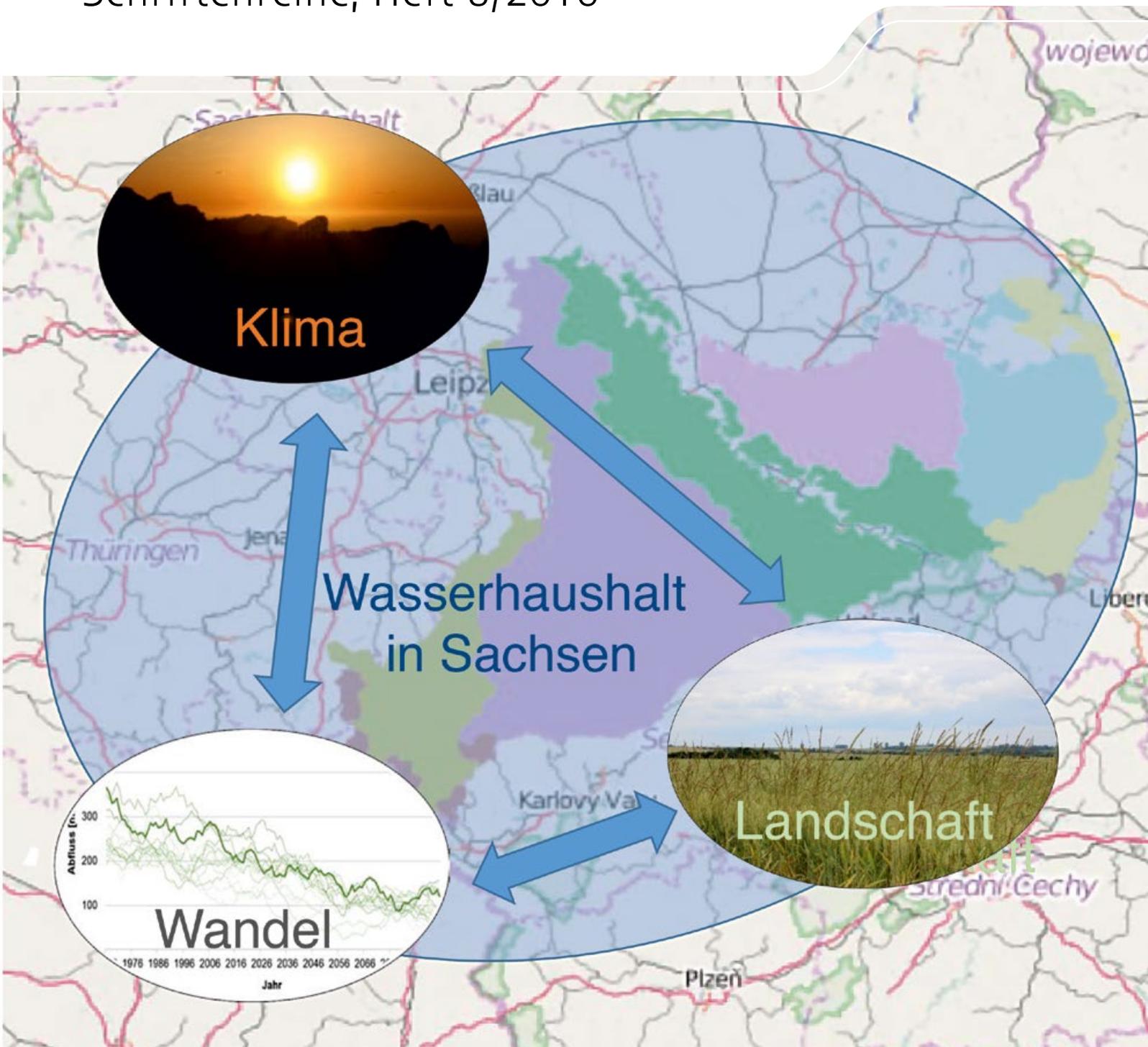


Wasserhaushalt im Wandel von Klima und Landnutzung

Schriftenreihe, Heft 8/2016



Analyse möglicher Änderungen des Wasserhaushalts sächsischer Gewässereinzugsgebiete unter dem Einfluss variierender Klima- und Landnutzungsbedingungen

Ergebnisüberblick zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben
„Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen“ (KliWES)

Projektbearbeitung:

Dr. Robert Schwarze (Projektleiter), Anastasia Gurova, Patric Röhm, Corina Hauffe,
Agnes Baldy, Dr. Peter Winkler, Dr. Ruben Müller, Dr. Werner Dröge, Dr. Michael Wagner

Projektbegleitung:

Karin Kuhn (Projektleiterin), Holm Friese, Kathleen Lünich

1	Einleitung	13
2	Datengrundlagen	16
2.1	Geodaten	16
2.2	Klimadaten	16
2.3	Hydrologische Daten	20
3	Säule A – Inverse Berechnung des Wasserhaushaltes ausgehend von langjährigen Beobachtungsreihen	21
3.1	Methodik zur Analyse langjähriger Beobachtungsdaten	21
3.2	Berücksichtigung von Nebelniederschlägen	23
3.3	Ergebnisse der Wasserhaushaltsberechnung mit DIFGA	28
3.4	Regionalisierung von Modellparametern und Wasserhaushaltsgrößen	29
3.5	Auswahl eines geeigneten Modells zur Berechnung des Wasserhaushaltes	33
3.6	Zusammenfassung	36
4	Säule B – Großräumige Wasserhaushaltsberechnungen sowie Ergebnisse für Istzustand und Klimaszenarien	37
4.1	Klima- und Landnutzungsszenarien	37
4.2	Mehrzieloptimierung	39
4.3	Kalibrierungsstrategie zur getrennten Optimierung der vertikalen und lateralen Prozesse	39
4.3.1	Grundlagen zur zweistufigen Kalibrierung	39
4.3.2	Die zu kalibrierenden Modellparameter	42
4.3.3	Die Formulierung der Zielfunktionen	43
4.3.4	Die Formulierung der Entscheidungsvariablen	45
4.4	Ergebnisse	46
4.4.1	Ergebnisse der multikriteriellen Optimierung	46
4.4.2	Validierung von Modellergebnissen am Beispiel Burkersdorf	48
4.4.3	Validierung von langjährigen Wasserhaushaltsbilanzen	50
4.4.4	Regionaler Wasserhaushalt am Beispiel der Realisierung 99 WETTREG2010 A1B	51
4.4.5	Niedrigwasseranalyse	61
4.5	Zusammenfassung	62
5	Recherche und Visualisierung von Ergebnissen der Säulen A und B im Wasserhaushaltsportal	64
5.1	Allgemeine Informationen zum Wasserhaushaltsportal	64
5.2	Funktionen, Inhalte und Fallbeispiele zu Säule A und B	65
5.2.1	Layout und Bedienkonzept Säule A und B	65
5.2.2	Säule A	66
5.2.3	Fallbeispiel zur Nutzung der Säule A	67
5.2.4	Anwendungsempfehlung und Zusammenfassung Säule A	86
5.2.5	Säule B	87
5.2.6	Fallbeispiel zur Anwendung der Säule B	88
5.2.7	Anwendungsempfehlung und Zusammenfassung Säule B	94
6	Säule C – Interaktive nutzerspezifische Berechnungen im Wasserhaushaltsportal	95
6.1	Inhalte, Funktionen und Fallbeispiel der Säule C	95
6.1.1	Säule C	95
6.1.2	Layout und Bedienkonzept der Säule C	97
6.1.3	Fallbeispiel zur Anwendung der Säule C	102
6.2	Informationstechnische Umsetzung der Auftragsverarbeitung	115
7	Hosting Wasserhaushaltsportal	117
8	Zusammenfassung	118
9	Literaturverzeichnis	119
10	Anhang	124

10.1	Übersicht der Funktionen in KliWES – Säule C	125
10.1.1	APP.js	125
10.1.2	KLIWES_CONSTANTS.JS	126
10.1.3	MAP.JS	126
10.1.4	GEBIET_WAHL.JS	126
10.1.5	LANDNUTZUNG.JS	126
10.1.6	BODEN.js	127
10.1.7	DRAINAGE.JS	128
10.1.8	KLIENRAEUMPARAM.JS	129
10.1.9	GROSSRAUEMPARAM.JS	129
10.1.10	Edit_window.js	129
10.1.11	DR_EDIT_FENSTER.JS	129
10.1.12	ANFRAGEN.JS	129
10.1.13	AUFTRAG.JS	129
10.1.14	KLIWES_MAIN.JS	129
10.2	Übersicht der sächsischen Gebiete mit DIFGA-Analyse	130

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Realisierung der sachsenweiten Berechnung des Wasserhaushalts unter sich ändernden Randbedingungen im Forschungsprojekt KliWES (aus SCHWARZE et al. 2016).....	15
Abbildung 2:	Stationsanzahl mit Niederschlagsdaten (oben) und Daten für die Globalstrahlung (unten) im Zeitraum 1961–2010 und relativer Anteil der Stationen mit Messwerten im betrachteten Jahr	17
Abbildung 3:	Räumliche Verteilung der in KliWES verwendeten Niederschlagsstationen des Istzustandes	18
Abbildung 4:	Mittlere Lufttemperaturen von 1961–1970 (links, ohne Messwerte in Zinnwald-Georgenfeld) bzw. von 2001–2010 (rechts, mit Messwerten in Zinnwald-Georgenfeld).....	19
Abbildung 5:	Überblicksschema DIFGA aus SCHWARZE & BEUDERT (2009)	22
Abbildung 6:	Wasserhaushaltsbilanz Winter 1961/1962 im Gebiet Rehefeld 2 (Wilde Weißeritz) basierend auf den Ausgangswerten des Niederschlagsgebietsmittels.....	25
Abbildung 7:	Wasserhaushaltsbilanz im Winter 1961/1962 für das Gebiet Rehefeld 2 (Wilde Weißeritz) bei Verwendung korrigierter Werte des Niederschlagsgebietsmittels.....	26
Abbildung 8:	Abhängigkeit der mittleren Korrektursumme für den Gebietsniederschlag im Winterhalbjahr von der mittleren Höhe des Einzugsgebietes	27
Abbildung 9:	Die 27 Einzugsgebiete mit Nebelkorrekturwerten und ihre 377 Teileinzugsgebiete, Raster der Klimadaten sowie Lage der Fläche oberhalb 400 m im Erzgebirge.....	27
Abbildung 10:	Regionalisierte Nebelkorrekturwerte für einen Einzeltag (15.03.1951 links) und regionalisierte mittlere tägliche Korrekturwerte im April (rechts, Reihe 1951 bis 2005), Angaben in mm/d	28
Abbildung 11:	Struktur des Grundwasserabflussmodells SLOWCOMP	29
Abbildung 12:	Karte der Klassen ähnlicher geohydraulischer Eigenschaften in Sachsen	30
Abbildung 13:	Räumliche Verteilung des regionalisierter SLOWCOMP-Parameters $SG1_{Grenz}$ in Sachsen	32
Abbildung 14:	Schematische Darstellung der Wasserflüsse und ihrer Aufteilung im Rahmen der Modelloptimierung ...	41
Abbildung 15:	Struktogramm zum Ablauf der Optimierung.....	45
Abbildung 16:	Pareto-optimale Front mit Zielfunktion F1 und F2 sowie dem Wertebereich der Entscheidungsvariablen E und B der ersten Kalibrierungsstufe am Beispiel des DIFGA-Gebietes Burkertsdorf.....	47
Abbildung 17:	Pareto-optimale Front und Wertebereich der Entscheidungsvariablen C und D der zweiten Kalibrierungsstufe am Beispiel des DIFGA-Gebietes Burkertsdorf	48
Abbildung 18:	Vergleich der Monatssummen (1983–1989) von ArcEGMO und DIFGA für den Gebietsniederschlag P und die Verdunstung ETR des Einzugsgebietes Burkertsdorf	49
Abbildung 19:	Vergleich der simulierten mit den beobachteten Zeitreihen (1983–1989) für Monatssummen der Perkolation RG (links) und des Durchflusses Q (rechts) für das Einzugsgebiet Burkertsdorf.....	50
Abbildung 20:	Abweichungen der simulierten Wasserhaushaltsgrößen von den DIFGA-Ergebnissen als prozentualer Anteil vom Niederschlag	51
Abbildung 21:	Räumliche Verteilung des langjährigen mittleren Niederschlags P (1961–1990, oben links; 1981–2010, oben rechts; 2021–2050, unten links; 2071–2100, unten rechts) für die Realisierung 99 (A1B, WETTREG2010) in Sachsen	52
Abbildung 22:	Räumliche Verteilung der langjährigen mittleren realen Verdunstung ETR (1961–1990, oben links; 1981–2010, oben rechts; 2021–2050, unten links; 2071–2100, unten rechts) für die Realisierung 99 (A1B, WETTREG2010) in Sachsen.....	53
Abbildung 23:	Räumliche Verteilung des langjährigen mittleren Abflusses R (1961–1990, oben links; 1981–2010, oben rechts; 2021–2050, unten links; 2071–2100, unten rechts) für die Realisierung 99 (A1B, WETTREG2010) in Sachsen.....	54
Abbildung 24:	Räumliche Verteilung der langjährigen mittleren Grundwasserkomponente RG (1961–1990, oben links; 1981–2010, oben rechts; 2021–2050, unten links; 2071–2100, unten rechts) für die Realisierung 99 (A1B, WETTREG2010) in Sachsen	55
Abbildung 25:	Relative Abweichung [%] des mittleren jährlichen Abflusses für 2071–2100 vom Referenzzustand 1961–1990 für die sächsischen Teileinzugsgebiete	56
Abbildung 26:	Übersichtskarte von Sachsen mit vier ausgewählten Einzugsgebieten, für die beispielhaft Ergebnisse ausgewertet werden	57

Abbildung 27:	Entwicklung der Größen Niederschlag, Verdunstung und Abfluss für die Realisierung 99 im Zeitraum 1966 bis 2095 dargestellt anhand der 11-jährigen gleitenden Mittelwerte für vier ausgewählte sächsische Einzugsgebiete	58
Abbildung 28:	Entwicklung der Größen Niederschlag, Verdunstung und Abfluss für 13 Klimarealisierungen (Tabelle 6) im Zeitraum 1966 bis 2095 dargestellt anhand der 11-jährigen gleitenden Mittelwerte für das Einzugsgebiet Königsbrück	60
Abbildung 29:	Mögliche zukünftige Veränderung der Niedrigwasserhäufigkeit für NQ15 am Beispiel der Klimarealisierung 99 für alle 242 Modellgebiete in KliWES	62
Abbildung 30:	Übersicht der Web-GIS-Anwendung der Säule B	65
Abbildung 31:	Startseite des Wasserhaushaltsportals im Internetauftritt des LfULG	68
Abbildung 32:	Screenshot aus dem am LfULG gehosteten Internetauftritt des Wasserhaushaltsportals.....	69
Abbildung 33:	Übersicht der LfULG-Internetseite Säule A mit den Links zum Portal	70
Abbildung 34:	Startseite des Internetauftritts der Säule A – Analyse	71
Abbildung 35:	Internetseite Säule A – Analyse; Darstellung der Auswahlliste der sächsischen Flussgebiete für die Selektion eines Einzugsgebietes.....	73
Abbildung 36:	Internetseite Säule A – Analyse; Darstellung der Größe mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag am Beispiel des DIFGA-Gebietes Königsbrück nach Flussgebietsselektion	74
Abbildung 37:	Internetseite Säule A – Analyse; Darstellung der Auswahlliste der sächsischen Landkreise für die Selektion eines Einzugsgebietes.....	75
Abbildung 38:	Internetseite Säule A – Analyse; aufgeblätterte Liste zeigt zur Auswahl stehende Wasserhaushaltskomponenten	76
Abbildung 39:	Internetseite Säule A – Analyse; Darstellung der Größe mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag am Beispiel von Königsbrück nach dem Zoom auf das Einzugsgebiet	77
Abbildung 40:	Internetseite Säule A – Analyse; Darstellung der Wasserhaushaltsbilanz für das Gebiet Königsbrück ...	78
Abbildung 41:	Ausgabedatei (pdf) der DIFGA-Analyse mit der mittleren Wasserhaushaltsbilanz (links) bzw. Auszug aus der Ausgabedatei (pdf) der DIFGA-Analyse mit den aktuellen monatlichen Wasserhaushaltskomponenten (rechts) für das Gebiet Königsbrück.....	79
Abbildung 42:	Auszug aus der Ausgabedatei (dbase) der DIFGA-Analyse mit den aktuellen monatlichen Wasserhaushaltskomponenten für das Gebiet Königsbrück	80
Abbildung 43:	Darstellung der hydrogeologischen Einheiten für das DIFGA-Gebiet Königsbrück im Webauftritt der Säule A.....	81
Abbildung 44:	Ausschnitt des Downloadbereiches für die Ergebnisse der Analyse (Säule A)	82
Abbildung 45:	Startseite des Internetauftritts der Säule A – Regionalisierung	83
Abbildung 46:	Internetseite Säule A – Regionalisierung; Darstellung des regionalisierten mittleren jährlichen korrigierten Niederschlags am Beispiel eines Teileinzugsgebietes der Pulsnitz	84
Abbildung 47:	Internetseite Säule A – Regionalisierung; Darstellung der regionalisierten Rückgangskonstante für den langsamen unterirdischen Abflussspeicher am Beispiel eines Teileinzugsgebietes der Pulsnitz	85
Abbildung 48:	Ausschnitt des Downloadbereiches für die Ergebnisse der Regionalisierung (Säule A)	86
Abbildung 49:	Prozentuale Abweichung der realen Verdunstung im Zeitraum 2071–2100 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990 für die WETTREG Realisierung 66 im Einzugsgebiet der Mulde	87
Abbildung 50:	Startseite des Internetauftritts der Säule B.....	89
Abbildung 51:	Internetseite Säule B; Darstellung des mittleren jährlichen korrigierten Niederschlags (1961–2010) im Istzustand für das ausgewählte Flusseinzugsgebiet Schwarze Elster.....	90
Abbildung 52:	Internetseite Säule B; Darstellung des mittleren jährlichen korrigierten Niederschlags für das ausgewählte Teileinzugsgebiet GWKZ 538211 im Einzugsgebiet der Pulsnitz.....	91
Abbildung 53:	Internetseite Säule B; Darstellung der Auswahlliste der Landnutzungsszenarien.....	91
Abbildung 54:	Internetseite Säule B; Darstellung der Auswahlliste zur Selektion einer Differenzenkarte	92
Abbildung 55:	Ausschnitt des Downloadbereiches der Internetseite Säule B – Langjährige Mittelwerte	93
Abbildung 56:	Aufbau und Erläuterung der Benutzeroberfläche der Säule C mit der Startansicht.....	97
Abbildung 57:	Das zentrale Panel mit Anpassungen zum Arbeitsschritt „Gebiet auswählen“	99
Abbildung 58:	Ansicht der Web-Oberfläche im Arbeitsschritt „Gebietsparameter definieren“ und den Änderungen der Landnutzungsklassen im Rahmen der kleinräumigen Wasserhaushaltsberechnung.....	100

Abbildung 59:	Ausschnitt der Web-Oberfläche zur Definition der Bodeneigenschaften im Rahmen der kleinräumigen Wasserhaushaltsberechnung	101
Abbildung 60:	Ausschnitt der Web-Oberfläche zur Definition der Drainageeigenschaften	101
Abbildung 61:	Das zentrale Panel mit Anpassungen zum Arbeitsschritt „Klimaszenario auswählen“	102
Abbildung 62:	Startseite des Internetauftritts der Säule C	102
Abbildung 63:	Internetseite Säule C; Startseite zur Auswahl der klein- oder großräumigen Wasserhaushaltsberechnung	103
Abbildung 64:	Internetseite Säule C; Startseite der großräumigen Wasserhaushaltsberechnung	104
Abbildung 65:	Internetseite Säule C; Selektion des Gebietes Königsbrück für die großräumige Berechnung ohne Oberliegergebiet abgeschlossen	104
Abbildung 66:	Internetseite Säule C; Änderung der Landnutzungsparameter über Auswahlliste für die großräumige Wasserhaushaltsberechnung	105
Abbildung 67:	Internetseite Säule C; Popup-Fenster zum Speichern von Landnutzungsänderungen.....	106
Abbildung 68:	Internetseite Säule C; Popup-Fenster mit einer Übersicht der geänderten Landnutzungsklassen für das Beispielgebiet Königsbrück (Modell-Nr. 176)	107
Abbildung 69:	Internetseite Säule C; Popup-Fenster mit einer Übersicht aller unter Ackerflächen befindlichen Böden für das Beispielgebiet Königsbrück.....	108
Abbildung 70:	Internetseite Säule C; Popup-Fenster zum Editieren von Bodeneigenschaften, dargestellt am Beispiel Königsbrück für einen Boden unter Acker	108
Abbildung 71:	Internetseite Säule C; Popup-Fenster zum Speichern von geänderten Bodeneigenschaften	109
Abbildung 72:	Internetseite Säule C; Popup-Fenster mit einer Übersicht der geänderten Bodeneigenschaften für das Beispielgebiet Königsbrück (Modell-Nr. 176)	109
Abbildung 73:	Internetseite Säule C; Änderung der Drainageeigenschaften im Gebiet Königsbrück.....	110
Abbildung 74:	Internetseite Säule C; Popup-Fenster mit einer Übersicht aller unter Ackerflächen befindlichen Drainagen für das Beispielgebiet Königsbrück	110
Abbildung 75:	Internetseite Säule C; Popup-Fenster zum Editieren von Drainageeigenschaften, dargestellt am Beispiel Königsbrück für eine Ackerfläche	111
Abbildung 76:	Internetseite Säule C nach erfolgter Gebietsauswahl und editierten Gebietsparametern	112
Abbildung 77:	Internetseite Säule C; Auswählen eines Klimaszenarios für die Modellberechnung des Gebietes Königsbrück	113
Abbildung 78:	Internetseite Säule C; Popup-Fenster mit Bestätigung der Auftragssendung	114
Abbildung 79:	Internetseite Säule C; Großräumige Wasserhaushaltsberechnung mit Oberliegergebiet am Beispiel von Königsbrück (Oberlieger) und Ortrand (Unterlieger)	114
Abbildung 80:	Schema der Auftragsverarbeitungsebene mit ArcEGMO in der Säule C	116
Abbildung 81:	Schema der hardwareseitigen Umsetzung zum Hosting der Säulen A, B und C des Wasserhaushaltsportals Sachsen.....	117
Abbildung A82:	Sachsenweite räumliche Verteilung des regionalisierten SLOWCOMP-Parameters CG2.....	124
Abbildung A83:	Sachsenweite räumliche Verteilung des regionalisierten SLOWCOMP-Parameters CG1	124
Abbildung A84:	Sachsenweite räumliche Verteilung des mittleren jährlichen Zuflusses zum langsamen Grundwasserspeicher RG2 (1951–2005)	125
Abbildung A85:	Internetseite Säule C; Liste der Aggregatnummer AGGNR (entspricht Bodenarten) am Beispiel des Modells 168 (Pegel Kleinraschwitz)	128
Abbildung A86:	Internetseite Säule C; Änderung einer Bodeneigenschaft und Erzeugen einer neuen Aggregatnummer AGGNR	128

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Verwendete Regionalisierungsverfahren für meteorologische Größen.....	20
Tabelle 2:	Modelltestkriterien und Bewertungspunkte	33
Tabelle 3:	Bewertungskategorien der Anpassungsgüte	34
Tabelle 4:	Bewertungskategorien und Wichtungsfaktoren für die Robustheit.....	34
Tabelle 5:	Bewertungsmatrix zum Modellvergleich.....	35
Tabelle 6:	Verfügbare Klima- und Landnutzungsszenarien im Internetauftritt der Säule B.....	38
Tabelle 7:	Verfügbarkeit von Durchflüssen und Wasserhaushaltsgrößen in sächsischen Einzugsgebieten als Vergleichswerte für die Kalibrierung (SCHWARZE et al. 2012)	40
Tabelle 8:	Statistische Kennwerte für die Jahressummen der Grundwasserkomponente RG [mm/a] für 1961–1990, 1981–2010, 2021–2050 und 2071–2100 der Klimarealisierung 99 der Beispielgebiete Markersbach 1, Königsbrück, Holtendorf und Thallwitz	59
Tabelle 9:	Mögliche Entwicklung des mittleren Durchflusses MQ [m ³ /s] bis 2100 am Beispiel von vier Einzugsgebieten	62
Tabelle A10:	DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Schwarze Elster (GWKZ 538)	130
Tabelle A11:	DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Weiße Elster (GWKZ 566).....	130
Tabelle A12:	DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Zwickauer Mulde (GWKZ 541)	130
Tabelle A13:	DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Freiburger Mulde (GWKZ 542).....	131
Tabelle A14:	DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Vereinigte Mulde (GWKZ 549)	131
Tabelle A15:	DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Lausitzer Neiße (GWKZ 674)	132
Tabelle A16:	DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Spree (GWKZ 582)	132
Tabelle A17:	DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Elbe (GWKZ 537)	132
Tabelle A18:	Sonstige DIFGA-Pegel.....	133

Abkürzungsverzeichnis

AGGNR	Aggregatnummer einer Bodenart
ASCII	American Standard Code for Information Interchange, eine Zeichenkodierung
α	Parameter mit dem Wert 0,05, sichert ab, dass $C < D$
B	Korrekturfaktor zur Variation der Makroporosität (Bypass) in ArcEGMO
BKkonz	Bodenkonzeptkarte im Maßstab 1 : 25.000
BK50	Bodenkarte Sachsen im Maßstab 1 : 50.000
C	Faktor zur Variation der Amplitude einer Sinusfunktion
c_{\min}	Unterer Grenzwert des Faktors C
CG1	Speicherkonstante des kurzfristigen Grundwasserabflusses
CG2	Speicherkonstante des langfristigen Grundwasserabflusses
CLM	Climate Local Model (dynamisches regionales Klimamodell), entwickelt von einem Konsortium aus ca. 25 Institutionen
CSV	Comma-separated values
ΔS	Speicheränderung
D	Faktor zur Variation des Mittelwertes einer Sinusfunktion
DEF	Bilanzdefizit in DIFGA
DIFGA	Differenzenganglinienanalyseverfahren
doy	Tagesnummer eines Jahres
E	Korrekturfaktor zur Variation der realen Evapotranspiration in ArcEGMO
ECHAM5	globales Klimamodell mit Abbildung der atmosphärischen Zirkulationsmuster; entwickelt am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg
EFL	Elementarflächen, hier gleichzusetzen mit Hydrotop
ELS	Einzellinearspeicher
EPLR	Entwicklungsprogramm für den ländlichen Raum im Freistaat Sachsen
ET_KORR	Korrekturfaktor für die Reale Evapotranspiration (Abkürzung verwendet innerhalb ArcEGMO)
ETR	Reale Evapotranspiration
F	Zielfunktion der Optimierung
GIS	Geoinformationssystem
GWG	Grundwassergeringleiter
GWKZ	Gewässerkennzahl
GWL	Grundwasserleiter
HAD	Hydrologischer Atlas Deutschland
HDF5	Hierarchical Data Format (Dateiformat)
hm	Aquifermächtigkeit in [m]
HM	mittlere Mächtigkeit [m] des oberhalb vom Pegelniveau liegenden Gebietskörpers, Ersatzgröße für die im Gebietsmaßstab schwer zu ermittelnde Aquifermächtigkeit hm
HÜK200	Hydrogeologische Karte im Maßstab 1 : 200.000
i. d. R.	in der Regel
IDW	Inverse Distance Weighting - nichtstatistisches Interpolationsverfahren, welches in der Geostatistik verwendet wird
IHM	Institut für Hydrologie und Meteorologie, Technische Universität Dresden
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kc	Korrekturfaktor zur Variation der Gras-Referenzverdunstung

k_f	Gesättigte hydraulische Feldkapazität
KliWES	Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen
KS	kiesig-sandige Fraktion im Lockergestein
L	Fließlänge im Aquifer in [m]
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LG	mittlere Hanglänge in [m], steht stellvertretend für die nicht direkt zu ermittelnde Fließlänge L im Aquifer
LTV	Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen
M_o	Makroporenanteil an der Bodenoberkante
M_T	Makroporentiefe
M_u	Makroporenanteil an der Bodenunterkante
MQ	Mittlerer Durchfluss
müHN	Meter über Höhennull
müNN	Meter über Normalnull
m ü. NHN	Meter über Höhennormal
n_e	Drainable Porosität
NSE	Nash-Sutcliffe-Effizienz (Gütemaß)
NQ15	Niedrigwasserkennwert; hier definiert als Niedrigwasserereignis von mindestens 15 Tagen Dauer, an denen der Durchfluss nur noch die Hälfte oder weniger vom mittleren Durchfluss MQ des Zeitraumes 1961–1990 beträgt
o. g.	oben genannt
P	Niederschlag (Allgemeine Bedeutung), im Zusammenhang mit DIFGA wird darunter stets der korrigierte Niederschlag und/oder die Wasserabgabe aus der Schneedecke verstanden
P_{bias}	Percent Bias (Gütemaß)
Q	Durchfluss
QD	Direktabfluss (Abflusskonzentration, Abfluss aus den Gebietsspeichern)
QG	Grundwasserabfluss insgesamt ohne Unterteilung in Komponenten (Abfluss aus den Gebietsspeichern)
QG1	Schneller Grundwasserabfluss (Abfluss aus den Gebietsspeichern)
QG2	Langsamer Grundwasserabfluss (Abfluss aus den Gebietsspeichern)
r_{AE}	relativer absoluter Fehler (Gütemaß)
r^2	Bestimmtheitsmaß (Gütemaß)
R	Gesamtabfluss, Summe aus RS, RG1 und RG2
RACMO	Regional Atmospheric Climate Model (regionales Klimamodell), entwickelt am Königlich-Niederländischen Meteorologischen Institut
RaKliDa	Rasterklimadaten
ReKIS	Regionales Klimainformationssystem
REMO	dynamisches regionales Klimamodell, entwickelt vom Max-Planck-Institut für Meteorologie
RD	Direktabfluss (Abflussbildung, Zufluss zu den Gebietsspeichern, Ergebnis von DIFGA)
REST	Restglied aus der DIFGA-Analyse, bestehend aus realer Verdunstung und Änderung des Inhaltes eines nur durch Verdunstung ausschöpfbaren Speichers
RG	Gesamte Abflussbildung des Grundwasserabflusses, Summe aus RG1 und RG2
RG1	Abflussbildung des kurzfristigen Grundwasserabflusses (Zufluss zu den Gebietsspeichern)

RG2	Abflussbildung des langfristigen Grundwasserabflusses (Zufluss zu den Gebietspeichern)
RO	Oberflächenabfluss
RH	Hypodermischer Abfluss
RS	Schnelle Abflusskomponente, zusammengesetzt aus Oberflächenabfluss, hypodermischem Abfluss, Drainageabfluss und ggf. Abfluss in die Kanalisation etc., Ergebnis von ArcEGMO
RWA	Revierwasserlaufanstalt
SG1	Angaben zum Gebietspeicher des kurzfristigen Grundwasserabflusses
SG2	Angaben zum Gebietspeicher des langfristigen Grundwasserabflusses
SG1 _{Grenz}	Aufteilungsparameter des Grundwasserspeichers
SMUL	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
SRES	Special Report on Emissions Scenarios
SVAT	Soil-Vegetation-Atmosphere-System (Boden-Pflanze-Atmosphäre-System)
t	Zeitpunkt
SQL	Structured Query Language
u. ä.	und ähnliches
VE _{rel}	relativer Volumenfehler (Gütemaß)
VM	Virtuelle Maschine
WETTREG	wetterlagenbasiertes statistisches Regionalmodell entwickelt von Climate & Environment Consulting GmbH in Potsdam
WEREX	Wetterlagenbedingte Regression für Extremwerte, speziell für Sachsen entwickeltes Klimamodell
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
z_i^b	Beobachtungswert zum Zeitpunkt i
z_i^s	Simulationswert zum Zeitpunkt i
ZIH	Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen der Technischen Universität Dresden
ZIP	Dateiformat, welches komprimierte Dateien enthält

Glossar

ArcEGMO	Hydrotopbasiertes Wasserhaushaltsmodell entwickelt vom Büro für Angewandte Hydrologie Berlin, EGMO – Einzugsgebietsmodell
A1B-Szenario	SRES-Klimaszenario des IPCC: Grundannahme des Szenarios ist eine ausgewogene Nutzung aller Energiequellen und damit ein moderater Anstieg der Treibhausgas und der Temperaturen
Backup	Datensicherung durch Kopieren der vorhandenen Daten auf einen weiteren Datenträger
DIFGA	Inverses hydrologisches Verfahren zur Analyse langjähriger Beobachtungsreihen von Niederschlag und Abfluss mit dem Ziel der Bestimmung von Abflusskomponenten und der Berechnung des Gebietswasserhaushaltes
DIFGA-Einzugsgebiet	Bezeichnung für ein Einzugsgebiet, für das der Wasserhaushalt mit Hilfe von DIFGA berechnet wurde
DIFGA-Pegel	Bezeichnung für Pegel, deren Durchflussmesswerte für die Berechnung des Wasserhaushaltes mittels DIFGA verwendet wurden
Downscaling	Herunterbrechen von räumlichen Informationen aus einem globalen Maßstab mit geringer räumlicher Auflösung auf einen lokalen höher aufgelösten Maßstab. Methodik, um Klimainformationen vom globalen über den regionalen bis zum lokalen Maßstab zu übertragen. Unterschieden wird zwischen dynamischen und statistischen Downscalingverfahren.
E1-Szenario	SRES-Klimaszenario des IPCC: Grundannahme des Szenarios ist zunächst eine weitere Zunahme der Treibhausgasemissionen bis 2020 und danach ein drastischer Rückgang der Emissionen bis 2100, wodurch die globale Erwärmung um 2 °C im Jahr 2100 gegenüber dem vorindustriellen Niveau nicht überschritten wird
Einzugsgebiet	Ein Einzugsgebiet ist das Gebiet, aus dem Wasser einem bestimmten Ort zufließt. Dabei spielt es keine Rolle, ob dieser Zufluss ober- oder unterirdisch stattfindet. (DIN 4049-1, 1992)
Entnahme	bezeichnet das Entnehmen und zutage fördern von Wasser aus dem Grund- oder Oberflächenwasser
Gebirgsdurchlässigkeit	beschreibt, wie gut Wasser den Untergrund (Locker- oder Festgestein) durchströmen kann; wird auch als Transmissivität bezeichnet
Hydrotop	Ein Hydrotop ist gekennzeichnet durch homogene Systemein- und -ausgänge und Systemeigenschaften (PFÜTZNER et al., 2007). Ein Hydrotop umfasst Flächen mit ähnlichen hydrogeologischen und hydrologischen Eigenschaften.
Ist-Zustand	bezieht sich für die DIFGA-Ergebnisse aus Säule A auf den Zeitraum von 1951-2005 bezieht sich für die simulierten Wasserhaushaltsergebnisse aus Säule B auf den Zeitraum von 1961-2010
Kalibrierung	bezieht sich für die Landnutzung auf die Karte ATKIS-DLM für Sachsen mit Stand 2007 Bestmögliche Anpassung des Modells an die Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes für einen bestimmten Zeitraum
Klimadatenrastertool	Ist ein Mehrfachwerkzeug zur Bearbeitung (statistische Analyse, Fehlerkontrolle, Formatumwandlung) von Klimadaten entwickelt am IHM der TUD (SCHWARZE et al., 2010)
Klimarealisierung	verschiedene Läufe ein und desselben Klimaszenarios mit jeweils zufällig geänderten Anfangsbedingungen
Kriging	geostatistisches Interpolationsverfahren, wobei die Schätzung eines unbekanntes Wertes aus einer gewichteten linearen Kombination von Messwerten erfolgt

MATLAB	MATrix LABoratory ist ein Programm für numerische Berechnungen mithilfe von Matrizen
Median	statistischer Kennwert; gibt den Wert an, welcher eine der Größe nach geordnete Datenreihe in der Mitte teilt
Melioration	kulturtechnische Maßnahme zur Bodenverbesserung im Hinblick auf Ertragssteigerung und Flächengewinnung in der Agrarwirtschaft
Modellierungseinheit	Modellierungseinheit ist im Projekt KliWES der Oberbegriff, welcher die Begriffe Hydrotop, Teileinzugsgebiet und Einzugsgebiet zusammenfasst.
Nebeldeposition	auf Oberflächen abgesetzter Nebelniederschlag
Oberlieger-Unterlieger-Beziehung	“Eine allgemeingültige, rechtlich verbindliche Definition des Oberliegers und Unterliegers besteht nicht. Ein Oberlieger ist im Wasserrecht ein oberhalb eines bestimmten Punktes ansässiger Gebietsberechtigter, etwa ein Grundstückseigentümer. Der Begriff erschließt sich erst im jeweiligen Zusammenhang mit dem Unterlieger.” (BOHL 2011).
Pegeleinzugsgebiet	Stellt ein Einzugsgebiet dar, welches am Gebietsauslass über einen Pegel verfügt und aus einem oder mehreren Teileinzugsgebieten besteht.
Petrographie	Wissenschaft von den Gesteinen der festen Erdkruste
Regionalisierung	Übertragung einer Eigenschaften aus einem Gebiet auf ein hydrologisch ähnliches Gebiet, in welchem diese Information fehlt. Regionale Übertragung oder flächenhafte Verallgemeinerung einer Größe oder Funktion bzw. der Parameter der Funktion innerhalb einer Skalenebene. (BECKER & SERBAN 1990)
SLOWCOMP	Grundwasserhaushaltsmodell SLOWCOMP (SCHWARZE et al. 1999a) zur Beschreibung der Aufteilung der Perkolation aus der Bodenzone auf einzelne Grundwasserabflusskomponenten
Teileinzugsgebiet	Einzugsgebiet eines Punktes im Untersuchungsgebiet, i. d. R. im Gewässersystem
Thiessen-Polygon-Verfahren	auch als Voronoi-Diagramm-Verfahren bezeichnet, dient der Übertragung von Punktdaten auf die Fläche
Validierung	Überprüfung der Parametereinstellung aus der Kalibrierung anhand eines weiteren Zeitraumes
W-Q-Beziehung	Wasserstands-Durchfluss-Beziehung
Wasserdargebot	Die gesamte zur Verfügung stehende Wassermenge im Einzugsgebiet (fester und flüssiger Niederschlag, Zuflüsse etc.). (BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1996)
Zehrung	Übersteigen die Verluste aus den Grundwasservorräten durch kapillaren Aufstieg und die anschließende Verdunstung den Zufluss zum Grundwasserspeicher, wird dies als Zehrung bezeichnet. Der Saldo der Grundwasserkomponente wird negativ.

1 Einleitung

Der globale Klimawandel stellt in seinen zu erwartenden regionalen Auswirkungen für den Freistaat Sachsen eine zunehmende Herausforderung dar. Sachsen muss in diesem Zusammenhang sowohl Anstrengungen zur Minderung der Treibhausgasemissionen (Klimaschutz) als auch Maßnahmen zur Anpassung an mögliche Auswirkungen des Wandels ergreifen. Für den Freistaat Sachsen sind, mit teilweise deutlichen regionalen Unterschieden, die Zunahme der Temperatur, die Änderung im Niederschlagsregime und die weiter zunehmende Häufung meteorologischer Extremsituationen wie Hochwasser und Niedrigwasserperioden innerhalb der nächsten Jahre bzw. Jahrzehnte bis ca. 2100 zu erwarten (BERNHOFER et al. 2015). Das bedeutet z. B. in Ostsachsen zukünftig insbesondere in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts eine sukzessive Abnahme der Niederschläge bei gleichzeitiger Zunahme der Verdunstung, was zu einer geringeren Grundwasserneubildung, verminderten Abflüssen und möglicherweise auch zu einer Verschlechterung der Wasserqualität führen kann. Diese Entwicklungen müssen bei der Umsetzung von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen beachtet werden. Zum Beispiel müssen bei einer Reduzierung der Grundwasserdargebote sowie einer Reduzierung der Zuflüsse zu den Trinkwassertalsperren weitere Dargebote für die Herstellung der Trinkwasserversorgungssicherheit gesichert und die Verbundwirtschaft weiter ausgebaut werden. Ebenso hängt die Pflanzenproduktion von einer ausreichenden Wasserverfügbarkeit ab. Hier müssen zukünftig Dargebote z. B. auch für Beregnungszwecke bereitgestellt werden. Gleichzeitig ist Wasser ein wichtiges Landschaftselement: intakte Bäche, Flüsse, Seen und kleinere Standgewässer sind Bestandteile unseres Naturhaushaltes.

Eine mittelfristige Bedeutung besitzt in diesem Zusammenhang auch die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG, WRRL). Sie hat zum Ziel, dass Oberflächengewässer und Grundwasservorkommen in Europa bis 2015 einen guten Zustand erreichen, wobei in Ausnahmefällen eine Fristverlängerung bis spätestens 2027 möglich ist.

Für die genannten Fragestellungen ist es erforderlich, die Zuverlässigkeit prognostischer Aussagen zu Zustand und Verfügbarkeit der Wasserressourcen unter sich ändernden Klimabedingungen zu erhöhen. Detaillierte Daten, Informationen und Prognosen zur Entwicklung des Wasserdargebotes in einer sich ändernden Umwelt sowohl Fachleuten als auch der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen, gewinnt zunehmend an Bedeutung. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen leicht zugängliche Informationskanäle primär über das Internet nutzbar gemacht werden.

Vor dem Hintergrund dieser Aufgaben rief das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen“ (KliWES) ins Leben. KliWES untersucht die Auswirkungen der prognostizierten Klimaänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt in den Einzugsgebieten sächsischer Gewässer. Von 2008 bis 2015 wurde am Lehrstuhl für Hydrologie der TU Dresden (IHM-TUD) zunächst der Themenkreis Wasserhaushalt bearbeitet. Ziel war die sachsenweite Berechnung der einzelnen Wasserhaushaltskomponenten sowohl für den Istzustand (1961–2010) als auch für Zukunftsszenarien (2011–2100) und die Erstellung eines öffentlichen Zugangs zu den Ergebnissen über das Internet im „Wasserhaushaltsportal Sachsen“.

Die Resultate (Istzustand und Szenarien) für Niederschlag, Verdunstung, Gesamtabfluss, Direktabfluss, schneller und langsamer Grundwasserabfluss sowie Grundwasserneubildung sollten in einer mittleren räumlichen Auflösung von ca. 0,25 km² im Zeitschritt aktueller Monat bis langjähriges Mittel bereitgestellt werden.

Die Bearbeitung fußt auf einem konzipierten 3-Säulen-Lösungsansatz (LfULG 2008). Diese komplexe Herangehensweise (Abbildung 1) verlangte neben der Anwendung bewährter Techniken die Entwicklung neuer Methoden zur Lösung von Detailfragen.

Die **Säule A** hatte das Ziel, möglichst schnell innerhalb der auf mehrere Jahre angelegten Bearbeitungszeit, Angaben zum Wasserhaushalt von Sachsen im Istzustand bereitzustellen. Dafür wurde eine maximale Informationsausschöpfung mittels inverser Ableitung von Wasserhaushaltsdaten aus einer Analyse verfügbarer Routinemessdaten von Niederschlag und Abfluss angestrebt (Kapitel 3.1). Weiterhin erfolgte der Aufbau einer flächendeckenden konsistenten Datenbasis (meteorologische, hydrologische Daten, Geodaten) für das Gesamtvorhaben, auf die kurz in Kapitel 2 eingegangen wird.

Ein flächendeckendes Parametermodell für ableitbare Parameter aus Durchflussganglinien wie z. B. Rezessionskonstanten wurde erstellt. Diese wurden für die Parametrisierung von Wasserhaushaltsmodellen in der Säule B benötigt. Erläuterungen hierzu finden sich in Kapitel 3.4.

Die Durchführung skalenabhängiger Modelltests hatte zum Ziel, mittels objektiver Kriterien das für Sachsen am besten geeignete Wasserhaushaltsmodell zu bestimmen (Kapitel 3.5). Die Entwicklung und Umsetzung eines Internetauftrittes – Wasserhaushaltsportal Sachsen – zur Recherche und Präsentation vorab berechneter Ergebnisse bildete einen weiteren Schwerpunkt der Arbeit in der Säule A.

Die **Säule B** umfasste die Berechnung des aktuellen Wasserhaushaltes mit einem Wasserhaushaltsmodell sowie die Simulation von projizierten Wasserhaushalten für sächsische Einzugsgebiete auf Basis von Klima- und Landnutzungsszenarien. Entwickelt wurden Verfahren zur großräumigen Parametrisierung, Kalibrierung und Validierung von Wasserhaushaltsmodellen unter Verwendung der Ergebnisse aus Säule A. In dem vorliegenden Bericht werden diese Themenschwerpunkte in Kapitel 4 aufgezeigt.

Weil die Anzahl vorab berechneter Wasserhaushaltsszenarien in einer Recherchelösung wie Säule A und B zwangsläufig begrenzt ist (derzeit Istzustand, 13 Klimaprojektionen, 3 Landnutzungsszenarien im Rahmen von Säule B), zielte die **Säule C** auf die Entwicklung einer interaktiven Web-Anwendung. Diese ermöglicht es dem Nutzer, Wasserhaushaltsberechnungen mit selbst gewählten Parametern und Eingangsdaten online durchzuführen. So können für einzelne Flächen bis hin zu Regionen Änderungen der Landnutzungsklassen sowie der Boden- und Drainageeigenschaften vorgenommen werden. Der meteorologische Input kann aus den zuvor genannten 13 Klimaprojektionen und dem Istzustand ausgewählt werden. In der Säule C erfolgten auch die Web-Implementierung einer praxistauglichen Lösung für das „Wasserhaushaltsportal Sachsen“ inkl. aller notwendigen Features wie Nutzerkommunikation, Back-up, Ausfallsicherheit etc. Ausführungen hierzu finden sich in Kapitel 5.

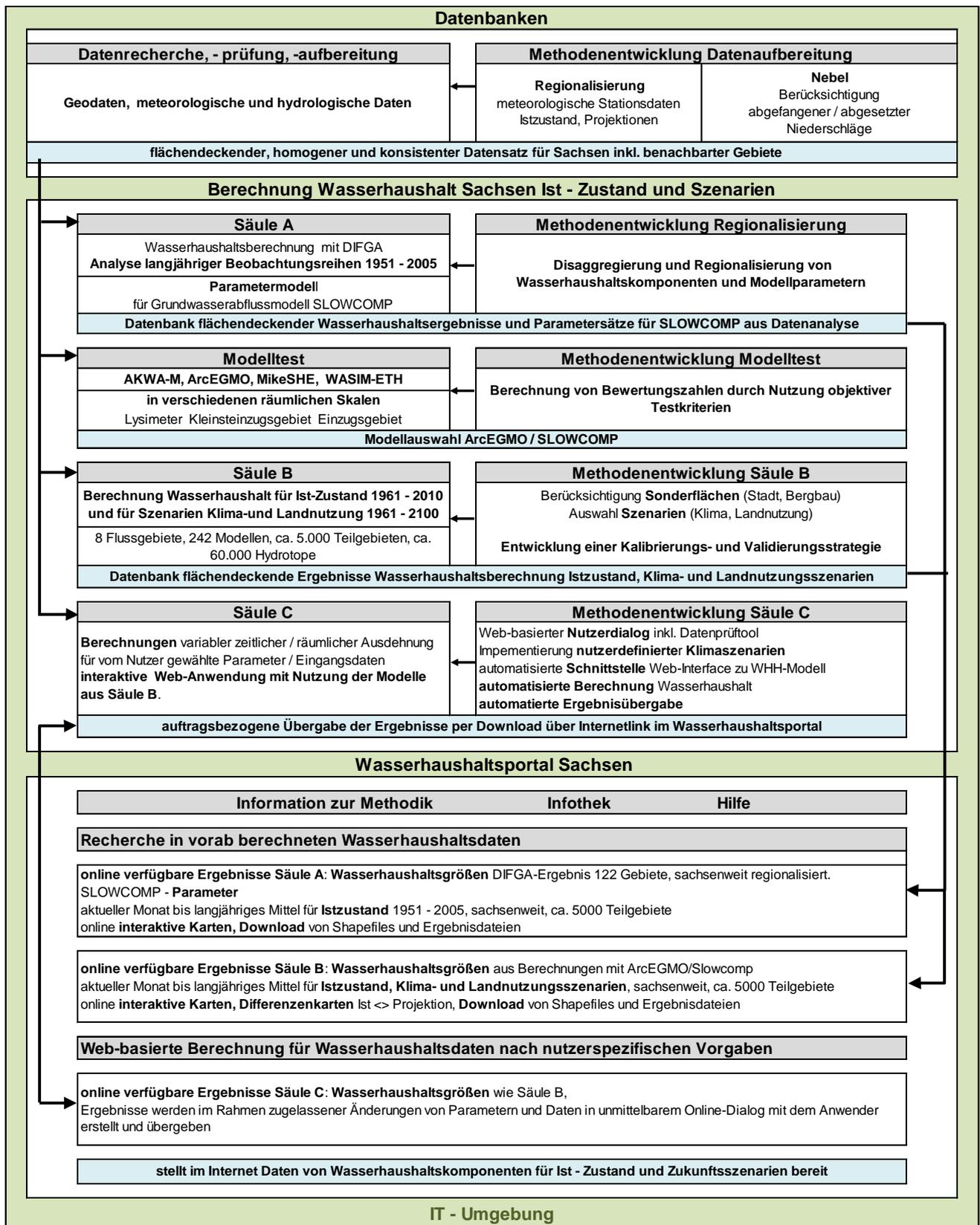


Abbildung 1: Realisierung der sachsenweiten Berechnung des Wasserhaushalts unter sich ändernden Randbedingungen im Forschungsprojekt KliWES (aus SCHWARZE et al. 2016)

2 Datengrundlagen

Die Erstellung einer konsistenten und homogenen, sachsenweiten Datenbasis (ca. 18.000 km²) als essenzielle Grundlage einer validen Wasserhaushaltsberechnung erforderte einen sehr großen Aufwand bei einer Fülle von Einzelaufgaben. Hier werden in einer kurzen Übersicht die Arbeiten bezüglich der Geodaten (Kapitel 2.1), Klimadaten (Kapitel 2.2) und hydrologischen Daten (Kapitel 2.3) vorgestellt. Auf Details wird nicht eingegangen. SCHWARZE et al. (2011) enthält hierzu eine umfassende Darstellung.

2.1 Geodaten

Bei den Geodaten (u. a. Geologie, Boden, Landschaftsmodell, Landnutzung, Höhenmodell, Wasserläufe, Einzugsgebiete) bestand das generelle Problem, dass alle Datensätze nur in den Grenzen des Freistaates existierten. Der Bearbeitungsraum überragt aber diese Grenzen, weil z. B. viele Quellgebiete sächsischer Gewässer auf tschechischem Staatsgebiet liegen. Das erforderte, den sächsischen Datenbestand mit Daten benachbarter Bundesländer und Tschechien zu verknüpfen. Weil alle Geodaten von verschiedenen Bearbeitern stammten, waren die GIS-Daten häufig untereinander schlecht referenziert, was umfangreiche Arbeiten für die Bereinigung nach sich zog. Häufig genügte die Qualität der verfügbaren Datensätze nicht den Modellanforderungen. So erfordern z. B. die meisten Modelle zur Wasserhaushaltsberechnung eine Parametrisierung der Gewässerstruktur auf Grundlage eines durchgängigen, gerouteten Gewässernetzes. Keines der recherchierten Gewässernetze erfüllte ohne aufwendige Nachbearbeitung diese Anforderung. Die verfügbaren Bodenkarten (BKkonz und BK50) enthielten viele nicht kartierte Bereiche. Zur Lückenschließung wurde ein genetischer, auf der Nachbarschaftsanalyse beruhender Ansatz entwickelt (GREIFENSTEIN 2010). Ausreichende räumliche Informationen zu Stadtbodentypen, Versiegelungsgraden, zum Typ und Anschlussgrad der Kanalisation lagen für Sachsen nicht vor. Hierfür fanden GLÖCKNER & RÜSTER (2010) eine Lösung, die es ermöglichte, diese Informationen aus vorliegenden Stadtstrukturtypenkartierungen (z. B. WICKOP 1998; MEINEL & HENNERSDORF 2007) abzuleiten.

2.2 Klimadaten

Klimadaten für Istzustand und Projektionen mussten in einer räumlichen Auflösung von mindestens 1.000 x 1.000 m vorliegen. Die Wasserhaushaltsberechnungen erforderten für 1961 bis 2100 folgende Daten in täglicher Auflösung: Korrigierter Niederschlag (RICHTER 1995), mittlere, maximale und minimale Temperatur, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung. Als Klimaprojektionen wurden 13 verschiedene Ergebnisse (nähere Ausführungen in HAUFFE et al. 2016) statistischer Downscaling-Verfahren genutzt, die als Stationsreihen für 1961 bis 2100 bereitstanden. In Sachsen verfügbare Tools zur Erzeugung von Rasterdatensätzen z. B. im regionalen Klimainformationssystem (ReKIS 2012) erwiesen sich für eine flächendeckende Anwendung innerhalb KliWES zum Zeitpunkt der Bearbeitung als nur bedingt geeignet. Hauptsächlich die erforderlichen Rechenzeiten ließen eine Anwendung für die Säule B und insbesondere für die interaktive Wasserhaushaltsberechnung in Säule C praktisch nicht zu. Deshalb wurde in KliWES ein eigenes Klimadatenrastertool zur Regionalisierung meteorologischer Größen von Messstationen und zur Bereitstellung dieser Größen in einem für das Wasserhaushaltsmodell einlesbaren Datenformat entwickelt (SCHWARZE et al. 2014). Das Tool erfüllt neben der Regionalisierung die Aufgabe einer Plausibilitätsprüfung der regionalisierten meteorologischen Größen. Mit dem Klimadatenrastertool ist die Anwendung von Thiessen-Polygonen, Inverse

Distance Weighting (IDW) und Kriging (BARDOSSY 1994) zur Regionalisierung von Stationsdaten in täglicher Auflösung möglich. Die Verfahren können zusätzlich mit Driffunktionen z. B. zur Berücksichtigung des Einflusses der Höhe kombiniert werden. Der Datenspeicher für die gerasterten Klimadaten nutzt das HDF5-Format. Dieses Format zeichnet sich durch eine effiziente Speicherung matrizenförmiger Datenstrukturen in einem zeitlich gegliederten Strukturbaum aus, was sehr hohe Zugriffsgeschwindigkeiten bei der Bereitstellung der Daten für das Wasserhaushaltsmodell ermöglicht. Das Klimadatenrastertool erlaubt den Import meteorologischer Stationsdaten und die Anwendung der Regionalisierungsverfahren. Darüber hinaus ermöglicht es die Berechnung des Wasserdargebots aus Schneedecken, die Addition von Korrekturwerten auf den Niederschlag (RICHTER 1995, Berücksichtigung von Nebelniederschlag wie in Kapitel 3.2 erklärt), die Plausibilitätsprüfungen regionalisierter Größen und den Vergleich des regionalisierten Niederschlags mit dem HAD (BMU 2003). Ausgabefunktionen erzeugen Ergebnisse in verschiedener räumlicher und zeitlicher Auflösung. Verarbeitungstools erlauben das Zusammenführen verschiedener meteorologischer Größen in eine HDF5-Datei.

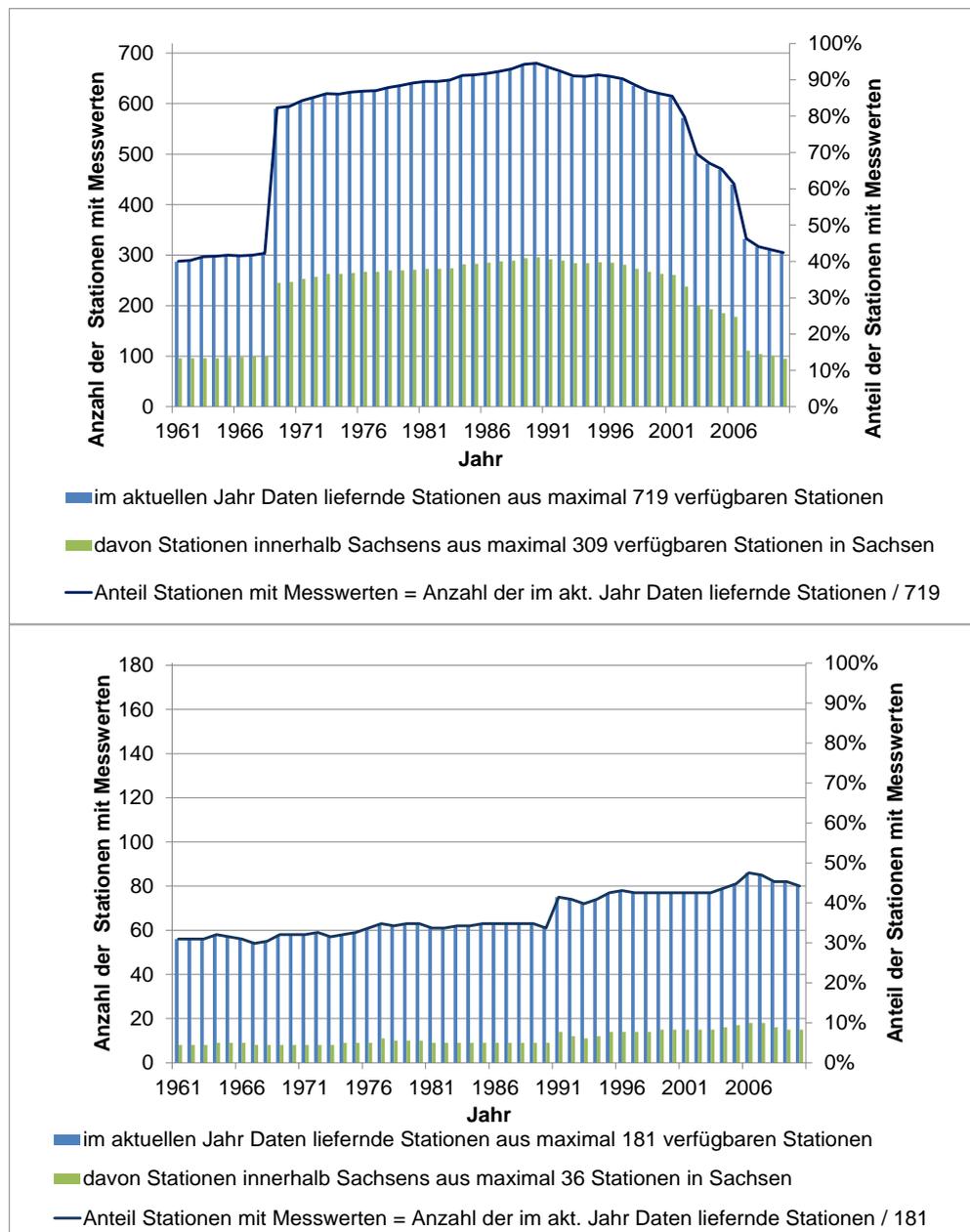


Abbildung 2: Stationsanzahl mit Niederschlagsdaten (oben) und Daten für die Globalstrahlung (unten) im Zeitraum 1961–2010 und relativer Anteil der Stationen mit Messwerten im betrachteten Jahr

Ein größeres Problem bei der Regionalisierung ergab sich aus einer ungenügenden Abdeckung des Bearbeitungsraumes mit Stationsdaten. Zeitlich betraf das insbesondere die Jahre vor 1970 und nach 2000, räumlich die anfänglich unzureichende Abdeckung der in Tschechien liegenden Einzugsgebietsteile und die ungenügende Stationsdichte in Kammgebieten des Erzgebirges. Für den Niederschlag im Istzustand 1961–2010 konnten z. B. insgesamt 719 Stationen im Bearbeitungsraum (Abbildung 3) einbezogen werden. Davon befinden sich 309 innerhalb Sachsens und 410 in Tschechien und in den benachbarten Bundesländern Deutschlands. Aus Abbildung 2 geht hervor, dass zu keinem Zeitpunkt alle 719 Stationen Messwerte für den Niederschlag aufgezeichnet haben. Die Ursache liegt darin begründet, dass in den ersten Jahren das Stationsnetz noch nicht so gut ausgebaut war bzw. die vorhandenen Daten nicht in digitaler Form vorliegen. Die höchste Stationsdichte wurde mit 719 potenziell verfügbaren Messpunkten Ende der 1980-er Jahre erreicht.

Für die Auswertung zählte eine Station vom Messbeginn bis zur eventuellen Einstellung der Messungen als funktionstüchtig. Zwischenzeitliche einzelne Fehlzeiten wurden nicht berücksichtigt. Folglich zeigt Abbildung 2 für den Niederschlag die maximal mögliche Stationsverfügbarkeit. Vergleichbare Variationen in der zeitlichen Entwicklung der Stationsdichte weisen, wie Abbildung 2 am Beispiel der Globalstrahlung zeigt, auch die übrigen Klimagrößen auf, wobei für diese maximal Daten von 181 Stationen (davon nur 36 in Sachsen) vorliegen.

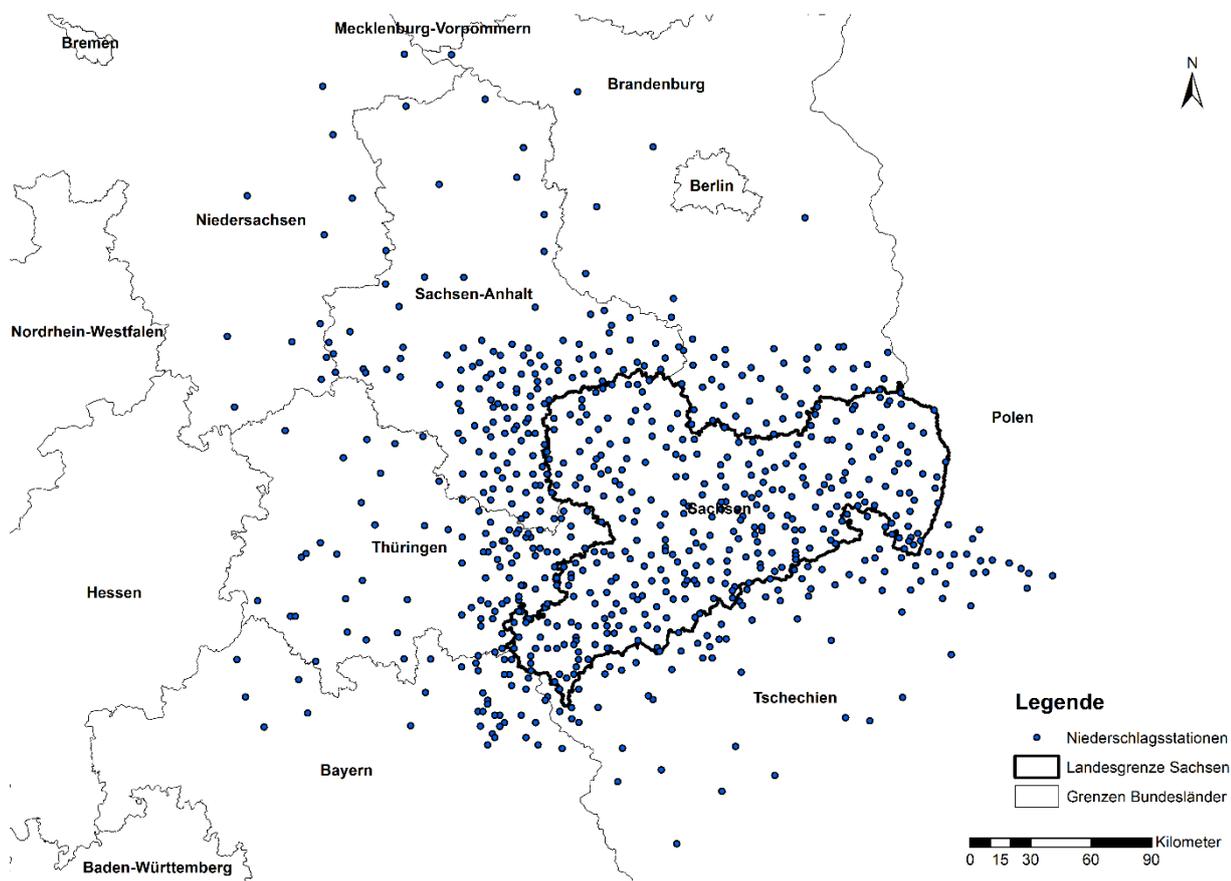


Abbildung 3: Räumliche Verteilung der in KliWES verwendeten Niederschlagsstationen des Istzustandes

Umfangreiche Tests erfolgten zur Plausibilitätsprüfung der regionalisierten Daten. Im Mittelpunkt stand die Frage, ob mit den zur Verfügung stehenden Stationsdaten die für Sachsen z. B. durch das Erzgebirge erzeugten typischen regionalen Muster meteorologischer Größen abgebildet werden. Die Untersuchung zeigte, dass

z. B. die Station Zinnwald-Georgenfeld einen erheblichen Einfluss auf die Regionalisierung aller Klimagrößen im gesamten Osterzgebirge bis in den Raum Dresden hat. Als Beispiel sei hier der Einfluss dieser nahe des Erzgebirgskamms gelegenen Klimastation auf die Berechnung des regionalen Temperaturfeldes genannt. Messungen an der Station begannen erst im Jahr 1971. Abbildung 4 zeigt die Veränderung der regionalen Darstellung des Temperaturregimes in der Region um die Station Zinnwald-Georgenfeld. Im Zeitraum 1961–1970 ohne Messwerte in Zinnwald-Georgenfeld weisen die Daten einen positiven Temperaturgradienten von Südwest nach Nordost auf. Dieses Verhalten verläuft nahezu orthogonal zum Höhenverlauf des Geländes mit geringen Höhen im Norden (etwa 200 m ü. NHN) und Mittelgebirgshöhen im Süden (bis 900 m ü. NHN). Realistisch hingegen ist der von 2001–2010 mit Messwerten von Zinnwald-Georgenfeld berechnete, nominell stärkere positive Trend der Temperatur von Süd nach Nord.

Vor diesem Hintergrund erfolgte flächendeckend eine Verlängerung aller geeigneten Niederschlags- und mittleren Temperaturreihen für den Istzustand auf einen einheitlichen Zeitraum 1961–2010 über eine multiple lineare Regression. Die Anwendung einer Regression hat im vorliegenden Fall das Ziel, den Zusammenhang zwischen erklärenden Stationen und einer abhängigen Station von einem bekannten Zeitraum auf einen unbekanntes Zeitraum zu übertragen. Das birgt die Unsicherheit in sich, dass der gefundene Zusammenhang nicht für den unbekanntes Zeitraum gelten könnte. In eine Regression können theoretisch beliebig viele erklärende Stationen eingehen. Mit jeder weiteren Station wird zwar das Gütekriterium besser, die Modelleindeutigkeit in Bezug auf die zu berechnenden Werte jedoch schlechter. Weiterhin ist ein multikollineares Verhalten zu erwarten, wenn die erklärenden Stationen untereinander gut korrelieren. Dies vermindert ebenfalls die Eindeutigkeit des gefundenen Modells. Um diese Unsicherheiten zu umgehen, wurde ein komplexes Regelwerk zur Anwendung der multiplen linearen Regression aufgestellt. Eine detaillierte Darstellung des Regionalisierungsmodells enthält SCHWARZE et al. (2014).

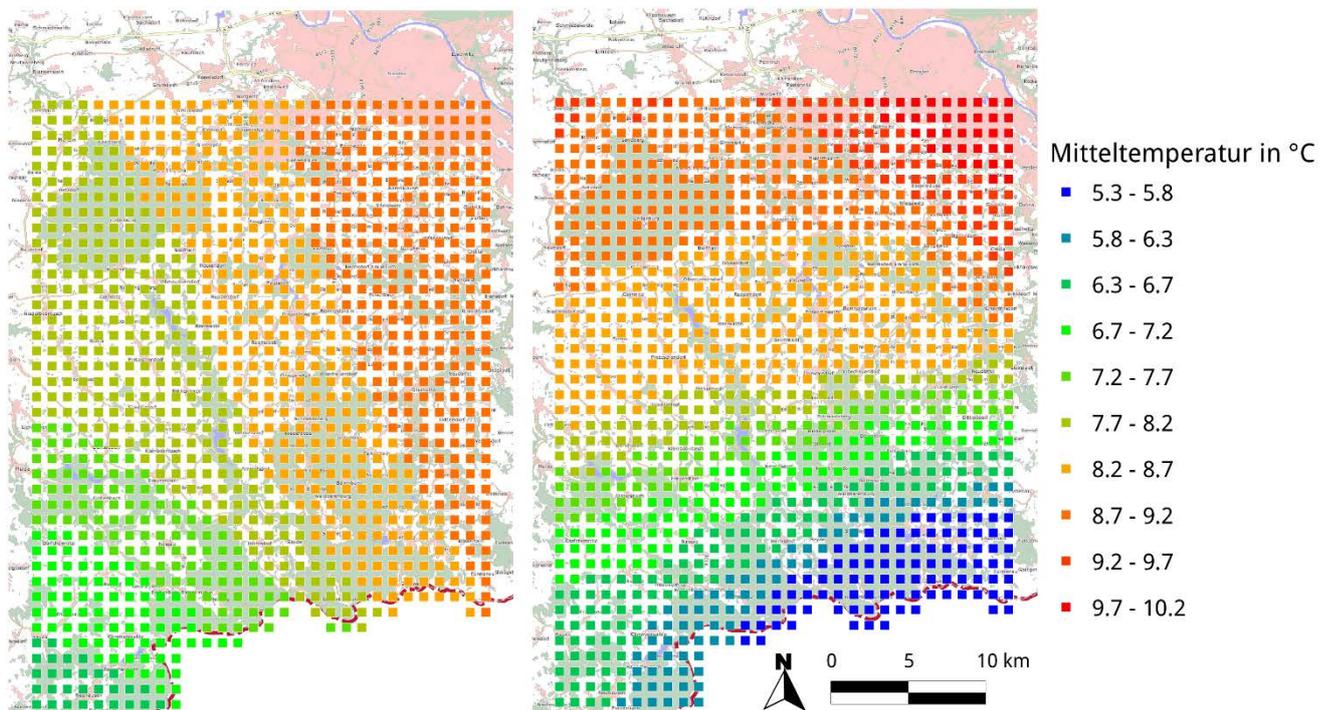


Abbildung 4: Mittlere Lufttemperaturen von 1961–1970 (links, ohne Messwerte in Zinnwald-Georgenfeld) bzw. von 2001–2010 (rechts, mit Messwerten in Zinnwald-Georgenfeld)

Nach der Datenaufbereitung erfolgte die sachsenweite Regionalisierung. Tabelle 1 führt die angewendeten Regionalisierungsmethoden auf. Ein Ergebnisvergleich zwischen Kriging und IDW ergab, dass beide Verfahren für Niederschlag und Temperatur praktisch identische Ergebnisse liefern. Das IDW benötigt jedoch deutlich weniger Rechenzeit, um einen regionalisierten Datensatz zu erzeugen. Für die Wasserhaushaltsmodellierung wurden daher die Ergebnisse des IDW-Verfahrens verwendet. Die Auswahl der Verfahren der übrigen Klimagrößen erfolgte unter Berücksichtigung der Stationsdichte. Aufgrund der deutlich geringeren Stationsdichte für die Klimagrößen Wind, Strahlung und Feuchte gegenüber Niederschlag und Temperatur war eine aufwendige Regionalisierung durch geostatistische Verfahren im Allgemeinen nicht gerechtfertigt bzw. nicht möglich. Trotz der guten Schätzergebnisse dieser Verfahren sind sie infolge des hohen Aufwandes und der restriktiven Anforderungen in diesem Fall nicht zu empfehlen, weil einfachere Methoden ähnliche oder nur geringfügig schlechtere Ergebnisse liefern. Aus diesem Grund wurden die oben genannten Klimagrößen mittels des Thiessen-Polygon-Verfahrens regionalisiert.

Tabelle 1: Verwendete Regionalisierungsverfahren für meteorologische Größen

Meteorologische Größe	Angewendetes Regionalisierungsverfahren
Korrigierter Niederschlag	IDW, Kriging
Mittlere Temperatur	IDW
Minimale Temperatur	IDW
Maximale Temperatur	IDW
Windgeschwindigkeit	Thiessen-Polygon
Globalstrahlung	Thiessen-Polygon
Relative Luftfeuchte	Thiessen-Polygon

Die regionalisierten Werte wurden auf Plausibilität geprüft. Für die regionalisierten Niederschlagswerte z. B. erfolgte eine Gegenüberstellung mit den Niederschlagswerten (Jahr, Sommer, Winter) des HAD (BMU 2003). Die Untersuchung der relativen Abweichungen der Jahressummen ergab, dass 98 % der Werte des erstellten Rasterdatensatzes um weniger als 5 % von den Werten des HAD abweichen. Außerdem weisen weniger als 0,06 % der Fläche Sachsens im Zeitraum 1961–1990 Abweichungen vom HAD von über 20 % auf.

2.3 Hydrologische Daten

Bei diesen Daten handelte es sich um Durchflüsse an Pegeln, Bewirtschaftungsdaten von Talsperren und Überleitungen sowie Datenreihen von Grundwassermessstellen. Am wichtigsten waren Durchflussdaten für die Analysen in Säule A und für die Kalibrierung und Validierung in Säule B. Zur Verfügung standen 140 langjährige Durchflussmessreihen von Pegeln mit anthropogen weitgehend unbeeinflussten Einzugsgebieten. Diese wurden einer Konsistenz- und Homogenitätsprüfung unterzogen. Ziel war der Nachweis und ggf. die Erstellung einer konsistenten Massenbilanz innerhalb eines Flussgebietes, basierend auf der Erstellung konsistenter Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen (W-Q-Beziehung) im Längsschnitt. Hierzu konnten Ergebnisse eines Vorgängerprojektes genutzt werden (LTV 2009). Die täglichen Durchflüsse liegen für den Zeitraum 1951 bis 2010 vor. Die Verlängerung kürzerer Reihen und die Schließung von Lücken erfolgten mittels Regression zu benachbarten Messstellen.

3 Säule A – Inverse Berechnung des Wasserhaushaltes ausgehend von langjährigen Beobachtungsreihen

Mithilfe der konsistenten und homogenen Datengrundlagen konnte die inverse Berechnung des Wasserhaushaltes und die anschließende Regionalisierung der Ergebnisse für alle sächsischen Teileinzugsgebiete durchgeführt werden.

Kapitel 3.1 beschreibt die Methodik der Wasserhaushaltsanalyse mithilfe von langjährigen Beobachtungsdaten. Das Vorgehen zur Integration von fehlendem Nebelniederschlag im Erzgebirgsraum wird im Kapitel 3.2 erläutert. Im Anschluss werden die Ergebnisse der vorgenommenen Analyse aufgeführt (Kapitel 3.3). Diese liegen für 114 ausgewählte Einzugsgebiete in Sachsen vor. Um flächendeckende Informationen zum langjährigen mittleren Wasserhaushalt aller sächsischen Teileinzugsgebiete zu erhalten, erfolgte die Regionalisierung der vorhandenen Ergebnisse (Kapitel 3.4).

Zusätzlich zu diesen Arbeiten musste ein geeignetes Modell zur sachsenweiten Berechnung des Wasserhaushalts gefunden werden. Hierfür wurden umfangreiche Modelltests durchgeführt, deren Durchführungen und Ergebnisse in Kapitel 3.5 dargestellt werden.

3.1 Methodik zur Analyse langjähriger Beobachtungsdaten

Für die Säule A erfolgte eine Wasserhaushaltsberechnung in 114 Einzugsgebieten mit DIFGA. Das Differenzganglinienanalyseverfahren DIFGA ist ein hydrologisches Verfahren, das Beobachtungsreihen von Durchfluss und Niederschlag bezüglich der Entstehung verschiedener Abflusskomponenten untersucht. Entwickelt am IHM-TUD (SCHWARZE 1985; SCHWARZE et al. 1991), wurde es kontinuierlich weiterentwickelt und liegt mit der Software DIFGA2000 als Verfahren zur inversen Berechnung des Wasserhaushaltes vor (Abbildung 5).

Als Eingangsdaten benötigt DIFGA langjährige Reihen für Tagesmittelwerte des Abflusses und tägliche Gebietsmittel des Wasserdargebots aus Niederschlag (Regen und/oder Wasserabgabe aus Schneedecken). Mit DIFGA kann der Abfluss aus einem Einzugsgebiet in Komponenten aufgeteilt werden. Gleichzeitig wird eine Wasserhaushaltsbilanz (Gebietsmittel) berechnet, die für aktuelle Monatswerte sowohl das Neubildungs- als auch das Abflusskonzentrationsverhalten unterschiedlich schneller Abflussanteile bestimmt. Die Wasserhaushaltsberechnung weist drei Abflusskomponenten aus:

■ Direktabfluss	RD, QD
■ kurzfristiger Grundwasserabfluss	RG1, QG1
■ langfristiger Grundwasserabfluss	RG2, QG2

Mit R werden Zuflüsse zum Gebietsspeicher (Abflussbildung) und mit Q Abgaben aus dem Speicher in das Gewässernetz (Abflusskonzentration) bezeichnet. Als Grundlage zur Prozessbeschreibung dient die Modellvorstellung des Einzellinearspeichers ELS. Der Grundwasserabfluss in einem Einzugsgebiet wird als Summe des Auslaufes von n parallel geschalteten ELS beschrieben, was geohydraulisch begründbar ist (SCHWARZE, DRÖGE, OPPERDEN 1999 und 1999a; HENNIG & SCHWARZE 2001). Neben der Ermittlung der Wasserflüsse be-

rechnet DIFGA Modellparameter für den Aufbau der Wasserhaushaltsmodelle in Säule B. Dabei handelt es sich um die:

- Speicherkonstante des kurzfristigen Grundwasserabflusses CG1
- Speicherkonstante des langfristigen Grundwasserabflusses CG2
- Angaben zum Gebietsspeicher des kurzfristigen Grundwasserabflusses SG1
- Angaben zum Gebietsspeicher des langfristigen Grundwasserabflusses SG2

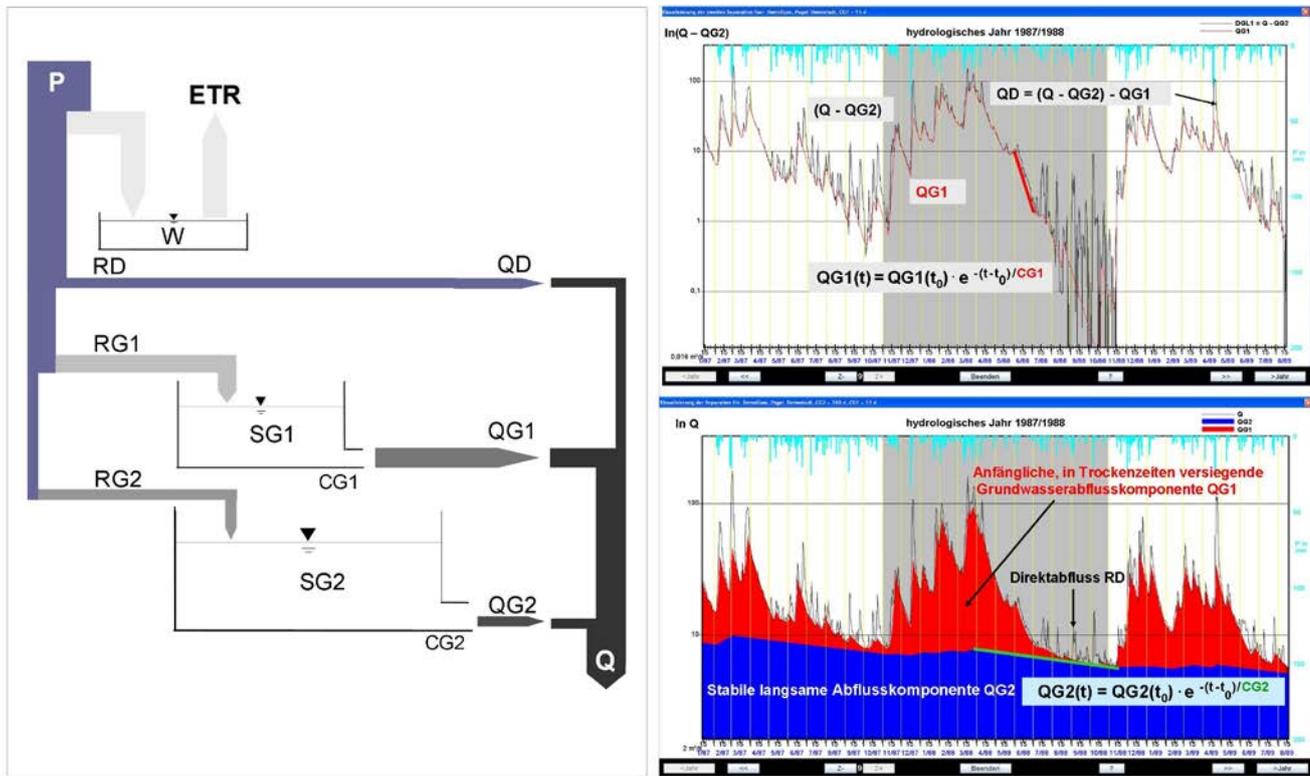


Abbildung 5: Überblicksschema DIFGA aus SCHWARZE & BEUDERT (2009)

Das Gebietsmittel der Wasserhaushaltsbilanz wird im Monatszeitschritt berechnet. Gleichzeitig erfolgt die Prüfung der Komponentenseparation in jedem Monat auf Bilanzreinheit. Folgende Größen in mm/Monat gehen in die Bilanz ein:

- Niederschlagssumme P (flüssiger Niederschlag bzw. Wasserabgabe aus der Schneedecke, Gebietsmittel), Beobachtungswerte korrigiert nach RICHTER (1995)
- Abflussbildung des langfristigen Grundwasserabflusses RG2
- Abflussbildung des kurzfristigen Grundwasserabflusses RG1
- Durchflusssumme Q Beobachtungswerte
- Summe des langfristigen Grundwasserabflusses QG2
- Summe des kurzfristigen Grundwasserabflusses QG1
- Direktabflusssumme QD bzw. RD
- Restglied REST, bestehend aus realer Verdunstung ETR und Füllung W eines nur durch Verdunstung ausschöpfbaren Speichers (REST = ETR + W)

Für jeden Monatszeitschritt wird somit gewährleistet, dass nach der beobachtete Niederschlag P bilanzrein in der Abflussbildungsgleichung (Zufluss zu den Gebiets Speichern; Gleichung 1)

$$P = RD + RG1 + RG2 + REST \quad (1)$$

bzw. der beobachtete Durchfluss Q bilanzrein in der Abflusskonzentrationsgleichung (Ausfluss aus den Gebiets Speichern; Gleichung 2)

$$Q = QD + QG1 + QG2 \quad (2)$$

aufgeteilt wird.

Wird die Verdunstung als Restglied aus der Differenz von Niederschlag und Abfluss bestimmt, kann für einen einzelnen Bilanzmonat die tatsächliche Verdunstungshöhe nicht bestimmt werden, weil ein Teil des nicht abflusswirksamen Niederschlags temporär als Bodenwasser im Bereich des sogenannten pflanzenverfügbaren Wassers gespeichert wird. Diese hier mit W bezeichnete Speicherung wird erst zu späteren Bilanzzeitschritten in Verdunstung umgewandelt. Bei Betrachtung der langfristigen Wasserhaushaltsbilanz ($P = R + ETR$) wird aus Gründen des Massenerhalts bezogen auf den gesamten Zeitraum der untersuchten Zeitreihen 1951 bis 2010 immer und für Teilzeiträume > 3 Jahre ausreichend genau (d. h. alle $\Delta S \approx 0$) die Beziehung $\Sigma(RD + RG1 + RG2) = \Sigma(QD + QG1 + QG2) = \Sigma Q$ erfüllt. Somit lässt sich wiederum für den gesamten Zeitraum oder mehrjährige Teilzeiträume die reale Verdunstung ETR aus der Differenz des gemessenen P und Q , d. h. aus der Größe $REST$ berechnen, weil das ausschließlich verdunstungswirksame Speicherglied W bei mehrjährigen Mitteln gegen Null geht. Das bedeutet, die von DIFGA ausgewiesenen Wasserhaushaltsgrößen P , Q und ETR sowie die Summe der drei Abflusskomponenten sind letztlich Beobachtungswerte. Sie weisen keinen modellbedingten Fehler auf und können bzw. brauchen nicht kalibriert werden. Somit ermöglichte dieses Vorgehen unter der Voraussetzung, dass die Größen P und Q ausreichend fehlerbereinigt wurden, die Berechnung der Gebietsverdunstung als eine wichtige zusätzliche Größe für die Validierung der Wasserhaushaltsmodelle in Säule B. Bei der Betrachtung der einzelnen Abflusskomponenten ist zu berücksichtigen, dass die Aufteilung von Q auf die drei Komponenten und deren zeitlicher Verlauf ein Ergebnis der internen Modellannahmen ist. Die Aufteilung erfolgt dabei automatisch. Die Rezessionskonstanten $CG1$ und $CG2$, die bestimmende Modellparameter für die Aufteilung sind, werden aus dem Rückgangsverhalten der beobachteten Durchflüsse Q abgeleitet. Auch hier erfolgt keine Kalibrierung, weil die Werte für $CG1$ und $CG2$ einmalig aus Durchflussmesswerten extremer Trockenwetterrückgänge abgeleitet werden und im Anschluss daran aber nicht mehr zum Zwecke des Erreichens eines bestimmten Zielwertes verändert werden.

3.2 Berücksichtigung von Nebelniederschlägen

In Kammlagen des Erzgebirges konnte keine ausgeglichene Wasserhaushaltsbilanz mit dem zur Verfügung stehenden Wasserdargebot aus Niederschlag erlangt werden. Im langjährigen Mittel ergab die Differenz aus korrigiertem Niederschlag und beobachtetem Abfluss zu geringe Werte für die Verdunstung. Abflussfehler ließen sich nach der sehr umfangreichen Datenprüfung i. d. R. ausschließen. Bekannte Überleitungen und Entnahmen (z. B. Revierwasserlaufanstalt RWA) im Erzgebirge wurden bereinigt bzw. anthropogen deutlich beeinflusste Gebiete (Talsperren etc.) nicht für die Analyse berücksichtigt. Als Ursache ist primär der sekundäre Niederschlagsgewinn aus abgefangenen bzw. abgesetzten Niederschlägen anzusehen. Dabei spielt in höheren Mittelgebirgslagen Nebelniederschlag und Raufrost die entscheidende Rolle. In bewaldeten Kammlagen Sachsens kann nach Angaben von FLEMMING (1983) der zusätzliche Wassergewinn zwischen 80 mm/a

(600 m ü. NHN) und bis zu 240 mm/a (1.000 m ü. NHN) betragen. DYCK & PESCHKE (1995) beziffern den Nebelniederschlag oberhalb von 700 m bei voller Bewaldung auf 3 % bis 6 % des fallenden Niederschlags. Prozessmodelle zur standortbezogenen Berechnung der Nebeldeposition z. B. PAHL (1996), DÄHNE (1999) und QUECK (2003) bestätigen diese Größenordnung. Diese Niederschlagsart wird bei der Messung einschließlich der üblichen Korrekturverfahren nicht erfasst und ist demnach auch nicht in den aus den Stationsdaten erzeugten Gebietsniederschlägen enthalten.

Eine sachsenweite Berechnung der Nebeldeposition mit Prozessmodellen schied wegen der nicht Verfügbarkeit erforderlicher Daten aus. Nachdem die Niederschlagswerte bereits nach RICHTER (1995) korrigiert waren, musste eine weitere pragmatische Korrekturvorschrift zur Berücksichtigung abgefangener und abgesetzter Niederschläge entwickelt werden, die letztlich eine bilanzreine Wasserhaushaltsberechnung ermöglichte. Ein grundsätzliches Problem bestand darin, dass in den für Sachsen vorliegenden Ausarbeitungen meist nur mittlere Nebelniederschlagsmengen pro Jahr genannt sind. Eine pauschale Erhöhung der aktuellen Jahresniederschlagssummen um diese Beträge führte nicht zu realistischen Ergebnissen in Einzeljahren. Erforderlich war eine Lösung mit Ereignisbezug. Der Schwerpunkt lag auf der Ermittlung von plausiblen Jahressummen für die als Restglied berechnete Verdunstung ETR. Dafür wurden die berechneten Verdunstungswerte durch Vergleich mit unabhängigen Werten z. B. aus dem HAD (BMU 2003) auf Plausibilität geprüft. Soll die Höhe der Nebelkorrektur aus der Plausibilität des von DIFGA berechneten Restgliedes $ETR = P - R$ abgeleitet werden, ist zu beachten, dass im Restglied neben der Nichterfassung von Nebel auch andere Fehler der Eingangsgrößen P und R impliziert sind:

1. fehlerhafte Gebietsgröße (z. B. unter- und oberirdisches Einzugsgebiet differieren)
2. Durchflussdaten fehlerhaft (Fehler in der W-Q-Beziehung, Datenfehler etc.)
3. Durchflussdaten beeinflusst (Überleitungen, Entnahmen etc.)
4. Durchflussdaten inkonsistent und ggf. inhomogen (z. B. bei Reihenverlängerungen mittels Regression, Stationsverlegung)
5. Niederschlagsdaten fehlerhaft (z. B. Datenfehler, Fehler im Regionalisierungsverfahren, Fehler bei der Richter-Korrektur)
6. Niederschlagsdaten inkonsistent (z. B. Wechsel der für die Berechnung der Gebietsniederschläge verwendeten Stationen im Verlauf der Zeitreihe)
7. Gebietsniederschlagsberechnung nicht repräsentativ (ungenügende Anzahl auswertbarer Messstellen, Lage der Messstellen deckt die Gebietsverhältnisse nicht ab z. B. Fehlen von Stationen in Kamm-lagen)
8. Zeitliche Verteilung winterliches Wasserdargebot falsch (Fehler im Schneemodell)
9. Wassergewinn aus Nebelniederschlag nicht berücksichtigt

Die Fehlerursachen 1. bis 3. konnten durch Prüfung ausgeschlossen bzw. bereinigt werden. Die Homogenität der Durchflussdaten (4.) wurde durch Doppelsummenanalysen zwischen Durchflussmessreihen benachbarter Pegel flächendeckend geprüft. Im nächsten Schritt erfolgte die Prüfung der Niederschlagsdaten auf Konsistenz und Homogenität (Ausschluss Fehlerursachen 5. bis 8. und Quantifizieren etwaiger Niederschlagsfehler).

Mit geprüften Durchflüssen und Ausgangswerten des Niederschlagsgebietsmittels (korrigiert nach Richter, an HAD Niederschläge geprüft, Schneedeckenauf- und -abbau berechnet) wurde mit DIFGA der Wasserhaushalt berechnet. Diese Vorgehensweise sei an dem im Osterzgebirge gelegenen Pegel Rehefeld 2 beispielhaft erläutert. Im Zeitraum 01.11.1961 bis 30.04.1962 z. B. beträgt der Ausgangswert der Gebietsniederschlagssumme 368 mm. Wie Abbildung 6 zeigt, entsteht daraus 40 mm Direktabfluss RD und 352 mm schneller Basisabfluss RG1, was zusammen bereits eine Abflussbildungssumme, die größer als die Niederschlagssumme

ist ergibt. Die Abflusskonzentration, d. h. die Wassermenge, die im betrachteten Zeitraum das Pegelprofil passiert, umfasst mit 40 mm QD und 335 mm QG1 zusammen immer noch mehr als die Niederschlagssumme. Aus dem Niederschlag ist somit die Fülle der schnell unmittelbar auf den Niederschlag reagierenden Abflussanteile nicht erklärbar. Hinzu kommt noch eine Grundwasserneubildung RG2 von 273 mm. Für die Verdunstung bleibt kein Wasser übrig. Das Bilanzsaldo weist ein Defizit von 297 mm auf, um das der Niederschlag mindestens erhöht werden müsste, damit das Restglied wenigstens den Wert Null annimmt.

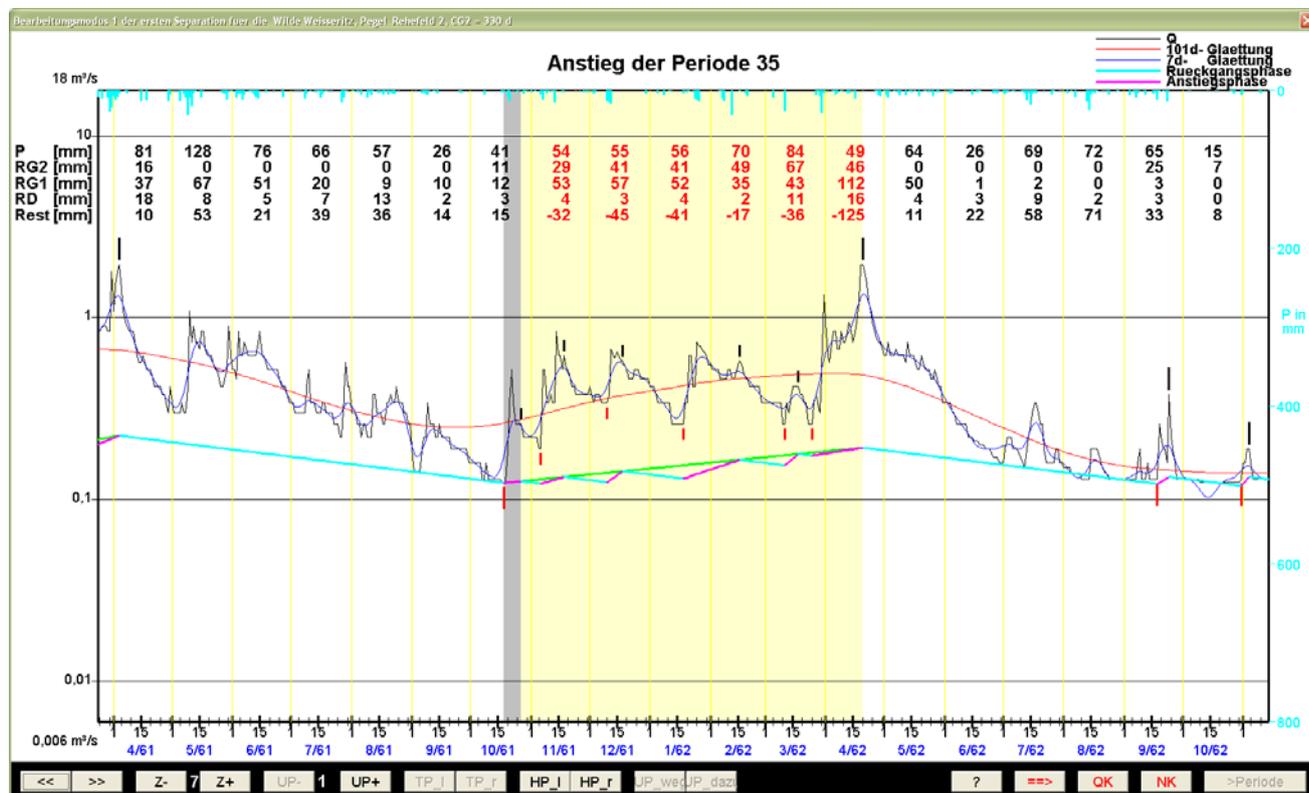


Abbildung 6: Wasserhaushaltsbilanz Winter 1961/1962 im Gebiet Rehefeld 2 (Wilde Weißeritz) basierend auf den Ausgangswerten des Niederschlagsgebietsmittels

Als Ursache des Defizits kommen nach Ausschluss von Durchflussfehlern Fehler bei den Berechnungen des Gebietsniederschlags und der Schneedeckenprozesse sowie die ungenügende Berücksichtigung des Nebelniederschlags in Frage. Das Defizit muss bereinigt werden, weil ansonsten eine Wasserhaushaltsberechnung unmöglich ist. Für die Korrektur des Niederschlagsinputs wurden Regeln aufgestellt:

- Korrektur von Fehlern bei der Berechnung des Schneedeckenauf- und -abbaus, die sich durch schlechte Korrelation zwischen dem zeitlichen Verlauf des Schmelzwasserdargebotes und dem der Durchflussganglinie äußern. Die Ursachen liegen in Unzulänglichkeiten des Tagesgradverfahrens und in den verfügbaren Lufttemperaturdaten. Alternative, prozessnähere Schneemodelle waren sachsenweit wegen ihrer Datenanforderungen nicht nutzbar. Der Fehler, der nur in Kammlagen zu Problemen bei der Bilanzierung führte, wurde je Winterperiode durch Optimierung der Modellparameter (Tagesgradfaktor, Grenztemperaturen) mit dem Ziel einer bestmöglichen Korrelation zwischen Niederschlags- und Abflussverlauf minimiert. Dies ist bezogen auf den jeweils betrachteten Zeitraum 01.11. bis 30.04. bilanzneutral, weil die Optimierung des Schneeschmelzmodells die Niederschlagssumme nicht verändert. Ergab sich auf diesem Weg kein ausgeglichener Wasserhaushalt, erfolgte ein zweiter Korrekturschritt.
- Erhöhung des Niederschlags zum Ausgleich des Defizits und zum Erlangen plausibler Werte für das Restglied d. h. für die Verdunstung. DYCK (1978) nennt für die Wintermonate November bis März als Nähe-

rungswert für die Verdunstung in sächsischen Mittelgebirgen 60 mm (Dezember und Januar je 5 mm, November und Februar je 10 mm und März 30 mm). Die Niederschlagserhöhungen wurden so vorgenommen, dass im langjährigen Mittel in den korrigierten Perioden ca. diese Werte für die Verdunstung erhalten wurden.

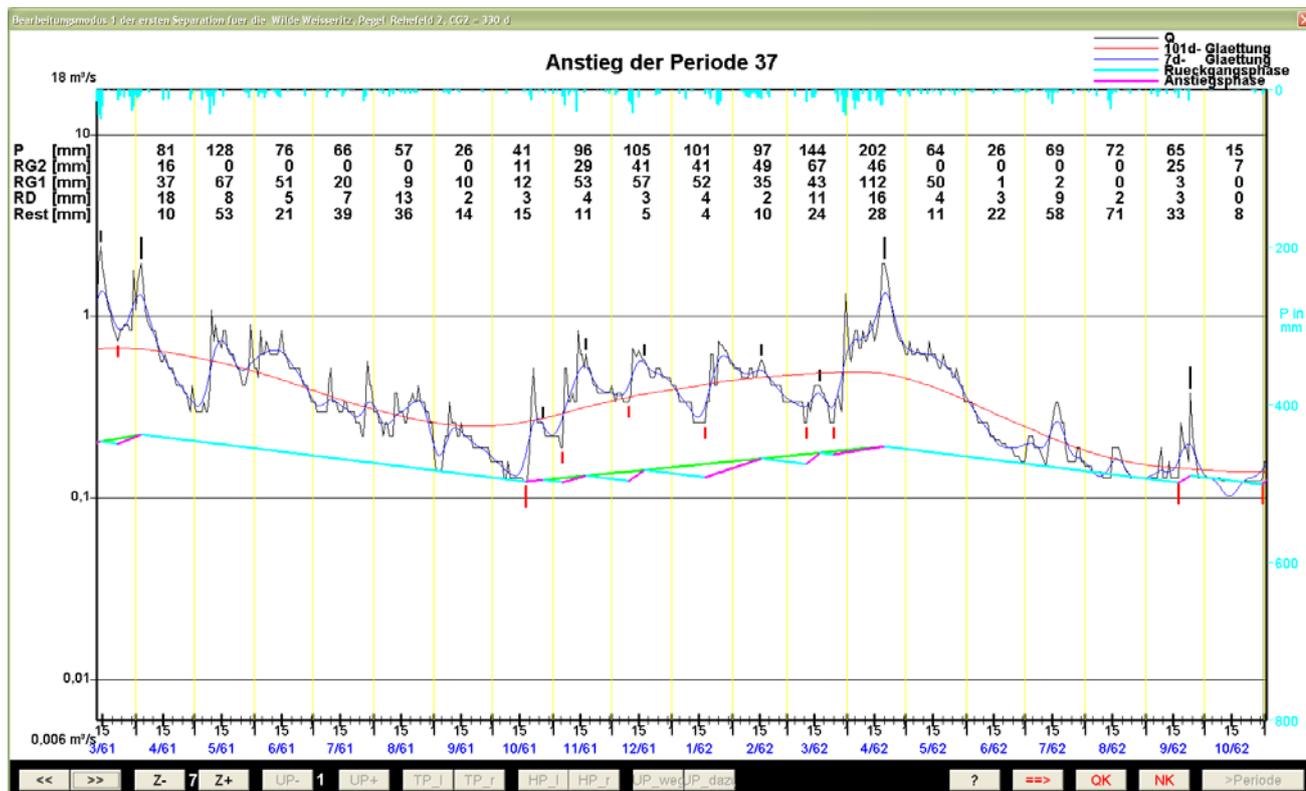


Abbildung 7: Wasserhaushaltsbilanz im Winter 1961/1962 für das Gebiet Rehefeld 2 (Wilde Weißeritz) bei Verwendung korrigierter Werte des Niederschlagsgebietsmittels

Abbildung 7 beinhaltet die auf diese Weise korrigierte Wasserhaushaltsbilanz für den Pegel Rehefeld 2 im Zeitraum 01.11.1961 bis 30.04.1962. Die mittlere Wasserhaushaltsbilanz im gesamten Zeitraum 1951–2005 ergab mit den Ausgangswerten des Niederschlags eine nicht ausgeglichene Bilanz. Im März und April trat auch im langjährigen Mittel ein negatives Restglied auf. Bei den mittleren Winterhalbjahressummen betrug das Restglied -19,2 mm, d. h. der Niederschlag reichte nicht einmal für den Abfluss, für die Verdunstung bleibt überhaupt kein Wasser. Als mittlere Jahressumme wurde die Verdunstung ETR zu 305,4 mm/a berechnet, was zu gering ist. Mit Nebel betrug der mittlere Niederschlag 1.200,5 mm/a, womit sich in allen Zeitschritten eine ausgeglichene Wasserhaushaltsbilanz ergab. Die berechnete mittlere Verdunstung von 408 mm/a ist im Vergleich zum HAD plausibel.

In 27 von 114 analysierten Gebieten mussten Korrekturen für Nebelniederschläge erfolgen, wobei Korrekturen erst für Einzugsgebiete ab einer mittleren Gebietshöhe von 400 müHN erforderlich waren. Abbildung 8 zeigt den Zusammenhang zwischen der mittleren Einzugsgebietshöhe und dem mittleren erforderlichen Korrekturbetrag.

Auffällig ist, dass es zwei Gruppen von Gebieten gibt, die sich in der Höhe des Korrekturbedarfs unterscheiden. Zur Erklärung der Unterschiede wurde die Abhängigkeit zwischen Vegetation und Nebelniederschlag untersucht. Verschiedene Quellen (EDOM et al. 2007; CHANG et al. 2006; KATATA et al. 2008) legen einen Zu-

sammenhang zwischen der Vegetationsart und der quantitativen Menge des Nebelniederschlags nahe. Ein Zusammenhang ließ sich für die untersuchten Gebiete jedoch nicht belegen, sodass der empirische Befund ohne ursächliche Erklärung in die Korrekturvorschrift implementiert werden musste.

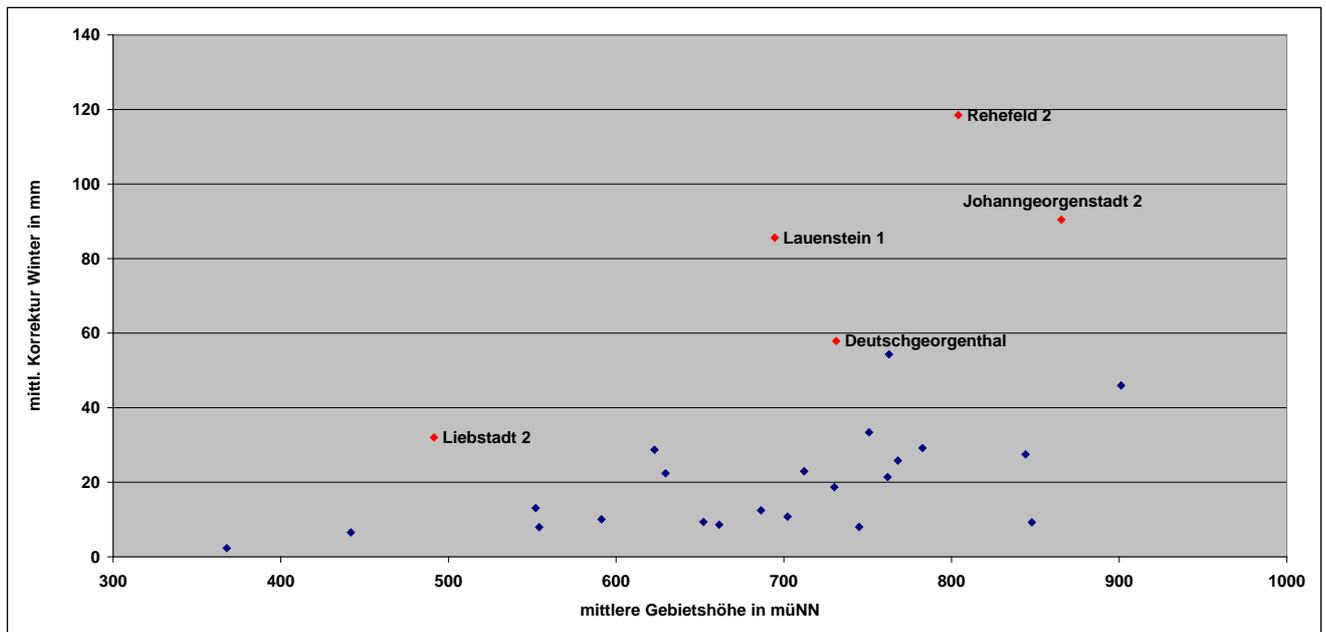


Abbildung 8: Abhängigkeit der mittleren Korrektursumme für den Gebietsniederschlag im Winterhalbjahr von der mittleren Höhe des Einzugsgebietes

Die Ermittlung der Korrekturwerte des Niederschlages für den Untersuchungsraum erfolgte durch eine Übertragung der Korrekturwerte von der Einzugsgebiets- auf die Teileinzugsgebietsebene, eine anschließende Regionalisierung der Korrekturwerte und einer abschließenden Auswertung der regionalisierten Korrektursummen. Der untersuchte Zeitraum 1951–2005 umfasst 20.089 Tage.

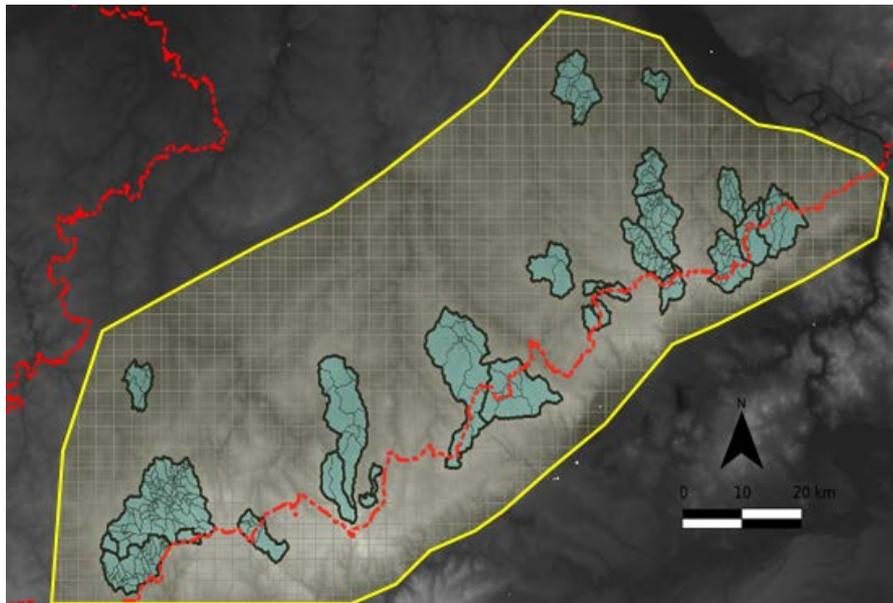


Abbildung 9: Die 27 Einzugsgebiete mit Nebelkorrekturwerten und ihre 377 Teileinzugsgebiete, Raster der Klimadaten sowie Lage der Fläche oberhalb 400 m im Erzgebirge

Eine Nebelkorrektur erfolgte jedoch nur an einem Bruchteil der Werte. Für Rehefeld 2 z. B. gab es Korrekturen an 1.324 Tagen, d. h. für die übrigen 18.765 Tage ist die Korrektur Null. Tägliche Korrekturwerte lagen für alle 27 betroffenen Gebiete vor. Diese Gebiete umfassen 377 Teileinzugsgebiete des sächsischen Flächenverzeichnisses. Die Höhenabhängigkeit der Korrektur wurde über eine Regression zur mittleren Gebietshöhe bestimmt. Mittels dieser konnten tägliche Korrekturwerte auch für die 377 Teilgebiete abgeleitet werden. Korrekturen erfolgen nur für Höhen oberhalb 400 m (Abbildung 9).

Die 377 Stützstellen wurden zur Regionalisierung auf das Klimadatenraster genutzt. Als Methode kam ein External Drift Kriging mit der mittleren Gebietshöhe als externe Drift zum Einsatz (BARDOSSY 1997 und KITANIDIS 1997). Die Drift wurde als lineare Regression aus Ergebnissen in DIFGA-Gebieten (Abbildung 8) abgeleitet. Für jeden Tag im Untersuchungszeitraum 1951–2005 liegen regionalisierte Korrekturwerte nach dieser Methode vor.

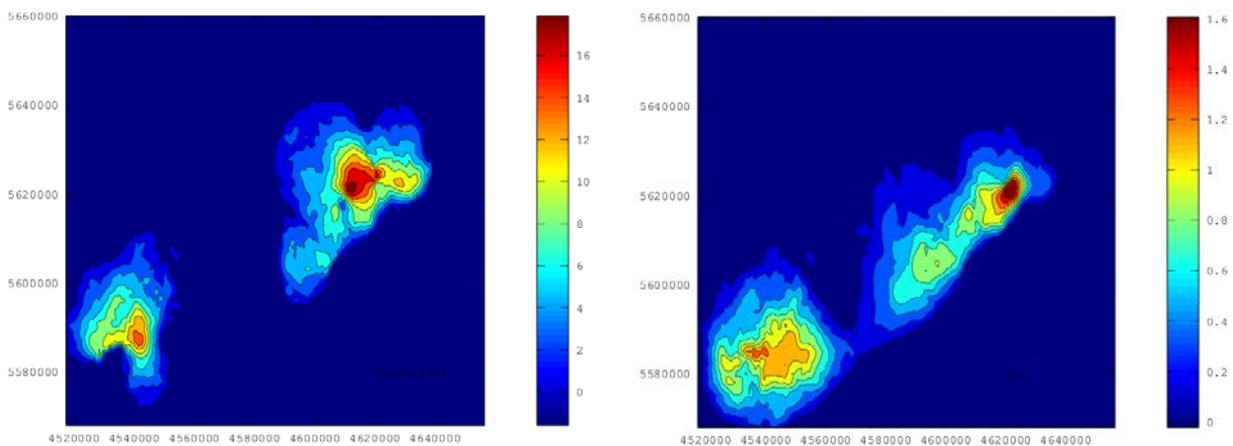


Abbildung 10: Regionalisierte Nebelkorrekturwerte für einen Einzeltag (15.03.1951 links) und regionalisierte mittlere tägliche Korrekturwerte im April (rechts, Reihe 1951 bis 2005), Angaben in mm/d

In Abbildung 10 ist die räumliche Verteilung der Korrekturwerte anhand eines ausgewählten Tages (links) und für den mittleren täglichen Korrekturwert im April (rechts) dargestellt. Der jeweilige Korrekturbetrag wurde mit den Niederschlagswerten der entsprechenden Gebiete addiert. Anschließend konnte die Wasserhaushaltsanalyse mit DIFGA durchgeführt werden.

3.3 Ergebnisse der Wasserhaushaltsberechnung mit DIFGA

Für jedes der untersuchten 114 Einzugsgebiete liegen die folgenden Ergebnisse vor:

- Modellparameter CG1, CG2, SG1_{Grenz} (Maximalwert der Speicherfüllung für SG1)
- Mittlere Wasserhaushaltsbilanz (monatlich und langjährige Mittelwerte) und aktuelle monatliche und jährliche Wasserhaushaltsbilanz für die Größen P, RG1, RG2, RD, Q, QG1, QG2, QD, REST (bei langjährigen Mittelwerten = ETR) und Bilanzdefizit DEF
- Ganglinien in täglicher Auflösung für P, Q, QG1, QG2, QD

Zusätzlich steht eine sachsenweite Regionalisierung der genannten Größen zur Verfügung. Die Ergebnisse (Datentabellen, Ganglinien, Shapes) sind im Wasserhaushaltsportal Sachsen öffentlich zugänglich. Dort können sie visualisiert werden und stehen zum Download bereit.

3.4 Regionalisierung von Modellparametern und Wasserhaushaltsgrößen

Ausgehend von den Ergebnissen der 114 DIFGA-Analysen erfolgte in Säule A der Aufbau eines regionalen Parametermodells für das Grundwasserhaushaltsmodell SLOWCOMP und die Regionalisierung langjähriger mittlerer Wasserhaushaltsgrößen. Ziel war die sachsenweite Bereitstellung folgender Werte:

- SLOWCOMP-Parameter: CG1, CG2 und SG1_{Grenz}
- Mittlere jährliche Wasserhaushaltsgrößen: P, RG1, RG2, RD, ETR

Neben der Bereitstellung der Ergebnisse für die Praxis im Wasserhaushaltsportal wurde mit der Regionalisierung der Wasserhaushaltsgrößen eine unabhängige Datenbasis zur Ergebnisvalidierung der direkten Wasserhaushaltsberechnungen in Säule B generiert.

Perkolation aus der Bodenzone

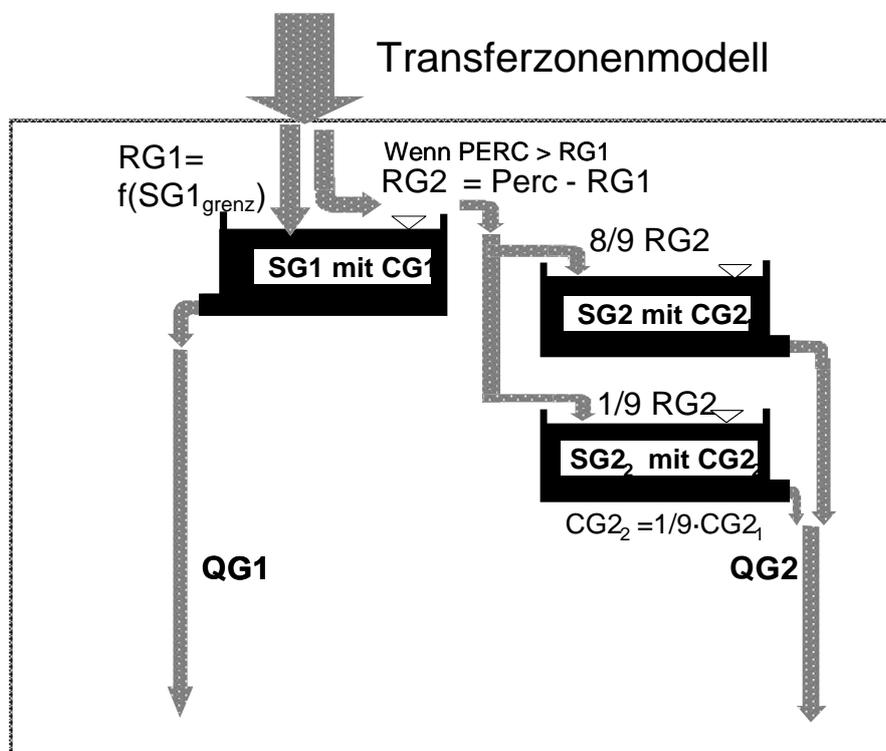


Abbildung 11: Struktur des Grundwasserabflussmodells SLOWCOMP

SLOWCOMP ist ein einfaches Grundwasserhaushaltsmodell, das in seiner Struktur die Komponentenaufteilung von DIFGA abbildet und gut mit Modellen zur Beschreibung des Bodenwasserhaushalts zu koppeln ist. Die Einflüsse von Klimaänderungen wirken primär über das Boden-Pflanze-Atmosphären-Systems (SVAT) auf den Gebietswasserhaushalt. Über die Perkolation aus der Bodenzone pflanzt sich dieser Einfluss auf das Grundwassersystem fort. In Wasserhaushaltsmodellen wird der Grundwasserabfluss meist mit Speichermodellen (z. B. ELS) berechnet. Diese Modelle beschreiben laterale Flüsse und haben mit der Kernfrage, wie die Aufteilung des atmosphärischen Energie- und Wassereintrags in Abfluss und Verdunstung unter sich ändern-

den Randbedingungen verläuft, nichts zu tun. Die Parameter dieser Modelle haben jedoch einen großen Einfluss auf die Nachbildung der Abflussganglinien und damit im Vergleich zu den beobachteten Ganglinien auf die Güte der Modellergebnisse. Zur Beschreibung lateraler Flüsse sollte deshalb ein objektives Parametermodell erstellt werden, um diese Parameter unabhängig von einer Kalibrierung zu machen. Damit konnten sich die anschließenden Arbeiten in der Säule B auf das SVAT-System konzentrieren.

In SLOWCOMP sind Struktur und Aufteilung der Wasserflüsse sowie die Modellparameter geohydraulisch interpretierbar. Ausführungen in SCHWARZE, DRÖGE, OPPERDEN (1999) und HENNIG & SCHWARZE (2001) belegen, dass sich der Abfluss aus einem ungespannten Grundwasserleiter ausgehend von einer analytischen Lösung der BOUSSINESQ-Gleichung bzw. der instationären Grabenanströmung als Parallelschaltung unendlich vieler ELS beschreiben lässt. Es konnte weiter gezeigt werden, dass für eine ausreichend genaue Abbildung bereits drei ELS ausreichend sind. Damit ergab sich die in Abbildung 11 ersichtliche SLOWCOMP-Struktur direkt aus der geohydraulischen Lösung.

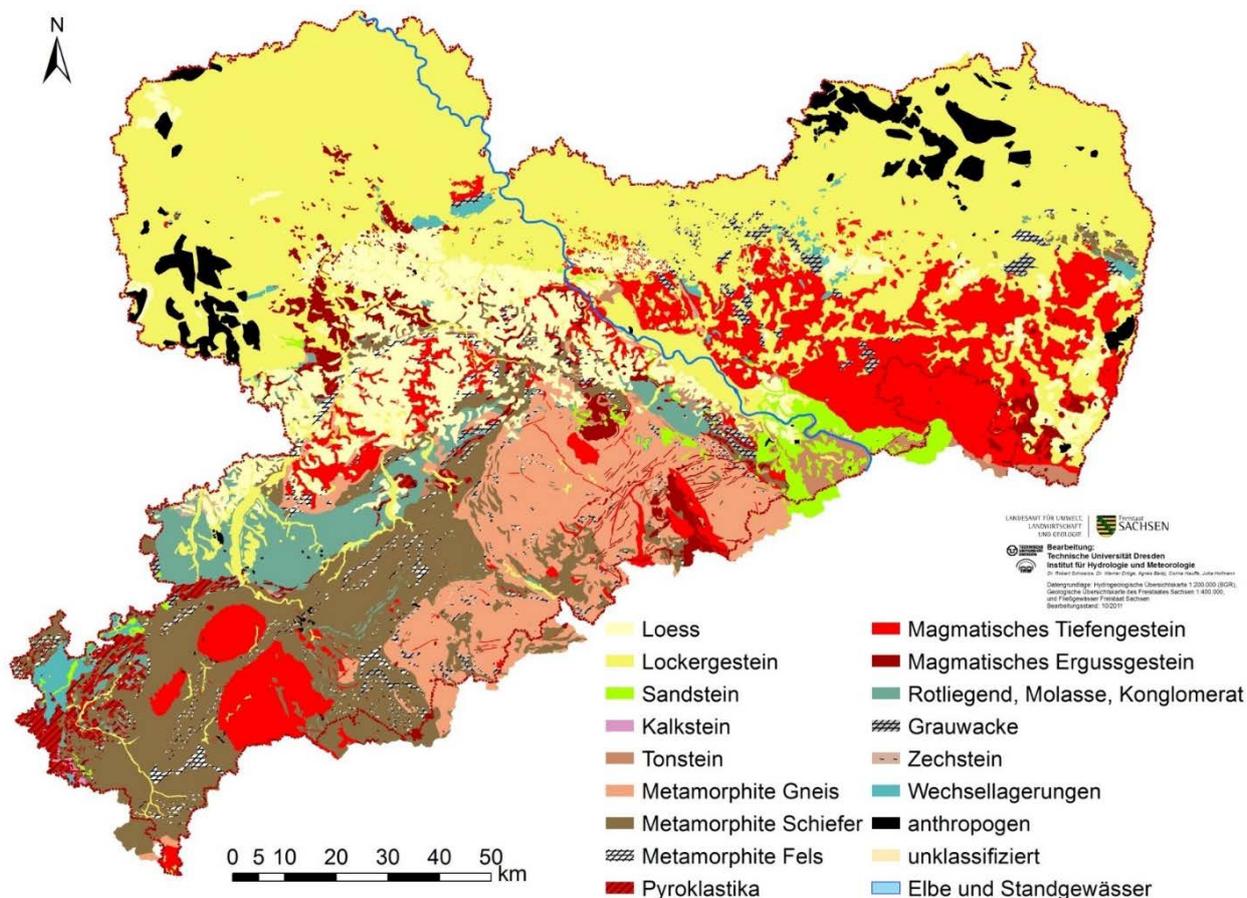


Abbildung 12: Karte der Klassen ähnlicher geohydraulischer Eigenschaften in Sachsen

Alle SLOWCOMP Modellparameter sind aus Gebietseigenschaften ableitbar, weil sie entsprechend der theoretischen Herleitung sowohl von geohydraulischen (drainabler Hohlraumanteil n_e , Gebirgsdurchlässigkeit k_f) als auch von geomorphologischen Kennwerten (Fließlänge L , Mächtigkeit des Aquifers h_m) abhängen. Dies bildete die Grundlage für eine physikalisch begründete regionale Bestimmung der konzeptionellen SLOWCOMP-Parameter und damit auch für die Regionalisierung der Wasserflüsse. Nach Gleichung 3 gilt z. B. für die Speicherkonstanten CG

$$CG = f\left(\frac{L^2 \cdot n_e}{h_m \cdot k_f}\right) \quad (3)$$

Das Regionalisierungsmodell stellt den Zusammenhang zwischen den empirischen Ergebnissen (DIFGA) und Gebietskennwerten her. Der Charakter des Zusammenhanges ist dabei durch die vorhandene physikalische Interpretation vorgegeben. Die Regionalisierungsbeziehungen werden für Klassen mit einheitlichen geohydraulischen Eigenschaften erstellt. Die methodischen Grundlagen dafür enthält SCHWARZE, DRÖGE, OPPERDEN (1999a). Die Klassifizierungsvorschriften werden in SCHWARZE (2004) beschrieben.

Jedes der 114 DIFGA-Gebiete wurde einer dominanten hydrogeologischen Einheit zugeordnet. Die Festlegung der hydrogeologischen Einheiten geht von der hydrogeologischen Karte HÜK200 aus. Nach einer feinen Untergliederung unter Berücksichtigung von Gesteinsart, Verfestigungsgrad (Lockergestein, Festgestein), Leitercharakter (Grundwasserleiter GWL, Grundwassergeringleiter GWG, GWG/GWL), Hohlraumart (Poren, Kluft/Poren, Kluft, Kluft/Karst) und Durchlässigkeit ergaben sich in Sachsen ca. 80 Einheiten. Weil dem nur 114 Abflusskomponentenanalysen gegenüberstehen, war eine Zusammenhangsanalyse nicht möglich. Es erfolgte deshalb eine Generalisierung durch Zusammenfassung in drei Stufen:

- grobe Untergliederung ohne Berücksichtigung der Durchlässigkeit: ergab 25 Einheiten
- Untergliederung ohne Berücksichtigung Leitertyp: ergab 21 hydrogeologische Einheiten
- Untergliederung ohne Berücksichtigung Gesteinsart bei Lockergestein: ergab 15 hydrogeologische Einheiten als Grundlage für die Gruppierung der DIFGA Ergebnisse.

Abbildung 12 zeigt die hydrogeologischen Einheiten in Sachsen. Problematisch ist, dass nicht alle Kennwerte zur Berechnung der SLOWCOMP-Parameter flächendeckend verfügbar sind. Der drainable Hohlraum kann z. B. aus der HÜK200 nicht bestimmt werden. Durch die ausgewiesenen hydrogeologischen Einheiten werden Unterschiede jedoch indirekt erfasst. Die Gebirgsdurchlässigkeit wird in den Durchlässigkeitsstufen der HÜK200 ausgewiesen. Die Größen L und h_m können weder aus digitalen Höhenmodellen noch aus der HÜK200 direkt entnommen werden. Es lassen sich aber relativ leicht plausible Zusammenhänge für andere geomorphologische Größen wie z. B. Flusssdichte, mittlere Geländehöhendifferenz und Gefälle ableiten (vgl. HENNIG & SCHWARZE 2001). Die konkrete Umsetzung der Regionalisierung ausgehend von den geohydraulisch zu erwartenden Zusammenhängen erfolgte mittels einer multiplen Regressionsanalyse. Weil nur wenige Realisierungen (DIFGA-Ergebnisse je hydrogeologische Einheit) vorliegen, wurde darauf geachtet, dass multiple Regressionen mit nur wenigen Einflussfaktoren (Unabhängigen) erstellt wurden. Die Prüfung des Zusammenhangs erfolgte vorrangig hinsichtlich ihrer hydrologisch, hydraulischen Plausibilität und mit geeigneten statistischen Tests (F-Statistik, t-Test). Ein Beispiel für die Art der gefundenen Zusammenhänge gibt die Gleichung 4 zur Berechnung von $SG1_{Grenz}$ für Lockergestein.

$$SG1_{Grenz} = -0,00828 \cdot LG - 0,08218 \cdot HM - 7,58626 \cdot KS + 30,32686 \quad (4)$$

Der Zusammenhang mit einem multiplen Korrelationskoeffizient von 0,85 und einem adjustiertes Bestimmtheitsmaß von 0,71 ist geohydraulisch plausibel. Der Einfluss aller Unabhängigen ist signifikant. Die Auswertung basiert auf 40 Gebieten. Die mittlere Hanglänge LG in m steht stellvertretend für die nicht direkt zu ermittelnde Fließlänge L im Aquifer. HM in m gibt die mittlere Mächtigkeit des oberhalb vom Pegelniveau liegenden Gebietskörpers an und steht als Ersatzgröße für die im Gebietsmaßstab schwer zu ermittelnde Aquifermächtigkeit h_m . Die Gruppierung der Ergebnisse in hydrogeologische Einheiten berücksichtigt indirekt den zu erwartenden Einfluss von Hohlraumanteil und Durchlässigkeit, wobei die explizite Einbeziehung des

Anteils sandig-kiesiger Petrografien KS die Unterschiede in den geohydraulischen Eigenschaften innerhalb der hydrogeologischen Einheit abbildet. Die sachsenweite Regionalisierung von $SG1_{Grenz}$ für alle hydrogeologischen Einheiten zeigt die (Abbildung 13).

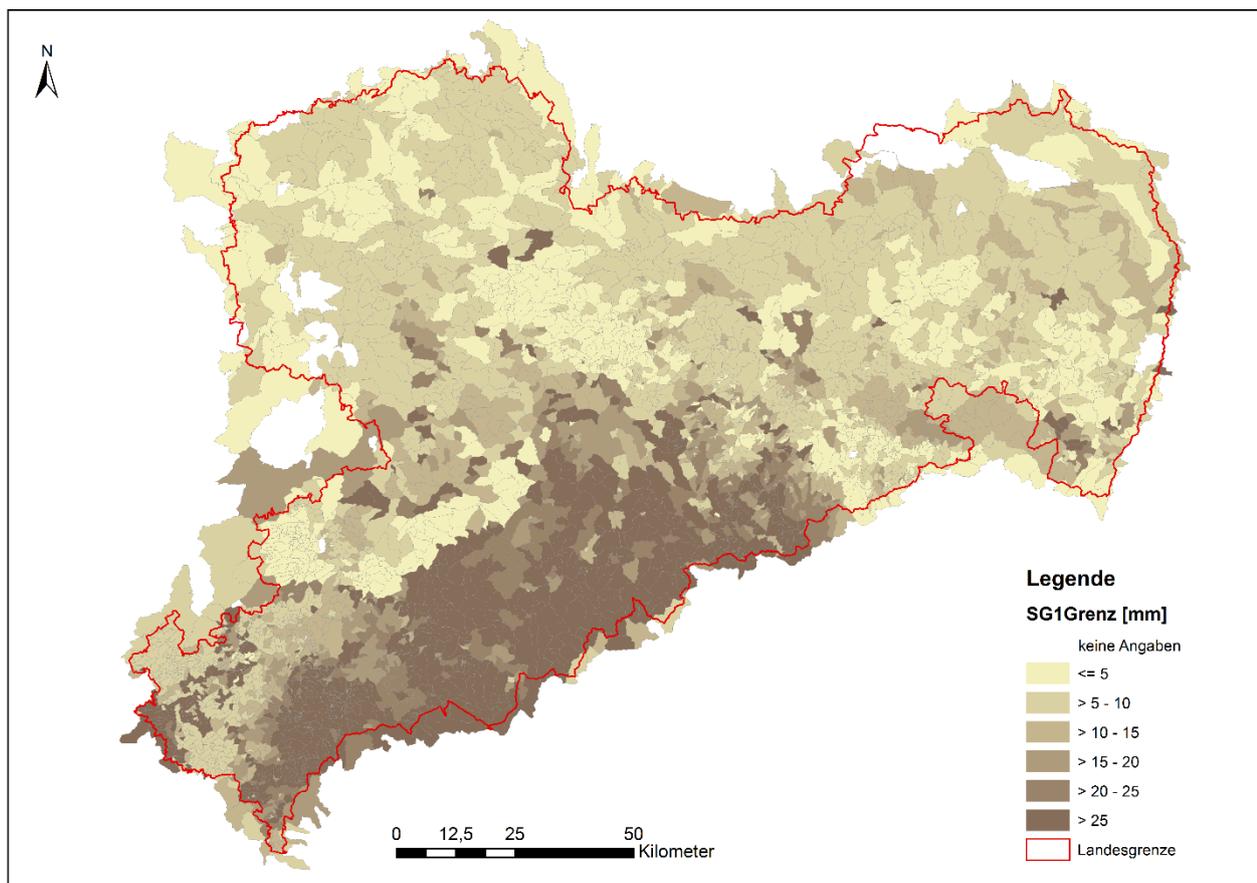


Abbildung 13: Räumliche Verteilung des regionalisierter SLOWCOMP-Parameters $SG1_{Grenz}$ in Sachsen

Analoge sachsenweite Auswertungen existieren für alle hydrogeologischen Einheiten auch für die SLOWCOMP-Parameter CG2 (Abbildung A82) und CG1 (Abbildung A83). Die langjährigen Mittelwerte der Wasserhaushaltsgrößen RG2, RG1 und RD wurden gleichfalls regionalisiert, wobei hier neben den geohydraulisch und geomorphologischen Parametern zusätzlich die sachsenweit vorliegenden Größen Niederschlag P und Verdunstung ETR als unabhängige Größen einbezogen wurden. Als Beispiel zeigt die (Abbildung A84) den mittleren jährlichen Zufluss zum langsamen Grundwasserspeicher RG2 (Reihe 1951–2005).

Sowohl die regionalisierten Parameter als auch die Wasserhaushaltsgrößen stehen im Wasserhaushaltsportal Sachsen z. B. als Shape-Files zur Verfügung. Während in den Kartendarstellungen eine Visualisierung in Klassen erfolgt, enthalten die digitalen Daten für jedes Teileinzugsgebiet die genauen berechneten Werte.

3.5 Auswahl eines geeigneten Modells zur Berechnung des Wasserhaushaltes

Es wurden sieben Modelle auf ihre Eignung zur Berechnung des Wasserhaushalts in Säule B untersucht:

- BROOK90 (FEDERER et al. 2003)
- SWAT (NEITSCH et al. 2001)
- HYDRUS (ŠIMŮNEK et al. 2005)
- ArcEGMO (PFÜTZNER 2007)
- WaSIM-ETH (SCHULLA 1997; SCHERZER et al. 2006; Topmodel- und Richards-Ansatz)
- AKWA-M (MÜNCH 2007)
- MIKE SHE (DHI 2008)

Die vier letztgenannten Modelle kamen in die engere Auswahl. Die Testung der Modelle fand in drei Maßstabsebenen statt (Lysimeter, Kleinstinzugsgebiet bis 20 km² und Einzugsgebiet > 20 km²). Gebietspezifische Wasserhaushaltsmodelle wurden für zehn Gebiete und drei Lysimeter, die typische sächsische Landschaftseinheiten verkörpern, jeweils unter Verwendung der vier Modelle aus der engeren Wahl aufgebaut. Alle Modelle fußten auf der gleichen Datenbasis. Die Parametrisierung erfolgte nach modellinternen Vorgaben bzw. durch direkte Ableitung aus Gebietseigenschaften. Zur Modellbewertung wurde eine quantifizierbare Methode zur Ermittlung von Bewertungszahlen unter Nutzung objektiver Testkriterien aufgestellt. Angelehnt an HABERLANDT et al. (2009) kamen folgende Kriterien zur Anwendung: Grad der Bestimmtheit, Prozessabbildung System Boden-Pflanze-Atmosphäre, Parametrisierbarkeit, Anpassungsgüte/Robustheit, Szenariofähigkeit, Kalibrieraufwand, Handling/Rechenzeit. Die Quantifizierung der Tests basierte auf einem eigens entwickelten Punkteschlüssel (Tabelle 2).

Tabelle 2: Modelltestkriterien und Bewertungspunkte

Testkriterium	Punkteschlüssel (Grenzwerte ohne Angabe der Zwischenstufen)
Grad der Bestimmtheit	1 (empirisch) bis 5 (voll physikalisch begründet)
Prozessabbildung	1 (unzureichend) bis 5 (vollständig)
Parametrisierbarkeit	1 (Kalibrierparameter) bis 4 (messbar/aus Beobachtung ableitbar)
Anpassungsgüte	Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE, Bestimmtheitsmaß r^2 , relativer und absoluter Volumenfehler VE 0 (unzureichend) bis 10 (sehr gut)
Szenariofähigkeit	1 (zu geringe oder zu hohe Sensitivität), 2 (moderate Sensitivität)
Kalibrieraufwand	1 (hoch) bis 3 (wenig)
Handling	1 (aufwendig) bis 3 (leicht handhabbar)
Rechenzeit	1 (langsam, Einzugsgebiet > 6 Stunden) bis 5 (schnell, Einzugsgebiet < 1 Stunde)

Die Festlegung der Punktwerte erfolgte für jedes Kriterium mit einem Regelwerk. Die Modelleignung nimmt mit steigenden Punktwerten zu. Die gewichtete Summe der erreichten Punkte bildet die Bewertungszahl. Als Beispiel sei die Bewertung der Anpassungsgüte (Tabelle 3) und Robustheit näher dargestellt.

Die Bewertungskriterien für die Anpassungsgüte wurden in den Raumskalen Lysimeter, Kleinstzugsgebiet und Einzugsgebietsmaßstab und in den Zeitskalen Tag (Rechenzeitschrittweite), Monat und Jahr (Ergebniszeitschrittweite) angewendet. Die Gütekriterien wurden für den Gesamtabfluss, den Grundwasserabfluss und die Jahresverdunstungssummen berechnet. Für die Lysimeter konnte direkt auf Messwerte Bezug genommen werden, während im Gebietsmaßstab der beobachtete Abfluss und die mit DIFGA ermittelte Verdunstung sowie die Grundwasserabflusskomponenten RG2 und RG1 genutzt wurden. Der Bedeutung der Anpassungsgüte entsprechend, reicht der Punktbereich von 0 bis 10, während er bei den anderen Kriterien zwischen 1 und ≤ 5 schwankt.

Tabelle 3: Bewertungskategorien der Anpassungsgüte

Punkte	NSE	r ²	VE _{rel}
10	0.9 -1.0	0.9 -1.0	< 10 %
8	0.7 – 0.9	0.7 – 0.9	10 % -20 %
6	0.5 - 0.7	0.6 - 0.7	20 % - 50 %
2	0.0 – 0.5	0.5 – 0.6	50 % - 100 %
0	< 0.0	< 0.5	> 100 %

Die Modelle wurden ausschließlich mit Hilfe breitenverfügbarer Daten und, falls Erstere nicht verfügbar waren, mit den jeweiligen Standardwerten der Modelle parametrisiert. Diese unkalibrierte Anwendung sollte zum einen den Bearbeiterinfluss minimieren, zum anderen sollte so auch die Modellrobustheit beurteilt und der Kalibrierungsaufwand abgeschätzt werden. Die Robustheit der Modelle ist vor allem für unbeobachtete Berechnungsgebiete bedeutsam, in denen keine Kalibrierung erfolgen kann. Die Beurteilung der Robustheit basierte auf der erzielten Leistung/Anpassungsgüte (Tabelle 3) in den jeweiligen Raum- und Zeitskalen. Bei einer gleichbleibend guten Modellanpassung in allen Skalen liegt ein robuster Skalenübergang vor. Zur Bewertung wurden die Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE (NASH & SUTCLIFFE 1970), das Bestimmtheitsmaß r² und der relative Volumenfehler VE_{rel} herangezogen.

Tabelle 4: Bewertungskategorien und Wichtungsfaktoren für die Robustheit

Raumskala	Zeitskala	Wichtung der Anpassungsgüte	
		Raumskala	Zeitskala
1. Raumskala Lysimeter	Tag	0.3	0.5
	Monat		0.3
	Jahr		0.2
2. Raumskala Kleinstzugsgebiet	Tag	0.5	0.1
	Monat		0.6
	Jahr		0.3
3. Raumskala Einzugsgebiet	Tag	0.3	0.1
	Monat		0.6
	Jahr		0.3

Die Berücksichtigung der Anpassungsgüte in den Skalen erfolgte mittels Wichtung (Tabelle 4). Die Bestimmung der Bewertungszahlen aller betrachteten Wasserhaushaltsgrößen für jede Raum- und Zeitskala startet mit der Vergabe von Punkten entsprechend der erreichten Anpassungsgüte gemäß Tabelle 3. Diese Startpunktswerte werden je nach Raum- und Zeitskala anschließend durch Multiplikation mit den Faktoren aus Tabelle 4 gewichtet. Abschließend erfolgt für jede Skala eine Saldierung der berechneten skalenabhängigen Einzelpunktswerte zu einem in die Bewertung einfließenden Gesamtpunktwert.

Tabelle 5: Bewertungsmatrix zum Modellvergleich

Punkte	Bemerkung		Wichtung	AKWA-M	Arc-EGMO	MIKE-SHE	WaSiM-ETH
Grad der Bestimmtheit	physikalisch begründet, konzeptionelle bis empirisch		1,0	3,0	3,0	3,0	4,0
Prozessabbildung	Vollständigkeit, Boden-Pflanze-Atmosphäre		1,2	3,0	4,0	4,0	4,0
Parametrisierbarkeit	objektive, reproduzierbare Parametermodelle		1,1	3,0	3,0	3,0	3,0
Güte/Leistung	1. Raumskala Lysimeter	Tag	1,0	0,7	1,5	0,4	0,6
	1. Raumskala Lysimeter	Monat	0,9	3,2	6,2	2,4	2,5
	1. Raumskala Lysimeter	Jahr	0,9	4,8	7,3	3,2	2,8
	2. Raumskala Kleinsteinzugsgebiet	Tag	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
	2. Raumskala Kleinsteinzugsgebiet	Monat	1,1	0,3	1,8	0,2	0,3
	2. Raumskala Kleinsteinzugsgebiet	Jahr	0,9	2,4	3,9	1,8	1,7
	3. Raumskala Einzugsgebiet	Tag	0,8	0,0	0,2	0,0	0,0
	3. Raumskala Einzugsgebiet	Monat	1,1	2,7	2,3	2,1	1,3
	3. Raumskala Einzugsgebiet	Jahr	1,0	4,5	5,9	2,6	3,2
Robustheit	4. Skalenübergreifende Bewertung	Tag	1,2	1,8	2,9	1,2	1,2
Rechenzeit	1. Raumskala Kleinsteinzugsgebiet	Monat	0,5	5,0	3,0	3,0	1,0
	2. Raumskala Einzugsgebiet	Jahr	1,2	3,0	4,0	5,0	1,0
	3. Skalenübergreifende Bewertung	Tag	1,2	3,6	3,7	4,4	1,0
Szenariofähigkeit (Sensitivität auf Änderungen)	Klima		1,2	2,0	2,0	2,0	2,0
	Landnutzung		1,2	1,0	2,0	2,0	2,0
	Boden		0,2	2,0	1,0	2,0	1,0
Komplexität/Handling	Preprocessing (Aufbereitung Daten, Handling)		1,1	2,0	2,0	2,0	2,0
	Modellanwendung (Stapelverarbeitung)		1,0	1,0	3,0	3,0	3,0
	Postprocessing		0,9	3,0	2,0	1,0	2,0
Kalibrieraufwand			1,2	2,0	3,0	1,0	1,0
			Summe	54,0	67,7	49,3	40,6

Die Wichtung hatte zum Ziel, die Anpassungsgüte für die später sachsenweit zu erzielende räumliche (Teileinzugsgebiet) und zeitliche Auflösung (Monatswerte) der Ergebnisse gegenüber anderen Skalen stärker zu berücksichtigen. Für die Zeitskala erhielt die Anpassungsgüte der Tageswerte am Lysimeter das höchste Gewicht. Weil hier kein Oberflächenabfluss berücksichtigt werden musste, konnte am Lysimeter die Eignung der

Modelle zur Abbildung des Bodenwasserhaushaltes in der Auflösung des Rechenzeitschrittes (1 Tag) und der räumlichen Auflösung der Berechnung (Hydrotop bzw. Elementarfläche) besonders gut bewertet werden. In den Skalen Kleinstzugsgebiet und Einzugsgebiet wurde die Güte der Ergebnisse im Monatsschritt, der die geforderte Ergebniszeitschrittweite verkörpert, am höchsten gewichtet. Die Güte der täglichen Ergebnisse erhielt das geringste Gewicht, weil die Berechnung einzelner Hochwasserereignisse keinen Untersuchungsschwerpunkt bildete. Bei den meist sehr kleinen Berechnungseinheiten hätte dafür eine kürzere Rechen-schrittweite gewählt werden müssen. Bei der Raumskala wurden Ergebnisse der Kleinstzugsgebiete am höchsten gewichtet, weil sie der geforderten räumlichen Auflösung der Ergebnisse am nächsten kommen.

Für die sachsenweite Modellierung stellte sich ArcEGMO als am besten geeignet heraus (Tabelle 5). Auf Basis der vorliegenden Daten erfasste es alle wesentlichen Prozesse und zeigte sich hinsichtlich der Ergebnisse für die durchgeführten Testrechnungen im Vergleich zu den übrigen Modellen am robustesten für die angestrebten sachsenweiten Wasserhaushaltsberechnungen. Der Kalibrierungsaufwand war am geringsten. Weiterhin bestanden im Vergleich zu den übrigen Modellen keine Nachteile hinsichtlich des Handlings oder der Rechenzeit. Eine regional unterschiedliche Modellwahl etwa für Locker- und Festgesteinsbereich empfahl sich nicht. Auf Grund der aufwendigen parallelen Handhabung der Modelle (z. B. unterschiedliche Parameterdatenbanken) wäre ein solches Vorgehen nur gerechtfertigt gewesen, wenn sich ein Modell durch die besonders gelungene Abbildung eines der o. g. Bereiche ausgezeichnet hätte. Dies wurde im Rahmen des Modelltests jedoch nicht festgestellt.

3.6 Zusammenfassung

Um den Ansprüchen und Zielstellungen des KliWES-Projektes gerecht zu werden, sind belastbare Daten zum Wasserdargebot sowohl für den Ist-Zustand als auch für zukünftig unter sich ändernden Randbedingungen (Klima, Landnutzung, Demografie) zu erwartende Zustände erforderlich. Im Projekt KliWES wurde hierfür ein dreistufiger Lösungsansatz mit den Säulen A, B und C entwickelt. Das Kapitel 3 befasst sich hierbei mit den Arbeitsinhalten der Säule A.

Kapitel 3.1 widmete sich zunächst der Methodik von Säule A – der Analyse des Wasserhaushaltes mithilfe von beobachtetem Niederschlag und Durchfluss für 114 sächsische Einzugsgebiete. Dabei stellte sich heraus, dass ohne eine ausreichende Stationsdichte für klimatologische Daten und ohne die Berücksichtigung von Nebelniederschlägen in Mittelgebirgslagen oberhalb von 400 m ü. NHN keine plausible Wasserhaushaltsbilanz berechenbar ist. Für die Regionalisierung meteorologischer Daten und für die Erfassung des Nebelwassergewinns wurden deshalb neue Lösungsansätze entwickelt (Kapitel 3.2). Für 114 Einzugsgebiete Sachsens erfolgten ausgehend von langjährigen Beobachtungsdaten für Niederschlag, Temperatur und Abfluss eine Abflusskomponentenanalyse und Wasserhaushaltsberechnung mit dem Analyseverfahren DIFGA. Die Ergebnisse aus den 114 Gebieten, die in Kapitel 3.3 aufgezählt werden, werden im Anschluss mit einem physikalisch begründeten Regionalisierungsverfahren sachsenweit auf die nicht mit DIFGA analysierbaren Einzugsgebiete übertragen (Kapitel 3.4). Die Ergebnisse der Analyse und die regionalisierten Größen bildeten eine wesentliche Grundlage für die Parametrisierung und Validierung der 242 aufgebauten Wasserhaushaltsmodelle (siehe Kapitel 4). Weiterhin wurde im Kapitel 3.5 ein objektives Modelltestverfahren vorgestellt. In drei Skalen (Lysimeter, Kleinstzugsgebiet, Einzugsgebiet) erfolgte die Testung von mehreren Wasserhaushaltsmodellen hinsichtlich ihrer Eignung für eine flächendeckende Anwendung in Sachsen. ArcEGMO erwies sich für die Aufgabenstellung als das für Sachsen am besten geeignet Modell.

4 Säule B – Großräumige Wasserhaushaltsberechnungen sowie Ergebnisse für Istzustand und Klimaszenarien

Im Rahmen des Projektes KliWES wurde die Entwicklung des Wasserhaushalts unter der Annahme verschiedener Klima- und Landnutzungsszenarien bis zum Jahr 2100 projiziert. Als Wasserhaushaltsmodell kam das Modellsystem ArcEGMO (PFÜTZNER 2007) zum Einsatz. Es ermöglicht Berechnungen für verschiedene Maßstäbe in unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Auflösungen unter Berücksichtigung der dominierenden Prozesse. Auf unterschiedliche Datenverfügbarkeit kann durch Auswahl entsprechender Module zu Beschreibung von Teilprozessen reagiert werden. Zusätzlich verfügt ArcEGMO über Schnittstellen zu externen Datenbanken, z. B. für GIS-Daten. Die modulare und offen angelegte Modellstruktur gestattet eine flexible Nutzung des Modellsystems. Dies war wichtig, weil der ursprünglich nicht im Modellsystem verfügbare Algorithmus SLOWCOMP (SCHWARZE, DRÖGE, OPPERDEN 1999) für die Simulation der Grundwasserflüsse verwendet werden sollte. SLOWCOMP nutzt parallele Einzellinearspeicher, für deren Parametrisierung Rezessionskonstanten und Speicherraumgrenzwerte benötigt werden. Deren Berechnung erfolgte bereits in KliWES-Säule A mittels eines physikalisch begründeten Parametermodells.

Für die flächendeckende Simulation des Wasserhaushalts in Sachsen wurden 242 Einzugsgebietsmodelle mit ArcEGMO aufgebaut. Ausnahmen bilden die Braunkohletagebauegebiete und die Überflutungsflächen der Elbe in den Grenzen des Hochwassers vom August 2002. Die hohe Modellanzahl schloss eine händische Kalibrierung aus und erforderte eine rechnergestützte Vorgehensweise. Dies wurde im Rahmen einer multikriteriellen Parameteroptimierung für 148 Einzugsgebietsmodelle mit einer ausreichenden Datengrundlage aus der Säule A (SCHWARZE et al. 2016) mit einer neu entwickelten zweistufigen Kalibrierungsstrategie realisiert. Es ermöglicht die unabhängige Kalibrierung der vertikalen Prozesse im Bodenwasserhaushaltsmodell von den lateralen Abflussprozessen.

In Kapitel 4.1 wird zunächst auf die verwendeten Klima- und Landnutzungsszenarien eingegangen. Allgemeine Aussagen zur Mehrzieloptimierung folgen Kapitel 4.2. Das Kalibrierungskonzept, dessen Anforderungen in Kapitel 3.1 bereits diskutiert wurden, und die Umsetzung der multikriteriellen Parameteroptimierung mit den verwendeten Zielfunktionen und Kalibrierungsparametern wird in Kapitel 4.3 vorgestellt. Daran schließt sich die Präsentation von exemplarischen Ergebnissen (Kapitel 4.4).

4.1 Klima- und Landnutzungsszenarien

Die Quantifizierung möglicher Veränderungen des Wasserhaushalts in sächsischen Einzugsgebieten unter dem Einfluss eines zu erwartenden Klimawandels war Ziel des KliWES-Projekts. Für diese Simulationen standen 13 Klima- und drei Landnutzungsszenarien bereit.

Drei der Klimaszenarien (bezeichnet als 00, 66 und 99) wurden durch das LfULG ausgewählt und bereitgestellt (LÜNICH 2012). Die drei verwendeten Klimarealisierungen basieren auf dem SRES-Emissionsszenario A1B (Globalmodell ECHAM5, regionales Klimamodell WETTREG2010) und stehen repräsentativ für eine mittlere, trockene und feuchte Entwicklung des Klimas. Sie weisen eine deutliche Temperaturzunahme von durchschnittlich 3,5 °C für den Zeitraum 2071–2100 gegenüber den Messwerten der Referenzperiode von

1961–1990 auf (LÜNICH 2012). Demgegenüber zeigen die drei Realisierungen eine durchschnittliche Abnahme des Jahresniederschlags von ca. 13 % bis zum Ende des 21. Jahrhunderts im Vergleich zur Referenzperiode.

Zusätzlich erfolgte eine Ensembleberechnung für zehn weitere Klimarealisierungen. Diese basieren auf Kombinationen mit jeweils einem SRES-Emissionsszenario A1B und E1 (IPCC, 2000 und 2007) und einem Globalmodell ECHAM5 (ROECKNER et al. 2003) und HadCM3 (POPE et al. 2000). Für einen Teil der Realisierungen erfolgte ein Downscaling, in dem zunächst eines der drei dynamischen Regionalmodelle CLM (CSC), RACMO (MEIJGAARD et al. 2008) und REMO (JACOB 2001) zum Einsatz kommt. Daran schließt sich die Verwendung des empirisch-statistischen Regionalmodells WEREX5 (KREIENKAMP et al. 2011) an. Alle Realisierungen ohne kaskadiertes Downscaling nutzen ausschließlich WEREX5.

Die zehn Realisierungen weisen eine Zunahme der mittleren Temperatur bei gleichzeitiger Abnahme der durchschnittlichen Jahresniederschläge bis zum Ende des 21. Jahrhunderts auf. Die Größe der einzelnen Klimaänderungssignale ist sehr verschieden. Details dazu enthält HAUFFE et al. (2016). Eine Übersicht zu den Szenarien gibt die Tabelle 6.

Tabelle 6: Verfügbare Klima- und Landnutzungsszenarien im Internetauftritt der Säule B

Datensatz	Klimainput			Landnutzungsinput	
	SRES-Szenario	Globalmodell	Regionalmodell		
Ist-Zustand	-	-	WETTREG2010	Ist-Zustand	
Realisierung WETTREG 00	A1B	ECHAM5	WETTREG2010	1	Ist-Zustand
Realisierung WETTREG 66	A1B	ECHAM5	WETTREG2010	1	Ist-Zustand
Realisierung WETTREG 99	A1B	ECHAM5	WETTREG2010	1	Ist-Zustand
Realisierung WETTREG 00	A1B	ECHAM5	WETTREG2010	1	Szenario Versiegelung
Realisierung WETTREG 00	A1B	ECHAM5	WETTREG2010	1	Szenario Waldumbau
Realisierung WETTREG 00	A1B	ECHAM5	WETTREG2010	1	Szenario Flächenverbrauch
Realisierung WEREX 00	A1B	ECHAM5	WEREX V	1	Ist-Zustand
Realisierung WEREX 11	A1B	ECHAM5	CLM und WEREX V	1	Ist-Zustand
Realisierung WEREX 22	E1	ECHAM5	WEREX V	1	Ist-Zustand
Realisierung WEREX 33	A1B	ECHAM5	WEREX V	2	Ist-Zustand
Realisierung WEREX 44	A1B	ECHAM5	CLM und WEREX V	2	Ist-Zustand
Realisierung WEREX 55	A1B	ECHAM5	WEREX V	3	Ist-Zustand
Realisierung WEREX 66	A1B	ECHAM5	RACMO und WEREX V	3	Ist-Zustand
Realisierung WEREX 77	E1	ECHAM5	REMO und WEREX V	3	Ist-Zustand
Realisierung WEREX 88	E1	HadCM3C	WEREX V	1	Ist-Zustand
Realisierung WEREX 99	A1B	HadCM3C	WEREX V	1	Ist-Zustand

Die Wasserhaushaltsberechnungen wurden einerseits für alle Klimarealisierungen mit der bestehenden Landnutzung des Istzustandes durchgeführt. Andererseits lagen drei Landnutzungsszenarien mit den Bezeichnungen Waldumbau, Flächenverbrauch und Versiegelung vor, deren Simulation in Kombination mit der Klimarealisierung 66 erfolgte. Das Szenario Waldumbau beschäftigt sich mit der Umwandlung von Nadel- und Laubwald, das Szenario Flächenverbrauch bezieht sich auf die mögliche zukünftige Zunahme von Siedlungsflä-

chen in Sachsen und das Szenario Versiegelung steht für die Verdichtung von vorhandenen Siedlungsflächen in sächsischen Ballungsräumen. Nähere Informationen hinsichtlich der Landnutzungsszenarien sind LÜNICH et al. (2013) zu entnehmen.

4.2 Mehrzieloptimierung

Die rechnergestützte Kalibrierung erfordert die mathematische Formulierung eines Optimierungsproblems. Die Anpassung des simulierten dynamischen Modellverhaltens an die Beobachtung erfolgt durch die gezielte Variation von Modellparametern und wird fortwährend durch ein Gütekriterium bewertet. YAPO et al. (1998) und GUPTA et al. (1998) zeigen, dass die Güte der Abbildung wichtiger hydrologischer Charakteristiken zwischen Beobachtungsdaten und Simulationsergebnissen nicht durch ein einzelnes Gütekriterium bewertbar ist, weil jedes für sich meist nur einen Teilaspekt des Hydrografen beschreibt.

Zum Beispiel verhalten sich der prozentuale Volumenfehler p_{BIAS} (GUPTA et al. 1999) und die Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE (NASH & SUTCLIFFE 1970) zumeist konträr, weil durch Unzulänglichkeiten in der Modellstruktur und in den Eingangsdaten eine genaue Beschreibung der hydrologischen Prozesse nicht möglich ist (GUPTA et al. 1998). Ein hoher NSE, der eine gute Anpassung der Dynamik zeigt, führt dann oft zu einem hohen p_{BIAS} , das heißt zu hohen Fehlern im Abflussvolumen.

Mit dem Einsatz der multikriteriellen Optimierung (MKO) als Kalibrierungsstrategie können simultan mehrere Gütekriterien und somit unterschiedliche Aspekte einer Ganglinie berücksichtigt werden. Zielfunktionen lassen sich auf Basis dieser Gütekriterien formulieren und durch die Minimierung dieser eine Verbesserung der Modellanpassung beschreiben.

Das Ergebnis einer MKO ist eine Menge Lösungen, in der jede Lösung selbst eine optimale Kompromisslösung zwischen den konträren Zielen (die Gütekriterien) darstellt. Aus dieser Menge Lösungen muss dann schlussendlich eine geeignete Kompromisslösung ausgewählt werden. Die Anpassung des Modells geschieht durch die Kalibrierung ausgewählter Modellparameter, die in der Optimierung Entscheidungsvariablen genannt werden.

Evolutionäre Strategien sind leistungsfähige globale Optimierungsalgorithmen, die zur MKO Verwendung finden. Die multi-objective covariance matrix-adaptation evolutionary strategy (IGEL 2007) wird hier in einer parallelisierten Form (MÜLLER 2015) zur automatischen Kalibrierung des Wasserhaushaltsmodells ArcEGMO eingesetzt.

4.3 Kalibrierungsstrategie zur getrennten Optimierung der vertikalen und lateralen Prozesse

4.3.1 Grundlagen zur zweistufigen Kalibrierung

Ziel der Kalibrierung war eine realitätsnahe Umsetzung der ober- und unterirdischen Wasserhaushaltsprozesse im Modell. Der entscheidende Vorteil der Kalibrierungsstrategie sind die flächendeckenden mittleren Wasserhaushaltsergebnisse der DIFGA-Analysen und die Rezessionskonstanten, deren Ableitung auf physikalischen Ansätzen basiert. Diese Rezessionskonstanten gingen direkt in das in ArcEGMO integrierte Transfermodell SLOWCOMP ein. Eine Kalibrierung der Speicher bzw. ihrer Speicherkonstanten war daher nicht erfor-

derlich. Hierdurch wird vermieden, dass Massenbilanzfehler eines Modells mithilfe sehr groß gewählter Reaktionskonstanten für die Grundwasserspeicher versteckt werden.

Wasserhaushaltsergebnisse von DIFGA aus der KliWES-Säule A wurden wiederum für die Anpassung des Bodenwasserhaushaltsmodells von ArcEGMO für die Anwendung in KliWES-Säule B als Vergleichsgrößen genutzt. Aufgrund der begrenzten Möglichkeiten zur detaillierten Abbildung von Prozessen und insbesondere der meist nicht ausreichenden Datengrundlage musste auch das als am besten befundene Modell ArcEGMO anhand von Beobachtungsgrößen mittels einer inversen Kalibrierung (GATTKE 2006) angepasst werden. Üblicherweise steht hierfür nur der gemessene Gesamtabfluss am Gebietsauslass zur Verfügung. Fehlende Referenzdaten erschweren jedoch die inverse Kalibrierung bzw. Optimierung oder machen sie gänzlich unmöglich, weil diese Daten zur Berechnung der Zielfunktionen benötigt werden.

Die hier entwickelte Kalibrierungsstrategie sah eine Unterteilung der sächsischen Einzugsgebiete nach der Datenverfügbarkeit in drei Klassen vor.

Die erste Klasse beinhaltete alle Einzugsgebiete, für die neben dem Gesamtabfluss auch Ergebnisse der Differenzganglinienanalyse DIFGA (SCHWARZE 1985; SCHWARZE et al. 1991) aus Säule A (SCHWARZE et al. 2016) vorlagen. Hierdurch konnte in KliWES die Datenbasis für die Kalibrierung deutlich erweitert werden. Die betreffenden 114 Gebiete werden weiterhin als DIFGA-Gebiete bezeichnet.

Die zweite Klasse umfasst Pegel Einzugsgebiete, für die zwar Durchflussreihen zur Verfügung standen, aber keine Wasserhaushaltsanalysen mit DIFGA durchgeführt wurden. Für diese 35 Einzugsgebiete lagen regionalisierte mittlere Wasserhaushaltsgrößen vor.

Die restlichen unbeobachteten Gebiete in Klasse drei verfügten ausschließlich über regionalisierte mittlere Wasserhaushaltsgrößen aus Säule A (SCHWARZE et al. 2016).

In Tabelle 7 ist die Datenverfügbarkeit zusammenfassend dargestellt. Die in Tabelle 7 als „weitere Wasserhaushaltsgrößen“ bezeichneten Daten entsprechen dem beobachteten Niederschlag P und den mithilfe von DIFGA-Analysen ermittelten Größen reale Verdunstung ETR, Grundwasserzufluss/Perkolation RG2 bzw. RG1 und Grundwasserabfluss QG2 bzw. QG1 (SCHWARZE et al. 2012).

Tabelle 7: Verfügbarkeit von Durchflüssen und Wasserhaushaltsgrößen in sächsischen Einzugsgebieten als Vergleichswerte für die Kalibrierung (SCHWARZE et al. 2012)

Größe	DIFGA-Einzugsgebiete	Sonstige Einzugsgebiete mit Pegel	Einzugsgebiete ohne Pegel
Monatliche Durchflüsse	x	x	-
Jährliche Durchflüsse	x	x	-
Weitere monatliche Wasserhaushaltsgrößen	x	-	-
Weitere jährliche Wasserhaushaltsgrößen	x	-	-
Mittlere monatliche Wasserhaushaltsgrößen	x	-	-
Mittlere jährliche Wasserhaushaltsgrößen	x	x	x

Vorgehen zur Kalibrierung der ersten Klasse

Die Kalibrierung der Gebiete der ersten Klasse umfasste 114 mit DIFGA analysierte Einzugsgebiete. Für diese standen Wasserhaushaltsgrößen in monatlicher Auflösung und Messwerte des Durchflusses zur Verfügung. Hierdurch können die vertikalen Prozesse – Evapotranspiration und Zufluss zum Grundwasserspeicher – getrennt von den lateralen Abflussprozessen betrachtet werden. Darauf aufbauend entstand ein zweistufiges Kalibrierungsverfahren.

Die erste Stufe umfasste, vereinfachend ausgedrückt, die vertikalen Prozesse. Sie diente der Kalibrierung der von ArcEGMO berechneten Massenflüsse im System Boden-Pflanze-Atmosphäre (SVAT). Hierbei wurde der Niederschlag in reale Verdunstung ETR, schnelle Abflusskomponente RS (Oberflächenabfluss, hypodermischer Abfluss, Drainageabfluss und etwaige Verluste wie Abfluss in die Kanalisation etc.) und Zufluss zu den Grundwasserspeichern RG aufgeteilt. Für eine stimmige Bilanz reicht es aus, wenn zwei der drei genannten Größen angepasst sind. Hierfür wurden die Verdunstung und der Zufluss zu den Grundwasserspeichern ausgewählt, weil für beide mit ArcEGMO bestimmte Größen unabhängig ermittelte Ergebnisse aus Säule A vorlagen.

In einer vollkommen unabhängigen zweiten Stufe fand die Anpassung der lateralen Abflussprozesse statt. Die Abflussbildungs- und Verdunstungsprozesse der ersten Stufe spielten keine Rolle mehr, sodass die zuvor kalibrierte Massenbilanz unverändert bleibt. Ziel der zweiten Stufe war die zeitliche Verteilung der Wasserflüsse und damit eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen der simulierten Durchflussganglinie am Gebietsauslass und dem gemessenen Gesamtabfluss. Der Abfluss aus dem schnellen und langsamen Grundwasserspeicher QG1 und QG2 spielt dabei die entscheidende Rolle.

Eine schematische Übersicht der Prozesse und ihrer Aufteilung findet sich in Abbildung 14.

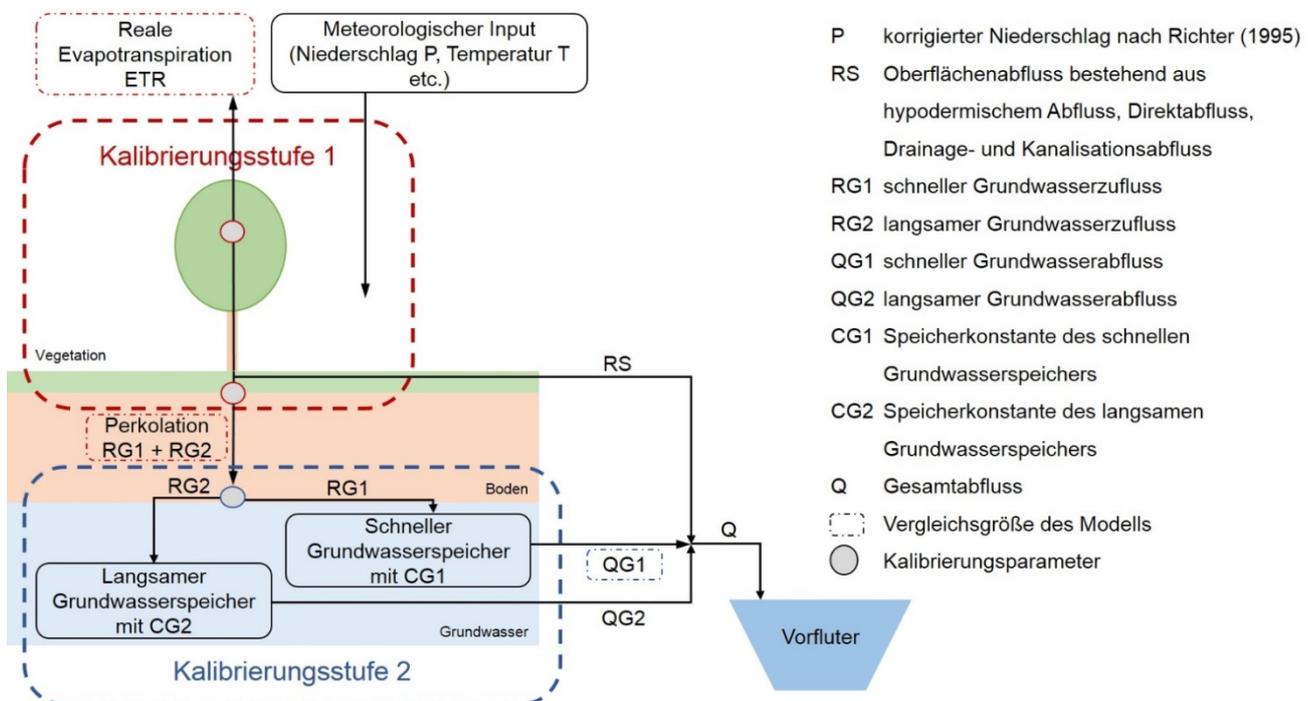


Abbildung 14: Schematische Darstellung der Wasserflüsse und ihrer Aufteilung im Rahmen der Modelloptimierung

Vorgehen zur Kalibrierung der zweiten und dritten Klasse

Die Kalibrierungsstrategien für Einzugsgebiete mit Auslasspegeln, für die jedoch keine DIFGA-Analyse vorlag, und unbeobachtete Einzugsgebiete war weniger aufwendig. Erstere konnten anhand der gemessenen Gesamtabflüsse und der regionalisierten mittleren Wasserhaushaltsgrößen aus Säule A kalibriert werden. Das Vorgehen entsprach im Kern der Optimierung der DIFGA-Gebiete. Im Gegensatz dazu konnte dieses Verfahren für die unbeobachteten Einzugsgebiete aufgrund fehlender Daten nicht angewendet werden. Hier war nur eine Plausibilisierung anhand der regionalisierten mittleren Wasserhaushaltswerte möglich.

4.3.2 Die zu kalibrierenden Modellparameter

Die Anpassung eines Wasserhaushaltsmodells erfolgt durch die Veränderung der konzeptionellen bzw. nicht messbaren Parameter eines Modells. Im Rahmen der Modellkalibrierung werden diese Parameter geschätzt. Exakt messbare bzw. prozessbezogen genau zu definierende Parameter sollten dagegen nicht kalibriert werden.

Eine große Anzahl von freien Kalibrierungsparametern führt bei der inversen Optimierung zur sogenannten Äquifinalität (BEVEN 1993). Unter Äquifinalität wird das Bestehen von mehreren Lösungen bzw. Parametersätzen verstanden, die ähnlich gute Ergebnisse in Bezug auf die Modellanpassung liefern (s. Kapitel 4.2). Dies stellt ein erhebliches Problem dar. Durch die Reduzierung der zu kalibrierenden Parameter kann die Anzahl von Lösungen bzw. Parametersätzen verringert werden. Daher ist es im Vorfeld sinnvoll, die Parameteranzahl der Kalibrierung zu begrenzen.

Die Reduzierung der freien Kalibrierungsparameter erfolgte im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse. Ziel ist die Ermittlung von Parametern, deren Variation zu signifikanten Veränderungen der Modellergebnisse (z. B. des Gesamtabflusses) führen. Hierbei konnten für ArcEGMO folgende sensitive Parameter identifiziert werden:

- der Aufteilungsparameter der Perkolation $SG1_{Grenz,S}$ im Modell SLOWCOMP in ArcEGMO, der dem mittleren Aufteilungsparameter $SG1_{Grenz}$ aus den DIFGA-Analysen einen Jahregang aufprägt
- die Parameter Makroporentiefe M_T , Makroporenanteil M_O an der Bodenoberkante und an der Bodenunterkante M_U , um die Makroporosität beschreiben
- der minimale und maximale kc-Faktor (kc_{mn} und kc_{mx}) der Gras-Referenzverdunstung, welcher der Modellierung des Jahregangs der realen Verdunstung diene

Entsprechend der in Kapitel 4.3.1 beschriebenen zweistufigen Kalibrierungsstrategie erfolgte im ersten Schritt die Optimierung des kc-Faktors und der Makroporosität. Vergleichsgrößen zur Berechnung der Zielfunktionen waren die Verdunstung und der Zufluss zum Grundwasser, die im SVAT-System maßgeblich die Wasserhaushaltsbilanz bestimmen. Sie lagen als belastbare Referenzdaten aus Säule A vor. Die mittlere jährliche Verdunstung stellt eine quasi beobachtete Größe dar, denn sie wird als Restglied des gemessenen Niederschlags minus dem gemessenen Gesamtabfluss eines Einzugsgebietes mit DIFGA errechnet (SCHWARZE et al. 2016). Bedingt durch die Auswertung sehr langer Durchflussmessreihen konnte in den DIFGA-Gebieten der Anteil des Grundwasserabflusses anhand ausgeprägter Trockenjahre sehr gut berechnet werden.

Im zweiten Schritt schloss sich die Optimierung der lateralen Prozesse mithilfe des Aufteilungsparameters der Perkolation, der den Grundwasserzufluss in eine schnelle und langsame Komponente (RG1 und RG2) zerlegt (SCHWARZE et al. 2016), an. Diese Aufteilung ist nicht mehr bilanzrelevant, weil die Gesamtperkolation $RG=RG1+RG2$ bereits bei der Kalibrierung des SVAT-Systems optimiert wurde. Der Aufteilungsparameter wird so kalibriert, dass der im Gebiet gebildete Abfluss am Gebietsauslass möglichst gut mit dem gemessenen Gesamtabfluss übereinstimmt. Als Vergleichsgröße wurde der schnelle Grundwasserabfluss QG1 verwendet.

Er weist typische jahreszeitliche Schwankungen auf, deren Berücksichtigung für eine gute Anpassung relevant ist. Der charakteristische Jahresgang wird aufgrund der kleineren Speicherkonstanten CG1 des schnellen Grundwasserspeichers gegenüber dem langsamen Speicher gut abgebildet.

Alle Berechnungen erfolgten im Tagesschritt. Für beide Kalibrierungsstufen stand Anpassung an aktuelle Monatssummen im Mittelpunkt, weil die Kalibrierung nicht auf eine optimale Abbildung von Hochwasserereignissen ausgerichtet war. Schwerpunkt der KliWES-Säule B stellte die Berechnung des Wasserhaushalts dar. Die Verwendung von Monatswerten war deswegen ausreichend. Der ausgeprägte Jahresgang der Wasserhaushaltsgrößen kann auf diese Weise dennoch ausreichend abgebildet werden. Für eine Hochwassermodellierung hätten höher aufgelöste Wellenablaufmodelle und ein kürzerer Rechenzeitschritt verwendet werden müssen, was sachsenweit in KliWES nicht zu realisieren war. Weiterführende Darstellungen zur Kalibrierungsstrategie enthält (SCHWARZE et al. 2014a).

Aus numerischer Sicht wird das Auffinden des Optimums durch das Wegfallen von kurzzeitigen Schwankungen der Tageswerte erleichtert.

4.3.3 Die Formulierung der Zielfunktionen

Als Kalibrierungszeitraum dient die Periode von 1992 bis 2001. Für diesen Zeitraum lagen für alle DIFGA-Gebiete Durchflussreihen und Wasserhaushaltsanalysen vor. Die Jahre 1990 und 1991 dienten dem Modell als Einschwingphase. Während der Simulationszeitschritt für Wasserhaushaltsberechnungen die Tages-schrittweite ist, erfolgt die Berechnung der Zielfunktionen auf der monatlichen Zeitskala, auf der auch die Wasserhaushaltsgrößen der DIFGA-Analysen vorliegen.

Um die Anpassung der Modellergebnisse an die DIFGA-Ergebnisse hinsichtlich der Wiedergabe der Dynamik und der Volumentreue zu bewerten, kamen zwei Gütemaße zur Anwendung. Der relative absolute Fehler r_{AE} nach Gleichung 5

$$r_{AE}(Z^b, Z^s) = \frac{\sum_{i=1}^n |z_i^b - z_i^s|}{\sum_{i=1}^n |z_i^b - \bar{z}^b|} \quad (5)$$

bewertet die Güte der wiedergegebenen Dynamik der modellierten Wasserhaushaltsgröße. z_i^b steht hierbei für die jeweilige beobachtete Vergleichsgröße zum Zeitpunkt i , z_i^s für die entsprechende simulierte Modellausgabe zum Zeitpunkt i und \bar{z}^b ist der Mittelwert der Beobachtungswerte über den betrachteten Zeitraum. Das Optimum liegt bei $r_{AE}=0$, der theoretische Wertebereich von r_{AE} ist $[0, \dots, \infty]$, bei $r_{AE} = 1$ ist die Modellausgabe lediglich ein so guter Schätzer der Systemausgabe wie der Mittelwert der Beobachtungsdaten. Der in Gleichung 6 aufgeführte prozentuale Volumenfehler p_{bias}

$$p_{bias}(Z^b, Z^s) = \frac{\sum_i (z_i^b - z_i^s)}{\sum_i z_i^b} * 100\% \quad (6)$$

bewertet die systematische Über- und Unterschätzung zwischen beobachteten und simulierten Werten. Damit wird die Volumentreue überprüft, die vor allem mit Blick auf die Berechnung von Klimaprojektionen bis 2100 eine entscheidende Rolle spielt. Ein optimales Ergebnis liegt für einen Wert von $p_{bias}=0\%$ vor, der theoretische Wertebereich reicht von $[-\infty, \infty]$. Relative Abweichungen von unter 1% zwischen beobachteten und simulierten Wasservolumina sprechen für ein sehr gut angepasstes Modell. Unter Berücksichtigung der zweistufigen Kalibrierungsstrategie (Kapitel 4.3.1) ergaben sich für die einzelnen Stufen unterschiedliche Formulierungen.

Innerhalb der Stufe 1 der zweistufigen Kalibrierungsstrategie stützte sich die multikriterielle Optimierung des Wasserhaushaltsmodells auf die Minimierung von zwei Zielfunktionen. Zielfunktion F1 (Gleichung 7) minimiert die Abweichungen in der Fülle über den Simulationszeitraum für die Verdunstung

$$\min F1 = \min[\text{abs}(p_{\text{bias}}(\text{ETR}^b, \text{ETR}^s))]. \quad (7)$$

Zielfunktion F2 forderte nach Gleichung 8, analog zu F1, die Minimierung der Abweichungen in der Fülle der modellierten Perkolaton

$$\min F2 = \min[\text{abs}(p_{\text{bias}}(\text{RG}^b, \text{RG}^s))]. \quad (8)$$

Die ausschließliche Betrachtung des p_{Bias} als Gütekriterium rechtfertigt sich durch die vorrangige Bilanzbetrachtung auf monatlicher Zeitskala. Um die Komplexität der Optimierung gering zu halten, konnte somit auf die zusätzliche Betrachtung des relativen absoluten Fehlers r_{AE} verzichtet werden.

In der Kalibrierungsstufe 2 minimierte die Zielfunktion F3 entsprechend Gleichung 9 den relativen absoluten Fehler r_{AE} des schnellen Grundwasserabflusses QG1, um so gleichzeitig eine hohe Abbildungsgüte der modellierten Dynamik des Abflusses Q zu erreichen (Kapitel 4.3.1)

$$\min F3 = \min[\text{abs}(r_{\text{AE}}(\text{QG1}^b, \text{QG1}^s))] \quad (9)$$

Um außerdem eine möglichst gute Anpassung der Monatssummen von QG1 zu erzielen, wurde mit der Zielfunktion F4 (Gleichung 10) der p_{Bias} minimiert

$$\min F4 = \min[\text{abs}(p_{\text{bias}}(\text{QG1}^b, \text{QG1}^s))]. \quad (10)$$

Dies bedeutete gleichzeitig auch eine gute Anpassung der Monatssummen des Gesamtabflusses Q.

Durch die Betrachtung des Absolutwertes des p_{Bias} liegen die Optima von F1, F2 und F4 bei 0, bei einem Wertebereich von $[0, \dots, \infty]$.

Eine Übersicht zum Ablauf der Optimierung enthält Abbildung 15.

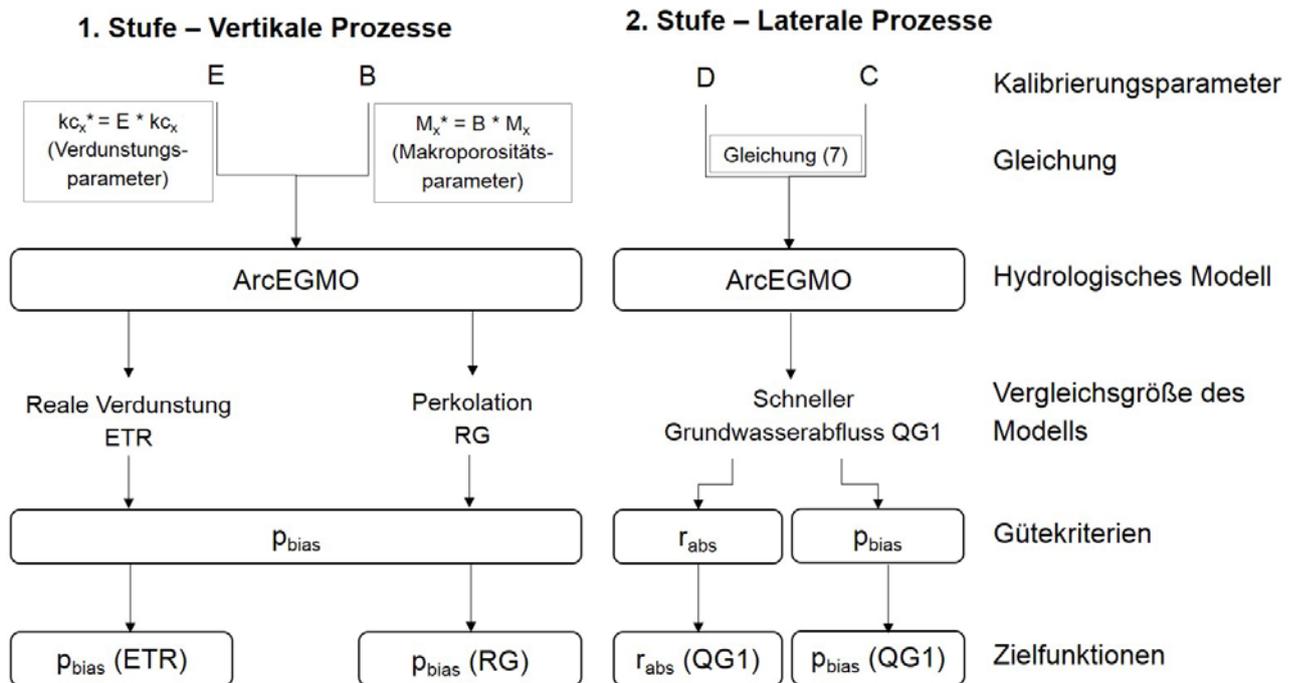


Abbildung 15: Struktogramm zum Ablauf der Optimierung

4.3.4 Die Formulierung der Entscheidungsvariablen

Die Optimierung der in Kapitel 4.3.2 genannten zu kalibrierenden Modellparameter erfolgte nicht direkt. Stattdessen wurden diese mathematisch mit vier Korrekturfaktoren C, D, B und E als Korrekturfaktoren und Entscheidungsvariablen der Optimierung mit den Modellparametern verknüpft. Durch die nachfolgend eingeführten Formulierungen konnte die Anzahl der Modellparameter von sechs auf vier reduziert werden. Die reduzierte Komplexität der Optimierung ermöglicht eine schnellere Konvergenz der Pareto-Front und mündet somit in deutlich geringere Rechenzeiten.

Die beiden Korrekturfaktoren C und D modifizierten den Aufteilungsparameter der Perkolation, E die Verdunstungskorrektur und B die Makroporosität. Die Bezeichnungen lehnen sich für E an die Evapotranspiration und für B an den Bypass (Makroporosität in ArcEGMO) an.

Entscheidungsvariablen der ersten Kalibrierungsstufe

Eine grobe Abschätzung der Startwerte für die drei Makroporositätsparameter erfolgte mithilfe eines von PFÜTZNER et al. (2007) empfohlenen Verfahrens, welches auf bodenkundlichen Kennwerten basiert. Die Werte der nach unten konvergierenden Makroporen werden durch dieses Verfahren im Allgemeinen deutlich überschätzt.

Für die Optimierung wurden daher alle drei Parameter mit dem Korrekturfaktor B multipliziert. Die jeweils veränderten Parameter ergaben sich für alle Böden und alle Horizonte eines Modellgebietes mittels der Gleichungen $M_T^* = M_T \cdot B$, $M_O^* = M_O \cdot B$ und $M_U^* = M_U \cdot B$. B bewegt sich hierbei im Wertebereich $[0,05, \dots, 1]$. Die sich kegelförmig verjüngenden Makroporen bleiben durch dieses Vorgehen erhalten. Die beiden Parameter, minimale und maximale Verdunstungskorrektur, beschreiben in ArcEGMO den Jahresgang der Verdunstung. Die Verknüpfungen $kc_{mn}^* = kc_{mn} \cdot E$ und $kc_{mx}^* = kc_{mx} \cdot E$ der beiden kc-Faktoren mit dem Korrekturfaktor E ermöglichen eine gekoppelte Kalibrierung, bei der die Verdunstung, bei gleichzeitiger Beibehaltung der Spannweite des Intervalls, erhöht oder verringert wird. Das Wertebereich von E ist $[0,5, \dots, 1,5]$.

Entscheidungsvariablen der zweiten Kalibrierungsstufe

Die beiden Korrekturfaktoren C und D, als Entscheidungsvariablen der zweiten Kalibrierungsstufe, stehen im Zusammenhang mit dem Aufteilungsparameter der Perkolation. Die in Gleichung 11 gezeigte Sinusfunktion ermöglichte die Modellierung der starken jahreszeitlichen Schwankungen des Parameters $SG1_{Grenz}$, der die Aufteilung der Perkolation aus der Bodenzone in eine schnelle und eine langsame Grundwasserabflusskomponente maßgeblich steuert. Die Variation der Amplitude der Sinusfunktion erfolgt mithilfe von C. Eine zusätzlich eingeführte Entscheidungsvariable D ermöglicht es, den zuvor festgesetzten Wert von $SG1_{Grenz}$ zu variieren, wenn durch die Aufprägung eines Jahresgangs alleine keine optimale Anpassung zu erreichen war.

$$SG1_{Grenz,S}(doy, C, D, SG1_{Grenz}) = SG1_{Grenz} \left[\sin\left(\frac{(doy-15)\pi}{182,5}\right) C + D \right]. \quad (11)$$

Der Faktor D erhöht oder verringert den Mittelwert der resultierenden periodischen Funktion. Das festgesetzte Wertintervall von D ist $[0,3, \dots, 1,3]$. doy bezeichnet die Tagesnummer eines Jahres.

Um eine Anpassung der Amplitude zuzulassen und das vorgegebene Wertintervall von $SG1_{Grenz}$ weiterhin einzuhalten, ist eine Modifikation von C zu C^* (Gleichung 12) mittels des Korrekturfaktors C erforderlich.

$$C^* = C * (D - c_{min} - \alpha) + c_{min}, \quad 0 \leq C^* \leq D - \alpha. \quad (12)$$

Um mit der Sinusfunktion ausschließlich positive Werte zu erzeugen, muss $D > C$ sein. Durch das Einführen von $\alpha=0,05$ wurde dies abgesichert. Der untere Grenzwert von C ist $c_{min}=0$, weil für die Aufprägung eines Jahresgangs für $SG1_{Grenz}$ keine negativen Werte der Sinusfunktion zulässig sind. Mit $C=0$ ergibt sich keine jahreszeitliche Schwankung, d. h. der Aufteilungsparameter ist konstant. Ist $C=D$, ist die jahreszeitliche Schwankung maximal ausgeprägt (SCHWARZE et al. 2014a).

4.4 Ergebnisse

Für die 148 multikriteriell kalibrierten Modelle seien beispielhaft Ergebnisse des DIFGA-Gebietes Burkersdorf, das sich in mittleren Lagen des Erzgebirges befindet, dargestellt. Anhand von Pareto-Fronten und Ganglinienvergleichen wird die erreichte Anpassung zwischen simulierten und beobachteten Daten veranschaulicht. Daran schließt sich die Validierung von Wasserhaushaltsbilanzen aus Säule A gegenüber Säule B an. Abschließend erfolgt exemplarisch die Darstellung des regionalen Wasserhaushalts für verschiedene Komponenten für ganz Sachsen und für ausgewählte Einzugsgebiete.

4.4.1 Ergebnisse der multikriteriellen Optimierung

Die durchgeführten Modellevaluationen für die erste und zweite Kalibrierungsstufe betragen 4.200 bzw. 2.240 Läufe (150 bzw. 80 Generationen bei einer Populationsgröße von 28). Die beiden erzielten Pareto-Fronten der ersten und der zweiten Kalibrierungsstufe für das Einzugsgebiet des Pegels Burkersdorf sind in Abbildung 16a (erste Stufe) und Abbildung 17a (zweite Stufe) dargestellt.

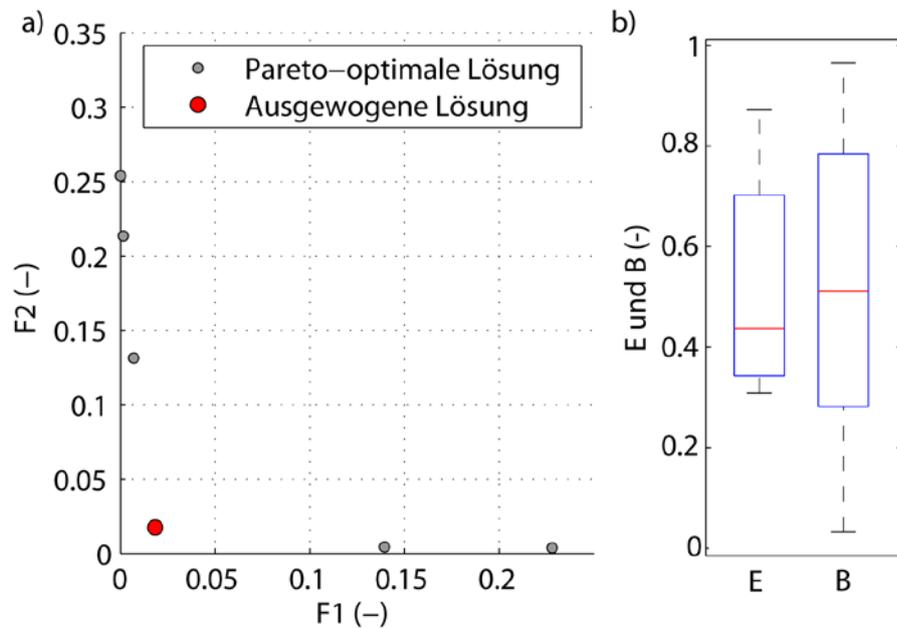


Abbildung 16: Pareto-optimale Front mit Zielfunktion F1 und F2 sowie dem Wertebereich der Entscheidungsvariablen E und B der ersten Kalibrierungsstufe am Beispiel des DIFGA-Gebietes Burkersdorf

Die Pareto-Front der ersten Kalibrierungsstufe zeigt eine spitz zulaufende Front. Die zur Kalibrierung des Modells aus der Front gewählte ausgewogene Lösung besitzt mit Zielfunktionswerten von 1,84 % für F1 und 1,76 % für F2 nur einen geringen Konflikt zwischen der Abbildung von ETR und RG. Die Spannweite der Zielfunktionswerte beträgt jeweils rund 25 %. Die Pareto-Front der zweiten Kalibrierungsstufe weist einen kleineren Wertebereich des p_{bias} (F4) als die erste Kalibrierungsstufe auf. Für den relativen absoluten Fehler r_{AE} (F3) ist ebenfalls ein kleiner Wertebereich festzustellen. Die ausgewogene Lösung erzielt Zielfunktionswerte von 0,606 für F3 und 0,53 % für F4.

Im Rahmen der zweistufigen Kalibrierungsstrategie ist daher insgesamt von einer sehr guten Modellanpassung auszugehen.

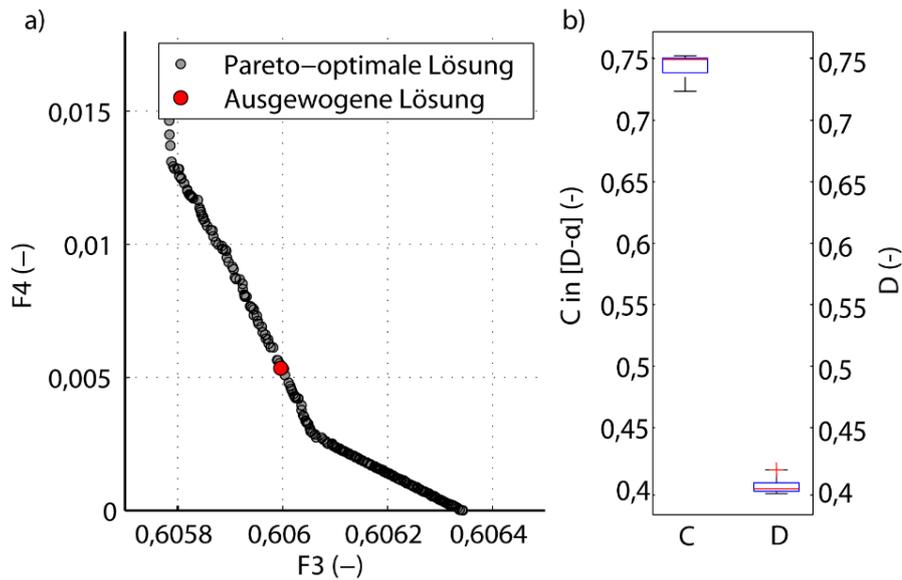


Abbildung 17: Pareto-optimale Front und Wertebereich der Entscheidungsvariablen C und D der zweiten Kalibrierungsstufe am Beispiel des DIFGA-Gebietes Burkersdorf

In Abbildung 16a und Abbildung 17a sind die Entscheidungsvariablen für beide Kalibrierungsstufen mittels Boxplots zusammengefasst. Die relativ große Spannweite des Zielfunktionsbereichs spiegelt sich auch in der Spannweite der Entscheidungsvariablen E und B wider. Der ausgewählte Parametersatz liegt mit 0,31 für E und 0,033 für B am unteren Ende des jeweiligen Wertebereichs. Die Entscheidungsvariablen C und D konzentrieren sich für alle 244 Lösungen auf einen geringen Wertebereich. Die ausgewählten Parameterwerte sind 0,745 für C und 0,403 für D.

Anhand der Charakteristik des Einzugsgebietes Burkersdorf lassen sich die erzielten Parameter interpretieren. Die Verdunstung wird durch den Korrekturfaktor E deutlich reduziert. Dies begründet sich durch die mittlere Lage des Einzugsgebietes im Erzgebirge auf 660 m ü. NHN. Auch die drei Makroporositätsparameter werden durch den Korrekturfaktor B reduziert, was aufgrund der überschätzten Startwerte für diese Parameter zu erwarten war (s. Kapitel 4.3.4).

Der Abfluss weist aufgrund der Erzgebirgslage einen deutlichen Jahresgang auf, was sich in Form eines hohen Wertes für C manifestiert.

4.4.2 Validierung von Modellergebnissen am Beispiel Burkersdorf

Abbildung 18 zeigt die gemessenen Monatssummen des Gebietsniederschlags (Eingangsgröße von DIFGA) und die in ArcEGMO verwendeten Niederschlagssummen für den Zeitraum 1983–1989 des Einzugsgebietes Burkersdorf. Weil sich die Eingangsdaten des Niederschlags im Laufe des Projekts durch die Weiterentwicklung des Regionalisierungsansatzes und die Berücksichtigung von Nebelniederschlägen (SCHWARZE et al. 2016) leicht verändert haben, wird der verwendete Niederschlag aus Säule A dem aus Säule B gegenübergestellt. Die monatlichen Verdunstungssummen weisen den typischen Jahresgang auf und sind in Verlauf und Volumen vergleichbar. Das Modell weist für die Verdunstung eine gute Anpassung an die quasi beobachteten Werte auf.

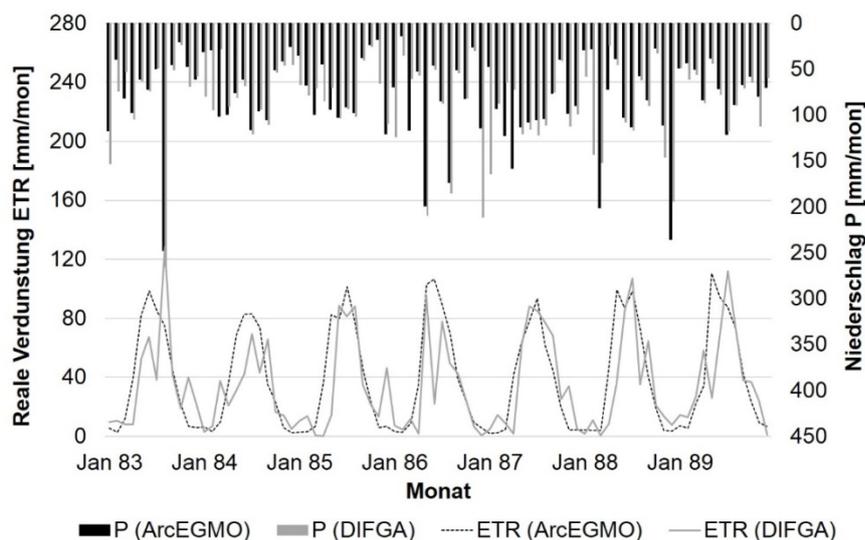


Abbildung 18: Vergleich der Monatssummen (1983–1989) von ArcEGMO und DIFGA für den Gebietsniederschlag P und die Verdunstung ETR des Einzugsgebietes Burkersdorf

Ähnlich verhält es sich für Perkolations- und Durchflusswerte. Abbildung 19 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt der Ganglinien für den gemessenen Durchfluss Q und die mit DIFGA bestimmte Perkolationsrate RG gegenüber den mit ArcEGMO simulierten Werten von Q und RG für das Einzugsgebiet Burkersdorf im Zeitraum 1983 bis 1989. Der Vergleich der RG -Werte von ArcEGMO und DIFGA zeigt eine gute Anpassung hinsichtlich Dynamik und Volumen.

In Abbildung 19a ist die Vergleichsgröße RG , die Bestandteil der ersten Kalibrierungsstufe war, ausschnittsweise dargestellt. Der Ganglinienverlauf der Perkolationsrate RG aus DIFGA bzw. ArcEGMO (linke Abbildung) ist weitestgehend gut getroffen. Der beobachtete und der simulierte Gesamtabfluss Q (Abbildung 19b) als Ausgabegröße der zweiten Stufe weichen nur geringfügig voneinander ab, was sich mit den Aussagen aus Kapitel 4.4.1 deckt.

Zwischen dem Verlauf von RG und Q bestehen nur geringe Unterschiede. Dies weist darauf hin, dass sich Q vor allem aus dem Grundwasserabfluss speist und sich nur zu einem kleinen Anteil aus oberflächennahem Abfluss generiert.

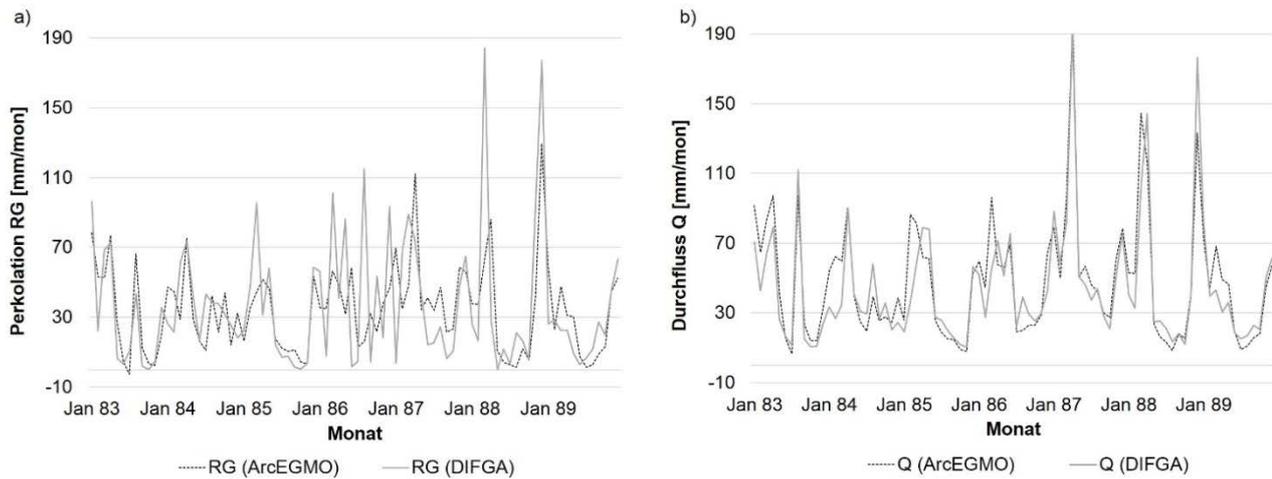


Abbildung 19: Vergleich der simulierten mit den beobachteten Zeitreihen (1983–1989) für Monatssummen der Perkolation RG (links) und des Durchflusses Q (rechts) für das Einzugsgebiet Burkersdorf

4.4.3 Validierung von langjährigen Wasserhaushaltsbilanzen

Die Validierung der Modelle für den Zeitraum 1963–1991 nutzte DIFGA-Ergebnisse aus Säule A. Für die Validierung der Ergebnisse aus den 242 ArcEGMO-Modellen wurden gemessene Gesamtabflüsse wie auch mittlere Wasserhaushaltsergebnisse verwendet. Zunächst wurden die Wasserhaushaltsbilanzen aus Säule A mit den ArcEGMO-Ergebnissen der 114 DIFGA-Gebiete verglichen. Der Vergleich basierte auf mittleren Jahressummen. Nachfolgend erfolgt eine auszugsweise Darstellung der durchgeführten Validierung.

Um Ergebnisse aus Säule B anhand von Ergebnissen der Säule A validieren zu können, muss zunächst geprüft werden, ob die gemeinsam genutzte Eingangsgröße Niederschlag übereinstimmt. An und für sich handelt es sich bei den Niederschlägen P um Beobachtungswerte einzelner Messpunkte. Diese unterliegen jedoch vor ihrer Verwendung in Modellen diversen Korrekturen (Bereinigung Messfehler, Lückenschließung, Berücksichtigung Nebel etc.) und werden mit verschiedenen Verfahren (Regionalisierung bzw. Interpolation) zu Gebietsniederschlägen umgerechnet. Deshalb werden die verwendeten Niederschläge aus DIFGA mit P_{DIFGA} und die aus ArcEGMO mit P_{SIM} bezeichnet. Wie in Kapitel 4.4.2 erwähnt, änderten sich im Verlaufe der Projektbearbeitung die Eingangsdaten des Niederschlages bedingt durch eine zeitgleich stattfindende Entwicklung der Korrektur- und Regionalisierungsverfahren leicht, weswegen zunächst der Niederschlag aus Säule A mit dem aus Säule B verglichen wird. Die Absolutwerte des Niederschlages weisen im Validierungszeitraum 1963–1991 für 95 % der DIFGA-Gebiete eine Abweichung von < 10 % zwischen den für die DIFGA-Analyse und den für die Wasserhaushaltsmodellierung von ArcEGMO verwendeten Niederschlagswerten auf.

Der beobachtete Abfluss R ist eine wichtige Größe für die Validierung. Auch R muss vor der Verwendung korrigiert werden. Das erfolgte im Rahmen der Konsistenz- und Homogenitätsprüfung und betrifft z. B. die Schließung von Lücken, die Bereinigung offensichtlicher Datenfehler und die Reihenverlängerung. Der so bearbeitete Abfluss wird in der Validierung als R_{DIFGA} bezeichnet.

Weil die Absolutwerte des für DIFGA verwendeten Niederschlages nicht vollständig mit denen für die Wasserhaushaltsberechnungen übereinstimmen, erfolgt die Gegenüberstellung von errechneten und beobachteten Wasserhaushaltsergebnissen für die jeweiligen prozentualen Anteile vom Niederschlag. Die Abweichung der simulierten Werte, angegeben als prozentualer Anteil der realen Verdunstung ETR bzw. des Gesamtabflusses R vom Niederschlag P, von den DIFGA-Ergebnissen ist in Abbildung 20 zu sehen. Im Validierungszeitraum weisen 86 % der Einzugsgebiete eine Abweichung von unter 10 % für die Verdunstung und 81 % der Ein-

zugsgebiete eine Abweichung von unter 15 % für den Gesamtabfluss auf. Hierbei liegen die simulierten Verdunstungswerte tendenziell eher unterhalb der DIFGA-Vergleichswerte. Im Gegenzug werden die simulierten Abflüsse gegenüber den DIFGA-Ergebnissen leicht überschätzt.

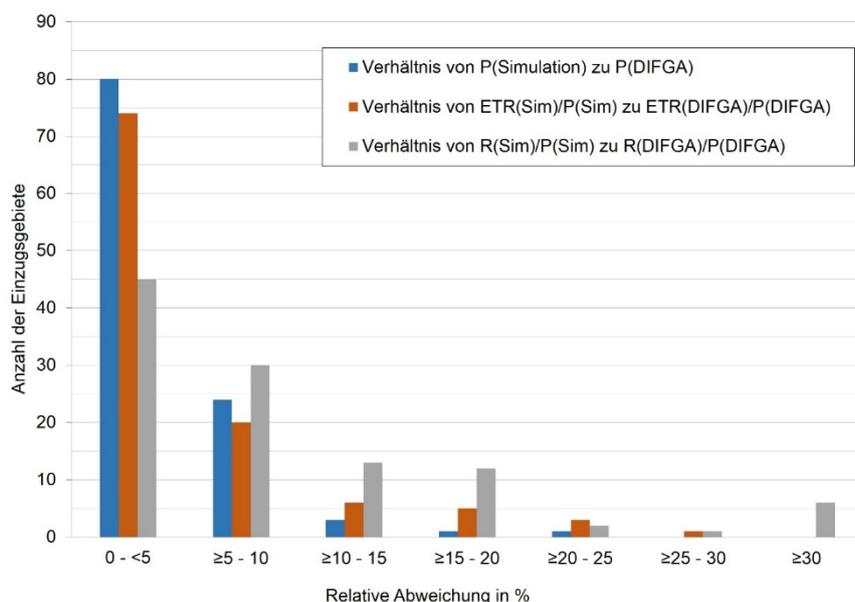


Abbildung 20: Abweichungen der simulierten Wasserhaushaltsgrößen von den DIFGA-Ergebnissen als prozentualer Anteil vom Niederschlag

Die Prüfung der Anpassungsgüte für die übrigen Einzugsgebiete hinsichtlich Verdunstung ETR und Abfluss R kann nur im Sinne einer Plausibilisierung erfolgen, denn die zum Vergleich verwendeten Wasserhaushaltsergebnisse aus Säule A beruhen auf einem Regionalisierungsverfahren. Auch die Parametrisierung aller unbeobachteten Einzugsgebiete basiert auf einer Regionalisierung. Abweichungen sind daher zu erwarten. Der Vergleich beruht ebenfalls auf den prozentualen Anteilen der beiden Wasserhaushaltskomponenten am Niederschlag. Es ergeben sich relative Abweichungen von < 10 % für die Verdunstung in 60 % der Einzugsgebiete. Bezüglich des Gesamtabflusses treten in 43 % der Einzugsgebiete Abweichungen von < 15 % auf.

4.4.4 Regionaler Wasserhaushalt am Beispiel der Realisierung 99 WETTREG2010 A1B

Als Simulationsergebnisse des Istzustandes sowie der Klima- und Landnutzungsszenarien liegen monatliche Werte von 1961 bis 2100 auf Teileinzugsgebietsebene für folgende Wasserhaushaltsgrößen vor:

- Reale Verdunstung ETR
- Schnelle Abflusskomponente RS (fasst Landoberflächenabfluss, Drainageabfluss, hypodermischen Abfluss und die Abflüsse aus der Kanalisation zusammen)
- schnelle Grundwasserkomponente RG1
- langsame Grundwasserkomponente RG2
- Grundwasserkomponente RG (Summe aus der schnellen und langsamen Grundwasserkomponente)
- Gesamtabfluss R (Summe aus den Grundwasserkomponenten und der schnellen Abflusskomponente)

Die Ergebnisse umfassen die Analyse des Istzustandes und 13 verschiedene Klimarealisierungen. Die Aufteilung der einzelnen Größen entspricht der Modellkonzeption von DIFGA (SCHWARZE et al. 2012). Neben den genannten Wasserhaushaltskomponenten werden für den Istzustand und die Klimarealisierungen die Größen

Direktabfluss QS, schneller Grundwasserabfluss QG1 und langsamer Grundwasserabfluss QG2 für ausgewählte Pegelinzugsgebiete ausgegeben. Der Niederschlag P ist kein Ergebnis, wird aber ebenfalls bereitgestellt. Die räumliche Verteilung wird exemplarisch für drei Komponenten aufgezeigt. Die Kartendarstellung basiert auf Teileinzugsgebieten und zeigt 30-jährige Mittelwerte für Niederschlag P, reale Verdunstung ETR und Gesamtabfluss R für die Zeiträume 1961–1990, 1981–2010, 2021–2050 und 2071–2100. Grundlage ist die Klimarealisierung 99, die in Verbindung mit der Landnutzung des Istzustandes berechnet wurde. Die grauen Flächen in den Karten stellen die als Sonderflächen bezeichneten Braunkohletagebauegebiete und die Überflutungsflächen der Elbe dar.

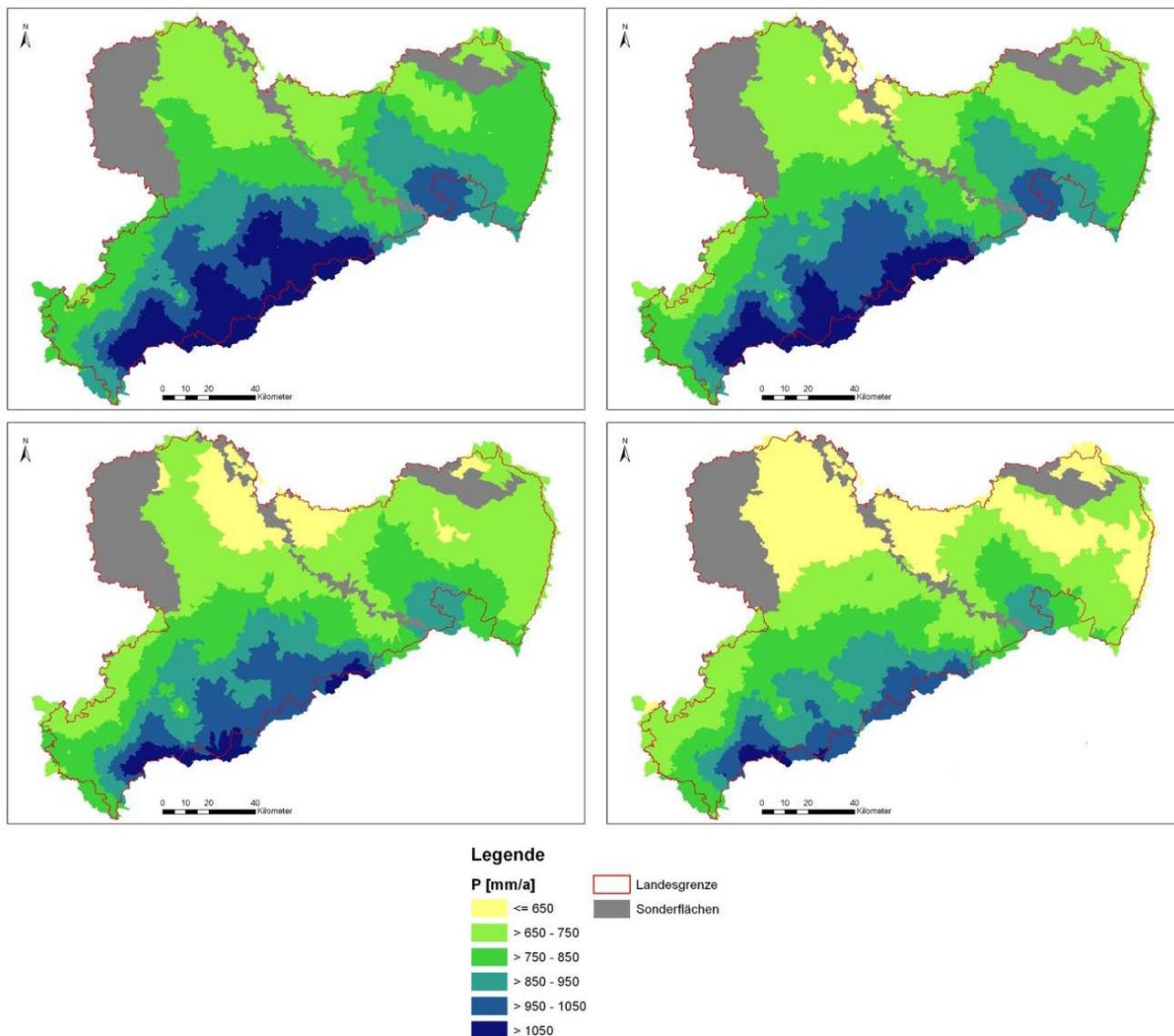


Abbildung 21: Räumliche Verteilung des langjährigen mittleren Niederschlags P (1961–1990, oben links; 1981–2010, oben rechts; 2021–2050, unten links; 2071–2100, unten rechts) für die Realisierung 99 (A1B, WETTREG2010) in Sachsen

In Abbildung 21 sind die langjährigen mittleren Niederschlagssummen der Realisierung 99 für die vier Zeitscheiben dargestellt. Die höchsten Niederschlagsmengen treten entlang des Erzgebirgskamms an der Grenze zu Tschechien auf. Für den Zeitraum 1961–1990 werden maximale Werte von rund 1.200 mm/a erreicht. In Nordsachsen sind die geringsten Niederschlagssummen anzutreffen. Die Werte liegen knapp über 650 mm/a. Für den Zeitraum von 2071–2100 ist eine deutliche Reduktion der Niederschlagsmengen erkennbar. Beson-

ders betroffen sind die Lausitzer Region, der nördliche Bereich von Mittelsachsen und das Leipziger Tiefland. Ein Teil dieser Regionen erreicht unter Annahme der Realisierung 99 gegen Ende des 21. Jahrhunderts im Mittel nur noch 550 mm/a Niederschlag. In den höheren Lagen des Erzgebirges, Vogtlandes und Lausitzer Berglandes gehen die Niederschlagsmengen ebenfalls zurück. Weil entsprechend dieses Klimaszenarios die Werte 850 mm/a Niederschlag übersteigen, sind im Durchschnitt dennoch keine Wassermangelsituationen zu erwarten.

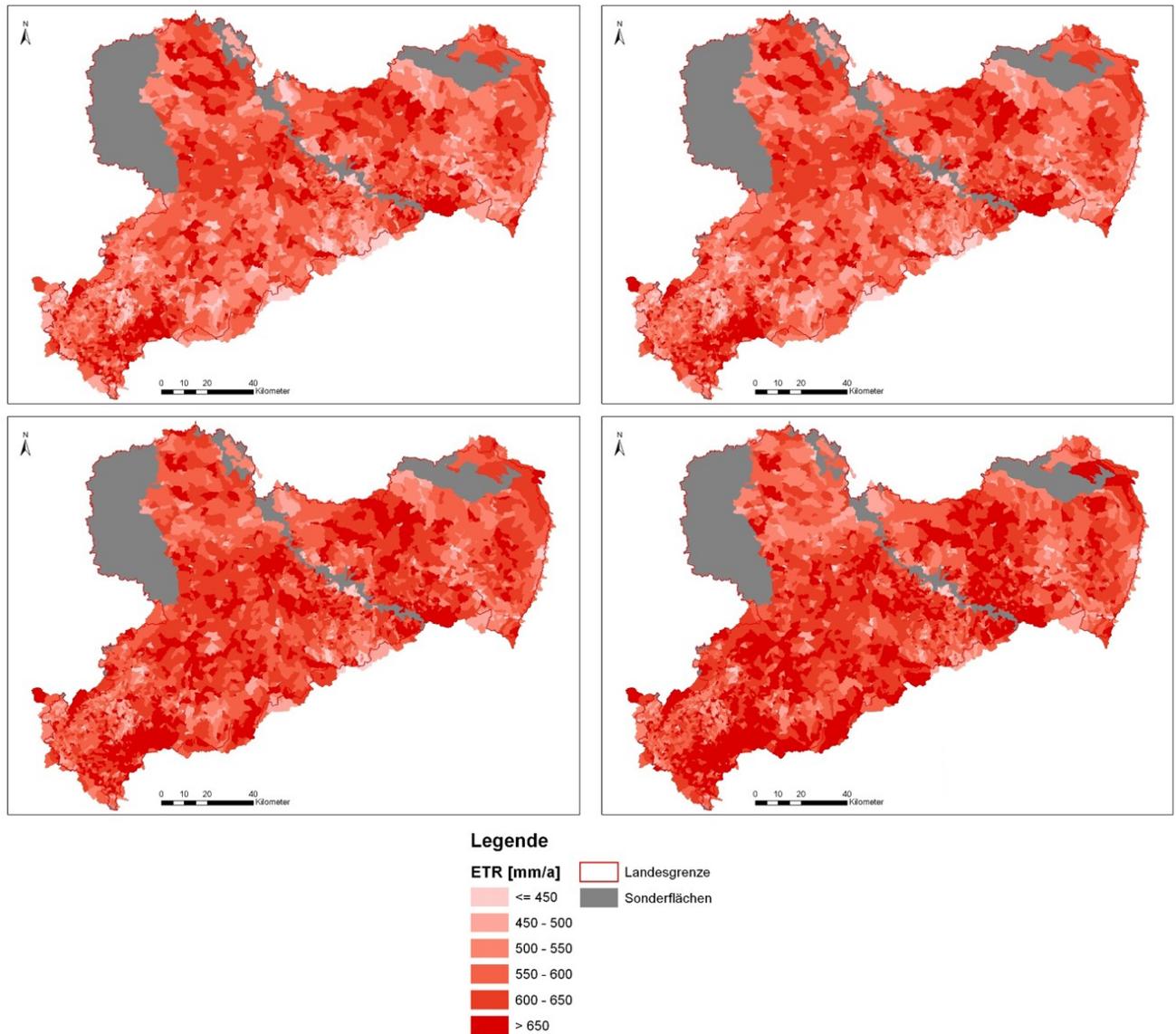


Abbildung 22: Räumliche Verteilung der langjährigen mittleren realen Verdunstung ETR (1961–1990, oben links; 1981–2010, oben rechts; 2021–2050, unten links; 2071–2100, unten rechts) für die Realisierung 99 (A1B, WETTREG2010) in Sachsen

Die räumliche Verteilung der realen Verdunstung ist insgesamt für alle vier 30-jährigen Zeitscheiben sehr heterogen, wie Abbildung 22 zeigt. Ursache ist einerseits der starke Einfluss der wechselnden Landnutzung. Andererseits spielt die topografische Höhe und damit verbunden die mittlere Temperatur eine wichtige Rolle für die Verdunstungsmenge.

In den Abbildungen von links oben nach unten rechts ist mit fortschreitender Zeit eine Zunahme der realen Verdunstung zu erkennen, die das Ergebnis steigender Temperaturen ist. Besonders hohe Zunahmen der Verdunstungsmenge sind für den Erzgebirgsraum und Westsachsen erkennbar. Die mittleren Verdunstungswerte des Zeitraums 2071–2100 steigen durchschnittlich um bis zu 25 % gegenüber dem Zeitraum von 1961–1990. Für diese Gebiete sind auch zukünftig hohe Niederschlagsmengen zu erwarten, sodass ausreichend Wasser für die Verdunstung zur Verfügung steht.

Für Nordsachsen und die Lausitz hingegen sind die abnehmenden Niederschläge der limitierende Faktor. Daher nimmt die Verdunstungsrate zum Ende des 21. Jahrhunderts im Vergleich zur Periode von 1961–1990 im Mittel nur um 9 % zu.

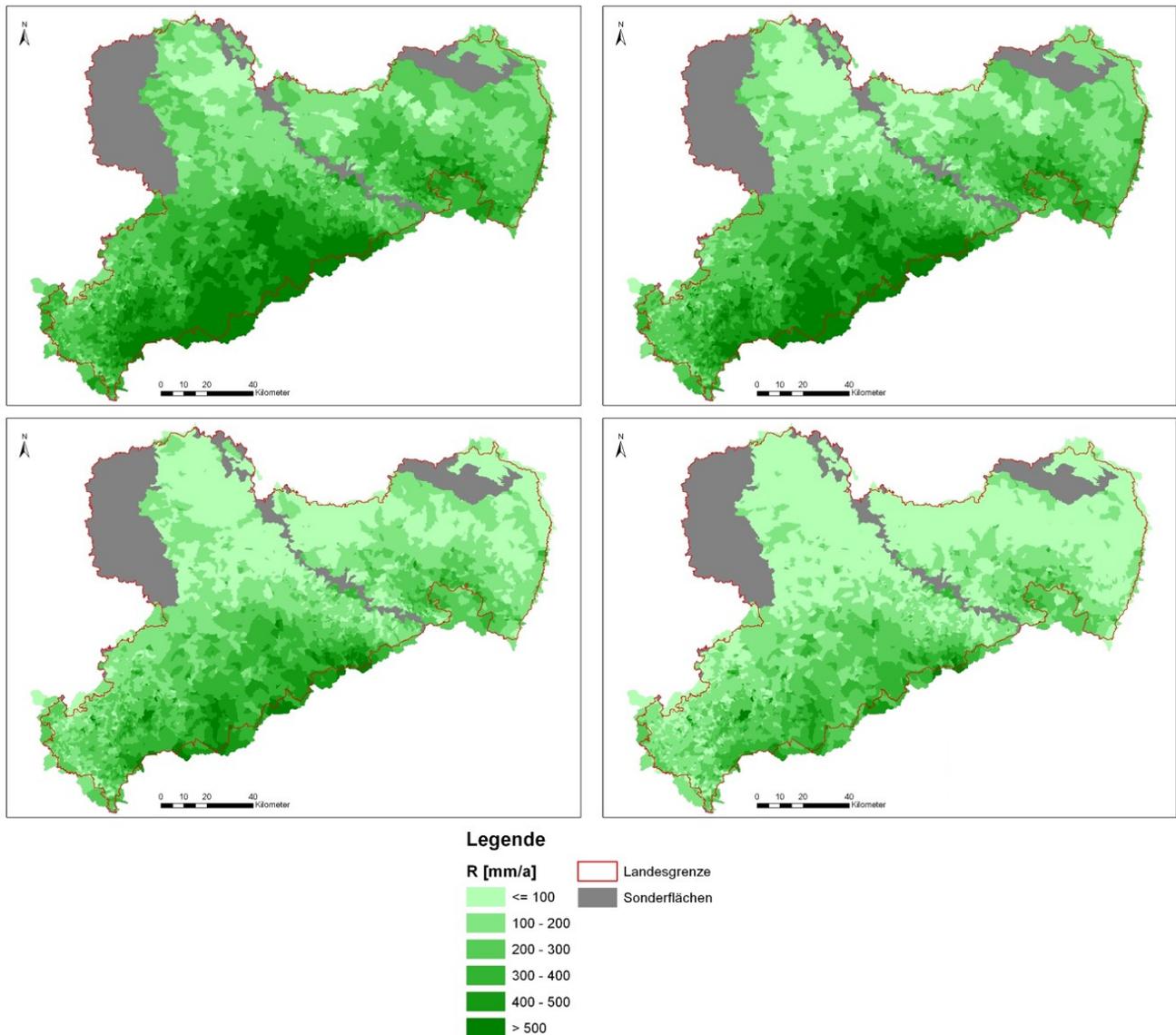


Abbildung 23: Räumliche Verteilung des langjährigen mittleren Abflusses R (1961–1990, oben links; 1981–2010, oben rechts; 2021–2050, unten links; 2071–2100, unten rechts) für die Realisierung 99 (A1B, WETTREG2010) in Sachsen

Die zukünftig zu erwartende Abnahme der Niederschläge und die Zunahme der Verdunstung wirken sich deutlich auf den Abfluss aus, der in seiner räumlichen Verteilung in Abbildung 23 dargestellt ist. Dominieren im Zeitraum 1961–1990 in Sachsen Abflusswerte zwischen 300 mm/a und 400 mm/a, so reduziert sich dieser Wert bis 2100 auf unter 200 mm/a Abfluss für einen Großteil der Fläche. Der Median ergibt eine durchschnittliche Abnahme von 50 % für 2071–2100 gegenüber 1961–1990. Es bestehen allerdings große regionale Unterschiede. Während sich der Gesamtabfluss im Erzgebirge nur um rund 20 % reduziert, zeigen die Simulationsergebnisse für Nordsachsen, das Elbtal und die Lausitz einen Rückgang der Abflüsse um bis zu 75 %.

Neben dem negativen Trend des Abflusses ist auch für die Grundwasserkomponente RG eine deutliche Abnahme zu erwarten. Die räumliche Verteilung der Grundwasserkomponente RG ist in Abbildung 24 zu sehen.

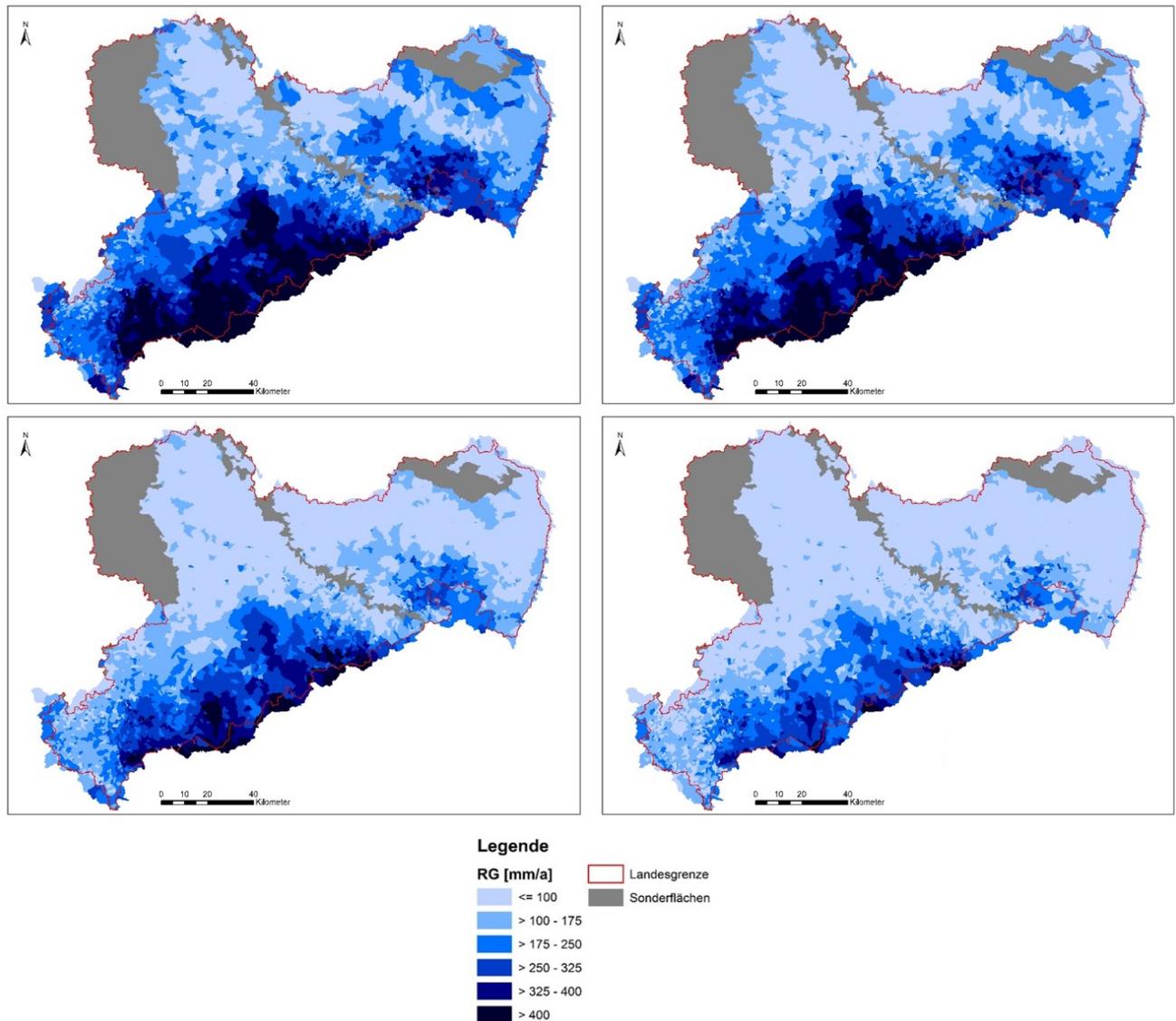


Abbildung 24: Räumliche Verteilung der langjährigen mittleren Grundwasserkomponente RG (1961–1990, oben links; 1981–2010, oben rechts; 2021–2050, unten links; 2071–2100, unten rechts) für die Realisierung 99 (A1B, WETTREG2010) in Sachsen

Rund 11 % der sächsischen Einzugsgebiete weisen schon im Zeitraum von 1961–1990 sehr geringe Zuflüsse zum Grundwasser von unter 100 mm/a auf. Dies trifft vor allem auf einzelne Gebiete im nördlichen Sachsen zu. Das Erzgebirgsvorland, das Erzgebirge und das Lausitzer Bergland verzeichnen hingegen hohe Werte der

Grundwasserkomponente von über 400 mm/a Jahressumme. Schon für den Zeitraum 2021–2050 wird eine deutliche Verringerung für den gesamten Norden und Osten Sachsens projiziert. Dieser Trend setzt sich bis zum Ende des 21. Jahrhunderts fort. Zu diesem Zeitpunkt weisen entsprechend der Realisierung 99 rund 50 % der sächsischen Teileinzugsgebiete Werte von unter 100 mm/a auf. Für die Lockergesteinsgebiete mit sandigen Böden werden teilweise negative Grundwasserneubildungsraten ausgewiesen. Dies bedeutet langfristig das Aufzehren der Grundwasservorräte verbunden mit dem Absinken der Grundwasserstände. Letzteres wird allerdings die Zehrungsprozesse allmählich wieder eindämmen, sodass sich letztlich tiefere, aber wieder relativ stabile Grundwasserstände einstellen werden.

Die zukünftige Entwicklung der einzelnen Größen lässt sich weiterhin mithilfe der absoluten und prozentualen Abweichungen der 30-jährigen Mittelwerte für die Zeiträume 1981–2010, 2021–2050 und 2071–2100 vom Referenzzeitraum 1961–1990 ausdrücken. Dies wird in Abbildung 25 exemplarisch für den Abfluss gezeigt und verdeutlicht noch einmal den möglicherweise zu erwartenden starken Rückgang dieser Wasserhaushaltskomponente.

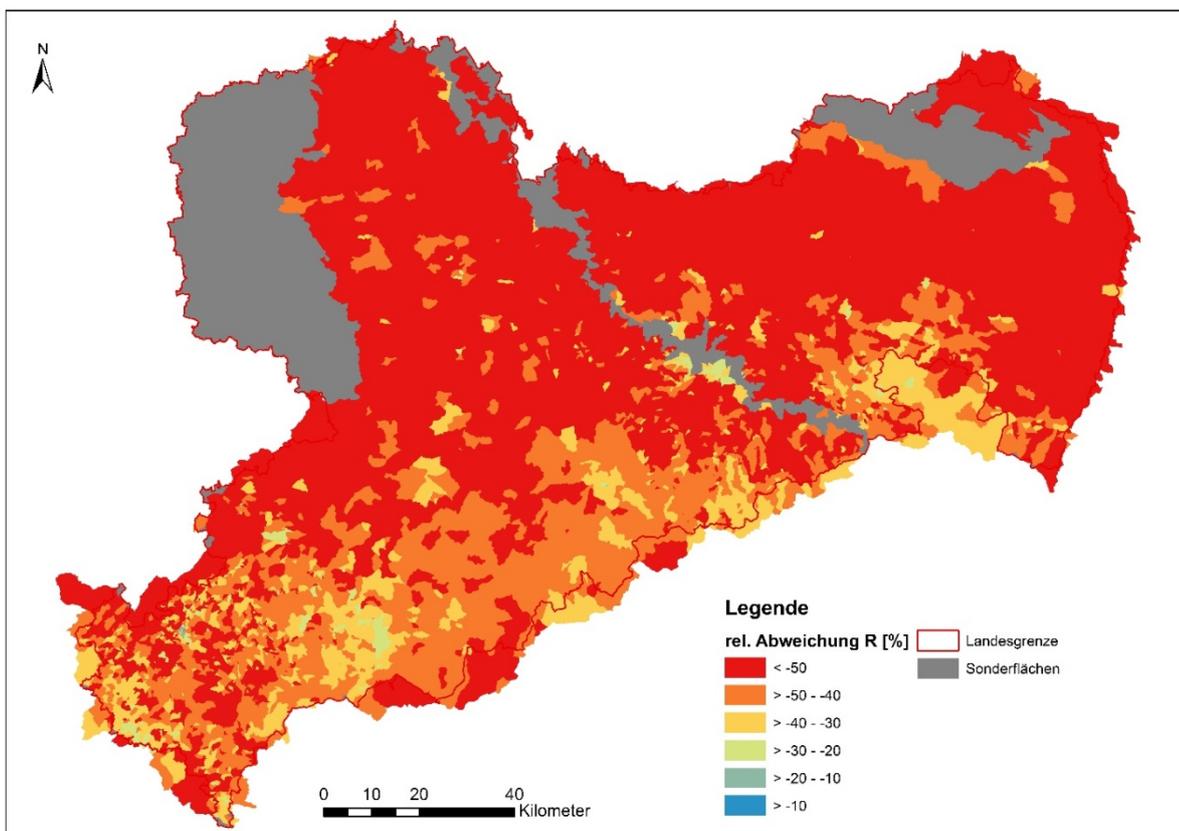


Abbildung 25: Relative Abweichung [%] des mittleren jährlichen Abflusses für 2071–2100 vom Referenzzustand 1961–1990 für die sächsischen Teileinzugsgebiete

Zusätzlich zu den Kartendarstellungen soll die projizierte Entwicklung des Wasserhaushaltes unter der Annahme der verwendeten Klimarealisierungen beispielhaft anhand von vier ausgewählten Einzugsgebieten in Sachsen (Abbildung 26) veranschaulicht werden. Diese befinden sich auf dem Erzgebirgskamm im Festgesteinsbereich (Pegel Markersbach 1), im Lössgebiet der Leipziger Tieflandsbucht (Pegel Thallwitz), in den Lockergesteinsgebieten der Lausitz (Pegel Holtendorf) und der Sächsischen Heidelandschaft (Pegel Königsbrück).

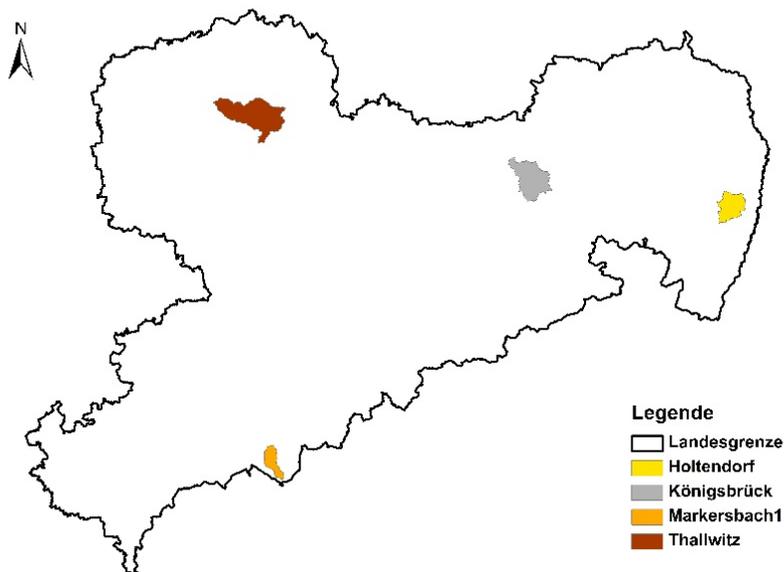


Abbildung 26: Übersichtskarte von Sachsen mit vier ausgewählten Einzugsgebieten, für die beispielhaft Ergebnisse ausgewertet werden

Für diese Gebiete ist in Abbildung 27 jeweils die Entwicklung der Größen Niederschlag, Verdunstung und Abfluss als 11-jährige gleitende Mittel bis zum Jahr 2095 unter Annahme der Realisierung 99 dargestellt. Der Rückgang des Niederschlags und des Abflusses ist deutlich erkennbar. In den vier Gebieten liegt die Abnahme der mittleren jährlichen Niederschlagssumme gegen Ende des 21. Jahrhunderts bei 15 bis 20 % gegenüber der Referenzperiode 1961–1990. Der Rückgang des Abflusses ist hingegen sehr unterschiedlich. Während im Gebiet Markersbach 1 im Erzgebirge die projizierte mittlere jährliche Abflussmenge um 50 % abnimmt, was über dem Durchschnitt im Erzgebirgsraum liegt, ist in den Einzugsgebieten im Flachland eine deutlich stärkere Reduktion der Abflussmengen bis 2100 zu erwarten. Im Falle der mittleren jährlichen Verdunstung zeigt sich eine sehr unterschiedliche Entwicklung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Einerseits weist diese Größe für das Gebiet Thallwitz einen negativen Trend auf, was aus der Limitierung des Wasserdargebots resultiert. Andererseits wird für das Gebiet Markersbach 1 ein sehr starker positiver Trend der mittleren jährlichen Verdunstung projiziert. Bis zum Jahr 2100 wird ausreichend Niederschlag bei steigenden Temperaturen zur Verfügung stehen, was die Zunahme der Verdunstung erklärt. Die beiden Gebiete Holtendorf und Königsbrück liegen mit ihrer Entwicklung dazwischen, was aufgrund der topografischen Lage und den Einzugsgebietseigenschaften plausibel ist.

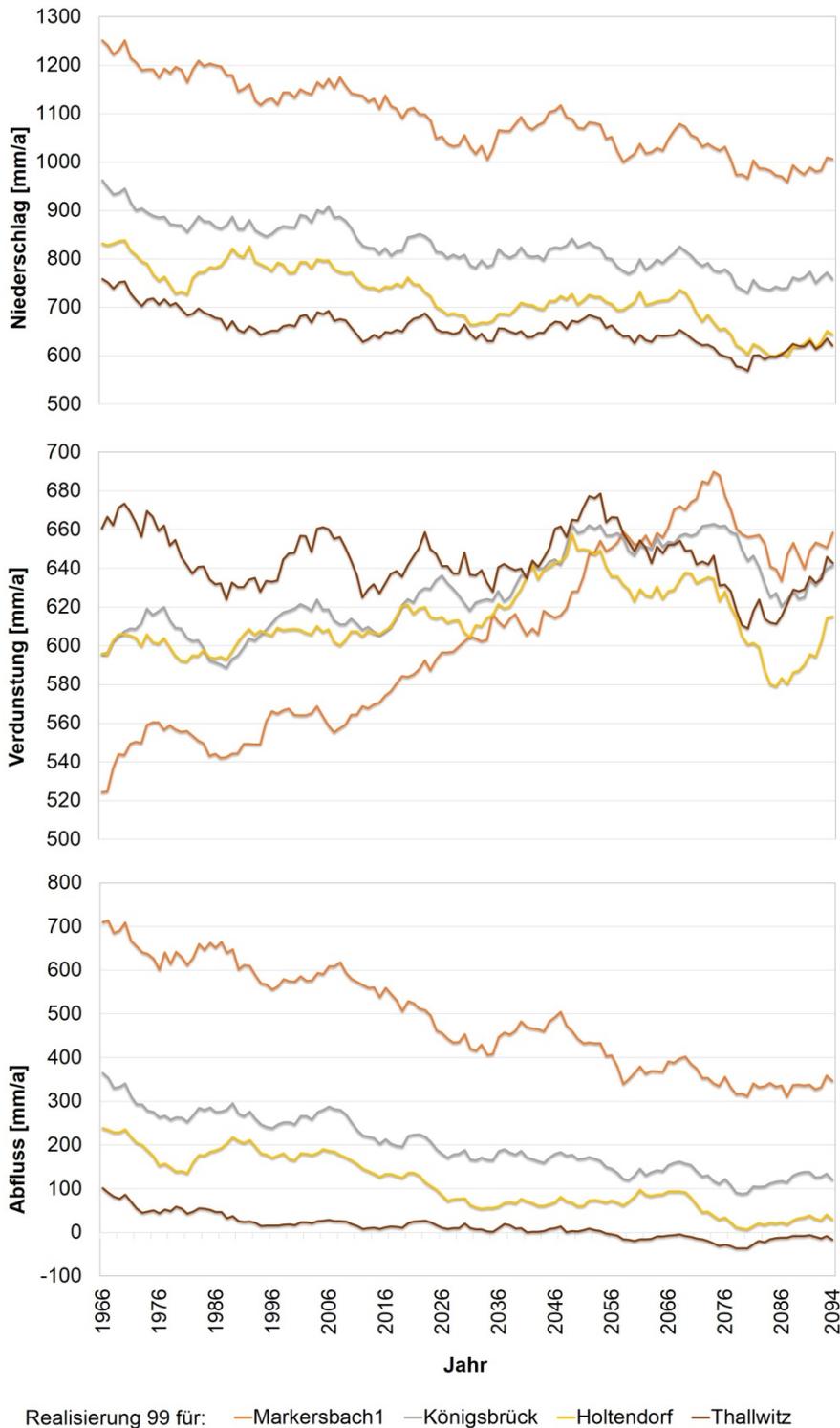


Abbildung 27: Entwicklung der Größen Niederschlag, Verdunstung und Abfluss für die Realisierung 99 im Zeitraum 1966 bis 2095 dargestellt anhand der 11-jährigen gleitenden Mittelwerte für vier ausgewählte sächsische Einzugsgebiete

Für die vier Einzugsgebiete werden zusätzlich die Jahressummen der Grundwasserkomponente RG für die zuvor benannten 30-jährigen Reihen ausgewertet. Verwendet werden die statistischen Kennwerte für Minimum, 25%-Quantil, Median, 75%-Quantil und Maximum. In Tabelle 8 ist zu sehen, dass für das Einzugsgebiet Markersbach 1 als einziges der vier Beispielgebiete auch zukünftig durchgängig positive Werte der Grund-

wasserkomponente zu erwarten sind. Für die anderen drei Einzugsgebiete wird ein sehr starker Rückgang dieser Wasserhaushaltsgröße projiziert. So liegt der Median der Gebiete Holtendorf und Thallwitz im Zeitraum 2071–2100 unter Null, was eine Verringerung der Grundwasservorkommen zur Folge hätte.

Tabelle 8: Statistische Kennwerte für die Jahressummen der Grundwasserkomponente RG [mm/a] für 1961–1990, 1981–2010, 2021–2050 und 2071–2100 der Klimarealisierung 99 der Beispielgebiete Markersbach 1, Königsbrück, Holtendorf und Thallwitz

	Markersbach 1				Königsbrück			
	1961-1990	1981-2010	2021-2050	2071-2100	1961-1990	1981-2010	2021-2050	2071-2100
Minimum	277	354	189	155	52	84	17	-22
25%-Quantil	424	407	320	243	178	144	79	48
Median	505	461	377	284	209	176	103	58
75%-Quantil	589	499	427	334	225	239	140	89
Maximum	840	694	652	430	424	313	293	151

	Holtendorf				Thallwitz			
	1961-1990	1981-2010	2021-2050	2071-2100	1961-1990	1981-2010	2021-2050	2071-2100
Minimum	3	22	-18	-51	-18	-19	-47	-66
25%-Quantil	83	85	4	-26	17	-3	-22	-47
Median	124	122	14	-9	51	12	-9	-35
75%-Quantil	167	137	45	27	100	38	16	-11
Maximum	255	216	147	59	201	153	107	39

Um einen Eindruck zur Entwicklung der Wasserhaushaltsgrößen Niederschlag, Verdunstung und Gesamtabfluss der weiteren Realisierungen (s. Tabelle 6) zu bekommen, sind in Abbildung 28 alle Ganglinien als 11-jährige gleitende Mittel (1966–2095) am Beispiel des Gebietes Königsbrück dargestellt. Die Ganglinien der zuvor betrachteten Realisierung 99 des WETTREG-Modells sind in den Diagrammen fett hervorgehoben. So ist zu erkennen, dass die Realisierung 99 für die Zeit nach 2040 gegenüber den weiteren Realisierungen eine vergleichsweise hohe Niederschlagssumme aufweist. Alle Realisierungen projizieren einen negativen Trend für die Niederschlagsentwicklung. Dieser ist im Falle der WETTREG-Realisierungen allerdings stärker ausgeprägt als für die WEREX-Realisierungen, weil die WETTREG-Realisierungen ein höheres Ausgangsniveau im Zeitraum 1961–2010 aufweisen. In Abhängigkeit von der jeweiligen Klimarealisierung wird ein Rückgang der jährlichen Niederschlagsmenge von minimal ≈ 50 mm/a (WEREX-Modell) und maximal ≈ 200 mm/a (WETTREG-Modell) projiziert. Die durchschnittliche Spannweite zwischen maximaler und minimaler jährlicher Niederschlagssumme beträgt knapp 200 mm/a. Sie verringert sich bis 2095 auf rund 110 mm/a. Entsprechend der zugrunde liegenden Klimarealisierungen weist die Verdunstung ungefähr bis 2040 einen positiven Trend auf. Im Anschluss kommt es zu einer Stagnation bzw. zu einem leichten Rückgang der jährlichen Verdunstungsmenge. Ursache hierfür ist das begrenzt zur Verfügung stehende Wasserdargebot im Einzugsgebiet Königsbrück. Die durchschnittliche Spannweite zwischen der maximalen und minimalen jährlichen Verdunstungssumme liegt bei rund 50 mm/a. Die Realisierung 99 befindet sich zum überwiegenden Teil im oberen Drittel der projizierten Verdunstungswerte aller 13 Realisierungen.

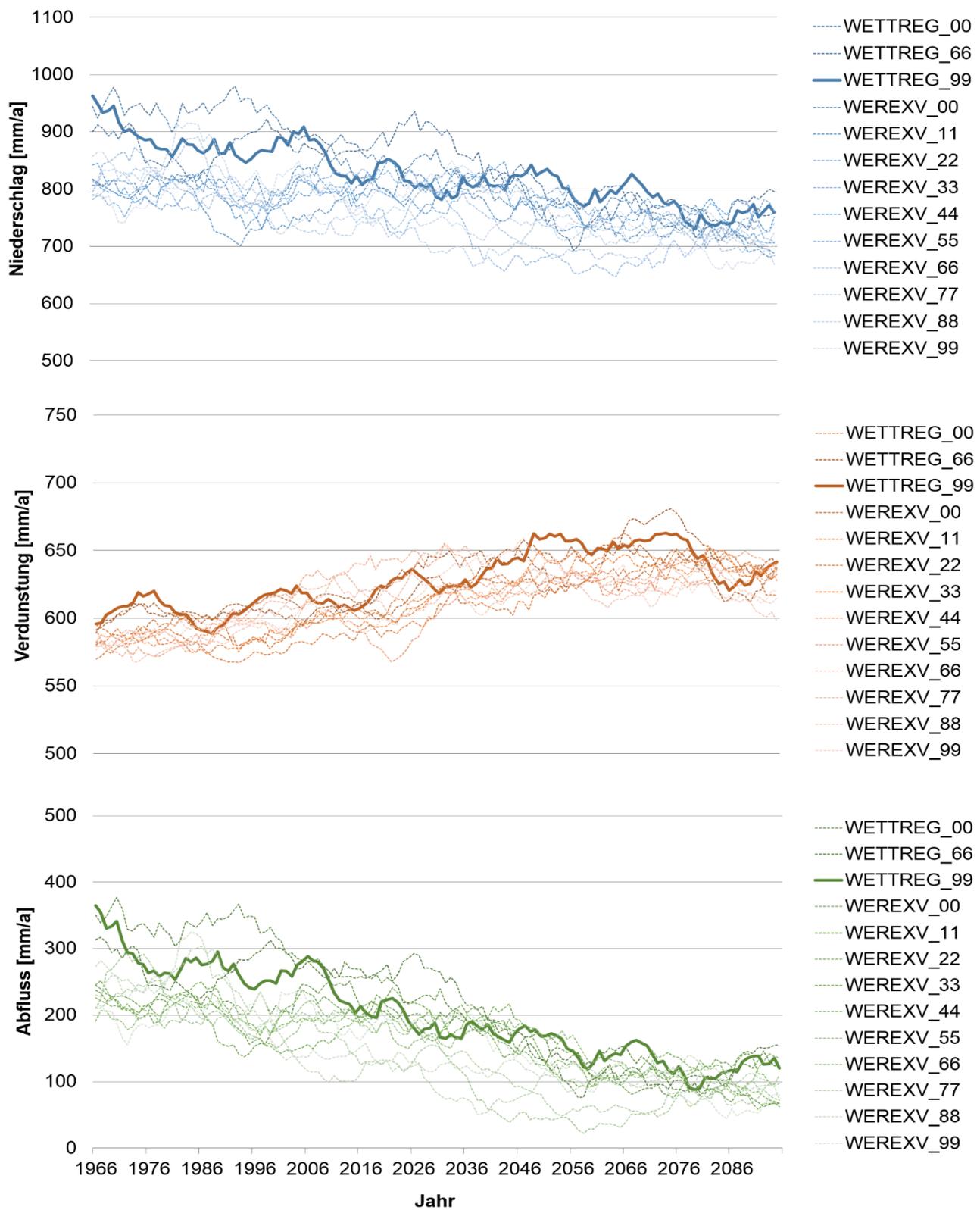


Abbildung 28: Entwicklung der Größen Niederschlag, Verdunstung und Abfluss für 13 Klimarealisierungen (Tabelle 6) im Zeitraum 1966 bis 2095 dargestellt anhand der 11-jährigen gleitenden Mittelwerte für das Einzugsgebiet Königsbrück

Der Abfluss weist einen deutlichen negativen Trend auf. Der projizierte mittlere jährliche Abfluss verringert sich 2095 entsprechend der 13 ausgewählten Realisierungen durchschnittlich um 150 mm gegenüber 1966 und schwankt dann im Mittel um einen Wert von ca. 100 mm/a.

Weil der projizierte Niederschlag der Klimarealisierung 99 im Vergleich zu den übrigen Realisierungen im oberen Drittel liegt, weist dementsprechend auch der Abfluss im Allgemeinen Werte über dem Durchschnitt auf. Aus dem Ensemble der 13 Klimarealisierungen zeigen die beispielhaft vorgestellten Ergebnisse der Realisierung 99 somit einen eher moderaten Verlauf der Wasserhaushaltsgrößen.

Sämtliche Daten und Ergebnisse der Analyse des Istzustandes sowie der Berechnung der Klima- und Landnutzungsszenarien stehen der Öffentlichkeit in Form von Shape-Files und Textdateien im Wasserhaushaltssportal Sachsen zur Verfügung (MÜLLER et al. 2016). Nähere Informationen zum Wasserhaushaltssportal Sachsen enthalten Kapitel 5 (Säule A und B) und Kapitel 6 (Säule C).

4.4.5 Niedrigwasseranalyse

Neben flächenbezogener Betrachtung der Wasserhaushaltskomponenten können auch die projizierten Abflüsse punktuell ausgewertet werden. Schwerpunkt bilden hierbei die zukünftig erwartbaren Niedrigwasserereignisse. Die in Säule A ermittelten Trockenwetterabflüsse und Rezessionskonstanten im Istzustand liefern die Grundlage für die Niedrigwasseranalyse an den Gebietsauslässen.

Die in KliWES erfolgte Niedrigwasserauswertung wird nachfolgend beispielhaft für den Niedrigwasserkennwert NQ15 erläutert. Dieser Kennwert charakterisiert ein Niedrigwasserereignis von mindestens 15 Tagen Dauer, an denen der Durchfluss nur noch die Hälfte oder weniger vom mittleren Durchfluss MQ des Zeitraumes 1961–1990 beträgt. Die Untersuchungen erfolgten für verschiedene Kombinationen von Klimaprojektion und Landnutzungsänderung. Als Beispiel dienen die Ergebnisse der Kombination aus der Klimaprojektion Realisierung 99 mit einer gegenüber dem Istzustand unveränderten Landnutzung. Um die unter diesen Randbedingungen zu erwartende Entwicklung der Niedrigwasserabflüsse darzustellen, wird die Häufigkeit der Unterschreitung des Grenzwertes von $0,33 \cdot MQ$ für vier 30-jährige Zeiträume (1961–1990, 1981–2010, 2021–2050, 2071–2100) gegenübergestellt. In Abbildung 29 ist zu erkennen, dass im Zeitraum 1961–1990 die Mehrzahl der Einzugsgebiete durchschnittlich zwei bis drei NQ15 pro Jahr aufweist. Nur in einem Gebiet treten innerhalb dieses Zeitraumes durchschnittlich fünf bis sechs NQ15 pro Jahr auf. Gegen Ende des 21. Jahrhunderts ist zu erwarten, dass Niedrigwasserperioden in einer Mehrzahl der sächsischen Einzugsgebiete wesentlich häufiger auftreten werden.

Für die Auswertung in Abbildung 29 wurde der Niedrigwassergrenzwert von $0,33 \cdot MQ$ konstant auf das MQ des Istzustandes bezogen, um die Ergebnisse der vier Zeiträume miteinander vergleichen zu können. Die simulierten mittleren Durchflüsse zeigen unter den getroffenen Annahmen allerdings einen negativen Trend. Tabelle 9 stellt diese Entwicklung anhand der in Kapitel 4.4.4 verwendeten vier Einzugsgebiete beispielhaft dar.

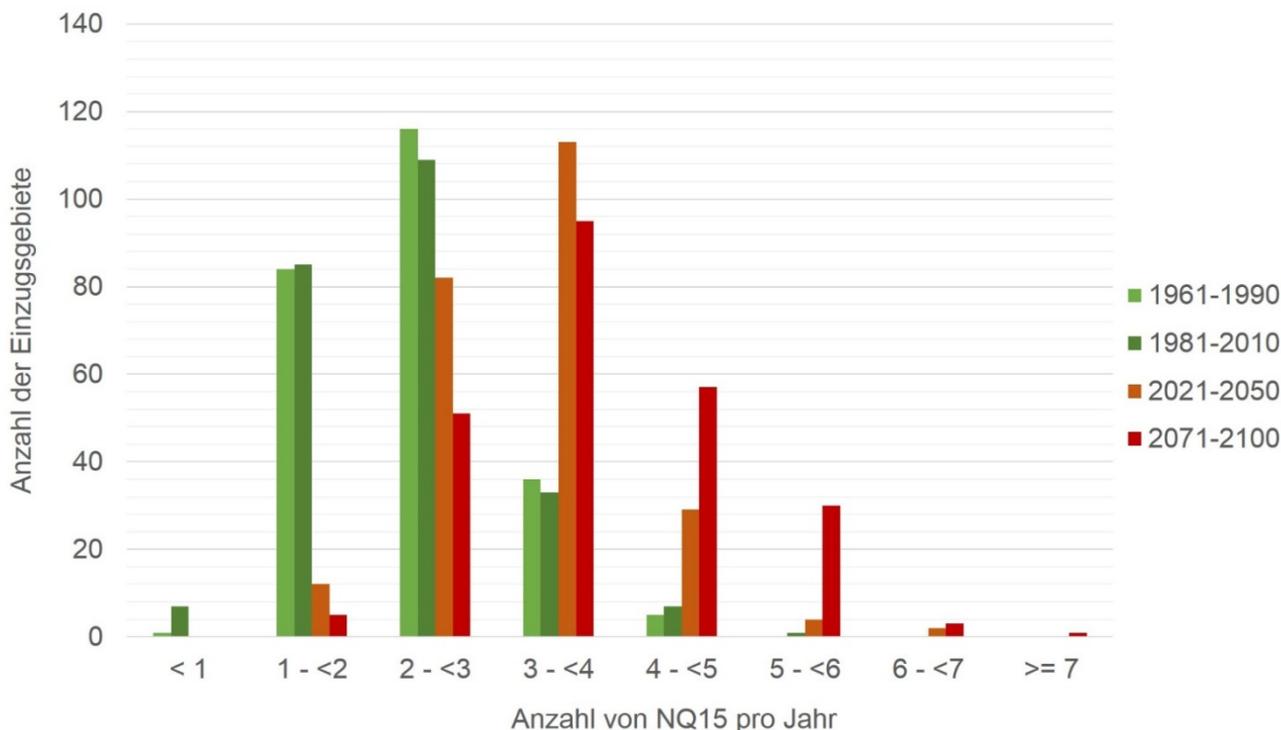


Abbildung 29: Mögliche zukünftige Veränderung der Niedrigwasserhäufigkeit für NQ15 am Beispiel der Klimarealisierung 99 für alle 242 Modellgebiete in KliWES

Die projizierten mittleren Durchflüsse des Zeitraums 1961–1990 stimmen für alle vier Einzugsgebiete gut mit den gemessenen mittleren Durchflüssen überein. Bis 2100 weisen die projizierten mittleren Durchflüsse einen kontinuierlichen Rückgang auf. Für die Einzugsgebiete Markersbach 1 und Thallwitz beträgt dieser rund 50 % für 2071–2100 gegenüber 1961–1990. An den Pegeln Königsbrück und Holtendorf fällt die zukünftig zu erwartende Abnahme des mittleren Durchflusses von rund 58 % bzw. 64 % noch deutlicher aus. Diese Entwicklung würde sich spürbar auf die Bewirtschaftung der jeweiligen Gewässer auswirken.

Tabelle 9: Mögliche Entwicklung des mittleren Durchflusses MQ [m³/s] bis 2100 am Beispiel von vier Einzugsgebieten

MQ [m³/s]	Markersbach 1	Königsbrück	Holtendorf	Thallwitz
1961-1990	0,631	0,885	0,336	0,324
1981-2010	0,584	0,794	0,322	0,217
2021-2050	0,436	0,531	0,152	0,185
2071-2100	0,326	0,374	0,119	0,160

4.5 Zusammenfassung

Die großräumige Wasserhaushaltsberechnung für ca. 18.000 km² mit einer Vielzahl von Einzugsgebietenmodellen stellte eine große Herausforderung dar. Die Kalibrierung dieser Modelle war nur mithilfe von automatisierten Routinen zu lösen. Das hierfür entwickelte zweistufige Verfahren basierte auf den in der Modelldarstellung unabhängigen lateralen und vertikalen Abflussprozessen (Kapitel 4.3). Das verwendete Konzept der multikriteriellen Optimierung, zu der sich allgemeine Aussagen in Kapitel 4.2 finden, für die Parametrisierung von

148 Einzugsgebietsmodellen lieferte weitgehend gute Ergebnisse. Die Darstellung verschiedener Ergebnisse der multikriteriellen Optimierung, Validierung der Modellergebnisse und der simulierten Wasserhaushaltsgrößen anhand von ausgewählten sächsischen Einzugsgebieten erfolgt in Kapitel 4.4. Zusätzlich wurde eine kurze Auswertung der projizierten Niedrigwasserdurchflüsse durchgeführt.

Die für den zu erwartenden Klimawandel projizierten Wasserhaushaltsergebnisse bis 2100 deuten starke Veränderungen für die einzelnen Bilanzgrößen in Sachsen an. Für einige sächsische Regionen, insbesondere außerhalb der Mittelgebirge, ist unter diesen Rahmenbedingungen zukünftig mit einem wesentlich geringeren verfügbaren Wasserdargebot zu rechnen. Die Ergebnisse sind durch das zu Grunde liegende „3-Säulen-Konzept“ (SCHWARZE et al. 2016) belastbar, weil für die Parametrisierung der Einzugsgebietsmodelle umfangreiche Analyseergebnisse von Beobachtungsdaten zwischen 1951–2005 mit einbezogen wurden.

Das zu erwartende geringere Wasserdargebot erfordert Vulnerabilitätsuntersuchungen. Im Rahmen einer Vorstudie erfolgten zunächst Untersuchungen für die Flussgebiete Schwarzer und Weißer Schöps sowie Hoyerswerdaer Schwarzwasser (SCHWARZE et al. 2011a). Die projizierten Wasserhaushaltsdaten zeigten für diese Region ein deutlich geringeres zu erwartendes Wasserdargebot. Die gewonnenen Ergebnisse flossen in die „Vulnerabilitätsstudie für die Region Oberlausitz-Niederschlesien“ (SCHMIDT 2011) ein. Die Fortsetzung dieser Untersuchungen erfolgt durch die „Vulnerabilitätsstudie Sachsen“ (NEUBERT et al. 2015), die zur Bewertung der Anfälligkeit eines Umweltmediums bzw. eines Nutzungstyps die Resultate des KliWES-Projekts einbezieht.

5 Recherche und Visualisierung von Ergebnissen der Säulen A und B im Wasserhaushaltsportal

Das Wasserhaushaltsportal Sachsen dient als Web-Interface u. a. dem öffentlichen Zugang zu den Ergebnissen der Säulen A und B sowie als Zugang zu den interaktiven nutzerspezifischen Wasserhaushaltsberechnungen der Säule C. Das 3-Säulen-Lösungskonzept wird in Kapitel 1 und in SCHWARZE et al. (2016) eingehend erläutert. Der Internetauftritt ist analog dazu strukturiert.

In Kapitel 5.1 werden zunächst allgemeine Informationen zum Webauftritt des KliWES-Projekts der Säulen A und B dargelegt. Erläuterungen zu Funktionalitäten und Inhalten der beiden Portale folgen in den Kapiteln 5.2.2 und 5.2.5. Zusätzlich wird ein jeweils Fallbeispiel zur Anwendung der Säule A (Kapitel 5.2.3) und B (Kapitel 5.2.6) aufgezeigt. Die Kapitel zur Säule A bzw. Säule B werden zum Schluss zusammengefasst und enthalten jeweils eine Anwendungsempfehlung für die Nutzer der beiden Portale (Kapitel 5.2.4 und 5.2.7).

5.1 Allgemeine Informationen zum Wasserhaushaltsportal

Um sämtliche Ergebnisse und ergänzende Informationen zum KliWES-Projekt einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen, wurden im LfULG und im IHM der TUD Internetseiten entwickelt:

<http://www.wasserhaushaltsportal.sachsen.de> bzw.
<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/10881.htm>

Die Startseite des Portals ist in Abbildung 31 zu sehen. In der linken Menüliste findet sich unter dem Anstrich „Wasserhaushaltsportal – Wasserhaushaltsdaten“ der Zugang zu den Portalen der Säulen A, B und C sowie der Niedrigwasserkennwerte. Die Ermittlung regionaler Niedrigwasserkennwerte für das sächsische Fließgewässernetz wurde 2013 als ergänzender Bestandteil des Projektes KliWES und durch die DHI-WASY GmbH (Dresden) als separates Teilprojekt erarbeitet. Informationen hierzu sind KÖPP-KLAUSCH (2014) zu entnehmen.

Im Unterabschnitt „Wasserhaushaltsdaten“ befindet sich zusätzlich der „Downloadbereich“ für die jeweiligen Projektergebnisse und weiterführende Links zu fachbezogener Literatur bzw. zu relevanten Internetauftritten. Der Zugang zum Portal wird im Kapitel 5.2.3 und 5.2.6 umfangreich erläutert.

Auf der Startseite des Wasserhaushaltsportals sind weiterhin allgemeine Informationen zum Projekt, wie z. B. zur angewendeten Methodik, verfügbar sowie der Zugriff zur Hilfe, Hinweise zu aktuellen Neuigkeiten und den Ansprechpartnern im LfULG. Dieser „statische“ Internetseitenbereich wird durch das LfULG gehostet.

Für den eigentlichen Zugang zu den Portalen der KliWES-Säulen A, B und C erfolgt eine Weiterleitung zu einem Webserver an der TU Dresden. Hier stehen die im Projekt KliWES erarbeiteten umfangreichen Ergebnisse der Wasserhaushaltsberechnungen zur Verfügung.

5.2 Funktionen, Inhalte und Fallbeispiele zu Säule A und B

5.2.1 Layout und Bedienkonzept Säule A und B

In beiden Rechercheportalen stehen große Informationsmengen zur Verfügung. Bedingt durch die Szenarien und Differenzkarten enthält Säule B dabei ein Vielfaches an Wasserhaushaltsdaten gegenüber der Säule A. Für eine gute Benutzerfreundlichkeit wurde ein tabellarisches Layout und Bedienkonzept für die Web-Oberfläche konzipiert. Es wird in beiden Anwendungen weitgehend identisch umgesetzt und im Folgenden am Beispiel der Säule B näher vorgestellt.

The screenshot displays the 'Wasserhaushaltsportal Sachsen' interface. At the top, the header shows 'sachsen.de' and 'Wasserhaushaltsportal Sachsen'. Below this, a navigation bar contains buttons for 'Home', 'Gebietsauswahl', 'Ist-Zustand', 'Klimaszenario', 'Landnutzungsszenario', 'Differenzkarte', 'Download', 'Rücksetzen', 'Hilfe', and 'Info'. The main content area is divided into several sections:

- Gebiet:** A table listing sub-catchment areas (Teileinzugsgebiete) for the 'Müglitz' catchment. The table has columns for 'gwKz' and 'mm/a'. The 'Müglitz' entry is highlighted.
- Karte:** A map showing the geographical area around Dresden, with a red circle highlighting a specific sub-catchment.
- Legende:** A legend titled 'Legende' showing color-coded precipitation ranges in mm/a: 'kleiner 650', '>650 - 750', '>750 - 850', '>850 - 950', '>950 - 1050', and '>1050'. There are also checkboxes for 'Übersichtskarte', 'Gewässernetz', and 'Kreise'.
- Gebietscharakteristik:** A panel providing details about the selected 'Müglitz' catchment, including its name, area (1.66 km²), hydrogeological unit (Magmatisches Tiefengestein), and the section in the water body (Müglitz: uth. Mdg. Spargrund - Pegel Dohna).
- Was wird gerade angezeigt?:** A panel explaining the data being displayed, such as 'Wasserhaushaltskomponente: korrigierter Niederschlag' and 'Anmerkung: Sind keine Angaben vorhanden, bedeutet dies, dass die betreffenden Einzugsgebiete vom Bergbau beeinflusst sind oder sich im Elbeschlauch befinden.'
- Methodik:** A panel showing a cylinder icon labeled 'Säule B ArcEGMO'.

Abbildung 30: Übersicht der Web-GIS-Anwendung der Säule B

Abbildung 30 zeigt, jeweils rot markiert, die in funktionale Bereiche unterteilten Komponenten der Web-Benutzeroberfläche. Die Menüleiste (1) realisiert die Parameterauswahl nach Klima- und Landnutzungsszenarien, Istzustand und Differenzkarten. Der Button Download leitet den Nutzer auf Seiten, von denen Shape-Files der Teileinzugsgebiete, gegliedert nach Flusseinzugsgebieten, und Dateien mit monatlichen Zeitreihen der Wasserhaushaltskomponenten in allen Szenarien verfügbar sind. Nach der Gebietsauswahl erfolgt als Standardausgabe die Anzeige aller Teileinzugsgebiete des ausgewählten Flusseinzugsgebiets mit dem Niederschlag im Istzustand. Die Anzeige der Daten erfolgt in grafischer Form im Kartenfeld (3) und in Listenform in der Auswahlliste (2). Die Darstellung der Legende und die Auswahl zusätzlicher Layer erfolgt in (4). Die Ansicht der Web-Oberfläche in Abbildung 30 zeigt das Ergebnis der Auswahl eines Teileinzugsgebietes. Dieses kann durch Anklicken der sachsen- oder flussgebietsweiten Gebietsübersicht im Kartenfeld oder in der Auswahlliste selektiert werden. Als Ergebnis wird die Markierung des gewählten Gebietes in der Liste, der Karte und die Anzeige zusätzlicher Informationen im Portalbereich Gebietscharakteristik (5) angezeigt. Das Anzeigefeld „Was wird gerade angezeigt?“ (6) enthält zusätzliche parameterabhängige Informationen zur ak-

tuellen Auswahl. Parallel erhält der Nutzer im Kopfbereich der Seite (7) eine Kurzinformation über den gewählten Parameter im entsprechenden Szenario.

Die Recherche erfolgt stufenweise. Zunächst wird das Flusseinzugsgebiet in der Menüleiste ausgewählt und im Kartenbereich dargestellt. In Abhängigkeit der ausgewählten Szenarien bzw. der Differenzkarten können die entsprechenden verfügbaren Wasserhaushaltsgrößen ausgewählt und teileinzugsgebietsbezogen grafisch dargestellt bzw. heruntergeladen werden. Über Verlinkungen sind zusätzliche Informationen und Erläuterungen zu wichtigen Komponenten verfügbar.

Folgende Funktionen beinhaltet das Wasserhaushaltsportal der Säulen A und B:

■ Navigieren in der Karte

- Verschieben, Vergrößern, Verkleinern

■ Gebietsauswahl mithilfe der Karte oder Übersichtstabelle der Gebiete

■ Darstellen von weiteren Karteninformationen (Topographische Karte Sachsen 1 : 50.000, administrative Grenzen (Kreise) und Flusseinzugsgebietsgrenzen in Säule A bzw. Gewässernetz in Säule B)

5.2.2 Säule A

Die für Sachsen bereitgestellten Ergebnisse aus der Säule A basieren auf einer komplexen inversen Ableitung von Wasserhaushaltsdaten für den Istzustand. Daneben erfolgte der Aufbau eines flächendeckenden Parametermodells für das Grundwasserabflussmodell SLOWCOMP (Kapitel 3.4 bzw. SCHWARZE et al. 2015). Die Web-GIS-Anwendung der Säule A gliedert sich thematisch in die Bereiche Analyse und Regionalisierung. Der Bereich Analyse stellt verschiedene Wasserhaushalts- und Abflusskomponenten zur Verfügung, die aus langjährigen Beobachtungswerten des täglichen Durchflusses und Niederschlages mittels des hydrologischen Differenzganglinienanalyseverfahrens DIFGA (SCHWARZE et al. 1991) für 114 sächsische Pegelzugsgebiete (Tabelle A10 bis Tabelle A18) gewonnen wurden. Nähere Informationen sind Kapitel 3 zu entnehmen.

Im Portal erhält der Nutzer über den Pegelnamen, das Gewässer, die Einzugsgebietsfläche, die hydrologische Einheit oder die Gewässerkennzahl Zugriff auf die Wasserhaushaltskomponenten des ausgewählten Gebiets. Neben der Ergebnispräsentation auf der Web-Oberfläche (Jahresmittelwerte der Wasserhaushaltsgrößen) sind detaillierte tabellarische Ergebniszusammenstellungen (u. a. aktuelle Monatswerte, Mittelwerte) und Shape-Dateien für GIS-Anwendungen downloadbar. Im Bereich „Regionalisierung“ stehen zusätzlich Ergebnisse, die auf ganz Sachsen übertragen wurden, in Teileinzugsgebietsauflösung bereit.

Entsprechend den Angaben in Kapitel 3.3 können dem Portal der Säule A – Teilbereich Analyse folgende Informationen entnommen werden:

■ Darstellung der mittleren Jahressummen (1951–2005) von Wasserhaushaltsgrößen für 114 DIFGA-Gebiete in digitalen Karten

- der Größen P, REST, RD, RG1, RG2, R, QG1, QG2, QD und Q

- der Speicherparameter CG1, CG2 und SG1_{Grenz}

■ Download von Größen

- Shapes, untergliedert nach Flusseinzugsgebieten, die die jeweiligen DIFGA-Gebiete und zugehörige mittlere Jahressummen der Wasserhaushaltsgrößen (P, REST, RD, RG1, RG2, R) für den Istzustand enthalten
- aktuelle Monatssummen der Wasserhaushaltsgrößen P, REST, RD, RG1, RG2 und R für jedes DIFGA-Gebiet
- aktuelle Monatswerte der Abflussgrößen QD, QG1, QG2 und Q je DIFGA-Gebiet
- mittlere Wasserhaushaltsbilanz für jedes DIFGA-Gebiet

Im Portal der Säule A – Teilbereich Regionalisierung stehen zusätzlich folgende Informationen zum Download bereit:

- Darstellung der mittleren Jahressummen (1951–2005) von Wasserhaushaltsgrößen für die sächsischen Teileinzugsgebiete in digitalen Karten
 - der regionalisierten Größen P, ETR, RD, RG1, RG2 und R
 - der regionalisierten Speicherparameter CG1, CG2 und SG1_{Grenz}
- Download von Größen
 - Shapes, untergliedert nach Flusseinzugsgebieten, die die jeweiligen Teileinzugsgebiete sowie zugehörige mittlere Jahressummen der Wasserhaushaltsgrößen (P, ETR, RD, RG1, RG2, R) für den Istzustand enthalten

5.2.3 Fallbeispiel zur Nutzung der Säule A

Bei der Säule A handelt es sich um ein Recherchesystem. Für den Anwender bedeutet dies, dass er gezielt nach Informationen zu einem konkreten Gebiet suchen kann. Alternativ erhält der Nutzer einen globalen Überblick zu den verfügbaren Informationen und kann sich zu den für ihn interessanten Bereichen vorarbeiten (Top-Down-Suche). Die Verortung der Daten und Ergebnisse fußt auf dem sächsischen Verzeichnis der Gewässereinzugsgebiete und nutzt für die Identifizierung eines Gebietes dessen Name bzw. seine Gewässerkennzahl GWKZ. Bedingt durch die zu Grunde liegende Methodik, enthält die Säule A nur Angaben für den Istzustand für den Zeitraum 1951 bis 2005.

Anhand eines Fallbeispiels wird nachfolgend die Nutzung des Wasserhaushaltsportals für Ergebnisse der Säule A erklärt. Dabei ist beispielhaft die folgende Nutzeranfrage zu beantworten: Welche Informationen und Ergebnisse für das Einzugsgebiet Königsbrück/Pulsnitz sind im Bereich der Säule A verfügbar?

Im Web-Browser stellt der Nutzer die Suchanfrage „Wasserhaushaltsportal Sachsen“ bzw. gibt die Internetadresse www.wasserhaushaltsportal.sachsen.de direkt ein. Im Ergebnis wird die Startseite des Portals angezeigt (siehe Abbildung 31).

- sachsen.de ▾
- Umwelt ▾
- Wasser, Wasserwirtschaft ▾
- Karten und GIS-Daten ▾
- Hochwasser
- Grundwasser
- Oberirdische Gewässer
- Europäische Wasserrahmenrichtlinie
- Gebietsbezogener Gewässerschutz
- Wasserversorgung
- Abwasserbeseitigung
- Wasserbau
- Geodatendownload
- **Wasserhaushaltsportal**
- Wasserhaushaltsdaten
- Methodik
- Weitergehende Informationen
- Systemanforderungen / Hilfe

Wasserhaushaltsportal

Vorlesen



Wasser ist die wichtigste Naturressource für den Antrieb allen Lebens auf der Erde.

Die zunehmend beobachteten Veränderungen im Wettergeschehen verursachen u. a. Schwankungen im Wasserhaushalt und lösen verstärkt Diskussionen über die Ursachen, (zukünftige) Auswirkungen und Folgen des Klimawandels aus.

»Der Klimawandel bringt den Wasserhaushalt unseres Planeten durcheinander.« (stern-online)

Das Wasserhaushaltsportal Sachsen stellt sachsenweite Daten für einzelne Wasserhaushaltskomponenten sowohl für den Ist-Zustand (1961–2005 bzw. 2010) als auch für bestimmte Zukunftsszenarien (2011–2100) bereit.

Die Wasserhaushaltsdaten sind Ergebnisse des Projekts KIWES. Dieses untersucht die Auswirkungen prognostizierten Klimaänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt sächsischer Gewässereinzugsgebiete.

Das Projekt wird im Auftrag des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie von der Technischen Universität Dresden und der DHL-WASY GmbH umgesetzt.



↑ zurück zum Seitenanfang

Ansprechpartner

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Referat 44: Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie
Holm Friese

☎ Telefon: (0351) 8928-4412
✉ E-Mail
🌐 www.smul.sachsen.de/lfulg

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Referat 44: Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie
Karin Kuhn

☎ Telefon: (0351) 8928-4400
☎ Telefax: (0351) 8928-4099
✉ E-Mail
🌐 www.smul.sachsen.de/lfulg

Aktuelles

▸ Interaktives Expertensystem - Säule C freigeschaltet

Abbildung 31: Startseite des Wasserhaushaltsportals im Internetauftritt des LfULG

Im linken Bereich wird der Zugang zum Wasserhaushaltsportal angezeigt. Bei Bedarf bieten hier zunächst die Buttons „Methodik“ und „Systemanforderungen/Hilfe“ eine Informationsmöglichkeit zu wesentlichen hydrologischen und technischen Grundlagen. Der Zugriff auf die Ergebnisse erfolgt über den Button „Wasserhaushaltsdaten“. Daraufhin wird eine weitere Seite geöffnet (Abbildung 32). Auf dieser besteht auf der linken Seite unter „Wasserhaushaltsdaten“ die Auswahlmöglichkeit zwischen den folgenden Alternativen:

- Recheresystem - Säule A
- Recheresystem - Säule B
- Expertensystem - Säule C
- Niedrigwasserkennwerte

Auf der rechten Seite existiert ein Bereich „Schnellstart“, über den der Ergebniszugang gleichfalls möglich ist.

- sachsen.de »
- Umwelt »
- Wasser, Wasserwirtschaft »
- Wasserhaushaltsportal »
- » **Wasserhaushaltsdaten**
- » Recherchesystem - Säule A
- » Recherchesystem - Säule B
- » Expertensystem - Säule C
- » Niedrigwasserkennerwerte
- » Methodik
- » Weitergehende Informationen
- » Systemanforderungen / Hilfe

Wasserhaushaltsdaten

Vorlesen

Drei-Säulen-Konzept

Um die Komplexität der Wasserhaushaltsprozesse zu erfassen, wurde im Rahmen des Projektes »KIWES« ein »Drei-Säulen-Konzept« entwickelt, das auf einem Ensemble sich gegenseitig stützender und unabhängiger Verfahren beruht. Dieses Konzept kombiniert verschiedene Ansätze zur Berechnung des Wasserhaushalts. Ergebnisvergleiche ermöglichen die gegenseitige Kontrolle der unterschiedlichen Methoden. Auf dieser Basis wird eine Ableitung wissenschaftlich fundierter, verlässlicher und belastbarer Wasserhaushaltsdaten realisiert.



Mit den vorliegenden Ergebnissen kann die Anfälligkeit des Wasserhaushalts gegenüber den Einflüssen des Klimawandels abgeschätzt werden. Die Ergebnisse werden u. a. als Grundlage für eine gezielte, regionale Entwicklung von Anpassungs- Strategien und Maßnahmen in der Land-, Forst- und Wasserwirtschaft an die erwarteten Folgewirkungen des Klimawandels in Sachsen genutzt.

Niedrigwasserkennerwerte

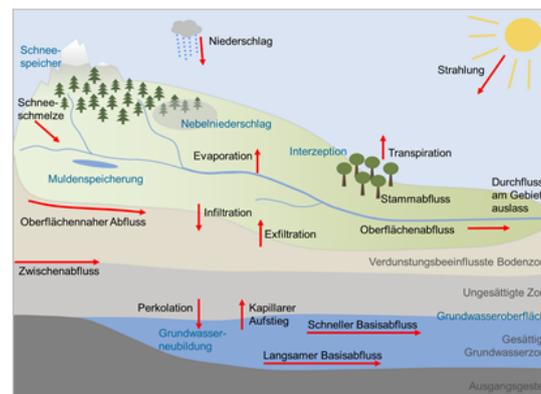
Einen wichtigen Ergänzungsbaustein zum „Drei-Säulen-Konzept“ bilden die zusätzlichen Ergebnisse aus der »Regionalisierung von Niedrigwasserkennerwerten«. Im Rahmen dieser Projektarbeiten wurden flächendeckend für Fließgewässer in Sachsen regionale Niedrigwasserkennerwerte modellgestützt berechnet. Diese können u. a. als fachliche Eingangsdaten für die Ermittlung bzw. Überprüfung und Festlegung der Mindestwasserführungen von Fließgewässern im wasserrechtlichen Verwaltungsvollzug verwendet werden.

Gebietswasserhaushalt

Der Wasserhaushalt einer Region setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen:

- Niederschlag und Verdunstung
- Oberflächen-, Zwischen- und Grundwasserabfluss
- Versickerung und Grundwasserneubildung

Diese stehen in einer komplexen Ursache-Wirkungs-Beziehung:



Wasserhaushaltskomponenten



Ansprechpartner

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Referat 44: Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie
Holm Friese

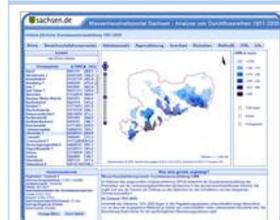
☎ Telefon: (0351) 8928-4412
✉ E-Mail
🌐 www.smul.sachsen.de/lfulg

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Referat 44: Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie
Karin Kuhn

☎ Telefon: (0351) 8928-4400
☎ Telefax: (0351) 8928-4099
✉ E-Mail
🌐 www.smul.sachsen.de/lfulg

Schnellstart interaktive Karten



- » Recherchesystem - Säule A - Analyse
- » Recherchesystem - Säule A - Regionalisierung
- » Recherchesystem - Säule B
- » Expertensystem - Säule C
- » Niedrigwasserkennerwerte

Forschungsprojekt KiWES

Im Wasserhaushaltsportal Sachsen werden Ergebnisse vorgestellt, die im Rahmen des Projekts KiWES erarbeitet wurden. Nähere Informationen:

» [KiWES](#)

Abbildung 32: Screenshot aus dem am LfULG gehosteten Internetauftritt des Wasserhaushaltsportals

Nach der Auswahl „Recherchesystem - Säule A“ wird der Nutzer auf die in Abbildung 33 dargestellte Seite weitergeleitet. Hier besteht zunächst wieder die Möglichkeit, sich über methodische Grundlagen zu informieren. Zu den Ergebnissen selbst führen zwei Wege, die der mittlere Bereich der Webseite aufzeigt. Zum einen kann sich der Nutzer für die „Ergebnisse der Analyse“ entscheiden. Über diesen Pfad werden die Ergebnisse aus allen mit DIFGA analysierten sächsischen Einzugsgebieten bereitgestellt. Zum anderen gewährt der Pfad „Ergebnisse der Regionalisierung“ Zugang zu flächendeckenden Wasserhaushaltsinformationen auch für die Gebiete, die nicht mit DIFGA analysiert werden konnten.

sachsen.de

Wasser, Wasserwirtschaft

sachsen.de ▾

- Umwelt ▾
- Wasser, Wasserwirtschaft ▾
 - Wasserhaushaltsdaten ▾
 - **Recherchesystem - Säule A**
 - Download
 - Recherchesystem - Säule B
 - Expertensystem - Säule C
 - Niedrigwasserkennwerte

Recherchesystem - Säule A

Vorlesen

In der Säule A werden zunächst langjährige Durchflussreihen mit dem Ganglinienanalyseverfahren DIFGA untersucht. Damit können für die untersuchten Gebiete wichtige Kenngrößen für die Modellierung und den Gebietswasserhaushalt berechnet werden. Aus diesen berechneten Gebietsgrößen werden dann mit einem Regionalisierungsverfahren die Ergebnisse auf die unbeobachteten Gebiete übertragen.

Analyse von Durchflussreihen für den Zeitraum 1951-2005

Bei der DIFGA-Analyse werden langjährige Durchflussreihen für ca. 120 Einzugsgebiete mit einer Größe von 5 km² bis 600 km² ausgewertet. Es erfolgt eine Separation der gemessenen Abflussganglinien in verschiedene Abflusskomponente. Für die Separation werden Rückgangskonstanten bestimmt. Zur Kontrolle der Separation wird eine monatliche Wasserhaushaltsbilanz aufgestellt, die zu jährlichen und mittleren Wasserhaushaltsbilanzen kumuliert wird.

Zur interaktiven Karte:

- [Recherchesystem - Säule A - Analyse](#)

Regionalisierung von Durchflussanalysen für den Zeitraum 1951-2005

Mit der verwendeten Regionalisierungsmethode werden die Ergebnisse der Durchflussganglinienanalysen auf unbeobachtete Gebiete übertragen. Im Ergebnis sind flächendeckend in der Auflösung von Einzugsgebieten mit durchschnittlich 5 km² mittlere jährliche Wasserhaushaltsgrößen und Modellparameter verfügbar.

Zur interaktiven Karte:

- [Recherchesystem - Säule A - Regionalisierung](#)

Hintergrundinformationen

- [KliWES - Kernkomponente \(Recherchesystem Säule A\) Schriftenreihe, Heft 44/2011](#)

[🏠 zurück zum Seitenanfang](#)

Wasserhaushaltsdaten

Ansprechpartner

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Referat 44: Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie
Holm Frieße

☎ Telefon: (0351) 8928-4412
✉ E-Mail
🌐 www.smul.sachsen.de/fulg

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Referat 44: Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie
Karin Kuhn

☎ Telefon: (0351) 8928-4400
☎ Telefax: (0351) 8928-4099
✉ E-Mail
🌐 www.smul.sachsen.de/fulg

Schnellstart interaktive Karten

- [Recherchesystem - Säule A - Analyse](#)
- [Recherchesystem - Säule A - Regionalisierung](#)
- [Recherchesystem - Säule B](#)
- [Expertensystem - Säule C](#)
- [Niedrigwasserkennwerte](#)

Abbildung 33: Übersicht der LfULG-Internetseite Säule A mit den Links zum Portal

Es wird empfohlen, zunächst immer den Bereich der Analyseergebnisse zu recherchieren. Der Weg führt über den Button „zur interaktiven Karte – Analyse“, der auf die in Abbildung 34 dargestellte Seite leitet. Der Zugang zu den Ergebnissen der Säule A ist hier über Auswahlbutton oder über eine interaktive Karte möglich.

In der Kopfzeile befindet sich eine Menüleiste, über die alle Bedienfunktionen zugänglich werden. Hinter jedem Button verbergen sich Fenster mit Auswahlmöglichkeiten. Einige dieser Schalter ermöglichen nur spezifische Abläufe auf der jeweils aktuellen Webseite. Andere besitzen auf allen Seiten vergleichbare Funktionen. Dazu gehört der Button „Home“. Er leitet stets zur Startseite des Wasserhaushaltsportals, die beim LfULG gehostet wird, zurück. „Methodik“ führt immer zu Erklärungen über den gerade dargestellten Inhalt. „Hilfe“ gibt Erklärungen zur Bedienung oder zu technischen Fragen z. B. zu erforderlichen Browser-Einstellungen. Die Betätigung des Buttons „Rücksetzen“ eliminiert eine getroffene Auswahl oder führt einen Schritt zurück. „Info“ zeigt Informationen zur Programmversion und zum Datum der letzten Aktualisierung an. Auf diese Schalter mit vergleichbaren Funktionen im gesamten Portal wird in der weiteren Darstellung i. d. R. nicht mehr eingegangen. Die Buttons mit seitenspezifischer Funktionalität werden bei der Beschreibung des Fallbeispiels erklärt.

sachsen.de Wasserhaushaltsportal Sachsen - Analyse von Durchflussreihen 1951-2005

Mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag 1951-2005

Home Wasserhaushaltskomponenten Gebietsauswahl Regionalisierung Download Rücksetzen Methodik Hilfe Info

Auswahl		
aus Karte		
Einzugsgebiete	▲ GW/KZ ▲	mm/a
Adorf	5661311	874,7
Altchemnitz 1	54181995	1017,6
Ammelsdorf	53721319	1070,5
Annaberg 1	5426255	1049,5
Aue 1	5412991	1109,6
Bad Elster 1	56611313	818,4
Bärenfels	53722219	1123,4
Bautzen-Weite Bleiche	5821951	872,8
Berthelsdorf	5421519	1002,5
Bielatal 1	53713253	854,5
Bischofswerda	53716339	909,6
Bobenneukirchen	56614659	799,6
Burkersdorf 2	5421455	1040,9
Burkhardtendorf 2	5418151	1046,1
Buschmühle	53711853	955,6
Cämmerswalde	54268161	1068,6
Chemnitz 1	54189511	932,2
Cranzahl	5426243	1084,2
Cunnersdorf 1	537132859	875,0
Deutschgeorgenthal 2	54268121	1087,7
Dippoldiswalde 1	53722511	1028,3
Dohna	53718979	896,5
Drehna	5822865	739,9

Gebietscharakteristik

Pegelname: Chemnitz 1
 Untersuchungszeitraum: 1/1951-12/2005
 Gewässername: Chemnitz
 Fläche: 403,0km²
 Speicherkonstanten der Grundwasserspeicher:
 schnell (CG1) 10 d
 langsam (CG2) 370 d
 Speichergrenzwert(SG1Grenz): 31 mm
 hydrogeologische Einheit:
 Metamorphite Schiefer

Anzeige Bilanz Zoom Gebiet

Was wird gerade angezeigt?

Wasserhaushaltskomponente Niederschlag P

Der Niederschlag entspricht dem korrigierten gemessenen Niederschlag, wenn er in flüssiger Form fällt. Wenn der Niederschlag in fester Form fällt, entspricht er dem zeitlich verschobenen abfließenden Schmelzwasser aus dem Schneespeicher.

Ist-Zustand 1951-2005:
 Innerhalb des Zeitraums 1951-2005 liegen in den Pegelinzugsgebieten unterschiedlich lange Messreihen vor, sodass der angegebene Mittelwert je Gebiet aus unterschiedlich vielen Jahreswerten berechnet wird. Die Berechnung findet immer für den größtmöglichen Bilanzierungszeitraum statt.

Abbildung 34: Startseite des Internetauftritts der Säule A – Analyse

Im zentralen Bereich befindet sich eine interaktive Karte. Sie zeigt für alle DIFGA-Gebiete die Gebietsgrenzen und den Wert der jeweils ausgewählten Wasserhaushaltsgröße. Rechts neben der Karte ist ein Legendenpanel angeordnet. In diesem können weitere Karteninformationen (topografische Karte, Landkreisgrenzen, Flussgebietsgrenzen) zur Anzeige im Zentralbereich aktiviert werden.

Links neben der Karte liegt ein Auswahlbereich. Hier sind tabellarisch alle DIFGA-Gebiete mit ihrem Einzugsgebietsnamen, der Gewässerkennzahl (GWKZ) und einem Zahlenwert für die jeweils ausgewählte Größe dargestellt. Unter dem Auswahlpanel befindet sich ein mit „Gebietscharakteristik“ bezeichneter Bereich. Er enthält Basisinformationen zu einem selektierten Einzugsgebiet. Beim Start des Portals ist zunächst nutzerunabhängig ein beliebiges Gebiet ausgewählt. Die Auswahl ist erkenntlich durch eine farbige Unterlegung im Auswahlfenster und eine blinkende hervorgehobene Darstellung der Gebietsgrenze im Kartenpanel, das beim Startbildschirm die mittlere jährliche Niederschlagssumme anzeigt.

Im unteren Bereich der Internetseite unterhalb der Karte befindet sich ein weiteres Informationsfenster „Was wird gerade angezeigt?“. Hier erhält der Anwender eine kurze Information zur gerade dargestellten Wasserhaushaltsgröße bzw. zum visualisierten Parameter. Bei einigen Größen (z. B. GWN) ist zusätzlich ein Link zu einer umfassenden Erklärung verfügbar.

Die Grundfunktionalitäten webbasierter Karten (Zoom und Verschieben) stehen bereit. Die prinzipielle Bedienung des Portals im Bereich Säule A erfolgt durch Auswahl in Listen oder über Button bzw. alternativ durch Anklicken in der Karte.

Im Fallbeispiel sollen Ergebnisse für das Einzugsgebiet Königsbrück recherchiert werden. Für die Selektion dieses konkreten Gebietes bietet das Portal mehrere Möglichkeiten. Wie Abbildung 35 zeigt, führt über den Button „Gebietsauswahl“ der Auswahlpfad über die Funktion „Auswahl nach Flussgebieten“ zum Flussgebiet „Schwarze Elster“ weiter bis zum Fließgewässer „Pulsnitz“.

Mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag 1951-2005

[Home](#)
[Wasserhaushaltskomponenten](#)
[Gebietsauswahl](#)
[Regionalisierung](#)
[Download](#)
[Rücksetzen](#)
[Methodik](#)
[Hilfe](#)
[Info](#)

Auswahl		
alle DIFGA-Gebiete		
Einzugsgebiete	▲ GWKZ ▲	mm/a
Adorf	5661311	874,7
Altchemnitz 1	54181995	1017,6
Ammelsdorf	53721319	1070,5
Annaberg 1	5426255	1049,5
Aue 1	5412991	1109,6
Bad Elster 1	56611313	818,4
Bärenfels	53722219	1123,4
Bautzen-Weite Bleiche	5821951	872,8
Berthelsdorf	5421519	1002,5
Bielatal 1	53713253	854,5
Bischofswerda	53716339	909,6
Bobenneukirchen	56614659	799,6
Burkersdorf 2	5421455	1040,9
Burkhardttsdorf 2	5418151	1046,1
Buschmühle	53711853	955,6
Cämmerswalde	54268161	1068,6
Chemnitz 1	54189511	932,2
Cranzahl	5426243	1084,2
Cunnersdorf 1	537132859	875,0
Deutschgeorgenthal 2	54268121	1087,7
Dippoldiswalde 1	53722511	1028,3
Dohna	53718979	896,5
Drehsa	5822865	739,9

Auswahl nach Kreisen

Auswahl nach Flussgebieten

- Mulde
- Neiße
- Obere Elbe
- Schwarze Elster
- Sonstige Gebiete
- Spree
- Weißer Elster

Maßstab = 1 : 2.000.000

P in mm/a

- >750 - 850
- >850 - 950
- >950 - 1050
- >1050

TOP-Karte
 Kreise
 Flussgebiete

Geobasisdaten © 2008; GeoSN Herausgeber © 2012, LfULG 2012; Entwickler © 2012, TU Dresden IHM

Gebietscharakteristik	
Pegelname: Chemnitz 1	
Untersuchungszeitraum: 1/1951-12/2005	
Gewässername: Chemnitz	
Fläche: 403,0km ²	
Speicherkonstanten der Grundwasserspeicher: schnell (CG1) 10 d langsam (CG2) 370 d	
Speichergrenzwert(SG1Grenz): 31 mm	
hydrogeologische Einheit: Metamorphite Schiefer	

[Anzeige Bilanz](#)
[Zoom Gebiet](#)

Was wird gerade angezeigt?	
Wasserhaushaltskomponente Niederschlag P	
Der Niederschlag entspricht dem korrigierten gemessenen Niederschlag, wenn er in flüssiger Form fällt. Wenn der Niederschlag in fester Form fällt, entspricht er dem zeitlich verschobenen abfließenden Schmelzwasser aus dem Schneespeicher.	
Ist-Zustand 1951-2005:	
Innerhalb des Zeitraums 1951-2005 liegen in den Pegelinzugsgebieten unterschiedlich lange Messreihen vor, sodass der angegebene Mittelwert je Gebiet aus unterschiedlich vielen Jahreswerten berechnet wird. Die Berechnung findet immer für den größtmöglichen Bilanzierungszeitraum statt.	

Abbildung 35: Internetseite Säule A – Analyse; Darstellung der Auswahlliste der sächsischen Flussgebiete für die Selektion eines Einzugsgebietes

Wird die Auswahl „Pulsnitz“ durch Mausklick bestätigt, erscheint die in Abbildung 36 zu sehende Darstellung. Im linksseitigen Auswahlfenster sind alle analysierten Gebiete aufgeführt, die für die Pulsnitz existieren. Im speziellen Fall ist es nur ein Gebiet, nämlich das gesuchte „Königsbrück“. Wird dieses durch Enter ausgewählt, zoomt die Karte auf das gewählte Gebiet und hebt es hervor.

Mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag 1951-2005

- Home
- Wasserhaushaltskomponenten
- Gebietsauswahl
- Regionalisierung
- Download
- Rücksetzen
- Methodik
- Hilfe
- Info

Auswahl aus Karte		
Einzugsgebiete	▲ GWKZ ▲	mm/a
Königsbrück	5382313	858,7

Gebietscharakteristik

Pegelsname: Königsbrück
 Untersuchungszeitraum: 1/1951-12/2005
 Gewässername: Pulsnitz
 Fläche: 92,4km²
 Speicherkonstanten der Grundwasserspeicher:
 schnell (CG1) 11 d
 langsam (CG2) 360 d
 Speichergrenzwert(SG1Grenz): 7 mm
 hydrogeologische Einheit:
 Magmatisches Tiefengestein

[Anzeige Bilanz](#) [Zoom Gebiet](#)

Was wird gerade angezeigt?
 Wasserhaushaltskomponente Niederschlag P
 Der Niederschlag entspricht dem korrigierten gemessenen Niederschlag, wenn er in flüssiger Form fällt. Wenn der Niederschlag in fester Form fällt, entspricht er dem zeitlich verschobenen abfließenden Schmelzwasser aus dem Schneespeicher.
Ist-Zustand 1951-2005:
 Innerhalb des Zeitraums 1951-2005 liegen in den Pegelinzugsgebieten unterschiedlich lange Messreihen vor, sodass der angegebene Mittelwert je Gebiet aus unterschiedlich vielen Jahreswerten berechnet wird. Die Berechnung findet immer für den größtmöglichen Bilanzierungszeitraum statt.

Abbildung 36: Internetseite Säule A – Analyse; Darstellung der Größe mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag am Beispiel des DIFGA-Gebietes Königsbrück nach Flussgebietsselektion

Eine weitere Möglichkeit zur Gebietsauswahl besteht in der Auswahl nach Kreisen (siehe Abbildung 37). Wird hier der Landkreis Bautzen selektiert, erscheinen im Kartenfenster alle analysierten Einzugsgebiete dieses Kreises, was durch die Option im Legendenbereich zur Darstellung der Kreisgrenzen gut sichtbar gemacht werden kann. Im Auswahlfenster werden alle im Landkreis gelegenen analysierten Gebiete aufgelistet und das Gebiet Königsbrück kann gewählt werden.

Mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag 1951-2005

[Home](#)
[Wasserhaushaltskomponenten](#)
[Gebietsauswahl](#)
[Regionalisierung](#)
[Download](#)
[Rücksetzen](#)
[Methodik](#)
[Hilfe](#)
[Info](#)

Auswahl		
alle DIFGA-Gebiete		
Einzugsgebiete	▲ GWKZ ▲	mm/a
Adorf	5661311	874,7
Altchemnitz 1	54181995	1017,6
Ammelsdorf	53721319	1070,5
Annaberg 1	5426255	1049,5
Aue 1	5412991	1109,6
Bad Elster 1	56611313	818,4
Bärenfels	53722219	1123,4
Bautzen-Weite Bleiche	5821951	872,8
Berthelsdorf	5421519	1002,5
Bielatal 1	53713253	854,5
Bischofswerda	53716339	909,6
Bobenneukirchen	56614659	799,6
Burkersdorf 2	5421455	1040,9
Burkhardtshof 2	5418151	1046,1
Buschmühle	53711853	955,6
Cämmerswalde	54268161	1068,6
Chemnitz 1	54189511	932,2
Cranzahl	5426243	1084,2
Cunnersdorf 1	537132859	875,0
Deutschgeorgenthal 2	54268121	1087,7
Dippoldiswalde 1	53722511	1028,3
Dohna	53718979	896,5
Drehsa	5822865	739,9

Auswahl nach Kreisen

Auswahl nach Flussgebieten

- Chemnitz, Kreisfreie Stadt
- Erzgebirgskreis
- Mittelsachsen
- Vogtlandkreis
- Zwickau
- Dresden, Kreisfreie Stadt
- Bautzen
- Görlitz
- Meißen
- Sächsische Schweiz-Osterzgebirge
- Leipzig, Kreisfreie Stadt
- Leipzig
- Nordsachsen

Maßstab = 1 : 2.000.000

Geobasisdaten © 2008; GeoSN Herausgeber © 2012, LfULG 2012; Entwickler © 2012, TU Dresden IHM

Gebietscharakteristik	
Pegelname:	Chemnitz 1
Untersuchungszeitraum:	1/1951-12/2005
Gewässername:	Chemnitz
Fläche:	403,0km ²
Speicherkonstanten der Grundwasserspeicher:	schnell (CG1) 10 d langsam (CG2) 370 d
Speichergrenzwert(SG1Grenz):	31 mm
hydrogeologische Einheit:	Metamorphite Schiefer

[Anzeige Bilanz](#)
[Zoom Gebiet](#)

Was wird gerade angezeigt?	
Wasserhaushaltskomponente	Niederschlag P
Der Niederschlag entspricht dem korrigierten gemessenen Niederschlag, wenn er in flüssiger Form fällt. Wenn der Niederschlag in fester Form fällt, entspricht er dem zeitlich verschobenen abfließenden Schmelzwasser aus dem Schneespeicher.	
Ist-Zustand 1951-2005:	Innerhalb des Zeitraums 1951-2005 liegen in den Pegelinzugsgebieten unterschiedlich lange Messreihen vor, sodass der angegebene Mittelwert je Gebiet aus unterschiedlich vielen Jahreswerten berechnet wird. Die Berechnung findet immer für den größtmöglichen Bilanzierungszeitraum statt.

Abbildung 37: Internetseite Säule A – Analyse; Darstellung der Auswahlliste der sächsischen Landkreise für die Selektion eines Einzugsgebietes

Eine weitere Alternative zur Gebietsauswahl besteht darin, direkt auf dem Startbildschirm der Säule A in den Auswahlbereich zu gehen und in der linksseitigen Tabelle „alle DIFGA-Gebiete“ bis zum gewünschten Gebiet zu scrollen. Anwender, die die Lage des gesuchten Gebietes kennen, können dieses auch durch direkten Klick auf die interaktive Karte selektieren. Zur besseren Orientierung kann ggf. die Darstellung der topografischen Karte im Legendenpanel aktiviert werden.

Die im Kartenbereich visualisierte Größe kann mit dem Button „Wasserhaushaltskomponenten“ verändert werden (siehe Abbildung 38). Diese Auswahl kann jederzeit getroffen werden, z. B. bereits im Startfenster oder erst nach der Festlegung eines Gebietes.

Mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag 1951-2005

Home Wasserhaushaltskomponenten Gebietsauswahl Regionalisierung Download Rücksetzen Methodik Hilfe Info

<ul style="list-style-type: none"> Niederschlag P Grundwasserzuflüsse RG1 + RG2 Zufluss zum schnellen Grundwasserabflussspeicher RG1 Einzel Zufluss zum langsamen Königsbrück Grundwasserabflussspeicher RG2 Zufluss zum Direktabflussspeicher RD Verdunstung als Bilanzrest ETR Schneller Grundwasserabfluss QG1 Langsamer Grundwasserabfluss QG2 Direktabfluss QD Gesamtabfluss Q Rückgangskonstante der schnellen Abflusskomponente CG1 Rückgangskonstante der langsamen Abflusskomponente CG2 Speicherbegrenzung Zufluss Speicher schnellere Abflusskomponente SG1Grenz 		<p>P in mm/a</p> <ul style="list-style-type: none"> <=650 >650 - 750 >750 - 850 >850 - 950 >950 - 1050 >1050 <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> TOP-Karte <input type="checkbox"/> Kreise <input type="checkbox"/> Flussgebiete
---	--	--

<p>Gebietscharakteristik</p> <p>Pegelname: Königsbrück Untersuchungszeitraum: 1/1951-12/2005 Gewässername: Pulsnitz Fläche: 92,4km² Speicherkonstanten der Grundwasserspeicher: schnell (CG1) 11 d langsam (CG2) 360 d Speichergrenzwert(SG1Grenz): 7 mm hydrogeologische Einheit: Magmatisches Tiefengestein</p> <p style="text-align: center;"> <input type="button" value="Anzeige Bilanz"/> <input type="button" value="Zoom Gebiet"/> </p>	<p>Was wird gerade angezeigt?</p> <p>Wasserhaushaltskomponente Niederschlag P</p> <p>Der Niederschlag entspricht dem korrigierten gemessenen Niederschlag, wenn er in flüssiger Form fällt. Wenn der Niederschlag in fester Form fällt, entspricht er dem zeitlich verschobenen abfließenden Schmelzwasser aus dem Schneespeicher.</p> <p>Ist-Zustand 1951-2005:</p> <p>Innerhalb des Zeitraums 1951-2005 liegen in den Pegelinzugsgebieten unterschiedlich lange Messreihen vor, sodass der angegebene Mittelwert je Gebiet aus unterschiedlich vielen Jahreswerten berechnet wird. Die Berechnung findet immer für den größtmöglichen Bilanzierungszeitraum statt.</p>
---	---

Abbildung 38: Internetseite Säule A – Analyse; aufgeblätterte Liste zeigt zur Auswahl stehende Wasserhaushaltskomponenten

Nach der Gebietsauswahl besteht die Möglichkeit, Ergebnisse zu visualisieren bzw. einen Download von Dateien zu starten. Für die Kartendarstellung empfiehlt es sich, durch Betätigung des Schalters „Zoom Gebiet“ im Fenster „Gebietscharakteristik“ das Einzugsgebiet in der maximalen Auflösung darzustellen. Dies zeigt für Königsbrück die Abbildung 39, wobei in dieser Ansicht beispielhaft die topografische Karte mit eingeblendet ist. Durch schrittweise Auswahl der Wasserhaushaltskomponenten lassen sich alle Jahressummen der einzelnen Wasserhaushaltsgrößen bzw. die Gebietswerte für die SLOWCOMP-Parameter anzeigen. Die exakten Werte stehen jeweils in der Tabelle im Auswahlfenster. Weil diese Informationen oft nicht ausreichen, kann als nächster Schritt der Button „Anzeige Bilanz“ links unten im Bereich „Gebietscharakteristik“ genutzt werden.

Mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag 1951-2005

[Home](#)
[Wasserhaushaltskomponenten](#)
[Gebietsauswahl](#)
[Regionalisierung](#)
[Download](#)
[Rücksetzen](#)
[Methodik](#)
[Hilfe](#)
[Info](#)

Auswahl aus Karte		
Einzugsgebiete ▲ GWKZ ▲ mm/a		
Königsbrück 5382313 858,7		
[Anzeige Bilanz] [Zoom Gebiet]		

Geobasisdaten © 2008; GeoSN Herausgeber © 2012, LfULG 2012; Entwickler © 2012, TU Dresden IHM

P in mm/a

- <=650
- >650 - 750
- >750 - 850
- >850 - 950
- >950 - 1050
- >1050

TOP-Karte
 Kreise
 Flussgebiete

<p>Gebietscharakteristik</p> <p> Pegelname: Königsbrück Untersuchungszeitraum: 1/1951-12/2005 Gewässername: Pulsnitz Fläche: 92,4km² Speicherkonstanten der Grundwasserspeicher: schnell (CG1) 11 d langsam (CG2) 360 d Speichergrenzwert(SG1Grenz): 7 mm hydrogeologische Einheit: Magmatisches Tiefengestein </p> <p> Anzeige Bilanz Zoom Gebiet </p>	<p>Was wird gerade angezeigt?</p> <p>Wasserhaushaltskomponente Niederschlag P</p> <p>Der Niederschlag entspricht dem korrigierten gemessenen Niederschlag, wenn er in flüssiger Form fällt. Wenn der Niederschlag in fester Form fällt, entspricht er dem zeitlich verschobenen abfließenden Schmelzwasser aus dem Schneespeicher.</p> <p>Ist-Zustand 1951-2005:</p> <p>Innerhalb des Zeitraums 1951-2005 liegen in den Pegelinzugsgebieten unterschiedlich lange Messreihen vor, sodass der angegebene Mittelwert je Gebiet aus unterschiedlich vielen Jahreswerten berechnet wird. Die Berechnung findet immer für den größtmöglichen Bilanzierungszeitraum statt.</p>
---	---

Abbildung 39: Internetseite Säule A – Analyse; Darstellung der Größe mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag am Beispiel von Königsbrück nach dem Zoom auf das Einzugsgebiet

Nach der Anweisung „Anzeige Bilanz“ wechselt die Anwendung zu einer neuen Seite (siehe Abbildung 40). Dargestellt wird im zentralen Bereich eine Tabelle, die die mittlere monatliche, halbjährliche und jährliche Wasserhaushaltsbilanz enthält. Diese Bilanz basiert auf den beiden im Kapitel 3.1 genannten Bilanzgleichungen.

Gebietscharakteristik

Pegelsname: Königsbrück
 Untersuchungszeitraum: 1/1951-12/2005
 Gewässername: Pulsnitz
 Fläche: 92,4km²
 Speicherkonstanten der Grundwasserspeicher:
 schnell (CG1) 11 d
 langsam (CG2) 360 d
 Speichergrenzwert(SG1Grenz): 7 mm
 hydrogeologische Einheit:
 Magmatisches Tiefengestein

Downloads

[Endbilanz\(.pdf\)](#)
[monatliche Bilanz\(.pdf\)](#)
[monatliche Bilanz\(.dbf\)](#)

mittlere Bilanz

Monatsmittel in mm/Monat:

Monat	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	DEF	REST
1	69,6	14,6	14,7	5,9	30,6	10,2	14,5	5,9	0,0	34,5
%	100,0	21,0	21,0	8,5	100,0	33,4	47,3	19,3	0,0	49,5
2	57,9	13,1	13,2	5,3	29,0	9,7	14,0	5,3	0,0	26,3
%	100,0	22,6	22,9	9,1	100,0	33,6	48,3	18,2	0,0	45,4
3	69,4	9,6	19,2	6,1	35,0	10,7	18,2	6,1	0,0	34,7
%	100,0	13,8	27,6	8,7	100,0	30,7	52,0	17,3	0,0	49,9
4	63,3	3,9	10,6	3,6	27,0	10,1	13,4	3,6	0,0	45,2
%	100,0	6,1	16,7	5,6	100,0	37,3	49,6	13,2	0,0	71,5
5	76,9	0,7	5,6	3,8	20,9	9,7	7,4	3,8	0,0	66,8
%	100,0	1,0	7,3	5,0	100,0	46,4	35,3	18,3	0,0	86,8
6	78,7	1,8	3,1	3,5	16,2	8,7	4,0	3,5	0,0	70,3
%	100,0	2,3	3,9	4,5	100,0	53,4	24,9	21,7	0,1	89,4
7	96,0	6,8	3,5	5,1	17,0	8,5	3,4	5,1	0,1	80,6
%	100,0	7,1	3,7	5,3	100,0	50,1	19,9	30,0	0,1	84,0
8	82,1	10,5	2,5	3,9	15,3	8,5	2,9	3,9	0,1	65,1
%	100,0	12,8	3,1	4,7	100,0	55,7	18,8	25,4	0,1	79,4
9	64,1	10,2	3,6	2,6	14,2	8,5	3,1	2,6	0,0	47,7
%	100,0	15,8	5,7	4,1	100,0	59,8	22,0	18,4	0,1	74,4
10	56,5	10,0	6,0	2,6	16,6	8,9	5,1	2,6	0,0	37,9
%	100,0	17,7	10,6	4,6	100,0	53,7	30,8	15,7	0,0	67,0
11	65,5	13,5	8,8	3,1	19,7	8,9	7,7	3,1	0,0	40,2
%	100,0	20,7	13,4	4,7	100,0	45,0	39,4	15,6	0,0	61,3
12	78,7	17,7	14,7	5,8	27,6	9,7	12,1	5,9	0,0	40,4
%	100,0	22,5	18,7	7,5	100,0	35,1	43,6	21,3	0,0	51,3

Winterhalbjahressumme in mm/ 6 Monate: (330 Monate)

	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	DEF	REST
	404,4	72,4	81,1	29,8	168,8	59,3	79,8	29,8	0,0	221,2
%	100,0	17,9	20,1	7,4	100,0	35,1	47,3	17,6	0,0	54,7

Größen

P - Gebietsmittel des korrigierten Niederschlags/ Schneeschmelze
 RG1 - Zufluss zum Speicher der schnelleren unterirdischen Abflusskomponente
 RG2 - Zufluss zum Speicher der langsamsten unterirdischen Abflusskomponente
 RD - Zufluss zum Speicher der schnellen Abflusskomponenten
 QG1 - schnellere unterirdische Abflusskomponente
 QG2 - langsamste unterirdische Abflusskomponente
 QD - schnelle Abflusskomponenten
 DEF - Defizit, das entsteht, wenn auf Grund der Separation aus den Speichern mehr Abfluss modelliert wird als tatsächlich gemessen wird, entsteht z. B. durch Zehrung
 REST - verbleibender verdunstungswirksamer Anteil P-RG1-RG2-RD, der nicht abflusswirksam wird

Abbildung 40: Internetseite Säule A – Analyse; Darstellung der Wasserhaushaltsbilanz für das Gebiet Königsbrück

In der linken unteren Ecke befindet sich der Bereich „Downloads“. Hier kann über „Endbilanz.pdf“ der Download der mittleren Wasserhaushaltsbilanz für das jeweilige ausgewählte Einzugsgebiet erfolgen (siehe Abbildung 40). Zusätzlich wird eine aktuelle monatliche Bilanz bereitgestellt. Die Daten können als pdf-File (siehe Abbildung 41) und/oder dbase-Datei (siehe Abbildung 42) heruntergeladen werden. Über den in der Kopfzeile befindlichen Button „monatliche Bilanz“ kann diese aktuelle Bilanz auch auf dem Bildschirm angezeigt werden. Ein weiterer Schalter „Hydrogeologische Analyse“ ermöglicht eine Darstellung einer Karte der hydrogeologischen Einheiten für das ausgewählte Gebiet (siehe Abbildung 43). Diese Einheiten verkörpern die Gebietseigenschaft, auf deren Basis die SLOWCOMP-Parameter CG2, CG1 und SG1Grenz berechnet werden. Die Werte dieser Parameter und die maßgebliche hydrogeologische Einheit enthält das auf der rechten Seite befindliche Fenster „Gebietscharakteristik“.

DIFGA 2000: MITTLERE WASSERHAUSHALTSBILANZ
Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie

Gewässer: Pulsnitz, Pegel: Königsbrück
Einzugsgebietsfläche: 92,4 km²
Lithofazieseinheit: Magmatisches Tiefengestein
CG2: 360 d, CG1: 11 d, SG1grenz: 7,0 mm
Reihe von 11/1911 bis 10/2007, Bilanzierung von 01/1951 bis 12/2005
Angaben zum Niederschlag:
Angaben zur Schneeschmelze:

Monatsmittel aller Summen in mm/Monat:											Koenigsbr	
P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	Rest			
1	69,6	14,6	14,7	5,9	30,6	10,2	14,5	5,9	0,0	34,5		
§	100,0	21,0	21,0	8,5	100,0	33,3	47,4	19,3	0,0	49,5		
2	57,9	13,1	13,2	5,3	29,0	9,7	14,0	5,3	0,0	26,3		
§	100,0	22,6	22,9	9,1	100,0	33,6	48,3	18,2	0,0	45,4		
3	69,4	9,6	19,2	6,0	35,0	10,7	18,2	6,0	0,0	34,7		
§	100,0	13,8	27,6	8,7	100,0	30,7	52,0	17,3	0,0	49,9		
4	63,3	3,9	10,6	3,6	27,0	10,1	13,4	3,6	0,0	45,2		
§	100,0	6,1	16,7	5,6	100,0	37,3	49,5	13,2	0,0	71,5		
5	76,9	0,7	5,6	3,8	20,9	9,7	7,4	3,8	0,0	66,8		
§	100,0	1,0	7,3	5,0	100,0	46,4	35,3	18,3	0,1	86,8		
6	78,7	1,8	3,1	3,5	16,2	8,7	4,0	3,5	0,0	70,3		
§	100,0	2,3	3,9	4,5	100,0	53,4	24,9	21,7	0,3	89,4		
7	96,0	6,8	3,5	5,1	17,0	8,5	3,4	5,1	0,1	80,6		
§	100,0	7,1	3,7	5,3	100,0	50,1	19,9	30,0	0,9	84,0		
8	82,1	10,5	2,5	3,9	15,3	8,5	2,9	3,9	0,1	65,1		
§	100,0	12,8	3,1	4,7	100,0	55,8	18,8	25,4	0,7	79,4		
9	64,1	10,2	3,7	2,6	14,2	8,5	3,1	2,6	0,0	47,7		
§	100,0	15,8	5,7	4,1	100,0	59,7	21,9	18,4	0,3	74,4		
10	56,5	10,0	6,0	2,6	16,6	8,9	5,1	2,6	0,0	37,9		
§	100,0	17,7	10,6	4,6	100,0	53,6	30,7	15,6	0,1	67,0		
11	65,5	13,5	8,8	3,1	19,7	8,9	7,7	3,1	0,0	40,2		
§	100,0	20,7	13,4	4,7	100,0	45,0	39,3	15,6	0,0	61,3		
12	78,7	17,7	14,7	5,9	27,6	9,7	12,1	5,9	0,0	40,4		
§	100,0	22,5	18,7	7,5	100,0	35,1	43,7	21,3	0,0	51,3		

Winterhalbjahressumme in mm/6 Monate (330 Monate): Koenigsbr

P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	Rest	
404,4	72,4	81,1	29,7	168,8	59,3	79,8	29,7	0,0	221,2	
§	100,0	17,9	20,1	7,4	100,0	35,1	47,3	17,6	0,0	54,7

Sommerhalbjahressumme in mm/6 Monate ((330 Monate): Koenigsbr

P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	Rest	
454,3	40,0	24,4	21,5	100,1	52,7	25,9	21,5	0,4	368,4	
§	100,0	8,8	5,4	4,7	100,0	52,7	25,8	21,5	0,4	81,1

Jahressumme in mm/a (660 Monate): Koenigsbr

P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	ETR	
858,7	112,4	105,5	51,2	269,0	112,0	105,7	51,2	0,4	589,6	
§	100,0	13,1	12,3	6,0	100,0	41,7	39,3	19,1	0,1	68,7

(das hydrologische Jahr geht vom 01.11. bis zum 31.10.)

DIFGA 2000: MITTLERE WASSERHAUSHALTSBILANZ
Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie

Gewässer: Pulsnitz, Pegel: Königsbrück
Einzugsgebietsfläche: 92,4 km²
Lithofazieseinheit: Magmatisches Tiefengestein
CG2: 360 d, CG1: 11 d, SG1grenz: 7,0 mm
Reihe von 11/1911 bis 10/2007, Bilanzierung von 01/1951 bis 12/2005
Angaben zum Niederschlag:
Angaben zur Schneeschmelze:

Endbilanz der Monatssummen in mm											Koenigsbr	
Monat	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	Rest		
01/1951	85,2	0,0	8,4	12,4	28,4	7,8	8,2	12,4	0,0	64,4		
02/1951	38,6	0,0	7,1	1,5	13,7	6,5	5,7	1,5	0,0	30,0		
03/1951	50,0	0,0	11,2	4,0	22,0	6,6	11,4	4,0	0,0	34,8		
04/1951	63,0	0,0	7,0	1,2	13,0	5,9	6,0	1,2	0,0	54,9		
05/1951	63,0	0,0	5,2	2,5	16,3	5,6	8,3	2,5	0,0	55,3		
06/1951	139,1	0,0	3,5	3,1	11,2	5,0	3,1	3,1	0,0	132,5		
07/1951	74,2	0,0	1,2	1,4	8,5	4,7	2,3	1,4	0,0	71,5		
08/1951	52,1	0,0	0,0	4,6	9,4	4,3	0,5	4,6	0,0	47,5		
09/1951	38,0	7,5	2,5	2,1	7,9	4,1	1,8	2,1	0,0	25,9		
10/1951	29,6	4,6	6,4	1,6	12,5	4,5	6,3	1,6	0,0	17,0		
Summe												
§												
11/1951	105,6	10,9	4,5	2,4	9,7	4,5	2,8	2,4	0,0	87,8		
12/1951	34,5	12,7	11,6	0,7	16,2	5,3	10,2	0,7	0,0	9,5		
01/1952	84,9	14,3	3,8	1,9	14,8	6,0	7,0	1,9	0,0	64,9		
02/1952	62,3	13,9	16,5	5,3	22,1	6,3	10,5	5,3	0,0	26,5		
03/1952	61,1	16,2	12,9	1,8	19,6	7,0	10,8	1,8	0,0	30,2		
04/1952	19,5	0,0	3,8	3,2	21,0	7,2	10,5	3,2	0,0	12,4		
05/1952	102,3	0,0	4,9	2,1	14,2	6,9	5,2	2,1	0,0	95,3		
06/1952	79,8	0,0	1,8	2,8	12,2	6,1	3,2	2,8	0,0	75,1		
07/1952	34,5	0,0	0,3	0,7	7,2	5,8	0,7	0,7	0,0	33,5		
08/1952	74,8	2,5	0,9	0,7	6,5	5,2	0,6	0,7	0,2	70,6		
09/1952	152,1	9,9	8,2	4,0	14,9	5,5	5,4	4,0	0,0	130,0		
10/1952	83,0	13,3	12,3	1,6	18,5	6,0	10,9	1,6	0,0	55,7		
Summe	894	94	82	27	177	72	78	27	0	692		
§	100,0	10,5	9,1	3,1	100,0	40,5	44,0	15,5	0,1	77,3		
11/1952	81,7	4,6	18,9	3,2	27,4	6,2	18,0	3,2	0,0	55,0		
12/1952	34,1	0,0	9,7	1,4	19,0	5,9	11,7	1,4	0,0	23,0		
01/1953	78,5	27,8	27,9	11,7	31,6	6,0	13,8	11,7	0,0	11,1		
02/1953	47,1	9,1	17,3	5,2	39,6	6,8	27,6	5,2	0,0	15,5		
03/1953	40,8	0,0	15,3	1,7	25,4	7,4	19,3	1,7	0,0	23,8		
04/1953	30,0	0,0	3,2	0,8	13,4	6,6	6,0	0,8	0,0	26,0		
05/1953	91,0	0,0	2,9	2,2	11,9	6,3	3,4	2,2	0,0	85,9		
06/1953	101,5	0,0	1,7	3,4	10,5	5,6	1,5	3,4	0,0	96,3		
07/1953	102,0	0,0	2,6	2,5	10,1	5,3	2,3	2,5	0,0	96,9		
08/1953	52,2	0,0	1,2	1,3	8,0	4,9	1,8	1,3	0,0	49,7		
09/1953	52,6	0,0	1,4	0,4	5,5	4,1	1,1	0,4	0,3	50,7		
10/1953	16,5	0,0	4,1	1,3	8,9	4,1	3,6	1,3	0,0	11,1		
Summe	728	41	106	35	214	69	110	35	0	543		
§	100,0	5,7	14,6	4,8	100,0	32,2	51,4	16,4	0,1	74,9		

(das hydrologische Jahr geht vom 01.11. bis zum 31.10.)

Abbildung 41: Ausgabedatei (pdf) der DIFGA-Analyse mit der mittleren Wasserhaushaltsbilanz (links) bzw. Auszug aus der Ausgabedatei (pdf) der DIFGA-Analyse mit den aktuellen monatlichen Wasserhaushaltskomponenten (rechts) für das Gebiet Königsbrück

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	MONAT,C,7	P,N,6,1	RG2,N,6,1	RG1,N,6,1	RD,N,6,1	Q,N,6,1	QG2,N,6,1	QG1,N,6,1	QD,N,6,1	DEF,N,6,1	REST,N,6,1	
2	01/1951	85,2	0	8,4	12,4	28,4	7,8	8,2	12,4	0	64,4	
3	02/1951	38,6	0	7,1	1,5	13,7	6,5	5,7	1,5	0	30	
4	03/1951	50	0	11,2	4	22	6,6	11,4	4	0	34,8	
5	04/1951	63	0	7	1,2	13	5,9	6	1,2	0	54,9	
6	05/1951	63	0	5,2	2,5	16,3	5,6	8,3	2,5	0	55,3	
7	06/1951	139,1	0	3,5	3,1	11,2	5	3,1	3,1	0	132,5	
8	07/1951	74,2	0	1,2	1,4	8,5	4,7	2,3	1,4	0	71,5	
9	08/1951	52,1	0	0	4,6	9,4	4,3	0,5	4,6	0	47,5	
10	09/1951	38	7,5	2,5	2,1	7,9	4,1	1,8	2,1	0	25,9	
11	10/1951	29,6	4,6	6,4	1,6	12,5	4,5	6,3	1,6	0	17	
12	11/1951	105,6	10,9	4,5	2,4	9,7	4,5	2,8	2,4	0	87,8	
13	12/1951	34,5	12,7	11,6	0,7	16,2	5,3	10,2	0,7	0	9,5	
14	01/1952	84,9	14,3	3,8	1,9	14,8	6	7	1,9	0	64,9	
15	02/1952	62,3	13,9	16,5	5,3	22,1	6,3	10,5	5,3	0	26,5	
16	03/1952	61,1	16,2	12,9	1,8	19,6	7	10,8	1,8	0	30,2	
17	04/1952	19,5	0	3,8	3,2	21	7,2	10,5	3,2	0	12,4	
18	05/1952	102,3	0	4,9	2,1	14,2	6,9	5,2	2,1	0	95,3	
19	06/1952	79,8	0	1,8	2,8	12,2	6,1	3,2	2,8	0	75,1	
20	07/1952	34,5	0	0,3	0,7	7,2	5,8	0,7	0,7	0	33,5	
21	08/1952	74,8	2,5	0,9	0,7	6,5	5,2	0,6	0,7	0,2	70,6	
22	09/1952	152,1	9,9	8,2	4	14,9	5,5	5,4	4	0	130	
23	10/1952	83	13,3	12,3	1,6	18,5	6	10,9	1,6	0	55,7	
24	11/1952	81,7	4,6	18,9	3,2	27,4	6,2	18	3,2	0	55	
25	12/1952	34,1	0	9,7	1,4	19	5,9	11,7	1,4	0	23	
26	01/1953	78,5	27,8	27,9	11,7	31,6	6	13,8	11,7	0	11,1	
27	02/1953	47,1	9,1	17,3	5,2	39,6	6,8	27,6	5,2	0	15,5	

Abbildung 42: Auszug aus der Ausgabedatei (dbase) der DIFGA-Analyse mit den aktuellen monatlichen Wasserhaushaltskomponenten für das Gebiet Königsbrück

Wird auf den Seiten mit einer Darstellung der Bilanz oder der hydrogeologischen Eigenschaft der Button „Zurück“ gedrückt, erfolgt wieder eine Darstellung wie in der Abbildung 36 ersichtlich. Hier führt der Schalter „Download“ zurück zum KliWES-Internetauftritt des LfULG. Dieser enthält u. a. den Downloadbereich (siehe Abbildung 44) des Wasserhaushaltsportals für die Säule A, der Daten bereitstellt, die sich für die Verarbeitung in einem GIS eignen. Über Shape-Files für die sieben Hauptflussgebiete lassen sich Informationen zu den langjährigen Mittelwerten der Wasserhaushaltsgrößen und den SLOWCOMP-Parametern für die mit DIFGA analysierten Gebiete herunterladen. Um für das Fallbeispiel Königsbrück die Shapes zu erhalten, müsste der Datensatz für das EZG Schwarze Elster heruntergeladen werden.

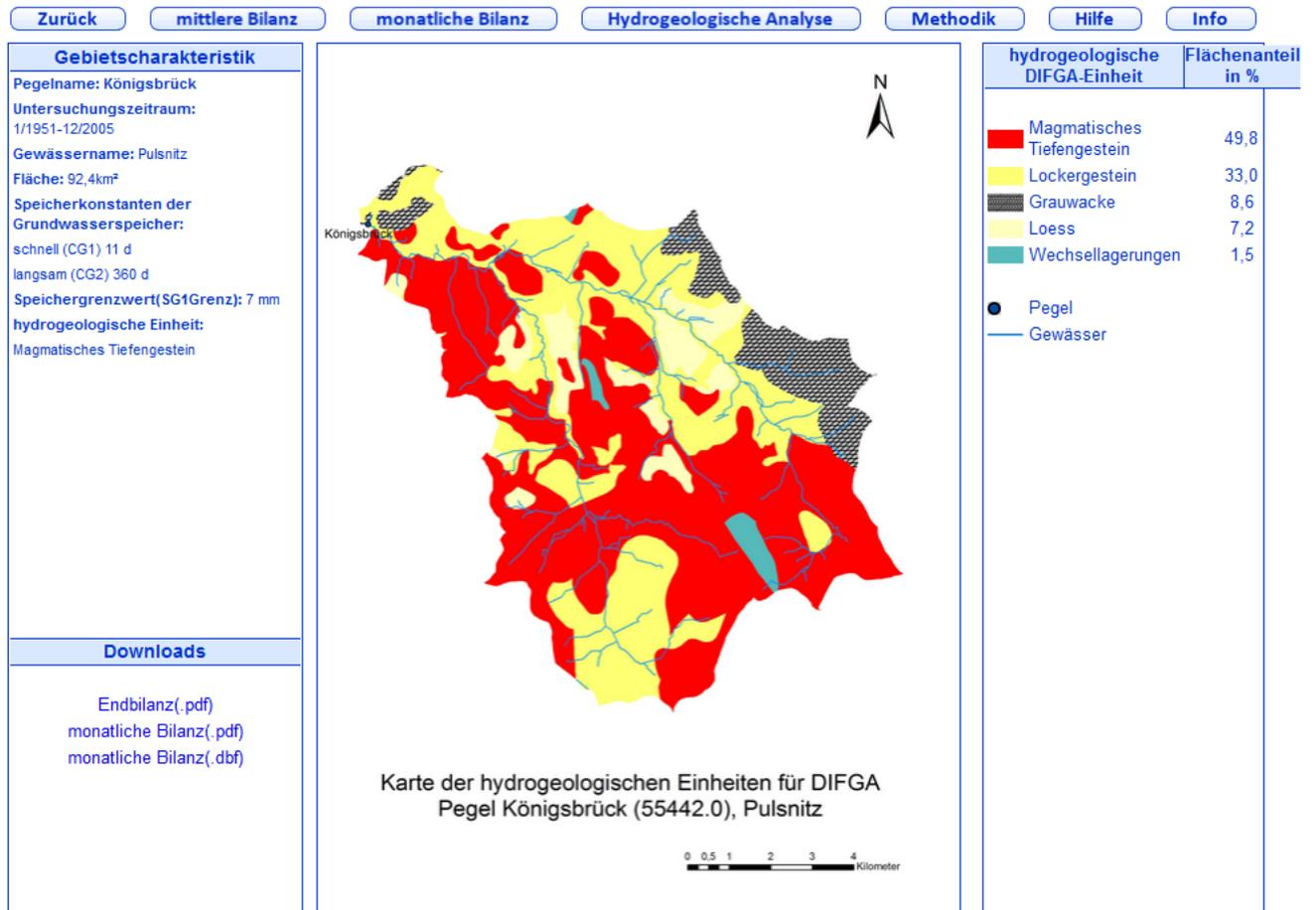


Abbildung 43: Darstellung der hydrogeologischen Einheiten für das DIFGA-Gebiet Königsbrück im Webaufrtritt der Säule A

Der zuvor dargestellte Ablauf verdeutlicht beispielhaft eine mögliche Gebiets- und Ergebnisauswahl im Bereich „Säule A – Ergebnisse der Analyse“ innerhalb des Wasserhaushaltsportals Sachsen. Das Portal bietet darüber hinaus noch viele weitere Informationen. Viele Querverlinkungen ermöglichen es, Schritte zu überspringen, zwischen Erklärungsbereichen und Bearbeitung zu wechseln etc. Weil diese Möglichkeiten auch für einen Anwender mit relativ geringer Interneterfahrung weitestgehend selbsterklärend sein sollten, wird an dieser Stelle aus Gründen der Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit auf eine explizite Darstellung weiterer Optionen verzichtet.

- sachsen.de ▾
- Umwelt ▾
- Wasser, Wasserwirtschaft ▾
- Recherchesystem - Säule A ▾
- ↳ Download

Download

Vorlesen

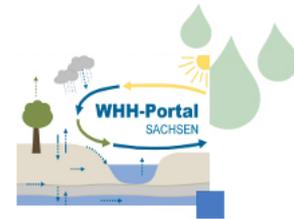
Ergebnisse Recheresystem - Säule A - Analyse

Die Ergebnisse der Analyse aus Säule A können einzugsgebietsweise heruntergeladen werden.
Die Shapefiles enthalten die Spalten

- GWKZ: Gewässerkennzahl des Analysegebiets
- NAME: Name des Analysegebiets bzw. Bezugspegels
- GEWAESSER: Name des Gewässers
- PEGELNR: Nummer des Bezugspegels
- DIFGAEINH: Dominante hydrogeologische Einheit
- AREA: Einzugsgebietsfläche [km²]
- SLOWCOMP-Konstanten CG1, CG2 [d] und SG1grenz [mm]
- mittlere jährliche Wasserhaushaltsgrößen P, RG1, RG2, RD, QG1, QG2, Q, REST und DEF [mm/a]
- Berechnungszeitraum VON-BIS

- ↳ EZG Mulde
[Download, *.Shapefile, 0,08 MB]
- ↳ EZG Neiße
[Download, *.Shapefile, 0,03 MB]
- ↳ EZG Obere Elbe
[Download, *.Shapefile, 0,11 MB]
- ↳ EZG Schwarze Elster
[Download, *.Shapefile, 0,04 MB]
- ↳ EZG Spree
[Download, *.Shapefile, 0,05 MB]
- ↳ EZG Weiße Elster
[Download, *.Shapefile, 0,05 MB]
- ↳ Sonstige Gebiete
[Download, *.Shapefile, 0,01 MB]

↑ zurück zum Seitenanfang



Ansprechpartner

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Referat 44: Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie
Holm Friese

☎ Telefon: (0351) 8928-4412
✉ E-Mail
🌐 www.smul.sachsen.de/fulg

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Referat 44: Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie
Karin Kuhn

☎ Telefon: (0351) 8928-4400
☎ Telefax: (0351) 8928-4099
✉ E-Mail
🌐 www.smul.sachsen.de/fulg

Schnellstart interaktive Karten

Abbildung 44: Ausschnitt des Downloadbereiches für die Ergebnisse der Analyse (Säule A)

Benötigt der Anwender Wasserhaushaltsdaten für Teileinzugsgebiete oder für Einzugsgebiete ohne DIFGA-Analyse, sollte in der Säule A des Wasserhaushaltsportals der Zugang über den Pfad „Ergebnisse der Regionalisierung – zur interaktiven Karte – Regionalisierung“ gewählt werden (siehe Abbildung 33). Über diesen Pfad erfolgt eine Weiterleitung zu der in Abbildung 45 dargestellten Internetseite des Portals. Der Seitenaufbau und die Funktionalität sind praktisch identisch mit denen auf der zuvor detailliert erläuterten Seite für die Analyseergebnisse. Auffälliger Unterschied ist die Verfügbarkeit von flächendeckenden Ergebnissen. Die räumliche Auflösung mit Ergebnissen für ca. 5.000 Teileinzugsgebiete ist hier deutlich höher.

Regionalisierter mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag 1951-2005

[Home](#)
[Wasserhaushaltskomponenten](#)
[Gebietsauswahl](#)
[Analyse](#)
[Download](#)
[Rücksetzen](#)
[Methodik](#)
[Hilfe](#)
[Info](#)

Auswahl		
Einzugsgebiete	▲ GWKZ ▲	mm/a
Aalgraben	5824866	7: ^
Abendbach	537334444	7: ^
Ableiter Senftenberger See	5381723	7: ^
Abrahamsbach	54128392	10
Abzugsgraben Kaditzer Flutrinne	5373132	6: ^
Abzugsgraben Klotzsche	53719692	7: ^
Albernauer Dorfbach	54117721	10
Alberodaer Bach	541332	9: ^
Albrechtsbach	5822881	7: ^
Albrechtsbach	5822883	7: ^
Albrechtsbach	5822885	6: ^
Albrechtsbach	5822887	6: ^
Albrechtsbach	5822889	6: ^
Altzunnewitzer Graben	582258	7: ^
Alte Bach	5373664	6: ^
Alte Elbe Axien	537936	6: ^
Alte Elbe Kathewitz	5373932	6: ^
Alte Elster	53815121	6: ^
Alte Luppe/Bauergraben	5669221	6: ^
Alte Mulde	549561	6: ^
Alte Schnauder	5665872	6: ^

Gebietscharakteristik	
Einzugsgebiet: Oberer Landgraben: unbekannt - unbekannt	
Gewässerkennzahl: 538166	
Fläche: 204,2km²	
Speicherkonstanten der Grundwasserspeicher: schnell (CG1) 0 d langsam (CG2) 0 d	
Speichergrenzwert(SG1Grenz): 0 mm	
hydrogeologische Einheit: Gewässer	
Zoom Gebiet	

Was wird gerade angezeigt?
Wasserhaushaltskomponente Niederschlag P
Es wird das langjährige Mittel (1951-2005) des regionalisierten Niederschlags dargestellt. Die Regionalisierung basiert auf korrigierten gemessenen Stationswerten.

Abbildung 45: Startseite des Internetauftritts der Säule A – Regionalisierung

Für das Fallbeispiel Königsbrück/Pulsnitz liegen Ergebnisse aus neun Teileinzugsgebieten vor. Die Gebietsauswahl erfolgt analog zu der für die Analyseite der Säule A dargelegten Vorgehensweise. Die Abbildung 46 zeigt als Beispiel die Selektion für das

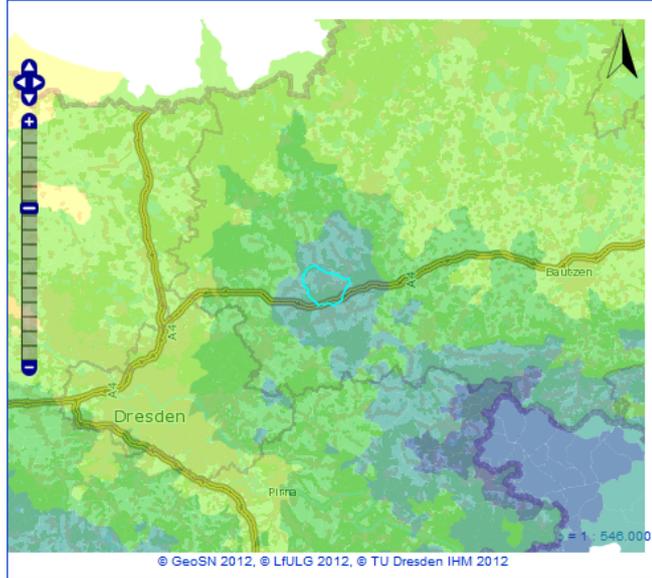
- Einzugsgebiet: Pulsnitz: Quelle - obh. Mdg. Hahneflüßchen
- Gewässerkennzahl: 538211
- Fläche: 16,5 km²
- Wasserhaushaltsgröße: mittlere Jahresniederschlagssumme

Alle weiteren Wasserhaushaltskomponenten und SLOWCOMP-Parameter können über die Auswahl-taste „Wasserhaushaltskomponenten“ angezeigt werden. Als Beispiel zeigt die Abbildung 47 die Angaben für die Speicherkonstante CG2 für das ausgewählte Teileinzugsgebiet mit der GWKZ 538211.

Regionalisierter mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag 1951-2005

Home Wasserhaushaltskomponenten Gebietsauswahl Analyse Download Rücksetzen Methodik Hilfe Info

Auswahl		
Einzugsgebiete	▲GWKZ▼	mm/a
Kieperbach	53826	67
Pulsnitz	53825	68
Otterbach	538249	70
Quosdorfer Graben	538242	70
Otterbach	538241	74
Pulsnitz	538239	68
Tannichtbach	538236	68
Pulsnitz	538235	70
Bohraer Wasser	538234	74
Pulsnitz	538233	70
Gräfenhainer Bach	538232	81
Pulsnitz	5382313	81
Pulsnitz	5382311	80
Haselbach	538229	82
Weißbach	538222	82
Haselbach	538221	82
Pulsnitz	538219	82
Pulsnitz	538213	80
Hahneflüßchen	538212	91
Pulsnitz	538211	82
Steggraben Arnsdorf	538192	70
Biehlen-Ruhlander-Binnengraben	538184	65



P in mm/a

- keine Angaben
- <=650
- >650 - 750
- >750 - 850
- >850 - 950
- >950 - 1050
- >1050

TOP-Karte

Kreise

Flussgebiete

Gebietscharakteristik

Einzugsgebiet: Pulsnitz: Quelle - obh. Mdg.
Hahneflüßchen
 Gewässerkennzahl: 538211
 Fläche: 16,5km²
 Speicherkonstanten der Grundwasserspeicher:
 schnell (CG1) 10 d
 langsam (CG2) 348 d
 Speichergrenzwert(SG1Grenz): 6 mm
 hydrogeologische Einheit:
 Magmatisches Tiefengestein

[Zoom Gebiet](#)

Was wird gerade angezeigt?

Wasserhaushaltskomponente Niederschlag P

Es wird das langjährige Mittel (1951-2005) des regionalisierten Niederschlags dargestellt. Die Regionalisierung basiert auf korrigierten gemessenen Stationswerten.

Abbildung 46: Internetseite Säule A – Regionalisierung; Darstellung des regionalisierten mittleren jährlichen korrigierten Niederschlags am Beispiel eines Teileinzugsgebietes der Pulsnitz

Regionalisierte Rückgangskonstante für den langsamen unterirdischen Abflussspeicher

[Home](#)
[Wasserhaushaltskomponenten](#)
[Gebietsauswahl](#)
[Analyse](#)
[Download](#)
[Rücksetzen](#)
[Methodik](#)
[Hilfe](#)
[Info](#)

Auswahl		
Einzugsgebiete	▲GWKZ▼	d
Kieperbach	53826	49
Pulsnitz	53825	52
Otterbach	538249	53
Quosdorfer Graben	538242	51
Otterbach	538241	50
Pulsnitz	538239	52
Tannichtbach	538236	50
Pulsnitz	538235	53
Bohraer Wasser	538234	50
Pulsnitz	538233	50
Gräfenhainer Bach	538232	35
Pulsnitz	5382313	35
Pulsnitz	5382311	35
Haselbach	538229	51
Weißbach	538222	35
Haselbach	538221	34
Pulsnitz	538219	51
Pulsnitz	538213	35
Hahneflüßchen	538212	35
Pulsnitz	538211	34
Sieggraben Arnsdorf	538192	53
Biehlen-Ruhlander-	538184	53

Gebietscharakteristik	
Einzugsgebiet: Pulsnitz: Quelle - obh. Mdg.	
Hahneflüßchen	
Gewässerkennzahl: 538211	
Fläche: 16,5km²	
Speicherkonstanten der Grundwasserspeicher:	
schnell (CG1) 10 d	
langsam (CG2) 348 d	
Speichergrenzwert(SG1Grenz): 6 mm	
hydrogeologische Einheit:	
Magmatisches Tiefengestein	
Zoom Gebiet	

Was wird gerade angezeigt?	
Rückgangskonstante der langsamen Abflusskomponente CG2	
CG2 stellt die Speicherkonstante für das Auslaufverhalten des Speichers der langsamen grundwasserbürtigen Abflusskomponente dar.	
Anmerkung:	
Sind keine Angaben vorhanden, bedeutet dies, dass entweder Karteninformationen fehlen oder die betreffenden Einzugsgebiete anthropogen beeinflusst oder Gewässer sind.	

Abbildung 47: Internetseite Säule A – Regionalisierung; Darstellung der regionalisierten Rückgangskonstante für den langsamen unterirdischen Abflussspeicher am Beispiel eines Teileinzugsgebietes der Pulsnitz

Weitere Visualisierungen von Ergebnissen sind im Bereich „Regionalisierung“ nicht vorgesehen. Der Zugang zu den Ergebnissen erfolgt primär über den Button „Download“. Wird dieser genutzt, erscheint die in der Abbildung 48 zu sehende Seite. Dort können sieben Shapes, entsprechend der Flusseinzugsgebiete mit ca. 5.000 Teileinzugsgebieten, mit den langjährigen Mittelwerten aller Wasserhaushaltsgrößen und Shapes für die SLOWCOMP-Parameter heruntergeladen werden.

Ergebnisse Recherchesystem - Säule A - Regionalisierung

Die Ergebnisse der Regionalisierung aus Säule A können einzugsgebietsweise heruntergeladen werden.
Die Shapefiles enthalten die Spalten

- GWKZ: Gewässerkennzahl des Gebietes
- NAME: Name des Gebietes (Gewässer- und Abschnittsbezeichnung)
- DIFGAEINH: Dominante hydrogeologische Einheit
- AREA: Einzugsgebietsfläche [m²]
- SLOWCOMP-Parameter CG1, CG2 [d] und SG1grenz [mm]
- mittlere jährliche Wasserhaushaltsgrößen P, RG1, RG2, RD und ETR [mm/a]

- ✦ EZG Mulde
[Download, *.Shapefile, 1,22 MB]
- ✦ EZG Neiße
[Download, *.Shapefile, 0,16 MB]
- ✦ EZG Obere Elbe
[Download, *.Shapefile, 0,94 MB]
- ✦ EZG Schwarze Elster
[Download, *.Shapefile, 0,37 MB]
- ✦ EZG Spree
[Download, *.Shapefile, 0,27 MB]
- ✦ EZG Weiße Elster
[Download, *.Shapefile, 0,88 MB]
- ✦ Sonstige Gebiete
[Download, *.Shapefile, 0,13 MB]

🏠 zurück zum Seitenanfang



weitere Wasserhaushaltsdaten

STOFFBILANZ

STOFFBILANZ ist ein Modell zur Quantifizierung diffuser Stoffverlagerungen in Wassereinzugsgebieten. Grundlage dieser Berechnung ist ein einfaches Wasserhaushaltsmodell. Die Wasserhaushaltsdaten aus diesem Modell können hier heruntergeladen werden.

Wasserhaushaltsdaten

- ✦ Ergebnisse Modell STOFFBILANZ
[Download, *.zip, 3,34 MB]

Abbildung 48: Ausschnitt des Downloadbereiches für die Ergebnisse der Regionalisierung (Säule A)

5.2.4 Anwendungsempfehlung und Zusammenfassung Säule A

Die Säule A hatte zum Ziel, Wasserhaushaltsangaben durch eine maximale Informationsausschöpfung von Daten des Routinemessdienstes bereitzustellen. Dies sollte zudem möglichst schnell geschehen, da die Bearbeitungszeit für das ganze Vorhaben KliWES sich über sieben Jahre erstreckte.

Die Ergebnisse der Wasserhaushaltsberechnungen in Säule A umfassen 114 Analysen des Istzustandes in Pegelinzugsgebieten für die Reihe 1951 bis 2005. Die Gebietsmittel des Wasserhaushaltes für die Komponenten P, RG2, RG1, RD, Q, GQ2, QG1, QD und REST bzw. ETR liegen für diese Gebiete in einer zeitlichen Auflösung Tag bis langjähriges Mittel vor, wobei über das Wasserhaushaltsportal aktuelle Monatssummen und alle abgeleiteten Mittelwerte bereitgestellt werden. Für jedes analysierte Gebiet existieren weiterhin Angaben zu den direkt aus den beobachteten Daten abgeleiteten Rückgangskonstanten und Speichergrenzwerten.

Nach der Fertigstellung der Säule B besteht das Anwendungsfeld für die Säule A vorrangig in der Recherche der pegelbezogenen, aus Beobachtungswerten abgeleiteten Wasserhaushaltskomponenten in den DIFGA-Gebieten. Diese Gebietsmittel sind sehr genau, weil sie aus umfassend geprüften Messdaten berechnet wurden. Sie eignen sich sehr gut für eine Kalibrierung und Validierung von Wasserhaushaltsmodellen. Weiterhin können die Parameter des Modells SLOWCOMP zur Parametrisierung von Wasserhaushaltsmodellen verwendet werden. Die in den analysierten Gebieten mit DIFGA ermittelten Parameter sind zuverlässig, weil sie direkt auf Messwerten basieren. Diese Aussage gilt auch für die regionalisierten Parameter, weil sie mit einem physikalisch begründeten Parametermodell aus Gebietsinformationen (hydrogeologische Einheiten, geomorphologische Parameter) objektiviert und reproduzierbar ableitbar sind.

Regionalisierte Wasserhaushaltskomponenten liegen in der Säule A für mittlere Jahressummen im Ist-Zustand 1951–2005 vor. Für diese Größen bietet die Säule B wesentlich detailliertere Ergebnisse, die zudem standortbezogen unter Verwendung gemessener bzw. projizierter klimatischer Inputs und unter Berücksichtigung einer großen Zahl von Gebietsinformationen (Geologie, Boden, Landnutzung, Morphologie etc.) mit einem Zeitschritt von einem Tag berechnet wurden. Insbesondere für unbeobachtete und nicht mit DIFGA analysierte

Gebiete sowie bei Aussagen für Teileinzugsgebiete ist deshalb den Wasserhaushaltskomponenten aus Säule B der Vorzug zu geben.

Diese Empfehlung gilt für die Flächen, für die Ergebnisse der Säule B vorliegen. Für den Elbeschlauch, die Braunkohlenabbaugebiete im Raum Leipzig bzw. Ostsachsen/Lausitz und Teile des Einzugsgebietes der Weißen Elster erfolgten keine Wasserhaushaltsberechnungen mit ArcEGMO. In diesen Regionen (mit Ausnahme der Tagebauflächen) können aus der Säule A zumindest regionalisierte langjährige Mittelwerte für den Wasserhaushalt entnommen werden. Dabei ist zu beachten, dass diese Werte speziell im unmittelbaren Umfeld der Kohleabbaugebiete eher einen unbeeinflussten Wasserhaushalt verkörpern, von dem der tatsächliche Wasserhaushalt, bedingt durch die Maßnahmen der bergbaulichen Wasserwirtschaft, u. U. stark abweichen kann. Für nahe der Elbe gelegene Flächen ist zu beachten, dass die Interaktion zwischen Oberflächen- und Grundwasser, die starke Auswirkungen auf den Wasserhaushalt dieser Areale haben kann, mit der Methodik von Säule A nicht abgebildet werden kann.

5.2.5 Säule B

Säule B erweitert das Angebot an Wasserhaushaltsgrößen neben einer Berechnung für den Istzustand um Ergebnisse für Klima- und Landnutzungsszenarien (HAUFFE et al. 2016). Die in der Web-GIS-Anwendung als primäres Recherchesystem für vorab berechnete sachsenweite Wasserhaushaltskomponenten enthaltenen Resultate basieren auf der Anwendung des Wasserhaushaltsmodells ArcEGMO (PFÜTZNER et al. 2007). Genauere Informationen zu den verwendeten Klima- und Landnutzungsszenarien finden sich unter Kapitel 4.1. Die Ergebnisse der Szenarioberechnungen können im Portal als Jahresmittelwerte der Wasserhaushaltsgrößen auf Teileinzugsgebietsebene visualisiert werden. Zusätzlich stehen aktuelle Monatswerte und Shape-Dateien für GIS-Anwendungen zum Download bereit. Zur Verdeutlichung der Auswirkungen der Klimaänderungen stehen Differenzkarten zur Verfügung. Abbildung 49 zeigt ein Beispiel für die prozentuale Abweichung der realen Verdunstung im Zeitraum 2071 bis 2100 vom Referenzzeitraum 1961 bis 1990.

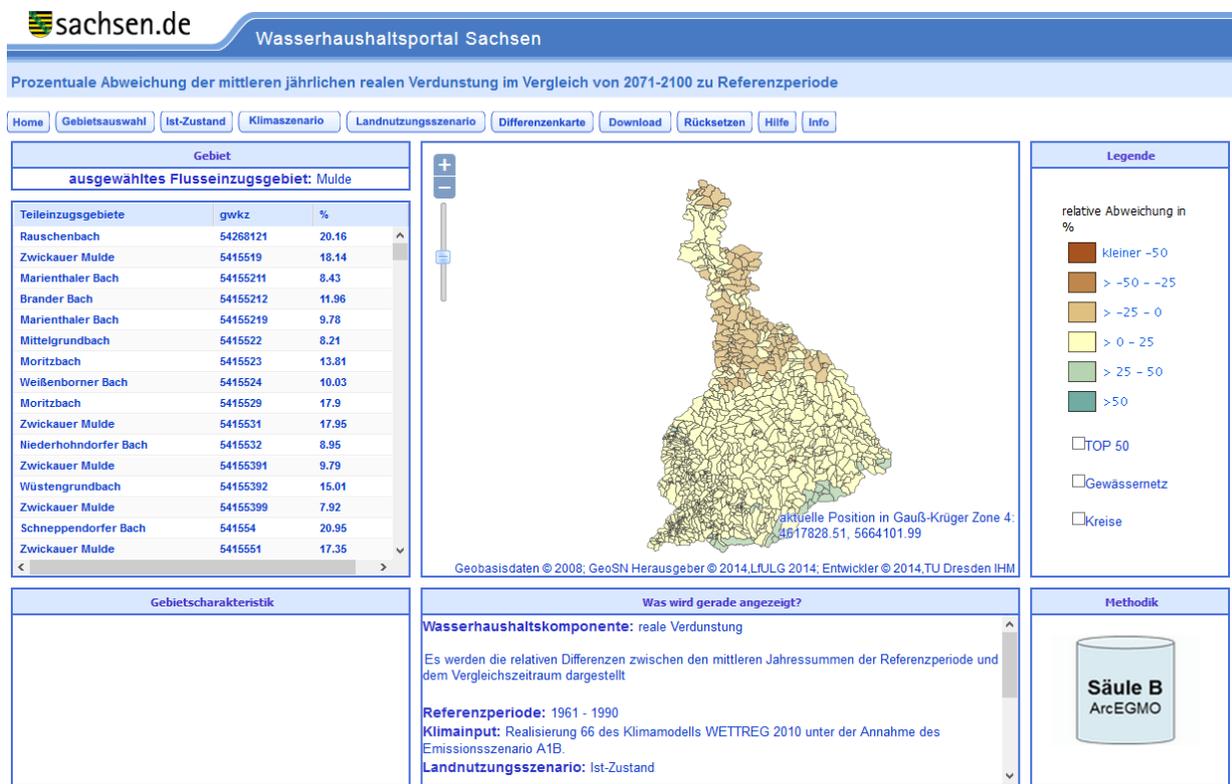


Abbildung 49: Prozentuale Abweichung der realen Verdunstung im Zeitraum 2071–2100 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990 für die WETTREG Realisierung 66 im Einzugsgebiet der Mulde

Dem Portal der Säule B können folgende Informationen entnommen werden:

- Darstellung der mittleren Jahressummen von Wasserhaushaltsgrößen je Teileinzugsgebiet in digitalen Karten (Tabelle 6)
 - Istzustand: Darstellung von mittleren Jahressummen (1961–2010) der Größen P, ETR, RS, RG1, RG2, R
 - Klimaszenarien: Darstellung von mittleren Jahressummen (1961–2100) der Größen P, ETR, RS, RG1, RG2, R unter Annahme
 - der Realisierung 00 von WETTREG2010
 - der Realisierung 66 von WETTREG2010
 - der Realisierung 99 von WETTREG2010
 - Landnutzungsszenarien: Darstellung von mittleren Jahressummen (1961–2100) der Größen P, ETR, RS, RG1, RG2, R unter Annahme der Realisierung 00 von WETTREG2010 und jeweils eines Landnutzungsszenarios
 - Differenzkarten: Darstellung von absoluten und relativen Differenzen der Größen P, ETR, RS und R unter Annahme der Realisierung 00 von WETTREG2010 zwischen den mittleren Jahressummen des Referenzzeitraumes (1961–1990) und
 - den mittleren Jahressummen von 1981–2010
 - den mittleren Jahressummen von 2021–2050
 - den mittleren Jahressummen von 2071–2100
- Download von Größen
 - Shapes, die die Teileinzugsgebiete und zugehörige mittlere Jahressummen der Wasserhaushaltsgrößen (P, ETR, RS, RG1, RG2, R) für den Istzustand, Klimaszenarien und Landnutzungsszenarien enthalten
 - aktuelle Monatssummen der Wasserhaushaltsgrößen (P, ETR, RS, RG1, RG2, R) des Istzustandes, der Klima- und Landnutzungsszenarien je Teileinzugsgebiete
 - aktuelle Monatswerte der Abflussgrößen QG1, QG2 und QS je DIFGA-Gebiet für den Istzustand und die Klimaszenarien

Die schnelle Abflusskomponente RS in der Säule B, zusammengesetzt aus dem mit ArcEGMO berechneten Oberflächenabfluss, hypodermischem Abfluss, Drainageabfluss und ggf. Abfluss in die Kanalisation, entspricht weitestgehend dem als Restglied der DIFGA-Komponentenseparation erhaltenen Direktabfluss RD. Die unterschiedliche Bezeichnung wurde bewusst gewählt, weil die Berechnung von RS und RD mit sich deutlich voneinander unterscheidenden Methoden erfolgte. Dahingegen wurden die Grundwasserabflusskomponenten RG1 und RG2 sowohl in DIFGA als auch in ArcEGMO mit einem einheitlichen methodischen Konzept bestimmt wurden (SLOWCOMP s. Kapitel 3.4).

5.2.6 Fallbeispiel zur Anwendung der Säule B

Der Aufbau des Portals der Säule B ist mit Säule A vergleichbar. Weil in Säule B mehr Daten zur Verfügung stehen, musste auch der Internetauftritt entsprechend angepasst werden. Die veränderten Funktionalitäten werden nachfolgend beispielhaft erläutert. Hierfür wird wie schon im Kapitel 5.2.3 das Einzugsgebiet Königsbrück herangezogen. In Anlehnung an das Fallbeispiel der Säule A ist folgende Nutzeranfrage zu beantwor-

ten: Welche Informationen und Ergebnisse sind für das Teileinzugsgebiet mit der GWKZ 538211, das zum Einzugsgebiet Königsbrück/Pulsnitz gehört, im Bereich der Säule B verfügbar?

Der Zugriff zum Portal erfolgt, wie in Abbildung 33 dargestellt, in der linken Menüliste über den Button „ArcEGMO – Säule B“. Die erreichte Webseite enthält eine kurze Übersicht mit allgemeinen Informationen zur Säule B und am unteren Ende der Seite einen Link „zur interaktiven Karte – Ergebnisse ArcEGMO“. Bei Verwendung des Links wird automatisch auf die Startseite des Portals der Säule B (Abbildung 50) weitergeleitet, die sich auf einem Server an der TU Dresden befindet.

Die Startseite zeigt wie schon in Säule A die räumliche Verteilung des mittleren jährlichen korrigierten Niederschlags für den Istzustand (1961–2010). Der Aufbau der Seite entspricht nahezu vollständig dem der Säule A. Einzig die Funktionalitäten der Menüleiste haben sich geändert.

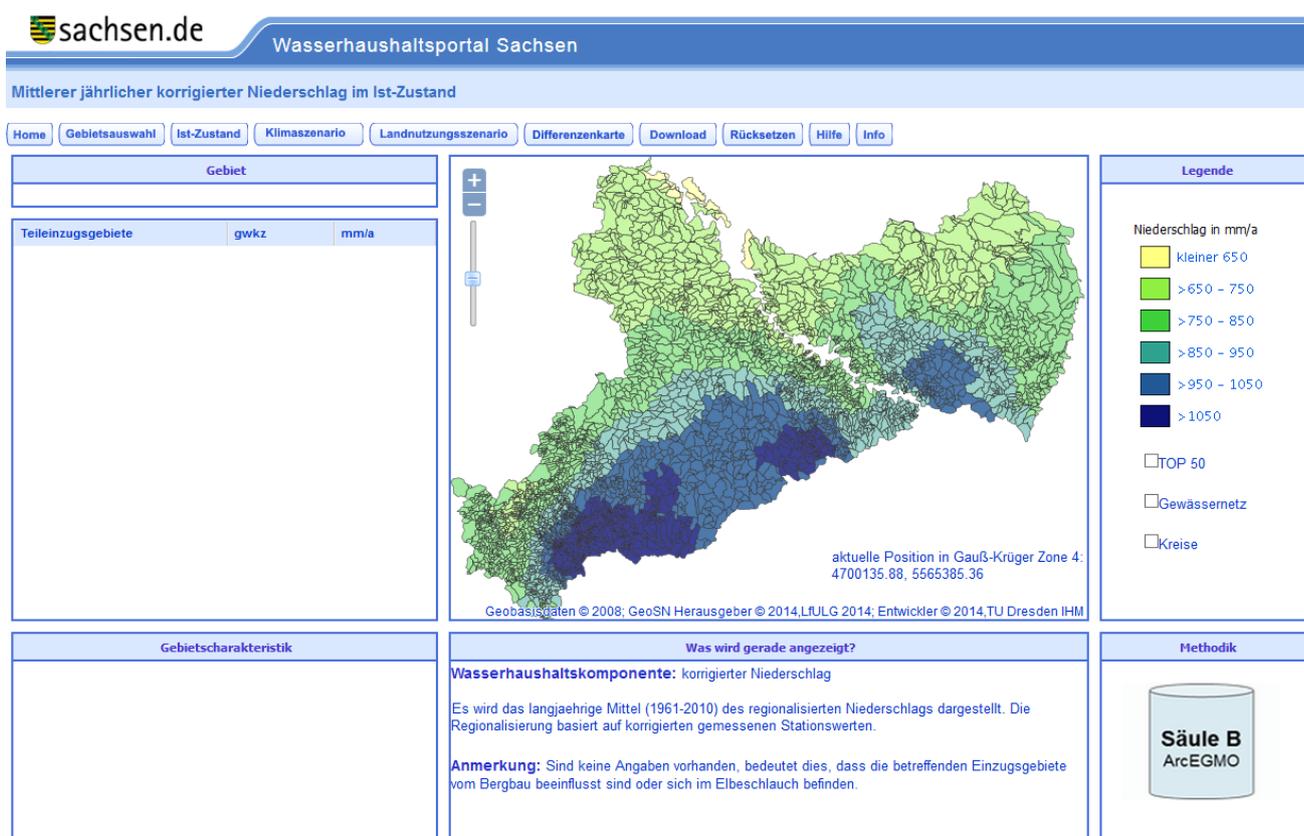


Abbildung 50: Startseite des Internetauftritts der Säule B

Im Gegensatz zur Säule A ist für die Darstellung von Ergebnissen zunächst die Auswahl eines der sieben sächsischen Flusseinzugsgebiete erforderlich. Dies erfolgt in der Menüleiste mithilfe des Buttons „Gebietsauswahl“. Weil das Einzugsgebiet der Pulsnitz bis zum Pegel Königsbrück zum Flussgebiet der Schwarzen Elster gehört, ist dieses entsprechend auszuwählen. Nach der erfolgten Auswahl wird auf das Flussgebiet der Schwarzen Elster gezoomt und in der linksseitigen Liste werden die Teileinzugsgebiete aufgelistet (Abbildung 51).

Mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag im Ist-Zustand

Home Gebietsauswahl Ist-Zustand Klimaszenario Landnutzungsszenario Differenzkarte Download Rücksetzen Hilfe Info

<p>Gebiet</p> <p>ausgewähltes Flusseinzugsgebiet: Schwarze Elster</p>			<p>Legende</p> <p>Niederschlag in mm/a</p> <ul style="list-style-type: none"> kleiner 650 >650 - 750 >750 - 850 >850 - 950 >950 - 1050 >1050 <p><input type="checkbox"/> TOP 50</p> <p><input type="checkbox"/> Gewässernetz</p> <p><input type="checkbox"/> Kreise</p>																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Teileinzugsgebiete</th> <th>gwkwz</th> <th>mm/a</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rödergraben</td><td>538721</td><td>645.01</td></tr> <tr><td>Kleine Röder</td><td>538521</td><td>654.25</td></tr> <tr><td>Kleine Röder</td><td>538523</td><td>652.46</td></tr> <tr><td>Steiggraben</td><td>538524</td><td>650.31</td></tr> <tr><td>Kleine Röder</td><td>538525</td><td>646.09</td></tr> <tr><td>Geißlitz</td><td>5384981</td><td>654.95</td></tr> <tr><td>Große Röder</td><td>5384939</td><td>657.58</td></tr> <tr><td>Spitalbach</td><td>538494</td><td>669.01</td></tr> <tr><td>Große Röder</td><td>538495</td><td>659.97</td></tr> <tr><td>Große Röder</td><td>5384971</td><td>658.85</td></tr> <tr><td>Elligastbach</td><td>5384972</td><td>674.76</td></tr> <tr><td>Große Röder</td><td>5384979</td><td>660.94</td></tr> <tr><td>Große Röder</td><td>538453</td><td>746.83</td></tr> <tr><td>Große Röder</td><td>538459</td><td>724.11</td></tr> <tr><td>Promnitz</td><td>5384699</td><td>727.21</td></tr> <tr><td>Große Röder</td><td>538471</td><td>727.51</td></tr> </tbody> </table>	Teileinzugsgebiete		gwkwz	mm/a	Rödergraben	538721	645.01	Kleine Röder	538521	654.25	Kleine Röder	538523	652.46	Steiggraben	538524	650.31	Kleine Röder	538525	646.09	Geißlitz	5384981	654.95	Große Röder	5384939	657.58	Spitalbach	538494	669.01	Große Röder	538495	659.97	Große Röder	5384971	658.85	Elligastbach	5384972	674.76	Große Röder	5384979	660.94	Große Röder	538453	746.83	Große Röder	538459	724.11	Promnitz	5384699	727.21	Große Röder	538471	727.51	<p>Gebietscharakteristik</p>	<p>Was wird gerade angezeigt?</p> <p>Wasserhaushaltskomponente: korrigierter Niederschlag</p> <p>Es wird das langjaehrige Mittel (1961-2010) des regionalisierten Niederschlags dargestellt. Die Regionalisierung basiert auf korrigierten gemessenen Stationswerten.</p> <p>Anmerkung: Sind keine Angaben vorhanden, bedeutet dies, dass die betreffenden Einzugsgebiete vom Bergbau beeinflusst sind oder sich im Elbeschlauch befinden.</p>
Teileinzugsgebiete	gwkwz	mm/a																																																				
Rödergraben	538721	645.01																																																				
Kleine Röder	538521	654.25																																																				
Kleine Röder	538523	652.46																																																				
Steiggraben	538524	650.31																																																				
Kleine Röder	538525	646.09																																																				
Geißlitz	5384981	654.95																																																				
Große Röder	5384939	657.58																																																				
Spitalbach	538494	669.01																																																				
Große Röder	538495	659.97																																																				
Große Röder	5384971	658.85																																																				
Elligastbach	5384972	674.76																																																				
Große Röder	5384979	660.94																																																				
Große Röder	538453	746.83																																																				
Große Röder	538459	724.11																																																				
Promnitz	5384699	727.21																																																				
Große Röder	538471	727.51																																																				

Abbildung 51: Internetseite Säule B; Darstellung des mittleren jährlichen korrigierten Niederschlags (1961–2010) im Istzustand für das ausgewählte Flusseinzugsgebiet Schwarze Elster

Die Inhalte des Tabellenkopfes („Teileinzugsgebiete“, „gwkwz“ und „mm/a“) können angeklickt werden. Hierdurch wird die entsprechende Spalte der Liste entweder alphabetisch oder aufsteigend bzw. absteigend sortiert. Dies erleichtert das Auffinden des angestrebten Teileinzugsgebietes. Wahlweise kann das Gebiet über die Karte selektiert werden. Anschließend wird auf das ausgewählte Teileinzugsgebiet gezoomt. Allgemeine Informationen zum Teileinzugsgebiet finden sich wie schon in Säule A im Fenster „Gebietseigenschaften“ links unten. Abbildung 52 zeigt hier exemplarisch den mittleren jährlichen korrigierten Niederschlag (1961–2010) für das Teileinzugsgebiet mit der GWKZ 538211 und die dazugehörigen Gebietskennwerte. Neben der dargestellten Größe können fünf weitere Wasserhaushaltsgrößen visualisiert werden. Diese sind in Kapitel 5.2.5 aufgezählt.

Die Auswahl der sechs verfügbaren Wasserhaushaltsgrößen erfolgt einerseits mittels des Buttons „Ist-Zustand“ und andererseits über die Button „Klimaszenario“ bzw. „Landnutzungsszenario“. Dargestellt werden jeweils die langjährigen Mittelwerte der Wasserhaushaltsgrößen im Zeitraum 1961–2010 (Istzustand) und 1961–2100 (Szenarien). Zwischen den einzelnen Wasserhaushaltsgrößen und Szenarien kann jeder Zeit gewechselt werden. Die Größe Grundwasserneubildung (GWN) wird zwar in der Auswahlliste grundsätzlich mit angezeigt. Statt einer Kartendarstellung erscheint allerdings ein Text, der auf das weitere Vorgehen zur Ermittlung der GWN hinweist. Im Falle der Klimaszenarien muss zunächst eine der 13 Realisierungen selektiert werden, bevor eine weitere Auswahlliste mit den Wasserhaushaltsgrößen angezeigt wird. Für das „Landnutzungsszenario“ stehen nur die Ergebnisse der drei verschiedenen Landnutzungsänderungen in Verbindung mit dem WETTREG 00-Szenario zur Verfügung. Weil sich die Größe Niederschlag im Rahmen der Landnutzungsszenarien nicht verändert, ist sie in der Auswahlliste nicht mit enthalten, wie Abbildung 53 zeigt. Die beiden Realisierungen 66 und 99 sind grau hinterlegt und weisen keine Funktionalität auf.

Mittlerer jährlicher korrigierter Niederschlag im Ist-Zustand

Home Gebietsauswahl Ist-Zustand Klimaszenario Landnutzungsszenario Differenzkarte Download Rücksetzen Hilfe Info

Gebiet
ausgewähltes Flusseinzugsgebiet: Schwarze Elster

Teileinzugsgebiete	gwKZ	mm/a
Promnitz	538467	744.2
Promnitz	5384691	741.06
Pulsnitz	5382319	823.13
Pulsnitz	538233	808.37
Pulsnitz	538235	762.07
Pulsnitz	538239	746.44
Pulsnitz	53825	712.94
Pulsnitz	538271	699.47
Pulsnitz	5382791	698.07
Pulsnitz	538211	898.32
Pulsnitz	538213	879.63
Pulsnitz	538219	857.82
Pulsnitz	5382311	847.4
Pulsnitz	5382313	837.61
Puschwitzer Wasser	538148	733.24
Quersabach	538486	686.23

aktuelle Position in Gauß-Krüger Zone 4: 4699708.89, 6677081.20

Geobasisdaten © 2008; GeoSN/Herausgeber © 2014; LfULG 2014; Entwickler © 2014; TU Dresden/IM

Legende

Niederschlag in mm/a

- kleiner 650
- >650 - 750
- >750 - 850
- >850 - 950
- >950 - 1050
- >1050

TOP 50

Gewässernetz

Kreise

Gebietscharakteristik

Name: Pulsnitz

Fläche: 16.46 km²

hydrogeologische Einheit: Magmatisches Tiefengestein

Abschnitt im Gewässer: Pulsnitz: Quelle - obh. Mdg. Hahnefußchen

Was wird gerade angezeigt?

Wasserhaushaltskomponente: korrigierter Niederschlag

Es wird das langjaehrige Mittel (1961-2010) des regionalisierten Niederschlags dargestellt. Die Regionalisierung basiert auf korrigierten gemessenen Stationswerten.

Anmerkung: Sind keine Angaben vorhanden, bedeutet dies, dass die betreffenden Einzugsgebiete vom Bergbau beeinflusst sind oder sich im Elbeschlauch befinden.

Methodik

Abbildung 52: Internetseite Säule B; Darstellung des mittleren jährlichen korrigierten Niederschlags für das ausgewählte Teileinzugsgebiet GWKZ 538211 im Einzugsgebiet der Pulsnitz

Gebiet
ausgewähltes Flusseinzugsgebiet: Schwarze Elster

Teileinzugsgebiete	gwKZ	mm/a
Promnitz	538467	744.2
Promnitz	5384691	741.06
Pulsnitz	5382319	823.13
Pulsnitz	538233	808.37
Pulsnitz	538235	762.07
Pulsnitz	538239	746.44
Pulsnitz	53825	712.94
Pulsnitz	538271	699.47
Pulsnitz	5382791	698.07
Pulsnitz	538211	898.32
Pulsnitz	538213	879.63
Pulsnitz	538219	857.82
Pulsnitz	5382311	847.4
Pulsnitz	5382313	837.61
Puschwitzer Wasser	538148	733.24
Quersabach	538486	686.23

aktuelle Position in Gauß-Krüger Zone 4: 4699242.41, 6674062.91

Geobasisdaten © 2008; GeoSN/Herausgeber © 2014; LfULG 2014; Entwickler © 2014; TU Dresden/IM

Legende

Niederschlag in mm/a

- kleiner 650
- >650 - 750
- >750 - 850
- >850 - 950
- >950 - 1050
- >1050

TOP 50

Gewässernetz

Kreise

Gebietscharakteristik

Name: Pulsnitz

Fläche: 16.46 km²

hydrogeologische Einheit: Magmatisches Tiefengestein

Abschnitt im Gewässer: Pulsnitz: Quelle - obh. Mdg. Hahnefußchen

Was wird gerade angezeigt?

Wasserhaushaltskomponente: korrigierter Niederschlag

Es wird das langjaehrige Mittel (1961-2010) des regionalisierten Niederschlags dargestellt. Die Regionalisierung basiert auf korrigierten gemessenen Stationswerten.

Anmerkung: Sind keine Angaben vorhanden, bedeutet dies, dass die betreffenden Einzugsgebiete vom Bergbau beeinflusst sind oder sich im Elbeschlauch befinden.

Methodik

Abbildung 53: Internetseite Säule B; Darstellung der Auswahlliste der Landnutzungsszenarien

Weil die Karten mit den langjährigen Mittelwerten der einzelnen Wasserhaushaltsgrößen keine Hinweise auf die projizierte Entwicklung der Größen bis 2100 entsprechend der Szenarien liefern, wurde der Abschnitt „Differenzenkarte“ in der Menüleiste implementiert. Abbildung 54 zeigt die Auswahllisten zur Selektion einer Differenzenkarte.

Mithilfe dieser grafischen Darstellung können absolute und relative Differenzen der 30-jährigen Mittel (1981–2010, 2021–2050, 2071–2100) von Niederschlag, realer Verdunstung, schneller Abflusskomponenten und Gesamtabfluss gegenüber dem Zeitraum 1961–1990 visualisiert werden. Ergebnisse liegen exemplarisch für die Realisierung 66 vor.

The screenshot shows the 'Wasserhaushaltsportal Sachsen' interface. At the top, the title is 'Prozentuale Abweichung der mittleren jährlichen schnellen Abflusskomponente im Vergleich von 2071-2100 zu Referenzperiode'. The navigation bar includes buttons for 'Home', 'Gebietsauswahl', 'Ist-Zustand', 'Klimaszenario', 'Landnutzungsszenario', 'Differenzenkarte', 'Download', 'Rücksetzen', 'Hilfe', and 'Info'. The main content area is divided into several panels:

- Gebiet:** 'ausgewähltes Flusseinzugsgebiet: Schwarze Elster'. Below this is a table of sub-catchments with columns for 'Teileneinzugsgebiete', 'gw/kz', and '%'.

Teileneinzugsgebiete	gw/kz	%
Promnitz	538467	-32.75
Promnitz	5384691	-33.21
Pulsnitz	5382319	-55.9
Pulsnitz	538233	-41.62
Pulsnitz	538235	-69.36
Pulsnitz	538239	-40.56
Pulsnitz	53825	-38.61
Pulsnitz	538271	-41.99
Pulsnitz	5382791	-100
Pulsnitz	538211	-46.51
Pulsnitz	538213	-44.47
Pulsnitz	538219	-47.08
Pulsnitz	5382311	-37.74
Pulsnitz	5382313	-42.05
Puschwitzer Wasser	538148	-50.98
- Map:** A map showing the catchment area with a color-coded legend for 'absolute Differenz' and 'relative Differenz'. The legend indicates deviations in 'Abfluss in l/s' with categories: > -50 - -25 (dark brown), > -25 - 0 (medium brown), > 0 - 25 (light brown), > 25 - 50 (yellow-green), and > 50 (green). A tooltip on the map shows: 'absolute Differenz 1981 - 2010 vs Ist Zustand', 'relative Differenz 2021 - 2050 vs Ist Zustand', and 'relative Differenz 2071 - 2100 vs Ist Zustand'. Other labels on the map include 'Niederschlag', 'Reale Verdunstung', 'Schnelle Abflusskomponente', 'Gesamtabfluss', and 'aktuelle Position in Gauß-Krüger Zone 4: 4943855.68, 5678136.06'.
- Gebietscharakteristik:** Name: Pulsnitz; Fläche: 16.46 km²; hydrogeologische Einheit: Magmatisches Tiefengestein; Abschnitt im Gewässer: Pulsnitz: Quelle - obh. Mdg. Hahnefließchen.
- Was wird gerade angezeigt?:** Wasserhaushaltskomponente: schnelle Abflusskomponente; Es werden die relativen Differenzen zwischen den mittleren Jahressummen der Referenzperiode und dem Vergleichszeitraum dargestellt; Referenzperiode: 1961 - 1990; Klimainput: Realisierung 66 des Klimamodells WETTREG 2010 unter der Annahme des Emissionsszenario A1B; Landnutzungsszenario: Ist-Zustand.
- Methodik:** Säule B ArcEGMO.

Abbildung 54: Internetseite Säule B; Darstellung der Auswahlliste zur Selektion einer Differenzenkarte

Neben diesen Möglichkeiten der Visualisierung der Daten innerhalb des Portals besteht die Option, diese zur weiteren Bearbeitung herunterzuladen. Hierfür liegen die Ergebnisse im Downloadbereich des KliWES-Portals beim LfULG bereit. Abbildung 55 zeigt einen Ausschnitt dieses Bereiches. Erreichbar ist die Internetseite über den Button „Download“ in der Menüleiste des Internetauftritts der Säule B.

Einerseits stehen Shape-Files (untergliedert in sieben Flusseinzugsgebiete) mit den langjährigen Mittelwerten der Wasserhaushaltsgrößen für den Istzustand und 16 verschiedene Szenarien (Tabelle 6) auf Teileinzugsgebietsebene zur Verfügung. Andererseits können ZIP-Dateien heruntergeladen werden, welche die aktuellen Monatswerte von zehn Größen ebenfalls für den Istzustand und 16 verschiedene Szenarien enthalten. Das vorliegende Dateiformat CSV kann problemlos z. B. mit Excel geöffnet werden.

Die weiteren Buttons „Home“, „Rücksetzen“, „Hilfe“ und „Info“ der Menüleiste des Internetauftritts der Säule B weisen dieselben Funktionalitäten wie im Portal der Säule A auf. Sie sind in Kapitel 5.2.3 beschrieben.

- sachsen.de ▾
- Umwelt ▾
- Wasser, Wasserwirtschaft ▾
- Recherchesystem - Säule B ▾
- ↳ Download

Download

 Vorlesen

Hier werden die verfügbaren Ergebnisse der Wasserhaushaltsmodellierung zum Download angeboten. Die Daten können einzugsgebietsweise als Shapefiles (Langjährige Mittelwerte) oder als CSV- Dateien (Monatswerte) heruntergeladen werden.

Langjährige Mittelwerte

Die Dateien enthalten die langjährigen Mittelwerte von Wasserhaushaltskomponenten für den Istzustand 1961-2010, für die drei Klimaszenarien von 1961-2100 und für die drei Landnutzungsszenarien von 1961-2100.

Die Shapefiles enthalten unter anderem die folgenden Ergebnisgrößen:

- TG_ID: Identifikationsnummer des Teilgebietes
- GWKZ: Gewässerkennzahl
- Gewässer: Gewässername
- Name: Abschnittsbezeichnung innerhalb des Gewässers
- Lockfest: Zuordnung Locker- oder Festgesteinsbereich
- Hydrogeolo: dominante hydrogeologische Einheit
- Area: Fläche des Teilgebietes [km²]
- Pl: korrigierter Niederschlag [mm/a]
- ER: reale Verdunstung [mm/a]
- R: Gesamtabfluss [mm/a]
- RS: schnelle Abflusskomponente [mm/a]
- RG: Grundwasserabfluss: RG1 + RG2 (entspricht „sicker“ in den Monatswerten, siehe Konvention zur Berechnung der Grundwasserneubildung) [mm/a]
- RG1: schneller Grundwasserabfluss [mm/a]
- RG2: langsamer Grundwasserabfluss [mm/a]

↳ Konvention zur Berechnung der Grundwasserneubildung

Die Wasserhaushaltskomponenten Pl, ER, R, RS, RG, RG1, RG2 enthalten zusätzlich ein Kürzel, das auf die zugrunde liegenden Eingangsdaten der jeweiligen Klima- und Landnutzungs-Szenarien hinweist. Die Kürzel haben folgende Bedeutung:

- ist für den Ist-Zustand
- 00wt für das Klimaszenario mit der Realisierung WETTREG 00
- 66wt für das Klimaszenario mit der Realisierung WETTREG 66
- 99wt für das Klimaszenario mit der Realisierung WETTREG 99
- 00wx für das Klimaszenario mit der Realisierung WEREX 00
- 11wx für das Klimaszenario mit der Realisierung WEREX 11
- 22wx für das Klimaszenario mit der Realisierung WEREX 22
- 33wx für das Klimaszenario mit der Realisierung WEREX 33
- 44wx für das Klimaszenario mit der Realisierung WEREX 44
- 55wx für das Klimaszenario mit der Realisierung WEREX 55
- 66wx für das Klimaszenario mit der Realisierung WEREX 66
- 77wx für das Klimaszenario mit der Realisierung WEREX 77
- 88wx für das Klimaszenario mit der Realisierung WEREX 88
- 99wx für das Klimaszenario mit der Realisierung WEREX 99
- 00wt_f für Landnutzungsszenario Flächenverbrauch
- 00wt_v für Landnutzungsszenario Versiegelung
- 00wt_w für Landnutzungsszenario Waldumbau

- ↳ Einzugsgebiet Mulde
- ↳ Einzugsgebiet Neiße
- ↳ Einzugsgebiet Obere Elbe
- ↳ Einzugsgebiet Schwarze Elster
- ↳ Einzugsgebiet Spree
- ↳ Einzugsgebiet Weiße Elster
- ↳ Sonstige Gebiete



Ansprechpartner

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Referat 44: Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie
Holm Frieße

☎ Telefon: (0351) 8928-4412

✉ E-Mail

🌐 www.smul.sachsen.de/fulg

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Referat 44: Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie
Karin Kuhn

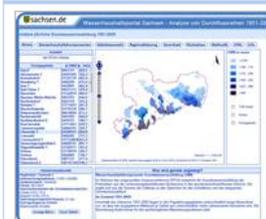
☎ Telefon: (0351) 8928-4400

☎ Telefax: (0351) 8928-4099

✉ E-Mail

🌐 www.smul.sachsen.de/fulg

Schnellstart interaktive Karten



↳ Recherchesystem - Säule A - Analyse

↳ Recherchesystem - Säule A - Regionalisierung

↳ Recherchesystem - Säule B

↳ Expertensystem - Säule C

↳ Niedrigwasserkennwerte

weitere Wasserhaushaltsdaten



STOFFBILANZ ist ein Modell zur Quantifizierung diffuser Stoffverlagerungen in Wassereinzugsgebieten. Grundlage dieser Berechnung ist ein einfaches Wasserhaushaltsmodell.

Abbildung 55: Ausschnitt des Downloadbereiches der Internetseite Säule B – Langjährige Mittelwerte

5.2.7 Anwendungsempfehlung und Zusammenfassung Säule B

Die Ergebnisse der Wasserhaushaltsberechnungen innerhalb einer Klimarealisierung stellen jeweils nur eine mögliche Entwicklung des anzunehmenden Klimawandels in Sachsen dar. Um eine gewisse Spannbreite in der zu erwartenden Entwicklung der verschiedenen Wasserhaushaltsgrößen zu erreichen, empfiehlt es sich, mehrere Klimaszenarien gleichzeitig auszuwerten. Wenn es nur um die Analyse der Ergebnisse geht, bieten sich eine ganze Reihe von statistischen Kennwerten und Verfahren sowie Visualisierungsmöglichkeiten, welche einerseits die zeitliche Entwicklung betrachten und andererseits die räumliche Verteilung darstellen.

Wie in Säule A dient das Portal der Säule B der Recherche der vorab berechneten Wasserhaushaltsergebnisse. Der Ergebnisraum deckt Sachsen weitgehend ab. Ausnahmen bilden der Elbeschlauch sowie die Braunkohlenabbauregionen um Leipzig und in der Lausitz. Hier liegen nur Ergebnisse aus der Säule A vor (vgl. Ausführungen am Ende von Kapitel 5.2.4). Im Internetauftritt der Säule B erfolgt ausschließlich die Darstellung von langjährigen Mittelwerten für den Istzustand (1961–2010) sowie für 16 verschiedene Szenarien (Tabelle 6) in Karten- und Tabellenform auf Teileinzugsgebietsebene. Die Vielfalt an Auswertungs- und Darstellungsmöglichkeiten der Daten kann mithilfe des Wasserhaushaltsportals Sachsen nicht abgedeckt werden. Um dem Nutzer die Möglichkeit zu bieten, die Daten entsprechend seiner spezifischen Anforderungen auszuwerten zu können, stehen sie im Downloadbereich des KliWES-Portals bereit. Sämtliche Daten können einerseits in Form von Shape-Files mit den langjährigen Mittelwerten der einzelnen Größen und als CSV-Dateien mit den aktuellen Monatswerten heruntergeladen werden.

6 Säule C – Interaktive nutzerspezifische Berechnungen im Wasserhaushaltsportal

Die Säule C des Wasserhaushaltsportals bietet dem Nutzer die Möglichkeit, verschiedene Fragestellungen zur Wasserhaushaltsentwicklung in den sächsischen Einzugsgebieten unter sich ändernden Bedingungen zu beantworten. Allgemeine Informationen zu diesem Portal und den implementierten Optionen enthält Kapitel 6.1.1. Erläuterungen zu Layout und Bedienkonzept können dem sich anschließenden Kapitel 6.1.2 entnommen werden. Anhand eines Fallbeispiels erhält der Nutzer eine Anleitung für die Verwendung der Säule C (Kapitel 6.1.3) und die Auftragsversendung und den Ergebniszugriff. In Kapitel 6.2 wird zum Schluss ausführlicher auf das Vorgehen und die Umsetzung des Expertensystems der Säule C eingegangen.

6.1 Inhalte, Funktionen und Fallbeispiel der Säule C

6.1.1 Säule C

Bei den bisher erläuterten Säulen A und B des Wasserhaushaltsportals handelt es sich um webbasierte Rechensysteme, die dem Anwender vorab berechnete Ergebnisse zum Wasserhaushalt Sachsen zugänglich machen. Damit ist dieser Teil des Portals zwangsläufig im Umfang begrenzt, weil nicht alle denkbaren Szenarien vorab berechnet werden können. Die Säule C des Portals ermöglicht es Anwendern deshalb, eigene Wasserhaushaltsszenarien zu formulieren und zu berechnen.

Die interaktive Web-GIS-Anwendung der Säule C bietet dem Anwender neben der reinen Modellierung des Klimaeinflusses auf den Gebietswasserhaushalt weitere Einsatzmöglichkeiten. So können, als Adaptionenmaßnahmen gegen Veränderungen des Wasserhaushalts infolge eines projizierten Klimawandels, Anpassungsszenarien für die Landnutzung erarbeitet werden. Der Einfluss großräumig angewandter alternativer Bewirtschaftungsverfahren und Hydromeliorationsmaßnahmen auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen auf den regionalen Wasserhaushalt lässt sich modellieren. Weil auch rezente Klimadaten bereitstehen, können diese Betrachtungen ebenso unter Ausschluss von Klimawandelaspekten ausgeführt werden.

Die Web-GIS-Anwendung der Säule C verkörpert eine interaktive Benutzerschnittstelle zum Wasserhaushaltsmodell ArcEGMO (PFÜTZNER et al. 2007). Ihre Bedienelemente ermöglichen dem Anwender, bestimmte Parameter und Eingangsdaten nach seinen Vorgaben zu definieren und für eine Wasserhaushaltsberechnung zu verwenden. Folgende Parameter können nach nutzerspezifischen Vorgaben angepasst werden:

- Landnutzungsklasse
- Humusstufe des Bodens
- Lagerungsdichte des Bodens
- Dränagetyp
- Anschlussgrad (dränierter Anteil von der Gesamtfläche)
- Tiefe der Dränage

Als meteorologische Eingangsdaten für Berechnungen des Wasserhaushaltes in Säule C stehen dem Anwender 13 Klimaszenarien (drei WETTREG2010-Realisierungen und zehn WEREX5-Realisierungen) und der Istzustand (1961 bis 2010) zur Auswahl bereit. Informationen hierzu enthält die Tabelle 6.

Weiterhin bietet die Säule C dem Anwender die Möglichkeit, neben den im Portal bereits zur Auswahl stehenden Klimaszenarien auch ein eigenes Klimaszenario für die Berechnung des Wasserhaushaltes zu nutzen. Das Klimaszenario muss vom Anwender bereitgestellt werden. Wird dieses gewünscht, muss der Entwickler an der TU Dresden, Lehrstuhl für Hydrologie, durch den Anwender kontaktiert werden (s. Internet). Der Anwender erhält dann detaillierte Informationen zur Art und Weise mit der ein nutzerspezifisches Klimaszenario an die TU Dresden übergeben werden kann. Für die Übernahme und Implementierung des Szenarios ist die TU durch den Nutzer zu beauftragen.

Im Laufe der Nutzerinteraktion mit der Web-GIS-Anwendung werden nutzerdefinierte Angaben über das Gebiet, die Gebietsparameter sowie das Klimaszenario ermittelt und an eine automatisierte ArcEGMO-Schnittstelle weitergeleitet. Nach der Konfiguration der benötigten ArcEGMO-Modelle erfolgt die Wasserhaushaltsberechnung auf Servern der TU Dresden. Der Betrieb des interaktiven Wasserhaushaltsmodells verläuft komplett automatisiert. Einzige Ausnahme bildet die Überführung nutzerspezifischer Klimaszenarien, weil die Übernahme in die Datenbank und die Transformation in das HDF5-Format das Eingreifen eines Operators erfordert. Grundlage der Automatisierung ist, dass vorab in der Säule B kalibrierte ArcEGMO-Wasserhaushaltsmodelle eingesetzt werden, die in der operativen Anwendung nicht erneut kalibriert werden müssen.

Dies schränkt zwangsläufig den Kreis möglicher operativer Änderungen am Modell ein. Die Modellstruktur, insbesondere die festgelegten Hydrotope und Teileinzugsgebiete lassen sich nicht ändern, d. h. die Änderung der Landnutzung in einem Hydrotop von z. B. 100 % Nadelwald in 50 % Mischwald und 50 % Laubwald ist nicht möglich, weil jedes Hydrotop eine homogene Eigenschaft haben muss. Ansonsten kann für jedes Hydrotop die Landnutzung aus einem Pool von 12 vereinbarten Typen beliebig variiert werden, weil hierfür bereits validierte Parametersätze vorliegen.

Die Einführung neuer Nutzungstypen ist dagegen (derzeit) nicht möglich. Das Bodenmodell nutzt die Leitprofile für 2020 Klassen aus der Bodenkonzeptkarte. Deren bodenhydraulischen Kennwerte und die Schichtgeometrie mit Ausnahme der Schichtmächtigkeit können nicht aktiv geändert werden. Einen großen Einfluss auf die Bodeneigenschaften haben pfluglose, bodenschonende und konservierende Bewirtschaftungsverfahren in der Agrarwirtschaft. Untersuchungen zeigen, dass eine derartige Bewirtschaftung u. a. Auswirkungen auf den Humusgehalt und die Lagerungsdichte nach sich ziehen (SCHMIDT 2003 und 2010; SMUL 2014). Es wurden deshalb vorab Bodenparametersätze erarbeitet, die diese Effekte berücksichtigen. Der Nutzer kann diesen Bewirtschaftungseinfluss bei Bedarf für jedes Hydrotop interaktiv berücksichtigen. Weiterhin können in der momentan vorliegenden Konfiguration Dränagen über die Parameter Dränageart (Graben- und Rohrdränage), Dränagetiefe und Anschlussgrad gegenüber dem Istzustand modifiziert werden. Der vorliegende Grundwasserflurabstand wird bei Bedarf jeweils auf die neu vorgegebene Dränagetiefe abgesenkt, um die Berechnung unrealistischer Wasserflüsse zu vermeiden.

Als Ergebnisse werden Wasserhaushaltsgrößen als Monatsmittelwerte auf Hydrotopebene und Gebietsebene per E-Mail in tabellarischer Form zur Verfügung gestellt. Die folgenden Ergebnisgrößen stehen zur Verfügung:

- Niederschlag p_i (entspricht P)
- Reale Verdunstung e_r (entspricht ETR)
- Schnelle Abflusskomponente r_s (entspricht RS)
- Schneller Grundwasserabfluss rg_1 (entspricht RG1)
- Langsamer Grundwasserabfluss rg_2 (entspricht RG2)

Die Bezeichnung der Größen erfolgt gemäß der Schreibweise der ArcEGMO Ergebnisprotokolle. Die ansonsten im Vorhaben KliWES verwendeten Bezeichnungen stehen in Klammern dahinter. Das Webportal der Säule C ist ebenso wie die Säulen A und B über die Startseite des Wasserhaushaltsportals Sachsen erreichbar. Ein Link leitet automatisch auf die Startseite (Abbildung 62) weiter.

6.1.2 Layout und Bedienkonzept der Säule C

Das Layout der Säule C ist nutzerfreundlich, einfach handhabbar und entsprechend der interaktiven Karte der Säule B aufgebaut. Die Ansicht ist in sechs Bereiche aufgeteilt, die die Steuerung und Kontrolle ermöglichen (vgl. Abbildung 57):

- Beschreibung
- Gebietscharakteristik/Informationspanel
- Interaktive Karte
- Legende
- Steuerpanel/Zentrales Panel
- Ebenenliste

Das Steuerpanel mit den Elementen „Gebiet“, „Gebietsparameter“ und „Klimaszenario“ ist das Herzstück der Anwendung. Über diese Funktionen kann der Anwender seine nutzerspezifischen Vorgaben als Grundlage für die Wasserhaushaltsberechnung definieren und den Berechnungsauftrag abschicken.

Die Gebietsauswahl und auch die Definition von Gebietsparametern erfordert eine Interaktion des Anwenders mit geografischen Inhalten. Um diese komfortabel zu gestalten, wurden diverse GIS-Werkzeuge bereitgestellt. Die Auswahl eines Objektes in der Karte ermöglicht z. B. ein automatisches Zoomen auf das selektierte Objekt. Das Layout der Web-GIS-Anwendung in der Startansicht zeigt Abbildung 56.

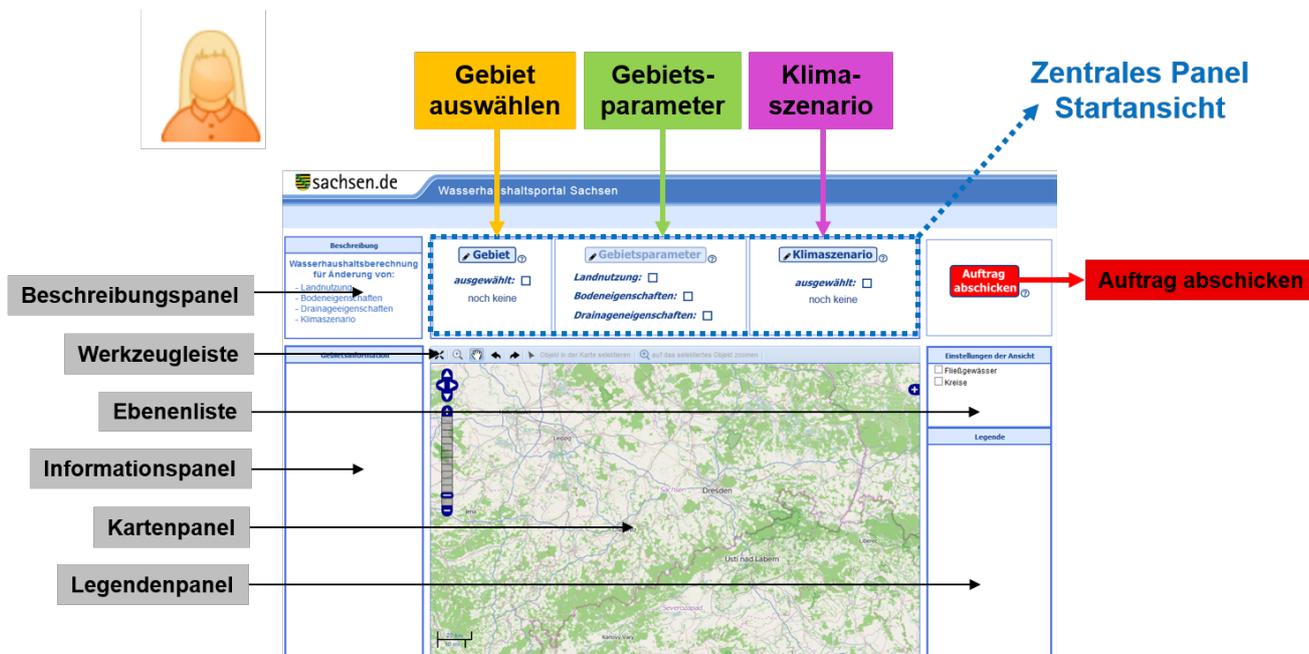


Abbildung 56: Aufbau und Erläuterung der Benutzeroberfläche der Säule C mit der Startansicht

Je nach Arbeitsschritt erfolgt eine Abänderung des zentralen Panels der Web-Oberfläche. Im ersten Schritt der Bearbeitung muss sich der Nutzer entscheiden, ob eine kleinräumige oder großräumige Fragestellung vorliegt. Die Unterschiede werden nachfolgend erläutert.

Bei einer kleinräumigen Berechnung können einerseits Anpassungen für jedes einzelne Hydrotop erfolgen. Andererseits können Änderungen pauschal für mehrere Hydrotope mit denselben Gebietseigenschaften vorgenommen werden. Es kann jeweils nur ein Modellgebiet ausgewählt werden, sodass Zuflüsse eines eventuellen Oberliegergebietes nicht berücksichtigt werden. Die Ergebnisausgabe erfolgt für jedes Hydrotop und das betreffende Teilgebiet. Durchflusswerte werden nicht ausgegeben.

Bei einer großräumigen Berechnung lassen sich nur generalisierte Änderungen (z. B. Umwandlung Nadelwald in Mischwald) vornehmen. D. h., dass die jeweilige Änderung für alle Hydrotope mit der gleichen Gebietseigenschaft (z. B. Nadelwald) innerhalb eines Einzugs-/Modellgebietes gilt. Die Parameteränderung kann nicht für einzelne Hydrotope durchgeführt werden. Im Gegensatz zur kleinräumigen Wasserhaushaltsberechnung können mehrere aufeinander folgende Modelle (Berücksichtigung der Ober-/Unterliegerbeziehung) berechnet werden. Hierbei wird der Durchfluss am Auslass des Oberliegers als Zufluss an den Unterlieger weitergeleitet. Im Ergebnis stehen Durchflusswerte in täglicher Auflösung zur Verfügung. Die weiteren Wasserhaushaltsgrößen stehen in der Auflösung Teileinzugsgebiet/Gebiet bereit.

Auf die Bedienung in den einzelnen Arbeitsschritten wird im Folgenden detailliert eingegangen.

Arbeitsschritt „Gebiet auswählen“

Dem in der Säule C implementierten Vorgang zur Gebietsauswahl liegt die räumliche Struktur des verwendeten Modellierungskonzeptes zugrunde. Diese lässt sich folgendermaßen skizzieren: Die kleinste im Modell berücksichtigte Raumeinheit, das Hydrotop, verkörpert Flächen mit homogenen Gebietseigenschaften (Landnutzungstyp, Bodenart, SLOWCOMP-Parameter etc.). Sachsenweit über alle Modelle betrachtet, handelt es sich um 47.400 Hydrotope. Die nächsthöhere räumliche Ebene umfasst ca. 5.000 Teileinzugsgebiete, die, jedes für sich, eine bestimmte Anzahl Hydrotope aufweist. Die oberste Ebene beinhaltet die 242 ArcEGMO-Modellierungseinheiten (kalibrierte ArcEGMO-Modelle), die aus einem oder mehreren Teileinzugsgebieten bestehen. Lediglich für die Darstellung auf der KliWES-Webseite und im Wasserhaushaltsportal Sachsen ist die höchste Ebene der Flussgebiete vorgesehen. Diese umfasst die sieben Flussgebiete Mulde, Elbe, Weiße Elster, Neiße, Schwarze Elster, Spree und Sonstige Gebiete (Saale, Eger, Svitavka). Dargestellt werden auch Flächen, für die keine Wasserhaushaltsberechnungen in Säule C möglich sind. Wie auch in Säule B betrifft dies den Flussschlauch der Elbe im Bereich der Überflutungsflächen vom Hochwasser August 2002 und Regionen mit großflächiger Beeinflussung durch den Braunkohlenabbau (Mitteldeutsches und Lausitzer Braunkohlenrevier).

Der räumlichen Struktur entsprechend besteht die Möglichkeit, bei der Gebietsauswahl zwischen einem klein- und einem großskaligen Berechnungsmaßstab zu wählen. Die kleinskalige Berechnung beschränkt die Auswahlmöglichkeit auf ein einzelnes Teileinzugsgebiet. Die großskalige Untersuchung ermöglicht die Berechnung des Wasserhaushalts auf der Ebene von ArcEGMO-Modelleinheiten. Der Nutzer hat hier die Möglichkeit, ArcEGMO-Modellierungseinheiten einzeln bzw. mit den zugehörigen Oberlieger-Modellierungseinheiten zu berechnen. Letzteres ermöglicht die Berechnung von Durchflüssen an Auslasspegeln und die Modellierung des großflächigen Wasserhaushalts bis zur Flussgebietsebene.

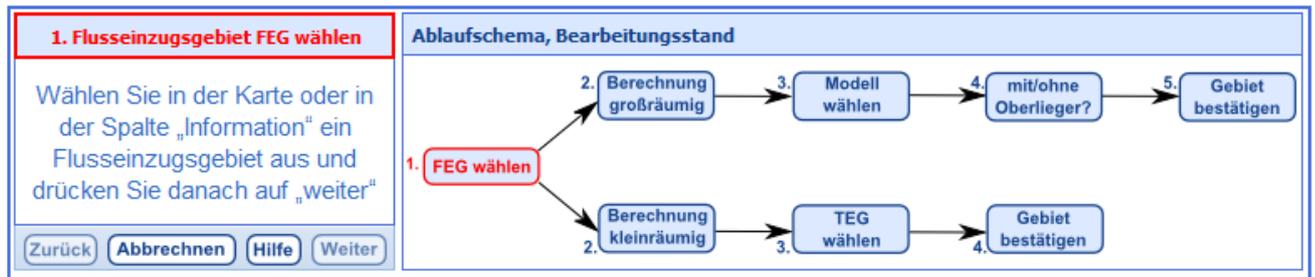


Abbildung 57: Das zentrale Panel mit Anpassungen zum Arbeitsschritt „Gebiet auswählen“

Die Gebietswahl selbst umfasst mehrere aufeinanderfolgende Schritte, die das Ablaufschema im rechten Teil des Gebietsauswahlpanels veranschaulicht (Abbildung 57). Im linken Bereich des Gebietsauswahlmenüs findet sich eine kurze Hilfe zu den jeweiligen Schritten.

Arbeitsschritt „Gebietsparameter ändern“

Das Menü „Gebietsparameter“ enthält Bedienelemente zur Änderung von Gebietseigenschaften (Abbildung 58). Der Nutzer kann Landnutzungsklassen, Bodeneigenschaften und Dränagen ändern oder neu definieren. Die Reihenfolge der zu ändernden Parameter der Landnutzungen, der Bodeneigenschaften und der Dränageeigenschaften ist vorgegeben. Die aktuell aktive Änderungsoption ist rot markiert. Popup-Fenster geben jeweils vor dem Akzeptieren der Änderungen eine tabellarische Übersicht über die veränderten Parameter. Der mögliche Funktionsumfang der Gebietsparameteränderungen unterscheidet sich dabei abhängig davon, ob der Nutzer eine klein- oder großräumige Berechnung durchführt. Bei der kleinräumigen Berechnung können die Änderungen für jedes Hydrotop separat oder pauschal für das ganze Gebiet durchgeführt werden. Bei großräumigen Berechnungen sind nur pauschale Änderungen für ArcEGMO-Modelleinheiten möglich.

■ Änderung der Landnutzungsklassen

Zur Auswahl stehen folgende Klassen: Industrie, Wohnfläche, Acker, Sonderkultur, Grünland, Laub-, Nadel-, Mischwald, Moor, vegetationslose Fläche, Wasser und gemischte Nutzung.

In dem in Abbildung 58 gezeigten Beispiel ist jedes Hydrotop entsprechend seiner Landnutzungsklasse farblich codiert. Das Panel „Information“ bietet einen Überblick über alle Hydrotope des Gebiets. Eine statistische Gesamtübersicht enthält das im oberen Bereich befindliche Panel „Alle Parameter“, über das auch die simultane Änderung sämtlicher Hydrotope einer entsprechenden Landnutzungsklasse möglich ist. Nach jeder Änderung wird die Webdarstellung global aktualisiert.

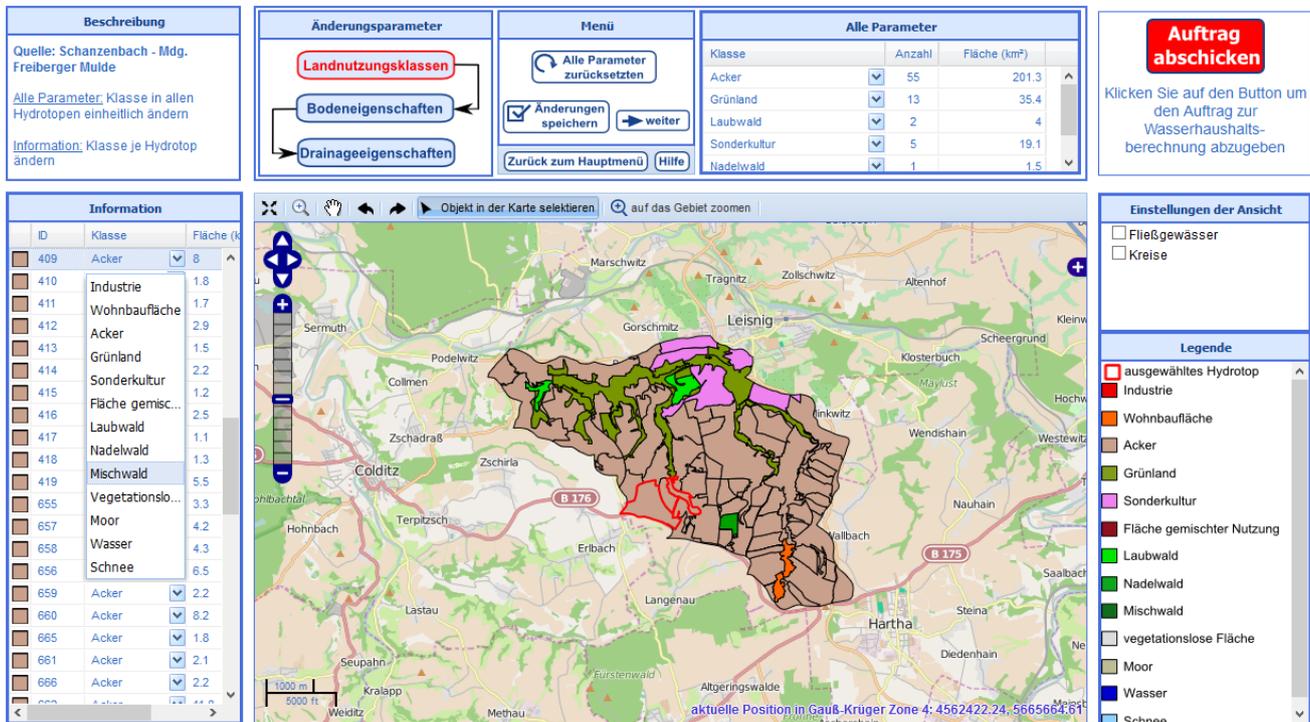


Abbildung 58: Ansicht der Web-Oberfläche im Arbeitsschritt „Gebietsparameter definieren“ und den Änderungen der Landnutzungsclassen im Rahmen der kleinräumigen Wasserhaushaltsberechnung

■ Änderung der Bodeneigenschaften

Zur Charakterisierung der Bodeneigenschaften in Sachsen wurde in KliWES die Bodenkonzeptkarte „BKkonz“ im Maßstab 1 : 25.000 und die Bodenkundliche Kartieranleitung (Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden 2005) verwendet. Eine ausführliche Beschreibung der Parametrisierung der Bodeneigenschaften enthält SCHWARZE et al. (2012). Jede vorkommende Kombination von änderbaren Parametern eines Bodens (Lagerungsdichte, Mächtigkeit und Humusgehalt nach Horizont) trägt eine eindeutige ID-Nummer (AGGNNR). Diese AGGNNR wird als Label in der Karte sowie im Bereich „Information“ und „Alle Parameter“ auf der Benutzeroberfläche dargestellt. Das Menü zur Änderung der Bodeneigenschaften „Lagerungsdichte“ und „Humusstufe“ erfolgt jeweils in einem separaten Fenster (Abbildung 59) nach der Auswahl eines Hydrotops. In dieser Tabelle können die beiden Bodenparameter ihren Gültigkeitsgrenzen entsprechend verändert werden. Der Gültigkeitsbereich wird für jeden Parameter unterhalb der Tabelle in den Hinweisen angezeigt.

AGGNR	Anzahl	Fläche (km²)
489	3	13
1589	4	9.8
202	4	57.6
14	1	13.6
385	1	2

AGGNR	Horizont Nr	Dicke (mm)	Tiefe (mm)	Boden Bzh	Humusstufe	Lagerung (g/cm³)
465	1	300	300	Us	2	1.7
465	2	50	350	Us	1	1.7
465	3	100	450	Us	0	1.7
465	4	150	600	Uls	0	1.7
465	5	400	1000	S14	0	1.7

Abbildung 59: Ausschnitt der Web-Oberfläche zur Definition der Bodeneigenschaften im Rahmen der kleinräumigen Wasserhaushaltsberechnung

■ Änderung der Drainageeigenschaften

Die Änderung von Drainageeigenschaften bei kleinräumigen Berechnungen erfolgt im wesentlichen analog zur bereits beschriebenen Definition der Bodeneigenschaften. Die Drainageeigenschaften lassen sich durch den Drainagety (keine Drainage, Graben- oder Rohrdrainage), den Anschlussgrad und die Drainagetiefe parametrisieren. Auch hier ist jede Kombination von Parametern durch eine eindeutige ID-Nummer gekennzeichnet. Der Nutzer kann zu jedem Hydrotop oder zu jeder ArcEGMO-Modellierungseinheit einen Drainagety hinzufügen und parametrisieren bzw. existierende Drainagen entfernen (Abbildung 60).

ID	Typ	Anschlussgrad (%)	Tiefe (m)
0	Keine Drainage	0	0

Abbildung 60: Ausschnitt der Web-Oberfläche zur Definition der Drainageeigenschaften

Arbeitsschritt „Klimaszenario auswählen“

Für die Auswahl eines Klimaszenarios (Abbildung 61) bestehen zwei Möglichkeiten:

1. Auswahl eines der 13 vordefinierten Klimaszenarios für zukünftig mögliche Entwicklungen (1961–2100) bzw. eines aus Beobachtungswerten abgeleiteten Datensatzes für den Istzustand (1961–2010)
2. Verwendung eines nutzerdefinierten Klimaszenarios (separate Beauftragung der TU Dresden, Lehrstuhl für Hydrologie, erforderlich)

Der Berechnungszeitraum einer Wasserhaushaltsberechnung muss generell mindestens zehn Jahre betragen.

Klimaszenario	vorhandene Klimaszenarien			 Nutzerspezifisches Klimaszenario Klicken Sie auf den Button, um Informationen zur Verarbeitung eines bisher nicht vorhandenen Szenarios zu erhalten.
Klimaszenario: bitte rechts auswählen Zeitraum für die Wasserhaushaltsberechnung eingrenzen: ? Anfangsjahr <input type="text"/> - Endjahr <input type="text"/> Zurück zum Hauptmenü <input type="button"/> Hilfe <input type="button"/> Speichern <input type="button"/>	werex00	werex11	werex22	
	werex33	werex44	werex55	
	werex66	werex77	werex88	
	werex99	wettreg00	wettreg66	
	wettreg99	Istzustand		

Abbildung 61: Das zentrale Panel mit Anpassungen zum Arbeitsschritt „Klimaszenario auswählen“

6.1.3 Fallbeispiel zur Anwendung der Säule C

Für die Säule C soll anhand eines Beispiels die nutzerspezifische Anwendung zur Wasserhaushaltsberechnungen veranschaulicht werden. Weil auf die kleinräumige Berechnung schon in Kapitel 6.1.2 näher eingegangen wurde, stellt das Fallbeispiel die großräumige Berechnung dar. Als Flussgebiet dient wiederum das in Kapitel 5.2.3 und 5.2.6 verwendete Gewässer Pulsnitz bis zum Pegel Königsbrück.

Die Startseite der Säule C ist in Abbildung 62 zu sehen.

Abbildung 62: Startseite des Internetauftritts der Säule C

Arbeitsschritt „Gebiet auswählen“

Bevor Gebietseigenschaften entsprechend der jeweiligen Anforderungen geändert werden können, ist zunächst die Auswahl eines der sieben Flusseinzugsgebiete erforderlich. Weil sich das Beispielgebiet Königsbrück im Flussgebiet der Schwarzen Elster befindet, wird dieses selektiert und durch Klicken auf den Button „weiter“ im Fenster „1. Flusseinzugsgebiet FEG wählen“ bestätigt. Nähere Informationen zur Gebietsstruktur und -auswahl enthält Abschnitt „Gebiet auswählen“ in Kapitel 6.1.2. Das selektierte Einzugsgebiet erscheint anschließend rot umrahmt in der Karte. Danach muss zwischen klein- oder großräumiger Berechnung entschieden werden. Fällt die Wahl auf die großräumige Wasserhaushaltsberechnung, wie in Abbildung 63 dargestellt, so ist dies mit einem Klick auf den Button „weiter“ im Fenster „2. Berechnungsmaßstab definieren“ zu bestätigen.

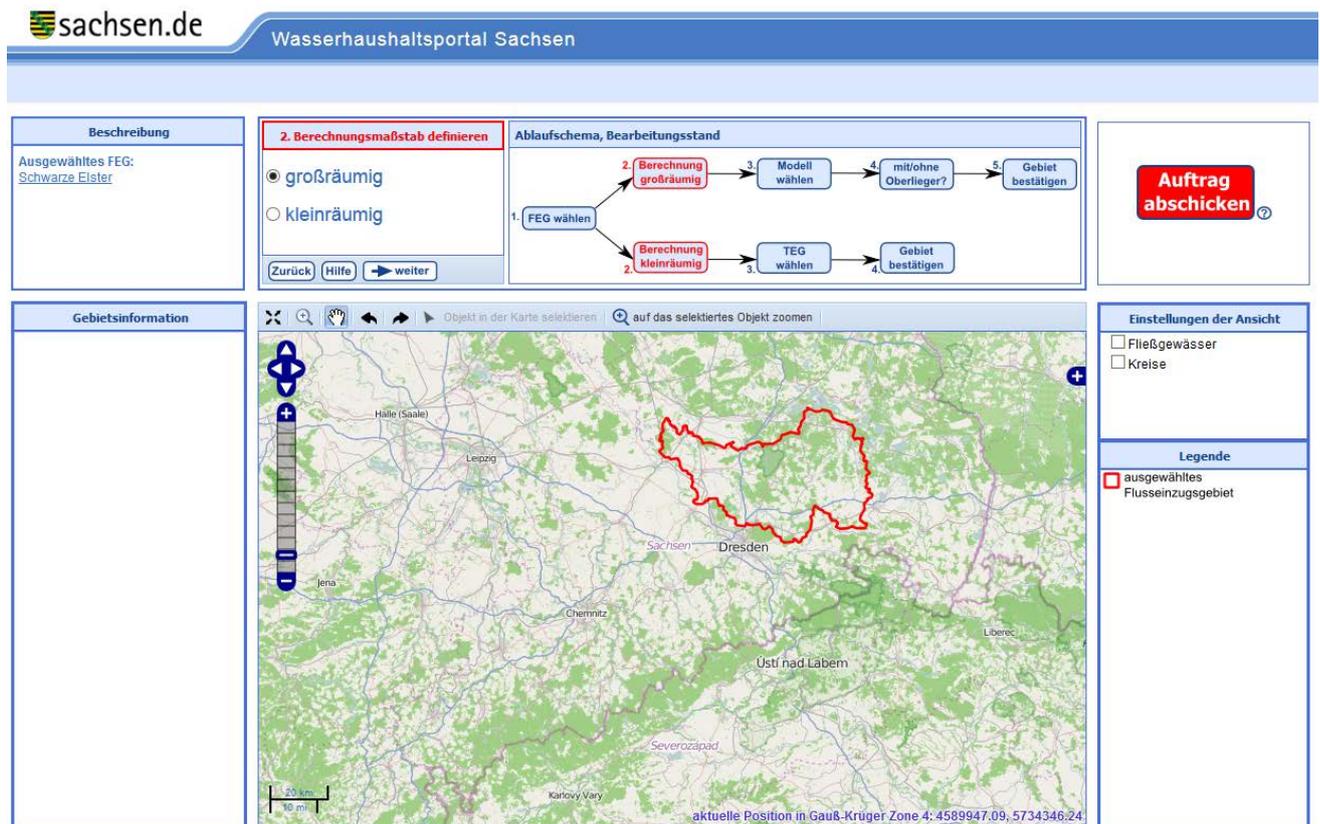


Abbildung 63: Internetseite Säule C; Startseite zur Auswahl der klein- oder großräumigen Wasserhaushaltsberechnung

Im Anschluss erscheinen die Umriss der Modellgebiete des Flussgebietes Schwarze Elster in der Karte und im Informationspanel auf der linken Seite (Abbildung 64). Wird über die Karte oder das Informationspanel ein Modell ausgewählt, erscheint dieses orange eingefärbt. Eventuell vorhandene Oberliegergebiete werden ebenfalls mit dargestellt und sind grün eingefärbt. Im Fenster „3. Modell wählen“ erfolgt die Bestätigung des selektierten Modells bzw. der Modelle durch das Drücken auf den Button „weiter“. Anschließend ist zu entscheiden, ob mit oder ohne Oberlieger gerechnet werden soll, wie Abbildung 65 zeigt. Gibt es keinen Oberlieger, erscheint beim Anklicken der Option „mit Oberlieger“ in einem separaten Fenster der Hinweis: „Dieses Gebiet besitzt keinen Oberlieger.“. Das Beispielgebiet Königsbrück verfügt über keinen Oberlieger. Für Modelle mit oberhalb liegenden Gebieten lohnt sich die Berechnungsvariante „mit Oberlieger“ nur, wenn der Durchfluss als Ergebnisgröße benötigt wird. Andernfalls sollte darauf verzichtet werden, weil hierdurch die Rechenzeit unnötig ansteigt. Wie schon zuvor ist die Wahl durch Anklicken des Buttons „weiter“ zu bestätigen.

Beschreibung

Ausgewähltes FEG:
Schwarze Elster

3. Modell wählen

Wählen Sie in der Karte oder in der Spalte „Information“ ein Modell-Gebiet aus und drücken Sie danach auf „weiter“

Zurück Hilfe weiter

Ablaufschema, Bearbeitungsstand

```

    graph TD
      A[1. FEG wählen] --> B[2. Berechnung großräumig]
      A --> C[2. Berechnung kleinräumig]
      B --> D[3. Modell wählen]
      C --> E[3. TEG wählen]
      D --> F[4. mit/ohne Oberlieger?]
      E --> G[4. Gebiet bestätigen]
      F --> H[5. Gebiet bestätigen]
      style D stroke:#f00
      style F stroke:#f00
      style H stroke:#f00
          
```

Auftrag abschicken

Gebietsinformation

Model	Name	Area
182	Pietzschwitz	422.9
179	GebietS381841	136.2
183	Prischwitz2	620.1
184	Zescha	767
181	Schoenau	1056.2
180	Trado1	1601.8
178	Lipsa	1532.7
176	Koenigsbrueck	923
177	Ortrand	1532.5
188	GebietS3828	140.4
190	GebietS382926	71.7
189	GebietS382941	59.3
186	Kleinkoschen	3217.7
167	Radeberg	1136.7
168	Grossditmanns...	1855.6
169	Radeburg3	731.6
170	Kleinraschuetz	3066.7
172	Stolzenhain1	1339.4
173	Stolzenhain2	69.7
174	Kroebeln	704.2

Objekt in der Karte selektieren

Einstellungen der Ansicht

Fließgewässer

Kreise

Legende

Modelle

Abbildung 64: Internetseite Säule C; Startseite der großräumigen Wasserhaushaltsberechnung

Beschreibung

Ausgewähltes FEG:
Schwarze Elster
Modell:
Koenigsbrueck
Modell besitzt kein Oberlieger
Als Gebiet nur ausgewähltes Modell

4. mit/ohne Oberlieger?

ohne Oberlieger: (■)

mit Oberlieger: (■ + ■)

Zurück Hilfe weiter

Ablaufschema, Bearbeitungsstand

```

    graph TD
      A[1. FEG wählen] --> B[2. Berechnung großräumig]
      A --> C[2. Berechnung kleinräumig]
      B --> D[3. Modell wählen]
      C --> E[3. TEG wählen]
      D --> F[4. mit/ohne Oberlieger?]
      E --> G[4. Gebiet bestätigen]
      F --> H[5. Gebiet bestätigen]
      style F stroke:#f00
          
```

Auftrag abschicken

Gebietsinformation

Model	Name	Area
176	Koenigsbrueck	923

Objekt in der Karte selektieren

Einstellungen der Ansicht

Fließgewässer

Kreise

Legende

ausgewähltes Modell

Oberlieger

Abbildung 65: Internetseite Säule C; Selektion des Gebietes Königsbrück für die großräumige Berechnung ohne Oberliegergebiet abgeschlossen

Damit ist die Festlegung des zu bearbeitenden Gebietes abgeschlossen und die Internetseite zeigt wieder die Startseite von Säule C inklusive des selektierten Einzugsgebietes. Im Fenster „Gebiet“ lässt sich ablesen, welches Modell bzw. Modelle mit der dazugehörigen ID ausgewählt wurden.

Arbeitsschritt „Gebietsparameter ändern“

■ Änderung der Landnutzungsklassen

Im nächsten Schritt erfolgt die Änderung der Gebietsparameter. Wie in Abbildung 66 zu sehen ist, werden als erstes die Parameter der Landnutzung verändert. Im Gegensatz zur kleinräumigen Berechnung, für die flächengenaue Einstellungsänderungen vorgenommen werden können, lassen sich bei der großräumigen Berechnung nur pauschale Änderungen für das gesamte Modellgebiet vornehmen.

The screenshot shows the 'Wasserhaushaltsportal Sachsen' interface. The main window is titled 'Landnutzungsparameter' and contains several sections:

- Änderungsparameter:** Includes buttons for 'Landnutzungsparameter', 'Bodeneigenschaften', and 'Drainageeigenschaften'.
- Menü:** Contains buttons for 'Alle Parameter zurücksetzen', 'Änderungen speichern', and 'weiter'.
- Alle Parameter:** A table with columns 'LN-Klasse', 'Neu Klasse', 'km²', and '%'. A dropdown menu is open over this table, showing a selection from 'Nadelwald' to 'Laubwald'. The table data is as follows:

LN-Klasse	Neu Klasse	km²	%
Acker	Acker	425.1	46.1
Nadelwald	Nadelwald	225.6	24.4
Grünland	Grünland	135.9	14.7
Wohnbaufläche	Wohnbaufläche	93.4	10.1
Mischwald	Mischwald	31.7	3.4
- Beschreibung:** Text area with 'noch zu verfassen. datei: landnutzung.js function: InAfterProve'.
- Gebietsinformation:** Table with columns 'Modell', 'Name', and 'Area'. It shows '176 Königsbrueck' and '923'.
- Einstellungen der Ansicht:** Includes checkboxes for 'Fließgewässer' and 'Kreise'.
- Legende:** Includes a legend for 'ausgewähltes Modell', 'Oberlieger', and 'Modell'.
- Map:** A map of the region around Leipzig and Dresden, with a scale bar and coordinates.

Abbildung 66: Internetseite Säule C; Änderung der Landnutzungsparameter über Auswahlliste für die großräumige Wasserhaushaltsberechnung

Für das Fallbeispiel werden im Gebiet Königsbrück alle Nadelwaldflächen in Laubwald umgewandelt. Hierfür wird im Fenster „Alle Parameter“ die Spalte „Neue Klasse“ verwendet. Über die Auswahlliste erfolgt die Selektion der neuen Landnutzungsklasse. Ist die Auswahl abgeschlossen, wird dies durch Klicken des Buttons „Änderungen speichern“ bestätigt. Anschließend öffnet sich ein Popup-Fenster (Abbildung 67), das die Optionen „Änderungen ansehen“ und „Änderungen speichern“ bietet. Die Übersichtstabelle, die sich bei Anklicken der Option „Änderungen ansehen“ öffnet, ist in Abbildung 68 exemplarisch für das Fallbeispiel Königsbrück zusehen. Die Übernahme der Änderungen ins Modell erfolgt mit dem Betätigen des Buttons „Änderungen speichern“. Um danach fortzufahren, muss auf „weiter“ geklickt werden. In einem separaten Fenster wird das Speichern anschließend bestätigt.

Sollen keine Landnutzungsänderungen erfolgen, muss nur der Button „weiter“ unterhalb des Menü-Fensters betätigt werden. In diesem Fall erscheint die Abfrage zum Fortfahren ohne Landnutzungsänderungen, die durch einen Klick auf „Ohne Änderungen der Landnutzung weiter“ bestätigt werden muss. Dies trifft in gleicher Weise auf die Boden- und Drainageeigenschaften zu.

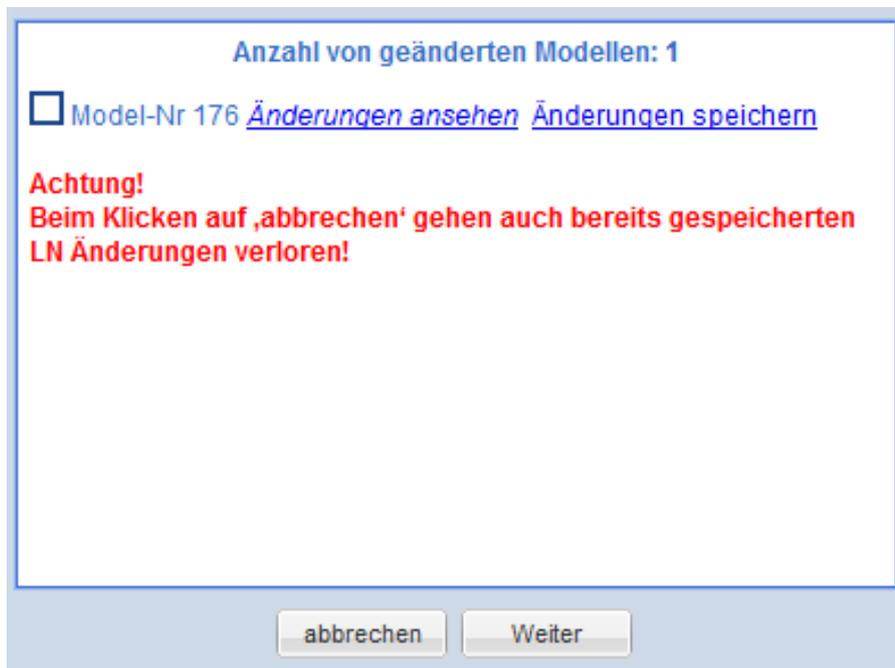


Abbildung 67: Internetseite Säule C; Popup-Fenster zum Speichern von Landnutzungsänderungen

■ Änderung der Bodeneigenschaften

Als nächstes können Bodenparameter verändert werden. Hierfür ist im Fenster „Alle Parameter“ zunächst die Landnutzung auszuwählen, für die eine Änderung von Bodeneigenschaften erfolgen soll. Für das Gebiet Königsbrück soll ein Bodentyp für die Landnutzung Acker verändert werden. Durch das Anklicken der entsprechenden Landnutzung öffnet sich ein Popup-Fenster, das eine Übersicht aller Böden unter Ackerflächen auflistet (Abbildung 69). Für den Boden mit der AGGNR 0137 wird eine besonders starke Verdichtung der beiden oberen Bodenhorizonte angenommen, weswegen dieser Boden durch einen Klick selektiert wird. Im Anschluss öffnet sich das in Abbildung 70 dargestellte Popup-Fenster zum Editieren der Bodeneigenschaften. Der ausgewählte Landnutzungstyp ist in der obersten Zeile im Popup-Fenster abzulesen.

Verändert werden können die rot hinterlegten Eigenschaften Humusstufe und Lagerungsdichte. Der Übersicht lässt sich außerdem die Anzahl der vorhandenen Bodenhorizonte entnehmen. Für jeden Horizont sind die Dicke, Tiefe und Bodenart aufgeführt, die aber nicht veränderbar sind. Unterhalb der Tabelle befindet sich eine Zusammenstellung von verschiedenen Hinweisen zum Editieren der beiden Parameter Humusstufe und Lagerungsdichte sowie der Link „Hilfe anzeigen“, der genauere Informationen zur Lagerungsdichte bietet.

Für den obersten Bodenhorizont wird eine Zunahme der Lagerungsdichte auf $2,5 \text{ g/cm}^3$ angenommen. Der Bodenhorizont 2 erhält einen Wert von $2,0 \text{ g/cm}^3$. Beim Eingeben der Werte ist zu berücksichtigen, dass das Dezimaltrennzeichen ein Punkt ist.

LN-Klassen Änderungsübersicht für das Model-176			
Ist-N Klasse		Soll LN-Klasse	
Nadelwald		Laubwald	
originale LN			
Klasse	Fläche (km²)	Flächenanteil (%)	
Acker	425.1	46.1	
Nadelwald	225.6	24.4	
Grünland	135.9	14.7	
Wohnbaufläche	93.4	10.1	
Mischwald	31.7	3.4	
Laubwald	5.3	0.6	
Sonderkultur	3.8	0.4	
Industrie	2.2	0.2	
geänderte LN			
Klasse	Fläche (km²)	Flächenanteil (%)	
Acker	425.1	46.1	
Laubwald	225.6	24.4	
Grünland	135.9	14.7	
Wohnbaufläche	93.4	10.1	
Mischwald	31.7	3.4	
Laubwald	5.3	0.6	
Sonderkultur	3.8	0.4	
Industrie	2.2	0.2	

OK

Abbildung 68: Internetseite Säule C; Popup-Fenster mit einer Übersicht der geänderten Landnutzungs-klassen für das Beispielgebiet Königsbrück (Modell-Nr. 176)

Durch Klicken auf den Button „ok“ wird das Editieren dieses Bodens beendet und der Boden erhält eine neue AGGNR. Für das Fallbeispiel ist das die Nummer 10001. Die vorgenommenen Änderungen gelten anschließend für alle Flächen mit der selektierten Landnutzung und dem ausgewählten Boden. Für das Gebiet Königsbrück betrifft dies alle Ackerflächen mit der ursprünglichen AGGNR 0137. Im Gegensatz zur Landnutzung gibt es keine direkte Visualisierung der Änderungen im Fenster „Alle Parameter“. Durch ein gesetztes Häkchen in der ersten Spalte ist aber erkennbar, für welche Landnutzungs-klassen bereits Bodeneigenschaften verändert wurden.

vorhandene AGGNR in Model 176 Landnutzungsklasse: Acker

AGGNR	Anzahl AGGNR	Fläche km ²	Anteil
0137	16	69	7.5
0009	9	50.8	5.5
0401	8	42.5	4.6
0004	9	38.8	4.2
1163	16	35.6	3.9
0027	3	19.2	2.1
1153	4	18.2	2
1154	3	17.9	1.9
0129	5	16.6	1.8
0007	4	13.4	1.5
1137	4	13	1.4
1123	3	11.9	1.3
0012	5	10.4	1.1
0234	3	8.8	1
0421	2	8.5	0.9

Schließen

Abbildung 69: Internetseite Säule C; Popup-Fenster mit einer Übersicht aller unter Ackerflächen befindlichen Böden für das Beispielgebiet Königsbrück

Bodeneigenschaften

AGGNR	Horizont Nr	Dicke (mm)	Tiefe (mm)	Boden Bzh	Humusstufe	Lagerung (g/cm ³)
0137	1	300	300	Su3	2	1.7
0137	2	350	650	Su3	1	1.7
0137	3	250	900	Su3	0	1.7
0137	4	200	1100	S13	0	1.7

Hinweis
 Editierbare Felder sind „Humusstufe“ und Lagerung!
 Die Lagerungsdichte von Böden gibt an, wie stark verdichtet ein Boden ist und wie groß sein Porengehalt ist. Lagerungswerte sollen zwischen 0.2 und 2.65 g/cm³ liegen.
 Humusstufen charakterisieren den Humusgehalt. Sie reichen von 0 (kein Humusgehalt) bis 6 (äußerst starker Humusgehalt). Ein typischer Wert ist 3.
 Weitere Information – Hilfe
 Hilfe anzeigen

Abbrechen OK

Abbildung 70: Internetseite Säule C; Popup-Fenster zum Editieren von Bodeneigenschaften, dargestellt am Beispiel Königsbrück für einen Boden unter Acker

Im Rahmen des Fallbeispiels erfolgen keine weiteren Änderungen, sodass der Vorgang wiederum durch „Änderungen speichern“ im Menü-Fenster abgeschlossen wird. Wie schon zuvor bei der Landnutzungsänderung öffnet sich ein Popup-Fenster und die Änderungen können in einer Übersicht angesehen und gespeichert werden (Abbildung 71).

Anzahl von geänderten Modellen: 1

Model: 176 [Änderungen speichern](#)

Landnutzungs-klasse	Alte AGGNR	Neue AGGNR	
Acker	0137	10001	Änderungen ansehen

Achtung!
Beim Klicken auf ‚abbrechen‘ gehen auch bereits gespeicherten Bodenänderungen verloren!

Abbildung 71: Internetseite Säule C; Popup-Fenster zum Speichern von geänderten Bodeneigenschaften

Änderungen der Bodeneigenschaften

alte Bodeneigenschaften						
AGGNR	Horizont Nr	Dicke (mm)	Tiefe (mm)	Boden Bzh	Humusstufe	Lagerung (g/cm ³)
137	1	300	300	Su3	2	1.7
137	2	350	650	Su3	1	1.7
137	3	250	900	Su3	0	1.7
137	4	200	1100	Si3	0	1.7

neue Bodeneigenschaften						
AGGNR	Horizont Nr	Dicke (mm)	Tiefe (mm)	Boden Bzh	Humusstufe	Lagerung (g/cm ³)
10001	1	300	300	Su3	2	2.5
10001	2	350	650	Su3	1	2
10001	3	250	900	Su3	0	1.7
10001	4	200	1100	Si3	0	1.7

Abbildung 72: Internetseite Säule C; Popup-Fenster mit einer Übersicht der geänderten Bodeneigenschaften für das Beispielgebiet Königsbrück (Modell-Nr. 176)

Die Übersichtstabelle der geänderten Bodeneigenschaften für Fallbeispiel Königsbrück zeigt Abbildung 72.

Änderung der Drainageeigenschaften

Zum Schluss können Drainageeigenschaften verändert werden. Die vorhandenen Drainageeinstellungen für das Modellgebiet sind im Fenster „Alle Parameter“ zu sehen (Abbildung 73). Die Übersicht enthält Informationen zum Anteil der drainierten Fläche einer jeder Landnutzungsklasse.

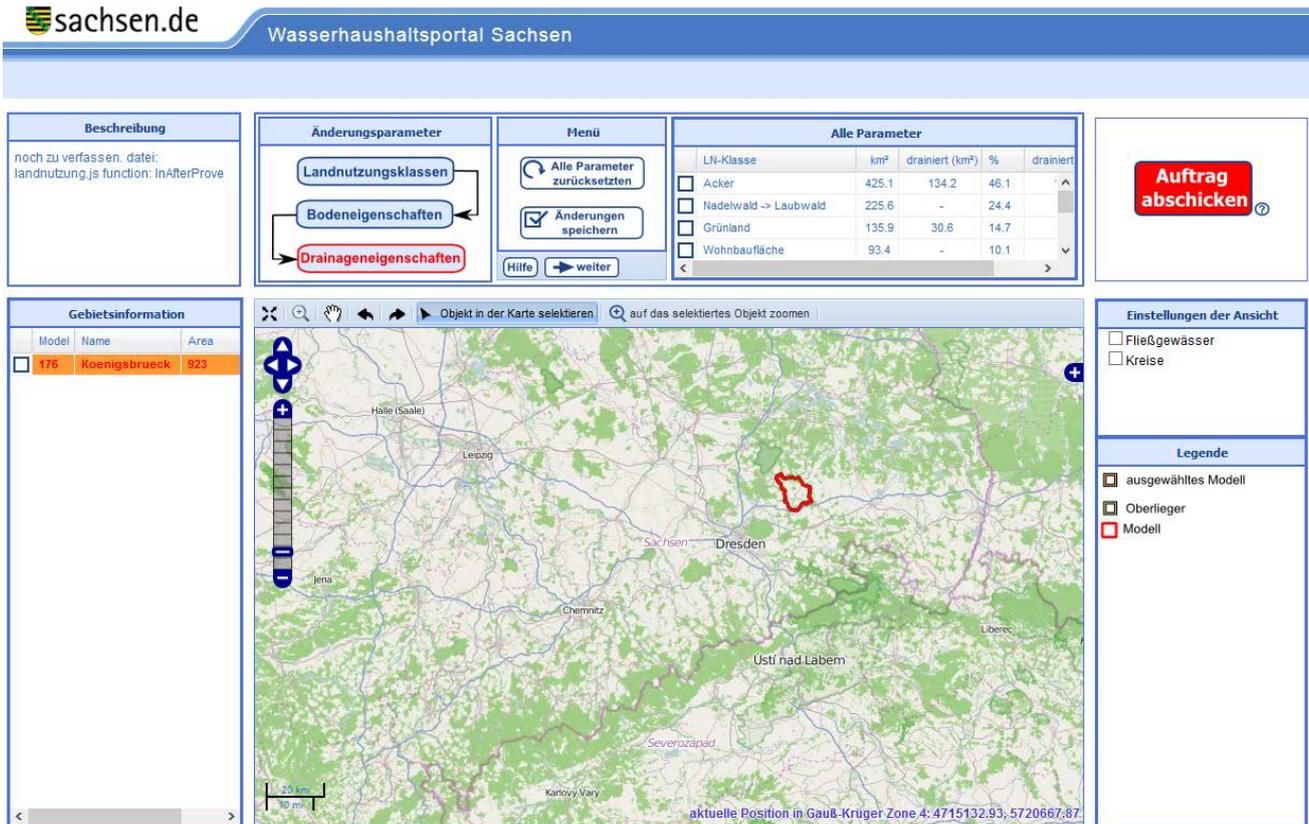


Abbildung 73: Internetseite Säule C; Änderung der Drainageeigenschaften im Gebiet Königsbrück

drainierte Fläche in Model 176 Landnutzungsklasse: Acker

Drainage-ID	Anzahl von Hydrotopen	drainierte Fläche (km²)	Anteil von von ganzer Fläche(%)	Anteil von drainierter Fläche (%)
9	9	37.7	8.9	28.1
8	2	2.7	0.6	2
7	1	1.1	0.3	0.8
6	18	70.6	16.6	52.6
11	1	3.3	0.8	2.5
5	2	5.6	1.3	4.2
12	4	10.3	2.4	7.7
10	2	2.9	0.7	2.2

Hinweise für den Nutzer: Auf ein Rekord klicken, kommt ein Fenster, dort Info über den Typ und die Möglichkeit diese zu ändern oder auszuschalten

Drainagentyp für die ganze LN hinzufügen

Schließen

Abbildung 74: Internetseite Säule C; Pop-up-Fenster mit einer Übersicht aller unter Ackerflächen befindlichen Drägen für das Beispielgebiet Königsbrück

Um Drainageeigenschaften ändern zu können, ist wie zuvor beim Boden zunächst die Auswahl der Landnutzung erforderlich.

Im Beispielgebiet Königsbrück wird die Landnutzungs-kategorie Acker, die mit 46 % am häufigsten auftritt, im Fenster „Alle Parameter“ ausgewählt. Es öffnet sich ein Popup-Fenster, in dem für die einzelnen Drainage-ID der flächenmäßige Anteil an den gesamt dränierten Flächen und der prozentuale Anteil angezeigt werden. Die unterschiedlichen Drainage-ID verkörpern eine bestimmte Kombination der Drainageeigenschaften Drainagetyp, Tiefe und Anschlussgrad. Im Fallbeispiel wird die Drainage-ID mit der flächenmäßig größten dränierten Fläche unter der Landnutzungs-kategorie Acker editiert. Wie in Abbildung 74 zu sehen ist, handelt es sich um die Drainage mit der ID 6. Durch das Anklicken der entsprechenden Zeile öffnet sich ein weiteres Popup-Fenster, welches das Editieren der Drainageeigenschaften erlaubt. Das Popup-Fenster ist in Abbildung 75 dargestellt. Als Eigenschaften sind Drainagetyp, Anschlussgrad und Tiefe der Drainage aufgeführt. Alle drei Eigenschaften können verändert werden. Unter der Tabelle finden sich Hinweise für das Editieren der Drainage.

Für das Fallbeispiel wird der Anschlussgrad der betreffenden Ackerfläche von 40 % auf 60 % erhöht, was durch Eintragen der Zahl 60 in die Spalte Anschlussgrad erreicht wird. Hierdurch ändert sich die ID und der Vorgang kann mit einem Klick auf den Button „Ok“ bestätigt werden.

ID	Typ	Anschlussgrad (%)	Tiefe (m)
101	Rohrdrainage	60	0.7

Hinweis
Alle Felder sind editierbar!
(außer Id, wird automatisch erstellt).
Die zugelassene Werte für die Drainagetiefe liegen zwischen 0.4 und 1.50 m

abbrechen OK

Abbildung 75: Internetseite Säule C; Popup-Fenster zum Editieren von Drainageeigenschaften, dargestellt am Beispiel Königsbrück für eine Ackerfläche

Die neue ID wird in die Übersichtstabelle (Abbildung 74) übernommen, wodurch die Veränderung dieser Drainage ersichtlich wird. Unterhalb der Übersichtstabelle befindet sich außerdem der Button „Drainagetyp für ganze LN hinzufügen“. Auf diese Weise kann die Drainage für die gesamte Ackerfläche einheitlich editiert werden, was wiederum über ein separates Eingabefenster erfolgt. Im Ergebnis liegt eine zu 100 % dränierte Ackerfläche mit gleichen Drainageeigenschaften vor.

Nach dem „Schließen“ des Popup-Fensters mit der Übersichtstabelle der Dränagen (Abbildung 74) wird in der ersten Spalte im Fenster „Alle Parameter“ ein Häkchen vor die entsprechende Landnutzungs-kategorie gesetzt – im Fallbeispiel also vor Acker. Damit ist ersichtlich, wo bereits Drainageeigenschaften verändert wurden. Für das Gebiet Königsbrück sollen keine weiteren Parameter verändert werden, sodass wie schon zu-

vor für Landnutzung und Boden der Vorgang über „Änderungen speichern“ abzuschließen ist. Auch hier können alle Änderungen noch einmal in einer Übersicht angesehen und das Speichern über ein Pop-up-Fenster bestätigt werden. In der Übersichtsseite der Säule C sind nun in den Fenstern „Gebiet“ und „Gebietsparameter“ Häkchen gesetzt, wie in Abbildung 76 zu erkennen ist. Im letzten Schritt ist die Auswahl eines vorhandenen Klimaszenarios bzw. das Einlesen eines neuen Klimadatenatzes erforderlich.

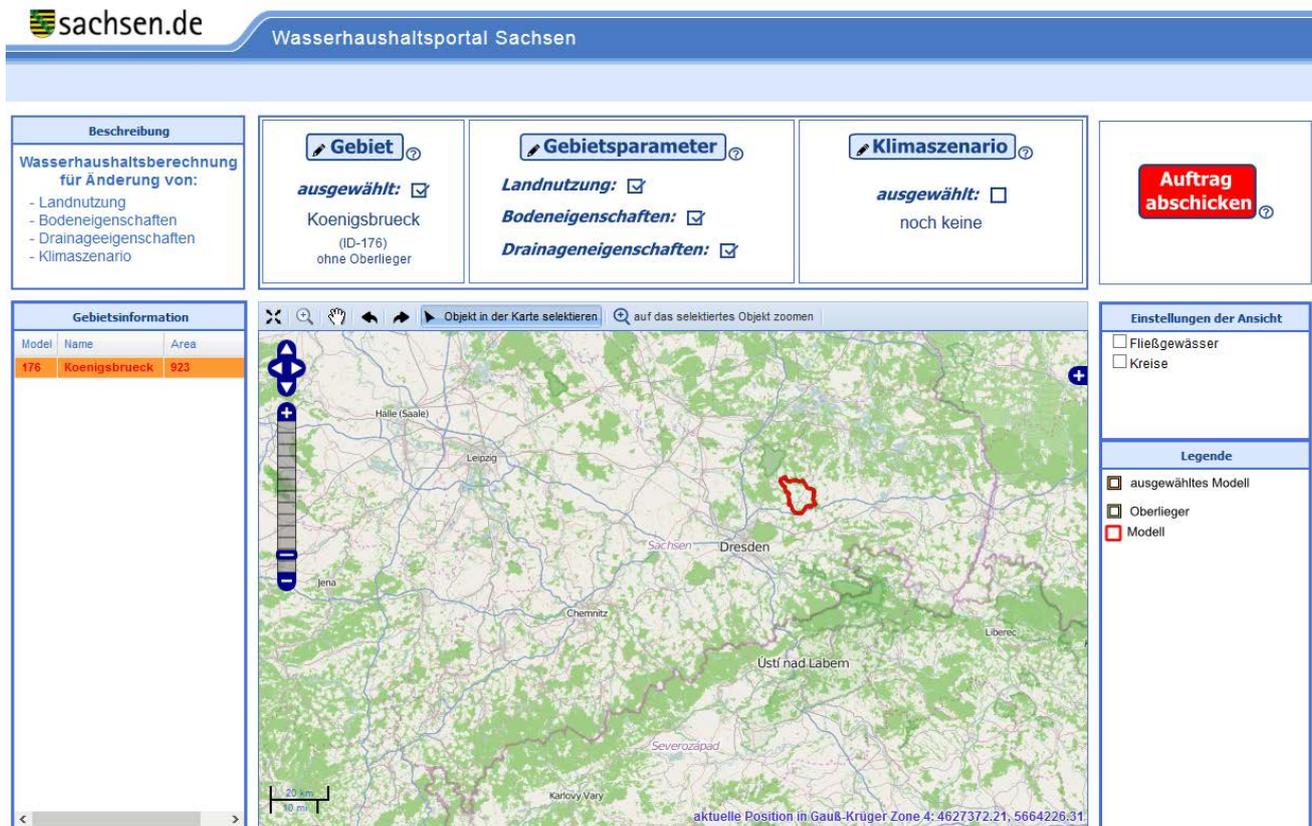


Abbildung 76: Internetseite Säule C nach erfolgter Gebietsauswahl und editierten Gebietsparametern

Arbeitsschritt „Klimaszenario auswählen“

Zum Festlegen des meteorologischen Eingangsdatensatzes muss auf den Button „Klimaszenario“ geklickt werden. Dadurch ändert sich die Ansicht im oberen Bereich der Webanwendung (Abbildung 77). Im Fenster „vorhandene Klimaszenarien“ muss zunächst eines der verfügbaren Szenarien ausgewählt werden, bevor im Feld „Klimaszenario“ das Anfangs- und Endjahr der Wasserhaushaltsberechnung händisch einzugeben ist.

Soll ein „Nutzerspezifisches Klimaszenario“ für die Berechnung verwendet werden, muss Kontakt zum Lehrstuhl für Hydrologie der TU Dresden aufgenommen werden. Der Hinweis darauf und eine Erläuterung zur Vorgehensweise erscheinen beim Anklicken des entsprechenden Buttons.

Für das Fallbeispiel wird das Klimaszenario „wettreg99“ verwendet. Der Simulationszeitraum umfasst die maximal mögliche Zeitspanne von 1961–2100. Um die Eingaben zu speichern, ist der entsprechende Button unterhalb des Fensters „Klimaszenario“ zu nutzen. In einem Pop-up-Fenster wird die Auswahl noch einmal zusammengefasst und muss vom Benutzer bestätigt werden. Nun weist auch der Bereich „Klimaszenario“ ein Häkchen auf. Damit sind alle erforderlichen Eingaben abgeschlossen und der Auftrag kann abgeschickt werden.

The screenshot displays the 'Wasserhaushaltsportal Sachsen' interface. It features several panels:

- Beschreibung:** A text area containing 'noch zu verfassen. function klimaWahl()'. Below it are 'Hilfe' and 'Speichern' buttons.
- Klimaszenario:** A section with the instruction 'Klimaszenario: bitte rechts auswählen' and 'Zeitraum für die Wasserhaushaltsberechnung eingrenzen:'. It includes input fields for 'Anfangsjahr' and 'Endjahr'.
- vorhandene Klimaszenarien:** A table listing available scenarios:

werex00	werex11	werex22
werex33	werex44	werex55
werex66	werex77	werex88
werex99	wettreg00	wettreg66
wettreg99	Istzustand	?
- Nutzerspezifisches Klimaszenario:** A button with a question mark icon and the text 'Klicken Sie auf den Button, um Informationen zur Verarbeitung eines bisher nicht vorhandenen Szenarios zu erhalten.'
- Auftrag abschicken:** A prominent red button with a question mark icon.
- Gebietsinformation:** A table with columns 'Modell', 'Name', and 'Area'. The first row is highlighted:

Modell	Name	Area
176	Koenigsbrueck	923
- Map:** A central map showing the region around Dresden, Saxony. A red outline highlights the 'Koenigsbrueck' area. The map includes navigation controls and a scale bar.
- Einstellungen der Ansicht:** A panel with checkboxes for 'Fließgewässer' and 'Kreise'.
- Legende:** A legend with symbols for 'ausgewähltes Modell' (a square), 'Oberlieger' (a square), and 'Modell' (a red square).

Abbildung 77: Internetseite Säule C; Auswählen eines Klimaszenarios für die Modellberechnung des Gebietes Königsbrück

Auslösen einer Berechnung und Zugriff auf die Ergebnisse

Wurden alle erforderlichen Arbeitsschritte durchgeführt, kann der Auftrag zur Berechnung einer Wasserhaushaltsmodellierung über den Button „Auftrag abschicken“ ausgelöst werden. Im Anschluss an die interne Prüfung aller notwendigen Angaben erscheint eine Zusammenfassung der vorgenommenen Änderungen. Der Auftrag kann danach entweder abgeschickt oder die angegebene E-Mail-Adresse noch einmal verändert werden.

Wird der Auftrag abgeschickt, erscheint zunächst die Mitteilung „Ihr Auftrag wurde erfolgreich versendet“. Im Anschluss erhält der Anwender zusätzlich eine Bestätigung per E-Mail mit einer seinem Auftrag zugewiesenen Auftrags-ID („Jobnummer“). Nach der Mitteilung „Ihr Auftrag wurde erfolgreich versendet“ muss der Nutzer entscheiden, ob er alle Einstellungen beibehalten oder verwerfen möchte. Damit gelangt er zurück zur Startseite der Säule C (Abbildung 62).

Liegen für die beauftragte nutzerspezifische Wasserhaushaltsberechnung Ergebnisse vor, erhält der Nutzer eine weitere E-Mail mit einem Download-Link, über den er die Ergebnisdateien erreicht. Diese stehen dem Nutzer zehn Tage ab Erhalt der E-Mail zur Verfügung. Danach werden die Ergebnisdateien der Wasserhaushaltsberechnungen gelöscht.

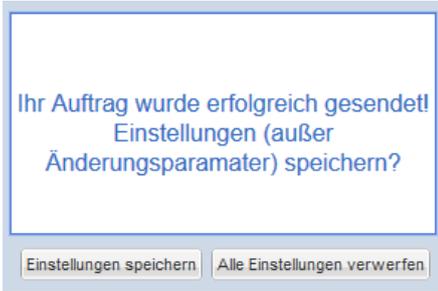


Abbildung 78: Internetseite Säule C; Popup-Fenster mit Bestätigung der Auftragsendung

■ Möglichkeit der Wasserhaushaltsberechnung mit Oberliegergebieten

Neben der Wasserhaushaltsberechnung ohne Oberlieger besteht auch die Möglichkeit, mit Oberliegergebieten zu rechnen. Beispielhaft wird dies für die beiden Einzugsgebiete Ortrand und Königsbrück dargestellt. In diesem Fall sind die Parameter für beide Gebiete einzeln festzulegen. Die Auswahl des jeweiligen Modellgebietes kann über die Karte oder die linksseitige Tabelle erfolgen. Das selektierte Gebiet erscheint im Anschluss rot umrahmt in der Karte (Abbildung 79).

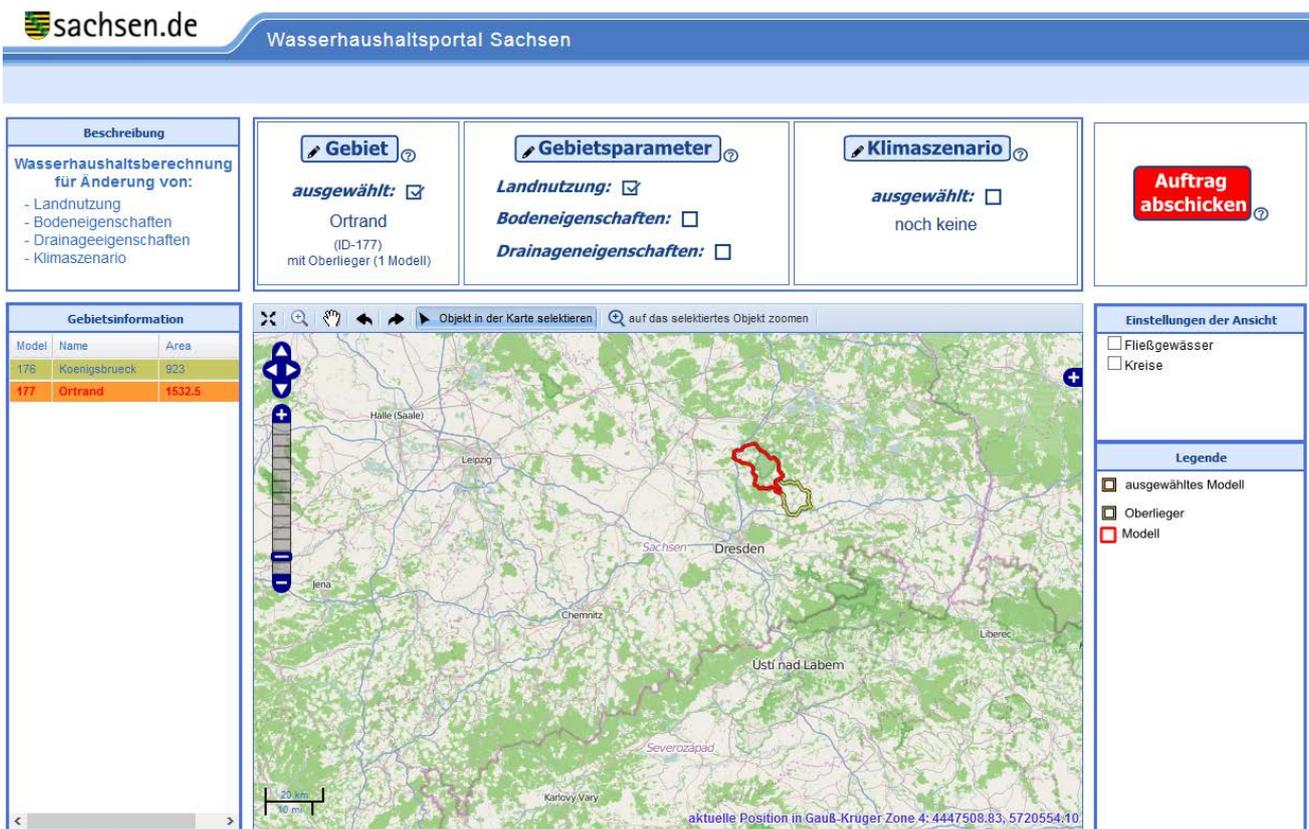


Abbildung 79: Internetseite Säule C; Großräumige Wasserhaushaltsberechnung mit Oberliegergebiet am Beispiel von Königsbrück (Oberlieger) und Ortrand (Unterlieger)

6.2 Informationstechnische Umsetzung der Auftragsverarbeitung

Die Systemarchitektur der Säule C besteht im Wesentlichen aus zwei Ebenen. Die erste Ebene beinhaltet Client- und Serverseite der Webanwendung und ist primär für die Entgegennahme der Berechnungsaufträge zuständig. Auf der zweiten Ebene findet die Verarbeitung der Berechnungsaufträge statt.

Abbildung 80 illustriert den Ablauf der Auftragsverarbeitung in Säule C. Das Webinterface generiert nach dem Abschicken eines Berechnungsauftrags eine Auftragsbeschreibung im ASCII-Format. Diese enthält alle benötigten Parameter zur Simulation des Wasserhaushalts mit ArcEGMO und zur Interaktion mit dem Nutzer. Zunächst findet über eine Kommunikationsschnittstelle die Übergabe des Berechnungsauftrags vom Server des Webportals an den WHH-Simulationsserver statt. Ein Perl-Skript veranlasst den Versand einer E-Mail an den Nutzer, um den Eingang des Auftrags zu bestätigen. Über die Kommunikationsschnittstelle wird dann ein weiteres Perl-Skript zur Auftragsverarbeitung als eigenständiger Kindprozess gestartet. Aus dem Archiv mit 242 vorparametrisierten ArcEGMO-Modellen (ArcEGMO-Modellierungseinheiten) erfolgt die Bereitstellung aller erforderlichen Dateien und Verzeichnisse für einzelne (kleinskalige Berechnung) oder mehrere (großskalige Berechnung) ArcEGMO-Modellierungseinheiten. Anhand der Vorgaben in der Auftragsbeschreibung werden dann die Modelle nach Nutzervorgaben angepasst. Dieser Schritt umfasst die Abänderung der Modellparameter (Boden, Landnutzung, Dränage, Klimadaten, Simulationszeiträume) in mehreren Konfigurationsdateien in den einzelnen Modulen über reguläre Ausdrücke und eventuelle zusätzliche Adaptionen zur Einhaltung von Randbedingungen. Für kleinräumige Berechnungen ist die Abarbeitung eines Auftrags trivial, weil hier nur ein einzelnes ArcEGMO-Modell gestartet werden muss.

Für die großräumige Berechnung muss zwischen den Berechnungsarten „mit Oberlieger“ und „ohne Oberlieger“ unterschieden werden. Für „ohne Oberlieger“ erweist sich die Simulation ebenfalls als trivial. Für eine Berechnung mit Oberliegergebieten muss zunächst, bestimmt durch das Gewässernetz, die Baumstruktur der Modelle ermittelt werden, die die Abfolge der Berechnungen vorgibt – denn für eine übereinstimmende Bilanz muss Oberflächenwasser von Oberliegermodellen in die Unterliegermodelle „geroutet“ werden. Existieren in der Baumstruktur mehrere gegenseitig unbeeinflusste Oberliegergebiete, lassen sich diese, zur Zeitersparnis, verteilt auf mehreren CPU-Kernen parallel berechnen. Der so ermittelte Abfluss kann dann kaskadenweise an die entsprechenden Unterliegermodelle als Zuflusszeitreihe übergeben werden. Dieser Schnitt lässt sich solange wiederholen, bis das vom Benutzer gewünschte Gebiet mit Zuflüssen aus allen Oberliegermodellen berechnet ist. Im nächsten Schritt erfolgt eine Zusammenfassung der Modellausgaben. Die erzeugten Ergebnisse werden in einem Archiv gepackt. Ein Download-Link wird erzeugt, der dem Nutzer in einer finalen E-Mail zugesandt wird. Eventuelle Fehler, die sich entlang der Berechnungskette ergeben könnten, lassen sich in einer Datenbank für jede Auftrags-ID erfassen. Eine manuelle Kontrolle und Korrespondenz mit dem Nutzer ist dann, über die ebenfalls hinterlegte E-Mail, möglich.

Die Anfrage nach einer Wasserhaushaltssimulation mit einem nutzerspezifischen Klimaszenario ist direkt an den Lehrstuhl für Hydrologie der TU Dresden zu richten. Umfang und Details zum Berechnungsauftrag werden in Form eines Vertrages zwischen dem Nutzer und der TU Dresden festgehalten.

Sobald die entsprechenden Klimaszenarien im ASCII-Grid-Format vom Nutzer bereitgestellt sind (Speichermedium oder Cloud-Storage), erfolgt die Umwandlung in ein von ArcEGMO lesbares HDF5-Format durch einen Operator an der TU Dresden. Im Anschluss wird der Auftrag manuell gestartet. Weitere Ausführungen zur IT-Lösung der Säule C enthält der Anhang (Kapitel 10).

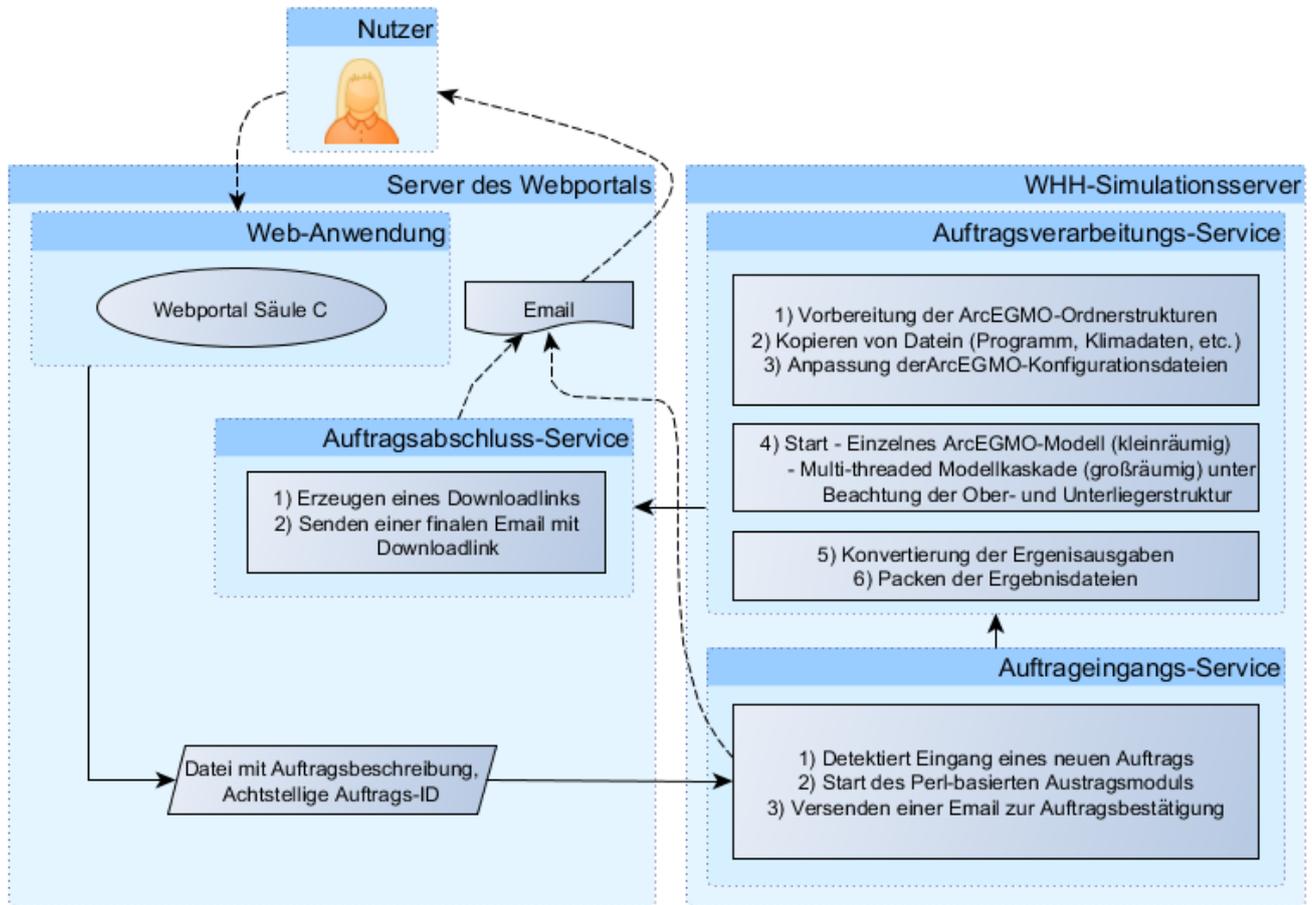


Abbildung 80: Schema der Auftragsverarbeitungsebene mit ArcEGMO in der Säule C

7 Hosting Wasserhaushaltsportal

Das Hosting des Wasserhaushaltsportals Sachsen für die Säulen A, B und C wird vom Lehrstuhl für Hydrologie der TU Dresden in Kooperation mit dem Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen (ZIH) der Technischen Universität Dresden übernommen. Die Kooperation gewährleistet über die angestrebte Laufzeit eine hohe Verfügbarkeit des Wasserhaushaltsportals. Hierzu wird die am Lehrstuhl zur Entwicklung genutzte Hardware am ZIH über Virtuelle Maschinen (VM) verfügbar gemacht (Abbildung 81). Beide Systeme existieren parallel, das explizite Hosting geschieht jedoch über die VM am ZIH. Dieses Vorgehen ermöglicht neben einer hohen Ausfallsicherheit bei hardwareseitigen Störfällen vor allem eine hohe Stabilität auch bei länger anhaltenden Stromausfällen im öffentlichen Netz. Die Server stehen am Lehrstuhl dennoch weiterhin zur Verfügung für den Fall, dass einerseits am ZIH selbst Probleme auftreten sollten und andererseits um eine Weiterentwicklung zu ermöglichen.

Wie in Abbildung 81 ersichtlich, sind insgesamt drei Server für den Betrieb des Wasserhaushaltsportals erforderlich. Der Web-Eingangsserver „Webserver Lehrstuhl“ ist aus Sicherheitsgründen dem eigentlichen System vorgeschaltet. Dieser Server, als auch der „Webserver Wasserhaushaltsportal“ der Säulen A, B und C basiert auf Novell Suse 11.3. Das Wasserhaushaltsmodell ArcEGMO benötigt als Betriebssystem Microsoft Windows, der „WHH-Simulationsserver“ arbeitet daher auf Basis von Windows-Server 2008 RC2.

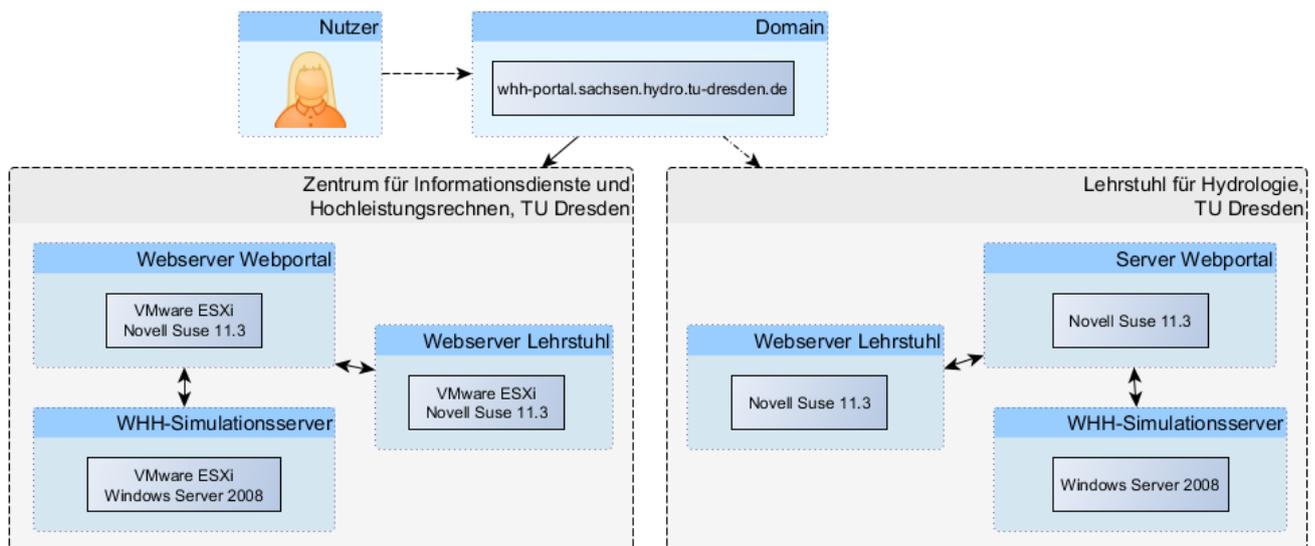


Abbildung 81: Schema der hardwareseitigen Umsetzung zum Hosting der Säulen A, B und C des Wasserhaushaltsportals Sachsen

8 Zusammenfassung

Wasserwirtschaftsbehörden stehen vor der Anforderung, detaillierte regionale Daten, Informationen und Prognosen zur Entwicklung des Wasserdargebots in einer sich ändernden Umwelt sowohl Fachleuten als auch der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Als leicht zugänglicher Informationskanal wurde das „Wasserhaushaltsportal Sachsen“ erstellt und in einer ersten Ausbaustufe („Säule A“) im Mai 2012 freigeschaltet. Seitdem wurde es kontinuierlich weiterentwickelt. Im Mai 2014 kamen die „Säule B“ sowie der Anwendungsbaukasten „Niedrigwasserkennwerte“ hinzu und im April 2016 erfolgte die Freischaltung der „Säule C“.

Das Portal ermöglicht den Zugriff auf sachsenweite Daten für einzelne Wasserhaushaltskomponenten sowohl für den Istzustand (Reanalyse für 1951–2005 bzw. Simulation für 1961–2010) als auch für ausgewählte Zukunftsszenarien (1961–2100).

Die realisierten drei Säulen A, B und C des KliWES-Projektes im Teilkomplex „Wasserhaushalt“ werden durch drei Web-GIS-Anwendungen im Rahmen des „Wasserhaushaltsportales Sachsen“ repräsentiert. Mit den Internetauftritten der Recherchesysteme „Säule A“ und „Säule B“ werden sowohl Ergebnisse von Modellparametern des Modells DIFGA/SLOWCOMP aus vorab durchgeführten Untersuchungen als auch von berechneten Wasserhaushaltskomponenten der Modelle DIFGA und ArcEGMO.

Die Internetanwendung des Expertensystems „Säule C“ ermöglicht darüber hinaus, dass fachlich versierte Anwender mit der selbst gewählten Veränderung bestimmter Parameter und Eingangsdaten Wasserhaushaltsberechnungen durchführen können. Es lassen sich z. B. vordefinierte Landnutzungsklassen vergeben, Humusgehalte und Lagerungsdichten von Bodenschichten verändern und Drainage-Maßnahmen implementieren, weil diese nicht mit der Kalibrierung der Wasserhaushaltsmodelle wechselwirken.

Im Rahmen der Internetanwendung Expertensystem „Säule C“ werden dann nach den Vorgaben des Nutzers auf Servern der TU Dresden Modellläufe mit dem Wasserhaushaltsmodell ArcEGMO ausgeführt und deren Ergebnisse per „Download-Option“ an den jeweiligen Nutzer übergeben.

Der versierte Nutzer ist mit dem Expertensystem „Säule C“ somit in der Lage, auch großräumige Adaptionsmaßnahmen an Veränderungen des Wasserhaushalts durch Anpassung der Landnutzung, der Bodenbewirtschaftung und durch Hydromeliorationsmaßnahmen für den projizierten Klimawandel und auch für rezente Verhältnisse durchzuspielen.

Die im vorliegenden Bericht enthaltenen Screenshots aus dem „Wasserhaushaltsportal Sachsen“ entsprechen dem Bearbeitungsstand vom 11. April 2016 nach der erfolgten webtechnisch funktionalen Einbindung des Bausteines Expertensystem „Säule C“ in das „Wasserhaushaltsportal Sachsen“.

9 Literaturverzeichnis

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Hrsg. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten, 5. Aufl., 438 S.; 41 Abb., 103 Tab., 31 Listen, Hannover.
- BARDOSSY, A. (1994): Modelle zur Abschätzung der regionalen hydrologischen Folgen einer Klimaänderung. Habilitation, Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe.
- BARDOSSY, A. (1997): Introduction to Geostatistics. University of Stuttgart.
- BERNHOFER, C. et al. (2015): Analyse der Klimaentwicklung in Sachsen. Schriftenreihe des LfULG, Heft 3/2015, , Dresden. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/23868>
- BEVEN, K.J. (1993): Prophecy, reality and uncertainty in distributed hydrological modelling. – *Advances in Water Resources* 16(1).
- BAUMGARTNER, A.; LIEBSCHER, H.-J. (1996): Lehrbuch der Hydrologie, Band 1 – Allgemeine Hydrologie Quantitative Hydrologie. 2. Auflage, Verlag der Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- BECKER, A.; SERBAN, P. (1990): Hydrological Models for Water-Resources System Design and Operation. WMO, Operational Hydrology Report, Nr. 34. (WMO-Nr. 740), Genf.
- BMU (2003): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Hydrologischer Atlas von Deutschland. Bonn/Berlin.
- BOHL, J. (2011): Oberlieger-Unterlieger-Probleme – Das Verhältnis von Oberliegern und Unterliegern bei Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes an (internationalen) Flussläufen. Bericht zum Rechtsworkshop des "Oberlieger-Unterlieger-Probleme" INTERREG IV B Projektes „LABEL“ am 20. und 21. Januar 2011, Dresden. www.label-eu.eu/uploads/media/DE_Rechts-WS_Bericht_FINAL.pdf
- CHANG, S. C.; YEH, C. F.; WU, M. J.; HSIA, Y. J.; WU, J.T. (2006): Quantifying fog water deposition by in situ exposure experiments in a mountainous coniferous forest in Taiwan. (Hrsg.) *Journal Forest Ecology and Management*, Vol. 224.
- DÄHNE, R. (1999): Nebeldiagnose aus meteorologischen Standarddaten für Hochlagenstandorte im Osterzgebirge. Diplomarbeit, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Technische Universität Dresden.
- DHI (2008): MIKE SHE User Manual - Volume 1: User Guide. MIKE by DHI, Hørsholm.
- DYCK, S. (1978): Angewandte Hydrologie Teil 2. Verlag für Bauwesen, Berlin.
- DYCK, S. & PESCHKE, G. (1995): Grundlagen der Hydrologie. 3., stark bearbeitete Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin.
- EDOM, F.; DITTRICH, I.; GOLDACKER, ST.; KEßLER, K. (2007): Die hydromorphologisch begründete Planung der Moorrevitalisierung im Erzgebirge. Hrsg. Sächsische Landesstiftung Natur und Umwelt, Dresden.
- EPLR 2014-2020: Entwicklungsprogramm für den ländlichen Raum im Freistaat Sachsen. Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Fassung vom 14.12.2015 (1. Änderung), <http://www.smul.sachsen.de/foerderung/3531.htm>
- FEDERER, C.A.; VOROSMARTY, C.; FEKETE, B. (2003): Sensitivity of annual evaporation to soil and root properties in two models of contrasting complexity. *Journal Hydrometeorology* 4:1276-1290.
- FLEMMING, G. (1983): Verbesserung der Niederschlagsdaten im Saidenbachgebiet. Forschungsbericht im Projekt "Wasser- und Stoffhaushalt von Einzugsgebieten", Wissenschaftsbereich Hydrologie und Meteorologie, Technischen Universität Dresden.

- GATTKE, C. (2006): Modellvergleiche zur Untersuchung struktureller Unsicherheiten – Anwendung objektorientierter Methoden in der hydrologischen Modellierung. Dissertation, University of Bochum.
- GLÖCKNER, C. & RÜSTER, A. (2010): Entwicklung einer Strategie zur Parametrisierung hydrologischer Prozesse in urbanen Räumen auf unterschiedlichen Skalenbereichen. Diplomarbeit, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Technische Universität Dresden.
- GREIFENSTEIN, S. (2010): Möglichkeiten für eine flächendeckende Beschreibung der Bodenzone innerhalb einer Wasserhaushaltsmodellierung für Sachsen – Parametrisierungsmöglichkeiten und Sensitivitätsstudie. Diplomarbeit, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Technische Universität Dresden.
- GUPTA, H.V.; SOROOSHIAN, S.; YAPO, P.O. (1998): Towards improved calibration of hydrologic models: multiple and incommensurable measures of information. *Water Resources, Res.* 34.
- GUPTA, H.V.; SOROOSHIAN, S.; YAPO, P.O. (1999): Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multi-level expert calibration. *Journal Hydrologic Eng.*, 4(2).
- HABERLANDT, U.; BUCHWALD, I.; VAN DER HEIJDEN, S.; VERWORN A. (2009): Requirements for hydrological models to be used as part of decision support systems in integrated water resources management, Int. Symposium on the Role of Hydrology in Water Resources Management. IAHS Publ. 327, Capri, Italy: 29–35.
- HAUFFE, C.; MÜLLER, R.; WINKLER, P.; BALDY, A.; SCHWARZE, R.; SCHÜTZE, N. (2016): Strategie zur Kalibrierung großräumiger Wasserhaushaltsmodelle sowie Ergebnisse für Ist-Zustand und Klimaszenarien in Sachsen. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*. Heft 1 (2016).
- HENNIG, H. & SCHWARZE, R. (2001): Geohydraulische Interpretation des Konzeptmodells Einzellinearspeicher und Konsequenzen für die Modellierung des Grundwasserabflusses. *Wasserwirtschaft*, 90 (2001) 1, 42–48.
- IGEL, C.; HANSEN, N.; ROTH, S. (2007): Covariance Matrix Adaptation for Multi-objective Optimization. *Evolutionary Computation* 15(1).
- IPCC (2000): Emissions Scenarios – Summary for Policymakers. Special Report.
- IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis; Summary for Policymakers. Fourth Assessment Synthesis Report, Geneva.
- KATATA, G.; NAGAI, H.; WRZESINSKY, TH.; KLEMM, O.; EUGSTER, W.; BURKHARD, R. (2008): Development of a Land Surface Model Including Cloud Water Deposition on Vegetation. Hrsg. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 47.
- KITANIDIS, P. K. (1997): Introduction to Geostatistics: Applications to Hydrogeology. Cambridge University Press.
- KÖPP-KLAUSCH, K. (2014): Leitfaden Niedrigwasserkennwerte – Sachsenweite Berechnung regionaler Niedrigwasserkennwerte für Fließgewässer und deren Integration in das Wasserhaushaltsportal Sachsen. Schriftenreihe des LfULG, Heft 30/2014.
- KREIENKAMP, F.; SPEKAT, A.; ENKE, W. (2011): WEREX V - Bereitstellung eines Ensembles regionaler Klimaprojektionen. Abschlussbericht der CEC Potsdam GmbH zum FuE-Projekt des LfULG.
- LfULG (2008): Fachkonzept zur Berechnung des Wasserhaushalts für den Fest- und Lockergesteinsbereich in Sachsen mit dem Schwerpunkt Grundwasserhaushalt („Grundwasserhaushalt Sachsen“). Bearbeiter: TU Dresden, Lehrstuhl für Hydrologie, im Auftrag des LfULG, Dresden.
- LTV (2009): Konsistenzprüfung für eine Überarbeitung zur Berechnung von Hochwasserscheiteldurchflüssen mit Wiederkehrintervall HQ(T) für unbeobachtete Flussquerschnitte. Bearbeiter: TU Dresden Lehrstuhl für Hydrologie, im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung Freistaat Sachsen.

- LÜNICH, K. (2012): KliWES Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen - Auswahl Klimaszenarien - Begründer Vorschlag für die Auswahl geeigneter Klimaszenarien für die Wasserhaushaltsberechnung im Rahmen des KliWES-Projekts. Hrsg. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- LÜNICH, K.; KRAUß, L.; BÖHM, E.; GRÜDL, P. (2013): KliWES Auswahl von Landnutzungsszenarien - Begründer Vorschlag für die Auswahl geeigneter Landnutzungsszenarien für die Wasserhaushaltsberechnung im Rahmen des Projekts KliWES. Hrsg. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, Zwischenbericht.
- MEINEL, G. & HENNERSDORF, J. (2007): Stadtstrukturtypenkarte der Stadt Dresden. FuE-Abschlussbericht. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung IÖR Dresden.
- MÜLLER, R.; GUROVA, A.; RÖHM, P.; WINKLER, P.; SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; SCHÜTZE, N. (2016): Das Wasserhaushaltsportal Sachsen – Recherche und Visualisierung vorab berechneter Ergebnisse und interaktive Berechnung für den Ist-Zustand und für Szenarien. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 1 (2016).
- MÜLLER, R. (2015): Eine neue Strategie zur multikriteriellen simulationsbasierten Bewirtschaftungsoptimierung von Mehrzweck-Talsperrenverbundsystemen. Dissertation, Lehrstuhl für Hydrologie, Technische Universität Dresden.
- MÜNCH, A. (2007): AKWA-M Wasserhaushalts- und Niederschlags-Abfluss-Modell AKWA-M – Dokumentation. Dr. Dittrich und Partner Hydro-Consult GmbH, Bannewitz.
- NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. (1970): River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10(3).
- NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R. (2001): Soil and water assessment tool – Theoretical documentation Version 2000 (<http://www.brc.tamus.edu/swat/>). United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, T/2 und 3, 145-155.
- NEUBERT, M.; SAUER, A.; SCHANZE, J.; OLFERT, A.; SCHINKE, R.; VOGEL, R.; BERNHOFER, C.; KÖSTNER, B.; FRANK, J.; KÖRNER, P.; THUM, M.; LEHMANN, M.; VANDREI, L.; WEBER, M. (2015): Risiken und Chancen des Klimawandels für Sachsen - Vulnerabilitätsstudie Sachsen, 1. Teilstudie. Hrsg. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG); unveröffentlichter Arbeitsbericht, Dresden.
- PAHL, S. (1996): Feuchte Deposition auf Nadelwälder in den Hochlagen der Mittelgebirge. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 198, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main, 143 S.
- PFÜTZNER, B.; KLÖCKING, B.; BECKER, A. (2007): ArcEGMO GIS-gestützte hydrologische Modellierung. (Hrsg.) BAH – Büro für Angewandte Hydrologie, Berlin und Potsdam.
- QUECK, R. (2003): Fraktionierung und zeitliche Differenzierung von Depositionsraten in Walbestände. Dissertation, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Technische Universität Dresden.
- RICHTER, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Messfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Nr. 194, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.
- SCHMIDT, W. (2003): Bodenschonende Bearbeitung – Konsultationsbetriebe zu bodenschonenden Bewirtschaftungsverfahren. Informationsschrift der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden/Chemnitz.
- SCHMIDT, W. (2010): Konservierende Bodenbearbeitung und Direktsaat – Wege zu einer bodenschonenden und wassersparenden Bewirtschaftung. REGKLAM-Workshop Nossen.
- SCHMIDT, C.; KOLODZIEJ, J. (2011): Vulnerabilitätsstudie für die Region Oberlausitz-Niederschlesien. Institut für Landschaftsarchitektur, Technische Universität Dresden.

- ŠIMŮNEK, J.; VAN GENUCHTEN, M.T.; SEJNA, M. (2005): The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. University of California-Riverside Research Reports. pp. 240.
- SCHERZER, J.; PÖHLER, H.; CHMIELEWSKI, F.-M.; JASPER, K.; HENNIGES, Y. (2006): KliWEP - Abschätzung der Auswirkungen der für Sachsen prognostizierten Klimaveränderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet der Parthe - Weiterentwicklung von WaSiM-ETH: Implikation dynamischer Vegetationszeiten und Durchführung von Testsimulationen für sächsische Klimaregionen. Hrsg. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/download/KliWEP_Teil_4-1.pdf
- SCHULLA, J. & JASPER, K. (2006): Model description WaSiM-ETH. – Internal report, Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zürich.
- SCHWARZE, R. (1985): Gegliederte Analyse und Synthese des Niederschlags-Abfluss-Verhaltens von Einzugsgebieten. Dissertation, Fakultät für Bau-, Wasser-, Forstwesen, Technische Universität Dresden.
- SCHWARZE, R., HERRMANN, A., MÜNCH, A., GRÜNEWALD, U., SCHÖNIGER, M. (1991): Rechnergestützte Analyse von Abflusskomponenten und Verweilzeiten in kleinen Einzugsgebieten. - Acta Hydrophys. Berlin 35(1991) 2, 143-184.
- SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; OPPERDEN, K. (1999): Regional analysis and modelling of groundwater runoff components from catchments in hard rock areas. IAHS Publ. 01/1999; No. 254.
- SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; OPPERDEN, K. (1999a): Regionalisierung von Abflusskomponenten, Umsatzräumen und Verweilzeiten für kleine Mittelgebirgseinzugsgebiete. In: Kleeberg, H.B., Mauser, W., Peschke, G. u. Streit, U. (Eds), Hydrologie und Regionalisierung – Ergebnisse eines Schwerpunktprogramms (1992 bis 1998), Forschungsbericht Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Weinheim: Wiley - VCH, 345 – 370.
- SCHWARZE, R. (2004): Berechnung unterirdischer Abflusskomponenten mit dem Modul SLOWCOMP. In: Becker, A., Lahmer, W., Hrsg. Wasser- und Nährstoffhaushalt im Elbegebiet und Möglichkeiten zur Stoffeintragsminderung. - Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft. Weißenseeverlag, Berlin: 193–200.
- SCHWARZE, R. & BEUDERT, B. (2009): Analyse der Hochwassergenese und des Wasserhaushalts eines bewaldeten Einzugsgebietes unter dem Einfluss eines massiven Borkenkäferbefalls. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, HW 53. 2009, H.4, 236-249.
- SCHWARZE, R., DRÖGE, W., HOFMANN, J., MALESKA, V., LÜNICH, K., SCHÖNFELD, M., SPITZER, S. (2011): KliWES – Abschätzung der für Sachsen prognostizierten Klimaänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt in den Einzugsgebieten sächsischer Gewässer. Teil 1: Wasserhaushalt, Kernkomponente. Schriftenreihe des LfULG, Heft 44/2011.
- SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; HOFMANN, J.; SCHÖNFELD, M.; BALDY, A. (2011a): Untersuchungen zur Anfälligkeit des Wasserhaushalts gegenüber dem Klimawandel. Auftraggeber: Vattenfall Europe Mining AG, Inst. f. Hydrologie und Meteorologie, Technische Universität Dresden, Unveröffentlichter Bericht.
- SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; HAUFFE, C.; BALDY, A.; WAGNER, M. (2012): Endbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben KliWES – Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen (Klimaprojektionen) Teil A: Erarbeitung eines Prototyps für die Darstellung des Ist-Zustandes. Bearbeiter: TU Dresden, Auftraggeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Unveröffentlichter Bericht.
- SCHWARZE, R.; HAUFFE, C.; BALDY, A.; WAGNER, M. (2014): Regionalisierung meteorologischer Stationsdaten mit einem geeigneten Regionalisierungstool im Rahmen des FuE-Projekts KliWES Klimawandel und Wasserhaushalt. Schriftenreihe des LfULG, Heft 3/2014.

- SCHWARZE, R.; HAUFFE, C.; BALDY, A.; WINKLER, P.; DRÖGE, W.; WAGNER, M.; RÖHM, P. (2014a): KliWES Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen – Wasserhaushaltsberechnungen für den Ist-Zustand und verschiedene Klima- bzw. Landnutzungsszenarien. Schriftenreihe des LfULG, Heft 32/2014.
- SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; WAGNER, M.; SPITZER, S.; MALESKA, V.; KUHN, K. (2016): Untersuchung möglicher Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt in Sachsen – Lösungsansatz, Analyse Ist-Zustand, Daten- und Parametermodell, Modelltest. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 1 (2016), HW 60. 2016, H.1, Seite 53-71, DOI: 10.5675/HyWa_2016,1_4.
- SMUL (2014): Anpassungsmaßnahmen des sächsischen Pflanzenbaus an den Klimawandel. Hrsg. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Ergebnisse des BMBF Vorhabens REGKLAM Modul 3.3 „Landnutzung“.
- SPEKAT, A.; KREIENKAMP F.; ENKE W. (2012): Neue Ergebnisse aus der regionalen Modellierung – WEREX V, online: <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/27451.htm>, 14.11.2014.
- VUS (2014): online: <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/klima/29993.htm> oder <http://www.ioer.de/projekte/aktuelle-projekte/vuss/>, 18.11.2014.
- WICKOP, E. et al. (1998): Qualitätszielkonzept für Stadtstrukturtypen am Beispiel der Stadt Leipzig. UFZ-Bericht1998/14, Leipzig 1998.
- WRRL (2013): Die Wasserrahmenrichtlinie - Neue Impulse für Sachsen. Hrsg. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Autoren: Herbst, Frank; Spänhoff, B.; Rohde, S.; Schmidt, A.; Kurzer, H.-J., 6. Informationsblatt, Nov. 2013.
- YAPO, P.O.; GUPTA, H.; SOROOSHIAN, S. (1998): Multi-objective global optimisation for hydrologic models. Journal of Hydrology 204.

10 Anhang

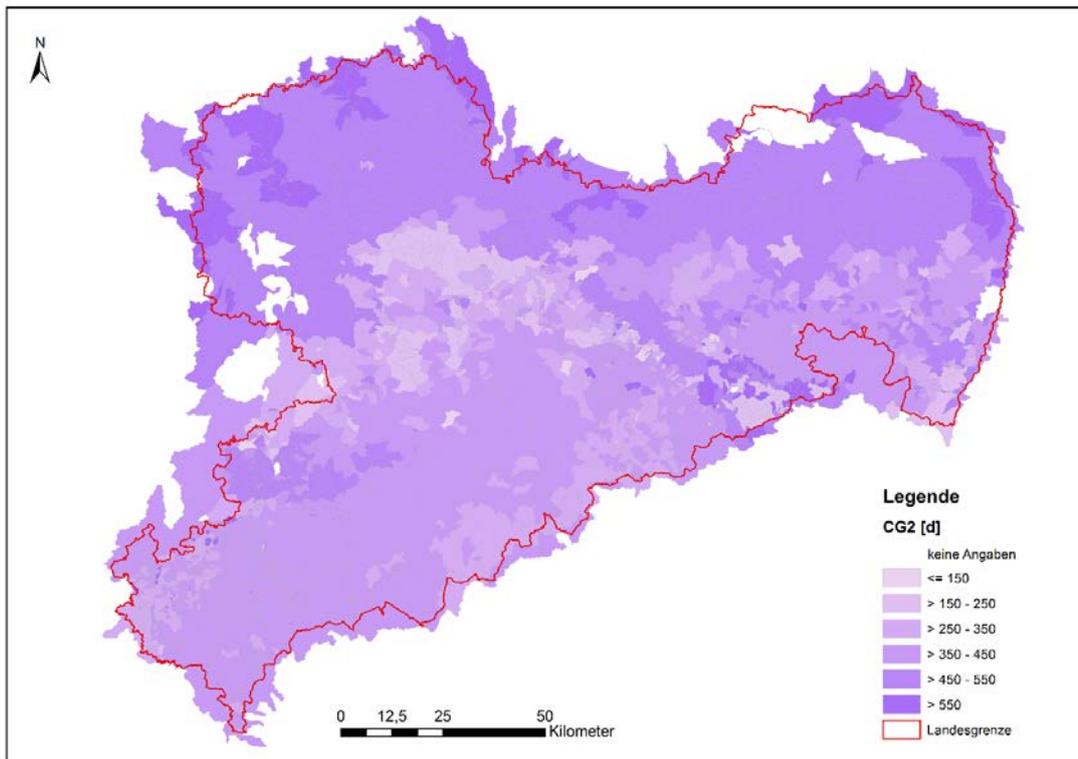


Abbildung A82: Sachsenweite räumliche Verteilung des regionalisierten SLOWCOMP-Parameters CG2

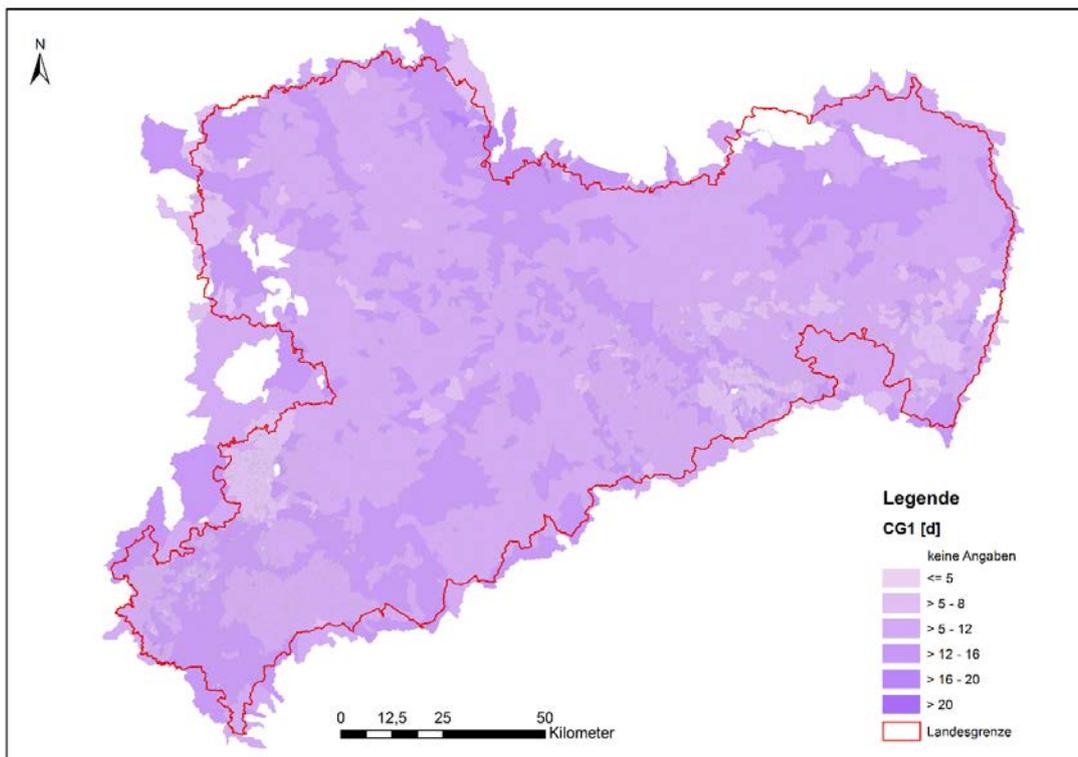


Abbildung A83: Sachsenweite räumliche Verteilung des regionalisierten SLOWCOMP-Parameters CG1

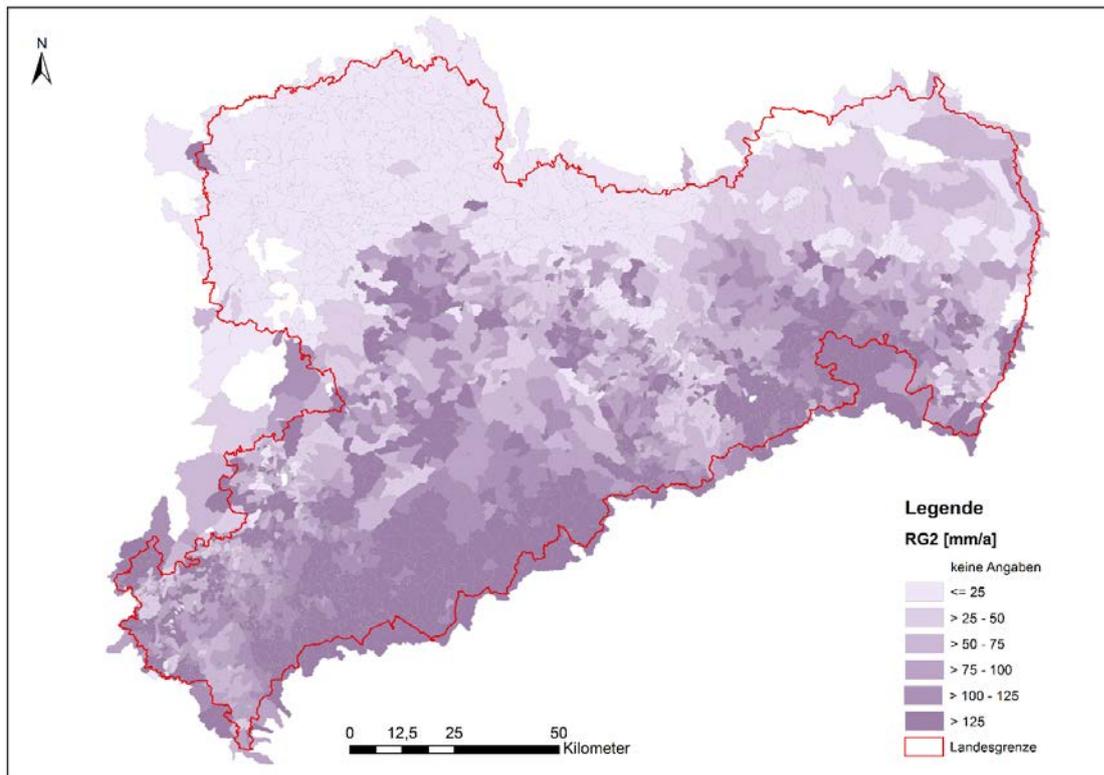


Abbildung A84: Sachsenweite räumliche Verteilung des mittleren jährlichen Zuflusses zum langsamen Grundwasserspeicher RG2 (1951–2005)

10.1 Übersicht der Funktionen in KliWES – Säule C

10.1.1 APP.js

Im `app.js` wird die Konstruktor-Funktion `Application` erzeugt und das Objekt `kliwesApp` initialisiert. `kliwesApp` ist das wichtigste Objekt der Anwendung und beinhaltet sämtliche Elemente der Anwendung. Alle `kliwesApp`-Elemente lassen sich dabei in zwei Gruppen einordnen.

Zum einen sind das die Komponenten der Web-Anwendungen, die für die Wiedergabe und Eingabe der Information (Panels, Werkzeugleiste, Editierungsfenster usw.) dienen. Dafür werden größtenteils die `Extjs`-Elemente benutzt. Um diese Panelkomponente in der Anwendung darzustellen, wird `Ext.Viewport`¹ benutzt. Über die Komponenten des oberen Panels kommt der Nutzer ins separate Menü (Gebietsauswahl, Gebietsparameterdefinition sowie Klimaszenario-Auswahl). Die dynamische Änderung von Panelkomponenten wird durch `layout ‚card‘` von `Ext.Viewport` realisiert. Die später dynamisch angezeigten Komponenten sind auch im `Viewport` definiert. Eine dynamische Änderung der angezeigten Komponente erfolgt über `layout.setActiveItem (gewünschte Komponente)`.

Die zweite Gruppe entspricht den Elementen, die Nutzereinstellungen speichert. Die Konstruktor-Funktionen und Methoden von diesen Objekten sind in anderen `.js` Funktionen implementiert.

¹ <http://docs.sencha.com/extjs/3.4.0/#!/api/Ext.Viewport>

10.1.2 KLIWES_CONSTANTS.JS

Im `kliwes_constants.js` werden globale Variablen deklariert. Alle Variablen lassen sich in folgende Gruppen unterteilen:

- Pfade (zum GeoServer, Ordner usw.)
- Projektionen
- Anfragen-Variablen (werden in `anfragen.js` benutzt)
- HTML-Inhalte von Panel-Elementen

10.1.3 MAP.JS

Im `map.js` werden die Konstruktor-Funktionen für das Map- und das Mappanel-Objekte definiert. Das Map-Objekt beinhaltet sämtliche Layer. Die FEG, TEG, Modell-Layer werden zur der Karte doppelt hinzugefügt. Der erste Layer wird mit der serverseitigen Gestaltung (GeoServer) publiziert. Dem anderen Layer wird eine SLD-Datei clientseitig dynamisch übergeben. Das wird benutzt, um das selektierte Objekt in der Karte anzuzeigen. Das Map-Objekt beinhaltet zwei Regeln für die Gestaltung eines Vektor-Layers, das die Objekte aus dem Hydrotop-Layer aus der Datenbank anzeigt. Dabei werden analog zu den WMS-Layern auch zwei Vektor-Layer zur Karte hinzugefügt. Ein Vektor wird anhand der Landnutzungsklassen gestaltet, der andere zeigt das selektierte Objekt.

Als nächstes beinhaltet das Map-Objekt die Controls, die in der Werkzeuggeste verwendet werden. Die `click`-Funktion wird aufgerufen, wenn der Nutzer in die Karte klickt. Abhängig vom aktuell definierten Parameter wird eine Anfrage an die Datenbank (DB) gesendet. Die `callback`-Funktionen dieser Anfragen werden ebenfalls in `map.js` implementiert.

Zusätzlich sind der `map.js` die Hilfsfunktionen implementiert, die der Selektion von Objekten und der Steuerung der aktuell angezeigten Information im Beschreibungspanel dienen. Weiterhin beinhaltet die Datei die Funktionen, welche die Layer-Sichtbarkeit bei verschiedenen Vorgängen steuert.

10.1.4 GEBIET_WAHL.JS

Die `gebiet_wahl.js`-Datei enthält die Konstruktor-Funktionen, Objekte und Methode, die die Nutzergebietsauswahl speichern. Weiterhin werden hier die Funktionen implementiert, die bei der Gebietsauswahl benutzt werden. ‚Gebiet‘-Button → Funktion `gebietWahl()`.

Beim Klicken auf ‚zurück‘ und ‚weiter‘ wird die Funktion `weiterHandler.js` aufgerufen. Ihr Parameter ist der Gebiets-schrittzähler, der auf 1 bei ‚weiter‘ erhöht und um 1 bei ‚zurück‘ verringert wird. Erfolgt im zweiten Menü (Berechnungsmaßstab) die Auswahl einer großräumigen Berechnung, erhöht sich der Schrittzähler auf 100.

10.1.5 LANDNUTZUNG.JS

Im `landnutzung.js` wird die Hauptfunktion implementiert, die aufgerufen wird, wenn der Nutzer auf den ‚Gebietsparameter‘-Button klickt → `function landnutzungGetFeatures()`.

Dabei wird unterschieden, ob das Gebiet groß- oder kleinräumig ist:

`kliwesApp.getGebMasst() == 0` → kleinräumig

`kliwesApp.getGebMasst() == 1` → großräumig

Zusätzlich ist die `callback`-Funktion implementiert, die aufgerufen wird, wenn die landnutzungsbezogenen Daten vom Server kommen. Weiterhin werden die `Listeners` zu den Editierungstabellen hinzugefügt, um die Be-

arbeitung und Speicherung von Daten zu ermöglichen. Die Datei enthält auch die Hilfsfunktionen, die für die Landnutzungsbearbeitung relevant sind (z. B. Erzeugung von Combo-Array für Landnutzungsauswahl).

Kleinräumige Berechnung

InAfterProve () erzeugt zwei Anfragen an die Datenbank. Eine Anfrage liefert als Antwort die Information, die in der Gebietsinformation-Editierungstabelle angezeigt wird. Die andere Anfrage liefert die Information für die ‚Alle Parameter‘-Editierungstabelle. Die erste Anfrage beinhaltet auch die Geometrie von Hydrotopen. Aus dieser wird ein Vektor-Layer erzeugt. Alle Parameter sind als Attribute von Features im Vektor-Layer gespeichert. Die beiden Tabellen haben Listener, die sich Selektion- und Editierungsvorgänge merken und die Attribute des Vektor-Layers entsprechend ändern.

Großräumige Berechnung

Für jedes ausgewählte Modell werden zwei Anfragen an die DB geschickt. Die DB antwortet mit der JSON mit allen Parametern (Landnutzung LN, Boden BO, Drainage DR), die nach der LN gruppiert sind. Die Anfrage wird aufgerufen, wenn der Nutzer ein Modell zum ersten Mal auswählt. Danach wird die Information in die InIstStore (BigChangedParam)- Objekt gespeichert. Ändert der Nutzer die Daten, werden die Daten in InIst-Store gespeichert. In der Datei wird die Listener für die beiden Editierungstabellen definiert. Die Listener für die Gebietsinformationstabelle wird hier auch für Boden- und Dränageänderung definiert (funktion setLnStore()). Um die geänderten Parameter zu speichern, wird dem Objekt BigChangedParam (s. grossrauemParam.js) eine Objekt-LNKlasse() zugewiesen. Diese Klasse enthält 13 LN()-Objekte (nach der Anzahl von LN). In diesen Objekten werden die Änderungen gespeichert, die nach der LN gruppiert sind. (Also alle großräumigen Änderungen von LN, BO und DR; siehe kliwes_main.js)

10.1.6 BODEN.js

Im boden.js wird die Hauptfunktion implementiert, die aufgerufen wird, wenn der Nutzer ins Bodenparameteränderungsmenü wechselt. Analog zu der LN wird unterschieden, ob es sich um eine groß- oder eine kleinräumige Berechnung handelt.

Kleinräumige Berechnung

Es wird eine Anfrage an die DB gestellt, um die Daten für die ‚All Parameter‘-Tabelle zu bekommen. Die Daten werden hochgeladen, die Listener von beiden Tabellen werden konfiguriert, um die Bodenänderung zu gewährleisten. Das Bodeneditierungsfenster wird in der Datei edit_window.js implementiert.

Großräumige Berechnung

getBigBodenData() wird aufgerufen, wenn der Nutzer bei der großräumigen Berechnung ins Bodenänderungsmenü kommt. Um die aktuellen Änderungen zu speichern, werden mehrere interne Speicher benutzt. Klickt der Nutzer auf die ‚Alle Parameter‘-Tabelle, erscheinen zuerst statistische Angaben über die Verteilung von AGGNR je nach LN-Klasse (Abbildung A85). Ändert der Nutzer die vorhandenen AGGNR, werden beim Schließen der Tabelle die Änderungen in einem internen Speicher gesichert (im Objekt BigChanedParam boChangedStore).

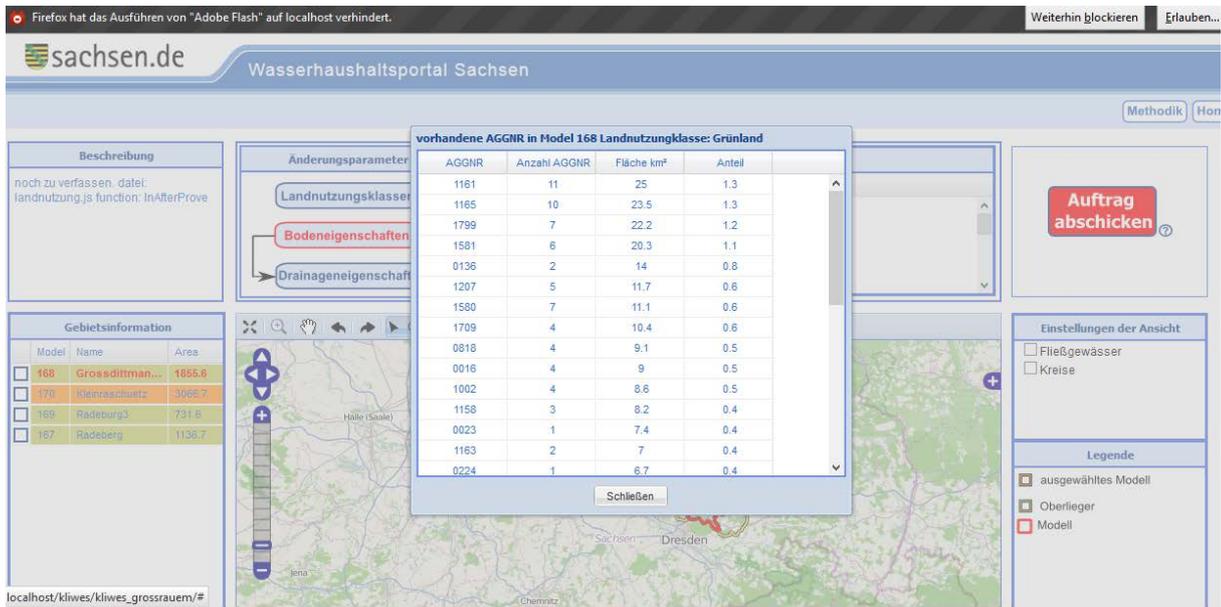


Abbildung A85: Internetseite Säule C; Liste der Aggregatnummer AGGNR (entspricht Bodenarten) am Beispiel des Modells 168 (Pegel Kleinraschwitz)

Fügt der Nutzer eine neue AGGNR hinzu (Abbildung A86), wird diese in dem entsprechenden LN-Objekt gespeichert.

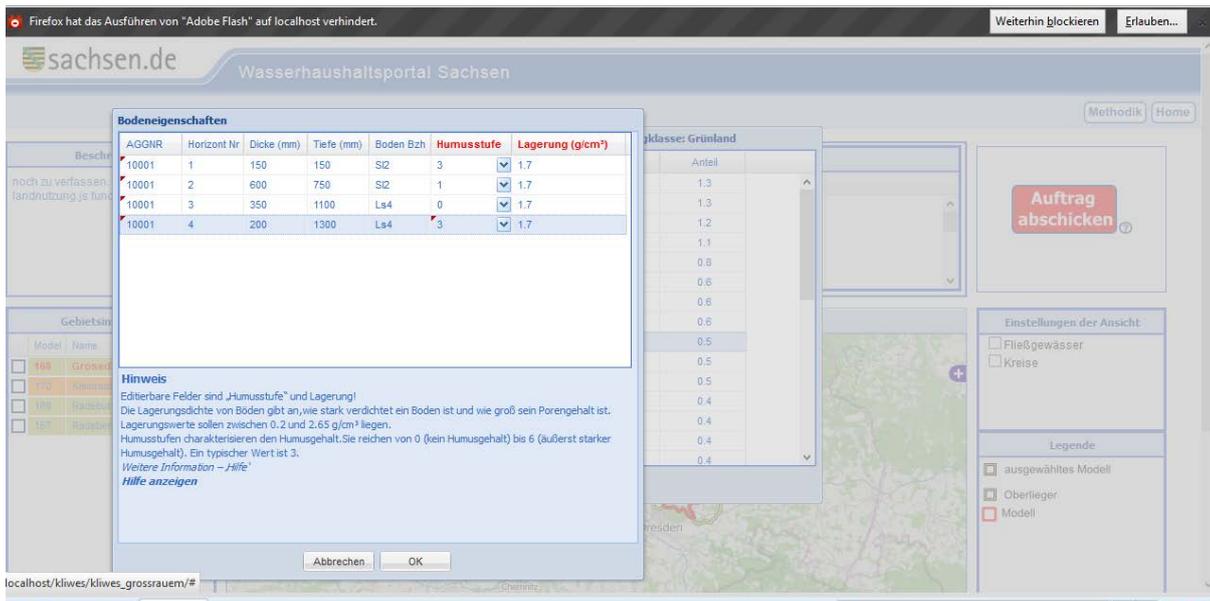


Abbildung A86: Internetseite Säule C; Änderung einer Bodeneigenschaft und Erzeugen einer neuen Aggregatnummer AGGNR

10.1.7 DRAINAGE.JS

Im drainage.js wird die Hauptfunktion implementiert, die aufgerufen wird, wenn der Nutzer ins Drainageparameteränderungsmenü wechselt. Analog zu der LN und dem BO wird unterschieden, ob es um eine groß- oder eine kleinräumige Berechnung handelt.

Kleinräumige Berechnung

Erfolgt nach dem gleichen Prinzip wie bei der Bodenänderung (siehe Kapitel 3.6).

Großräumige Berechnung

getBigDrData() wird aufgerufen, wenn der Nutzer bei großräumigen Berechnungen zum Drainageänderungsmenü kommt. Es erfolgt nach dem gleichen Prinzip von geänderten Parameterspeicherung wie bei der großräumigen Bodenänderung.

10.1.8 KLIENRAEUMPARAM.JS

Hier werden Funktionen definieren, die bei der Betätigung von Button im Menü-Panel bei den kleinräumigen Gebietsparameteränderungen aufgerufen werden. Dort werden auch die Funktionen implementiert, die die Änderungsanzeige vor der Änderungsspeicherung gewährleistet. Weiterhin werden Hilfsfunktionen implementiert, die bei allen kleinräumigen Änderungsparametern relevant sind. (z. B. setzen alle Parameter zurück)

10.1.9 GROSSRAUEMPARAM.JS

Analog zu den kleinraemigParam.js werden hier die Funktionen definieren, die bei der Betätigung von Buttons im Menü-Panel bei den großräumigen Gebietsparameteränderungen aufgerufen werden. Weiterhin wird hier die Contruktor-Funktion für den BigChangedParam-Objekt implementiert, wo alle Änderungen bei der großräumigen Gebietsparameterdefinition gespeichert werden.

10.1.10 Edit_window.js

Funktion, die das Fenster erzeugt, um die AGGNER-Eigenschaften zu ändern. Sie wird bei den klein- und großräumigen Berechnungen benutzt.

10.1.11 DR_EDIT_FENSTER.JS

Funktion, die das Fenster erzeugt, um die DR-Eigenschaften zu ändern. Wird bei der klein- und großräumigen Berechnung benutzt. Beinhaltet auch die Funktion, die das Fenster erzeugt, um eine Drainage für eine ganze LN-Klasse festzulegen.

10.1.12 ANFRAGEN.JS

Anfragen.js beinhaltet alle Anfragen an die Datenbank. Diese Anfragen sind kommentiert und je nach Zweck in der Datei gruppiert.

10.1.13 AUFTRAG.JS

Beinhaltet AuftragSendParam-Objekt und seine Methoden. Das ist das Objekt, welches alle Parameter beinhaltet, die in die Start-Datei geschrieben werden. Außerdem beinhaltet es die Funktionen, welche die Fenster erzeugen, um einen Auftrag abzuschicken.

10.1.14 KLIWES_MAIN.JS

Hier wird die Applikation gestartet. Die restlichen Objekten werden deklariert und die Methoden zugewiesen.

10.2 Übersicht der sächsischen Gebiete mit DIFGA-Analyse

Tabelle A10: DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Schwarze Elster (GWKZ 538)

Pegelname	Pegelnummer	Gewässer	GWKZ
Großdittmannsdorf	55452.0	Große Röder	538451
Königsbrück	55442.0	Pulsnitz	5382313
Pietzschwitz	55426.0	Langes Wasser	5381445
Prischwitz 2	55421.1	Hoyerswerdaer Schwarzwasser	5381453
Radeberg	55451.0	Große Röder	5384311
Radeburg 3	55457.0	Promnitz	5384691
Schönau	55412.0	Klosterwasser	5381291
Trado 1	55301.1	Schwarze Elster	5381191
Zescha	55422.0	Hoyerswerdaer Schwarzwasser	5381491
Zescha Zwischengebiet	55422.0	Hoyerswerdaer Schwarzwasser	5381491

Tabelle A11: DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Weiße Elster (GWKZ 566)

Pegelname	Pegelnummer	Gewässer	GWKZ
Adorf	57640.0	Weiße Elster	5661311
Bad Elster 1	57639.1	Weiße Elster	56611313
Bobenneukirchen	57703.0	Schafbach	56614659
Glasten	57805.0	Parthe	5668111
Gospersgrün	57710.1	Pinkeswiesenbach	56618525
Großbardau	57817.0	Schnellbach	566821
Großsteinberg	57818.0	Gladegraben	5668341
Gössnitz	57751.0	Pleißer	566637
Mylau	57722.0	Göltzsch	5662593
Neuensalz	57712.0	Rabenbach	56618679
Oelsnitz (Vogtl.)	57641.0	Weiße Elster	5661371

Tabelle A12: DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Zwickauer Mulde (GWKZ 541)

Pegelname	Pegelnummer	Gewässer	GWKZ
Altchemnitz 1	56453.0	Zwönitz	54181995
Aue 1	56379.0	Schwarzwasser	5412991
Burkhardtsdorf 2	56450.5	Zwönitz	5418151
Chemnitz 1	56440.0	Chemnitz	54189511
Eibenstock 2	56346.0	Rährerbach	541157343
Harthau	56462.0	Würschnitz	541827
Johanngeorgenstadt 2	56380.0	Breitenbach	541223
Markersbach 1	56388.0	Große Mittweida	541283111

Pegelname	Pegelnummer	Gewässer	GWKZ
Muldenberg 3	56300.0	Rote Mulde	541111111
Niederlungwitz	56430.0	Lungwitzbach	541691
Niedermülsen 1	56420.1	Mülsenbach	5415679
Sachsengrund	56329.0	Große Pyra	5411211
Schönheide 3	56201.2	Zwickauer Mulde	54115719
Wolfersgrün	56416.0	Hirschfelder Wasser	541461451

Tabelle A13: DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Freiburger Mulde (GWKZ 542)

Pegelname	Pegelnummer	Gewässer	GWKZ
Annaberg 1	56759.0	Sehma	5426255
Berthelsdorf	56601.0	Freiberger Mulde	5421519
Burkersdorf 2	56711.0	Gimmlitz	5421455
Cämmerswalde	56831.0	Cämmerswalder Dorfbach	54268161
Cranzahl	56765.0	Lampertsbach	5426243
Deutschgeorgenthal 2	56820.0	Rauschenbach	54268121
Krummenhennersdorf 1	56722.1	Bobritzsch	5422591
Neuwernsdorf	56825.0	Wernsbach	542681341
Niederstriegis 1	56732.0	Striegis	542493
Rauschenbach 2	56830.0	Rauschenfluss	54268141
Rothenthal	56835.0	Natzschung	54268419
Tannenberg	56740.0	Zschopau	5426151
TS Neunzehnhain Gänsebach	#238	Gänsebach	542687416
TS Neunzehnhain Lautenbach	#237	Lautenbach	542687415
TS Saidenbach Hölzelbergbach	#233	Hölzelbergbach	542687288
TS Saidenbach Lippersdorfer Bach	#234	Lippersdorfer Bach	542687282
Wiesa	56770.0	Pöhlbach	5426343
Wolfsgrund	56700.0	Chemnitzbach	542123
Zöblitz	56840.0	Schwarze Pockau	5426867

Tabelle A14: DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Vereinigte Mulde (GWKZ 549)

Pegelname	Pegelnummer	Gewässer	GWKZ
Nemt 1	56030.1	Mühlbach	5491691
Thallwitz	56100.0	Lossa	549295

Tabelle A15: DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Lausitzer Neiße (GWKZ 674)

Pegelname	Pegelnummer	Gewässer	GWKZ
Großschönau 2	66200.2	Mandau	67414511
Krauschwitz	66410.0	Legnitzka	674721
Niederoderwitz	66209.6	Landwasser	67414651
Rennersdorf 1	66310.0	Petersbach	67432191
Rennersdorf 2	66313.0	Berthelsdorfer Wasser	67432291
Rennersdorf 3	66300.0	Pließnitz	674329111
Seifhennersdorf	66200.1	Mandau	67414311
Tauchritz	66309.0	Pließnitz	67432991
Zittau 3+5	66202.1	Mandau	6741491

Tabelle A16: DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Spree (GWKZ 582)

Pegelname	Pegelnummer	Gewässer	GWKZ
Bautzen-Weite Bleiche	58203.0	Spree	5821951
Drehsa	58319.0	Drehsaer Wasser	5822865
Ebersbach	58200.0	Spree	5821131
Groß-Schweidnitz	58309.0	Löbauer Wasser	5822191
Gröditz 1	58312.1	Löbauer Wasser	5822753
Hohberg	58302.0	Rosenbach	5821419
Holtendorf	58328.0	Weißer Schöps	5824815
Jänkendorf	58325.0	Schwarzer Schöps	5824331
Kotitz	58317.0	Kotitzer Wasser	5822851
Königshain	58328.2	Königshainer Wasser	5824821
Milkel	58334.1	Lomschanke	5825225
Oehlich	58323.0	Schwarzer Schöps	5824131
Schirgiswalde	58201.0	Spree	5821711
Särichen	58329.0	Weißer Schöps	5824831

Tabelle A17: DIFGA-Pegel Einzugsgebiet Elbe (GWKZ 537)

Pegelname	Pegelnummer	Gewässer	GWKZ
Ammelsdorf	55131.0	Wilde Weißeritz	53721319
Bielatal 1	55049.0	Biela	53713253
Bischofswerda	55080.0	Wesenitz	53716339
Buschmühle	55009.0	Kirnitzsch	53711853
Bärenfels	55151.0	Pöbelbach	53722219
Cunnersdorf 1	55056.0	Cunnersdorfer Bach	537132859
Dippoldiswalde 1	55142.0	Rote Weißeritz	53722511
Dohna	55094.0	Müglitz	53718979

Pegelname	Pegelnummer	Gewässer	GWKZ
Elbersdorf	55081.0	Wesenitz	5371691
Freital 1	55156.1	Poisenbach	5372927
Garsebach	55182.0	Triebisch	5373291
Geising 1	55096.1	Rotes Wasser	5371823
Gottleuba 1	55063.0	Gottleuba	5371435
Gottleuba 2	55065.0	Oelsenbach	5371441
Herzogswalde 1	55180.1	Triebisch	5373235
Kirnitzschtal	55011.0	Kirnitzsch	53711893
Klotzsche	55110.0	Prießnitz	537196911
Kreischa	55100.0	Lockwitzbach	53719235
Lauenstein 1	55091.0	Weißer Müglitz	53718179
Liebstadt 2	55076.2	Seidewitz	53714839
Markersbach 1	55071.0	Bahra	53714659
Merzdorf	55221.0	Döllnitz	5373691
Munzig 1	55181.1	Triebisch	53732759
Neustadt 1	55039.0	Polenz	53712131
Niederau	55195.0	Niederauer Dorfbach	53733231
Ostrau 1	55210.1	Jahna	53734511
Piskowitz 1	55201.1	Ketzerbach	537334939
Porschdorf 1	55019.0	Lachsbach	5371291
Rehefeld 2	55130.2	Wilde Weißeritz	53721119
Reichstädt	55152.1	Reichstädter Bach	537225323
Schmiedeberg 1	55141.1	Rote Weißeritz	5372231
Sebnitz 2	55030.2	Sebnitz	53712231
Seerhausen 1+3	55211.0 + 55212.1	Jahna und Jahna-Umflut	5373471
Wernersbach HP	#231	Wernersbach	53732183
Wilsdruff	55160.0	Wilde Sau	53731619

Tabelle A18: Sonstige DIFGA-Pegel

Pegelname	Pegelnummer	Gewässer	GWKZ
Klingenthal 1	53002.0	Zwota	5323431

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
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, Anastasia Gurova, Patric Röhm, Corina Hauffe,
Agnes Baldy, Dr. Peter Winkler, Dr. Ruben Müller, Dr. Werner Dröge,
Dr. Michael Wagner
Technische Universität Dresden, Fakultät Umweltwissenschaften
Fachrichtung Hydrowissenschaften
Bergstraße 66, 01062 Dresden
Telefon: + 49 351 463-36377
E-Mail: robert.schwarze@tu-dresden.de
Karin Kuhn, Holm Friese, Kathleen Lünich
LfJULG, Abteilung Wasser, Boden, Wertstoffe/Referat Oberflächenwasser,
Wasserrahmenrichtlinie

Redaktion:

Holm Friese
LfJULG, Abteilung Wasser, Boden, Wertstoffe/Referat Oberflächenwasser, WRRRL
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden
Telefon: + 49 351 8928-4412
Telefax: + 49 351 8928-4099
E-Mail: holm.friese@smul.sachsen.de

Titelseite:

Quelle: (c) OpenStreetMap Mitwirkende, CC-BY-SA

Druck:

SDV Direct World GmbH

Auflage:

500 Exemplare

Redaktionsschluss:

11.04.2016

ISSN:

1867-2868

Bezug:

Diese Druckschrift kann
kostenfrei bezogen werden bei:
Zentraler Broschürenversand
der Sächsischen Staatsregierung
Hammerweg 30, 01127 Dresden
Telefon: + 49 351 2103-672
Telefax: + 49 351 2103-681
E-Mail: publikationen@sachsen.de
www.publikationen.sachsen.de

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 Parteinahme des Herausgebers zugunsten 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.