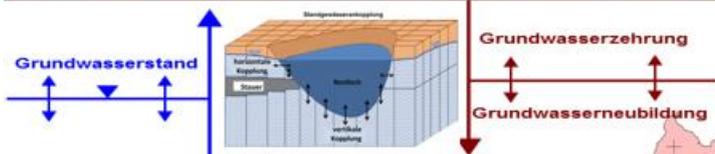
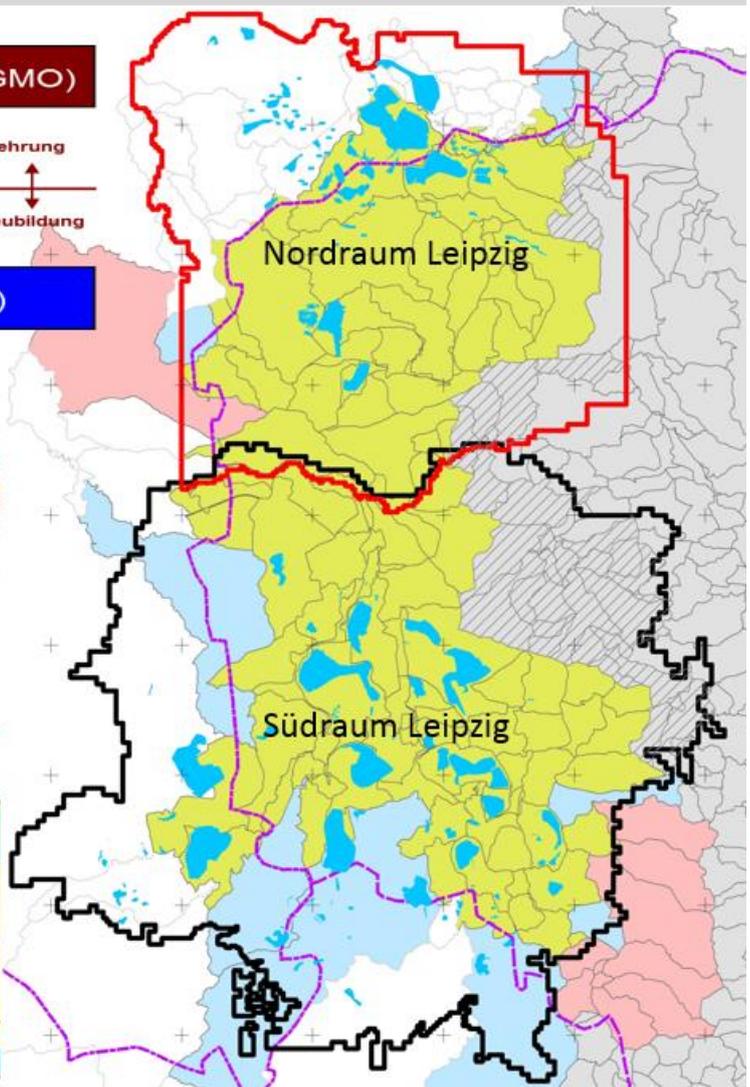
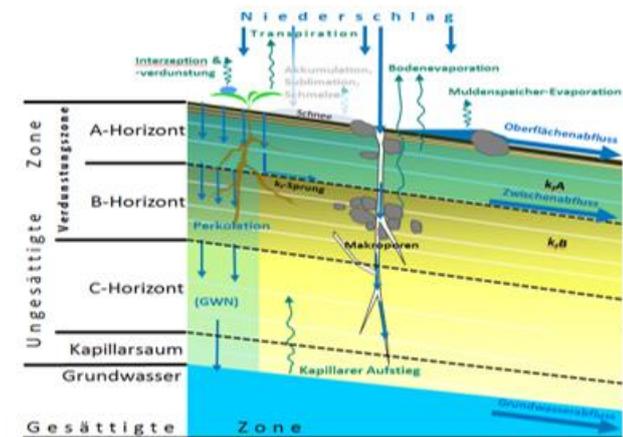


Wasserhaushalt im Tage- baugebiet um Leipzig

Bodenwasserhaushaltsmodell (ArcEGMO)



Grundwassermodell (PCGEOFIM)



Berechnung des Wasserhaushaltes im Tagebauegebiet um Leipzig auf Basis eines Ensembles von zehn Klimaprojektionen für die Säule B des Wasserhaushaltsportales

Prof.-Dr.-Ing. H. Mansel, A. Kacirek,
Dr. Bernd Pfützner, Dr. Silke Mey, Petra Hesse, Dr. Robert Schwarze, Corina Hauffe, Patric Röhm

1	Veranlassung & Aufgabenstellung	7
2	Zusammenfassung	8
3	Beschreibung der Modellierungsvoraussetzungen	9
3.1	Ausgangslage	9
3.2	Modellgrundlagen	9
3.3	Kurzbeschreibung des hydrologischen Modellierungssystems ArcEGMO.....	10
3.3.1	Beschreibung der Abflussbildungsprozesse, der Direktabflusskonzentration und der Bodenwasserdynamik im Bodenwassermodell (PSCN)	11
3.4	Kurzbeschreibung des geohydraulischen Modellierungssystems PCGEOFIM	13
3.5	Räumliche Modelldiskretisierung	14
3.6	Kurzbeschreibung der Bodenwasserhaushaltsmodelle	15
3.6.1	Bodenwasserhaushaltsmodell – Nordraum Leipzig (BWHMN)	15
3.6.2	Bodenwasserhaushaltsmodell – Südraum Leipzig (BWHMS).....	17
3.7	Kurzbeschreibung der Grundwasserströmungsmodelle	19
3.7.1	Hydrogeologisches Großraummodell Nord (HG MN).....	19
3.7.2	Hydrogeologisches Großraummodell Süd (HGMS)	22
3.8	Kurzbeschreibung des kombinierten Modellierungsverfahrens zur Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen....	25
4	Konzeption zur Integration der Berechnungsergebnisse in das Wasserhaushaltsportal	26
4.1	Abstimmung zu räumlichen Abgrenzungen	26
4.2	Grundlagen für die Überprüfung der Passgenauigkeit der Ergebnisse im Überlappungsbereich	26
4.3	Anforderungen für die Integration der Berechnungsergebnisse in das Wasserhaushaltsportal	26
5	Übernahme, Prüfung und Aufbereitung der meteorologischen Daten der Beobachtungsreihen und zehn Klimaprojektionen für die Modellierung des Wasserhaushaltes	27
6	Grundlagenarbeiten mit Anpassung der Modelle	27
7	Wasserhaushaltsmodellierung mit Berechnung von Wasserhaushaltsgrößen für Säule B des Wasserhaushaltsportals	28
7.1	Klimatische Randbedingungen	28
7.2	Durchführung der Modellierung im 3-stufigen Verfahren	32
7.2.1	Ermittlung der potentiellen Grundwasserneubildung mittels der Bodenwasserhaushaltsmodelle (Stufe 1)	32
7.2.2	Ermittlung der monatlichen Grundwasserstände mittels der hydrogeologischen Großraummodelle (Stufe 2) .	34
7.2.3	Finale Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen für Säule B des Wasserhaushaltsportales (Stufe 3).....	36
7.3	Überprüfung der Passgenauigkeit der Ergebnisse im Überlappungsbereich	42
8	Integration der Berechnungsergebnisse in das Wasserhaushaltsportal	44
9	Konzeption zur Bereitstellung von Modellen für eigenständige Berechnungen für das Expertensystem der Säule C des Wasserhaushaltsportals	47
10	Literaturverzeichnis	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Räumliche Abdeckung der Modelle und Grenzsituation	10
Abbildung 2: Modellebenen von ArcEGMO (BAH 2018).....	11
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Abflussbildungsprozesse im Modellierungssystem ArcEGMO [PSCN-Modul]	12
Abbildung 4: Finite-Volumen-Element mit Elementzu- und -abströmen – PCGEOFIM.....	13
Abbildung 5: Prinzipdarstellung der Gewässerankopplung – PCGEOFIM.....	14
Abbildung 6: bisheriger Überlappungsbereich von BWHM-Nord und HGM-Nord	16
Abbildung 7: Räumliche Modelldiskretisierung des HGMM & BWHMN.....	17
Abbildung 8: Räumliche Modelldiskretisierung des HGMS & BWHMS	19
Abbildung 9: Prinzipielle vertikale Modellstruktur im HGMM	20
Abbildung 10: Datengrundlagen – Digitales Geländemodell HGMM.....	21
Abbildung 11: Prinzipielle vertikale Modellstruktur im HGMS	23
Abbildung 12: Datengrundlagen – Digitales Geländemodell HGMS	25
Abbildung 13: Niederschlagsstation Zschortau-Brodenaundorf (Nordraum Leipzig) – Langfristige Entwicklung des Niederschlags (gleitendes Dekadenmittel) verschiedener Klimaprojektionen (1961-2100) sowie des Ist-Klimas (1961-2010).....	29
Abbildung 14: Klimastation Leipzig-Halle (Nordraum Leipzig) – Langfristige Entwicklung der potentiellen Verdunstung (gleitendes Dekadenmittel) verschiedener Klimaprojektionen (1961-2100) sowie des Ist-Klimas (1961-2010)	30
Abbildung 15: Niederschlagsstation Zschortau-Brodenaundorf (Nordraum Leipzig) – Mittlerer innerjähriger Gang des Niederschlags verschiedener 30-jähriger Bezugsreihen (Klimaprojektionen: 2071-2100/ Ist-Klima: 1961-1990) .	31
Abbildung 16: Klimastation Leipzig-Halle (Nordraum Leipzig) – Mittlerer innerjähriger Gang der Potentiellen Verdunstung (Grasreferenzverdunstung) verschiedener 30-jähriger Bezugsreihen (Klimaprojektionen: 2071-2100/ Ist-Klima: 1961-1990).....	32
Abbildung 17: Untergliederung der Modellgebiete in Hydrotöpfe bzw. Grundwasserneubildungsklassen (IGWF); links: HGMM; rechts: HGMS.....	33
Abbildung 18: Beispiel des funktionalen Zusammenhangs zwischen Grundwasserneubildung und -flurabstand. Exemplarisch ist für einen Beispiel-Standort für Juli und November 1995 die monatliche Grundwasserneubildung in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand dargestellt (links: Auszug aus der Datei GWFU.dbf)	34
Abbildung 19: Prinzipdarstellung des Berechnungsablaufs (Beispiel: Nordraum Leipzig)	34
Abbildung 20: Berechneter Grundwassergang (Jahresmittelwerte) im Zeitraum 1961-2100 an einem Beispielstandort nördlich von Leipzig zwischen Hohenheida und Krostitz – Istzustand im Vergleich zu dem Ensemble von 10 Klimaprojektionen	35
Abbildung 21: Schnelle Abflusskomponente (links) und Grundwasserabfluss (rechts) im Ist-Zustand (1961-2010) für den Nordraum und Südraum.....	37
Abbildung 22: Mittlere Grundwasserneubildung für die zehn Realisierungen für den Gesamtzeitraum und den aktuellen Zeitraum für den Nordraum	38
Abbildung 23: Mittlere Grundwasserneubildung für die zehn Realisierungen für den Gesamtzeitraum und den aktuellen Zeitraum für den Südraum	39
Abbildung 24: Mittlere Grundwasserneubildung für verschiedene Zeitscheiben der zehn Realisierungen, beispielhaft für den Nordraum-Leipzig.....	38
Abbildung 25: Jährlicher Grundwasserabfluss der zehn Realisierungen und deren Mittelwert im Nordraum	40
Abbildung 26: Jährlicher Grundwasserabfluss der zehn Realisierungen und deren Mittelwert im Südraum	40
Abbildung 27: Langjährige Monatsmittel für die zehn Realisierungen für den Nordraum	41
Abbildung 28: Langjährige Monatsmittel für die zehn Realisierungen für den Südraum	41
Abbildung 29: Untersuchte Teilgebiete im Überlappungsbereich	42
Abbildung 30: Vergleich der Ergebnisse im Überlappungsbereich	43
Abbildung 31: Unterschiedliche Interaktion zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser in gekoppeltem und ungekoppeltem Modell	44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Datengrundlagen BWHM – Nordraum Leipzig	15
Tabelle 2: Datengrundlagen BWHM – Südraum Leipzig	18
Tabelle 3: Ausgewählte Tagebaurestsee-Randbedingungen im HGMM.....	22
Tabelle 4: Ausgewählte Tagebaurestsee-Randbedingungen im HGMS	23

Abkürzungsverzeichnis

KliWES	Untersuchung der Auswirkungen der Klimaänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt in den Einzugsgebieten der Gewässer Sachsens
IBGW	Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH
IHM	Institut für Hydrologie und Meteorologie – Technische Universität Dresden
HGM	Hydrogeologisches Großraummodell
HGMN	Hydrogeologisches Großraummodell – Nord
HGMS	Hydrogeologisches Großraummodell – Süd
BWHM	Bodenwasserhaushaltsmodell
BWHMN	Bodenwasserhaushaltsmodell – Nord
BWHMS	Bodenwasserhaushaltsmodell – Süd
WHH-Portal	Wasserhaushaltsportal
BAH	Büro für angewandte Hydrologie
PSCN-Module	Plant-Soil-Carbon-Nitrogen-Module
LMBV	Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbauverwaltungsgesellschaft mbH
MIBRAG	Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH
ATKIS	Amtliches topographisch-kartographisches Informationssystem
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
TLUG	Thüringer Landesamt für Umwelt und Geologie
DGM	Digitales Geländemodell
UVS	Umweltverträglichkeitsstudie
CIR	Color-Infrarot
GWL	Grundwasserleiter
MG	Modellgrundwasserleiter
ReKIS	Regionales Klimainformationssystem für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen
RaKliDa	Rasterklimadatenbank
TG	Teileinzugsgebiet
TUD	Technische Universität Dresden

1 Veranlassung & Aufgabenstellung

Die IBGW GmbH, das Büro für Angewandte Hydrologie sowie die Technische Universität Dresden wurden vom Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie beauftragt einen fachlichen Beitrag zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt „KliWES“ zu leisten. Dieses Projekt hat die Entwicklung des Wasserhaushaltes in Sachsen unter rezenten sowie zukünftig zu erwartenden klimatischen Verhältnissen zum Gegenstand. Im Rahmen des Fachbeitrages sollte die Lücke in der Säule B des Wasserhaushaltsportales für den bergbaulich überprägten Großraum Leipzig geschlossen werden mit Beschränkung auf das sächsische Territorium. Aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge und Rückkopplungen wurden im Wasserhaushaltsportal bisher der Elbschlauch ausgespart und der Wasserhaushalt in den bergbaulich beeinflussten Gebieten des Leipziger Raumes nur am Rand in einem Übergangsstreifen erfasst. Ziel des KliWES-Projektes ist die Bereitstellung von Entscheidungshilfen für die Entwicklung regionalspezifischer Anpassungsstrategien für Wasser-, Land- und Forstwirtschaft.

Ein Ensemble von zehn aus dem Vorhaben WEREX V ausgewählten Klimaprojektionen sollte die Grundlage für die Simulation der zukünftigen Wasserhaushaltssituation bei Annahme verschiedener möglicher klimatischer Entwicklungen bilden.

Die Berechnung des Wasserhaushaltes für den vom Bergbau betroffenen Leipziger Raum erfordert den Einsatz flächendetaillierter Wasserhaushaltsmodelle, welche die Rückkopplung zwischen Grund- und Oberflächenwasser berücksichtigen und der Komplexität des gegebenen Prozessgefüges aus Grundwasserwiederanstieg, dem Entstehen großer Wasserflächen und sich ändernder klimatischer Randbedingungen Rechnung tragen.

Die Realisierung der Wasserhaushaltsberechnungen sollte durch die Nutzung der bereits seit vielen Jahren etablierten Hydrogeologischen Großraummodelle (HGM) –Nord bzw. –Süd auf Grundlage des geohydraulischen Modellierungssystems PCGEOFIM sowie der bestehenden Bodenwasserhaushaltsmodelle (BWHM) –Nord bzw. –Süd auf Grundlage des hydrologischen Modellierungssystems ArcEGMO erfolgen. Durch den kombinierten Einsatz dieser Grund- und Bodenwasserhaushaltsmodelle können Rückkopplungseffekte zwischen Grundwasser und Bodenwasserhaushalt berücksichtigt werden, weshalb diese prädestiniert für die gestellte Aufgabe sind.

Die Aufgabenstellung gliedert sich in die folgenden vier Arbeitspakete:

- Überprüfung der Modellierungsvoraussetzungen und Konzeption zur Integration der Berechnungsergebnisse in das Wasserhaushaltsportal
- Übernahme, Prüfung und Aufbereitung der meteorologischen Daten der Beobachtungsreihen und von zehn Klimaprojektionen für die Modellierung des Wasserhaushaltes
- Wasserhaushaltsmodellierung

Das Arbeitspaket 3 umfasst die folgenden Teilaufgaben:

- Grundlagenarbeiten mit Anpassung der Modelle
- Wasserhaushaltsmodellierung im kombinierten Verfahren mit Berechnung von Wasserhaushaltsgrößen für Säule B des Wasserhaushaltsportales
- Darstellung weiterer Berechnungsergebnisse aus der Grundwassermodellierung auf Grundlage der Klimaprojektion Wettreg2010-A1B-66 (Gewässerverdunstung, Verweilzeit in ausgewählten Restseen, Seewasserstand, Grundwasserflurabstand, Grundwassergleichen)
- Integration der im kombinierten Verfahren berechneten Wasserhaushaltsgrößen in das Wasserhaushaltsportal
- Konzeption für die Bereitstellung von Modellen für eigenständige Berechnungen für das Expertensystem der Säule C des Wasserhaushaltsportals
- Diskussion der zusätzlichen Verdunstungs- bzw. Transpirationsleistung von Schilfbeständen

- Erarbeitung einer Konzeption für die modelltechnische Ermittlung der vorbergbaulichen wasserwirtschaftlichen Situation

2 Zusammenfassung

Die Zielstellung der vorliegenden Bearbeitung bestand darin, die Lücke innerhalb der Säule B des Wasserhaushaltsportals für den bergbaulich überprägten Großraum Leipzig zu schließen. Auf Grundlage bestehender Modellierungswerkzeuge sowie eines Ensembles von zehn aus dem Vorhaben WEREX V ausgewählten Klimaprojektionen sollte die Simulation möglicher zukünftiger Wasserhaushaltssituationen erfolgen. Zu Beginn werden daher die Modellierungsvoraussetzungen hinsichtlich der Eignung der Modelle für die Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt dargestellt (vgl. Abschnitt 3). Es erfolgt eine Beschreibung der Modelle mit Fokus auf die räumliche Modelldiskretisierung, die Einbindung von Oberflächengewässern, wesentliche Modelleingangsgrößen einschließlich des verwendeten Landnutzungsszenarios sowie wichtiger Modellrandbedingungen.

In Abschnitt 4 wird die Konzeption für die Integration der Berechnungsergebnisse in das Wasserhaushaltsportal vorgestellt. In Abschnitt 5 wird die Vorgehensweise bei der Übernahme, Prüfung und Aufbereitung der meteorologischen Modelleingangsdaten beschrieben.

Abschnitt 6 umreißt kurz die für die Bearbeitung notwendigen getätigten Modellerweiterungen und -anpassungen.

Kapitel 7 widmet sich dem zentralen Teil der Bearbeitung, nämlich der Wasserhaushaltsmodellierung mit der Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen für die Säule B des Wasserhaushaltsportales. Darin wird auch das angewendete dreistufige Modellierungsverfahren ausführlich beschrieben.

Die folgenden Wasserhaushaltsgrößen wurden auf Grundlage der zehn Klimaprojektionen sowie des Istzustandes berechnet und in das Rechensystem der Säule B des Wasserhaushaltsportals integriert:

- Reale Verdunstung (ER)
- Gesamtabfluss (R)
- schnelle Abflusskomponente (RS)
- Grundwasserabfluss (RG – entspricht Grundwasserneubildung)

Ebenfalls ausgewiesen wurde die Modelleingangsgröße

- korrigierter Niederschlag (PI).

Es erfolgte eine ausführliche Überprüfung der Passfähigkeit der Berechnungsergebnisse zu den bisher im Rahmen des KLIVES-Projektes berechneten Ergebnissen für einen schmalen Übergangsbereich. Die Ergebnisdifferenzen werden einschließlich einer Ursachenklärung diskutiert. Abschnitt 8 hat die praktische Umsetzung der Integration der Berechnungsergebnisse in das Wasserhaushaltsportal zum Inhalt.

In Abschnitt 9 wird die Machbarkeit einer Bereitstellung von Modellierungswerkzeugen für die eigenständige Durchführung von Berechnungen für das Expertensystem der Säule C des Wasserhaushaltsportales diskutiert und ein entsprechendes Konzept für die Umsetzung vorgestellt. Neben der Modellierung der Wasserhaushaltsgrößen für die Säule B des Wasserhaushaltsportals wurden weitere von der WHH-Portal-Thematik losgelöste Aufgabenstellungen bearbeitet, welche sich in den Anhängen zum Bericht befinden.

In Anhang A werden ausgewählte Berechnungsergebnisse der Grundwassermodellierung auf Grundlage der zusätzlich betrachteten Klimaprojektion Wettreg2010-A1B-66 dargestellt. Gewünscht waren Aussagen zur zeitlichen Entwicklung von:

- Grundwasserstand
- Grundwasserflurabstand <2m

- Wasserstand & Flächengröße ausgewählter Seen
- Verweilzeit des Wassers in den Seen
- Gewässerverdunstung

Anhang A beinhaltet außerdem eine kurze Diskussion der zusätzlichen Transpirationsleistung von Schilfbeständen und deren Einfluss auf die Verdunstung. In Anhang B wird ein Konzept für die Umsetzbarkeit der modelltechnischen Ermittlung der vorbergaulichen wasserwirtschaftlichen Situation vorgestellt.

3 Beschreibung der Modellierungsvoraussetzungen

3.1 Ausgangslage

Abbildung 1 zeigt die Grenzsituation im Betrachtungsraum. Sie gibt einen Überblick über die Teileinzugsgebiete für welche bereits in KIIWES die Berechnung des Wasserhaushalts erfolgte bzw. die Teileinzugsgebiete, für die noch keine Berechnung erfolgte sowie eine Vorstellung der Gebietsabdeckung der Modelle. Die gewählte Teileinzugsgebietsstruktur für die vorliegende Bearbeitung entspricht der derzeit gültigen amtlichen Teileinzugsgebietsgliederung des Freistaates Sachsen, welche auch die Grundlage von KIIWES ist. Für den überwiegenden Teil der Einzugsgebiete in Sachsen konnten die Berechnungen flächendeckend durchgeführt werden. Einige Teileinzugsgebiete werden durch die Modelle nicht vollständig beschrieben, weshalb für diese Gebiete die Ergebnisse nur bis zu den Modellgrenzen bereitgestellt werden konnten (rote und blaue TG).

3.2 Modellgrundlagen

Für die Bearbeitung kann auf bereits bestehende Modelle zur Bodenwasserhaushalts- und Grundwassermodellierung zurückgegriffen werden. Die Werkzeuge, welche zur Verfügung stehen sind Bodenwasserhaushaltsmodelle für den Nord- (BWHMN) und Südraum (BWHMS) Leipzig. Diese Modelle basieren auf dem hydrologischen Modellierungssystem ArcEGMO und erlauben die raum- und zeitvariable Berechnung der am Wasserhaushalt beteiligten Bilanzgrößen potentielle Verdunstung, reale Verdunstung, Landoberflächenabfluss, bodeninnerer Lateralabfluss sowie Grundwasserneubildung. Die Grundwasserneubildung, bildet eine wesentliche Randbedingung der Grundwassermodelle. Die Grundlagen für die Modellierung der Grundwasserverhältnisse bilden das Hydrogeologische Großraummodell–Nord (HGMMN) sowie das Hydrogeologische Großraummodell–Süd (HGMS). Beide Modelle basieren auf dem Programmsystem PCGEOFIM.

In der vorliegenden Bearbeitung wird eine Einschätzung der wasserhaushaltlichen Verhältnisse unter den angenommenen zukünftigen klimatischen Bedingungen angestrebt. Hierbei sollen die an der Wasserhaushaltsbilanz beteiligten Größen sowie die Grundwasserverhältnisse, insbesondere die Entwicklung der Grundwasserflurabstände betrachtet werden. Der Standortfaktor Grundwasserflurabstand, dessen Ermittlung unter Anwendung der genannten Grundwassermodelle auf Grundlage von PCGEOFIM erfolgt, und die Wasserhaushaltsbilanzgröße Grundwasserneubildung, welche mittels der genannten Bodenwasserhaushaltsmodelle auf Grundlage von ArcEGMO berechnet wird, sind zwei sich gegenseitig bedingende Größen, welche im Wasserhaushalt eine Schlüsselrolle einnehmen. Die Modellierung wird folglich durch den kombinierten Einsatz der genannten Grundwasser- und Bodenwasserhaushaltsmodelle betrieben.

Im folgenden Abschnitt erfolgt eine Kurzbeschreibung der Modellierungssysteme ArcEGMO und PCGEOFIM.

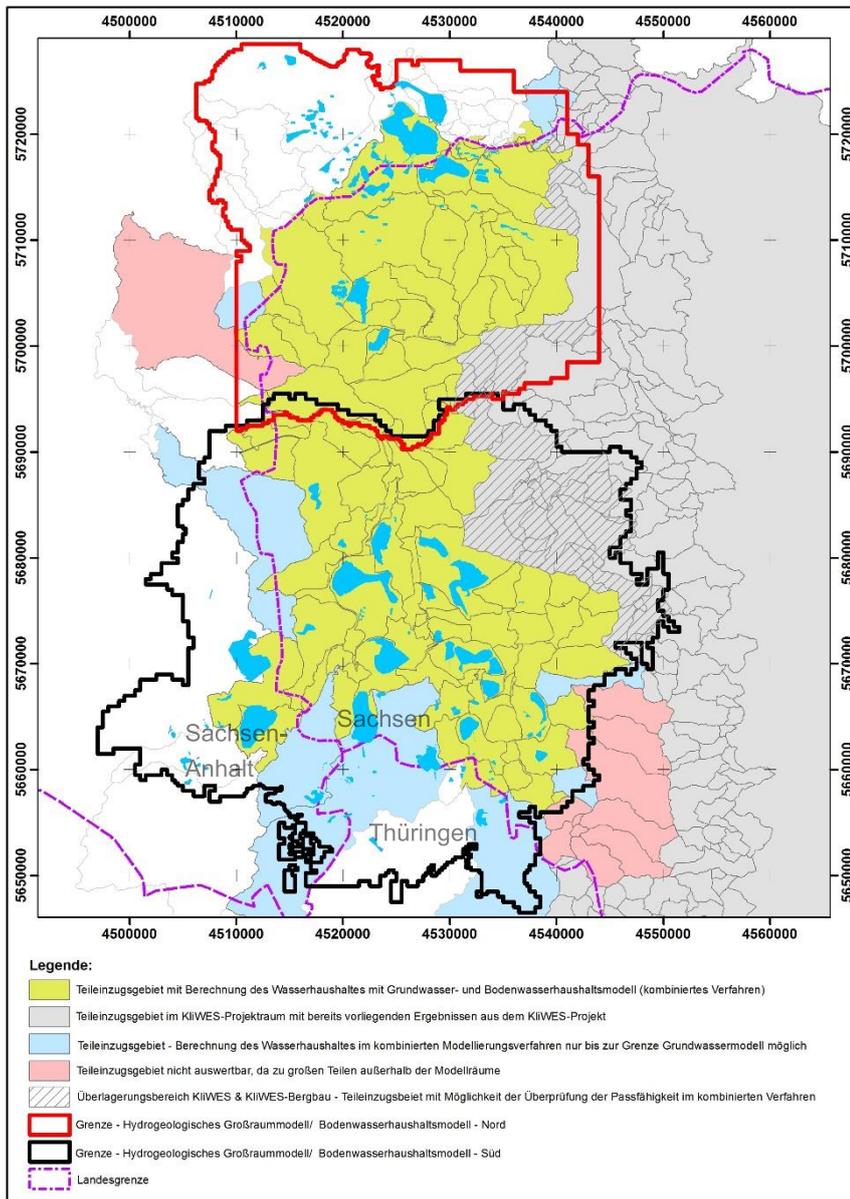


Abbildung 1: Räumliche Abdeckung der Modelle und Grenzsituation

3.3 Kurzbeschreibung des hydrologischen Modellierungssystems ArcEGMO

Für die Ermittlung der Grundwasserneubildung kam das GIS-gestützte hydrologische Modellierungssystem ArcEGMO (BAH 2018) zum Einsatz, mit dem auf Basis meteorologischer Eingangsgrößen und unter Berücksichtigung aller hydrologisch relevanten Gebietseigenschaften (Boden, Landnutzung, Geomorphologie) die am Wasserhaushalt beteiligten Bilanzgrößen, einschließlich der Grundwasserneubildung sowie der schnellen Abflusskomponenten auf Tagesschrittbasis simuliert werden können. ArcEGMO ist modular aufgebaut und stellt für die Beschreibung der hydrologischen Prozesse z. T. alternative Berechnungsverfahren bereit, die flexibel gewählt werden können. Die Modularität von ArcEGMO kommt in seiner Strukturierung in den folgenden Modellebenen zum Ausdruck (vgl. Abbildung 2)

- Meteorologie (MET)
- Abflussbildung (ABI)

- Direktabflusskonzentration (RD)
- Basisabflusskonzentration (GW)
- Gesamtabfluss (Q)

Für jede der Modellebenen existieren verschiedene Verfahren zur Beschreibung der hydrologischen Prozesse, die je nach Datenverfügbarkeit und Gebietskenntnisstand frei gewählt werden können. Für die vorliegende Problemstellung der räumlich und zeitlich variablen Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen einschließlich der Grundwasserneubildung als Modelleingangsgröße für das Grundwassermodell wird vorrangig die Abflussbildungsmodellebene ABI betrachtet, auf der das PSCN-Modul zur Anwendung kommt (KLÖCKING 2009). Kernstück des PSCN-Moduls ist ein Bodenwassermodell, welches die Modellierung von Infiltration, Bodenwasserdynamik und Abflussbildung erlaubt.

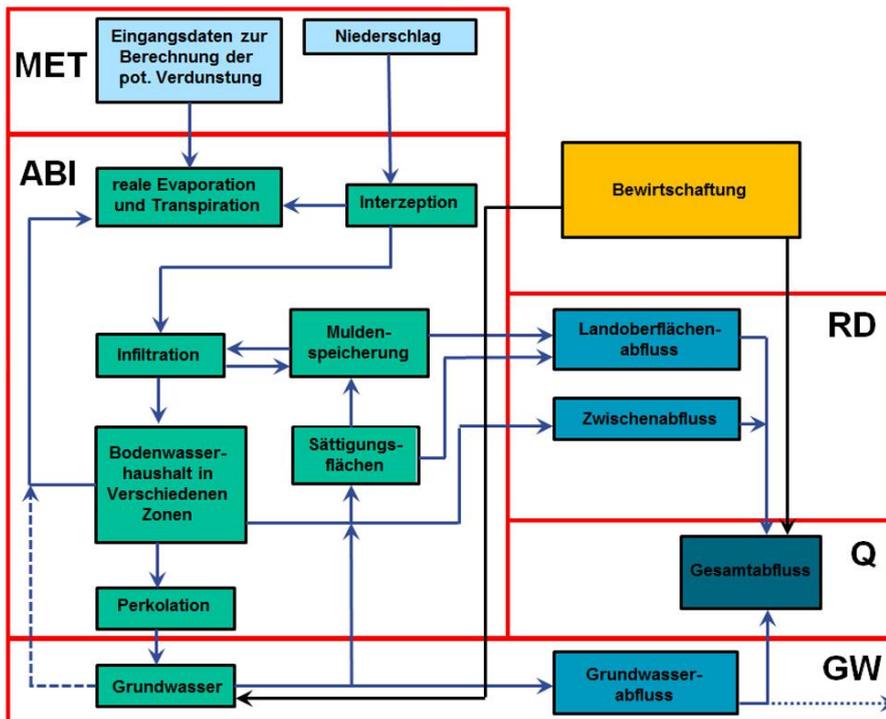


Abbildung 2: Modellebenen von ArcEGMO (BAH 2018)

Die Abbildung 3 visualisiert die im PSCN-Modul berücksichtigten Prozesse, welche nachfolgend näher erläutert werden. Für weiterführende Informationen zu ArcEGMO wird auf die Modelldokumentation (BAH 2018) verwiesen.

3.3.1 Beschreibung der Abflussbildungsprozesse, der Direktabflusskonzentration und der Bodenwasserdynamik im Bodenwassermodell (PSCN)

Die reale Infiltration pro Zeitschritt wird in Abhängigkeit von den Transportkapazitäten (gesättigte hydraulische Leitfähigkeit) und Speichervermögen (Gesamtporenvolumen) aller Bodenschichten modelliert. Der Effektivniederschlag wird zunächst in einem Muldenspeicher zwischengespeichert und im nächsten Berechnungszeitschritt erneut zur Infiltration angeboten. Die Kapazität dieses Speichers ist abhängig von der landnutzungsspezifischen Oberflächenrauigkeit und vom Geländegefälle. Beim Überlaufen des Muldenspeichers wird Landoberflächenabfluss simuliert. Die Simulation der Oberflächenabflusskonzentration im Einzugsgebiet erfolgt in ArcEGMO mittels des Modells KinWave im Modul der Direktabflusskonzentration (RD). Der Landoberflächenabfluss wird im Modell prinzipiell als Schichtabfluss beschrieben. Angewendet wird hierbei der kinematische Wellenansatz.

Die Berechnung der Fließgeschwindigkeit des Landoberflächenabflusses erfolgt nach dem Potenzansatz von Manning-Strickler unter Berücksichtigung von Gefälle, durchflossener Fläche und Rauheit. Eingangsgröße ist der

potentielle Landoberflächenabfluss als Überlauf des Muldenspeichers aus der vorgeschalteten Abflussbildungsmodellebene. Ausgabegrößen sind der Landoberflächenzufluss in das Gewässersystem und der Anteil des Oberflächenabflusses, der im Berechnungszeitschritt nicht in die Vorflut gelangt. Letzterer wird als Eingangsgröße des Abflussbildungsmodells erneut zur Infiltration angeboten.

Die Modellierung der bodeninneren Fließvorgänge basiert auf der Konzeption des Bodenspeichers als Mehrschicht-Kapazitätsmodell nach KOITZSCH (1977) und GLUGLA (1969). Die Beschreibung des Matrixflusses stützt sich auf die Annahme, dass vertikaler und horizontaler Abfluss aus der betrachteten Bodenschicht erst nach Überschreiten der Feldkapazität stattfindet. Hierfür wird neben der Feldkapazität ein bodenartabhängiger Leitfähigkeitsparameter benötigt, der aus der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit abgeleitet wird. Unter Berücksichtigung von Schichtneigung ergibt sich ein horizontal gerichteter hypodermischer Abfluss, wenn die hydraulische Leitfähigkeit der unterlagernden Bodenschicht kleiner als die der betrachteten Schicht ist und hier der aktuelle Bodenwassergehalt nach Abzug der Bodenevaporation und Perkolation die Feldkapazität übersteigt. Die Ermittlung sämtlicher Bilanzgrößen wird für jede Elementarfläche separat vorgenommen. Anschließend werden diese in Abhängigkeit vom gewünschten räumlichen Bezug flächengewichtet kumuliert.

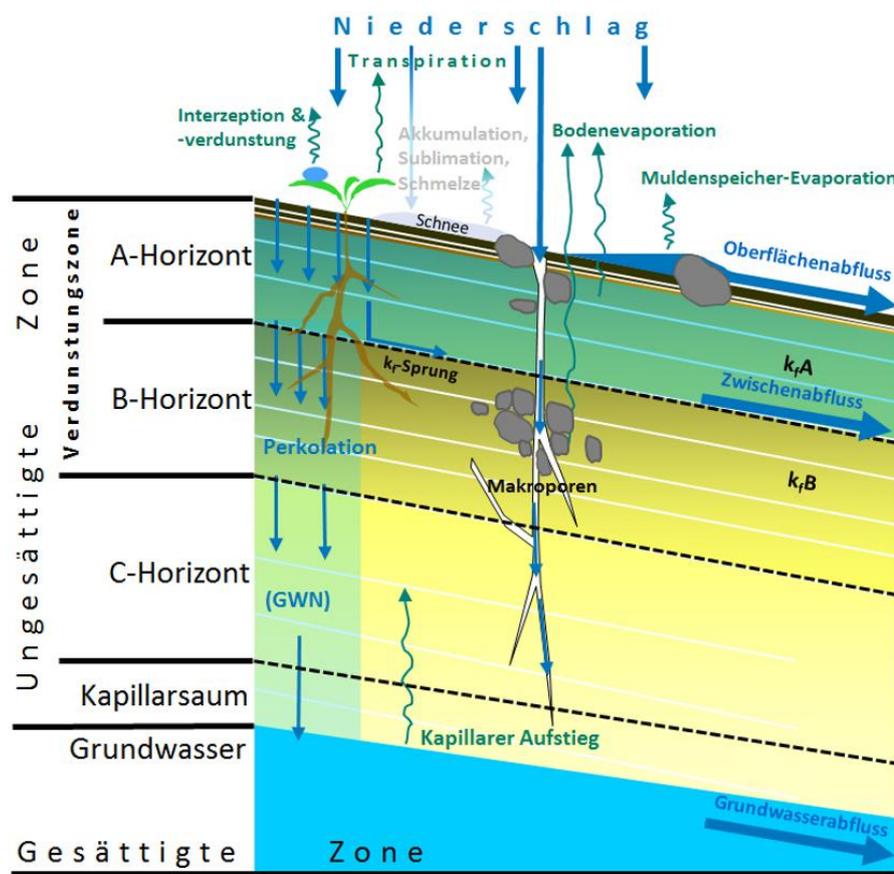


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Abflussbildungsprozesse im Modellierungssystem ArcEGMO [PSCN-Modul]

Zur Beschreibung des beschleunigten präferenziellen Fließverhaltens ist ein empirisches Makroporenflussmodell integriert, welches unter Einbeziehung von Lagerungsdichte, Skelett- und Tonanteil des Bodens, der Landnutzung sowie der aktuellen Bodenfeuchte die hydraulisch wirksame Makroporosität berechnet und somit einer Berücksichtigung der Sickerwasserneubildung unter teilgesättigten Bedingungen Rechnung trägt.

Die ermittelte Makroporosität einer Schicht entspricht dem Anteil des infiltrierenden Niederschlags, der sofort in die unterhalb liegende Bodenschicht transferiert wird. In Abhängigkeit der Makroporositäten der darunter folgenden

Schichten erfolgt eine Weiterleitung oder Infiltration in die Bodenmatrix. Ebenso ein Ansatz zur Simulation des Bodenwasserentzugs durch Verdunstung ist im PSCN-Modul enthalten.

Der Evaporationsbedarf wird in erster Linie aus dem aktuellen Bodenwassergehalt des obersten Bodenhorizonts gedeckt. Reicht dieser zur Deckung des Bedarfs nicht aus, so erfolgt ein Entzug aus tieferen Schichten entsprechend einer bodenspezifischen Entzugsverteilungsfunktion. Die Art des funktionalen Zusammenhangs wird vom Leitfähigkeitsparameter des obersten Bodenhorizonts bestimmt. Zur Beschreibung des kapillaren Aufstiegs von tiefer gelegenem Bodenwasser ist ein empirischer Ansatz in Form von Tabellenfunktionen entsprechend Bodenkundlicher Kartieranleitung (AD-HOC AG Boden 2005) implementiert.

3.4 Kurzbeschreibung des geohydraulischen Modellierungssystems PCGEOFIM

Das HGMN und das HGMS basieren auf dem durch die IBGW GmbH entwickelten geohydraulischen Modellierungssystem PCGEOFIM (IBGW 2018). Es ist ein Programmsystem zur Berechnung der Geofiltration und der Geomigration (**P**rogrammsystem for **C**omputation of **G**EOFIltration and **g**eo**M**igration). Unter Geofiltration wird die Grundwasserströmung verstanden. Geomigration charakterisiert den Transport, den Abbau und mögliche Wechselwirkungen (Reaktionen) von löslichen Stoffen (in der Regel Wasserschadstoffen) im Wasser und mit dem grundwasserdurchströmten Medium.

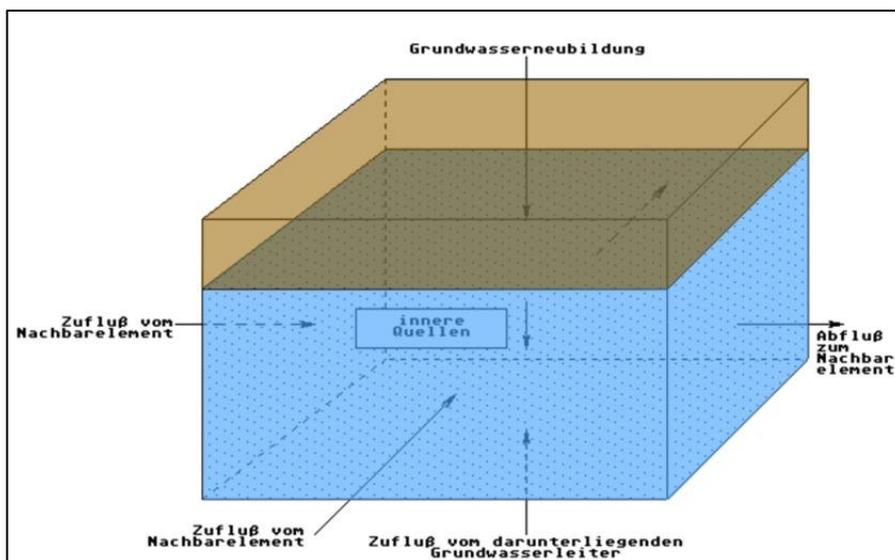


Abbildung 4: Finite-Volumen-Element mit Elementzu- und -abströmen – PCGEOFIM

PCGEOFIM basiert auf der Finite-Volumen-Methode. Dabei wird das gesamte, vom Modell beschriebene Gebiet, horizontal wie vertikal in Kontrollvolumen untergliedert. Innerhalb der Kontrollvolumina erfolgt eine physikalisch begründete Berechnung des Volumenstroms nach Darcy in porösen Medien unter Berücksichtigung der Kontinuitätsbedingung mit allen Elementzu- und -abströmen, wobei eine bilanztreue Berechnung der Vorratsänderung in den Finite-Volumen-Elementen möglich ist (vgl. Abbildung 4). In der Realität resultiert der Grundwasserstrom aus unterschiedlichen Grundwasserstandshöhen bzw. -druckhöhen (Potentialen) und dem andauernden Anstreben des Gleichgewichtszustandes. Dieses Grundprinzip wird mittels des Grundwasserströmungsmodells simuliert.

Es können sämtliche, auch zeitveränderliche Randbedingungen mit bergbaulichem und wasserwirtschaftlichem Bezug in die Modellierung einbezogen werden. Insbesondere die modellhafte Abbildung der Wechselwirkung von

Oberflächen- und Grundwasser ermöglicht die Modellierung der Tagebaurestlochflutung sowie der grundwasserbürtigen Fließgewässerabflüsse im Modellgebiet (vgl. Abbildung 5).

Grundlage für die Einbindung der Oberflächengewässer bilden Vermessungen der Tagebaurestlochhohlformen bzw. Seelotungen und Fließgewässervermessungen mit Erfassung der Sohlhöhe und der Gewässergeometrie. Aus diesen Vermessungsdaten lassen sich die Gewässer in ihrer Geometrie beschreiben. Die durch die Gewässerhohlform angeschnittenen finite-Volumen-Elemente des Grundwasserströmungsmodells werden hydraulisch an die Gewässer angekoppelt, wodurch der Austausch von Grund- und Oberflächenwasser ermöglicht wird.

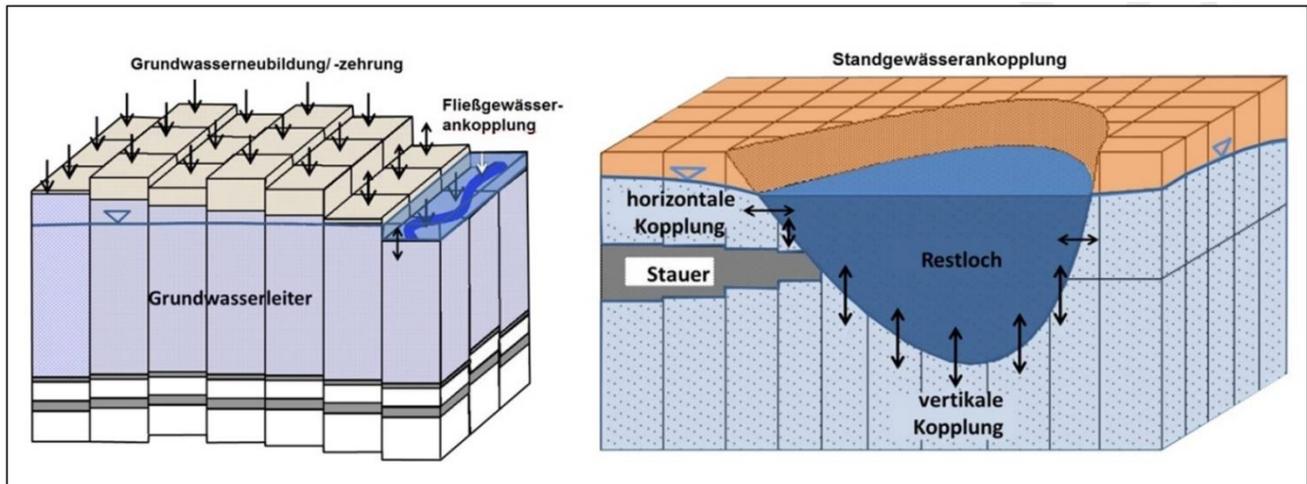


Abbildung 5: Prinzipdarstellung der Gewässerankopplung – PCGEOFIM

Die Wasserstandsentwicklung in den Standgewässerhohlformen hängt maßgeblich von deren Morphologie ab und lässt sich durch gewässerspezifische Volumen-Wasserstands bzw. Flächen-Wasserstands-Beziehungen beschreiben. Derartige Beziehungen werden für jedes in den Grundwassermodellen implementierte Standgewässer aufgestellt und bilden die Berechnungsgrundlage für die Standgewässerbilanzierung. In Abhängigkeit der sich in den Standgewässern befindlichen Netto-Wasservolumina, können zu jedem Berechnungszeitschritt die Wasserstände sowie die Flächenausdehnungen ermittelt werden. Bei der Bilanzierung der Standgewässer werden sowohl die Speisung durch Niederschlag auf die Wasserfläche, Oberflächenabfluss von der Landfläche im unmittelbaren Einzugsgebiet des Restlochs sowie Grundwasserzutritte als auch Verluste durch Oberflächenwasserzutritt in den Grundwasserleiter sowie durch Gewässerverdunstung berücksichtigt.

3.5 Räumliche Modelldiskretisierung

Da die BWHM vordergründig die Funktion übernehmen, die Grundwasserneubildung als obere Modellrandbedingung für die HGM flächendeckend zu Verfügung zu stellen, orientieren sich die Begrenzungen der BWHM nicht zwangsläufig und nicht ausschließlich an den oberirdischen Wasserscheiden, sondern an der Zielstellung, die Modellgebiete der HGM mindestens zu überdecken. Überlappungen der HGM sind zum Teil gegeben. Die Modellrasterweiten der BWHM orientieren sich ebenfalls an den Modellrasterweiten und Erfordernissen der HGM. Sie müssen in beiden Modellgattungen identisch sein, um den berechnungselementbezogenen Austausch von Berechnungsgrößen zwischen beiden Modellen zu gewährleisten. Die Modellrasterweiten variieren in den Modellen zwischen 15,625 m und 500 m. Die Modellrandbereiche sind gröber aufgelöst. Gebiete von besonderem Interesse werden je nach Aufgabenstellung und Erfordernis durch sogenannte Modelllupen rechteckiger Ausdehnung höher aufgelöst beim Modellierungsprozess berücksichtigt. Einen Überblick der Modelldiskretisierung geben Abbildung 7 sowie Abbildung 8.

3.6 Kurzbeschreibung der Bodenwasserhaushaltsmodelle

Mit den BWHM ist es möglich, die Grundwasserneubildung sowie alle weiteren Bilanzgrößen des Gebietswasserhaushalts in ihrer räumlichen und zeitlichen Variabilität unter Berücksichtigung der im Modellgebiet tatsächlich vorherrschenden klimatischen und standörtlichen Gegebenheiten zu ermitteln. Das Verfahren bietet darüber hinaus größtmögliche Flexibilität in der Berücksichtigung von Landnutzungsänderungen oder alternativen Landnutzungs-szenarien sowie verschiedenen meteorologischen Randbedingungen, wie es für die vorliegende Bearbeitung ge-fordert ist.

3.6.1 Bodenwasserhaushaltsmodell – Nordraum Leipzig (BWHMN)

Das zur Verfügung stehende BWHMN wird gegenwärtig als einheitliches großräumiges Modell betrieben, ist aber aus den folgenden voneinander unabhängigen Bearbeitungen aus Teilmodellen bzw. -bearbeitungen heraus er-wachsen:

- Aufbau eines Bodenwasserhaushaltsmodells für den Raum Goitsche/Bitterfeld (IBGW GmbH, Gicon GmbH, GFE Consult, BAH) im Auftrag der LMBV mbH im Jahr 2004 (BAH & IBGW 2005).
- Aufbau eines NA-Modells für die renaturierte Bergbaufolgelandschaft des ehemaligen Tagebaues Delitzsch-Südwest/Breitenfeld (BAH) im Auftrag der LMBV mbH im Jahr 2004 (BAH & IBGW 2004).
- Aufbau eines Bodenwasserhaushaltsmodells für den Sanierungsbereich Westsachsen/Thüringen – Nordraum Westsachsen (IBGW GmbH, BAH) im Auftrag der LMBV mbH im Jahr 2005 (BAH & IBGW 2005).
- Berechnung des Wasserhaushalts im Einzugsgebiet des Lobers und Ermittlung von Bemessungswerten für ver-schiedene Abflusssituationen für den Altlauf des Lobers im Auftrag der LMBV mbH im Jahr 2011 (IBGW, BAH & AquEnTec 2011).

Tabelle 1: Datengrundlagen BWHM – Nordraum Leipzig

Administrative Zugehörigkeit/ Bezugsraum	Landnutzungsdaten	Bodendaten	Geländehöhendaten
Sachsen	<ul style="list-style-type: none"> ■ CIR-Biotoptypen- und Landnutzungskar-tierung (LfULG/Aktualitätsstand 2005) ■ ATKIS-DLM-Daten für die Objektberei-che Gebäude und Straßen (GeoSN/Aktualitätsstand 2011) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bodenkonzeptkarte BKKonz (LfULG), ■ BÜK 200 (In Bereichen mit Kartie-rungslücken der Bkkonz) (LfULG), ■ Kippsubstratkarte KSK 10 (LfULG) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ATKIS-DGM (GeoSN/Aktualitätsstand 2004-2005)
Sachsen-Anhalt	<ul style="list-style-type: none"> ■ CIR-Biotoptypen- und Landnutzungskar-tierung (LAU/Aktualitätsstand 2009) ■ ATKIS-DLM-Daten für die Objektberei-che Gebäude und Straßen (LVermGeo-SA/Aktualitätsstand 2011) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vorläufige digitale Bodenkarte - VBK50 (LAGB) ■ Digitale Kippbodenkarte - KBK25 (LAGB) ■ Digitale Bodenkarte Halle und Umge-bung - BK Halle (LAGB) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ATKIS-DGM (LVermGeo-SA/Aktualitätsstand 2004-2005)
Bergbauareal	<ul style="list-style-type: none"> ■ Planung zur nachbergbaulichen Land-nutzung gemäß UVS (LMBV/Planungsstand 2004) 		<ul style="list-style-type: none"> ■ Laserscann-Daten (LMBV) ■ Bergbaufolge gemäß Riss-werk UVS 2004 (LMBV)

Infolge der länderübergreifenden Ausmaße des Modellgebietes und der unterschiedlichen administrativen Zustän-digkeiten sowie Erarbeitungszeiten der einzelnen BWHM besitzen die zugrundeliegenden Daten zum Teil unter-

schiedliche Aktualitätsstände und variierende räumliche Informationsdichten, die in der folgenden Tabelle 1 dokumentiert sind.

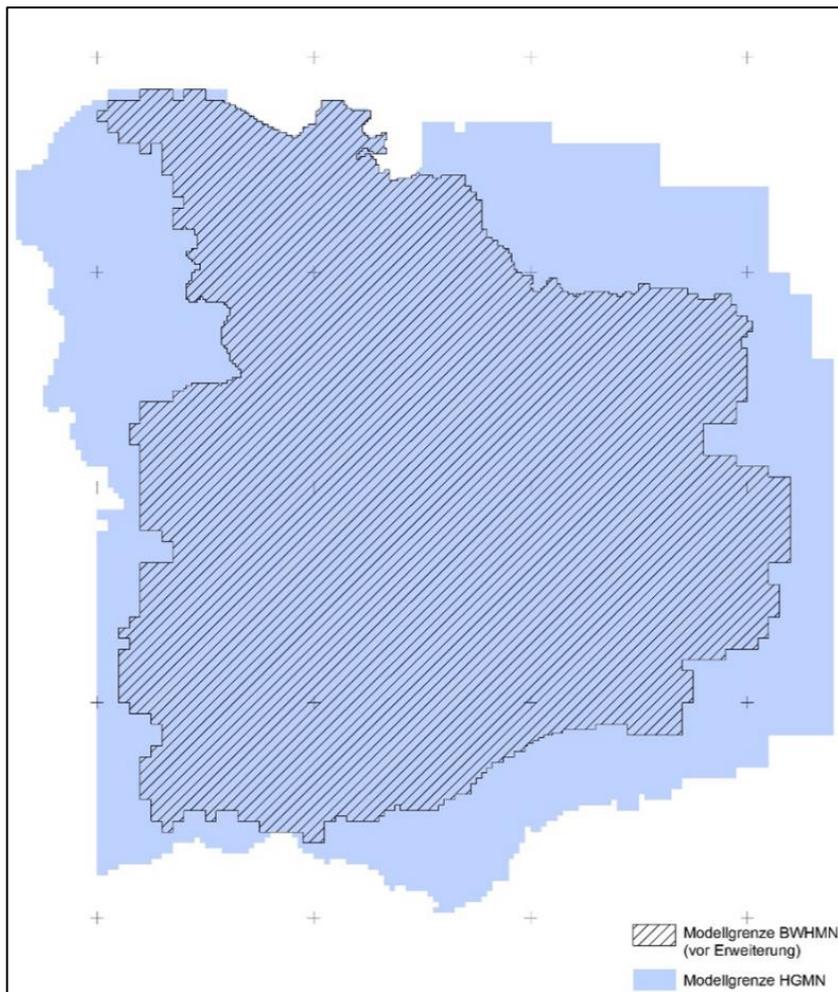


Abbildung 6: bisheriger Überlappungsbereich von BWHM-Nord und HGM-Nord

Das Bodenwasserhaushaltsmodell für den Nordraum Leipzig besitzt hinsichtlich seiner Modellstruktur einen Aktualitätsstand von 2011. Es überdeckt das HGMN2015 nicht vollständig und auch die Modellrasterweiten unterscheiden sich zum Teil, weshalb für den Nordraum Leipzig die Modellierungsvoraussetzungen für das kombinierte Modellierungsverfahren nicht vollständig erfüllt waren (vgl. Abbildung 6).

Aus diesem Grund erfolgte im Rahmen der Vorbereitungsarbeiten eine Erweiterung des BWHMN um die Randbereiche, um eine vollständige Überdeckung des Grundwassermodells zu erlangen mit dem Ziel die Gebietswasserhaushaltsbilanz umfassend und flächendeckend beschreiben zu können. Eine kurze Beschreibung der durchgeführten Arbeitsschritte erfolgt in Abschnitt 5. Die Grundlage für die vorliegende Bearbeitung bilden folglich Modellstände mit der in Abbildung 7 dargestellten räumlichen Ausdehnung und Diskretisierung.

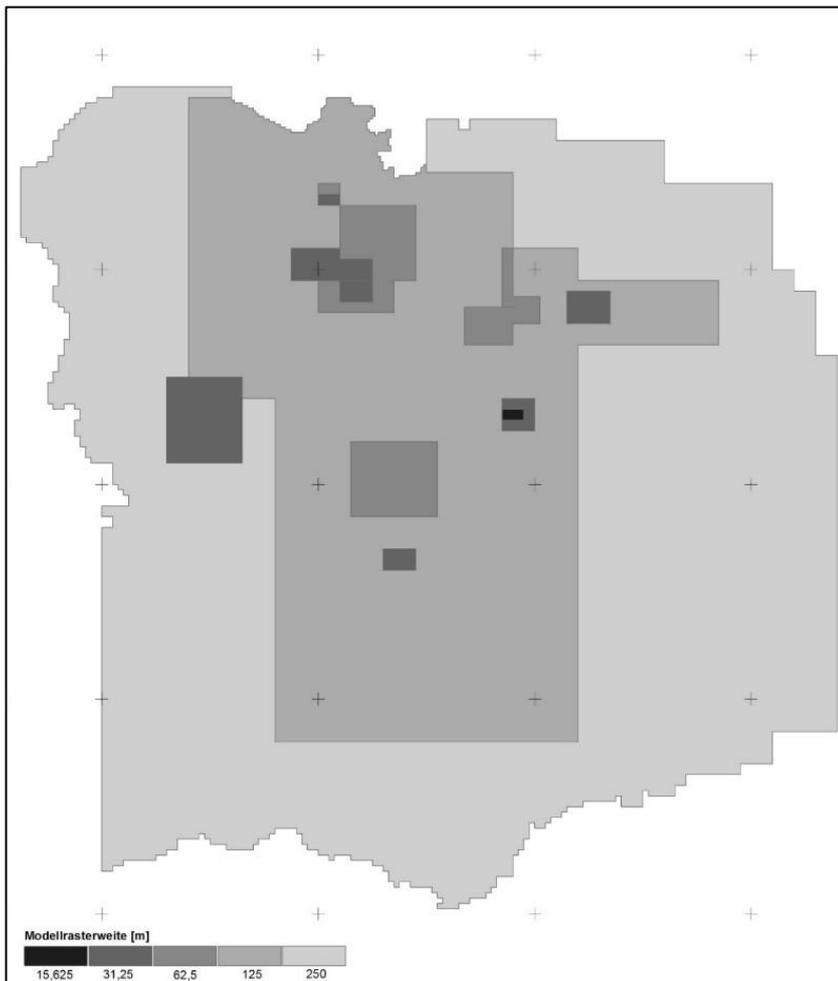


Abbildung 7: Räumliche Modelldiskretisierung des HGMM & BWHMN

3.6.2 Bodenwasserhaushaltsmodell – Südraum Leipzig (BWHMS)

Das zur Verfügung stehende BWHMS (IBGW 2012) wird gegenwärtig ebenfalls als einheitliches Großraummodell betrieben, ist aber aus den folgenden voneinander unabhängigen Bearbeitungen heraus entstanden:

- Aufbau eines Bodenwasserhaushaltsmodells für den Sanierungsbereich Westsachsen/Thüringen – Südraum Leipzig im Auftrag der LMBV GmbH im Jahr 2005 (BAH & IBGW 2005).
- Aufbau eines Bodenwasserhaushaltsmodells für den Bereich des Tagebaus „Vereinigtes Schleenhain“ (IBGW GmbH & BAH) im Auftrag der LMBV GmbH im Jahr 2006 (BAH & IBGW 2006).
- Aufbau eines Bodenwasserhaushaltsmodells für das Gebiet Merseburg-Ost (HPC & BAH) im Auftrag der LMBV GmbH im Jahr 2008 (BAH & HPC 2008).
- Erweiterung des Bodenwasserhaushaltsmodells für den Südraum Leipzig um das Gebiet des Tagebaus Profen – westlich der Weißen Elster (IBGW GmbH) im Auftrag der MIBRAG mbH im Jahr 2010 (IBGW 2010).

Tabelle 2: Datengrundlagen BWHM – Südraum Leipzig

Administrative Zugehörigkeit/ Bezugsraum	Landnutzungsdaten	Bodendaten	Geländehöhendaten
Sachsen	<p><u>Östlich der Weißen Elster</u></p> <p>Nichturbane Bereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ CIR-Biotoptypen- und Landnutzungskartierung (LfULG/Aktualitätsstand 1993) <p>Urbane Bereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ ATKIS-Daten (GeoSN/2001, 2007) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Digitale Bodenkarte - BK50 (LfULG) ■ Digitale Kippsubstratkarte - KSK10 (LfULG) ■ Bodenkonzeptkarte - Bkkonz (LfULG) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ATKIS-DGM (GeoSN/Aktualitätsstand 2004-2005)
	<p><u>Westlich der Weißen Elster</u></p> <p>Nichturbane Bereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ CIR-Biotoptypen- und Landnutzungskartierung (LfULG/Aktualitätsstand 2005) <p>Urbane Bereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ ATKIS-Daten (GeoSN/2010) 		
Sachsen-Anhalt	<p><u>Östlich der Weißen Elster</u></p> <p>Nichturbane Bereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ CIR-Biotoptypen- und Landnutzungskartierung (LAU/Aktualitätsstand 1992) <p>Urbane Bereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ ATKIS-Daten (LVermGeo-SA/2004, 2007) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Vorläufige digitale Bodenkarte - VKB50 (LAGB) ■ Digitale Kippbodenkarte - KBK10 (LAGB) 	
	<p><u>Westlich der Weißen Elster</u></p> <p>Nichturbane Bereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ CIR-Biotoptypen- und Landnutzungskartierung (LAU/Aktualitätsstand 2009) <p>Urbane Bereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ ATKIS-Daten (LVermGeo-SA/2010) 		
Thüringen	<p>Nichturbane Bereiche:</p> <p>CIR-Biotoptypen- und Landnutzungskartierung (TLUG/Aktualitätsstand 1993)</p> <p>Urbane Bereiche:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ ATKIS-Daten (LVermGeo-TH/2003) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bodengeologische Konzeptkarte – BGKK (TLUG) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ATKIS-DGM (LVermGeo-TH/2003)
Bergbauareal	<ul style="list-style-type: none"> ■ Planung zur nachbergbaulichen Landnutzung (LMBV, MIBRAG) (Planungsstand) 		<ul style="list-style-type: none"> ■ Laserscann-Daten (LMBV) ■ Bergbaufolge gemäß Risswerk UVS 2004 (LMBV)

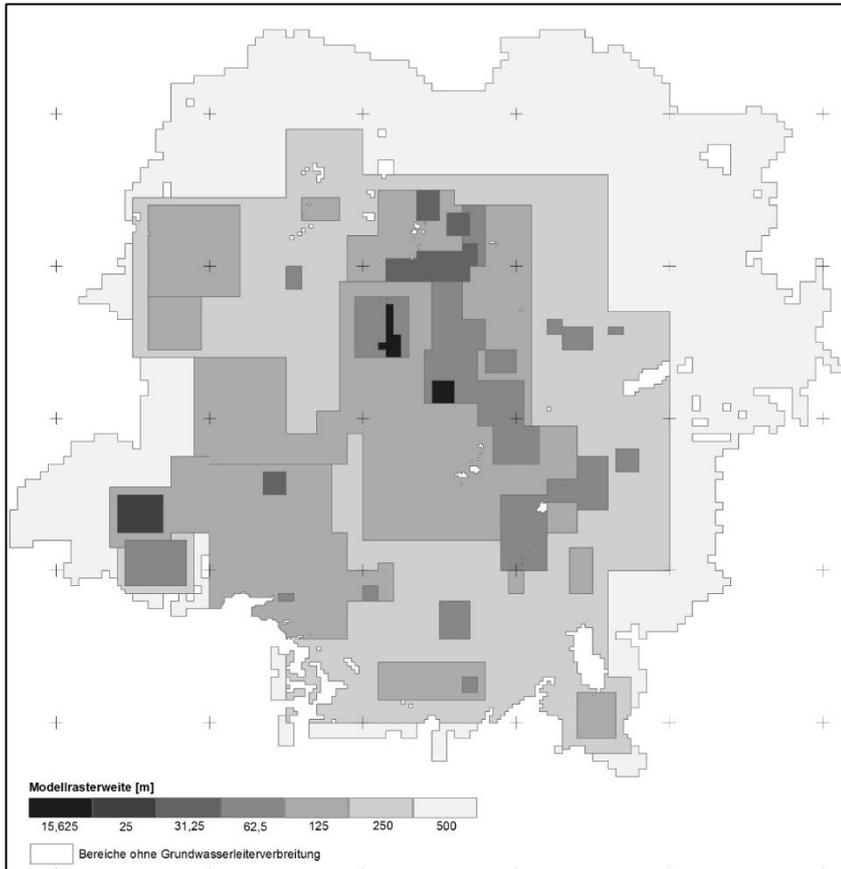


Abbildung 8: Räumliche Modelldiskretisierung des HGMS & BWHMS

Infolge der länderübergreifenden Ausmaße des Modellgebietes und der unterschiedlichen administrativen Zuständigkeiten sowie Erarbeitungszeiten der einzelnen BWHM besitzen die zugrundeliegenden Daten wie auch beim BWHMN zum Teil unterschiedliche Aktualitätsstände und variierende räumliche Informationsdichten, die in Tabelle 2 dokumentiert sind.

Das Bodenwasserhaushaltsmodell für den Südraum Leipzig überdeckt das HGMS2015 vollständig und beide Modelle besitzen die gleichen Modellrasterweiten (vgl. Abbildung 8). Die Voraussetzungen für das kombinierte Modellierungsverfahren (vgl. Abschnitt 3.5) sind für den Südraum Leipzig somit erfüllt.

3.7 Kurzbeschreibung der Grundwasserströmungsmodelle

3.7.1 Hydrogeologisches Großraummodell Nord (HGMN)

Das Hydrogeologische Großraummodell Nord (HGMN[®])¹ wurde für die Beschreibung der hydrogeologischen Verhältnisse, ihre Entwicklung und die Prognose der Flutungsprozesse der Sanierungstagebaue im Nordraum von Leipzig aufgebaut. Es bildet in seinen Grenzen die durch den Bergbau beeinflussten Gebiete ab. Die äußere Berandung des Modelles orientiert sich an feststehenden Randbedingungen. So wird das HGMN im Süden von den Flüssen Parthe und Luppe bzw. Weiße Elster begrenzt, im Westen von der Wasserscheide zwischen Saale und Mulde und im Norden von der Fuhne und der Mulde. Im Osten wird die Modellgrenze ebenfalls von der Mulde bestimmt. Damit umfasst das Modell Teile der Länder Sachsen und Sachsen-Anhalt.

¹ HGMN ist ein eingetragenes Warenzeichen der Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH.

	Modellgrundwasserleiter	Grundwasserleiterbezeichnung nach stratigraphischer Gliederung
Substrate der Bodenformen	mg 1	Substrate der Bodenformen
	mg 2	Substrate der Bodenformen
	mg 3	Substrate der Bodenformen
	mg 4	Substrate der Bodenformen
	mg 5	Substrate der Bodenformen
	mg 6	Substrate der Bodenformen
	mg 7	frei
	mg 8	frei
Grundwasserleiter/-geringleiter	mg 9	Anthropogene Ablagerungen (lokal)
	mg 10	Auelehm, Geschiebemergel/-lehm (Saale Ilo)
	mg 11	GWL 1.3
	mg 12	Geschiebemergel (Saale IIu)
	mg 13	GWL 1.4
	mg 14	Geschiebemergel (Saale I)
	mg 15	GWL 1.0/1.1, 1.5, 1.6 (in Verbreitungslücken lokal auch GWL 1.4, 1.7, 1.8, 2.0, 2.1)
	mg 16	Geschiebemergel (Elster) bindiges Tertiär ungegliedert
	mg 17	GWL 1.7/1.8 (lokal auch GWL 2.0)
	mg 18	GWL 2.1 Hangendschluff/Ton (Bitterfelder Deckton)
	mg 19	GWL 2.2
	mg 20	GWL 3.1/3.2 Tertiärton (z.T. Kohle)
	mg 21	GWL 4 Kohle (z.T. Tertiärton)
	mg 22	GWL 5
	Rupelton, Prätertiär	

K
I
P
P
E

Abbildung 9: Prinzipielle vertikale Modellstruktur im HGMM

Für die Betrachtung unterschiedlichster hydrogeologischer Fragestellungen wird die Grundwasserströmung im quartären und tertiären Grundwasserleiterkomplex bis zur Oberkante des Rupeltons berechnet. Die modellhafte Abbildung des Grundwasserleiterkomplexes erfolgt in sog. Modellgrundwasserleitern. Die vertikale Modellstruktur des HGMM orientiert sich an der lithofaziellen Gliederung des Gebietes und bildet den geologischen Untergrund ab, welcher in 22 Modellgrundwasserleiter aufgeteilt wird (vgl. Abbildung 9).

Das Modellraster wird in Schwerpunktgebieten durch so genannte „Lupen“ verfeinert. Die horizontal-ebene Modelldiskretisierung beträgt im Grundraster 250 m x 250 m. Weiter differenziert wird dieses Grundraster durch 21 Lupen mit wechselnden Modellrasterweiten zwischen 15,625 m und 125 m.

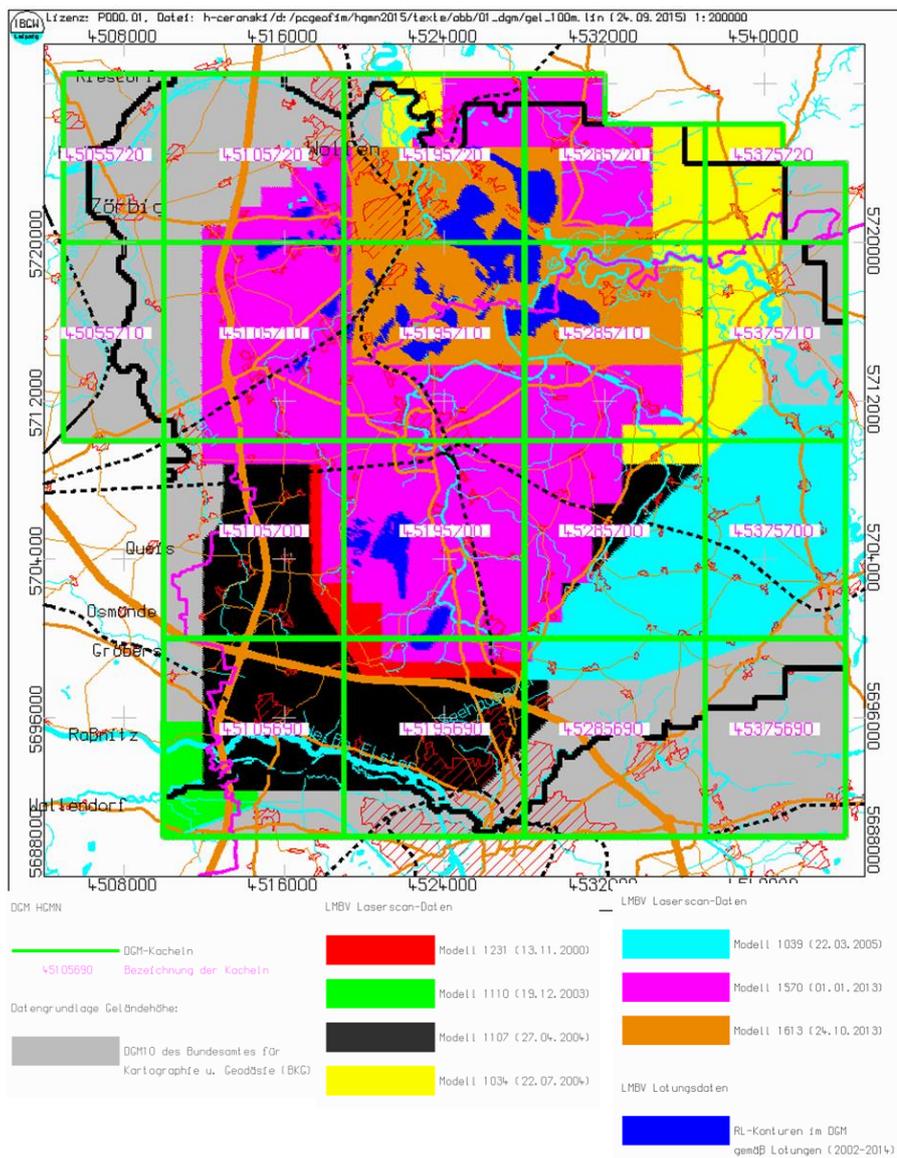


Abbildung 10: Datengrundlagen – Digitales Geländemodell HGMN

Um den Gesamttraum der bergbaulich beeinflussten Gebiete bewerten zu können, werden alle innerhalb der Grenze des HGMN bekannten und relevanten Randbedingungen berücksichtigt. Die letzte Aktualisierung und grundlegende Überarbeitung erfuhr das HGMN in den Jahren 2015-2016. Die Berechnungsgrundlage für das KLIWES-Bergbaugesamtgebiet-Projekt bildet die aktuelle Modellfassung HGMN2015 (IBGW 2016).

Auf alle Modellrandbedingungen und Datengrundlagen kann aufgrund der Fülle an Informationen an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Für eine detaillierte Beschreibung des Modells einschließlich der Modellrandbedingungen wird auf die Dokumentation „Präzisierung des Hydrogeologischen Großraummodells Nord für die Bereiche Goitsche/Rösa, Köckern und Delitzsch-SW/ Breitenfeld (HGMN2015)“ (IBGW 2016) verwiesen.

Daher werden auszugsweise die Datengrundlagen und Modellrandbedingungen genannt, welche für die Bearbeitung der Aufgabenstellung unmittelbar von Bedeutung sind. Dies sind vornehmlich das Digitale Geländemodell, welches eine wesentliche Grundlage für die Ermittlung des Grundwasserflurabstandes bildet (vgl. Abbildung 10), sowie die Datengrundlagen für die Berechnung der Wasserspiegelentwicklung in den vom AG ausgewählten Tagebaurestseen und sonstigen Standgewässern im Nordraum Leipzig (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Ausgewählte Tagebaurestsee-Randbedingungen im HGMM

Gewässername	Randbedingungsname	Datengrundlage	Bemerkung
Paupitzscher See	rpa	Lotung 1995	Überlauf in den Zöckeritzer See bei +77,0 m NHN
Neuhauser See	rhw	Lotung 2008	Überlauf in Graben zum Paupitzscher See bei +78,00 m NHN
Seelhausener See	roe	Lotung 2014	Überlauf in Rohrleitung (Q _{max} =75m ³ /min) zur Goitsche bei +78,0 m NHN/ Einmündung des Lober-Leine-Kanals
Werbelineer See	rde	Lotung 2011	Überlauf in Brodauer Ab-leiter bei +98,0 m NHN

3.7.2 Hydrogeologisches Großraummodell Süd (HGMS)

Für die Beschreibung der hydrogeologischen Verhältnisse und ihrer Entwicklung, aber auch für die Prognose künftiger Flutungsprozesse in den Sanierungstagebauen im Südraum von Leipzig, wurde auf Grundlage bergrechtlich festgelegter Betriebspläne das Hydrogeologische Großraummodell Süd (HGMS[®])² aufgebaut. Es bildet in seinen Grenzen die durch den Bergbau beeinflussten Gebiete ab. Die äußere Begrenzung des Modells orientiert sich an feststehenden Randbedingungen.

Das horizontal-ebene Grundraster des HGMS hat eine Rasterweite von 500m x 500m. Die Verbreitung des Grundrasters ist auf die äußeren Modellrandbereiche beschränkt. Der überwiegende Teil des Modellgebietes wird durch sog. Modelllupen höher aufgelöst abgebildet. Aktuell sind 60 horizontal-ebene Lupen im HGMS integriert, welche wechselnde Modellrasterweiten zwischen 15,625 m und 250 m aufweisen.

Die vertikale Modellstruktur des HGMS orientiert sich an der lithofaziellen Gliederung des Gebietes und bildet den Untergrund bis zur Unterkante des GWL 6.2 ab (vgl. Abbildung 11).

Um den Gesamttraum der bergbaulich beeinflussten Gebiete bewerten zu können, werden alle innerhalb der Grenze des HGMS bekannten und relevanten Randbedingungen berücksichtigt.

Die letzte Aktualisierung und grundlegende Überarbeitung erfuhr das HGMS in den Jahren 2015-2017. Die Berechnungsgrundlage für das KLIWES-Bergbaugbiet-Projekt bildet die aktuelle Modellfassung HGMS2015 (IBGW 2017).

Für eine detaillierte Beschreibung des Modells einschließlich der Modellrandbedingungen wird auf die Dokumentation „Präzisierung des Hydrogeologischen Großraummodells Süd (HGMS2015)“ (IBGW 2017) verwiesen. In Tabelle 4 sind auszugsweise die für die Bearbeitung der Aufgabenstellung wesentlichen Tagebaurestsee-Randbedingungen aufgeführt. Abbildung 12 gibt einen Überblick über die Datenquellen des Digitalen Geländemodells, welches eine wesentliche Grundlage für die Ermittlung des Grundwasserflurabstandes ist.

² HGMS ist ein eingetragenes Warenzeichen der Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH.

MG	Standard-GWL / Schicht	alternative GWL / Schichten	
0 bis 6	nicht belegt		
7	Auelehm	Lössboden	
8	nicht belegt		
9	Geschiebemergel Saale 3		
10	nicht belegt		
11	GWL 1.3, lokale Schmelzwassersandlinsen		
12	Geschiebemergel Saale 2		
13	GWL 1.4		
14	Geschiebemergel Saale 1		
15	GWL 1.5, 1.6	GWL 1.1*	
16	Geschiebemergel Elster 2		
17	GWL 1.7	GWL 1.1*	
18	Geschiebemergel Elster 1		
19	GWL 1.8	GWL 2.2	GWL 1.1*
20	Bindiger Horizont	GWL 2.3	Thierb. Ton
21	GWL 2.5 inc. Kalo. Forms.	GWL 2.4	GWL 2.2+1.8
22	6130 (Muschelschluff)		
23	GWL 2.6	GWL 2.5	
24	Fl. Y, Glaukonitschluff	6130	
25	GWL 2.7	GWL 2.7+2.6	
26	Fl. IVo/Tonlagen		
27	GWL 2.8	GWL 1.1*	
28	Fl. IVu/Tonlagen	Flöz Haselbach	
29	GWL 3	GWL 1.1*	
30	Fl. 23o/Tonlagen		
31	GWL 4.1 (lok. Hochlagen Tgb. Haselb., Gr. Dreieck)	GWL 1.1*	
32	Fl. 23u2/Tonlagen		
33	GWL 4.2, GWL 4	GWL 1.1*	
34	Fl. 23u1/Tonlagen		
35	GWL 5	GWL 1.1*	
36	Fl. lo		
37	rolliges Mittel Im Flöz I		
38	Fl. lu		
39	GWL 6.1		
40	Ton		
41	GWL 6.2 [+Fl.X+6.3]		

K
I
P
P
E

* Der GWL 1.1 wird in den MG 15 bis Mg 35 so zugeordnet, dass die laterale Anbindung gewährleistet ist. Im Verlauf der Aue werden die Übergänge durch hydraulische Verbindungen dargestellt. Analoge Verfahrenswesen finden lokal auch für andere GWL-Übergänge Anwendung.

Stand:2017

Abbildung 11: Prinzipielle vertikale Modellstruktur im HGMS

Tabelle 4: Ausgewählte Tagebaurestsee-Randbedingungen im HGMS

Gewässername	Randbedingungsname	Datengrundlage	Bemerkung
Kulkwitzer See	rku	HGMS2006	Überlauf in Ableiter zum Zschampert bei +114,5 m NHN
Ammelshainer See	rn1	HGMS2006	frei schwankend
Naunhofer See	rn2	HGMS2006	frei schwankend
Speicher Witznitz	rsw	Lotung 2014	<ul style="list-style-type: none"> ■ Überlauf zur Eula bei +132,0 m NHN ■ Überleitung von Muldewasser zur Versorgung Kraftwerk Lippendorf

Speicher Borna	rbo	HGMS2006	Normaleinstau/Überlauf in Ableiter zur Pleiße bei +139,5 m NHN
Zwenkauer See	rzw	Lotung 2011/2015	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ab 2007 Flutung ■ Ab 2013 bis 100/2022 Heberleitung +112,5 m NHN ■ Ab 10/2022 Überleitung über Schleuse zum Cospudener See ■ Endwasserstand +113,5 m NHN
Cospudener See	rco	Lotung 2014	Überlauf in Ableiter zum Waldbad Lauer bei +110,0 m NHN
Harthsee	rne	Lotung 2015	Überlauf in Ableiter zum Harthbach bei +161,4 m NHN
Bockwitzer See	rbz	Lotung 2014	<ul style="list-style-type: none"> ■ Flutung 5/2006 abgeschlossen ■ ³Überlauf zum Mordgraben/Saugraben bei +146,0 m NHN
Teilbecken (Hainer See)	Haubitz rhz	Lotung 2014	<ul style="list-style-type: none"> ■ Flutung ab 1999 ■ Überlauf zum Hainer See bei +126,0 m NHN
Haselbacher See	rha	Lotung 2014	<ul style="list-style-type: none"> ■ Flutung ab 1995 ■ Zufuhr von Stützungswasser ■ Überlauf in Ableiter zur Schnauder bei +151,0 m NHN

³ Die Überlaufschwelle des Bockwitzer Sees liegt bedingt durch ständige Abflusshemmnisse im Bereich des Ausleitbauwerks real seit 2012 bei etwa 146,3 m NHN

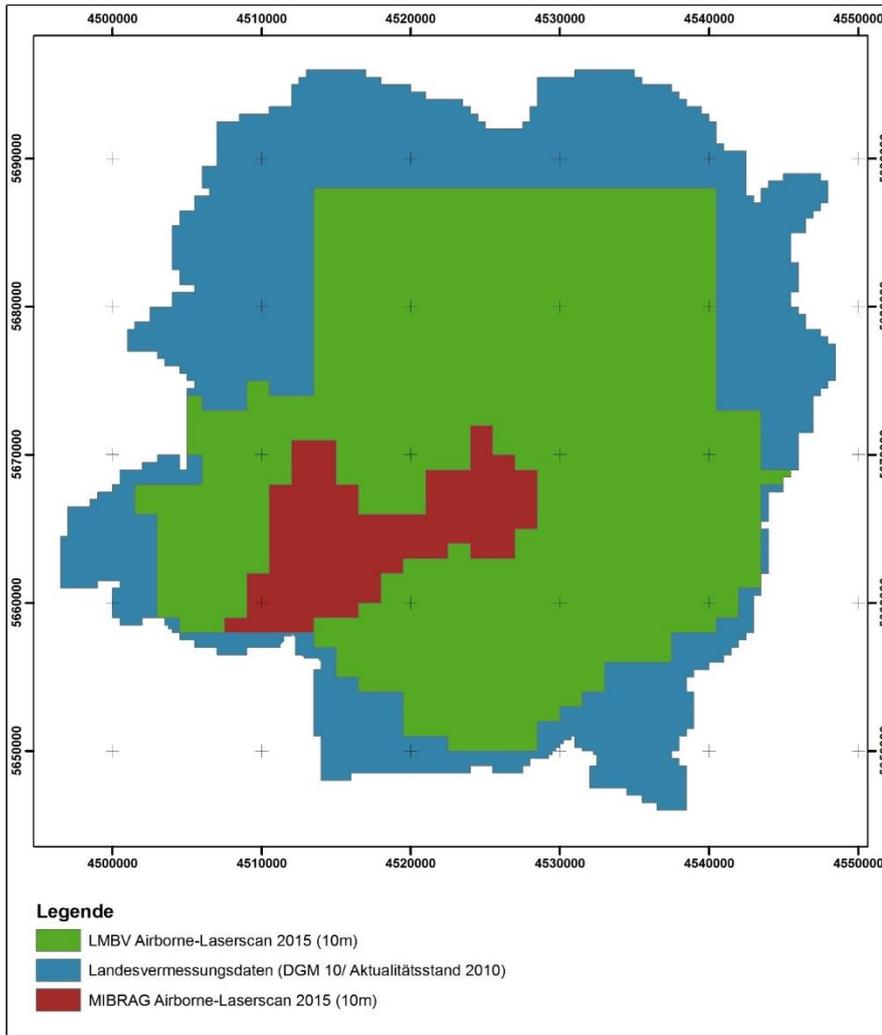


Abbildung 12: Datengrundlagen – Digitales Geländemodell HGMS

3.8 Kurzbeschreibung des kombinierten Modellierungsverfahrens zur Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen

Als Verfahren für die Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen, wurde ein kombiniertes Modellierungsverfahren unter Einsatz der bestehenden Grundwasser- und Bodenwasserhaushaltsmodelle mit aufeinanderfolgender wechselseitiger Datenübergabe der Berechnungsgrößen Grundwasserneubildung und Grundwasserflurabstand gewählt. Das Verfahren erlaubt die räumlich und zeitlich variable Berücksichtigung der Rückkopplungseffekte zwischen Grundwasserflurabstand und Grundwasserneubildung.

Das Verfahren besteht aus drei Stufen:

■ Stufe 1:

In der ersten Stufe erfolgt mittels der BWHM die Ermittlung der potentiellen Grundwasserneubildung für verschiedene Grundwasserflurabstände zeitvariabel als Modelleingangsgröße für die Grundwassermodelle und die Aufbereitung der entsprechenden Modelleingangsdateien.

■ Stufe 2:

In Stufe zwei erfolgen die grundwasserhydraulischen Berechnungen mit den HGM. Auf Grundlage der in Stufe 1 ermittelten potentiellen Grundwasserneubildung wird in Abhängigkeit des zum Berechnungszeitschritt vorherrschenden Grundwasserflurabstandes die tatsächliche Grundwasserneubildungshöhe bei der Berechnung berücksichtigt. Aus den Berechnungsergebnissen werden die Modelleingangsdateien mit den monatlichen Grundwasserständen für die BWHM erzeugt.

■ Stufe 3:

In Stufe 3 erfolgt auf Grundlage der in Stufe 2 erzeugten Grundwasserstands-Modelleingangsdateien mit den BWHM die finale Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen für Säule B des Wasserhaushaltsportals.

Durch diese Verfahrensweise wird eine Quasi-Kopplung zwischen dem Grundwasser- und Bodenwassermodell erreicht.

4 Konzeption zur Integration der Berechnungsergebnisse in das Wasserhaushaltsportal

4.1 Abstimmung zu räumlichen Abgrenzungen

Um eine lückenlose Integration der Berechnungsergebnisse in das Wasserhaushaltsportal gewährleisten zu können, erfolgte zunächst die Abstimmung der räumlichen Abgrenzung für die Lückenschließung. Dazu wurde von der TU Dresden die Geometrie der folgenden Grenzen an IBGW übergeben:

- Grenzen des KliWES-Modellraumes als Shape.
- Grenzen des in KliWES genutzten Modellraumes „Kohle Leipzig“ als Shape.
- die in KliWES genutzten hydrogeologischen Einheiten für den Modellraum „Kohle Leipzig“ als Shape.
- die in KliWES für die Ergebnisausgabe genutzten Teileinzugsgebietsgrenzen als Shape.
- Ausweisung eines Überlappungsbereichs zwischen KliWES und Tagebauregion

4.2 Grundlagen für die Überprüfung der Passgenauigkeit der Ergebnisse im Überlappungsbereich

Für die Überprüfung der Passgenauigkeit der Ergebnisse der neuen Berechnungen mit den bereits bestehenden Ergebnissen aus KliWES im Überlappungsbereich erfolgte die Übergabe monatlicher Werte sowie langjähriger Mittelwerte für die Wasserhaushaltsgrößen Niederschlag P, reale Verdunstung ETR, Gesamtabfluss R, schnelle Abflusskomponente RD, schnelle Grundwasserabflusskomponente RG1 und langsame Grundwasserabflusskomponente RG2 für ausgewählte Teileinzugsgebiete.

4.3 Anforderungen für die Integration der Berechnungsergebnisse in das Wasserhaushaltsportal

Die Ergebnisse der Berechnungen mit ArcEGMO/PCGEOFIM sollten in die Säule B des Wasserhaushaltsportals eingepflegt und die Ergebnisdarstellung sowie die Möglichkeiten des Daten-Downloads analog zu der zum Zeitpunkt der Auftragserteilung vorliegenden Fassung der Säule B gestaltet werden.

Da bei der Bergbauregion um Leipzig ein von den übrigen KliWES-Berechnungsregionen abweichendes methodisches Vorgehen zur Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen eingesetzt wurde, bestand die Forderung, dass die Bergbauregion als 8. Region im Portal (neben Weiße Elster, Mulde etc.) implementiert wird.

Für die Überarbeitung der Informationsbereiche im Wasserhaushaltsportal war es darüber hinaus erforderlich, eine kurze für die Präsentation im Web geeignete textliche Darstellung der für den Raum um Leipzig angewendeten Methodik zu verfassen.

Die Darstellung der Ergebnisse hatte analog zur Ergebnisdarstellung in KLIWES zu erfolgen und sich an der im Wasserhaushaltsportal genutzten Teileinzugsgebietsstruktur zu orientieren. Die durch IBGW zu übergebenden Daten und Dateiformate sollten folglich mit den im Wasserhaushaltsportal verwendeten übereinstimmen bzw. kompatibel sein.

5 Übernahme, Prüfung und Aufbereitung der meteorologischen Daten der Beobachtungsreihen und zehn Klimaprojektionen für die Modellierung des Wasserhaushaltes

Im Rahmen der Vorbereitungsarbeiten für die kombinierte Modellierung des Gebietswasserhaushaltes erfolgte die Übernahme der Klimaeingangsdaten für den Ist-Zustand (Messzeitraum 1961-2010) und für zehn aus dem Vorhaben WEREX V ausgewählten Klimaprojektionen (Projektionszeitraum 1961-2100), welche bereits sachsenweit als aufbereitete Datensätze an der TU-Dresden vorlagen und vom IHM zur Verfügung gestellt wurden. Es erfolgte eine räumliche Beschneidung der Rasterdatensätze auf den Untersuchungsraum durch IHM sowie die Datenübernahme und -prüfung durch BAH. Die nötigen Programmroutinen zum Einlesen der Datensätze, welche im hdf5-Format vorlagen, wurden reaktiviert und erfolgreich getestet.

6 Grundlagenarbeiten mit Anpassung der Modelle

Für die Bearbeitung bedurfte es teilweise einer Anpassung der Modelle. Besonders im Nordraum bestand großer Anpassungsbedarf, da das Bodenwasserhaushaltsmodell-Nord (BWHM-Nord) das HGM-Nord nicht vollständig überdeckte. Es erfolgte eine Erweiterung des BWHMN um die Randbereiche, um eine vollständige Überdeckung des Grundwassermodells zu erlangen. Nur so konnte der flächendeckende Austausch der Berechnungsgrößen während der Modellierung gewährleistet werden. Für die Erfüllung der Modellierungsvoraussetzungen bedurfte es der folgenden Arbeitsschritte:

- Räumliche Erweiterung und Präzisierung des Bodenwasserhaushaltsmodells-Nord (BWHMN) mit den folgenden Arbeitsschritten:
 - Erweiterung des Modellraums bis zur Grenze des HGMN (vgl. auch Abbildung 6, S. 15)
 - Flächendeckende Verfeinerung des Modellrasters mit Anpassung an die Gitterstruktur des HGMN
 - Übertragung der originären Flächendaten (Geländehöhe, Bodentypen, Landnutzung u.a.) auf das verfeinerte Modellraster

- Ableitung der Parameter Hangneigung, -ausrichtung, Muldenspeicherkapazität, Flächenversiegelungsgrad u.a.

Darüber hinaus erfolgten allgemein die

- Überprüfung und Anpassung von Steuerdateieinträgen
- Überprüfung wesentlicher Modellrandbedingungen
- Umstellung der BWHM auf die aktuelle Programmversion von ArcEGMO sowie Testrechnung und Auswertung.

7 Wasserhaushaltsmodellierung mit Berechnung von Wasserhaushaltsgrößen für Säule B des Wasserhaushaltsportals

Die Wasserhaushaltsmodellierung umfasste die Ermittlung der Wasserhaushaltsgrößen für Säule B des Wasserhaushaltsportals im kombinierten Berechnungsverfahren mittels der Bodenwasserhaushalts- (BWHM) und hydrogeologischen Großraummodelle (HGM) mit aufeinanderfolgender wechselseitiger Datenübergabe der Berechnungsgrößen Grundwasserneubildung und Grundwasserflurabstand.

7.1 Klimatische Randbedingungen

Die Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen erfolgte für den Ist-Zustand (1961-2010) sowie die folgenden zehn Klimaprojektionen:

WEREXV_EH5_L1_A1B_44	KW-SHJ-85	entspricht Realisierung 00 (W00)
WEREXV_EH5_L1_CLM_A1B_33	KW-WHJ-15	entspricht Realisierung 11 (W11)
WEREXV_EH5_L2_CLM_A1B_55	RK-SHJ-85	entspricht Realisierung 22 (W22)
WEREXV_EH5_L2_CLM_A1B_77	RK-F-85	entspricht Realisierung 33 (W33)
WEREXV_EH5_L3_REMO_A1B_11	KW-WHJ-85	entspricht Realisierung 44 (W44)
WEREXV_HC3C_L1_A1B_22	RK-WHJ-15	entspricht Realisierung 55 (W55)
WEREXV_HC3C_L1_A1B_55	RK-SHJ-15	entspricht Realisierung 66 (W66)
WEREXV_HC3C_L1_E1_55	RK-F-15	entspricht Realisierung 77 (W77)
WEREXV_HC3C_L1_E1_99	KW-SHJ-15	entspricht Realisierung 88 (W88)
WEREXV_HCG2_L1_A1B_22	RK-WHJ-85	entspricht Realisierung 99 (W99)

Die klimatischen Randbedingungen dieser Modellierung sind durch den Istzustand, d.h. die gemessenen klimatischen Verhältnisse im Beobachtungszeitraum 1961-2010 sowie die Klimaprojektion Wettreg2010-A1B-66 definiert. Die Datengrundlage bilden rasterinterpolierte Datensätze aus der Raster-Klimadatenbank (RaKliDa) des Regionalen Klima-Informationssystems (ReKIS).

Um die Reaktionen im hydrologischen System verstehen zu können, bedarf es der Kenntnis der meteorologischen Rahmenbedingungen. Daher erfolgt eine kurze Charakterisierung der den Berechnungen zugrundeliegenden Klimaprojektionen anhand von Diagrammen, welche die zeitliche Entwicklung des korrigierten Niederschlags am Standort Zschortau nördlich von Leipzig sowie der potentiellen Verdunstung am Standort Leipzig-Halle zeigen (vgl. Abbildung 13 & Abbildung 14). Es handelt sich um eine vergleichende Charakterisierung. Die Absolutbeträge der Klimakenngrößen, vor allem des Niederschlags, variieren räumlich sehr stark und stehen deshalb nicht im Vorder-

grund. Die Tendenzen besitzen hingegen Allgemeingültigkeit, auch für andere Standorte in den Modellgebieten. Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit sind die Klimagrößen als Ganglinien dargestellt. Als Zeitbezug für die Langfristentwicklung wurde ein gleitendes Dekadenmittel gewählt.

Diese Darstellungsmethode führt zu einer Glättung der Niederschlagssummen der Einzeljahre und zu einer besseren Vergleichbarkeit der Ganglinien untereinander. Die Zeitskala beginnt 1970, wobei sich die Werte am Beginn der Zeitachse auf die Dekade 1961-1970 beziehen. Jeder weitere dargestellte Wert bezieht sich jeweils auf eine um ein Jahr verschobene Dekade.

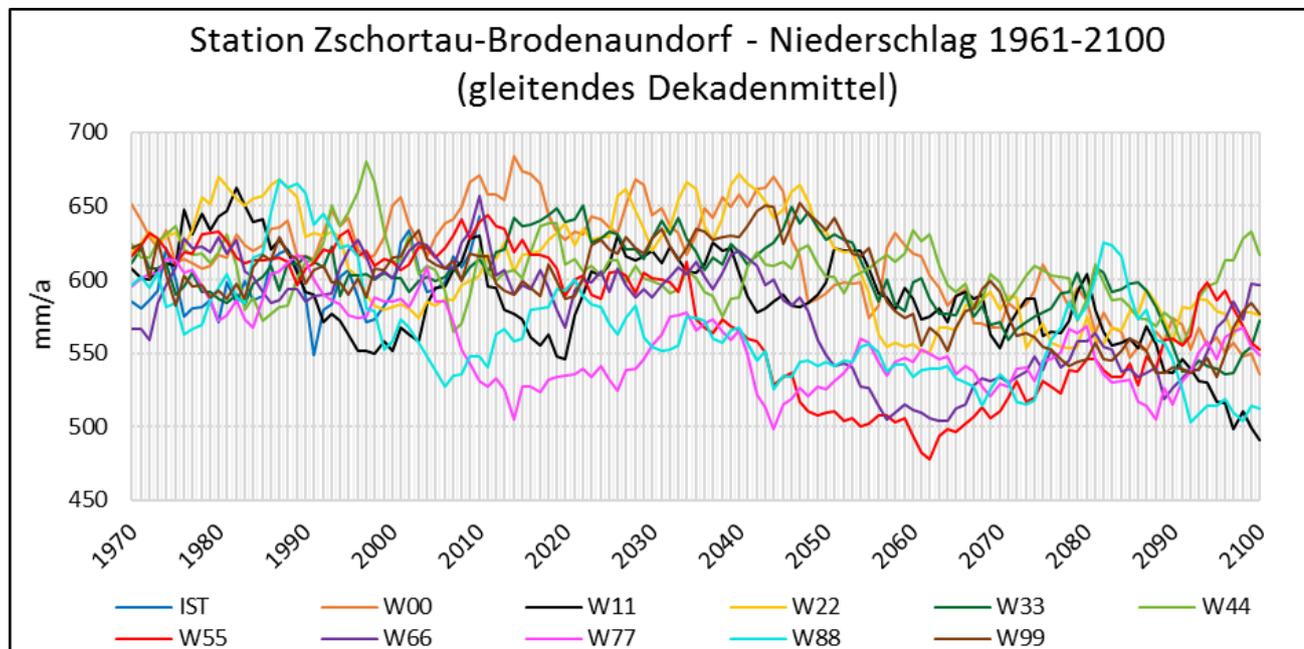


Abbildung 13: Niederschlagsstation Zschortau-Brodenaundorf (Nordraum Leipzig) – Langfristige Entwicklung des Niederschlags (gleitendes Dekadenmittel) verschiedener Klimaprojektionen (1961-2100) sowie des Ist-Klimas (1961-2010)

Die zeitlichen Entwicklungen des Niederschlags und der potentiellen Verdunstung für die einzelnen Klimaprojektionen und den Istzustand sind in den Abbildung 13 und 14 dargestellt. Die Entwicklung der Jahresniederschlagssummen ist zum Teil stark gegenläufig, vor allem etwa bis Mitte des 21. Jahrhunderts. Beispielsweise zeigen die Realisierungen 00 und 33 zunächst einen ansteigenden Trend des Niederschlags.

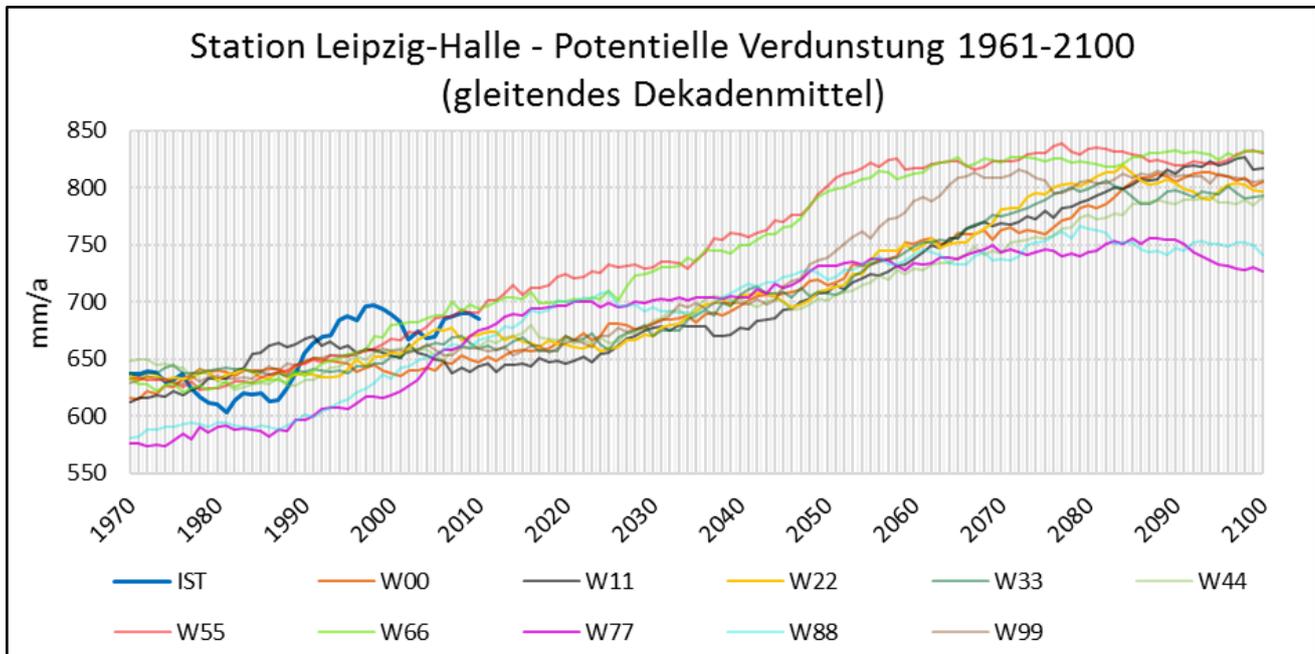


Abbildung 14: Klimastation Leipzig-Halle (Nordraum Leipzig) – Langfristige Entwicklung der potentiellen Verdunstung (gleitendes Dekadenmittel) verschiedener Klimaprojektionen (1961-2100) sowie des Ist-Klimas (1961-2010)

Nach 2050 setzt eine Trendumkehr ein. Die Realisierungen 77 und 88 hingegen prognostizieren bis etwa 2050 zunächst abnehmende Niederschläge. Nach 2050 setzt sich bei Realisierung 88 der Abwärtstrend fort. Realisierung 77 zeigt ab 2050 keinen eindeutigen Trend. Andere, wie beispielsweise die Realisierung 44, weisen bis 2050 keine eindeutige Entwicklungstendenz bei den Niederschlägen auf und bleiben niveaustabil. Hinsichtlich der potentiellen Verdunstung lässt sich bei allen Klimaprojektionen recht eindeutig ein ansteigender Trend feststellen. Die Realisierungen 66, 77 & 99 sagen einen besonders starken Anstieg bis etwa 2060/2070 voraus mit anschließender Niveaustabilisierung. Andere, wie beispielsweise die Realisierung 11 prognostiziert zunächst nur eine sehr geringe Zunahme bis etwa 2040, welche sich ab diesem Zeitpunkt bis 2100 in eine drastische, kontinuierliche Zunahme wandelt.

Die Klimaprojektionen besitzen also sehr unterschiedliche Charakteristika und lassen bezüglich einer Bewertung für den Gebietswasserhaushalt optimistischere und pessimistischere Perspektiven erkennen. Vergleichsweise optimistische Bilder zeichnen beispielhaft die Realisierungen 22 und 44 mit moderaten Abnahmen des Niederschlags und gemäßigten Zunahmen der potentiellen Verdunstung. Außerordentlich pessimistische Aussichten gibt Realisierung 55.

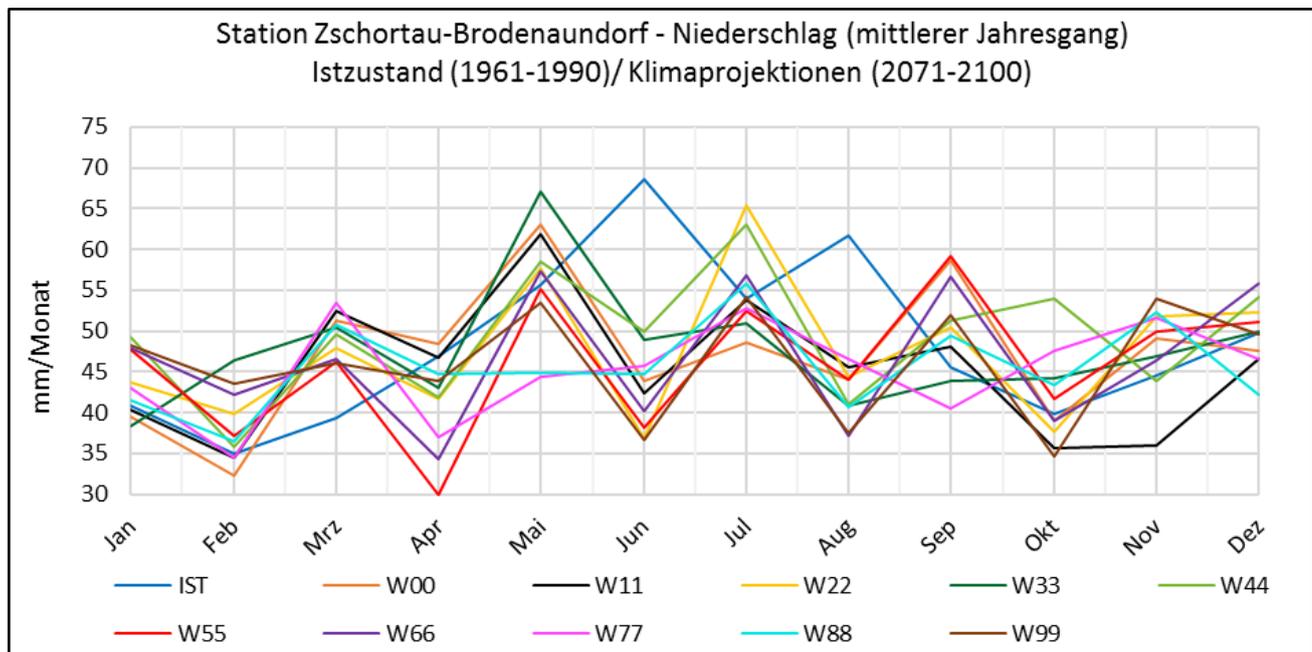


Abbildung 15: Niederschlagsstation Zschortau-Brodenaundorf (Nordraum Leipzig) – Mittlerer innerjährlicher Gang des Niederschlags verschiedener 30-jähriger Bezugsreihen (Klimaprojektionen: 2071-2100 / Ist-Klima: 1961-1990)

In den Abbildung 15Abbildung 16 sind die mittleren innerjährlichen Gänge von Niederschlag und potentieller Verdunstung an den Standorten Zschortau-Brodenaundorf bzw. Leipzig-Halle dargestellt. Gegenübergestellt sind die langjährigen Monatsmittel des Istzustandes und der Klimaprojektionen für jeweils 30-jährige Bezugsreihen. Der Istzustand wird durch die Bezugsreihe 1961-1990 repräsentiert. Für die Klimaprojektionen wurde die Bezugsreihe 2071-2100 gewählt, da zum Ende des Klimaprojektionszeitraums die Differenzen zum Istzustand am deutlichsten sind. Die Niederschläge der Klimaprojektionen weisen zum Teil sehr unterschiedliche innerjährliche Verteilungsmuster auf. Im Vergleich zum Istzustand ist auffällig, dass die hochsommerlichen Niederschläge der Klimaprojektionen zwischen 20-50% niedriger, die projizierten winterlichen Niederschläge mit wenigen Ausnahmen dafür um bis zu 10-30% erhöht sind.

Die potentielle Verdunstung ist in den Klimaprojektionszeitreihen gegenüber der Messreihe ganzjährig erhöht. In den Wintermonaten ist die potentielle Verdunstung gegenüber dem Istzustand zwischen 30 und 200% erhöht.

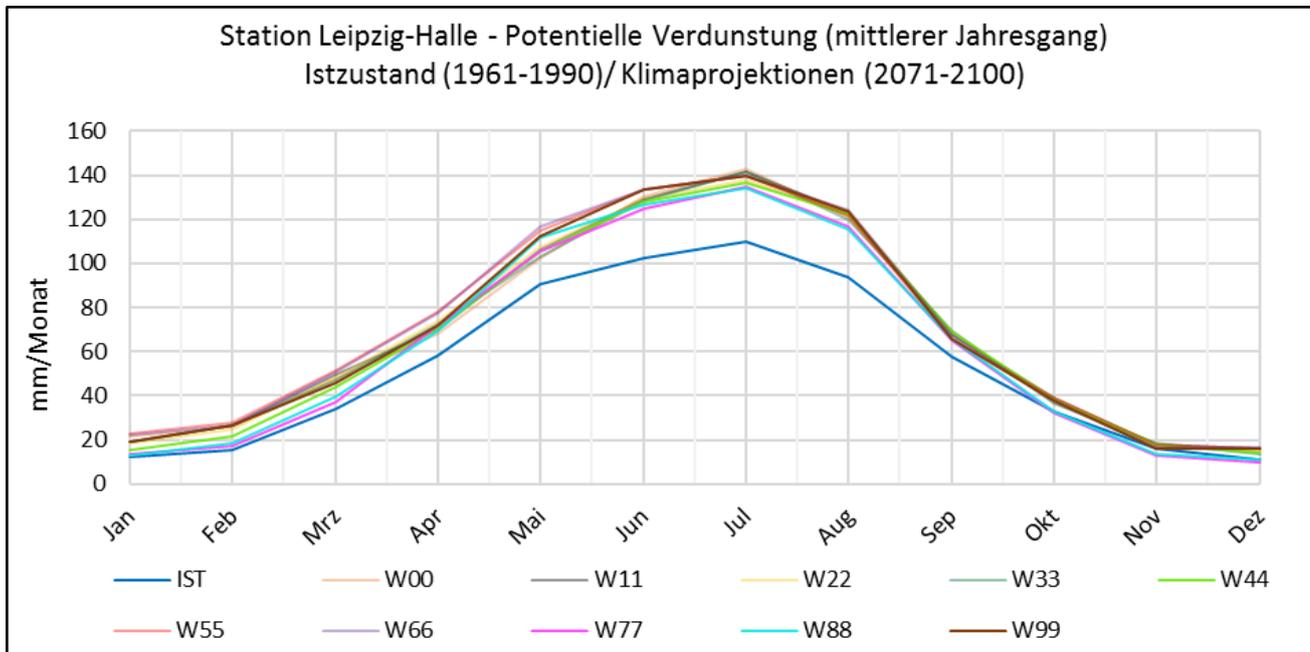


Abbildung 16: Klimastation Leipzig-Halle (Nordraum Leipzig) – Mittlerer innerjährlicher Gang der Potentiellen Verdunstung (Grasreferenzverdunstung) verschiedener 30-jähriger Bezugsreihen (Klimaprojektionen: 2071-2100/ Ist-Klima: 1961-1990)

7.2 Durchführung der Modellierung im 3-stufigen Verfahren

Die Modellierung des Wasserhaushaltes erfolgte mit dem im Folgenden beschriebenen 3-stufigen Berechnungsverfahren:

- Stufe 1: Ermittlung der potentiellen Grundwasserneubildung mittels der BWHM (Aufbau der Modelleingangsdateien mit der bei verschiedenen Grundwasserflurabständen potentiell möglichen monatlichen Grundwasserneubildung als Grundlage für Stufe 2)
- Stufe 2: Ermittlung der monatlichen Grundwasserstände mittels der HGM (Aufbau der Modelleingangsdateien mit den monatlichen Grundwasserständen als Grundlage für Stufe 3)
- Stufe 3: Finale Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen für Säule B des Wasserhaushaltsportales in Abhängigkeit des Grundwasserflurabstandes

7.2.1 Ermittlung der potentiellen Grundwasserneubildung mittels der Bodenwasserhaushaltsmodelle (Stufe 1)

In Stufe 1 erfolgte die Ermittlung des standortspezifischen funktionalen Zusammenhangs zwischen Grundwasserflurabstand und Grundwasserneubildung. Die Berücksichtigung der Standortspezifität findet Ausdruck in einer Untergliederung der Modellgebiete in Hydrotope bzw. Grundwasserneubildungsklassen gemäß Abbildung 17. Dies entspricht einer Unterteilung in hydrologisch ähnlich reagierende Teilflächen, wobei sich die Grundwasserneubildung innerhalb eines Hydrotops nur unwesentlich unterscheidet.

Die Bildung der Grundwasserneubildungsklassen erfolgte GIS-gestützt unter Berücksichtigung von Bodeneigenschaften, Landnutzung, Hangneigung, Flächenversiegelungsgrad und mittlerer Niederschlagshöhe. Jede mögliche Kombination aus diesen Eigenschaften ergab eine Grundwasserneubildungsklasse. Für jede Klasse wurde anschließend die zeitvariable flurabstandsabhängige Grundwasserneubildung berechnet. Für die Ableitung des standortspezifischen funktionalen Zusammenhangs zwischen Grundwasserflurabstand und Grundwasserneubildung

Abbildung 17: Untergliederung der Modellgebiete in Hydrotupe bzw. Grundwasserneubildungsklassen (IGWF); links: HGMN; rechts: HGMS

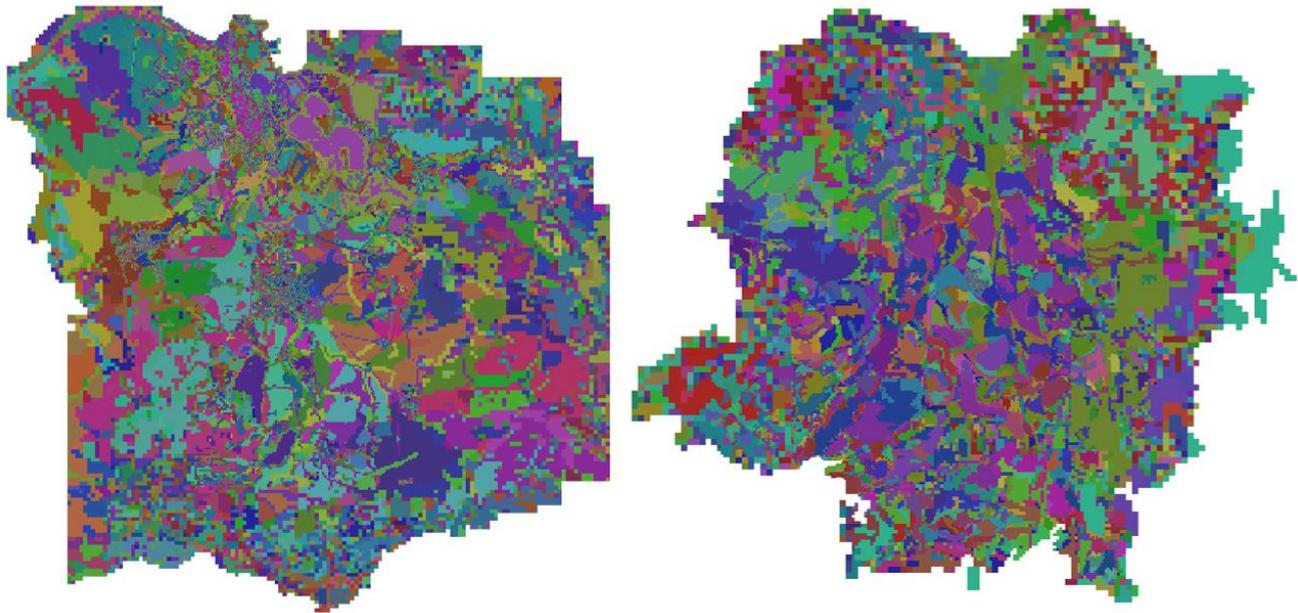


Abbildung 17: Untergliederung der Modellgebiete in Hydrotupe bzw. Grundwasserneubildungsklassen (IGWF); links: HGMN; rechts: HGMS

In jedem der Berechnungsdurchläufe wurde in den Modellgebieten jeweils ein einheitlicher hypothetischer Grundwasserflurabstand angenommen, bei sonst unveränderter Parametrisierung der BWHM. In dieser Art und Weise wurde für den Ist-Zustand sowie die 10 Klimaprojektionen verfahren, so dass insgesamt 154 Simulationsläufe mit beiden BWHM durchgeführt wurden.

Für jede der Grundwasserneubildungsklassen wurde somit eine Funktion ermittelt die den Zusammenhang von Grundwasserflurabstand und -neubildung am jeweiligen Standort beschreibt. Diese Funktionen wurden in der Datei „GWFU.DBF“ hinterlegt, welche als Modelleingangsdatei für die HGM fungierten. Diese Datei enthält letztendlich die für jeden Grundwasserflurabstand gültige potentielle Grundwasserneubildung. Eine derartige Modelleingangsdatei wurde für jede Klimaprojektion erzeugt. Insgesamt wurden 22 dieser Dateien erzeugt. Im Endergebnis dieser Verfahrensweise konnte während der anschließenden grundwasserhydraulischen Berechnungen mit den HGM-Nord und -Süd zu jedem Berechnungszeitschritt für jeden möglichen Grundwasserflurabstand durch lineare Interpolation zwischen den Stützstellen gemäß Abbildung 18 die entsprechende tatsächliche monatliche Grundwasserneubildung flächendeckend im Modellgebiet ermittelt werden. Die Berechnungsstufe 1 diente ausschließlich der Erzeugung der Grundwasserneubildungs-Modelleingangsdateien für die Berechnungen in Stufe 2.

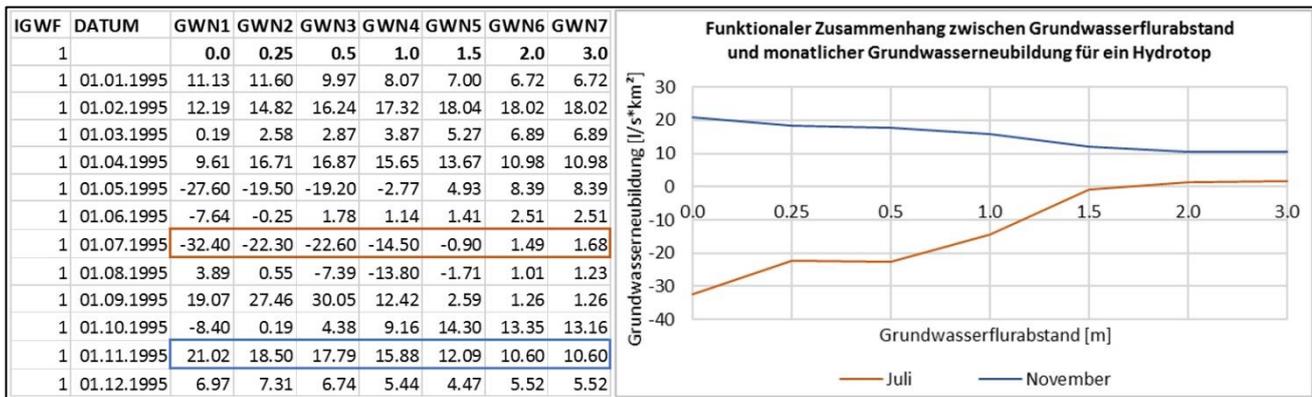


Abbildung 18: Beispiel des funktionalen Zusammenhangs zwischen Grundwasserneubildung und -flurabstand. Exemplarisch ist für einen Beispiel-Standort für Juli und November 1995 die monatliche Grundwasserneubildung in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand dargestellt (links: Auszug aus der Datei GWFU.dbf)

7.2.2 Ermittlung der monatlichen Grundwasserstände mittels der hydrogeologischen Großraummodelle (Stufe 2)

In Stufe 2 erfolgten die grundwasserhydraulischen Berechnungen (insgesamt 22 Berechnungsläufe) mit den HGM für jede Klimaprojektion sowie den Ist-Zustand. Auf Grundlage der in Stufe 1 ermittelten potentiellen Grundwasserneubildung wurde in Abhängigkeit des zum Berechnungszeitschritt vorherrschenden Grundwasserflurabstandes die tatsächliche Grundwasserneubildungshöhe bei der Berechnung berücksichtigt. Aus den Berechnungsergebnissen wurden die Modelleingangsdateien mit den monatlichen Grundwasserständen für die BWHM erzeugt.

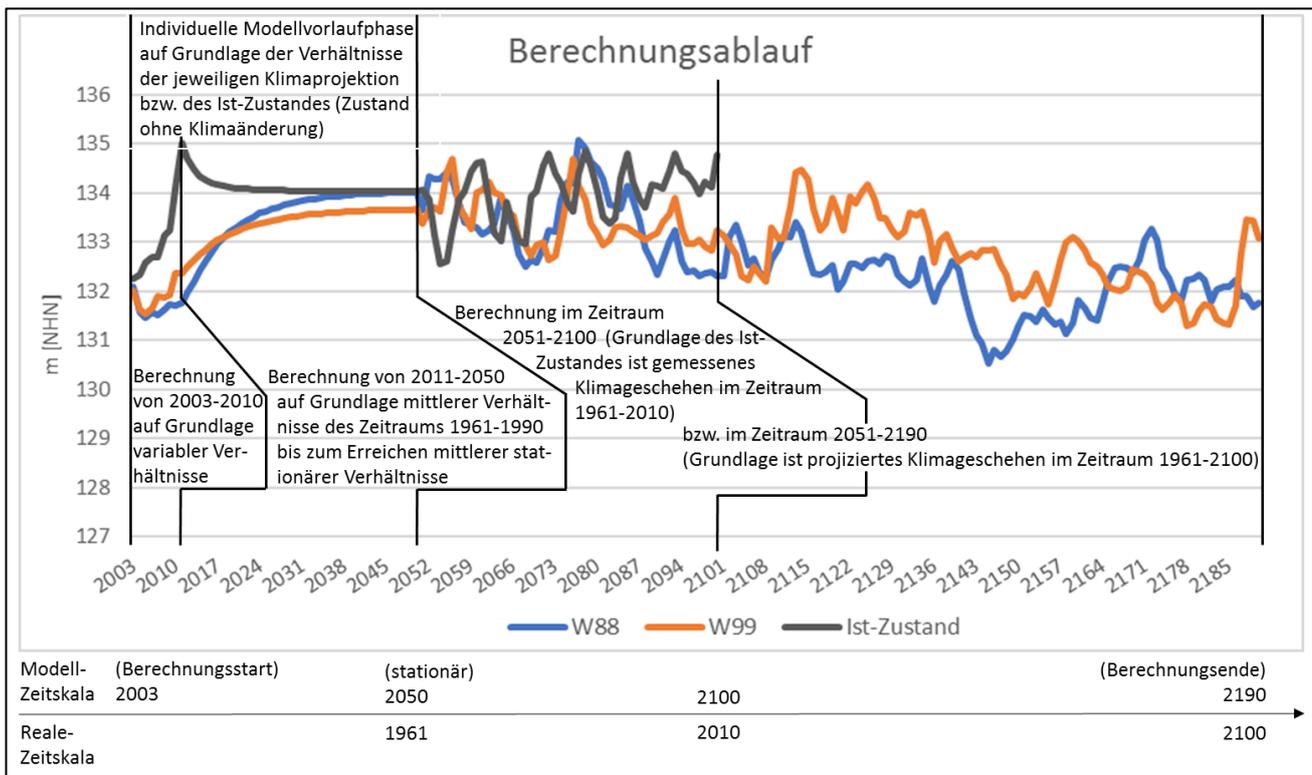


Abbildung 19: Prinzipdarstellung des Berechnungsablaufs (Beispiel: Nordraum Leipzig)

Abbildung 19 veranschaulicht das Prinzip des Berechnungsablaufs für den Nordraum Leipzig. Aufgrund der unterschiedlichen Bergbauspezifika ist der Berechnungsablauf im Südraum Leipzig bezogen auf die Zeitskala etwas anders, prinzipiell aber übereinstimmend mit dem des Nordraums.

Der Modellstart im Nordraum ist im Jahr 2003. Zu diesem Zeitpunkt sind die Anfangsbedingungen definiert. Die Berechnung wird zunächst instationär d.h. zeitvariabel bis zum Jahr 2010 durchgeführt unter Zugrundelegung des gemessenen (Ist-Zustand) bzw. projizierten (Klimaprojektionen) Klimageschehens. Diese Berechnungsphase dient für gewöhnlich der Modelleichung bzw. -kalibrierung. Im Anschluss wird auf Grundlage der projizierten bzw. gemessenen mittleren klimatischen Verhältnisse des Zeitraums 1961-1990 der jeweiligen Klimaprojektion bzw. des Ist-Zustandes bis zum Jahr 2050 gerechnet. Dieses Jahr markiert den Zeitpunkt zu dem für den Leipziger Nordraum flächendeckend stationäre Verhältnisse erwartet werden, d.h. der Grundwasserwiederanstieg im Wesentlichen abgeschlossen sein wird. Zugleich bildet dieser Zeitpunkt jeweils den Ausgangszustand für die anschließende instationäre Berechnung der Grundwasserstandsentwicklung bis zum Modelljahr 2190 unter Zugrundelegung der gemessenen bzw. projizierten zeitvariablen klimatischen Verhältnisse des Zeitraums 1961-2010 bzw. 1961-2100. Der Berechnungszeitraum 2003 bis 2050 fungiert jeweils als Modellvorlaufphase in welcher die Grundwassermodelle auf die jeweiligen Gegebenheiten der Klimaprojektionen eingestellt werden, um im Anschluss daran nach dem Erreichen mittlerer stationärer Verhältnisse das Grundwasserschwankungsverhalten und die langfristige Grundwasserstandsentwicklung unter Zugrundelegung der Klimaprojektionen zu ermitteln.

Der modellseitig gewählte Simulationszeitraum 2051 bis 2190 entspricht somit dem um 90 Jahre in die Zukunft verschobenen Betrachtungszeitraum 1961-2100. Für die finalen Berechnungen der Wasserhaushaltsgrößen in Stufe 3 wird ausschließlich dieses Zeitfenster betrachtet.

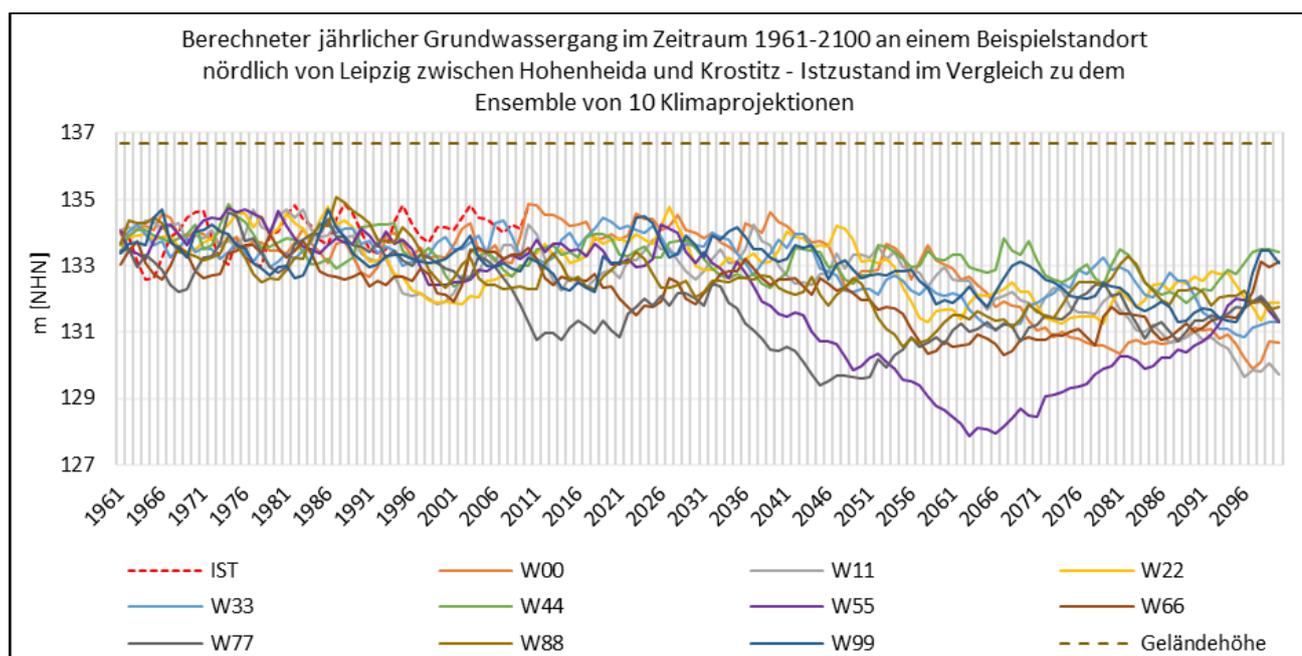


Abbildung 20: Berechneter Grundwassergang (Jahresmittelwerte) im Zeitraum 1961-2100 an einem Beispielstandort nördlich von Leipzig zwischen Hohenheida und Krostitz – Istzustand im Vergleich zu dem Ensemble von 10 Klimaprojektionen

Im Unterschied zum Nordraum Leipzig ist im Südraum der Modellstart bereits im Jahr 1995. Da aufgrund der sich noch in Betrieb befindlichen Tagebaue erst im Jahr 2150 gebietsweit mit stationären Verhältnissen zu rechnen ist, verschiebt sich die Berechnungszeit im Vergleich zum HGMN um weitere 100 Jahre in die Zukunft bis zum Jahr 2290.

Aus den insgesamt 22 mit dem HGMN und HGMS durchgeführten Berechnungen wurden für jedes Modellelement die monatlichen Grundwasserstände herausgeschrieben und in jeweils einer Ergebnisdatei in einer von ArcEGMO lesbaren Form gespeichert. Die 22 Ergebnisdateien mit den monatlichen Grundwasserständen wurden anschließend an das BAH übermittelt woraufhin in Stufe 3 mit den BWHM die finale Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen für Säule B des Wasserhaushaltsportales erfolgte.

Abbildung 20 zeigt die Berechnungsergebnisse der Grundwassermodellierung mittels des HGMN der 11 Simulationläufe im Vergleich beispielhaft für einen Standort nördlich von Leipzig zwischen den Ortschaften Hohenheida und Krostitz. An diesem Standort schwankt der Grundwasserflurabstand im Beobachtungszeitraum 1961-2010 (Ist-Zustand) zwischen zwei und vier Metern. Bei Zugrundelegung der 10 Klimaprojektionen bewegt sich der Grundwasserflurabstand zusammengenommen betrachtet in einem Schwankungsbereich zwischen zwei und neun Metern. Allen betrachteten Klimaprojektionen ist gemein, dass sie langfristig betrachtet zu einem Absinken des Grundwasserspiegels führen. Bei Annahme der Realisierung 44 ist bis zum Jahr 2100 von einer vergleichsweise geringen, allmählichen Absenkung des Grundwasserstandes um etwa einen Meter auszugehen wohingegen Realisierung 55 ein deutlich drastischeres Bild zeichnet und ab etwa 2035 bis 2065 ein rapides Absinken des Grundwasserspiegels um ca. 6m bewirkt (am gezeigten Standort) mit einer deutlichen Trendumkehr bis zum Ende des Jahrhunderts, wobei das Ausgangsniveau dann annähernd wieder erreicht wird. Die übrigen Realisierungen bewegen sich innerhalb eines Schwankungsbereiches zwischen den beiden beschriebenen Extrema. Die grundsätzlichen Charakteristika der einzelnen Klimaprojektionen, welche Abbildung 20 widerspiegelt bzw. die Trends die sich aus den beispielhaft aufgezeigten Grundwassergängen erkennen lassen, besitzen durchaus Allgemeingültigkeit für den überwiegenden Teil der Modellgebiete, natürlich in örtlich variierender Ausprägung. Ausgenommen sind Bereiche, in denen stabile Randbedingungen wie beispielsweise wasserwirtschaftlich gesteuerte Seen oder Flüsse wirken. In der Nähe derartiger Randbedingungen wird das Grundwasserniveau maßgeblich durch diese gesteuert bzw. stabilisiert, weshalb der klimatische Einfluss gering ist.

7.2.3 Finale Berechnung der Wasserhaushaltsgrößen für Säule B des Wasserhaushaltsportales (Stufe 3)

Im BAH wurden die mit dem Grundwassermodell berechneten monatlichen Grundwasserstände für jede Modellzelle in das Bodenwasserhaushaltsmodell eingespeist. Unter Nutzung dieser sich monatlich ändernden Grundwasserstände wurde für jede der Klima-Realisierungen der Gesamtzeitraum von 1961-2100 und für den Ist-Zustand der Zeitraum von 1961-2010 berechnet.

In jeder Berechnung wurden folgende Wasserhaushaltsgrößen als Monatssummen [mm/Monat] ermittelt:

- pi: korrigierter Niederschlag [mm/Monat]
- er: reale Verdunstung [mm/Monat]
- ro: Landoberflächenabfluss [mm/Monat]
- rh: hypodermischer Abfluss [mm/Monat]
- tkr: Trennkanalisationsbfluss [mm/Monat]
- mkr: Mischkanalisationsbfluss [mm/Monat]
- rdrain: Drainageabfluss [mm/Monat]
- rg1: schneller Grundwasserabfluss [mm/Monat]
- rg2: langsamer Grundwasserabfluss [mm/Monat]

Die einzelnen Wasserhaushaltsgrößen werden auf Teilgebietsbasis ermittelt und als Monatswerte über den gesamten Berechnungszeitraum übergeben. Da keine Angaben zu drainierten Flächen vorlagen, konnte ein Drainageabfluss nicht ausgewiesen werden. Dieser ist somit für alle Teileinzugsgebiete Null. Eine schnelle Grundwasserkomponente konnte für die Bergbauggebiete mangels entsprechender Angaben zur Geologie ebenfalls nicht ermittelt werden. Daher ist rg1 ebenfalls flächendeckend Null.

Für die Verwendung im Wasserhaushaltsportal werden folgende Wasserhaushaltsgrößen als mittlere Jahreswerte der zehn Realisierungen und des Ist-Zustands übergeben:

- pi: korrigierter Niederschlag [mm/a]
- er: reale Verdunstung [mm/a]
- rs: schnelle Abflusskomponente [mm/a]
- rg: Grundwasserabfluss: rg1 + rg2 [mm/a]
- rg1: schneller Grundwasserabfluss [mm/a]
- rg2: langsamer Grundwasserabfluss [mm/a]
- r: Gesamtabfluss [mm/a]

Die schnelle Abflusskomponente „rs“ setzt sich aus Landoberflächenabfluss, Trenn- und Mischkanalisationsabfluss, Drainageabfluss und hypodermischem Abfluss zusammen. Der Grundwasserabfluss „rg“ setzt sich aus schnellem und langsamem Grundwasserabfluss zusammen. Die schnelle Abflusskomponente „rs“ und der Grundwasserabfluss „rg“ ergeben zusammen den Gesamtabfluss „r“, das Restglied aus Niederschlag und Verdunstung. In Abbildung 21 sind die schnelle Abflusskomponente (links) und der Grundwasserabfluss (rechts) in ihrer räumlichen Differenzierung für den Ist-Zustand auf den Teilgebieten des Nord- und Südraums dargestellt. Die größten Werte von > 100 mm/a zeigt die schnelle Abflusskomponente an der Grenze zwischen Nordraum und Südraum. Hier treten im Stadtgebiet Leipzig hohen Kanalisationsabflüssen auf versiegelten Flächen auf. Auf Flächen mit geringerem Oberflächenabfluss zeigt sich eine erhöhte Grundwasserneubildung und damit ein erhöhter Grundwasserabfluss.

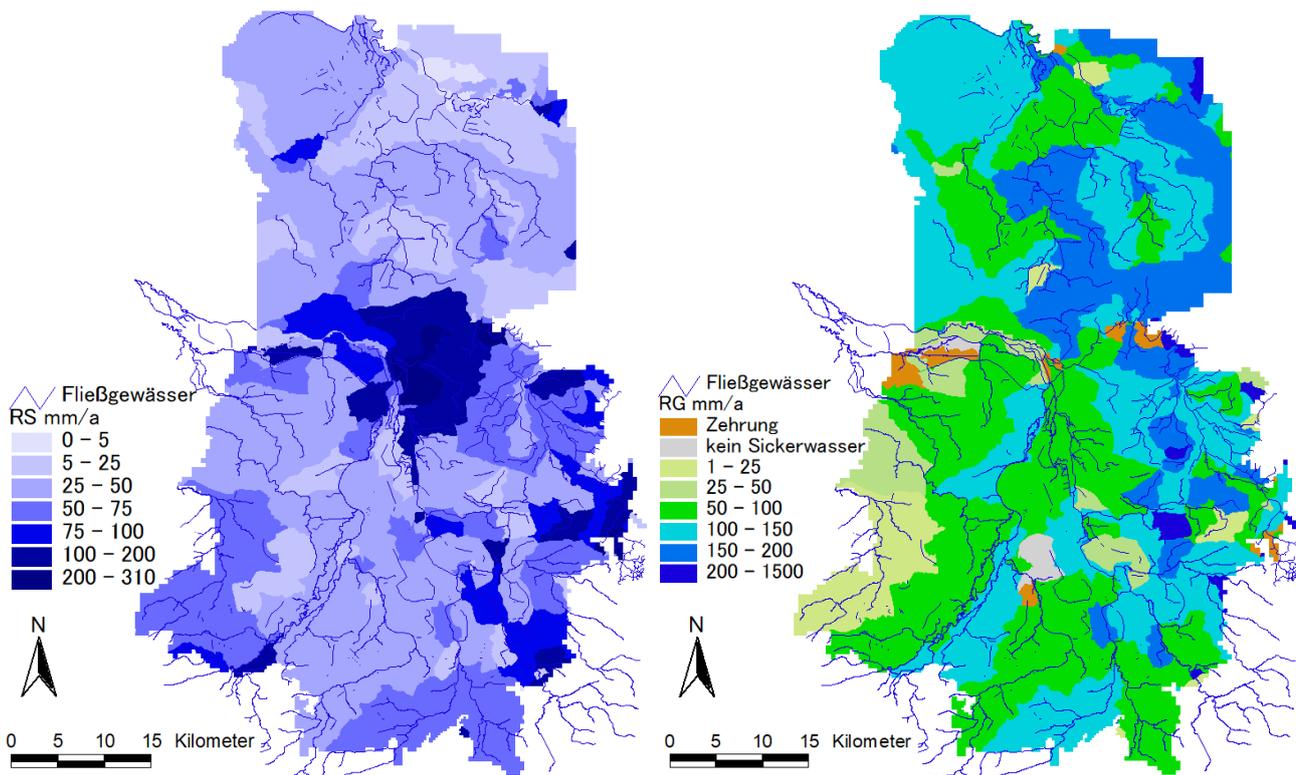


Abbildung 21: Schnelle Abflusskomponente (links) und Grundwasserabfluss (rechts) im Ist-Zustand (1961-2010) für den Nordraum und Südraum

Im Nordraum ist der Grundwasserabfluss im Durchschnitt etwas höher als im Südraum, wie sich auch an den mittleren Jahreswerten zeigt. In den Abbildung 22 Abbildung 23 sind die mittleren Grundwasserabflüsse für die 10

Realisierungen dargestellt. Die Differenzen zwischen den Szenarien beruhen sowohl auf den Unterschieden in den meteorologischen Eingangsdaten (Realisierungen 00-99), als auch auf den Unterschieden in den monatlichen Grundwasserständen. Der mittlere Grundwasserabfluss schwankt für den Gesamtzeitraum zwischen 90 und 110 mm/a für den Nordraum (vgl. Abbildung 22) und zwischen 30 und 60 mm/a für den Südraum (vgl. Abbildung 23). Vergleicht man das Mittel des Gesamtzeitraums von 1961-2100 (blaue Balken) mit dem Mittel des Ist-Zeitraumes 1961-2010 (rote Balken) so fällt auf, dass die Grundwasserneubildungen für allen zehn Realisierungen um 10 – 50 mm/a niedriger liegen als für den Ist-Zeitraum 1961-2010. In Nordraum liegt das Mittel der Grundwasserneubildung in den ersten 50 Jahre mit 110-130 mm/a um 10-25 mm/a höher als für den Gesamtzeitraum. Im Südraum liegt die Grundwasserneubildung in den ersten 50 Jahren nur bei 70-90 mm/a und damit 25-45 mm/a höher als für den Gesamtzeitraum. Das zeigt, dass in allen zehn Realisierungen mit einer Reduzierung der Grundwasserneubildung zu rechnen ist.

In beiden Modellgebieten zeigt die Realisierung 55 die größten Differenzen zwischen Ist- und Gesamtzeitraum. Diese Realisierung charakterisiert also die größten Veränderungen über den zeitlichen Verlauf. Die Realisierung 44 zeigt dagegen die geringen Unterschiede zwischen dem ersten 50 Jahre und dem Gesamtmittel, d.h. in diesem werden die geringsten Änderungen des Grundwasserabflusses über den zeitlichen Verlauf abgebildet.

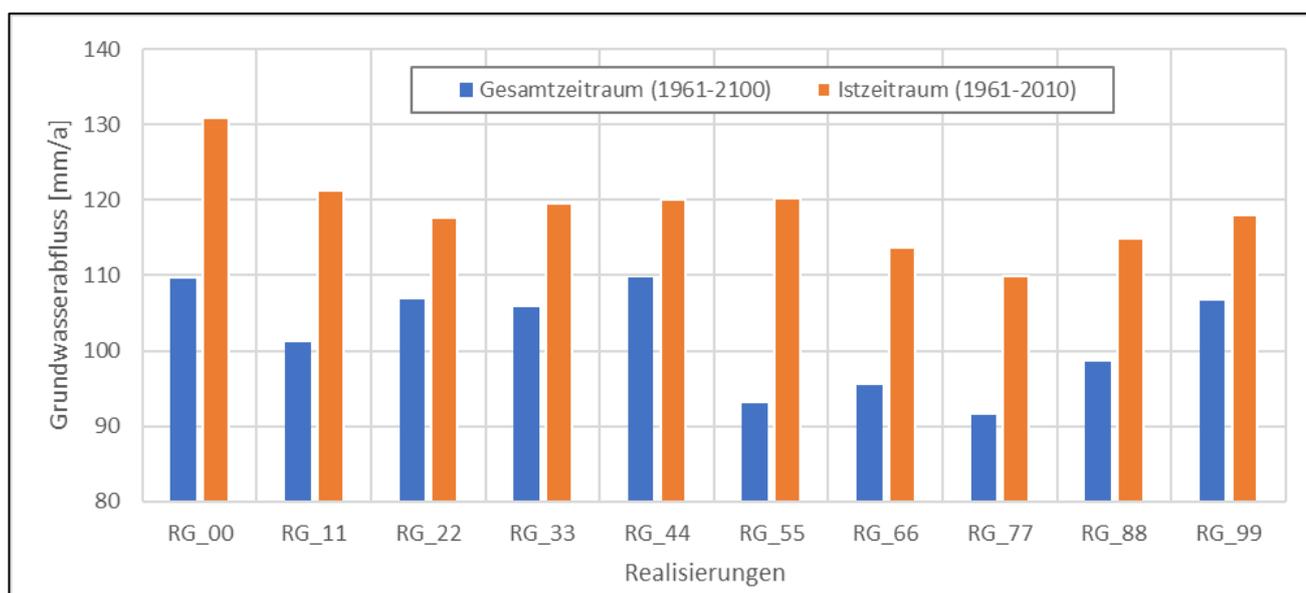


Abbildung 22: Mittlere Grundwasserneubildung für die zehn Realisierungen für den Gesamtzeitraum und den aktuellen Zeitraum für den Nordraum

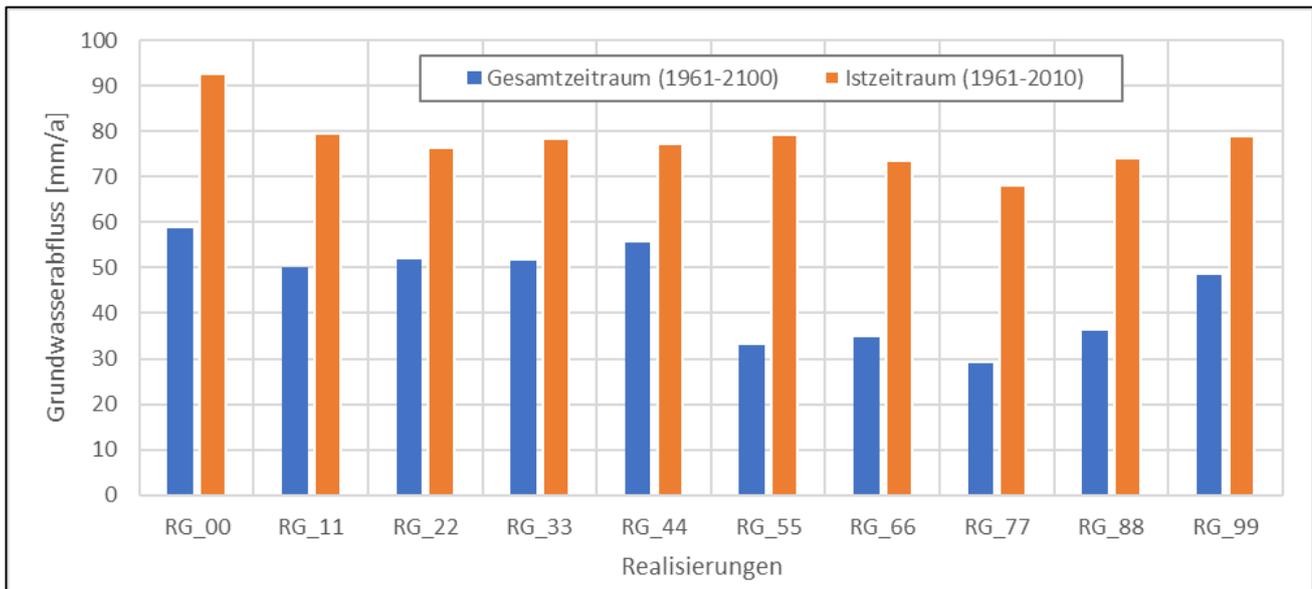


Abbildung 23: Mittlere Grundwasserneubildung für die zehn Realisierungen für den Gesamtzeitraum und den aktuellen Zeitraum für den Südraum

Für alle Realisierungen sind die Differenzen zwischen dem Ist-Zeitraum und dem Gesamtzeitraum im Südraum höher als im Nordraum, hier ist also gegenüber dem Nordraum zusätzlich zu der ohnehin schon geringeren Grundwasserneubildung noch mit einer stärkeren Reduzierung der Grundwasserneubildung in Zukunft zu rechnen. Am Beispiel des Leipziger Nordraums sind in Abbildung 24 im Gesamtzeitraum 1961-2100 die 20-Jahresmittel der Grundwasserneubildung für die 10 Klimaprojektionen dargestellt. Diese verdeutlichen die Variabilität der Grundwasserneubildung innerhalb der einzelnen Klimaprojektionen.

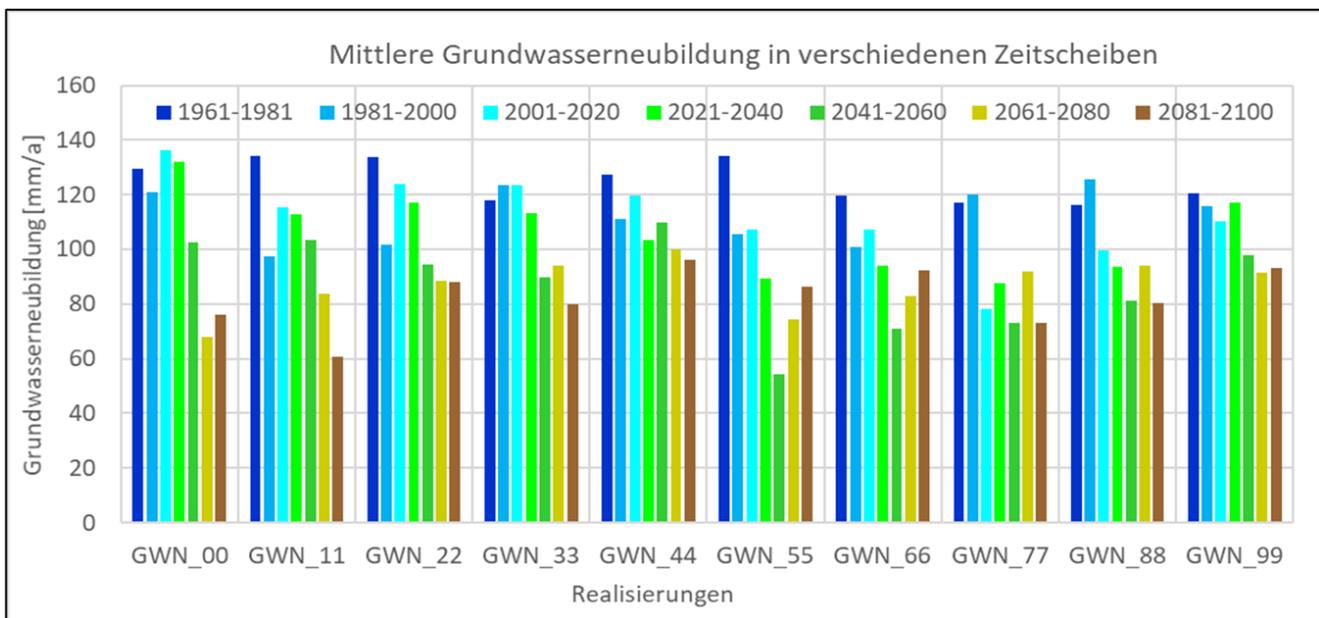


Abbildung 24: Mittlere Grundwasserneubildung für verschiedene Zeitscheiben der zehn Realisierungen, beispielhaft für den Nordraum-Leipzig

Die Reduzierung des Grundwasserabflusses über den Betrachtungszeitraum wird auch anhand der Abbildung 25 Abbildung 26 deutlich. In diesen ist der mittlere jährliche Grundwasserabfluss der zehn Realisierungen und deren

Mittelwert (rote Linie) dargestellt. Vergleicht man die beiden Ganglinien des Mittelwertes so ist die Abnahme des Grundwasserabflusses über den betrachteten Zeitraum im Südraum deutlich stärker als im Nordraum. Es ist also hier zukünftig mit einer angespannteren Wasserhaushaltssituation zu rechnen.

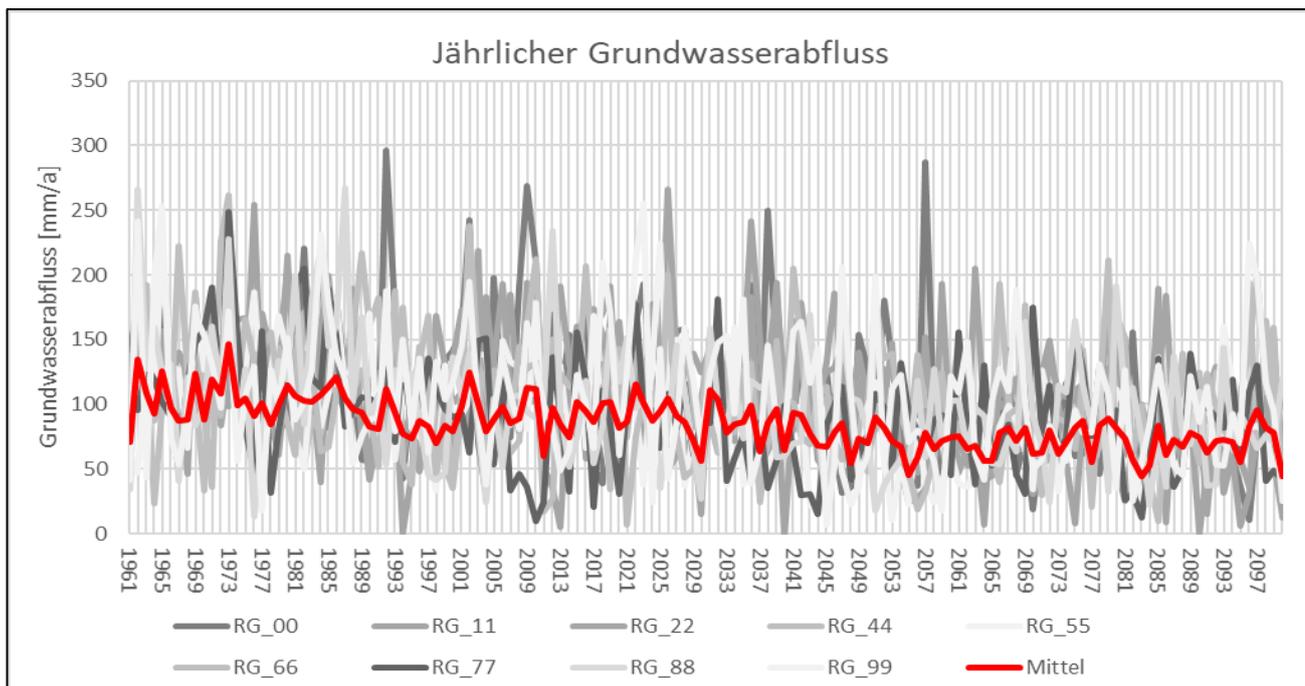


Abbildung 25: Jährlicher Grundwasserabfluss der zehn Realisierungen und deren Mittelwert im Nordraum

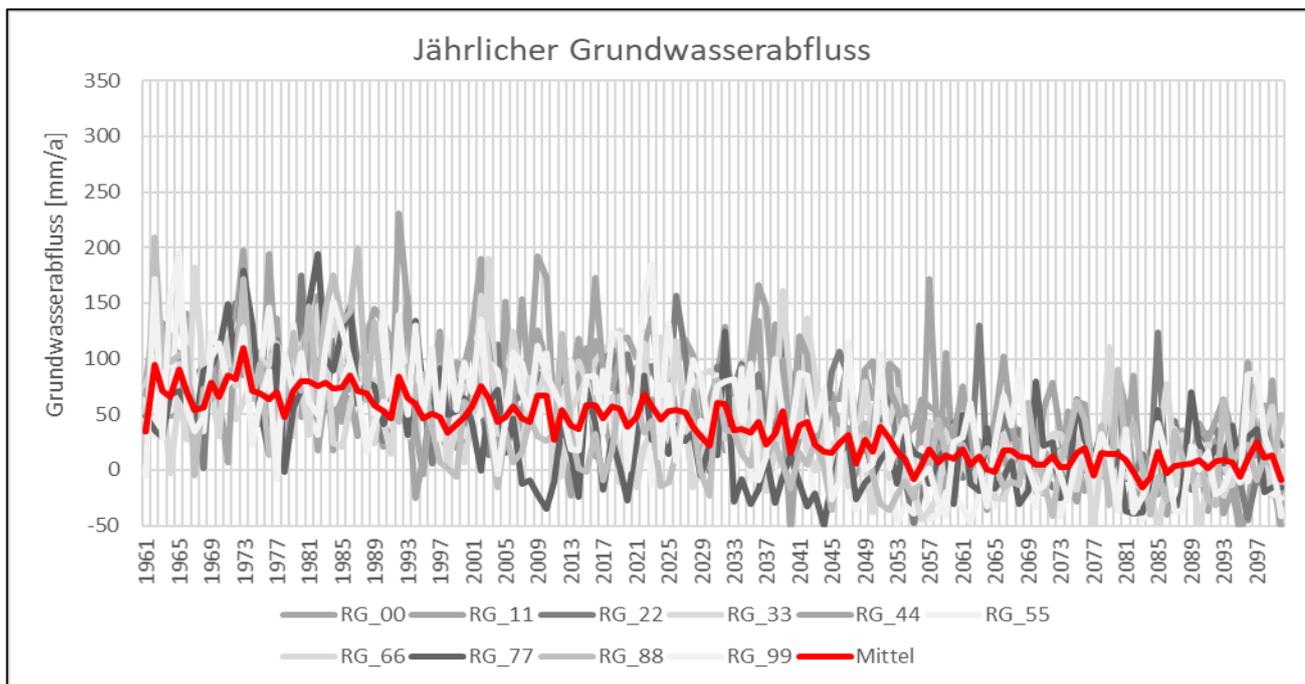


Abbildung 26: Jährlicher Grundwasserabfluss der zehn Realisierungen und deren Mittelwert im Südraum

Die zehn Realisierungen zeigen für beide Modellgebiete recht große Abweichungen für die Einzeljahre und es sind keine gemeinsamen Trocken- oder Feuchtperioden zu erkennen.

Im Mittel gleichen sich die Unterschiede der Einzeljahre aber wieder aus. Betrachtet man in den Abbildung 27 Abbildung 28 die langjährigen Monatsmittel des Grundwasserabflusses so liegen die Ergebnisse der zehn Realisierungen ziemlich nah beieinander. Die Abweichungen beschränken sich auf etwa 5 mm/Monat. Ebenfalls ist deutlich, dass es keine Realisierungen gibt, die besonders trockene oder feuchte Verhältnisse wiedergibt, da keine der Linien durchgängig über oder unter den anderen liegt.

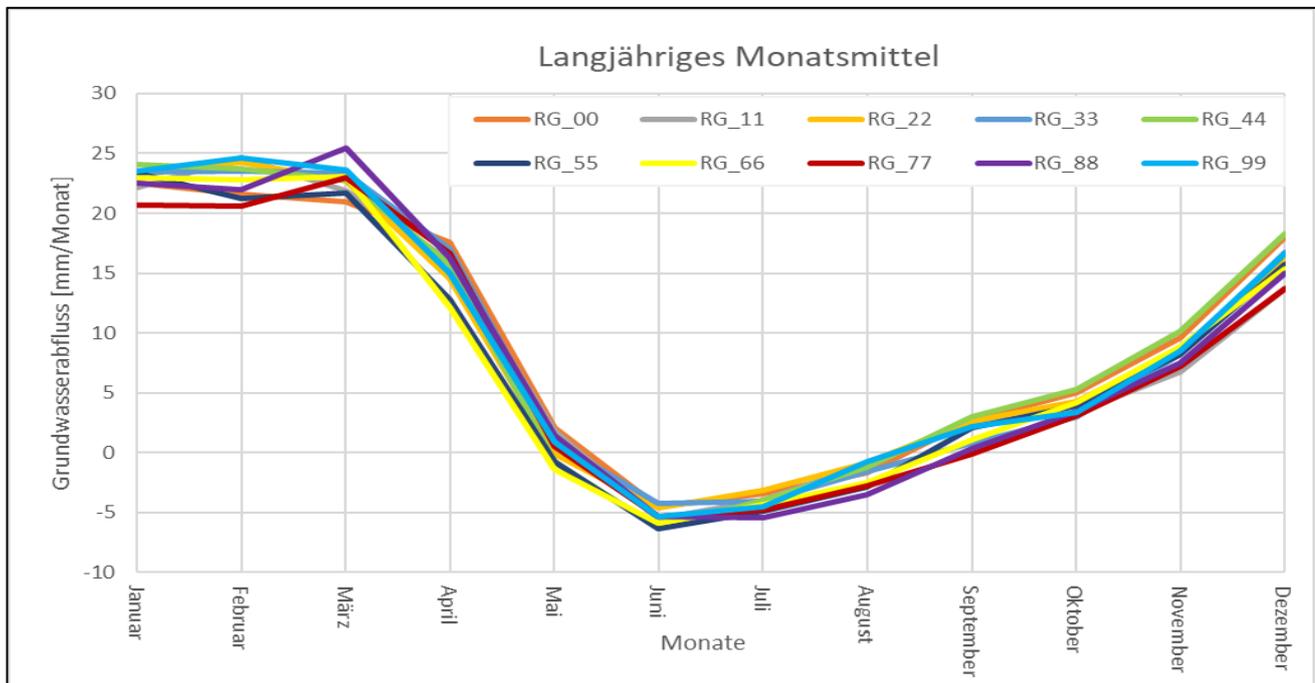


Abbildung 27: Langjährige Monatsmittel für die zehn Realisierungen für den Nordraum

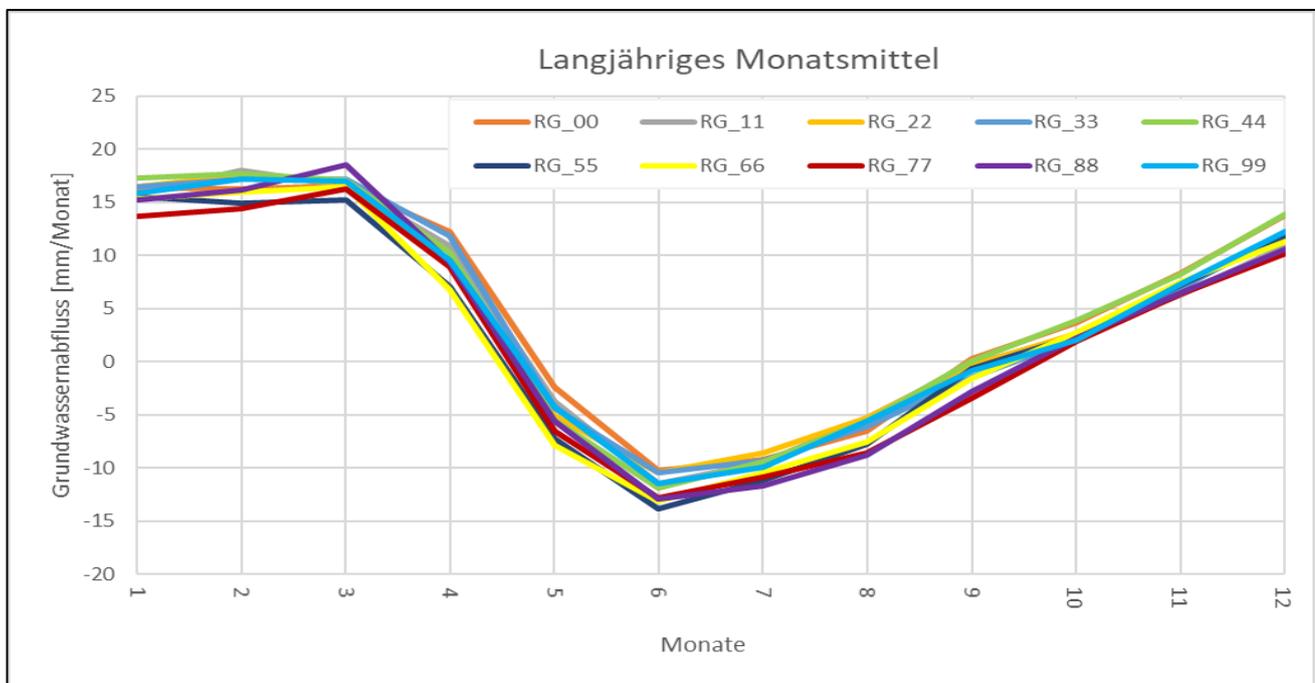


Abbildung 28: Langjährige Monatsmittel für die zehn Realisierungen für den Südraum

Deutlich zu erkennen sind die Zehrungen in den Sommermonaten (Mai bis August) an den negativen Grundwasserabflüssen. Im Südraum sind diese Zehrungen mit bis zu 15 mm/Monat noch etwas stärker als im Nordraum. Auch hohe Grundwasserabflüsse in den Wintermonaten sind im Südraum mit 15-20 mm/Monat geringer als im Nordraum mit 20-25 mm/Monat.

7.3 Überprüfung der Passgenauigkeit der Ergebnisse im Überlappungsbereich

Die beiden Modelle für die ehemaligen Bergbaubereiche und die bislang von der TU-Dresden für das Wasserhaushaltsportal bearbeiteten Modelle überschneiden sich in einigen Gebieten. Für den Überlappungsbereich liegen sowohl Ergebnisse aus dem Wasserhaushaltsportal als auch für die aktuell bearbeiteten ehemaligen Bergbaugebiete vor, die auf ihre Passgenauigkeit zueinander überprüft werden sollen. Etliche Gebiete im Überlappungsbereich können nicht direkt miteinander verglichen werden, da sich ihre Einzugsgebietsausdehnung aufgrund der unterschiedlichen Modellgrenzen unterscheidet. Im Bereich der Weißen Elstern (Parthe Zufluss) sind 10 Teileinzugsgebiete ausgewählt worden, deren räumliche Abgrenzung in beiden Modellen identisch ist, so dass die Ergebnisse verglichen werden können (vgl. Abbildung 29).

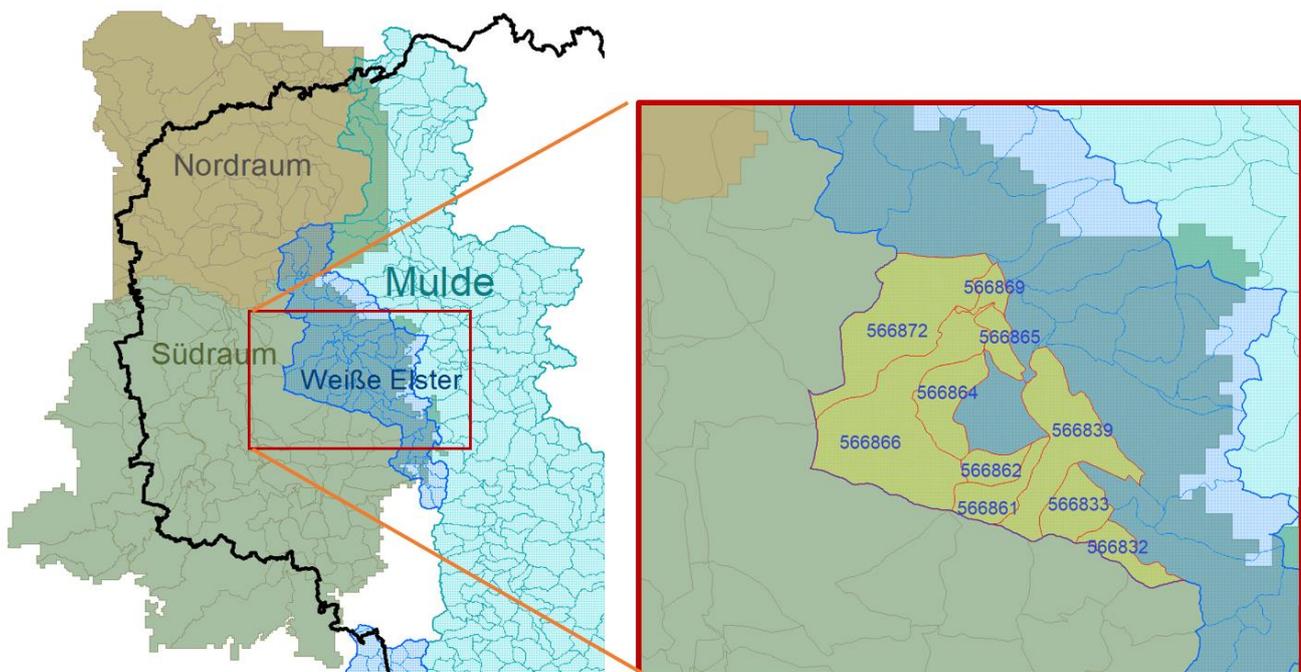


Abbildung 29: Untersuchte Teilgebiete im Überlappungsbereich

Hierbei ist zu beachten, dass die Definition der Ergebnisgrößen für den schnellen Abfluss „rs“ und den Grundwasserabfluss „rg“ theoretisch in beiden Modellen gleich sind, sich praktisch aber unterscheiden. Während in den Modellen für das Wasserhaushaltsportal ein Drainageabfluss von der Grundwasserabflusskomponente abgetrennt wurde und der schnellen Abflusskomponente zugeschlagen wurde, war eine Ausweisung des Drainageabflusses in den KLIWES-Leipzig Modellen aufgrund der mangelnden Datengrundlagen nicht möglich. Für einen Vergleich der Ergebnisse kann also nicht einfach „rg“ herangezogen werden, sondern es musste für die Ergebnisse des Wasserhaushaltsportals das Sickerwasser mit dem Drainageabfluss addiert werden.

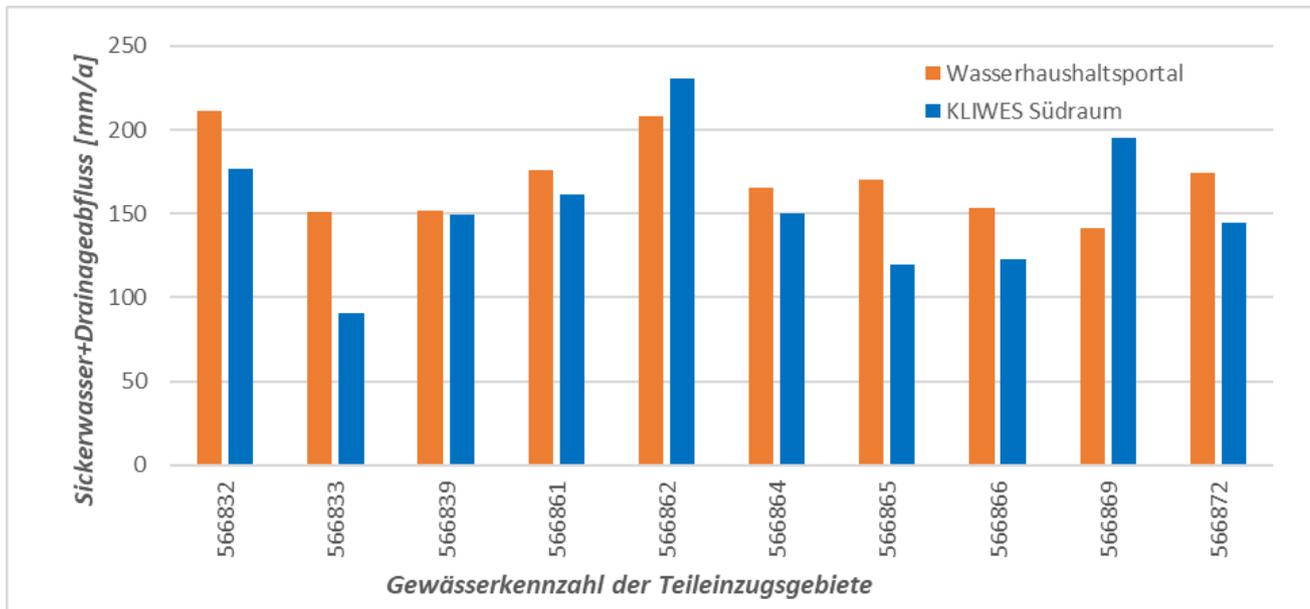


Abbildung 30: Vergleich der Ergebnisse im Überlappungsbereich

Für die betrachteten Teileinzugsgebiete liegen die Ergebnisse in derselben Größenordnung. Teils werden die Ergebnisse des Wasserhaushaltsportals über-, teils unterschätzt. Die Abweichungen liegen in vier Gebieten bei weniger als 10%, in fünf Gebieten bei 10-30% und in einem Gebiet (GWK 566833) über 30% (vgl. Abbildung 30). Die Unterschiede sind auf verschiedene Ursachen zurückzuführen: Erstens unterscheiden sich die Eingangsdaten wie Landnutzung, Boden und Flurabstände in ihrer Klassifizierung und Parametrisierung voneinander und zweitens entstammen die Ergebnisse einmal einer ungekoppelten Berechnung (Wasserhaushaltsportal) und einmal einer gekoppelten Modellierung (aktuelle Bearbeitung). Bei der ungekoppelten Modellierung kann nur mit mittleren Grundwasserflurabständen gerechnet werden, oder aber mit mittleren Jahrgängen. Das führt oft zu einer Überschätzung der Verdunstung, weil ein Absinken der Grundwasserstände im Sommer nicht oder nur im Mittel erfasst wird und nicht als Folge extremer Witterungserscheinungen oder der Klimaänderungen betrachtet werden kann. Im gekoppelten Modell werden dagegen die Wechselwirkungen zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser in ihrer zeitlichen Dynamik berücksichtigt. Es werden sowohl innerjährliche Zyklen als auch langfristige Grundwasserwiederanstiege einbezogen. Dabei wird sogar die temporäre Ausprägung von Wasserflächen (Grundwasserblänken) abgebildet. Die Differenzen sind teilweise beträchtlich, konzentrieren sich aber wie zu erwarten auf die grundwassernahen Bereiche. Die Problematik beschreibt die folgende Abbildung 31.

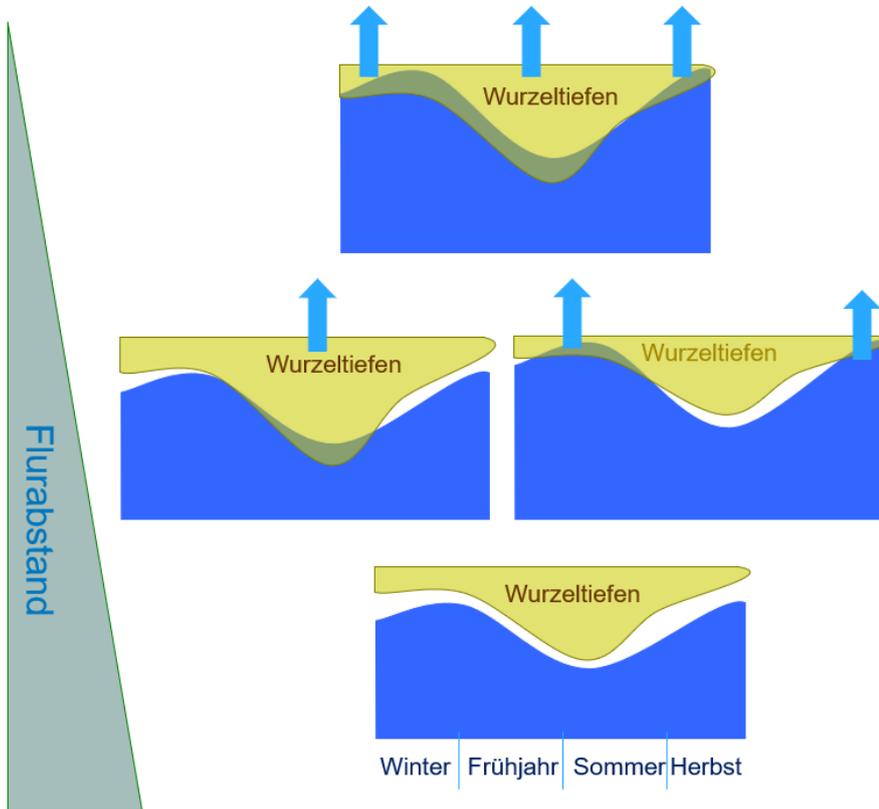


Abbildung 31: Unterschiedliche Interaktion zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser in gekoppeltem und ungekoppeltem Modell

8 Integration der Berechnungsergebnisse in das Wasserhaushaltsportal

Die Bereitstellung der WHH-Ergebnisse für den Nutzer sollte über die schon bestehende Plattform des Wasserhaushaltsportals Sachsen (Säule B) erfolgen. Das Portal sollte hierfür um eine siebte Modellregion, den Leipziger Kohleraum, ergänzt werden.

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass sich im Rahmen zweier Projekte, „KliWES – Fortsetzung“ (Hauffe et al., 2019) und „KliWES – Kohle“, Überschneidungen in der Bearbeitung des WHH-Portals Säule B ergaben. So waren einerseits eine Datenergänzung und andererseits eine Weiterentwicklung des WHH-Portals an der Professur für Hydrologie (TU Dresden) vorgesehen. Da beides nicht unabhängig voneinander durchgeführt werden konnte, erfolgte die Umsetzung einer ganzheitlichen Lösung. Die nachfolgend beschriebenen Arbeiten beschränken sich damit nicht ausschließlich auf den Projektabschnitt „KliWES – Kohle“.

Die Integration der WHH-Ergebnisse aus dem KliWES-Kohle-Projekt in die alte Version des WHH-Portals (Stand Januar 2019) wäre aus zwei Gründen nachteilig gewesen. Zum einen wäre es zu einer weiteren Erhöhung der Dateninhalte gekommen, welche zu einer Verlangsamung der Reaktionszeit der Webseite geführt hätte. Das ursprüngliche Konzept des Portals sah keine flexibel zu erweiternde Datenbasis vor und ist daher technisch nicht darauf ausgelegt. Da das Portal schon zuvor um verschiedene Datensätze erweitert wurde, hätte sich die Zugriffsgeschwindigkeit ggf. bis zu einem inakzeptablen Zustand für den Nutzer verringert. Zum anderen erwies sich die

ursprünglich angestrebte Integration des KliWES-Kohle-Raums als siebtes „Flusseinzugsgebiet“ als wenig praktikabel, da dieses Gebiet in der Startansicht mit der sachsenweiten Darstellung der Wasserhaushaltskomponente Niederschlag gefehlt und somit für den Nutzer keine Sichtbarkeit erreichen hätte.

Aufgrund dessen erfolgte ein grundlegender Umbau der Säule B hinsichtlich Inhalt und Darstellung der Ergebnisse aus den Projektteilen KliWES – Fortsetzung und KliWES – Kohle im WHH-Portal Sachsen. Die flusseinzugsgebietsbezogene Darstellung wurde aufgehoben und durch eine sachsenweite Karte ersetzt. Hierfür war die Zusammenführung der Kartengrundlagen aus den Projekten KliWES – Fortsetzung und KliWES – Kohle erforderlich. Durch den Übergang von einer flussgebietsbezogenen zu einer sachsenweiten Darstellung der verschiedenen WHH-Größen ergab sich eine Reduktion der Dateninhalte. Außerdem bietet sie dem Nutzer nun die Möglichkeit, räumliche Verteilungen und Strukturen besser erkennen zu können. Durch die Darstellung aller Ergebnisse in einer Karte werden nun auch im tabellarischen Bereich alle Teileinzugsgebiete aufgelistet. Zur Orientierung kann der Nutzer neben der bisherigen Funktion des Sortierens jetzt auch nach Teileinzugsgebietsnamen suchen. Dies geschieht über eine Filterfunktion, die alle Teileinzugsgebiete auflistet, welche den Suchbegriff enthalten.

Die durchgeführten Umbaumaßnahmen am WHH-Portal der Säule B sind in den folgenden Punkten nochmal zusammengefasst:

- Integration der Teileinzugsgebiete für den KliWES-Kohleraum in das WHH-Portal
- Sachsenweite Kartendarstellung der WHH-Größen inkl. der Ergebnisse für den KliWES-Kohleraum
- Implementierung einer Suchfunktion im Tabellenbereich (Suchkriterium: Name der Teileinzugsgebiete)
- Integration einer Kartendarstellung für die Komponente Grundwasserneubildung für den KliWES-Kohleraum
- Einbinden der äußeren Grenze des KliWES-Kohleraums als eigenständigen Datenlayer in die Kartendarstellung
- Anpassung der Erläuterungstexte
- Integration eines weiteren Hinweisfensters vor Anzeigen der Startseite, zur Erläuterung der verschiedenen Ergebnisräume

Die aktuelle Ansicht des Wasserhaushaltsportals Säule B ist in Abbildung 32 zu sehen.

Für die Erweiterung des WHH-Portals um den Leipziger Kohleraum war die Übergabe der Ergebnisdateien von BAH an TUD erforderlich. Bereitgestellt wurden Ergebnisdaten für den Ist-Zustand und zehn WEREX-Klimaprojektionen. Diese Textdateien beinhalteten für jedes Teileinzugsgebiet folgende Wasserhaushaltsgrößen in monatlicher Auflösung:

- Niederschlag,
- potentielle sowie reale Verdunstung,
- Landoberflächenabfluss,
- hypodermischer Abfluss,
- Drainageabfluss,
- Abfluss in Misch- bzw. Trennkanalisation sowie
- schneller und langsamer Grundwasserabfluss.

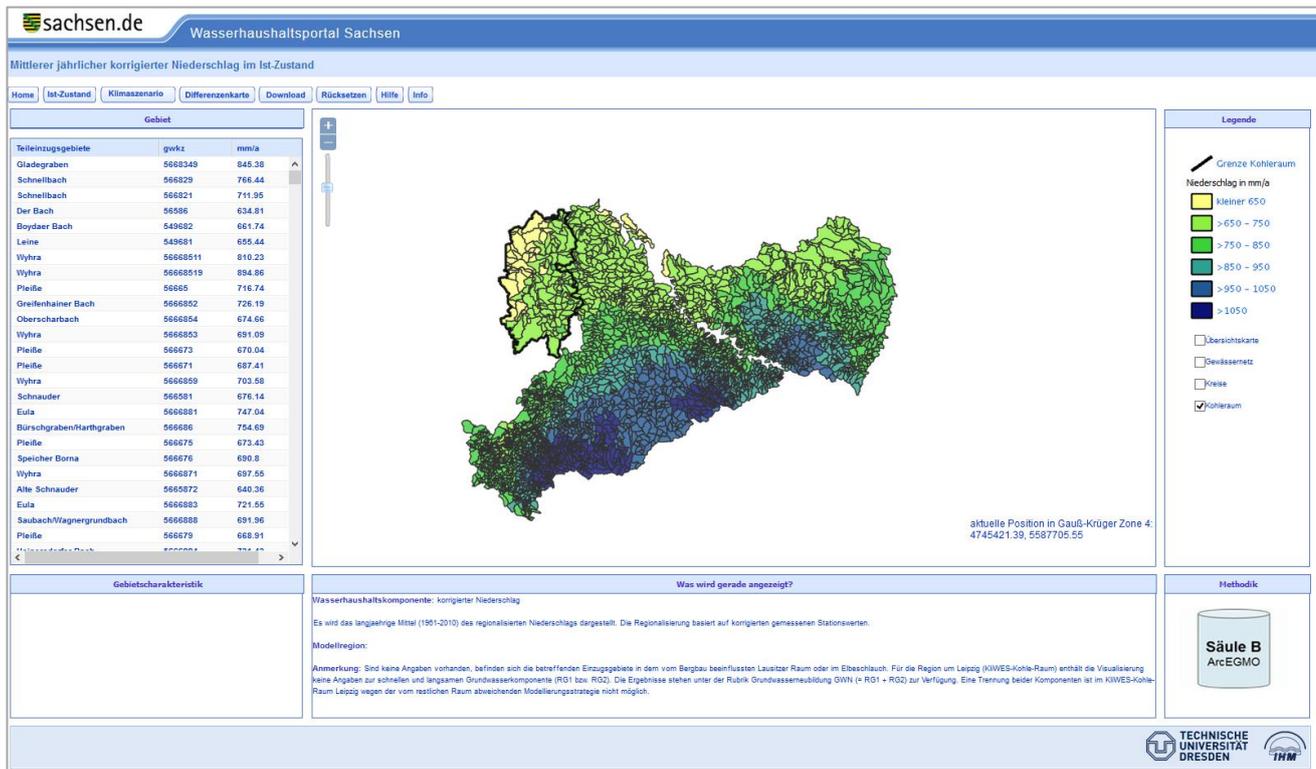


Abbildung 32: Aktuelle Ansicht der Startseite des Wasserhaushaltsportals Sachsen

Die für den Internetauftritt erforderliche Größe Gesamtabfluss lässt sich aus den bereitgestellten Teilgrößen berechnen. Zusätzlich erfolgte die Übergabe zweier Teileinzugsgebietsshapes, jeweils eines für den Nord- und Südraum. Die bereitgestellten Ergebnisse (Shapefiles und strukturierte Textdateien) aus dem KIWES-Kohleraum wurden in die Datenbank integriert und als Datengrundlage für die tabellarische und die Kartendarstellung aufbereitet. Hierbei war eine Anpassung der ursprünglichen IDs der Teileinzugsgebietsflächen notwendig, um die Datenbasis in der Datenbank konsistent zu halten. Folgende Schritte der Aufbereitung wurden weiterhin vorgenommen:

- Ergänzung der Datenreihen um den zeitlichen Bezug des hydrologischen Jahres
- Bearbeitung der Daten für den Downloadbereich auf den statischen Seiten
 - Attributdateien aufbereiten
 - Umprojizieren des Shapefiles in die Projektion ETRS89/UTM33N

Die Shapefiles beinhalten sowohl geometrische Daten als auch bereits berechnete mittlere Jahressummen der Wasserhaushaltsparameter über den Gesamtzeitraum. Um als Geodatenbasis für das Portal zur Verfügung zu stehen, wurden sie in die PostgreSQL/PostGIS Datenbank importiert. Bei der Darstellung erfolgte der eingangs beschriebene Paradigmenwechsel weg von einer flusseinzugsgebietsbezogenen Auswahl und Darstellung hin zu einer sachsenweiten Darstellung ohne Gebietsauswahl. Hierfür waren im Überlappungsbereich der zwei Modellregionen (Nord- und Südraum) Anpassungen der Geometrien vorzunehmen, um die beiden Shapefiles zu einer Karte zusammenzuführen. Ein weiterer Überlappungsbereich von Teileinzugsgebieten trat zwischen den Bearbeitungsräumen der Projekte KIWES (Schwarze et al., 2014 und 2016) und KIWES – Kohle auf, welcher für die Darstellung in einer sachsenweiten Karte angepasst werden musste. Für sich überlagernde Teileinzugsgebiete wurde nach zwei Kriterien festgelegt, aus welchem Teilprojekt die jeweiligen Ergebnisse übernommen werden:

- Für ein vollständig vorhandenes Teileinzugsgebiet aus dem Projekt KIWES – Kohle wurden die dazugehörigen WHH-Ergebnisse in das WHH-Portal Säule B übernommen.

- Für ein nur in Teilen vorliegendes Teileinzugsgebiet aus dem Projekt KliWES – Kohle wurde nach dem Majoritätsprinzip entschieden, ob die WHH-Ergebnisse aus dem Projekt KliWES oder dem Projekt KliWES – Kohle in die Ergebnisdarstellung im WHH-Portal übergehen.

Auf Grund von Unterschieden in den beiden Modellansätzen liegen nicht alle Wasserhaushaltsgrößen flächendeckend vor bzw. müssen nach der Konvention zur Bestimmung der Grundwasserneubildung durch den Nutzer ermittelt werden. Liegen keine WHH-Ergebnisse vor, werden diese Flächen in der Karte schräg schraffiert dargestellt und in der tabellarischen Anzeige mit dem Fehlwert „-99999“ ausgegeben. Der Nutzer wird bei der Auswahl einer entsprechenden Wasserhaushaltsgröße durch ein eingblendetes Hinweisfeld darauf aufmerksam gemacht.

9 Konzeption zur Bereitstellung von Modellen für eigenständige Berechnungen für das Expertensystem der Säule C des Wasserhaushaltsportals

Die Säule C des WHH-Portals dient der individuellen Berechnung von Wasserhaushaltsergebnissen durch Auswahl von bestimmten Gebietseigenschaften und Klimaszenarien. Als Konzept zur Einbindung des Leipziger Kohlegebietes wäre eine offline-Lösung denkbar, welche eine Modellübergabe an die TUD nicht erforderlich macht. Für die Integration der Modelle des Leipziger Kohlegebietes in die Säule C müssten folgende Daten durch das BAH bzw. das IBGW zur Verfügung gestellt werden:

- Shape-file mit der Hydrotopstruktur für die Darstellung im Internet
- Attribute der Hydrotope wie z.B. die Landnutzungsarten oder das Vorhandensein von Drainagen

Bei Bereitstellung dieser Daten an die TUD kann nach dem Vorbild der anderen Flusseinzugsgebiete das Expertensystem erweitert werden. Ein Abgreifen der vom Nutzer gewünschten Modelleinstellungen und die Übermittlung dieser Informationen per Email an das BAH bzw. IBGW können vonseiten der TUD realisiert werden. Die Berechnung der WHH-Ergebnisse erfolgt dann durch BAH bzw. IBGW. Die fertigen Daten können dem Nutzer anschließend entweder direkt durch BAH/IBGW zugesendet werden oder es erfolgt eine Übermittlung der Ergebnisdateien an die TUD, welche sie dann als Downloadlink zur Verfügung stellt und den Nutzer darüber per Email informiert.

10 Literaturverzeichnis

- AD-HOC Arbeitsgruppe Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Staatliche Geologische Dienste Bundesrepublik Deutschland, 5. Auflage. – Hannover
- AquEnTec GmbH, BAH & IBGW GmbH (2011): Berechnung des Wasserhaushalts im Einzugsgebiet des Lobers und Ermittlung von Bemessungswerten für verschiedene Abflusssituationen für den Altlauf des Lobers. - Berlin, Chemnitz, Leipzig
- Büro für Angewandte Hydrologie (2018): Beschreibung von ArcEgmo, Offizielle Homepage des Modellierungssystems ArcEGMO. Von <http://www.doku.arcegmo.de/> abgerufen
- Büro für Angewandte Hydrologie & Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH (2005): Aufbau eines Bodenwasserhaushaltsmodells für den Sanierungsbereich Westsachsen/Thüringen. Teil 1: Erfassung notwendiger Daten für das BWHM-Nordraum Westsachsen & Teil 2: Berechnung des Bodenwasserhaushalts mit ArcEGMO. - Berlin, Leipzig
- Büro für Angewandte Hydrologie & Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH (2005): Aufbau eines Bodenwasserhaushaltsmodells für den Raum Goitsche/Bitterfeld. Teil 1: Erfassung notwendiger Daten & Teil 2: Berechnung des Bodenwasserhaushalts mit ArcEGMO. - Berlin, Leipzig
- Büro für Angewandte Hydrologie & Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH (2005): Aufbau eines Bodenwasserhaushaltsmodells für den Sanierungsbereich Westsachsen/Thüringen – Südraum Leipzig. - Berlin, Leipzig
- Büro für Angewandte Hydrologie & Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH (2006): Aufbau eines Bodenwasserhaushaltsmodells für den Bereich des Tagebaus „Vereinigtes Schleenhain“. – Berlin, Leipzig
- Büro für Angewandte Hydrologie & HPC (2008): Aufbau eines Bodenwasserhaushaltsmodells für das Gebiet Merseburg-Ost. – Berlin, Merseburg
- Büro für Angewandte Hydrologie (2004): Aufbau eines NA-Modells für die renaturierte Bergbaufolgelandschaft des ehemaligen Tagebaues Delitzsch-Südwest und Breitenfeld. – Berlin
- GLUGLA, G. (1969): Berechnungsverfahren zur Ermittlung des aktuellen Wassergehaltes und Gravitationswasserabflusses im Boden. In: Albrecht-Thaer-Archiv 13, S. 371-376
- HAUFFE, C., WAGNER, M., PAHNER, S., PFÜTZNER, B., KLÖCKING, B., MEY, S., SCHWARZE, R., WÖHLING, T., RÖHM, P., REHSE, C. (2019): Fortschreibung KliWES - Säulen A, B und C: Überprüfung und Anpassung von Methoden und Verfahren in Verbindung mit deren Anwendung in repräsentativ ausgewählten sächsischen Modelltesteinzugsgebieten. (Hrsg.) LfULG - Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen, unveröffentlichter Bericht.
- Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH (2018): PCGEOFIM-Anwenderdokumentation. Von <http://www.ibgw-leipzig.de/index.php/haupt-pcgeofim/dokumentation> abgerufen
- Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH (2016): Präzisierung des Hydrogeologischen Großraummodells Nord für die Bereiche Goitsche/Rösa, Köckern und Delitzsch-SW/Breitenfeld. Abschlussbericht - unveröffentlicht. - Leipzig
- Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH (2017): Präzisierung des Hydrogeologischen Großraummodells Süd. Abschlussbericht - unveröffentlicht. - Leipzig
- Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH (2012): „Zusammenführung bestehender Bodenwasserhaushaltsmodelle für den Südraum von Leipzig zu einem Gesamtbodenwasserhaushaltsmodell“. Abschlussbericht - unveröffentlicht. - Leipzig
- Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH (2010): Erweiterung des Bodenwasserhaushaltsmodells für den Südraum Leipzig um das Gebiet des Tagebaus Profen – westlich der Weißen Elster. - Leipzig

- KLÖCKING, B. (2009): Das ökohydrologische PSCN-Modul innerhalb des Flussgebietsmodells ArcEGMO. Theoretische Modellbeschreibung. - München
- KOITZSCH, R. (1977): Schätzung der Bodenfeuchte aus meteorologischen Daten, Boden- und Pflanzenparametern mit einem Mehrschichtenmodell. Zeitschrift für Meteorologie 27/5, S. 302-306.
- SCHWARZE, R., HAUFFE, C., BALDY, A., WINKLER, P., DRÖGE, W., WAGNER, M., RÖHM, P. (2014): KliWES Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen – Wasserhaushaltsberechnungen für den Ist-Zustand und verschiedene Klima- bzw. Landnutzungsszenarien. (Hrsg.) LfULG - Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen, Schriftenreihe, Heft 32/2014.
- SCHWARZE, R., GUROVA, A., RÖHM, P., HAUFFE, C., BALDY, A., WINKLER, P., MÜLLER, R., DRÖGE, W., WAGNER, M., KUHN, K., FRIESE, H., LÜNICH, K. (2016): Wasserhaushalt im Wandel von Klima und Landnutzung. (Hrsg.) LfULG - Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Sachsen, Schriftenreihe, Heft 8/2016.

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.lfulg.sachsen.de
Das LfULG ist eine nachgeordnete Behörde des
Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft.

Redaktion:

Udo Mellentin
Abteilung 4/ Referat 43
LfULG
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden
Telefon: +49 351 8928-4309
Telefax: +49 351 8928-4099
E-Mail: udo.mellentin@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

12.11.2019

Hinweis:

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

Verteilerhinweis

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

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

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

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