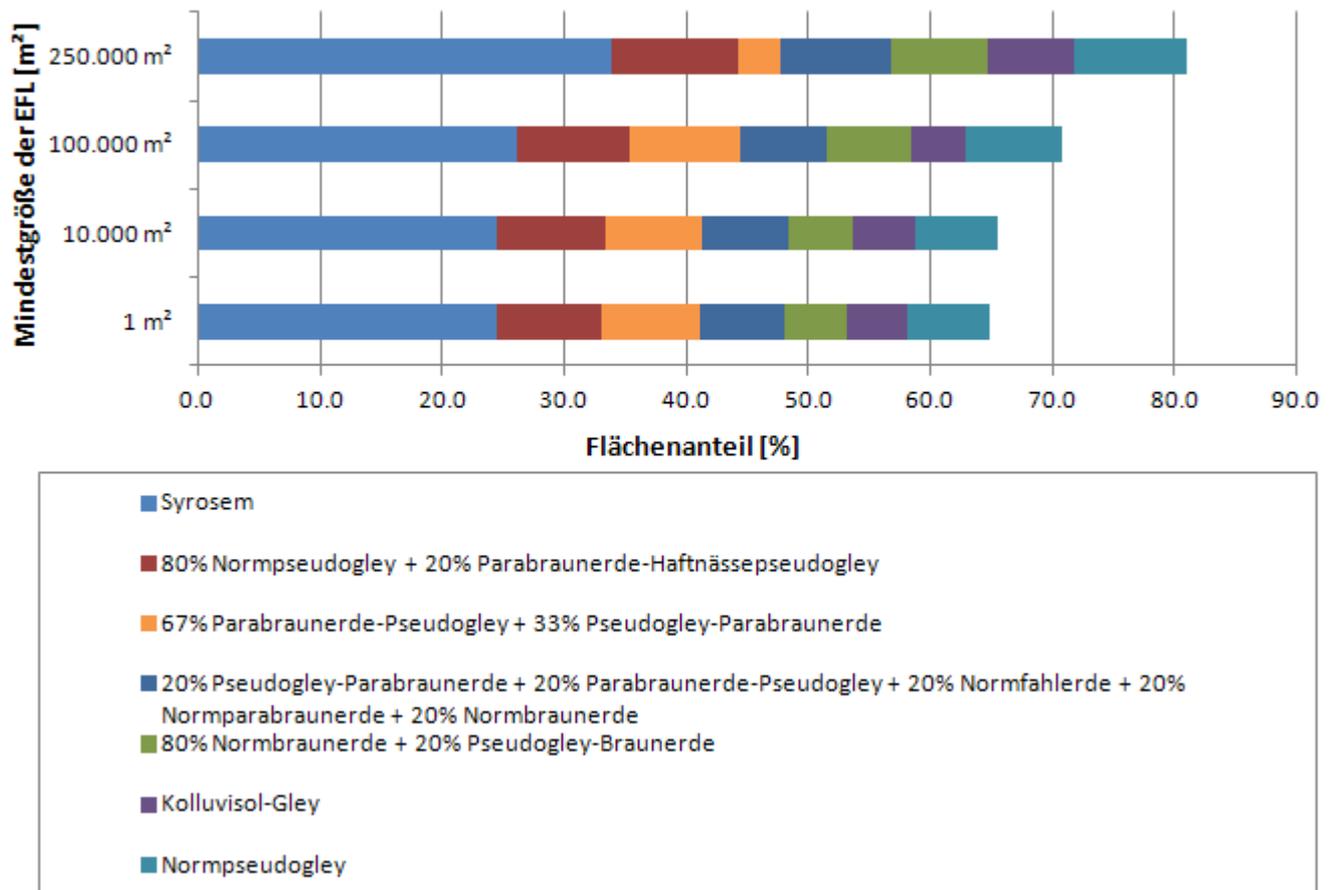


Abbildung A5: Vergleich der sieben häufigsten Bodenarten bei unterschiedlicher Mindestgröße im Testgebiet Ebersbach

Die Auswirkungen auf die Flächenanteile der verschiedenen Böden und Landnutzungstypen durch Veränderung der Mindestfläche sollen anhand der

Abbildung A5 und **Abbildung A6** dargestellt werden. Für die Übersichtlichkeit der Darstellungen werden nur Böden mit mindestens 5 % Flächenanteil abgebildet. In der **Abbildung A6** wird die Landnutzungsverteilung für das Beispiel Ebersbach dargestellt, wobei nur die wichtigsten Landnutzungstypen mit einem Anteil an der Fläche über 7 % berücksichtigt sind.

Als Ergebnis des Vergleiches der Boden- und Landnutzungsverhältnisse ist festzuhalten, dass die Flächengrößen 1 m², 10.000 m² und 100.000 m² für die Generierung von Elementarflächen geeignet sind.

Flächenanteil der fünf verbreitetsten Landnutzungstypen im Gebiet Ebersbach bei unterschiedlicher Mindestgröße

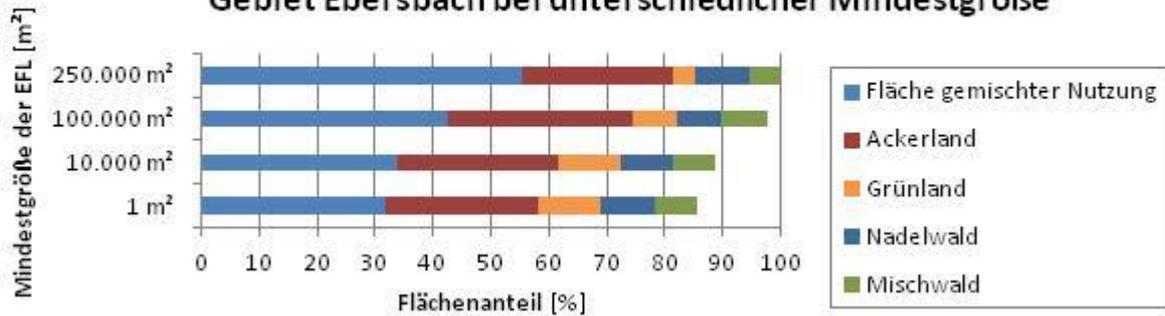


Abbildung A6: Vergleich der fünf häufigsten Landnutzungstypen bei unterschiedlicher Mindestgröße im Testgebiet Ebersbach

Die Auswirkungen der größeren Mindestfläche auf die Güte des Modells erweisen sich nach der Untersuchung des Durchflusses und der Verdunstung als gering. Am Beispiel des Testgebietes Hohberg wird in Tabelle A11 das Gütekriterium Ω für verschiedene zeitliche Auflösungen dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Gütekriterien in Tabelle A11 aufgerundet sind, weil sie sich i. d. R. erst in der vierten Kommastelle unterscheiden. Die Berechnungsformel zum kombinierten, normierten Gütekriterium Ω ist der Formel 1 zu entnehmen.

$$\Omega = \frac{r^2 + \text{norm}VE_{rel}}{2}$$

Formel 1

Tabelle A11: Auswirkungen der verschiedenen Mindestgrößen hinsichtlich der Gütekriterien des Durchflusses und des Restgliedes

Mindestgröße der EFL: 250.000 m²					
	Aktuelle		Mittlere		
Größe	Monatssummen	Jahressummen	Monatssummen	Halbjahressummen	Jahressummen
Q	0,82	0,81	0,92	0,94	0,87
REST	0,82	0,64	0,93	0,97	0,94
Mindestgröße der EFL: 100.000 m², 10.000 m² und 1 m²					
	Aktuelle		Mittlere		
Größe	Monatssummen	Jahressummen	Monatssummen	Halbjahressummen	Jahressummen
Q	0,83	0,82	0,92	0,94	0,89
REST	0,83	0,65	0,94	0,97	0,95

Im Ergebnis stellte sich eine Flächenmindestgröße von 100.000 m² für die Ausweisung der Elementarflächen als geeignet und ausreichend heraus.

3 Sensitivitätsanalyse

Die folgenden Parameter aus ArcEGMO, deren Beschreibung aus der ArcEGMO Dokumentation (PFÜTZNER et al. 2007) zu entnehmen ist, wurden hinsichtlich ihrer Sensitivität untersucht. Dabei sind zuerst die Schlüsselbezeichnung in ArcEGMO und anschließend eine Kurzbeschreibung gegeben. In geschweiften Klammern am Ende jedes Parameters stehen der Variationsbereich (var) und der Standardwert (std). Letzterer ist als Vergleichsgrundlage anzusehen und wird außerdem eingesetzt, wenn andere Parameter variiert werden. Wird in var die Einheit % angegeben, wird der entsprechende Parameter in allen Elementarflächen um den angegebenen prozentualen Betrag verringert oder vergrößert (Tabelle A12).

Tabelle A12: Parameter der Sensitivitätsuntersuchung

Parameter	Bedeutung
RUECKGANGSFAKTOR	dient der Skalierung der modellintern ermittelten Rückgangskonstante im Gewässer {var=0-1; std=0.05}
RUECKGANGSExponent	Rückgangskonstante im Gewässer {var=0-5; std=1}
Ausuferungsabflussspende	bei Überschreitung des Ausuferungsabflusses wird eine stärkere Retention berechnet {var=11-16,5; std=12}
AFMN	gedachter Anteil der grundwasserfernen Flächen und Flächen mit hypodermischen Abfluss {var=0-1; std=1}
FAK_FLIESWEGVERLAENGERUNG	Verlängerung des tatsächlichen Fließweges gegenüber dem Abstand der Flächenschwerpunkte {var=1-20; std=10}
INTERFLOWPARAMETER	dient der Kalibrierung des Interflows {var=0-2; std=1}
K_MAKRO_TON	Eichung der Makroporosität in Abhängigkeit des Tongehaltes {var=0-0,3; std=0,3}
K_MAKRO_SKELETT	Eichung der Makroporosität in Abhängigkeit des Skelettgehaltes {var=0-0,3; std=0,3}
K_MAKRO_VEGETATION	Eichung der Makroporosität in Abhängigkeit von der Vegetation {var=0-0,3; std=0,7}
SpFakt	Speicherfaktor für flüssiges Wasser in der Schneedecke {var=0,05-0,2; std=0,1}
GRENZTEMPERATUR	Grenzwert der Tagesmitteltemperatur, unter der Schneefall angenommen wird {var=-0,5-2; std=0,2}
GRENZTEMPERATUR_S	Grenzwert der Tagesmitteltemperatur, über der Schneeschmelze angenommen wird {var=-0,5-2; std=0,2}
RG2	Speicherkonstante des langsamen Basisabflussspeichers {var=-20-20 %; std=0}
RG1	Speicherkonstante des schnellen Basisabflussspeichers {var=-20-20 %; std=0}
SMAX	maximaler Speicherinhalt des schnellen Basisabflussspeichers {var=-20-20 %; std=0}
lk+FK	Luftkapazität plus Feldkapazität, entspricht der Gesamtporosität {var=-20-20 %; std=0}
nFK	nutzbare Feldkapazität {var=-20-20 %; std=0}
Kf	gesättigte hydraulische Leitfähigkeit {var=-20-20 %; std=0}
ET_KORR	Verdunstungskorrektur {var=-20-20 %; std=0}

Zusätzlich zu den oben genannten Parametern wurden weitere Größen untersucht:

- mpft: Makroporenanteil an der Bodenoberkante {var=0-50; std=25}
- mpfb: Makroporenanteil an der Bodenunterkante {var=-50-50; std=0}
- zmax: maximale Tiefe der Makroporen {var=0-1,5; std=0,75}

Die Gemeinsamkeiten der Parameter beruhen auf dem Einfluss der Makroporosität im Modell. Das Makroporenmodell beruht auf einer linearen Interpolation des Makroporenanteils von der Bodenoberkante zur Bodenunterkante. Dabei wird die Makroporosität in Prozent angegeben. Durch die Art der Parametrisierung können konvergierende, zylindrische und divergierende Makroporen gebildet werden. Dabei können Makroporen auch unten abgeschnitten werden, wenn z_{max} zu klein wird.

Die nachfolgend genannten Parameter wurden variiert. Für eine Maximalbetrachtung werden S_{MAX} und $RG1$ extrem variiert.

- $z_{max} - mpf = const$: maximale Tiefe der Makroporen bei konstantem zylindrischem Makroporenmodell {var=0-1,5}
- $mpfb - z_{max}, mpft = const$ Makroporenanteil an der Bodenunterkante bei konstantem Makroporenanteil an der Bodenoberkante (15 %) und einer maximalen Tiefe der Makroporen über die gesamte Bodenschicht {var=0-50}
- $S_{MAX} - mpf = const$: maximaler Speicherinhalt des schnellen Basisabflussspeichers mit zylindrischen Makroporen (15 %) über die gesamte Bodentiefe {var=-70-70 %}
- $RG1 - mpf = const$: Speicherkonstante des schnellen Basisabflussspeichers mit zylindrischen Makroporen (15 %) über die gesamte Bodentiefe {var=-70-70 %}

Abbildung A7 zeigt eine Teilzusammenstellung der Sensitivität einzelner Parameter auf den Gesamtabfluss des Pegels Zescha/Hoyerswerdaer Schwarzwasser. Die über den jeweiligen Diagrammen stehenden Titel bezeichnen den jeweils veränderten Parameter (Erklärung siehe obige Liste). Zum einen werden die mittleren Jahregänge des Gesamtabflusses aus ArcEGMO (Standardparametrisierung) im Berechnungszeitraum von 1961-2005 dargestellt (grau durchgezogen). Als Vergleich wird zum anderen der mittlere Jahregang aus Messwerten am Pegel gezeichnet (schwarz gestrichelt). Die sich aus den jeweiligen mittleren Ganglinien ergebenden Jahresmittelwerte werden punktiert dargestellt (grau für ArcEGMO, schwarz für DIFGA). Weiterhin sind die Variationen der Parameter als farbige Linien von blau (niedriger Wert der Variation) über grün und gelb bis rot (hoher Wert der Variation) eingefügt. Dazu folgen zwei generelle Bemerkungen:

1. Beim Parameter RUECKGANGSEXponent gibt es offensichtlich einige Parametrisierungen, die keinen sinnvollen Output generieren. Diese werden ignoriert.
2. Alle Sensitivitäten unter Einbeziehung von Makroporen (ab Diagramm $mpft$) können nicht mehr direkt mit dem Standardjahregang verglichen werden. Vielmehr können nur die relativen Änderungen analysiert werden, weil der Standardjahregang ohne explizite Makroporenparametrisierung berechnet wurde.

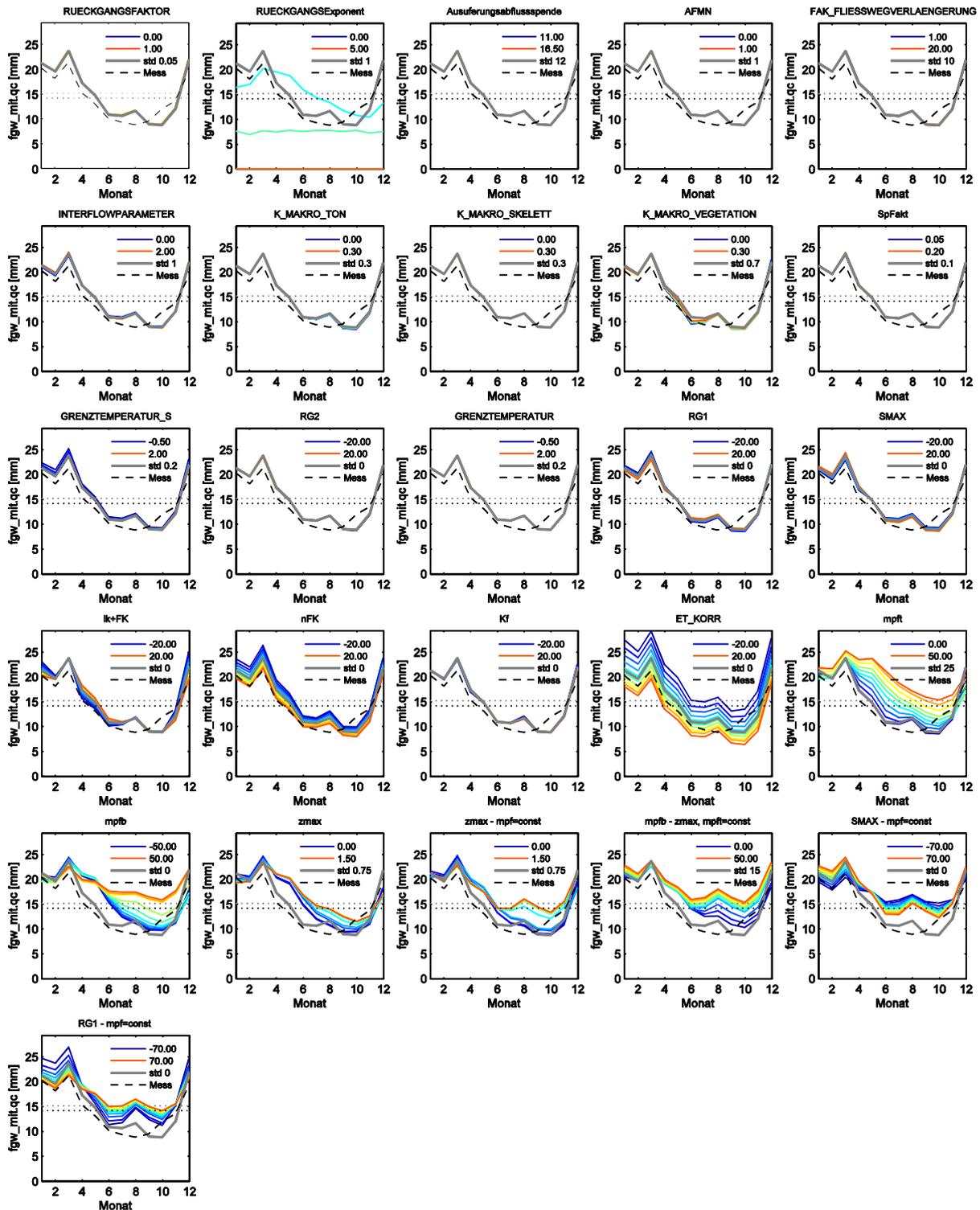


Abbildung A7: Mittlere Jahrgänge des Gesamtabflusses am Pegel Zescha; die Legende zeigt nur die minimale und die maximale Parametrisierung sowie den Standardwert und den Vergleichswert aus Messwerten am Pegel; gepunktet dargestellt sind die Jahresmittelwerte von ArcEGMO (grau) und DIFGA (schwarz)

Deutlich wird in Abbildung A7, welche Parameter signifikanten Einfluss auf den Gesamtabfluss im Modell haben. Die meisten konzeptionellen Parameter haben keinen bis einen sehr geringen Einfluss auf das Modellergebnis. Eine Ausnahme ist ET_KORR, welche die Verdunstung und damit den Wasserhaushalt maßgeblich beeinflusst. Die physikalisch begründbaren Parameter des Bodens und der hydrogeologischen Einheit indes

sind wesentlich sensitiver. Manche Parameter rufen eine relative Parallelverschiebung des mittleren Jahresganges hervor, so z. B. nFK und ET_KORR. Andere Parameter bewirken eine Verschiebung innerhalb des Jahres (z. B. lk+FK, mpft, mpfb, zmax, SMAX und RG1).

Weitere Diagramme zu anderen Ausgabegrößen sind in Abbildung A8 bis Abbildung A11 dargestellt. Die dortigen Abbildungen sind auf die sensitiven Parameter beschränkt. Die betrachteten Ausgabegrößen werden hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit mit Messwerten oder Werten der Säule A ausgewählt. Dabei werden die Werte aus ArcEGMO und DIFGA im Fall der Evapotranspiration (Abbildung A8) nur im Jahresmittel verglichen.

Die folgende Liste zeigt die Begriffe in ArcEGMO und eine Kurzbeschreibung:

- qc: Gesamtabfluss des Gebietes
- sicker: Gesamtperkolation unterhalb der Bodenmatrix
- RG1: Zufluss zum schnellen Basisabflussspeicher
- gwn: Zufluss zum langsamen Basisabflussspeicher (Grundwasserneubildung)
- er: Reale Evapotranspiration

Der Vergleichswert der realen Evapotranspiration aus DIFGA ist nur im Jahresmittel mit Werten aus ArcEGMO zu vergleichen. Der Grund dafür ist, dass DIFGA die Verdunstung als Restglied der Wasserhaushaltsbilanz berechnet und somit die innerjährliche Schwankung des Speicherinhaltes im Boden in der Größe enthalten ist. Im langjährigen Jahresmittel ist die Speicheränderung zu vernachlässigen.

Grundsätzlich gilt, dass eine Verbesserung der Wasserleitfähigkeit durch den Boden (z. B. durch Verringerung der nutzbaren Feldkapazität oder Makroporen) zu einem größeren Abfluss und einer geringeren Verdunstung führt. Der Grund dafür liegt in der erhöhten Infiltration, von welcher neben den vertikalen auch die lateralen Fließwege profitieren. Des Weiteren zeigt sich, dass Makroporen, die effektiv Wasser durch die gesamte Bodenmatrix leiten, eine innerjährliche Verschiebung des Gesamtabflusses und des Sickerwassers in der gleichen Richtung induzieren. Bei einem größeren Makroporenanteil wird im Sommer mehr Abfluss generiert und im Winter weniger. Das ist darauf zurückzuführen, dass durch Makroporen das Wasser der sommerlichen Niederschläge (häufig stärker und kürzer) besser durch den Boden geleitet wird und den Basisabflussspeicher füllt. Im Winter herrschen eher länger andauernde Niederschlagsereignisse vor, die bevorzugt die Bodenmatrix auffüllen.

Die Aufteilung der Perkolation unterhalb der Bodenmatrix in beide Basisabflussspeicher wird durch den maximalen Speicherinhalt des schnellen Basisabflussspeichers und dessen Speicherkonstante CG1 beeinflusst. Dementsprechend wirken beide Parameter innerhalb der Speicher gegensätzlich sensitiv.

In Tabelle A13 werden die Sensitivitäten verschiedener Parameter auf unterschiedliche Ausgabegrößen aus ArcEGMO subjektiv eingeschätzt. Für alle Parameter gilt die für den Gesamtabfluss abgeleitete Aussage, dass die konzeptionellen Parameter in ArcEGMO nur bedingt Einfluss ausüben (bis auf ET_KORR), hingegen physikalisch begründbare Parameter wesentlich sensitiver sind.

Tabelle A13: Sensitive Parameter für verschiedene Ergebnisgrößen in ArcEGMO; Bedeutungen der Symbole: - keine, + wenig, ++ mittlere, +++ hohe Sensitivität

	qc	sicker	RG1	gwn	er
RG1	+	-	++	+	-
SMAX	+	-	++	+	-
lk+FK	+	++	+	++	-
nFK	++	++	+	++	-
Kf	-	+	-	-	-
ET_KORR	+++	+++	+++	+++	+++
mpft	+++	+++	+++	+++	++
mpfb	+++	+++	+++	+++	++
zmax	+++	+++	+++	++	+

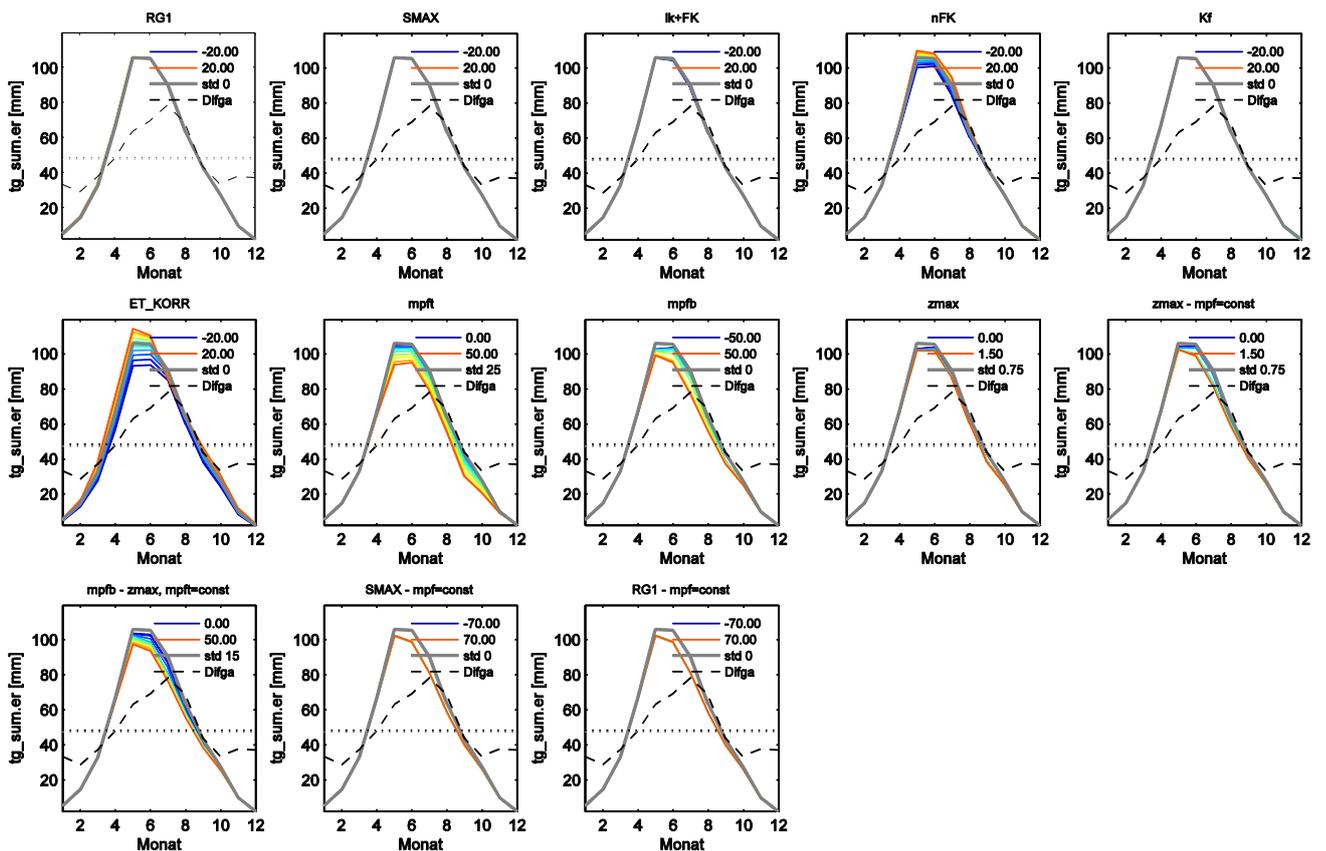


Abbildung A8: Mittlere Jahresgänge der Evapotranspiration am Pegel Zescha; die Legende zeigt nur die minimale und maximale Parametrisierung sowie Standardwert und gestrichelten Vergleichswert (DIFGA); gepunktet dargestellt sind die Jahresmittelwerte von ArcEGMO (grau) und DIFGA (schwarz)

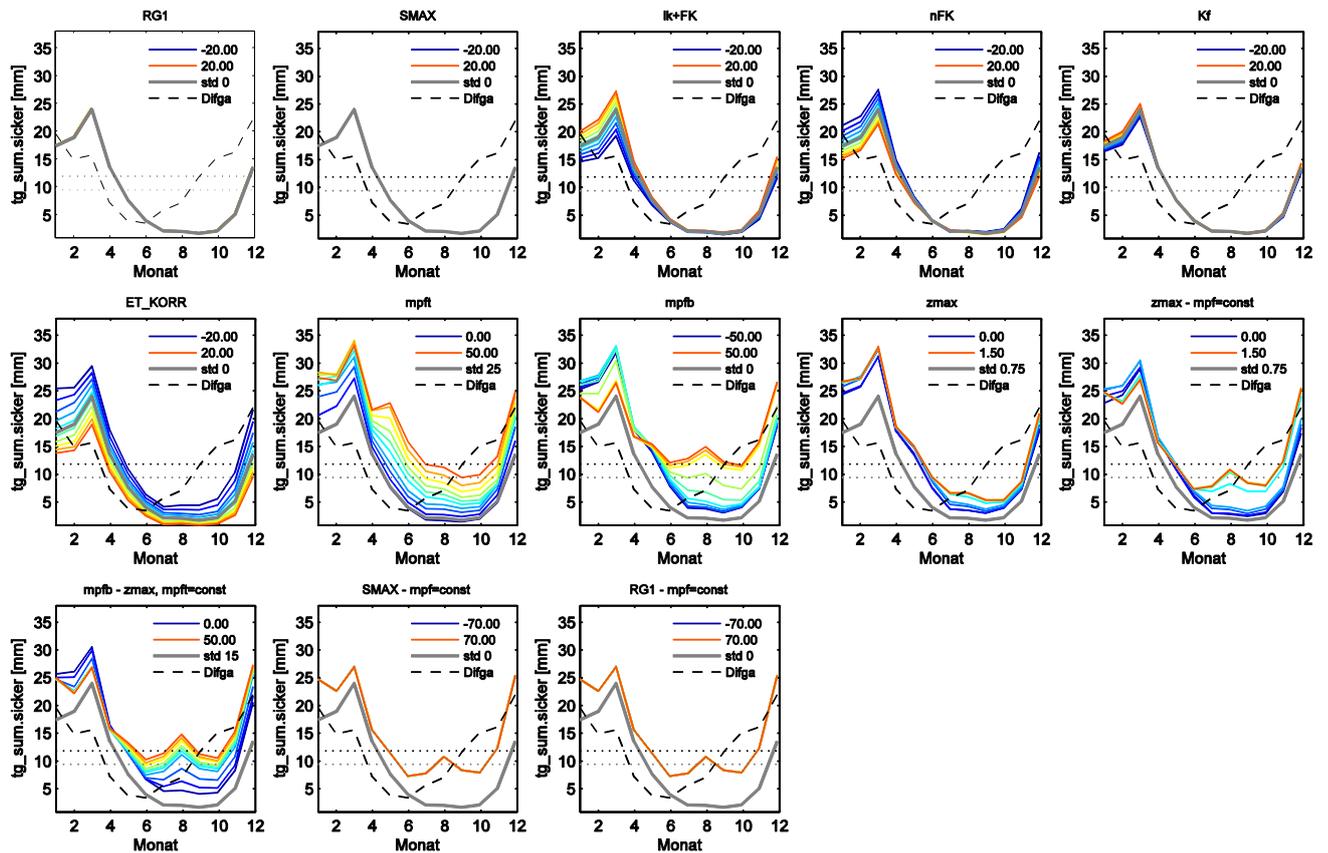


Abbildung A9: Mittlere Jahresgänge der Gesamtperkolations unterhalb des Bodens am Pegel Zescha; die Legende zeigt nur die minimale und maximale Parametrisierung sowie Standardwert und gestrichelten Vergleichswert; gepunktet dargestellt sind die Jahresmittelwerte von ArcEGMO (grau) und DIFGA (schwarz)

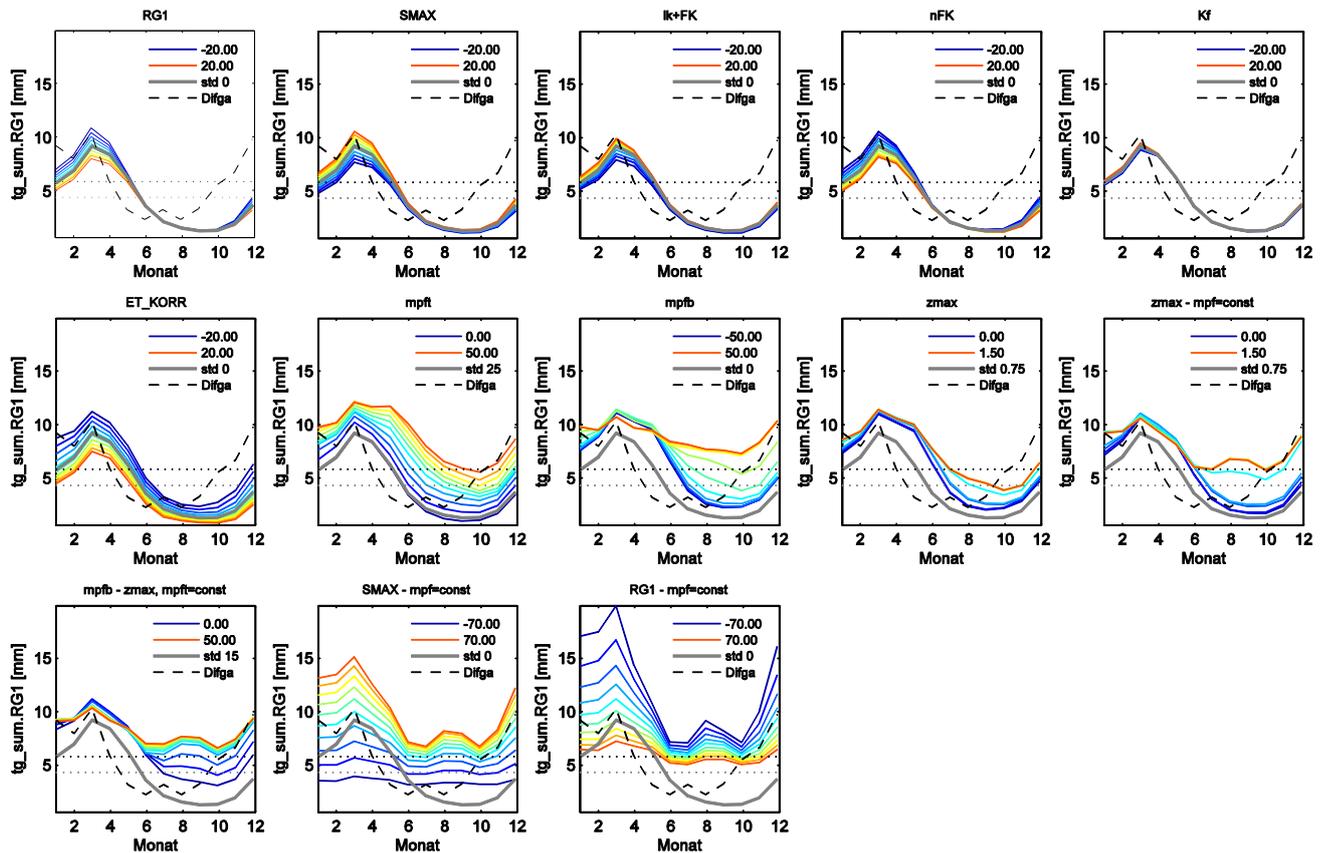


Abbildung A10: Mittlere Jahresgänge des Zuflusses zum schnellen Basisabflussspeicher am Pegel Zescha; die Legende zeigt nur die minimale und maximale Parametrisierung sowie Standardwert und gestrichelten Vergleichswert; gepunktet dargestellt sind die Jahresmittelwerte von ArcEGMO (grau) und DIFGA (schwarz)

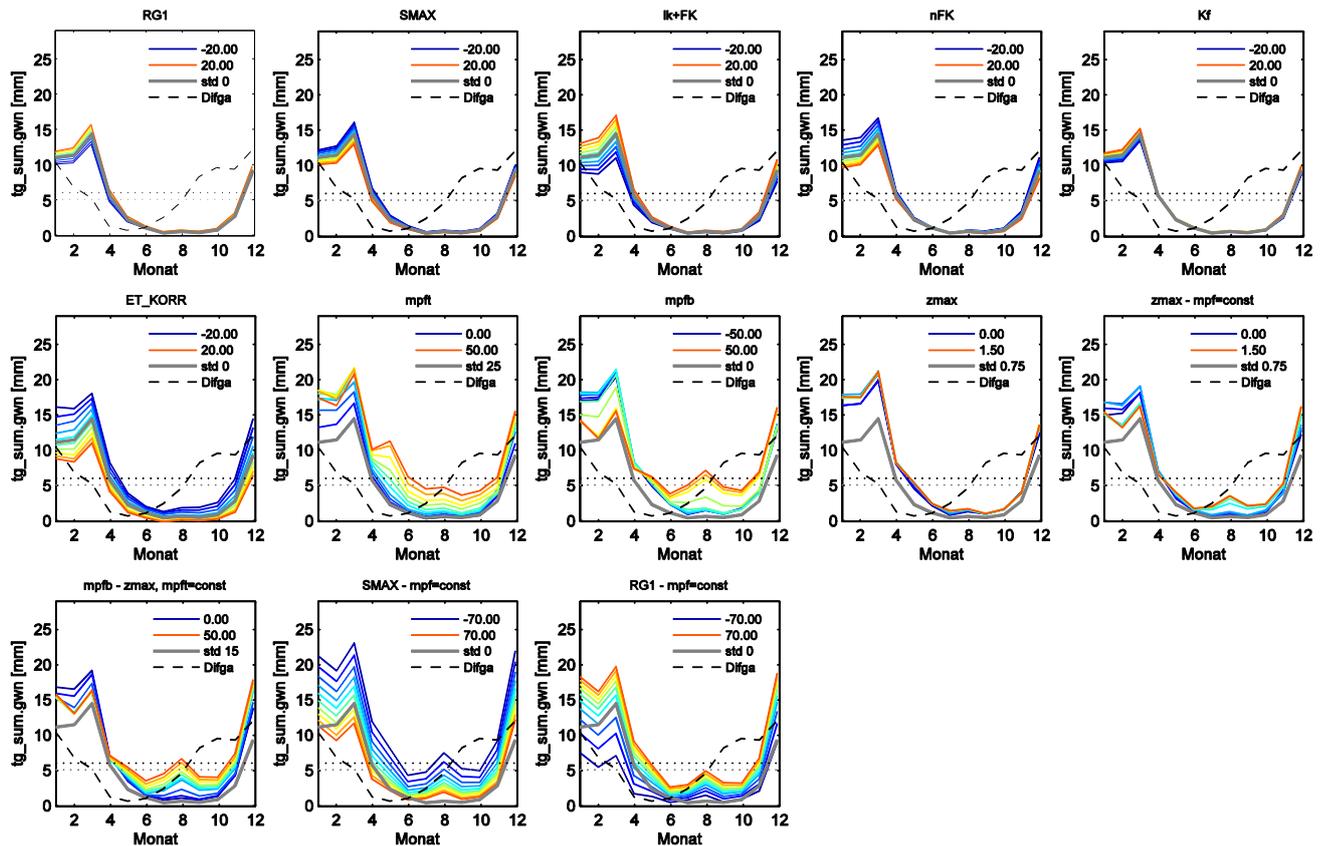


Abbildung A11: Mittlere Jahresgänge des Zuflusses zum langsamen Basisabflussspeicher am Pegel Zescha; die Legende zeigt nur die minimale und maximale Parametrisierung sowie Standardwert und gestrichelten Vergleichswert; gepunktet dargestellt sind die Jahresmittelwerte von ArcEGMO (grau) und DIFGA (schwarz)

Sind die minimalen (blau) bzw. maximalen (rot) Parametrisierungen in den nachfolgenden Abbildungen nicht sichtbar, so werden sie durch die grau durchgängige Linie des Standardwertes überdeckt. Das bedeutet, dass der betreffende Parameter bezüglich der jeweiligen Wasserhaushaltskomponente nicht sensitiv ist, weil er keine Veränderung nach sich zieht.

4 Kalibrierung und Regionalisierung

4.1 Kalibrierte Parameter und deren Gütemaße

Die Ergebnisse der Kalibrierung aller 113 Gebiete mit DIFGA-Analysen sind in Tabelle A14 angegeben. In der nachfolgenden Tabelle A15 sind die Gütemaße angegeben, die die Anpassung der ArcEGMO-Ergebnisse an die Ergebnisse der DIFGA-Analysen geliefert haben.

Tabelle A14: Werte der kalibrierten Parameter

Einzugsgebiet	C	D	E	B
Ebersbach	0.452729329	0.954851372	0.900998932	0.533710846
Holtendorf	3.74E-05	1.060194065	1.041292329	0.050670711
Milkel	0.000373822	1.007388552	1.15457386	1.047855991
Schirgiswalde	0.121436075	0.448958279	0.759478658	0.112105665
Königshain	0.000194281	0.786273574	1.302011714	0.34782849
Oehlich	0.000282253	0.681509766	1.355816153	0.447271331
Großschweidnitz	0.102315967	0.466375094	0.89308795	0.010092176
Kotitz	0.253181822	0.556891926	1.250264867	1.047140143
Hohberg	0.06016298	0.869772866	1.334962009	0.531006459
Särichen	0.000611078	0.469406406	1.141062275	0.362322424
Jänkendorf	0.005703472	0.941481284	1.184952476	0.050354884
Gröditz 1	0.000743208	0.848385445	1.172533865	0.383534909
Bautzen Weite Bleiche	0.813518055	1.162717507	0.822263401	1.042242687
Drehsa	0.490084175	0.57222011	1.28155992	0.913993975
Burkersdorf 2	0.485514807	0.696728541	0.820481317	0.07583156
Wolfsgrund	0.444370583	0.61818349	1.417729952	0.69139356
Berthelsdorf	0.033244939	0.497873945	1.531235759	0.216498859
Krummenhennersdorf 1	0.12034965	0.792127533	1.390930399	0.050358313
Deutschgeorgenthal 2	0.231157822	0.426702182	0.899782619	0.050546259
Rauschenbach 2	0.423401335	0.560714227	0.725001209	0.168366901
Neuwerndorf	0.209291851	0.633523883	1.113367042	0.051284471
Rothenthal	0.946831333	0.997112078	0.710565408	0.050108095
Cämmerswalde	0.092964874	0.472484159	1.531235399	0.050018236
Zöblitz	0.310492721	0.511484662	0.916496048	0.082444557
Wiesa	0.387336619	0.603985437	1.242455137	0.385003828
Tannenberg	0.361336497	0.549584206	0.96265432	0.210497121
Cranzahl	0.137004974	0.347087835	1.2125	0.0001
Niederstriegis 1	0	0.643778157	1.103134784	0.533710846
Markersbach 1	0.096341436	0.408426406	1.054877681	0.050230915

Einzugsgebiet	C	D	E	B
Johangeorgenstadt 2	0.293301884	0.623564986	0.94749883	0.052800123
Aue 1	0.276736854	0.547458479	1.073405259	0.402845603
Muldenberg 3	0.114783947	0.349130368	0.866750056	0.052842199
Sachsengrund	0.261986424	0.595889385	0.786269958	0.201764129
Schoenheide 3	0.17552052	0.459015856	1.149813178	0.050468713
Eibenstock 2	0.154335301	0.452970221	1.350806146	0.05
TS Neunzehnhain ZP1	0.131200058	0.742696694	1.44438411	0.431226321
TS Neunzehnhain ZP2	0.230253149	0.498935253	1.159785107	0.082335171
TS Saidenbach ZP2	0.324542696	0.7434103	1.5304878	0.050027592
TS Saidenbach ZP5	0.562565198	0.82955179	1.53125	0.05
Annaberg 1	0.227483134	0.700097726	1.397329862	0.061344806
Wolfersgruen	0.247376289	0.807029001	1.255903866	0.059631629
Niedermülsen	0.222775461	0.990975734	1.196894375	0.202501179
Niederlungwitz	0.231846422	0.818851715	1.130274959	0.241230832
Burkhardtsdorf 2	0.189905455	0.498620367	1.154868855	0.716289077
Altchemnitz 1	0.000377133	0.78863489	1.159705334	0.355192177
Harthau	0	0.5064494	1.233608655	0.153519277
Chemnitz 1	1.90E-05	0.577219718	1.531053706	0.135298724
Nemt 1	0.070217609	1.298910791	1.126241563	0.232432438
Thallwitz	0.002984986	0.352488687	1.531244184	1.01935967
Rennersdorf 1	0	0.845354749	1.1159046	0.051983956
Rennersdorf 2	0.000683539	0.560235981	0.928336365	0.050071395
Rennersdorf 3	0.645092792	1.299959419	1.245602359	0.0502542
Tauchritz	7.46E-05	0.398194468	0.972580361	0.050014338
Niederoderwitz	0.133032461	0.361799605	1.133192619	0.050560102
Großschönau 2	0.684059983	0.73409004	0.85698524	0.050587091
Zittau 3+5	0.398028593	1.299998965	0.905351233	0.057978987
Gössnitz	0.058137704	0.706516415	1.116875392	0.533710846
Adorf	0	0.413878228	1.147907853	0.056506641
Bad Elster	0.691808021	0.744188799	0.813559166	0.220335493
Oelsnitz	0.000889165	0.899769835	1.280642882	0.05
Bobenneukirchen	0.861453548	1.297869082	1.201745108	0.372080372
Gospersgruen	0.053145883	0.595247367	1.021950885	0.086450691
Neuensalz	0	0.5861707	1.286667827	0.264519769
Mylau	0.382653029	0.626407902	0.957178608	0.533710846
Großsteinberg	0.25	0.3	0.92894023	1.04976676
Großbardau	0.361980169	0.419265719	0.902729502	1.031619241
Glasten	0.248803291	0.300156832	0.757908417	0.050023383

Einzugsgebiet	C	D	E	B
Radeberg	0.000498094	0.504591108	1.153266572	0.110466752
Großdittmannsdorf	0.081009747	0.88140304	1.048840819	0.175817529
Radeburg 3	0	0.652592899	1.238142896	0.278573629
Königsbrueck	0.018471574	0.778485706	1.246149175	0.050005081
Trado 1	0.032829143	0.727003487	1.292753955	0.153821951
Schönau	0.013443643	0.584072009	1.35556994	0.51143352
Pietzschwitz	0.03477926	0.828345309	1.084677979	0.096392239
Prischwitz 2	7.51E-06	1.05160167	1.104810292	0.102619864
Zescha	0.000642552	0.701103099	1.531248786	0.55419298
Klingenthal 1	0.061539266	0.481443395	1.374582849	0.91845892
Ammelsdorf	0.401028179	0.578987224	0.830702503	0.533710846
Rehefeld 2	0.586165409	0.636463147	0.691751152	1.05
Baerenfels	0.415833578	0.466060098	0.807700459	0.14463164
Schmiedeberg 1	0.129075844	0.481705062	1.084185985	0.547610923
Dippoldiswalde 1+3	6.95E-05	0.719461266	1.016789514	0.679156864
Reichstädt	0.022766037	0.773018153	1.266980191	0.319542069
Freital 1	0.120982822	1.299954872	1.308557178	0.533710846
Geising 1	0.293104966	0.6369015	1.531248865	0.178815502
Lauenstein 1	0.363795348	0.504597771	0.779601386	0.065182702
Dohna	0.617020049	0.790454247	1.129248705	0.051245826
Gottleuba 1	0.34728799	0.548118778	0.890954119	0.050564838
Gottleuba 2	0.195487875	0.48138632	1.331496031	0.554611789
Markersbach	0.388183183	0.741030833	0.820870523	0.05
Liebstadt 2	0.072886493	0.634474061	1.120608131	0.533710846
Bielatal 1	0.186733727	0.302662506	1.254005351	0.052662506
Cunnersdorf 1	0.318396037	0.791843683	1.248130867	0.093810521
Kreischka	0.000196548	0.642467593	1.387816711	0.051673373
Wilsdruff	0.178064868	0.31106557	1.53110218	0.994894299
Munzig 1	0.541546818	0.591624076	0.475298363	1.04999951
Garsebach	0.000154704	0.460512771	1.531016513	1.019315072
Piskowitz	0.016438784	0.728914214	1.432921626	0.920731675
Ostrau 1	0.000536729	0.628221304	1.229527719	0.657762729
Merzdorf	0.000375472	0.926860708	1.115568502	1.007496471
Buschmühle	0.235455442	1.086697367	1.531235503	0.05
Kirnitzschtal	0.000106346	0.562074594	1.270054734	0.051733045
Sebnitz	0.405053018	0.671659532	1.201313548	0.37168376
Neustadt 1	0.503747459	0.839023978	1.238516922	1.049900103
Porschdorf 1	0.721720086	1.162579341	1.168941388	0.646577337

Einzugsgebiet	C	D	E	B
Bischofswerda	0.000298752	0.611618512	0.871923091	1.046066133
Elbersdorf	0.308292902	1.257294693	1.050953344	0.055935128
Klotzsche	0.203242437	0.425590099	1.084917896	1.042477552
Niederau	0.29666491	0.71006484	1.132488882	1.049977666
Seifhennersdorf	0.011545342	0.962396741	1.055883701	0.056084675
Krauschwitz	0	0.3	1.056744229	0.218491756
Herzogswalde 1	0	0.53627939	1.254413995	0.050021749
Seerhausen 1+3	0	0.758137896	1.249925028	1.048481936

Tabelle A15: Gütemaße der Kalibrierung

Einzugsgebiet	r_{abs}(QG1)	p_{bias}(QG1)	r_{abs}(ETR)	p_{bias}(ETR)	r_{abs}(RG)	p_{bias}(RG)
Ebersbach	0.92087662	0.0000008	1.41906345	0.0290271	1.19671285	0.0223328
Holtendorf	0.64321113	0.0000001	1.18067025	0.014877	0.91602838	0.00061
Milkel	0.81883861	0.00005812	1.22220174	0.0995142	2.52805929	0.0000007
Schirgiswalde	0.66639471	0.0003635	0.91704771	0.0000049	0.70204257	0.0000227
Königshain	0.76428378	0.0000011	0.61866437	0.0093766	0.80183057	0.0043931
Oehlich	0.76184071	0.00022708	1.00882745	0.045071	0.98772848	0.0339594
Großschweidnitz	0.77656561	0.0000056	1.22958167	0.1701711	1.01100073	0.52078652
Kotitz	0.8670243	0.0024636	1.20868893	0.0469375	1.0706014	0.0000008
Hohberg	0.55574292	0.0001327	1.14727545	0.0302534	0.54730392	0.0154827
Särichen	0.68784422	0.0000208	1.20541905	0.0000016	0.98747182	0.0000193
Jänkendorf	0.65954608	0.0020886	1.20372281	0.0056088	1.22215573	0.0000006
Gröditz 1	0.64800519	0.0000131	1.06224622	0.0000002	0.9117999	0.0000052
Bautzen Weite Bleiche	0.62070328	0.0000251	1.06711034	0.44362739	0.55468127	0.18569089
Drehsa	0.7066927	0.00006	1.41256271	0.0001349	0.82639818	0.0000657
Burkersdorf 2	0.60634452	0.0000101	0.93747643	0.0000031	0.68573241	0.0000024
Wolfsgrund	0.53125972	0.0000018	0.82528031	0.0369049	0.6475489	0.0000016
Berthelsdorf	0.49469191	0.0000068	1.05024787	0.0089742	0.698368	0.000013
Krummenhennersdorf 1	0.43456081	0.0000941	0.92005105	0.0119901	0.65618922	0.0062186
Deutschgeorgenthal 2	0.58558929	0.0000184	1.0548683	0.0125503	0.74860805	0.0144812
Rauschenbach 2	0.4984906	0.0002699	0.77901348	0.0000012	0.70425499	0.0000018
Neuwernsdorf	0.59258318	0.0000023	1.04071766	0.0823674	0.96678521	0.0000038
Rothenthal	0.4957372	0.0001357	0.81246312	0.0000494	0.61401331	0.0057803
Cämmerswalde	0.72360688	0.0052072	1.06180619	0.0992859	0.8185466	0.16491941
Zöblitz	0.5589788	0.0000182	0.81616852	0.0000005	0.63170018	0.0000029
Wiesa	0.52595001	0.0000176	0.74453383	0.0000297	0.60747629	0.0000061
Tannenberg	0.62135202	0.0000105	0.93903403	0.0000024	0.75514362	0.0000049
Cranzahl	0.84959131	0.0002001	1.55415171	0.193167	1.5009579	0.8956179

Einzugsgebiet	r_{abs}(QG1)	p_{bias}(QG1)	r_{abs}(ETR)	p_{bias}(ETR)	r_{abs}(RG)	p_{bias}(RG)
Niederstriegis 1	0.42830111	0.00028692	1.04863911	0.0007732	0.6499187	0.0027338
Markersbach 1	0.6494137	0.0001784	1.17583981	0.063545	0.6852752	0.0000018
Johangeorgenstadt 2	0.64586371	0.0002693	0.93221222	0.0166378	0.73639226	0.0227985
Aue 1	0.5270437	0.0000041	0.89427277	0.0000101	0.61785109	0.000016
Muldenberg 3	0.74967992	0.0000175	1.04763764	0.0565757	0.86402635	0.047132
Sachsengrund	0.665591	0.0000142	0.80411601	0.0000044	0.73765932	0.0000085
Schoenheide 3	0.60843021	0.0004375	1.09891742	0.0183733	0.71614093	0.0151274
Eibenstock 2	0.63780582	0.0007126	1.3320362	0.1500442	0.85189428	0.063165
TS Neunzehnhain ZP1	0.62324578	0.0001807	1.03886511	0.0000003	0.8141096	0.0000163
TS Neunzehnhain ZP2	0.61679578	0.0000072	1.12250786	0.0000306	0.671759	0.0000139
TS Saidenbach ZP2	0.59979081	0.0001487	0.8676233	0.0020712	0.74783771	0.0614807
TS Saidenbach ZP5	0.64592338	0.0000487	0.74651517	0.0452466	0.6063373	0.0050743
Annaberg 1	0.51536429	0.000028	1.02884913	0.000051	0.63988518	0.0000587
Wolfersgruen	0.4957529	0.0000726	1.090474	0.19118521	0.74572086	0.095653
Niedermülsen	0.59292072	0.0000058	1.02250614	0.0001285	0.71683392	0.0003419
Niederlungwitz	0.60188752	0.0000381	0.94092692	0.0000537	0.65472968	0.0000011
Burkhardtendorf 2	0.61736691	0.0000584	0.80875098	0.0000052	0.66752669	0.0000057
Altchemnitz 1	0.61021245	0.00000558	0.9021102	0.0000015	0.659606	0.0000011
Harthau	0.5266397	0.0000428	0.98340379	0.0000271	0.80496931	0.0000008
Chemnitz 1	0.54731327	0.0000017	0.93095933	0.0520381	0.63100102	0.0001864
Nemt 1	0.83512241	0.0000029	1.37175394	0.0000106	1.269411	0.0000198
Thallwitz	1.08270121	0.0005395	1.23830483	0.0047749	2.56791473	0.0000563
Rennersdorf 1	0.74861026	0.00000126	1.1385694	0.0507872	1.08879422	0.0002368
Rennersdorf 2	0.83601618	0.0000174	0.93167212	0.0294316	0.98723451	0.0001269
Rennersdorf 3	0.75415027	0.1079368	2.56424068	1.18467855	1.64435504	0.4974505
Tauchritz	0.81208271	0.0000059	1.18467029	0.0592077	0.98237053	0.0000075
Niederoderwitz	0.71285951	0.0000202	1.02262811	0.0887225	0.90333219	0.0399221
Großschönau 2	0.57181191	0.000006	0.72895726	0.112761	0.68335329	0.0625086
Zittau 3+5	0.57644409	0.0681643	0.82272882	0.0385983	0.62459018	0.037079
Gössnitz	0.5701099	0	1.10610205	0.0000062	0.96191817	0.0000017
Adorf	0.47011508	0.00001198	1.64795258	0.3248108	1.18152361	0.1198848
Bad Elster	0.59743363	0.0009618	1.13413704	0.0000018	0.95501149	0.0000536
Oelsnitz	0.41406029	0.0000062	1.98098348	0.67529511	1.3946013	0.26429391
Bobenneukirchen	0.61550701	0.0403518	0.72490322	0.0000113	0.6598306	0.0000005
Gospersgruen	0.52557582	0.0000011	0.88235779	0.0000029	0.73250729	0.0000615
Neuensalz	0.59396131	0.0005892	0.96409319	0.0000006	0.8367415	0.0000368
Mylau	0.50975502	0.0004533	0.86348146	0.0271304	0.73801832	0.0180256
Großsteinberg	0.70658185	0.10547948	1.45158963	0.1999094	1.24327467	0.0001296

Einzugsgebiet	r_{abs}(QG1)	p_{bias}(QG1)	r_{abs}(ETR)	p_{bias}(ETR)	r_{abs}(RG)	p_{bias}(RG)
Großbardau	0.8057791	0.00005	1.26388579	0.26338941	0.80239164	0.0862481
Glasten	0.68867582	0.25192159	1.12516006	0.001741	1.85864325	0.0000046
Radeberg	0.74141067	0.0000793	1.25210297	0.0000035	1.21700948	0.0000464
Großdittmannsdorf	0.49490991	0.0000626	1.261084	0.0000006	0.98976423	0.0000037
Radeburg 3	0.7258029	0.0000014	1.08778595	0.0000016	1.05002124	0.0000116
Königsbrueck	0.5435611	0.000113	1.22647683	0.0091544	1.20485201	0.0000004
Trado 1	0.62218952	0.0001303	1.56008078	0.0000651	2.66607088	0.0000026
Schönau	0.9346717	0.0003169	1.42840732	0.0000001	2.90208445	0.0000014
Pietzschwitz	1.35854757	0.0000361	1.44069185	0.0000074	1.62953525	0.0000482
Prischwitz 2	0.94632959	0.0000838	1.34259122	0.0000008	1.21141297	0.0000009
Zescha	0.88411421	0.0002511	1.20742027	0.0031659	1.49969305	0.0000002
Klingenthal 1	0.64735937	0.0000114	1.09131938	0.0000008	0.70882267	0.0000027
Ammelsdorf	0.60759938	0.0000142	0.87506754	0.0349624	0.75563061	0.0494715
Rehefeld 2	0.46628949	0.0000112	0.76065134	0.0037373	0.63147025	0.0301785
Baerenfels	0.6638397	0.0000123	0.6933814	0.0000049	0.7750184	0.0000019
Schmiedeberg 1	0.56308562	0.0000003	1.0969054	0.0000007	0.78998039	0.0000041
Dippoldiswalde 1+3	0.71100622	0.0000282	0.9129315	0.0000097	0.76831647	0.000003
Reichstädt	0.48367369	0.0021539	1.05844564	0.000015	0.71018519	0.0000064
Freital 1	0.77022612	0.0000382	1.20865871	0.0792418	0.95335092	0.0241277
Geising 1	0.4437505	0.0000126	1.14016161	0.0818834	0.84519322	0.000002
Lauenstein 1	0.52308381	0.0000077	0.80089377	0.059603	0.72244373	0.1290015
Dohna	0.56446779	0.0003054	0.977181	0.0370406	0.65072214	0.0184164
Gottleuba 1	0.50487661	0.0000081	0.69596271	0.0235084	0.68521233	0.0228908
Gottleuba 2	0.52586782	0.0011062	0.73630388	0.0000231	0.65592231	0.0000003
Markersbach	0.46705791	0.0000088	0.75955033	0.0222331	0.65327117	0.024336
Liebstadt 2	0.51528442	0.0000148	0.94840104	0.005849	0.66423353	0.0000091
Bielatal 1	0.81014478	0.0000147	0.94459298	0.0360784	0.95663628	0.0000005
Cunnersdorf 1	0.59514588	0.0000004	0.98371126	0.0760326	0.9269371	0.0284901
Kreischa	0.47998419	0.0000217	1.13653196	0.074075	0.80126608	0.0190713
Wilsdruff	0.79293352	0.0000379	1.148782	0.0055142	1.07450811	0.0000023
Munzig 1	0.75445437	0.0000186	0.80731815	0.0174043	0.7536468	0.28644621
Garsebach	1.00038493	0.000005	1.06821653	0.0924995	0.99943119	0
Piskowitz	0.94636339	0.0028989	1.29552648	0.0000014	1.28566953	0.0000012
Ostrau 1	0.91487437	0.0001067	1.44946642	0.0000133	1.21493751	0.0000974
Merzdorf	0.88834792	0.0000105	1.34632605	0.0649429	1.17190868	0.0000149
Buschmühle	0.55510968	0.0000031	0.97655216	0.0621687	0.87042299	0.1228674
Kirnitzschtal	0.54437077	0.0000096	2.11206927	0.78809118	1.48492679	0.384882
Sebnitz	0.6545167	0.0000119	0.8593308	0.0000004	0.5366685	0.0000012

Einzugsgebiet	$r_{abs}(QG1)$	$p_{bias}(QG1)$	$r_{abs}(ETR)$	$p_{bias}(ETR)$	$r_{abs}(RG)$	$p_{bias}(RG)$
Neustadt 1	0.6503309	0.0000028	1.0936789	0.0136562	0.62814991	0.0088929
Porschdorf 1	0.55995089	0.0000209	0.98462051	0.0000018	0.7034914	0.0000011
Bischofswerda	0.9957037	0.0004112	1.23400048	0.0230834	0.81243293	0.016665
Elbersdorf	0.58642322	0.0000281	1.4384655	0.1533097	0.90880629	0.0954805
Klotzsche	0.54680669	0.0000032	1.21530686	0.016722	1.10795062	0.000078
Niederau	0.68757111	0.000261	1.20841978	0.0044888	1.00599914	0.0000008
Seifhennersdorf	0.52692503	0.0000041	0.88213066	0.0850356	0.65986926	0.0766442
Krauschwitz	1.73959514	1.40577956	1.243686	0.0000427	2.31064649	0.0001539
Herzogswalde 1	0.50116502	0.00034483	1.37334702	0.08027	0.84901098	0.0000286
Seerhausen 1+3	0.88600827	0.00000827	1.5584288	0.0002568	1.86380861	0.0000278

4.2 Regionalisierung der Modellparameter

Im Folgenden sind die multilinearen Korrelationsbeziehungen zwischen Modellparametern und Gebietskennwerten angegeben, die zur Regionalisierung der Parameter verwendet wurden. Die entsprechenden Gleichungen haben folgende Struktur:

$$p = c_0 + c_1 G_1 + c_2 G_2 + c_3 G_3 + \dots$$

Formel 2

mit

$$p \in \{c_{norm}, D * S_{max}, e_{norm}, b_{norm}\}$$

wobei p der zu errechnende Parameter ist, die Größen $\{G_i\}$ jene Gebietskennwerte, mit denen p korreliert, und die Größen $\{c_i\}$ die Koeffizienten die im Rahmen der Korrelationsanalyse errechnet wurden. Aus numerischen und programmieretechnischen Gründen wurden die Korrelationsbeziehungen für die normierten Größen c_{norm} , e_{norm} und b_{norm} erstellt, welche sich im Intervall $[0,1]$ bewegen und mit den ursprünglichen Größen C, E und B in folgenden einfachen Zusammenhängen stehen:

$$C = c_{norm} * (D - 0.05)$$

$$E = e_{norm} + 0.5$$

$$B = b_{norm} + 0.05$$

Im Falle des Parameters D wurde die Korrelationsbeziehungen für die Größe $D * S_{max}$ erstellt, weil diese einen klare, physikalisch interpretierbare Bedeutung als Jahresmittel des maximalen Speichervolumens des schnellen Grundwasserspeichers hat. Die Einzugsgebiete wurden gemäß ihrer Zugehörigkeit zu den drei hydrogeologischen Einheiten Magmatite, Metamorphite und Lockergestein klassifiziert. Dem entsprechend gibt es für die Parameter C, D und B jeweils drei Korrelationsgleichungen, entsprechend den drei hydrogeologischen Einheiten. Für den Parameter E konnte eine global (das heißt für alle hydrogeologischen Einheiten) gültige Beziehung gefunden werden. Dies ergibt in Summe zehn Korrelationsbeziehungen, deren Koeffizienten in Tabelle A16, Tabelle A17, Tabelle A18 und Tabelle A19 dargestellt sind. Einsetzen dieser Koeffizienten sowie der entsprechenden Gebietskennwerte in $p = c_0 + c_1 G_1 + c_2 G_2 + c_3 G_3 + \dots$

Formel 2 erlaubt die Berechnung der regionalisierten Parametersätze.

Tabelle A16: Koeffizienten der Regressionsanalyse für Magmatite

c_{norm}	Koeffizienten	$d \cdot S_{max}$	Koeffizienten	b_{norm}	Koeffizienten
c_0	1.80819023	c_0	-18.9696765	c_0	-1.01579378
ETR	-0.00242511	P	0.03348953	Ig	0.03738289
Anteil kiesig bis sandig	-1.03248535	LG ² /Hm	-0.00047038	ETR	0.00179616
				Nadelwaldanteil	-0.40021327
Korrelationskoeffizient	0.699966067	Korrelationskoeffizient	0.80357125	Korrelationskoeffizient	0.6549378

Tabelle A17: Koeffizienten der Regressionsanalyse für Metamorphite

c_{norm}	Koeffizienten	$d \cdot S_{max}$	Koeffizienten	b_{norm}	Koeffizienten
c_0	0.940046293	c_0	13.67643275	c_0	-1.171174723
ETR	-0.003081663	P	0.015368445	D in 1/m	-239.1301931
Anteil Schluff	-0.007531855	LG ² /Hm	-0.00053539	P	0.001162222
Anteil Festgestein	1.386324899	Ton	-0.68637341	Anteil Ton	0.025787204
				Nadelwaldanteil	-0.153521847
				Grundwassernahe Flächen	0.149050053
Korrelationskoeffizient	0.707387089	Korrelationskoeffizient	0.718507577	Korrelationskoeffizient	0.662629061

Tabelle A18: Koeffizienten der Regressionsanalyse für Lockergestein

c_{norm}	Koeffizienten	$d \cdot S_{max}$	Koeffizienten	b_{norm}	Koeffizienten
c_0	-1.3406778	c_0	-7.766816	c_0	-1.66572728
P	0.0015923	P	0.0134743	ETR	0.0044638
LG ² /Hm	1.9141E-05	Nadelwaldanteil	7.8874269	Nadelwaldanteil	-3.42631398
Anteil Siedlungen u Industrie	3.0532359				
Korrelationskoeffizient	0.83261937	Korrelationskoeffizient	0.72170427	Korrelationskoeffizient	0.79280004

Tabelle A19: Koeffizienten der globalen Regressionsbeziehung für e_{norm}

e_{norm}	Koeffizienten
c_0	1.052647927
D in 1/m	-289.1796178
Hm	-0.000701562
Anteil grundwassernahe Flächen	-0.34310239
LG ² /Hm	-2.09134E-05
Anteil mit Durchlässigkeit mäßig bis sehr gering	0.560165539
Anteil Schluff	-0.003410266
Korrelationskoeffizient	0.679383063

Hierbei bezeichnet ETR das langjährige Mittel der Verdunstung im Gebiet, P das langjährige Mittel des Niederschlags, LG die mittlere Hanglänge, Hm die mittlere durchströmte Höhe, Ig das mittlere Gefälle des Wasserlaufs und D die Flussdichte (Fließgewässerlänge/Gebietsfläche). Alle verwendeten Gebietskennwerte sind messbare Größen mit klarer physikalischer und anschaulicher Bedeutung, die spezifische Charakteristika der untersuchten Gebiete darstellen.

Für die 17 Gebiete, die keiner dieser hydrogeologischen Einheiten angehören, wurden die Mittelwerte der Parameter C, D und E verwendet und (aufgrund der sehr inhomogenen Verteilung der Parameterwerte im erlaubten Intervall) für den Parameter B der Median.

5 Sachsenweite Darstellung der Wasserhaushaltsgrößen

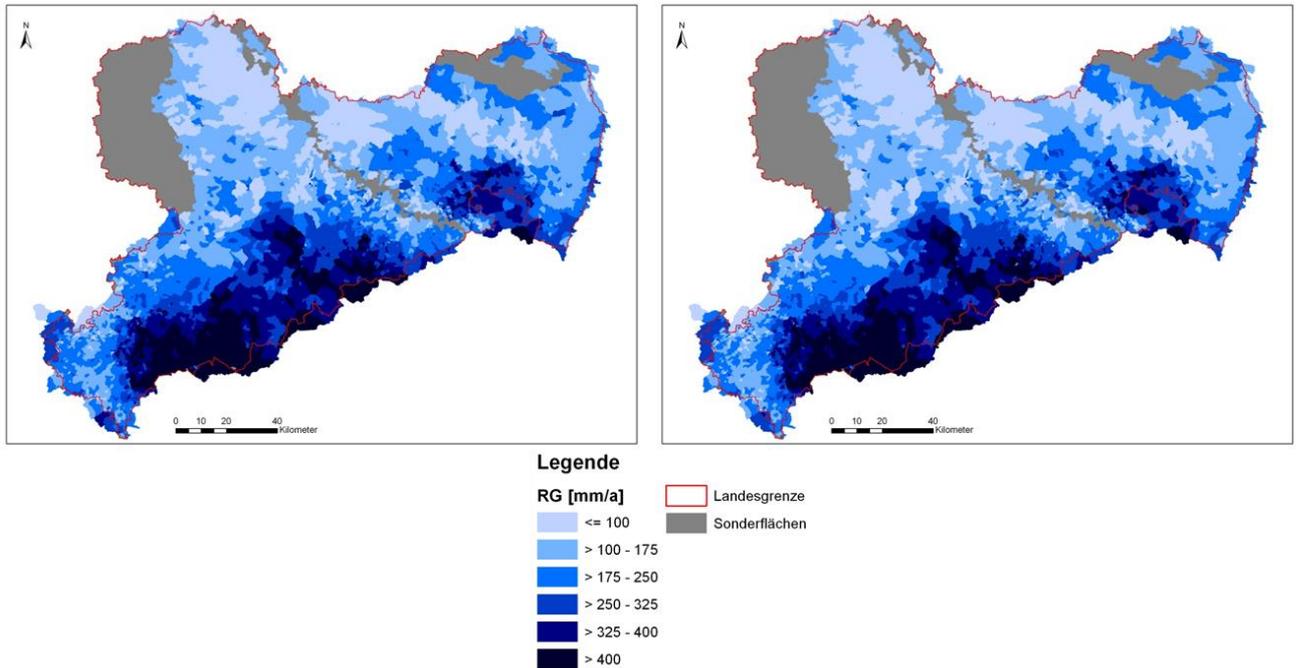


Abbildung A12: Mittlere Jahressummen (links 1961–1990, rechts 1981–2010) der Grundwasserkomponente RG des Ist-Zustandes auf den sächsischen Teileinzugsgebietsflächen

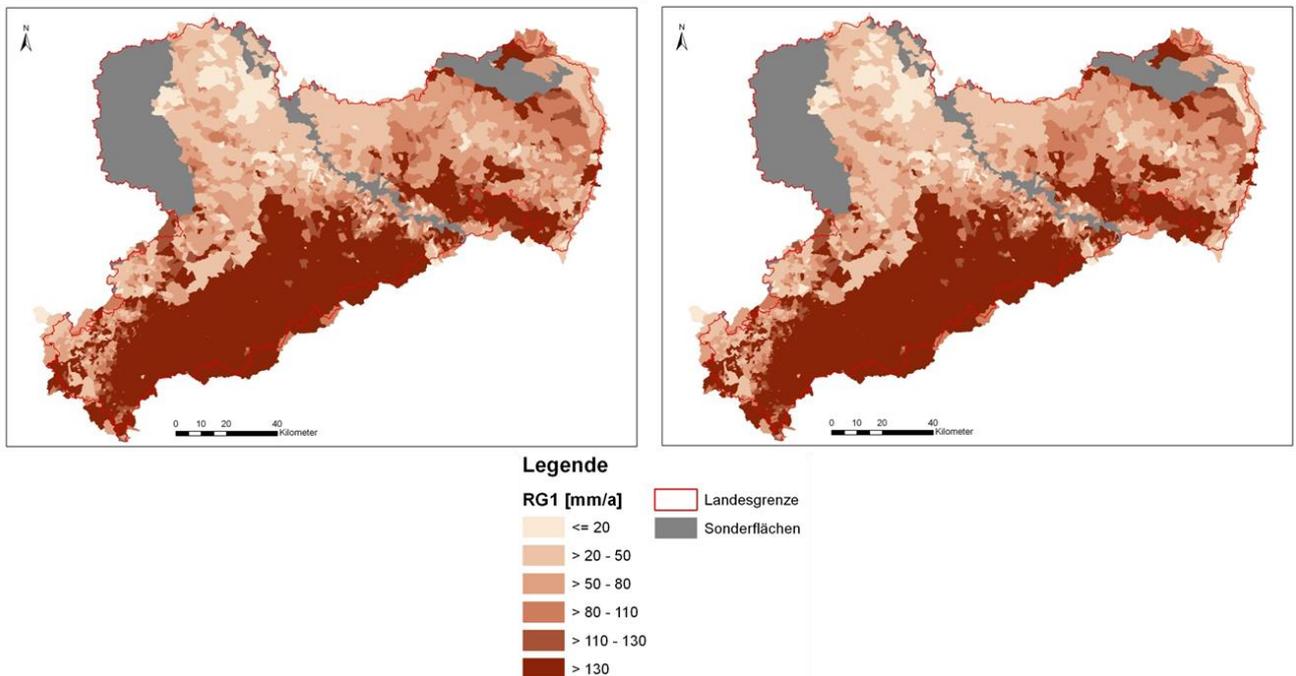


Abbildung A13: Mittlere Jahressummen (links 1961–1990, rechts 1981–2010) der schnellen Grundwasserkomponente RG1 des Ist-Zustandes auf den sächsischen Teileinzugsgebietsflächen

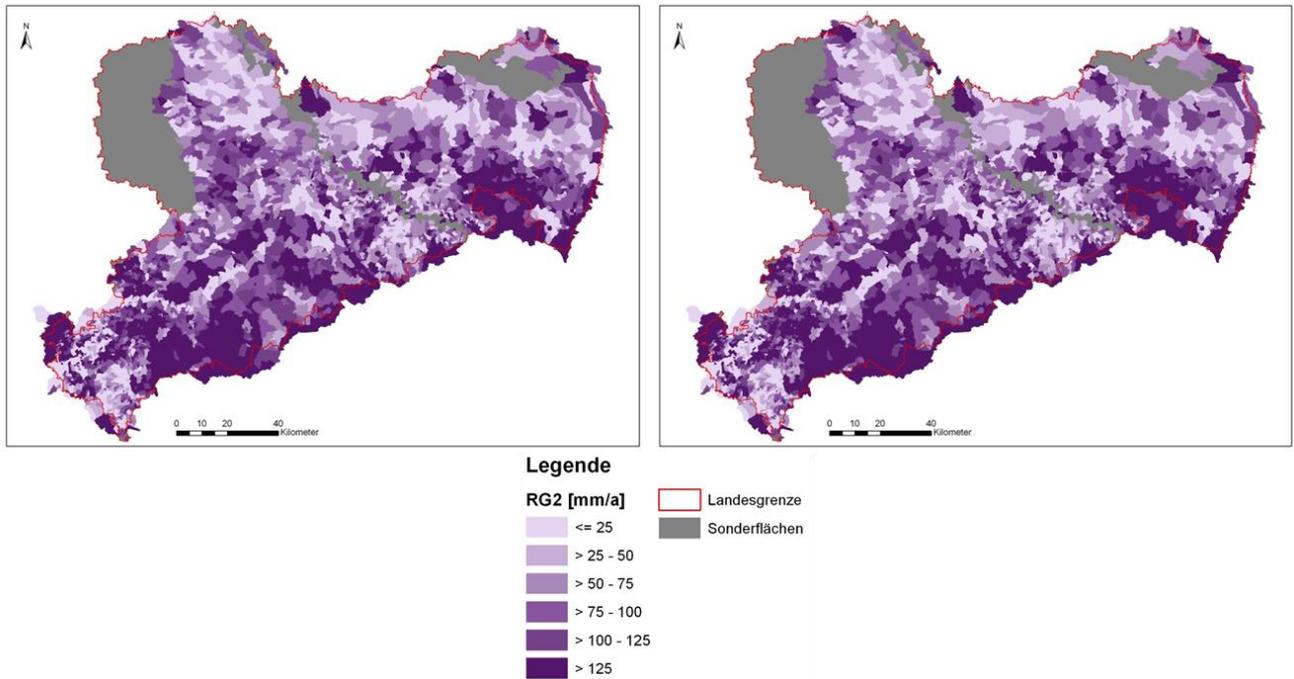


Abbildung A14: Mittlere Jahressummen (links 1961–1990, rechts 1981–2010) der langsamen Grundwasserkomponente RG2 des Ist-Zustandes auf den sächsischen Teileinzugsgebietsflächen

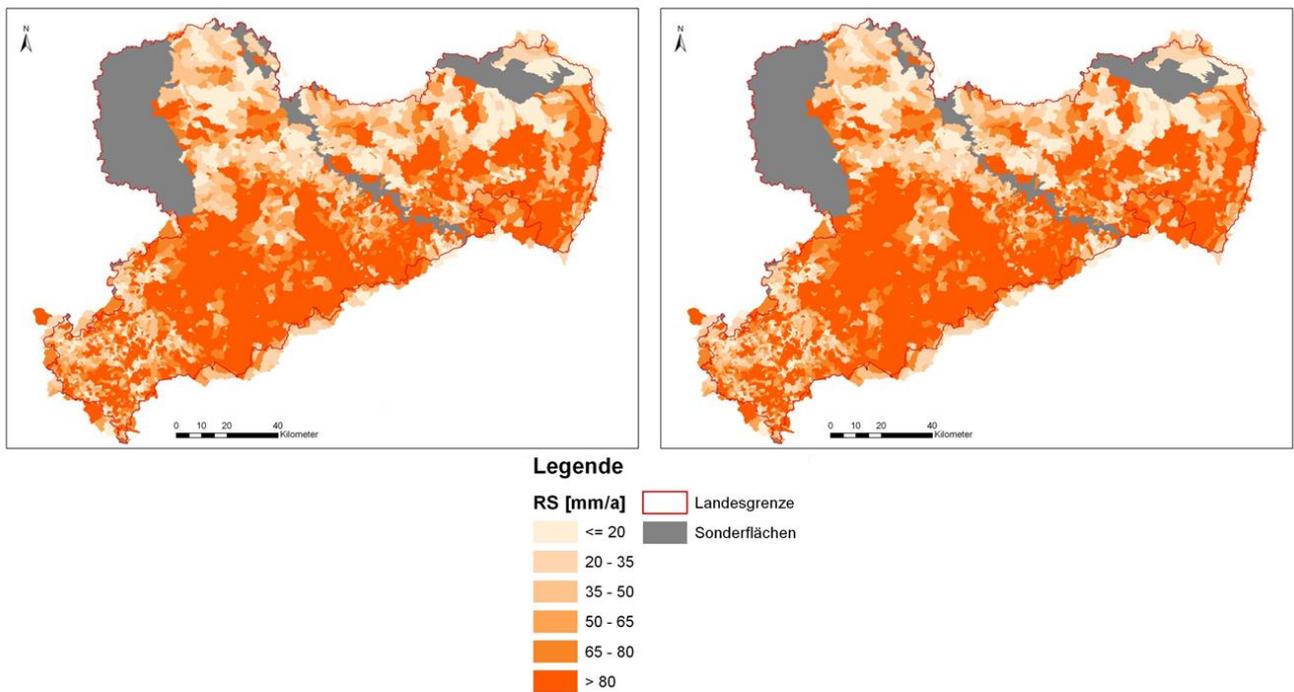


Abbildung A15: Mittlere Jahressummen (links 1961–1990, rechts 1981–2010) der schnellen Abflusskomponente RS des Ist-Zustandes auf den sächsischen Teileinzugsgebietsflächen

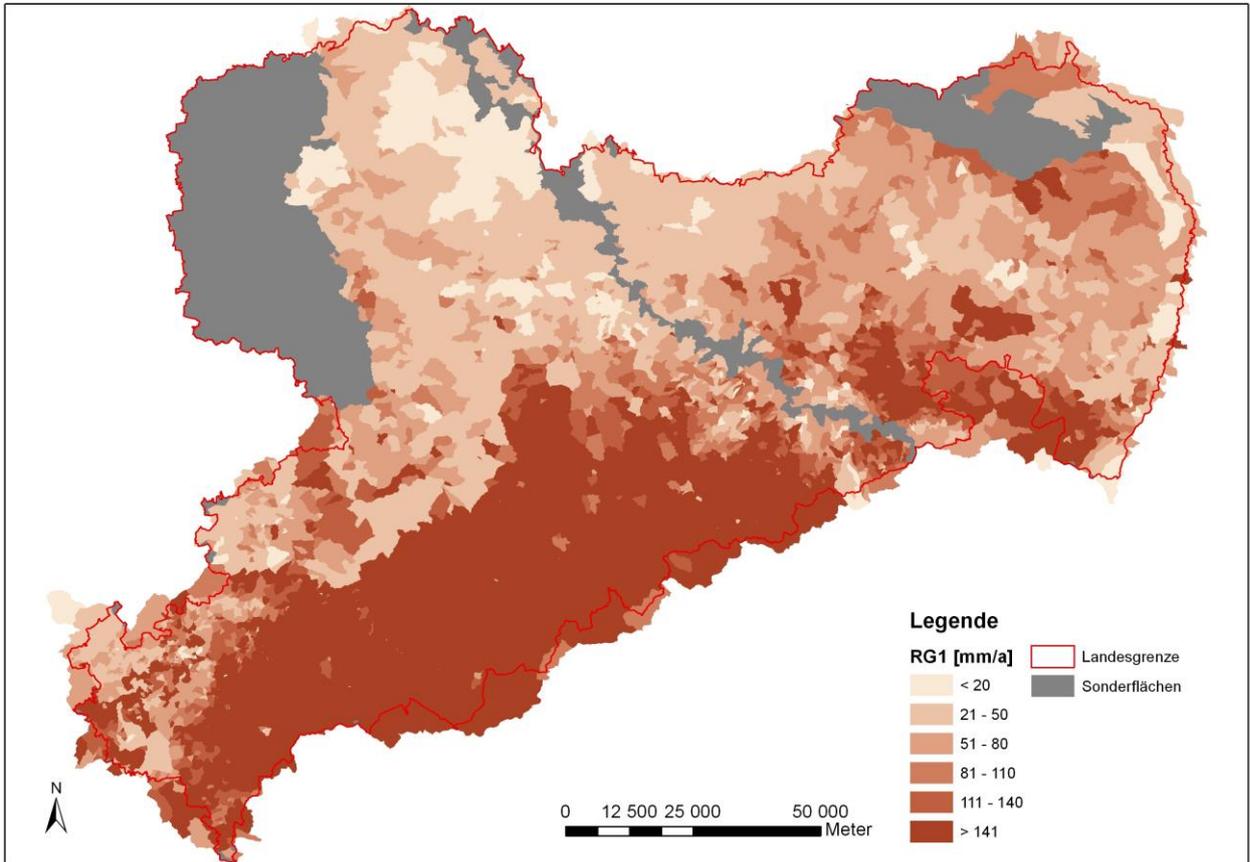


Abbildung A16: Mittlere Jahressummen (1961–2100) der schnellen Grundwasserkomponente RG1 der Realisierung 66 auf den sächsischen Teileinzugsgebietsflächen

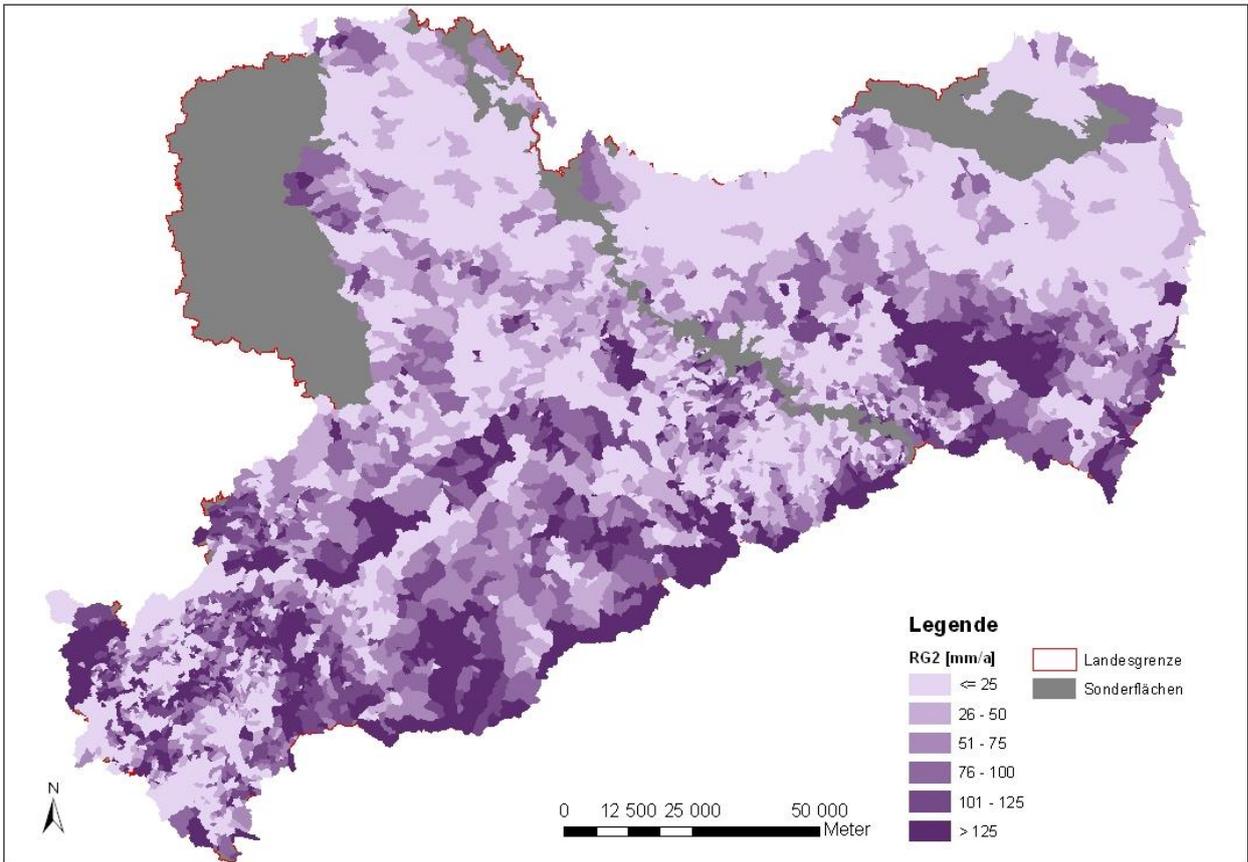


Abbildung A17: Mittlere Jahressummen (1961–2100) der langsamen Grundwasserkomponente RG2 der Realisierung 66 auf den sächsischen Teileinzugsgebietsflächen

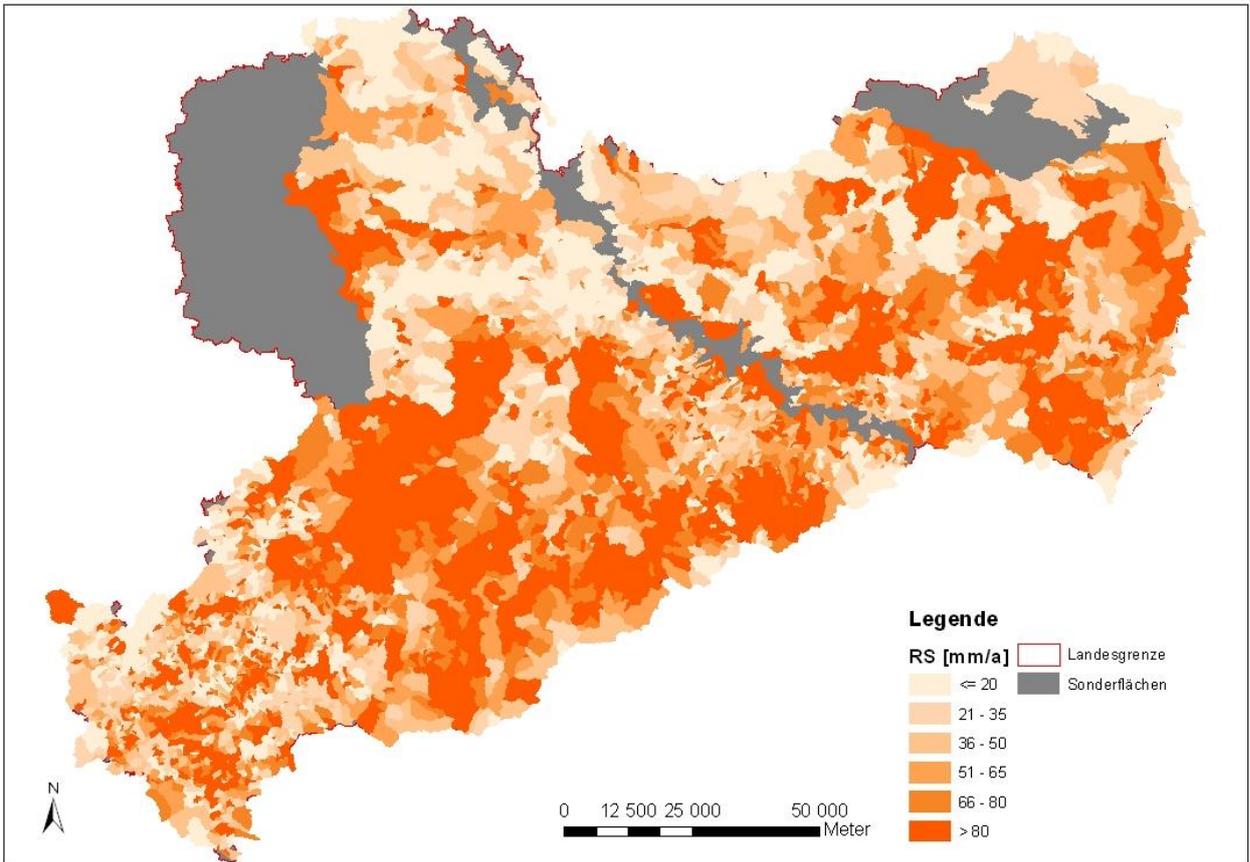


Abbildung A18: Mittlere Jahressummen (1961–2100) der Abflusskomponente RS der Realisierung 66 auf den sächsischen Teileinzugsgebietsflächen

Literaturverzeichnis

- ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; SRINIVASAN, R.; WILLIAMS, J. R.; HANEY, E. B.; NEITSCH, S.L. (2010): Soil and Water Assessment Tool – Input/Output File Documentation Version 2009, Texas. www.swatmodel.tamu.edu.
- DVWK (1996): DVWK-Merkblatt 238/1996 Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. (Hrsg.) Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Bonn.
- GEBEL, M.; HALBFAß, S.; FRIESE, H.; GRUNEWALD, K.; MANNSFELS, K. (2009): Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer. (Hrsg.) LfULG – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- KLÖCKING, B. (2008): Das ökohydrologische PSCN-Modul innerhalb des Flussgebiets ArcEGMO: Bedienungsanleitung. (Hrsg.) BAH – Büro für Angewandte Hydrologie, München.
- KLÖCKING, B. (2012): Das ökohydrologische PSCN-Modul innerhalb des Flussgebiets ArcEGMO - Theoretische Modellbeschreibung. (Hrsg.) BAH – Büro für Angewandte Hydrologie, München.
- LfUG (2007): Bodenatlas des Freistaates Sachsen Teil 4: Auswertungskarten zum Bodenschutz – Erläuterungsheft. (Hrsg.) LfUG – Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- MÖLLER, M.; ROSCHE, O.; STEININGER, M.; WURBS, D. (2009): Bedeutung landwirtschaftlicher Dränsysteme für den Wasser- und Stoffhaushalt“, Teilvorhaben 1, Abschlussbericht. (Hrsg.) LfULG – Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- PFÜTZNER, B.; KLÖCKING, B.; BECKER, A. (2007): ArcEGMO GIS-gestützte hydrologische Modellierung. (Hrsg.) BAH – Büro für Angewandte Hydrologie, Berlin und Potsdam.
- SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; HAUFFE, C.; BALDY, A. (2011): KliWES Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen (Klimaprojektionen) – Teil A: Erarbeitung eines Prototyps für die Darstellung des Ist-Zustandes. (Hrsg.) Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie – LfULG, Dresden.
- SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; HOFMANN, J.; LÜNICH, K.; MALESKA, V.; SPITZER, S. (2010): Endbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben KliWES – Abschätzung der für Sachsen prognostizierten Klimaveränderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt in den Einzugsgebieten sächsischer Gewässer, Teil 1: Kernkomponente. (Hrsg.) LfULG - Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, unveröffentlichter Bericht.
- WINKLER, B.; PLEINER, I.; LORENZ, H.; FLEMING, B.; MATTHES, E.; NUSCHE, H. (1999): Die Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete im Freistaat Sachsen. (Hrsg.) LfULG - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.

Weitere Quellen

- BAH (2012): mdl. Mittlg. PFÜTZNER, B. (BAH Berlin) & KLÖCKING, B. (BAH München) insbesondere zu Problemen mit SLOWCOMP und der Bodendynamik, Berlin, 16.02.2012.
- GENESIS (2011) online: GENESIS-Online Datenbank des Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen, Suchbegriff: Gebietsfläche(T,171-01), Einwohner je Quadratkilometer, Gemeinden, Gebietsstand 01.01.2010.
- LfULG (2007) Karte: BSA – Bodenatlas des Freistaates Sachsen. (Hrsg.) LfULG - Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Dr. Robert Schwarze, Corina Hauffe, Agnes Baldy, Michael Wagner,
Peter Winkler
Technische Universität Dresden, Fakultät Umweltwissenschaften
Fachrichtung Hydrowissenschaften
Bergstraße 66, 01062 Dresden

Redaktion:

Holm Friese
LfULG, Abteilung Wasser, Boden, Wertstoffe/
Referat Oberflächen- und Grundwasser
Zur Wetterwarte 11
Telefon: +49 351 8928-4412
Telefax: +49 351 8928-4099
E-Mail: holm.friese@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

31.07.2014

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinarbeit des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.