

Kopplung von Oberflächenwassermodellen mit Grundwassermodellen - 2 Praxisbeispiele (aus Mitteldeutschland)

Grundwasserströmungsmodellierung
„Alles eine Frage des Maßstabs“

Hannover
08.06.2023



Prof. Dr.-Ing. Holger Mansel
(öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger
für Montanhydrologie)

Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH
Nonnenstraße 9
04229 Leipzig
(0341) 22561-0
info@ibgw-leipzig.de



Problem Wasserhaushalt in der wasserwirtschaftlichen Langfristplanung

In der Regel ist der geforderte Prognosezeitraum für Planungen > 30 Jahre

→ Blick in die Zukunft unter Annahmen und damit erheblichen Risiken
(in letzter Zeit auch unter der Forderung der Beachtung des Klimawandels)

These:

**Modellgestützte Aussagen unter Berücksichtigung aller
Komponenten des Wasserhaushaltes notwendig?!**



Institut für Wasserbau und Siedlungswasserwirtschaft GmbH

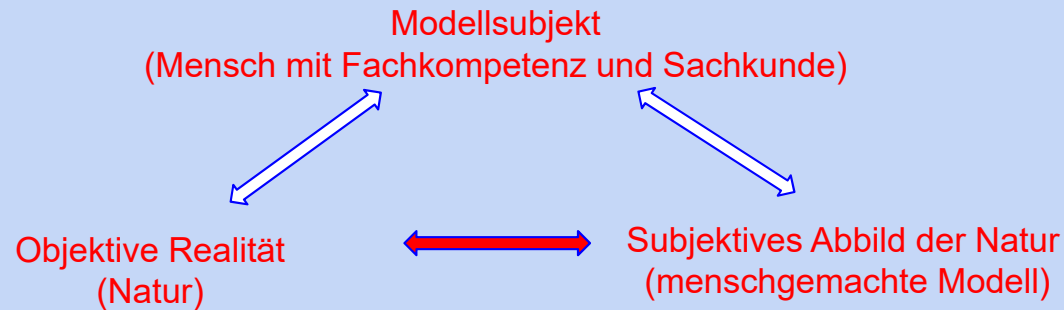


Büro für Angewandte Hydrologie GmbH



Was sind Modelle ?

Modelle sind durch den Menschen nachempfundene Abbilder der Natur.



Was sind Grundwasser-Modelle ?

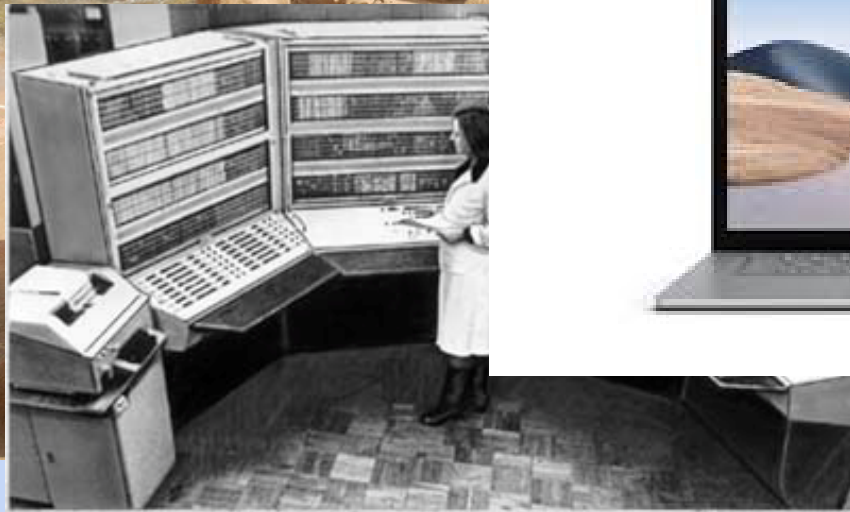
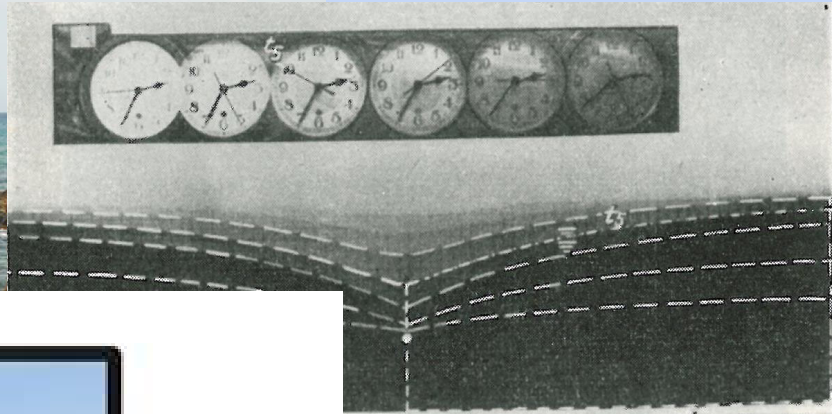
Grundwasser-Modelle sind mathematische Werkzeuge zur Berechnung von Grundwasserströmungen im Untergrund (abhängig von anderen Komponenten des Wasserhaushaltes).

GW-Modelle werden zur Prognose von Auswirkungen von besonders relevanten Maßnahmen auf den Wasserhaushalt eingesetzt.

Sie dienen der Entscheidungsvorbereitung und Entscheidungsfindung, ohne die Maßnahme selbst in der Natur durchführen zu müssen.



Belvilla AG
Dufourstrasse 49
8008 Zürich
Switzerland

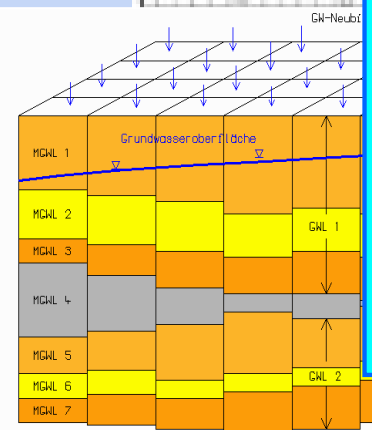
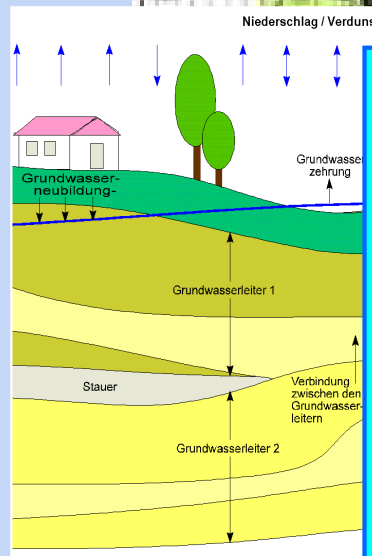


Berechnungsmethodik numerischer GW-Modelle

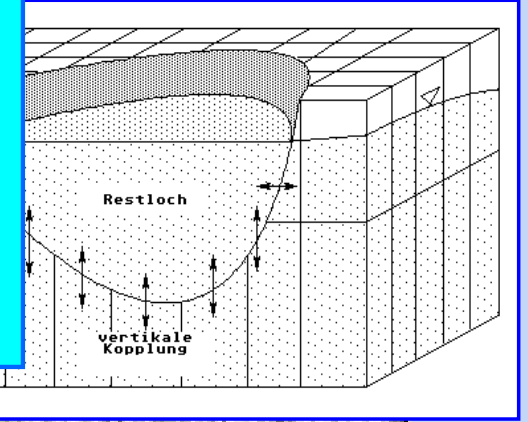
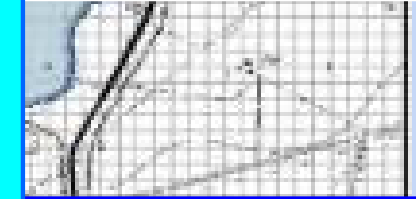
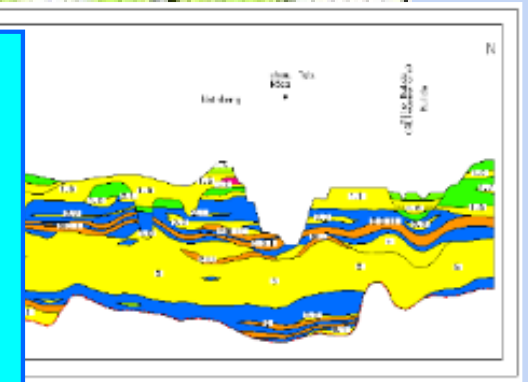
Das Programmsystem PCGEOFIM® ist ein behördlich anerkanntes Berechnungsprogramm für die Prognose der GW-Dynamik und GW-Beschaffenheit, speziell in bergbaulich beeinflussten Regionen und hat sich in den Bergbaugebieten Mitteldeutschlands und der Lausitz bereits als Standard durchgesetzt.

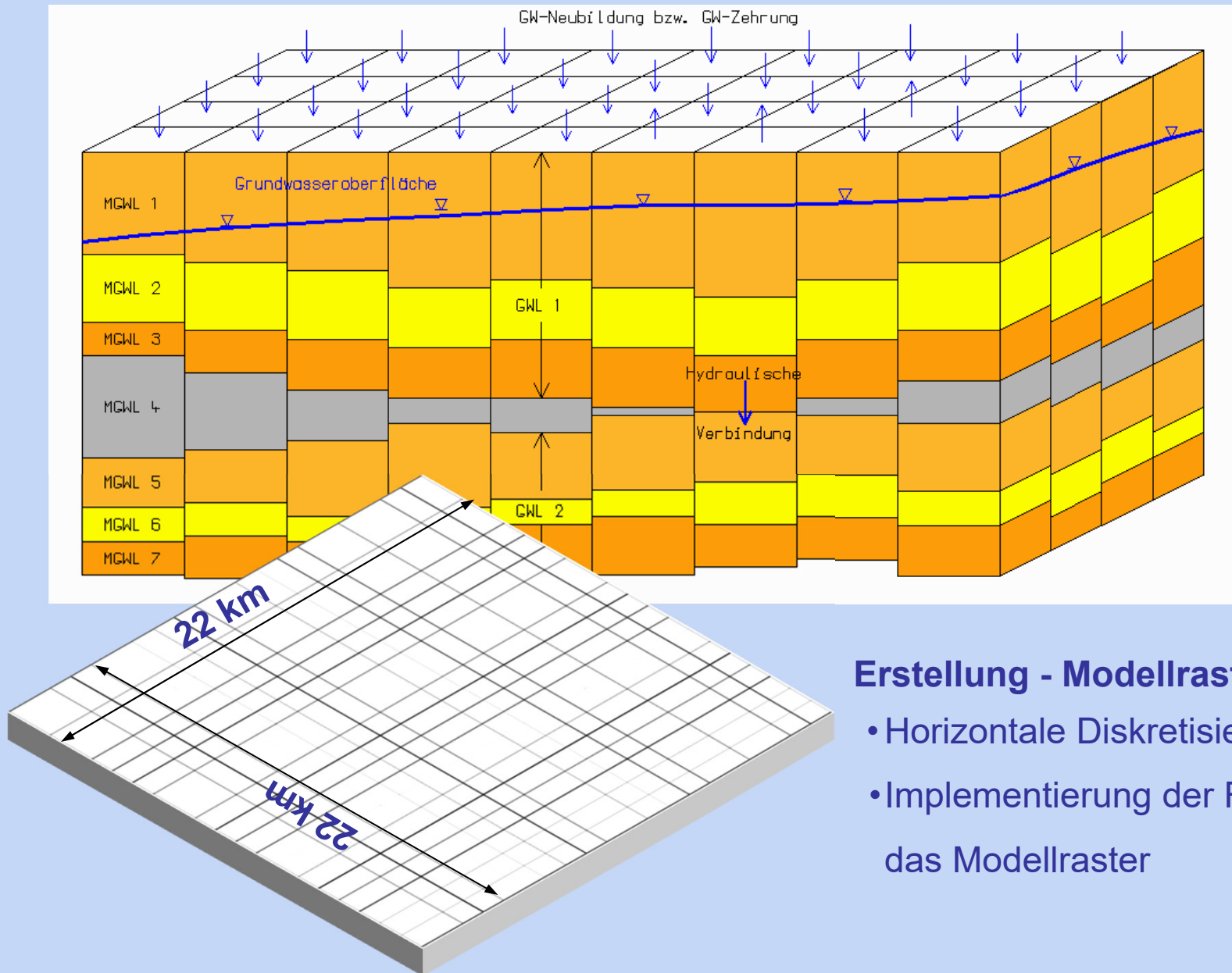
Es wird durch die IBGW GmbH selbst angewendet, ständig praxisbezogen weiterentwickelt und exklusiv vertrieben.

(andere mathematische Modelle wie FEFLOW, MODFLOW, SPRING ... sind grundsätzlich ebenso geeignet)



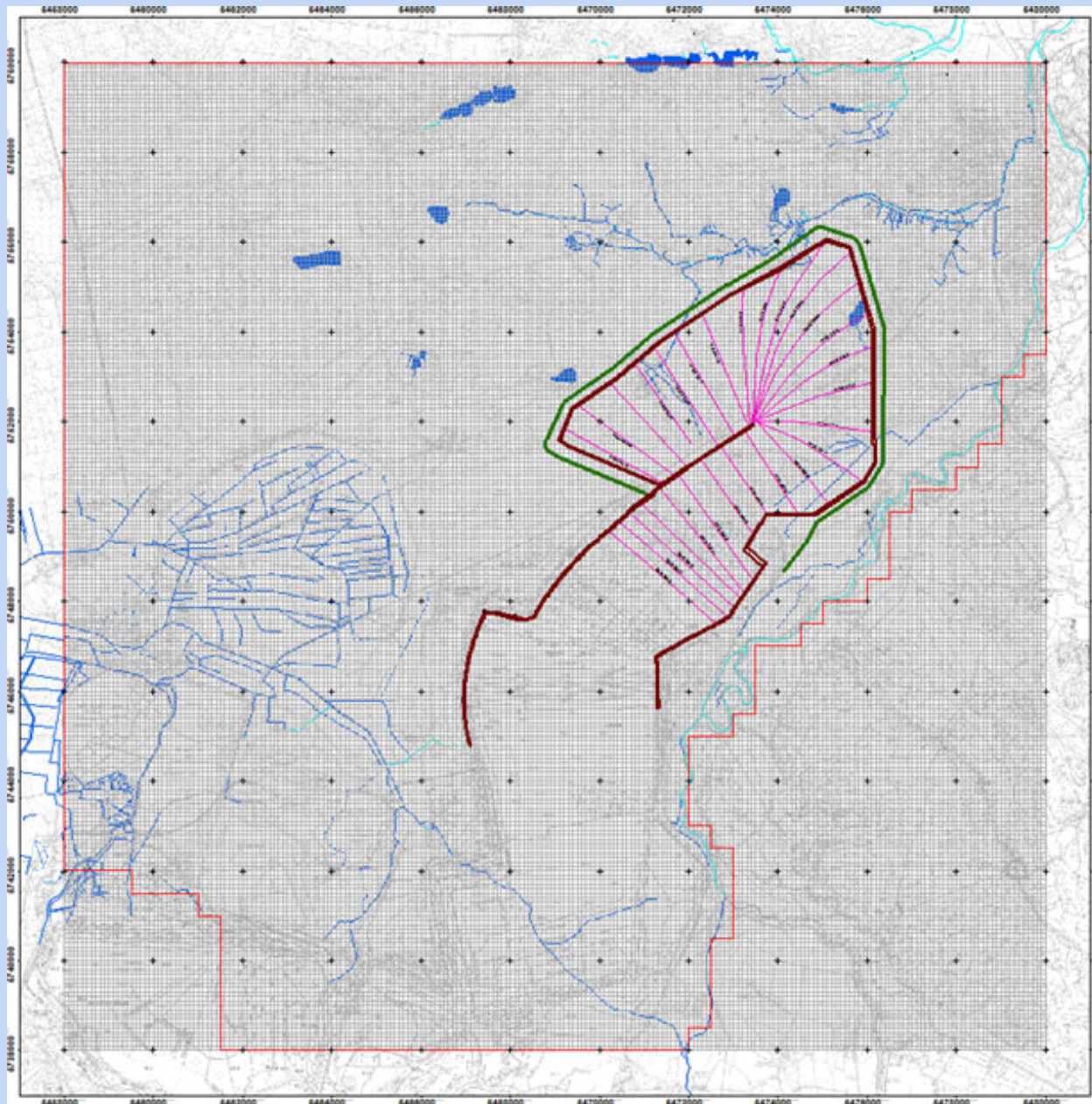
■ 93 mNHN
■ 94 mNHN





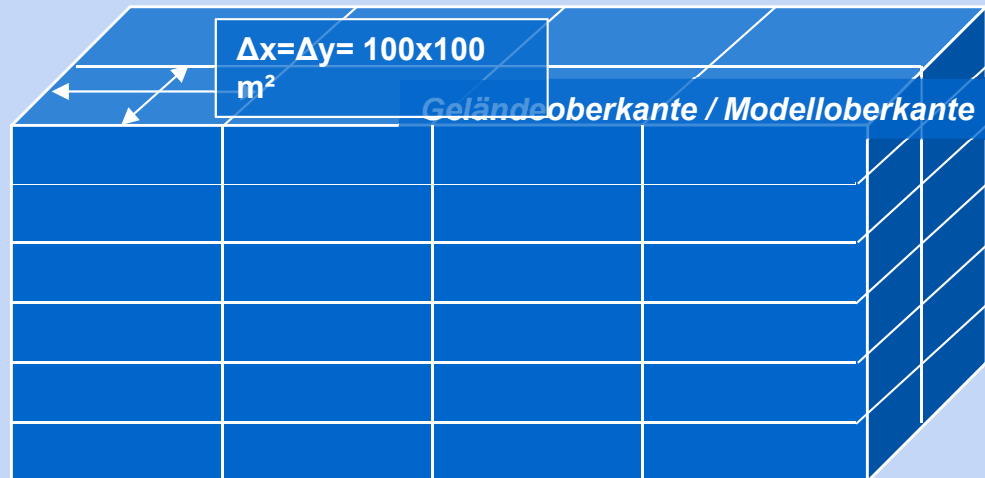
Erstellung - Modellraster

- Horizontale Diskretisierung (<100 m x100m)
- Implementierung der Randbedingungen in das Modellraster



Modellgebiet
-horizontales
Grundraster-

Randbedingungsansatz *allgemeine Randbedingung*



Schematische Darstellung der horizontalen / vertikalen Modelldiskretisierung

- horizontal-ebenen Grundrasters in **100 m x 100 m**
- Die vertikale Modellstruktur orientiert sich an der lithofaziellen Gliederung des Gebietes
- **obere Berandung = DGM**
- **untere Berandung = OK-Prätertiär**

RB Tagebau :

- Veränderung des Strömungsraumes infolge des Tagebau- und des Kippenfortschrittes

RB 1. Art – Festpotential:

- Vorgabe eines festen **Wasserspiegels** eines mit dem Aquifer ungehindert kommunizierenden Oberflächengewässers

RB 2. Art – Randzufluss:

- Grundwasserzu- oder -abstrom bzw. undurchlässige Barriere

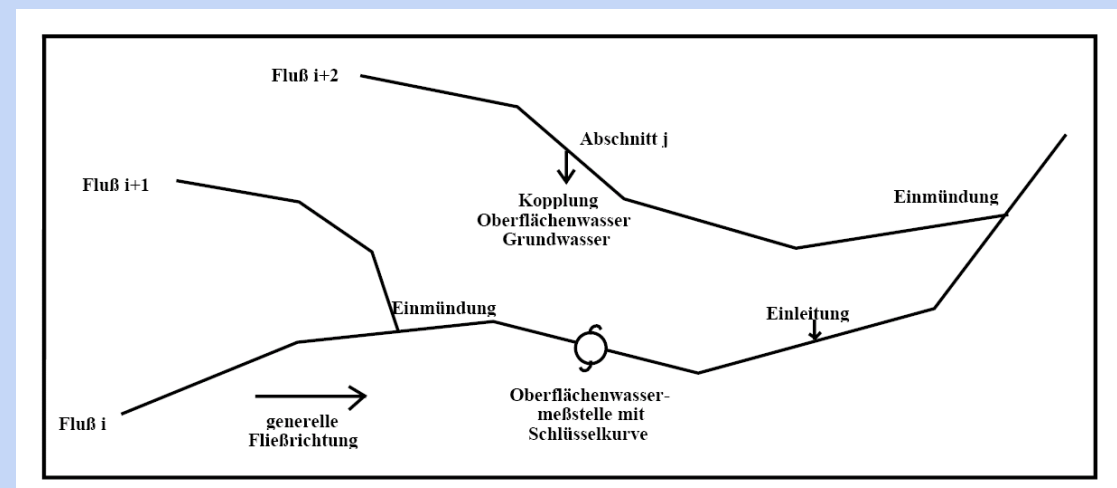
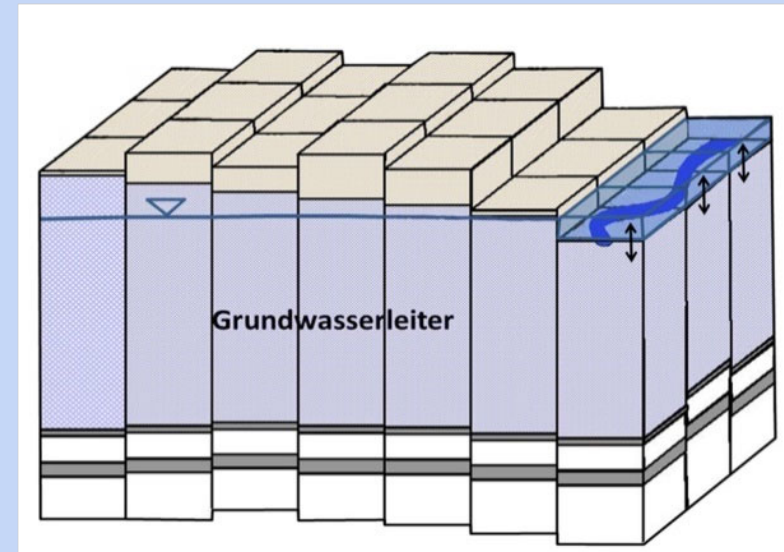
RB 3. Art – Oberflächengewässer:

- Interaktion Grundwasser-Oberflächengewässer (z.B. Vorgaben von Schlüsselkurven H-Q-Beziehung)

Spezielle Randbedingungen im Grundwasserströmungsmodell

Fließgewässer:

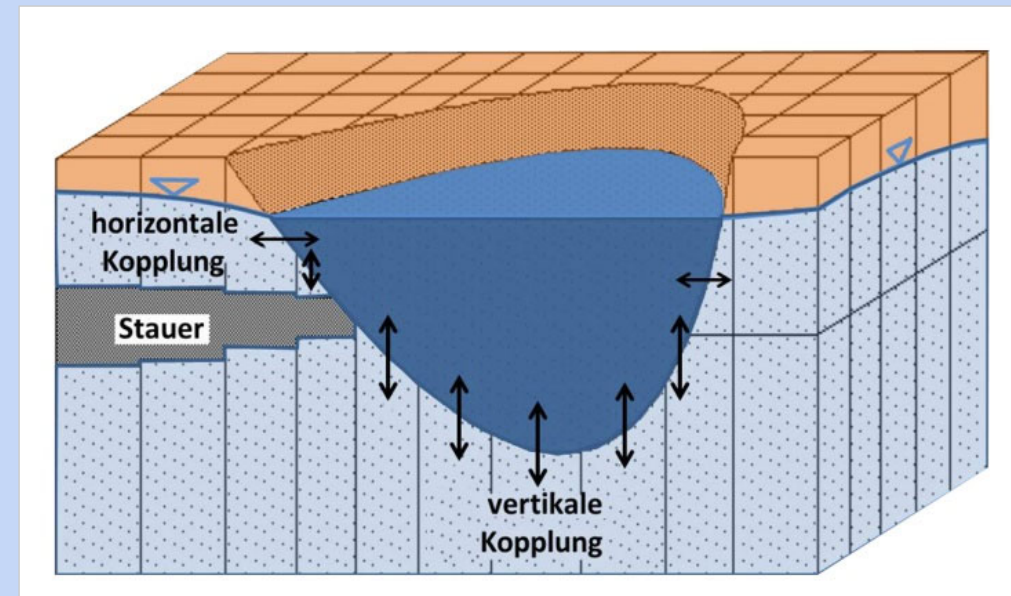
- RB Fließgewässer:
Gekoppelte Randbedingung 3. Art, d.h.
 + Fluss- u. GWstand bedingen sich in
 Abhängigkeit d. Kolmation gegenseitig
 + Flusswasserstand ergibt sich gemäß
 W-Q-Beziehung von Manning-Strickler
 → nur Basisabfluss, kein Zwischen- u.
 Oberflächenlandabfluss

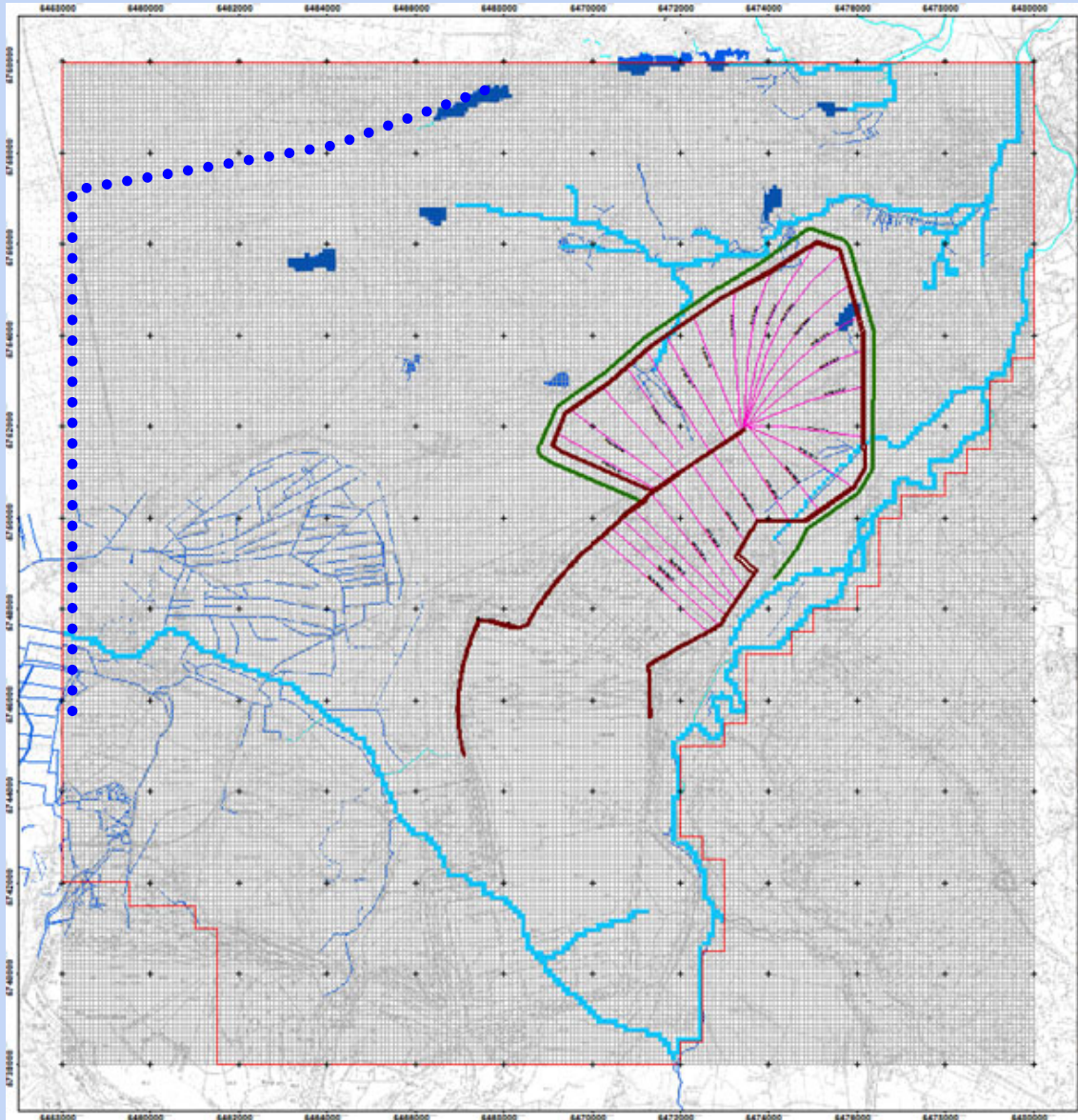


Spezielle Randbedingungen im Grundwasserströmungsmodell

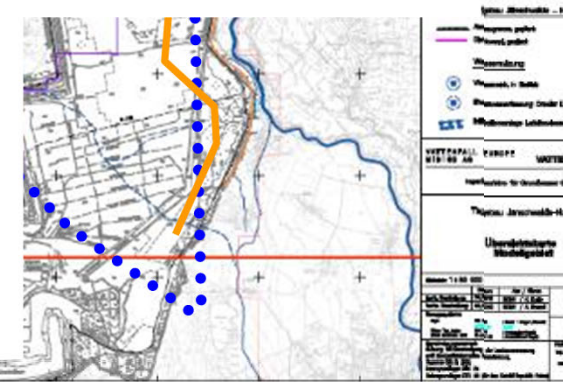
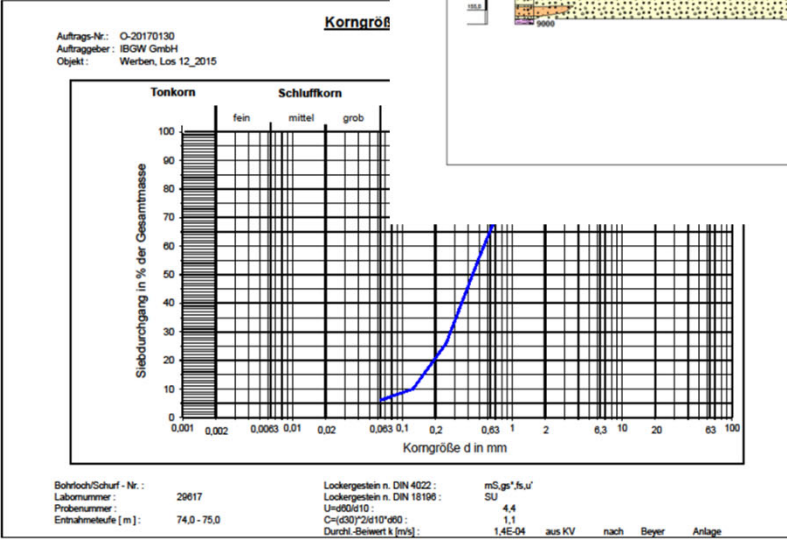
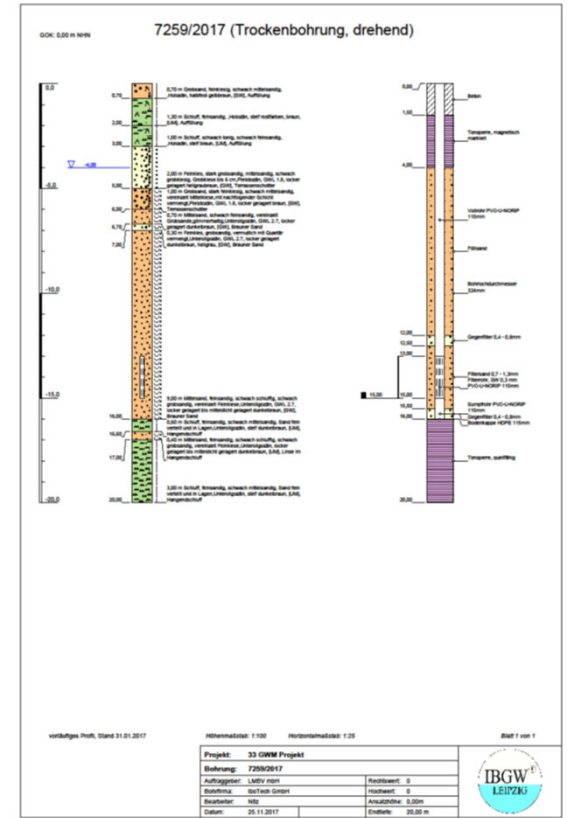
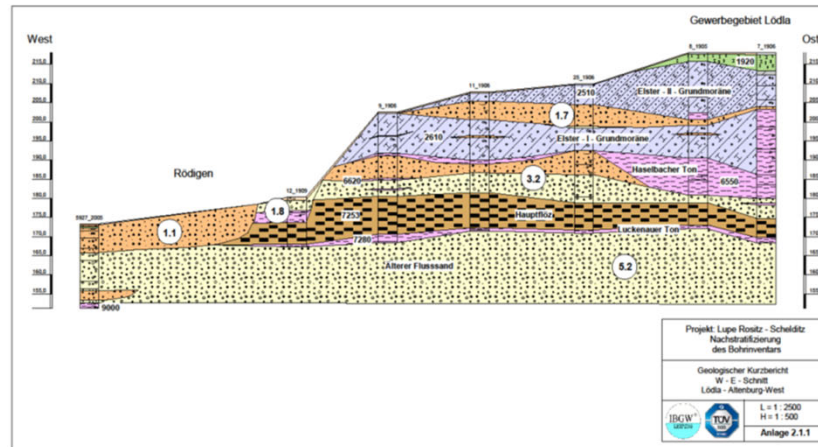
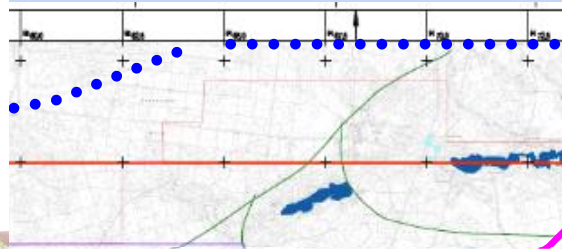
Standgewässer:

- RB Standgewässer:
 - Gekoppelte Randbedingung 3. Art, d.h.
 - + Ankopplung des Standgewässers entsprechend seiner Hohlformkontur an die Modellgrundwasserleiterstruktur (vertikal u./od. horizontal)
 - + Wechselwirkung zwischen Grund- u. Oberflächenwasser gemäß den Potentialverhältnissen und Kolmationsgrad der Gewässersohle





**Modellgebiet –
Implementierung der
Randbedingungen in das
geometrische Modell-**



1. Quartär

REGIONAL GLEDERG	LITHOSTRATIGRAPHISCHE EINHEIT	Schlüsselnummer		Modellschicht „Jawa-Nord“ MG-Nr.	
		GWL FLOZ	STRAT.-NR.		
H O L O Z Ä N	ungegliedert		1000	1	
	Mutterboden		1010	1	
	A	Anthropogene		1020	1
		Blütungen		1021	1
		(Kippe)		1022	1
		Organ. Bildg.		1030	1
	THo	Assoziationen		1040	1
	ungegliedert		1050	1	
	Weichsel Kaltzeit	gf Wa (Taubenkörner Sande)	1210	1920	1
		gf Wd/Berliner (Überrast)	1220	1930	1
gl Wb		Beckenbildung	1960	1	
g W		Grundmoräne	1970	2	
gl Wv		Beckenbildung	1980	2	
gf Wv		Vorschürfbildg.	1990	3	
Eem Warmzeit	z E		2000	(4)	
	gf S3a-Wv	Nach- bis Vorschürfbildungen	1300	2051	3
P L E I S T O Z Ä N	gl S3a	Beckenbildung	2060	4	
	g S3	Grundmoräne	2070	4	
	gl S3v	Beckenbildung	2080	4	
	gl S3v	signifikanter Schluff im G 150	2150	4	
	gf S2a-S3v	Nach- bis Vorschürfbildungen	1500	2151	5
	3gf S2 (Transit-Fluv)	signifikanter Fluvial	1512	2155	5
	gl S2a	Beckenbildung	2160	6	
	g S2	Grundmoräne	2170	6	
	gl S2v	Beckenbildung	2190	6	
	gl S2v	signifikanter Schluff im G 150	2200	6	
	gf S2v	Vorschürfbildg.	1500	2211	7
	gl S1a	Beckenbildung	2360	(6)	
	gf S1a	Nach- bis Vorschürfbildg.	1500	2370	7
			2370W	7	
	g S1	Grundmoräne	2410	8	
gl E2a-S1v	Beckenbildung	2420	8		
gf S1v	Vorschürfbildg.	1600	2430	9	
Holstein Warmzeit	h H		2440	9	
	gf E1a-S1v	Nach- bis Vorschürfbildungen	1600	2482	9
Elster Kaltzeit	g E1	Grundmoräne	2510	10	
	gl E1a-E2v	Beckenbildung	2540	10	
	gf E1a-E2v	Nach- bis Vorschürfbildg.	1700	2571	11
	g E1	Grundmoräne	2610	11	
	gl E1v	Beckenbildung	2640	11	
	gf E1v	Vorschürfbildg.	1900	2660	11

2. Sondernummern (Quartär)

Sonderng	Ungegliederte Tertiar-sedimente, ungliedert		
	Brunkofels	100T	3010
	Sande		3020
	Schluffe/Tone		3030

3. Tertiär/Prätertiär

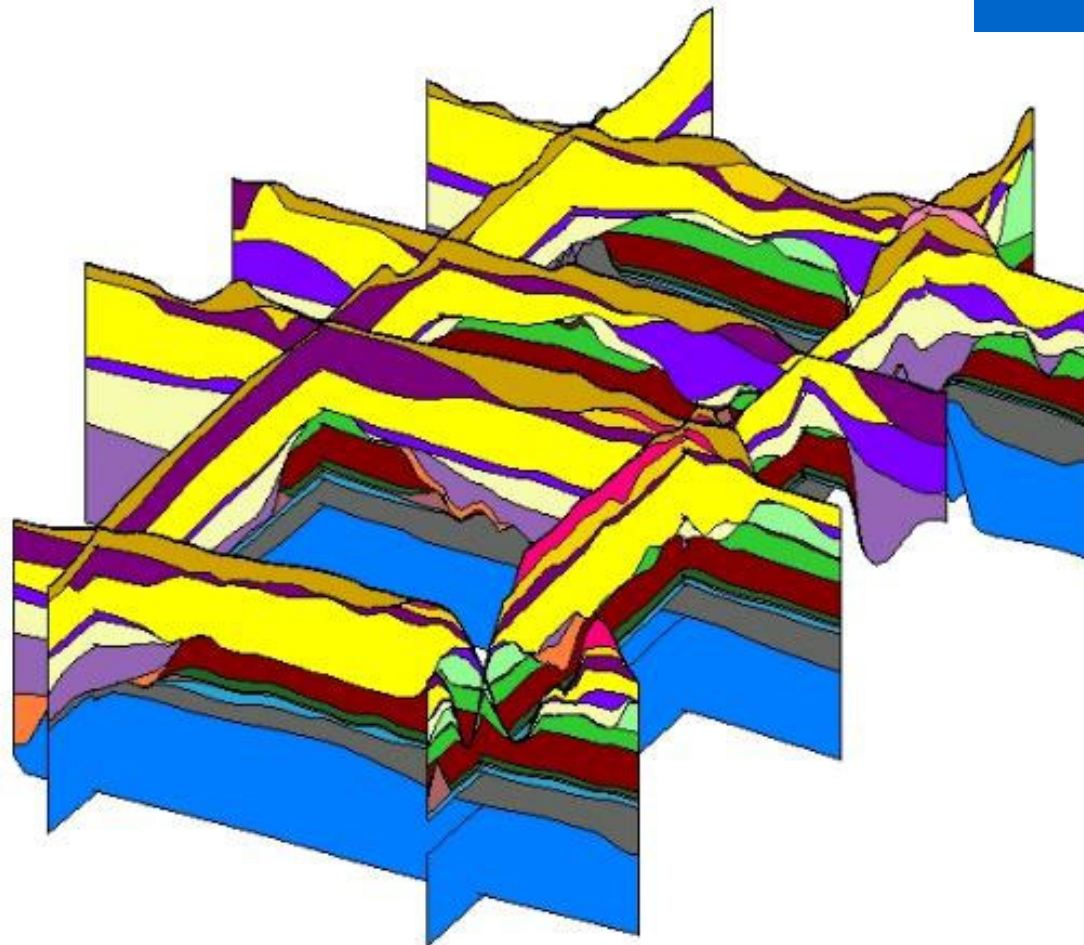
REGIONAL GLEDERG	LITHOSTRATIGRAPHISCHE EINHEIT	Schlüsselnummer		Modellschicht „Jawa-Nord“ MG-Nr.		
		GWL FLOZ	STRAT.-NR.			
M I O Z Ä N	R	Sedimente, allgemein		3896		
		Sande (GWL 322)	3220	4020	12	
	Greifenhainer Schichten	Überbegleiter MF2		4070	13	
		Sande (GWL 410)	4100	4110	14	
	B R I E S K E R	Wabrower Schichten mit 2.LFH	Hängendschluff 1		4210	15
			Sande (GWL 430)	4200	4230	15
			Hängendschluff 2		4240	15
			Sande (GWL 430)	4300	4250	15
			Hängendschluff 3		4260	15
			Sande (GWL 440)	4400	4270	15
F O L G E	Zwischenmittel 1:	Fließbank 1	MF21	4300	15	
		Liegendschluff Fließbank 1		4310	15	
	Zwischenmittel 2:	Sande (GWL 451)	4510	4320	15	
		Hängendschluff Fließbank 2		4330	15	
	Fließbank 2	Jüngerer Hornauer Mäander (JHM)		4330	15	
		Fließbank 2	MF22	4340	15	
	Drehkauer Schichten	Zwischenmittel 3:	Liegendschluff Fließbank 3		4350	15
			Sande (GWL 453)	4530	4360	15
		Hängendschluff Fließbank 3	Sonderentwicklung Hgd.schluff		4370	15
			• Oberer Teil (Y-Peak)		4371	15
• Sporadische Kohle			4372	15		
• Unterer Teil			4373	15		
Älterer Hornauer Mäander (AHM)			4374	15		
Fließbank 3		a) Allgemein	MF23	4380	15	
		b) Sonderentwicklung (signifikanter Zwischenmittel)				
Sande (GWL 500)		• Oberer Teil	MF23	4383	15	
	• Signifikanter Mittel		4384	15		
Fließbank 3	• Unterer Teil	MF23	4385	15		
	Liegendschluff Fließbank 3		4390	15		
Bachhainer Schichten mit 3.LFH	Sande (GWL 611)	6110	4510	16		
	Hängendschluff Unterbegleiter		4410	17		
Unterbegleiter MF2	Liegendschluff Unterbegleiter	MF2U	4440	17		
	Sande (GWL 611)		4450	17		
Schluff im Hängenden B 2 (B2H)	Sande (GWL 611)		4510	18		
	Horizont B 2 (Leithorizont)		4560	19		
Schluff im Liegenden B 2 (B2L)	Sande (GWL 622)	6220	4680	19		
	Sande (GWL 622)		4690	19		
Kohle im GWL 6220	B1-Horizont (=Sauer 620/630)		4700	19		
	Sande (GWL 630)	6300	4710	19		
Hängendschluff MF 3	Sande (GWL 630)		4720	19		
	Überbank MF3	MF31	4770	19		
Zwischenmittel	Überbank MF3		4780	19		
	Unterbank MF3	MF32	4820	19		

S	LP	F	M	O	F	O	L	I
	Labbe-tasse / Vwack	Schluffe / Tone						
	Schichten mit 4.LFH	Sande (GWL 7502)	7502	5110	5162			19
		Hauptbank MF4	MF42		5300			20
		Liegendschluff Hauptbank			5310			20
		Ölitzersande (GWL 8201)	8201		5601			20
		Gieskronensande (GWL 8201)	8201		5680			20
		Basisschluff			5690			
		Sedimente Kreide, allgemein			9100			

Materials

- MG1_Holozaen
- MG2_g W
- MG3_GWL 130
- MG4_g S3
- MG5_GWL 140
- MG6_g S2
- MG7_GWL 150
- MG8_g S1
- MG9_GWL 160
- MG10_g E2
- MG11_GWL 170-190
- MG12_GWL 300
- MG13_OBGL MF2
- MG14_GWL 400
- MG15_MF2
- MG16_GWL 500
- MG17_UBGL MF2
- MG18_GWL 600
- MG19_MF3+MF4
- MG20_GWL 700-800
- material_21

Aufbau des Hydrogeologischen Strukturmodells



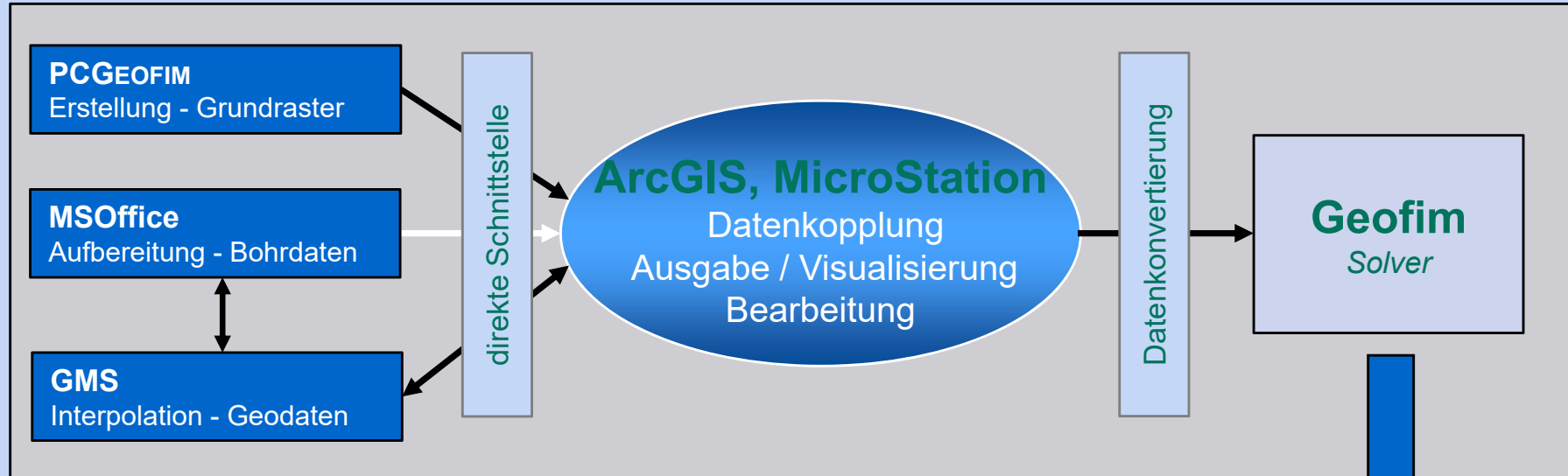
Materials

MG1_Holozaen
MG2_g W
MG3_GWL 130
MG4_g S3
MG5_GWL 140
MG6_g S2
MG7_GWL 150
MG8_g S1
MG9_GWL 160
MG10_g E2
MG11_GWL 170-190
MG12_GWL 300
MG13_OBGL MF2
MG14_GWL 400
MG15_MF2
MG16_GWL 500
MG17_UBGL MF2
MG18_GWL 600
MG19_MF3+MF4
MG20_GWL 700-800
material_21

Z
Lx

Auswertung und Übergabe der Modellierungsergebnisse

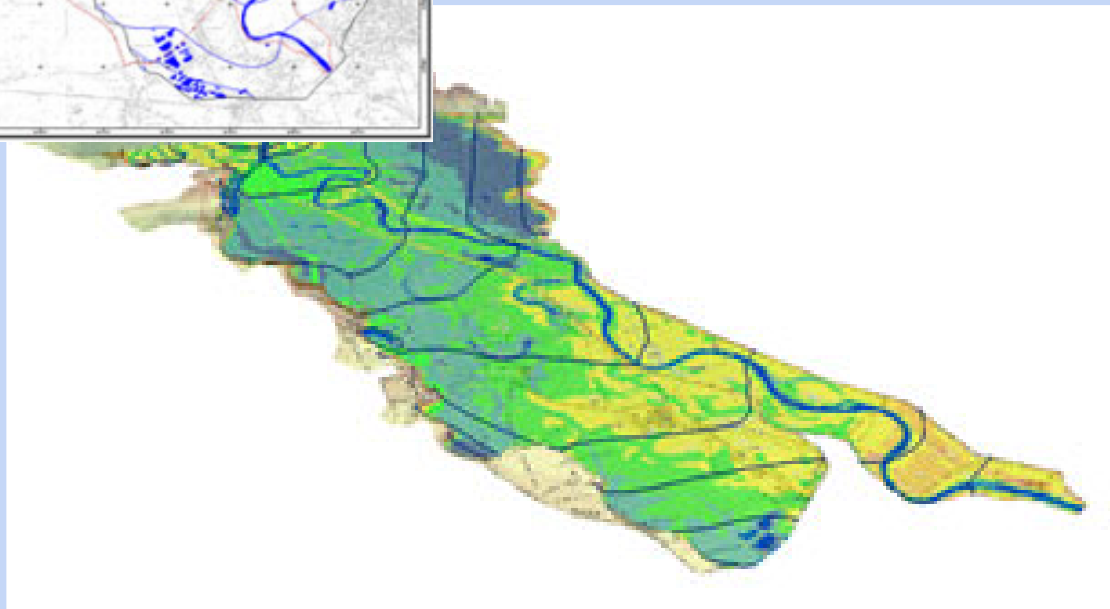
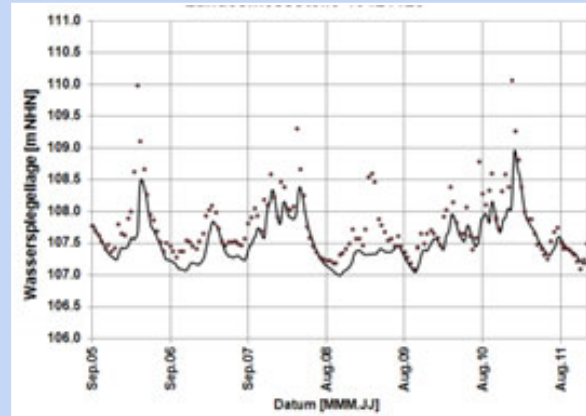
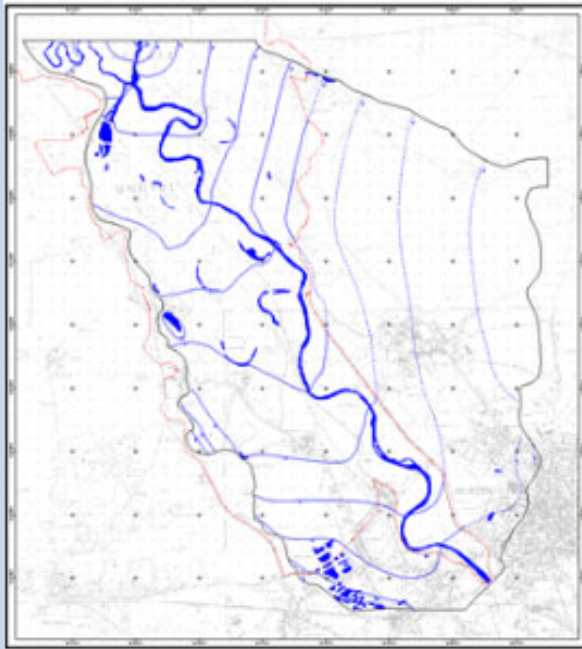
Preprocessing



Postprocessing



Auswertung und Übergabe der Modellierungsergebnisse



Mögliche Darstellung der Modellergebnisse anhand fiktiver Beispiele

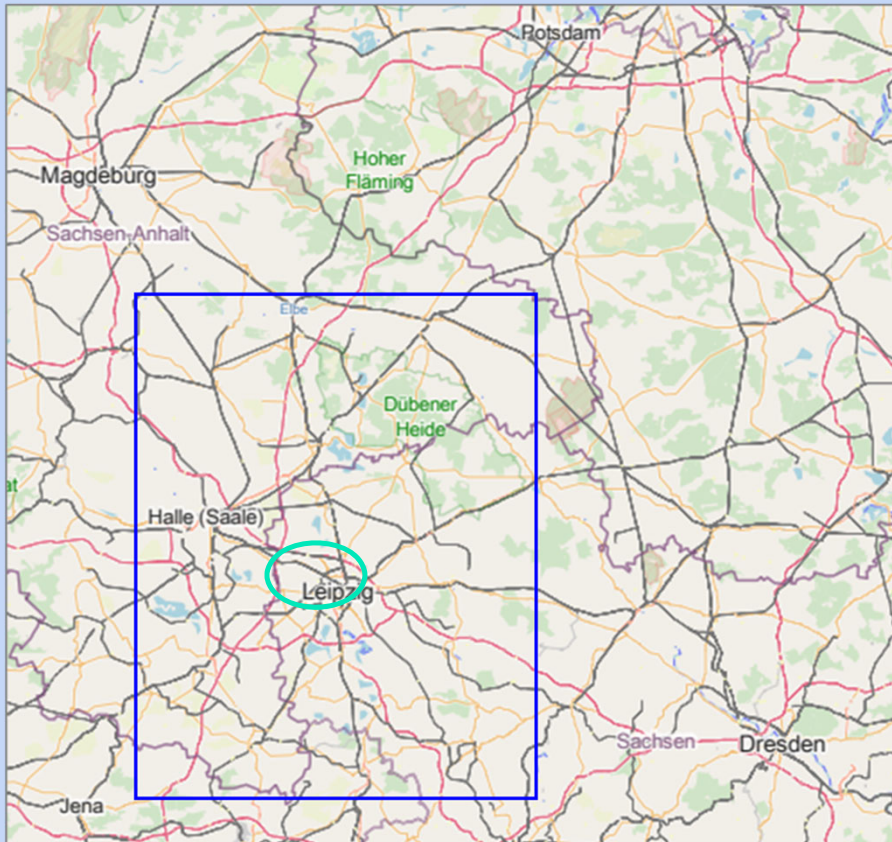
Datenübergabeformate:

- Hydroisohypsenpläne
- Hydrodifferenzenpläne
- GW-Flurabstandspläne
- Ganglinien
- Bilanzen
- Wasserhebungen

Datenübergabeformate:

- MicroStation *.dgn
- ESRI *.shp
- Autocad *.dxf
- Dbase, Excel, Access

Praxisbeispiel 1: Aufgabe Auenrenaturierung (Leipziger Auenwald)



weg vom Naturraum zum Nutzraum seit ca. 1840

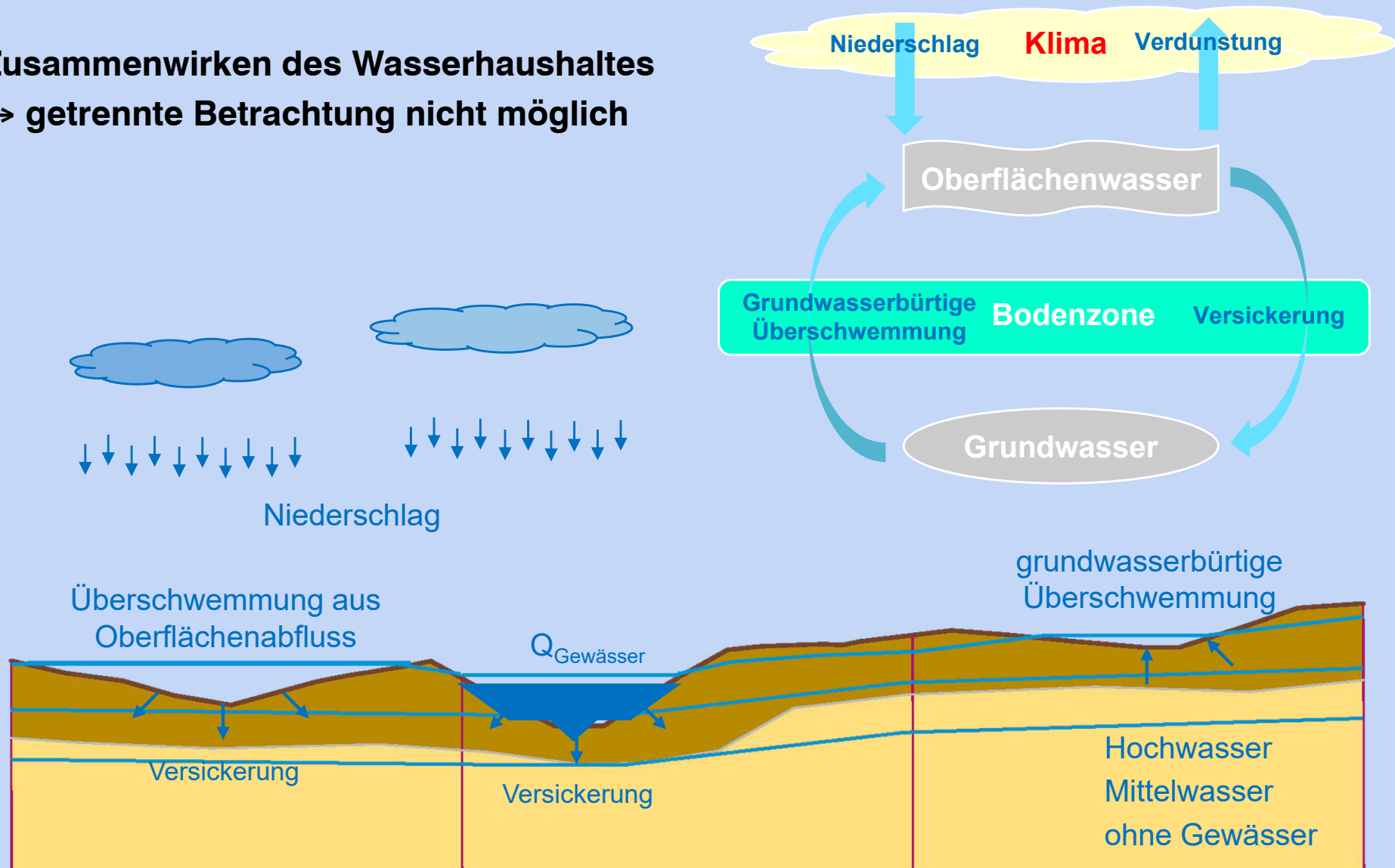
weg vom Natürlichen Zustand zum sehr stark veränderten urban geprägten
Kulturraum



Die aktuelle Generationenaufgabe:

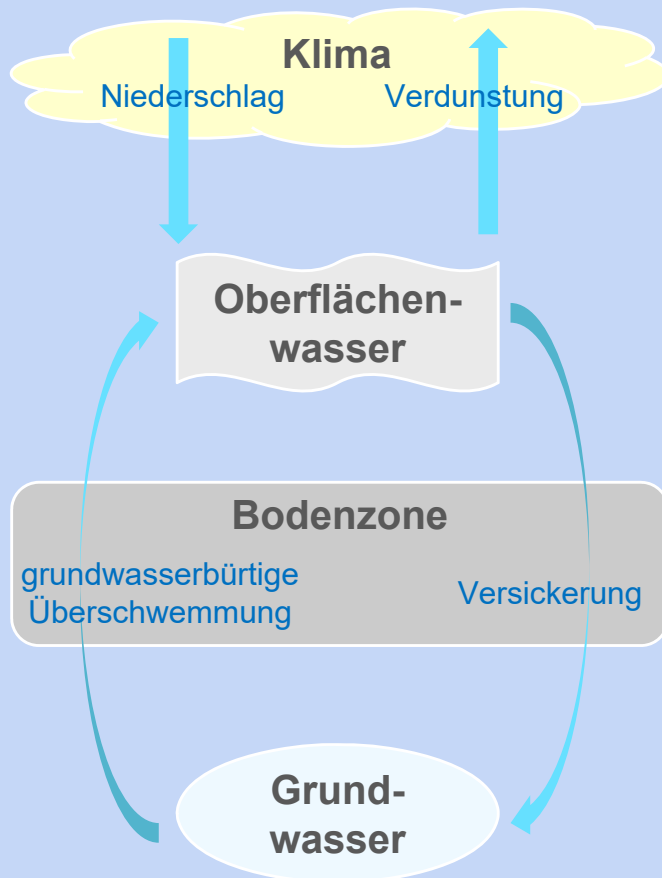
weg vom urban und technisch geprägten Nutzraum wieder zum Naturraum

**Zusammenwirken des Wasserhaushaltes
→ getrennte Betrachtung nicht möglich**



Zusammenwirken des Wasserhaushaltes

→ **Modellkopplung erforderlich**



ArcEGMO

Klima

Bodenzone

- Simulation des Wasserhaushaltes in der ungesättigten Bodenzone sowie des Austauschs mit dem oberirdischen und dem Grundwasser
- Simulation der Abflussbildung und Verdunstung

Hydro_AS-2D

Oberflächenwasser

- Simulation von Abflusskonzentration, Wasserspiegellagen und Strömungsgeschwindigkeiten
- genaue Abbildung der Gewässer- und Geländetopografie zur Berücksichtigung strömungsrelevanter Faktoren

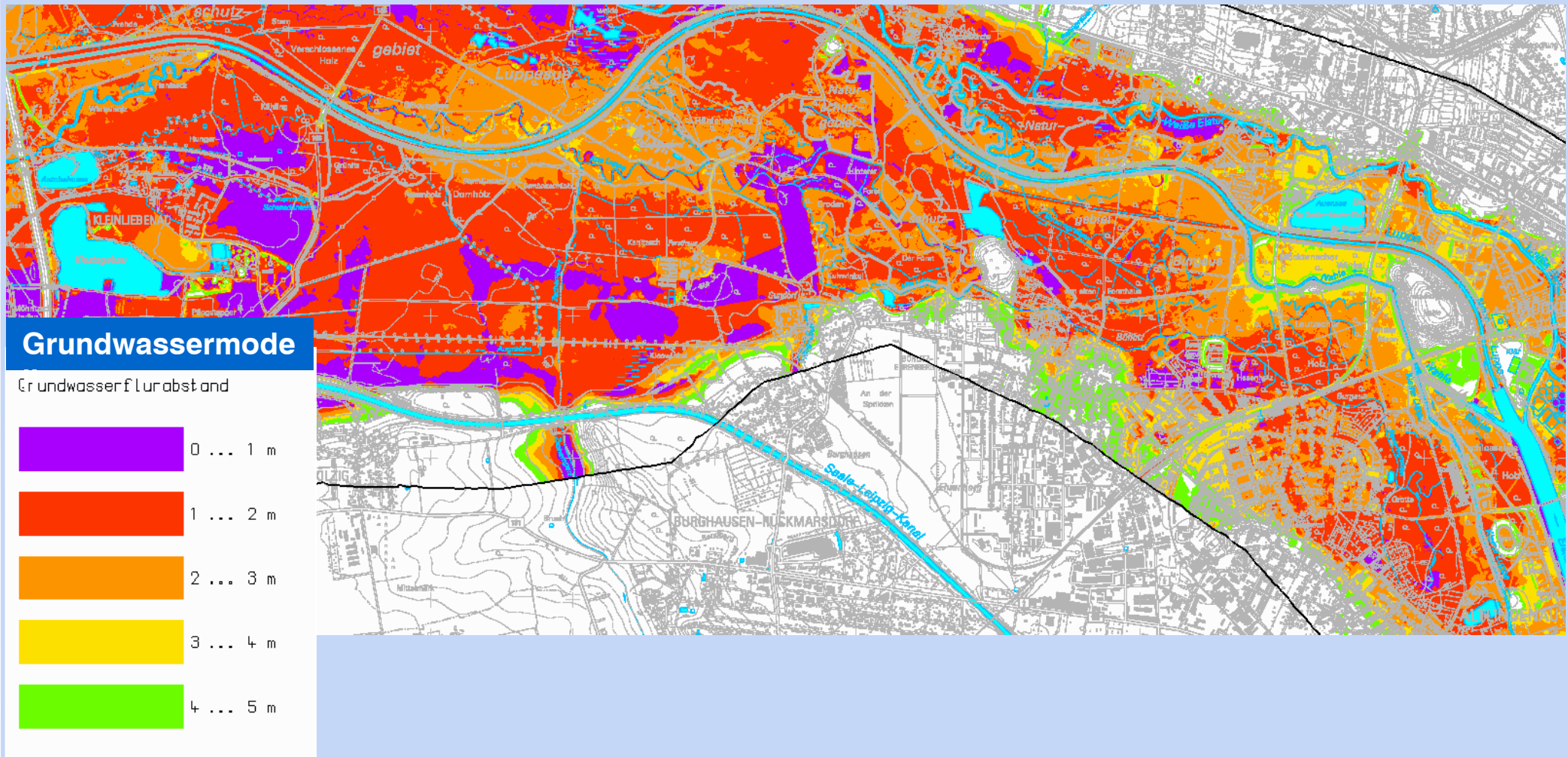
PCGEOFIM

Grundwasser

- Simulation von Grundwasserständen und GW-strömungen
- Abbildung der hydrogeologischen Gliederung

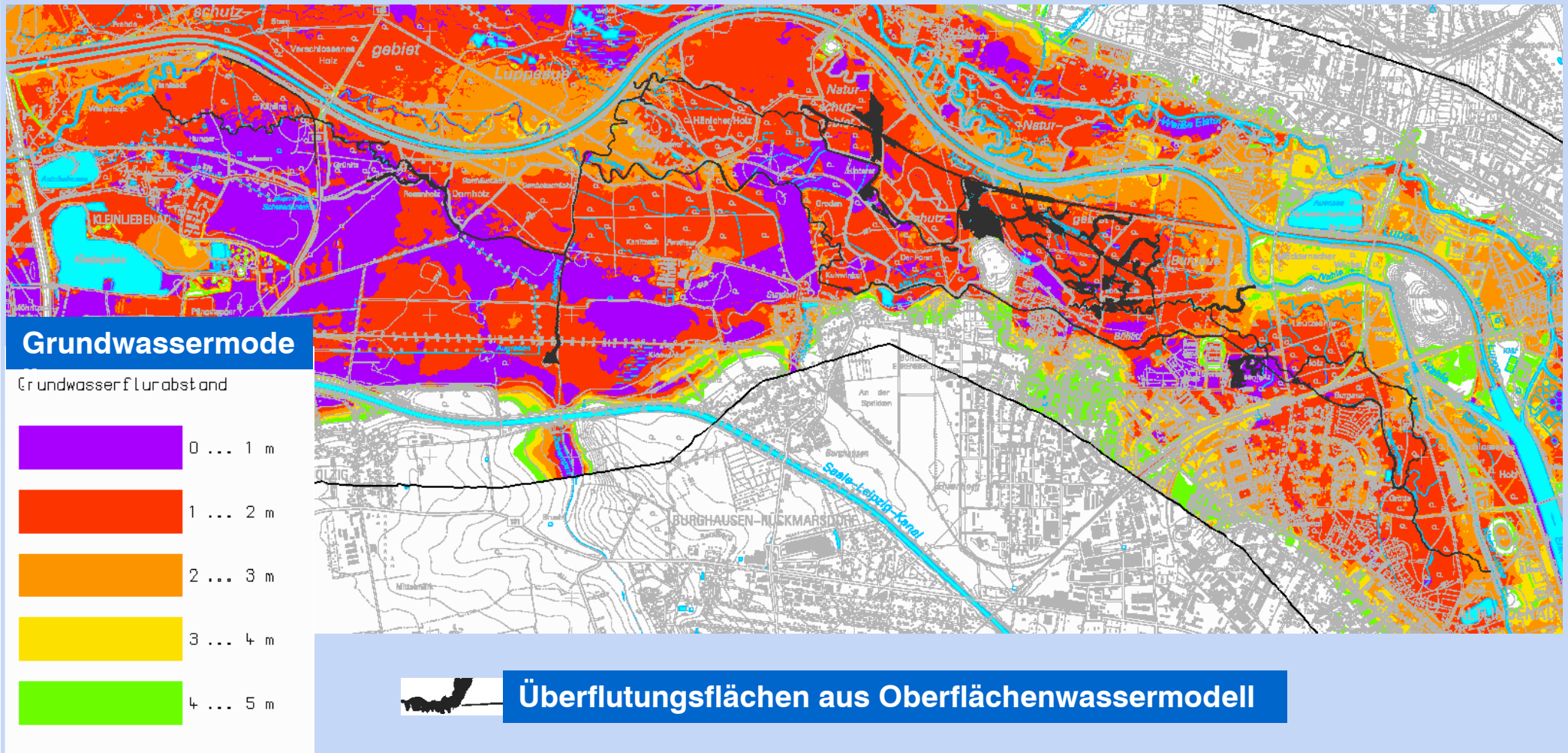
Grundwasserflurabstand

Vergleichszustand ohne Maßnahme Auenrenaturierung



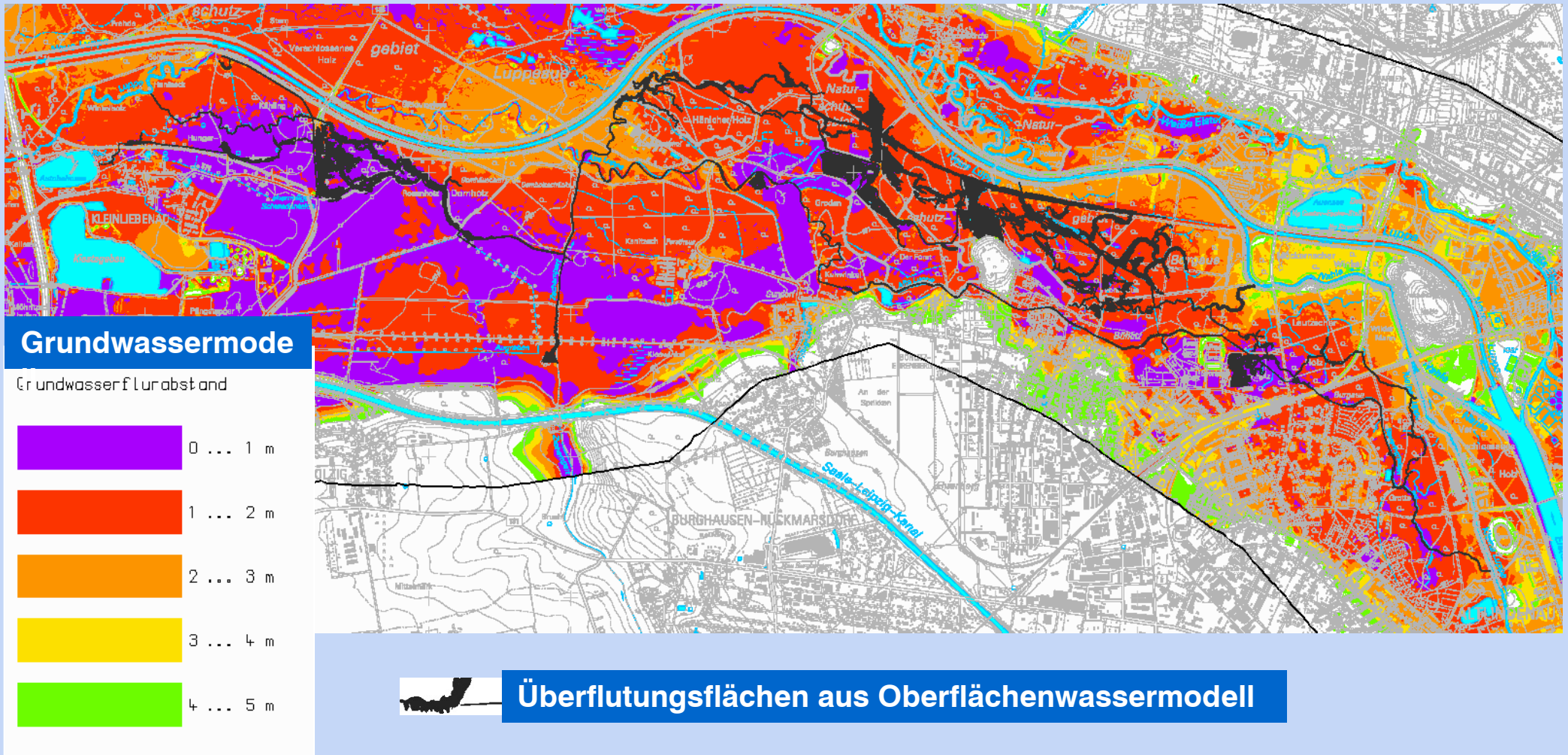
Grundwasserflurabstand

Mit Maßnahme Auenrenaturierung– Normalabfluss



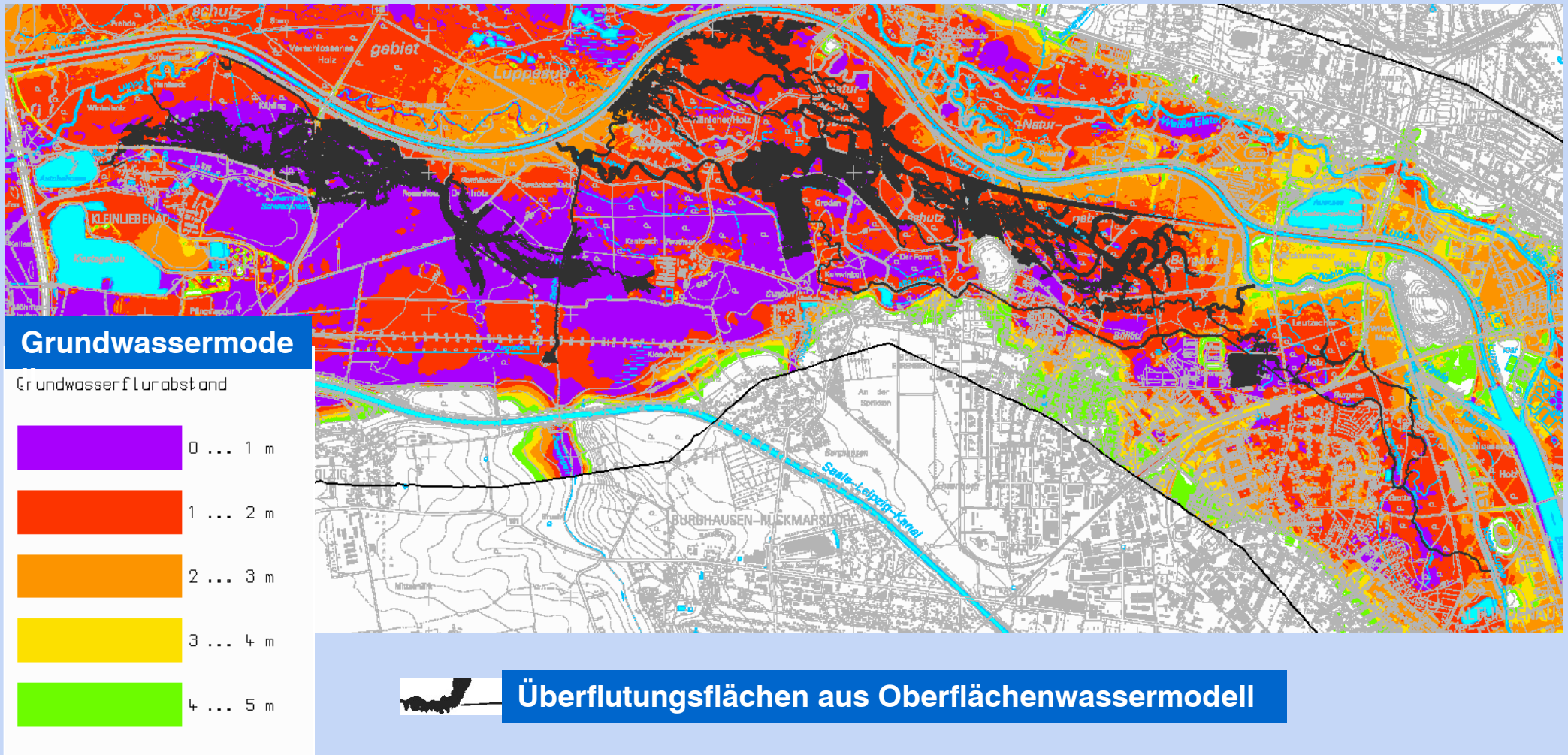
Grundwasserflurabstand

Mit Maßnahme Auenrenaturierung– erhöhter Abfluss



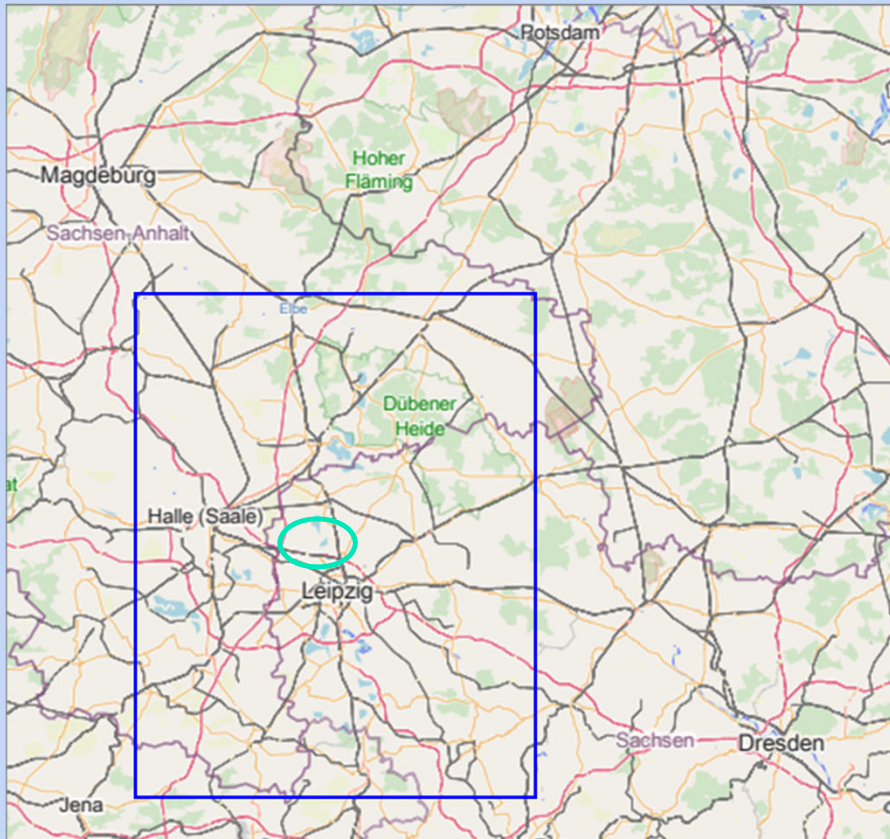
Grundwasserflurabstand

Mit Maßnahme Auenrenaturierung– Hochwasserabfluss



Praxisbeispiel 2. Aufgabe Bergbaufolgese

- Tagebaurestsee im Mitteldeutschen Braunkohlerevier
- Hintergrund: aktuelles Wasserrechtsverfahren
- Bedarf an realistischen Abschätzungen bzgl. sich zukünftig einstellender Seewasserstände und Überschusswassermengen



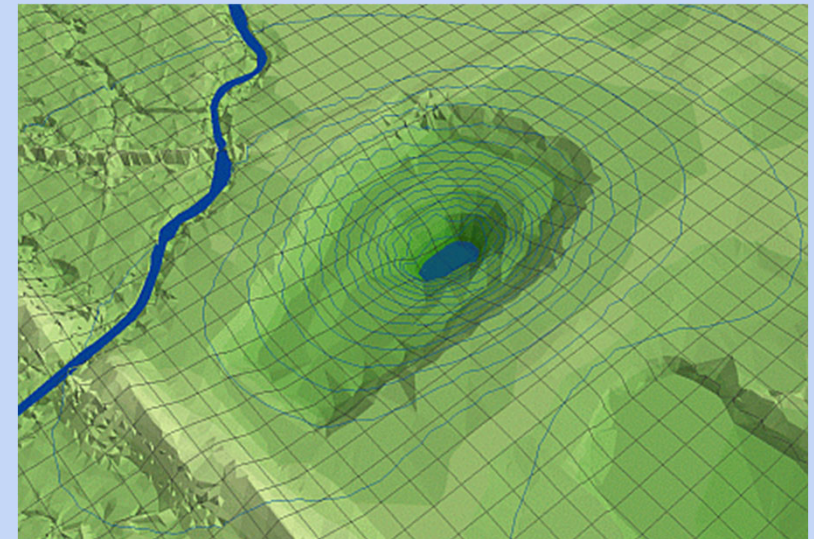
Modellgrundlage

Numerisches Grundwasserströmungsmodell

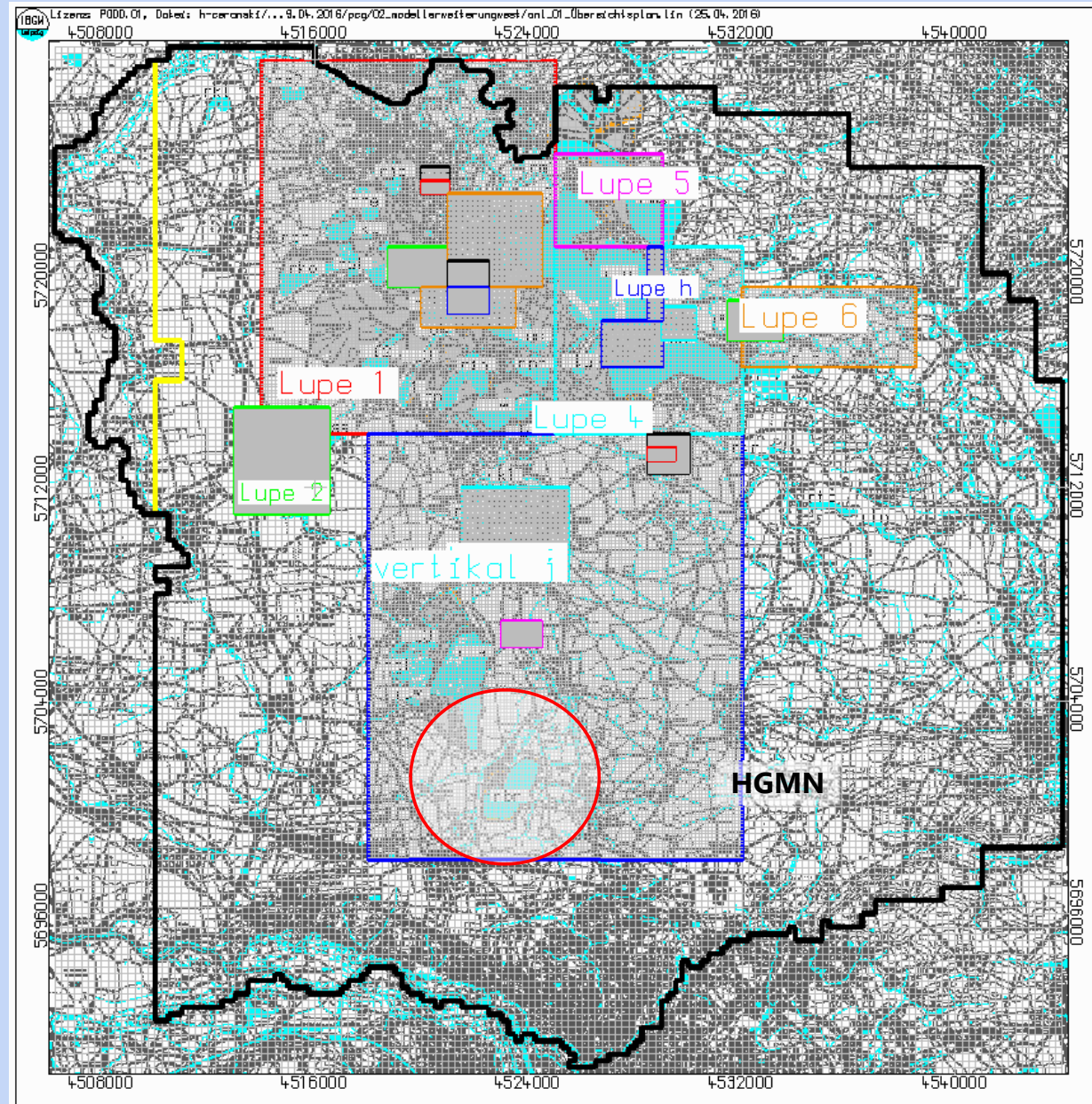
Grundlage: Hydrogeologisches Großraummodell

bereits ca. 1991 aufgebaut und seitdem fortlaufend aktualisiert und präzisiert
hohe Modellgüte (ca. 5000 Grundwassermessstellen, mittlere Modellabweichung ca. 0,5 m und kleiner in Fokusbereichen)

- Restseen & Fließgewässer als zeitlich variable Randbedingung
- Verwendung ortsnaher Klimastationen (Niederschlag, Verdunstung, Gewässerverdunstung)
- Lysimetermessungen (Grundwasserneubildung)

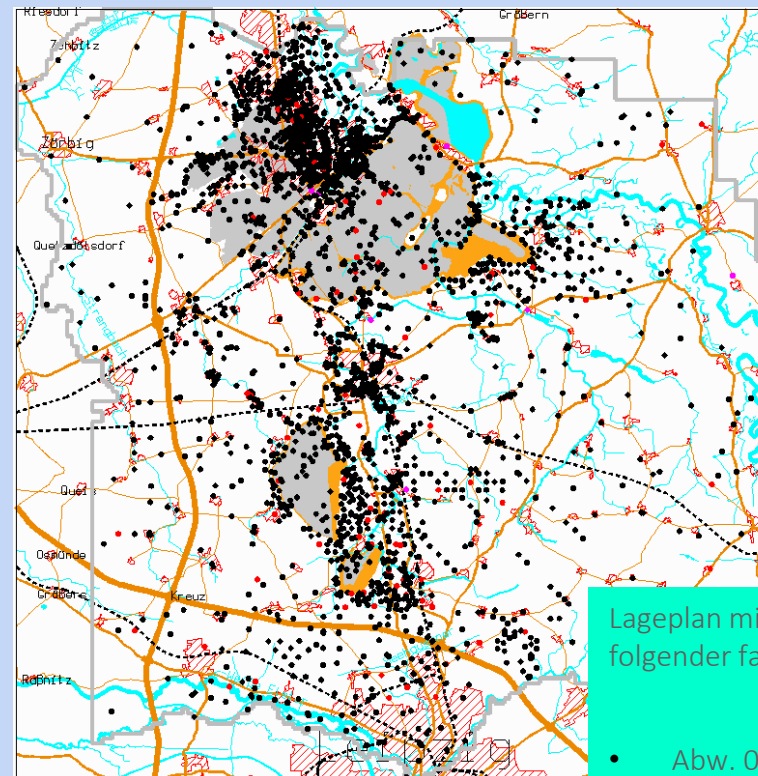
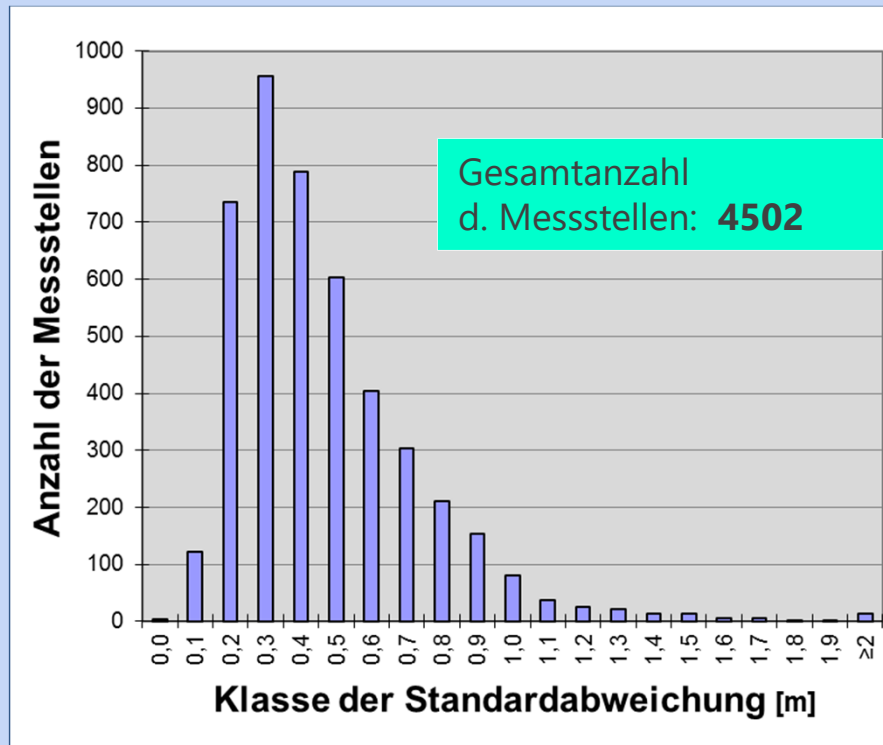


Hydrogeologisches Großraummodell – Nord (HGMMN)



Grundwassermessstellen im HGMN mit Modell-Messwertabweichung

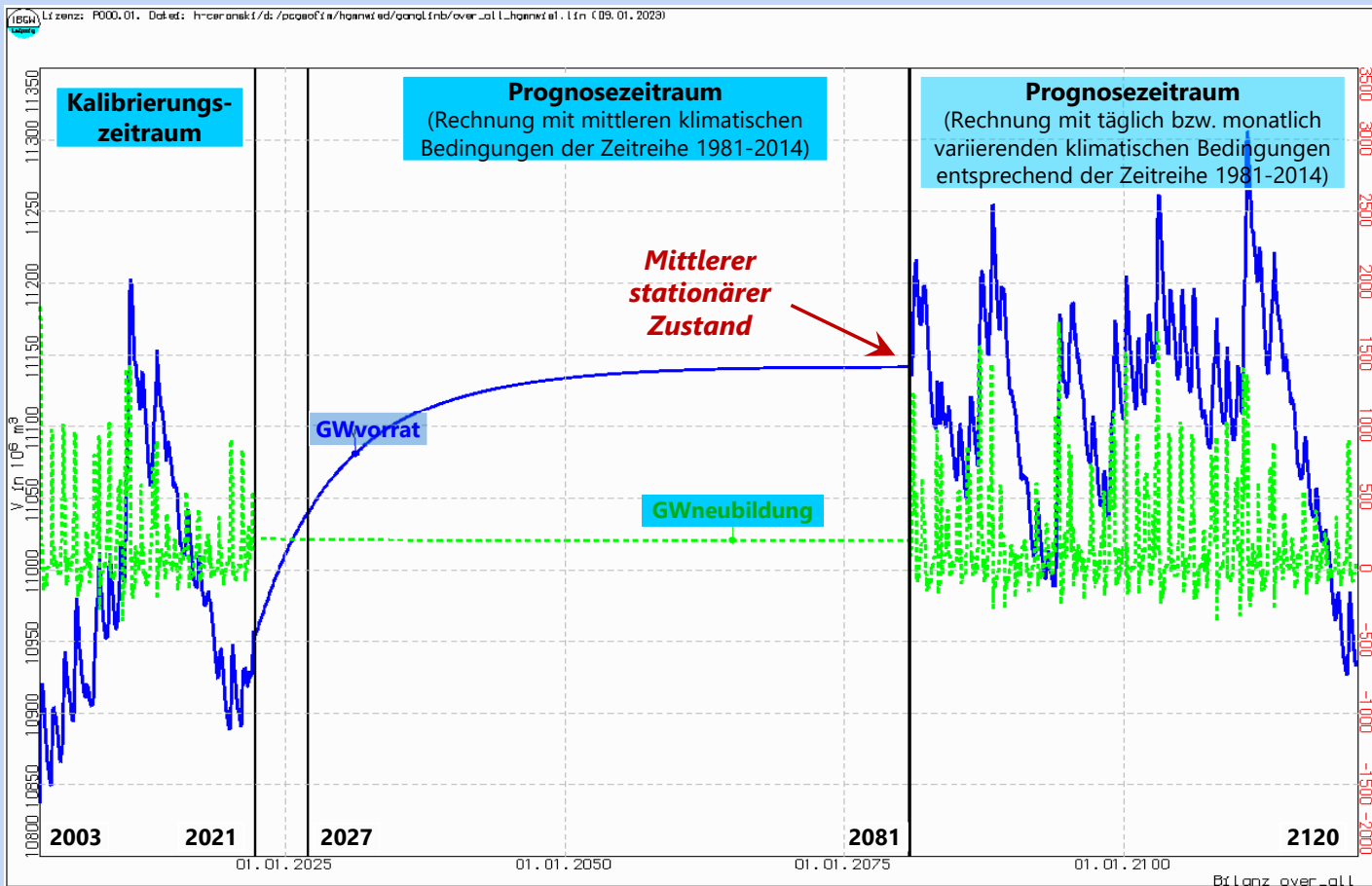
- 3211 Messstellen (ca. 71%) liegen im Klassenbereich 0 – 0,5 m
- 4363 Messstellen (ca. 97%) liegen im Klassenbereich 0 – 1 m
- 139 Messstellen (ca. 3%) liegen im Klassenbereich >1 m



Lageplan mit allen Messstellen mit folgender farblicher Markierung:

- Abw. 0-1 m
- Abw. >1 m

Modelltechnischer Berechnungsablauf



Grundlage hydrometeorologische Daten:

Kalibrierungszeitraum 2003–2021:

DWD P, EVAP täglich
Lysimeter GWN Monatswerte

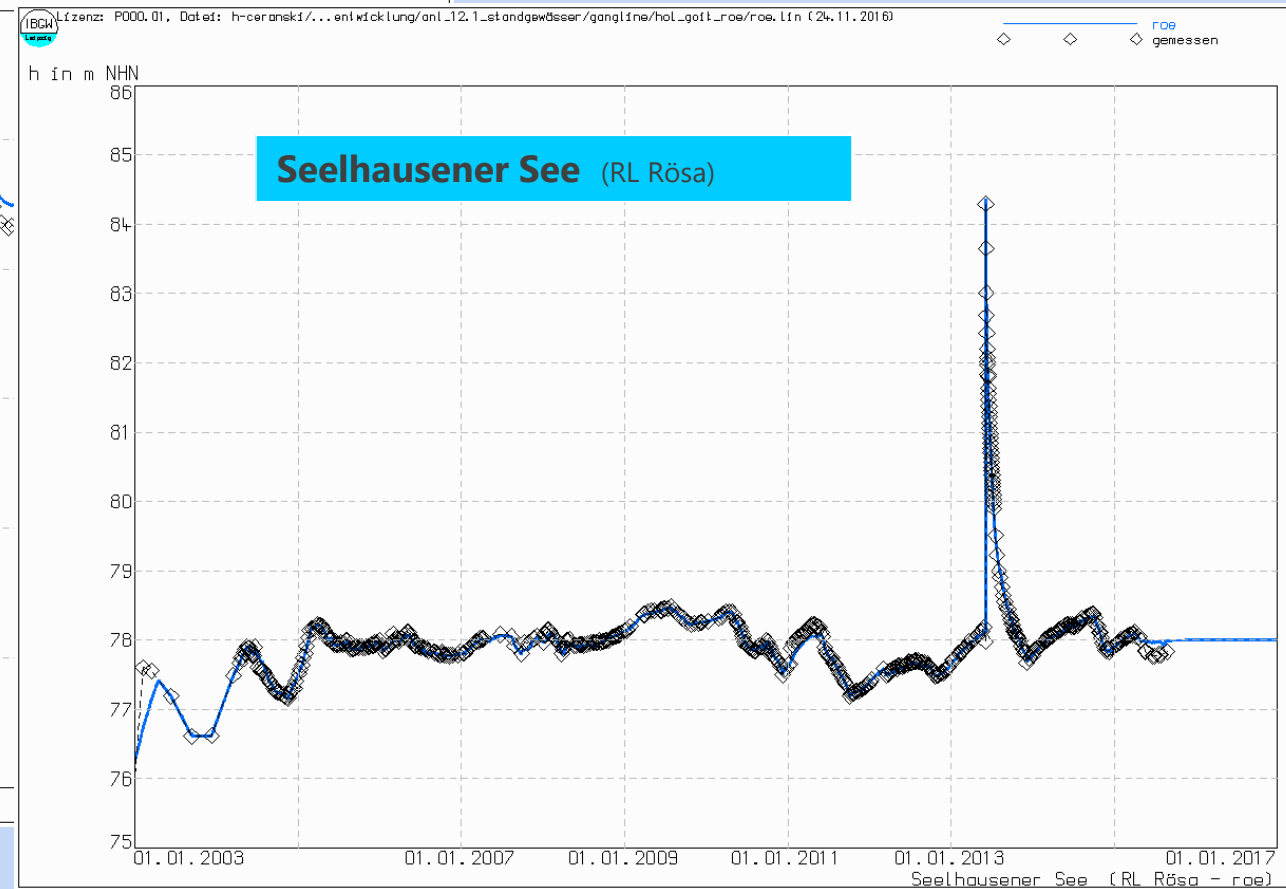
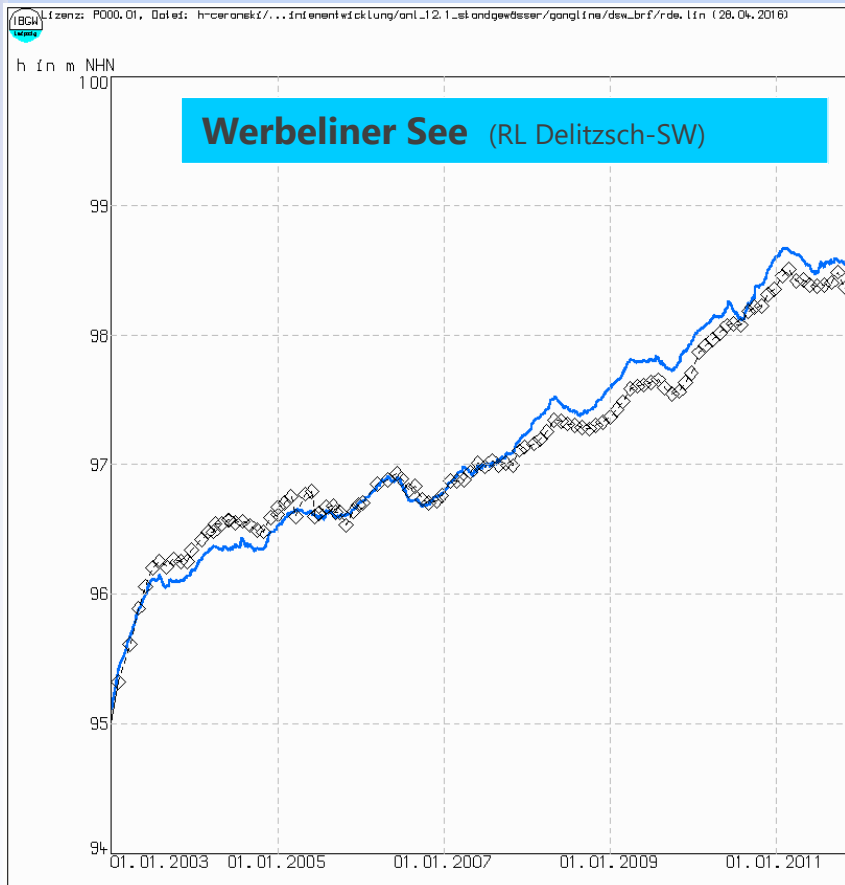
„stationärer“ Prognosezeitraum 2021–2081:

DWD P, EVAP Mittelwerte
Lysimeter GWN Mittelwerte

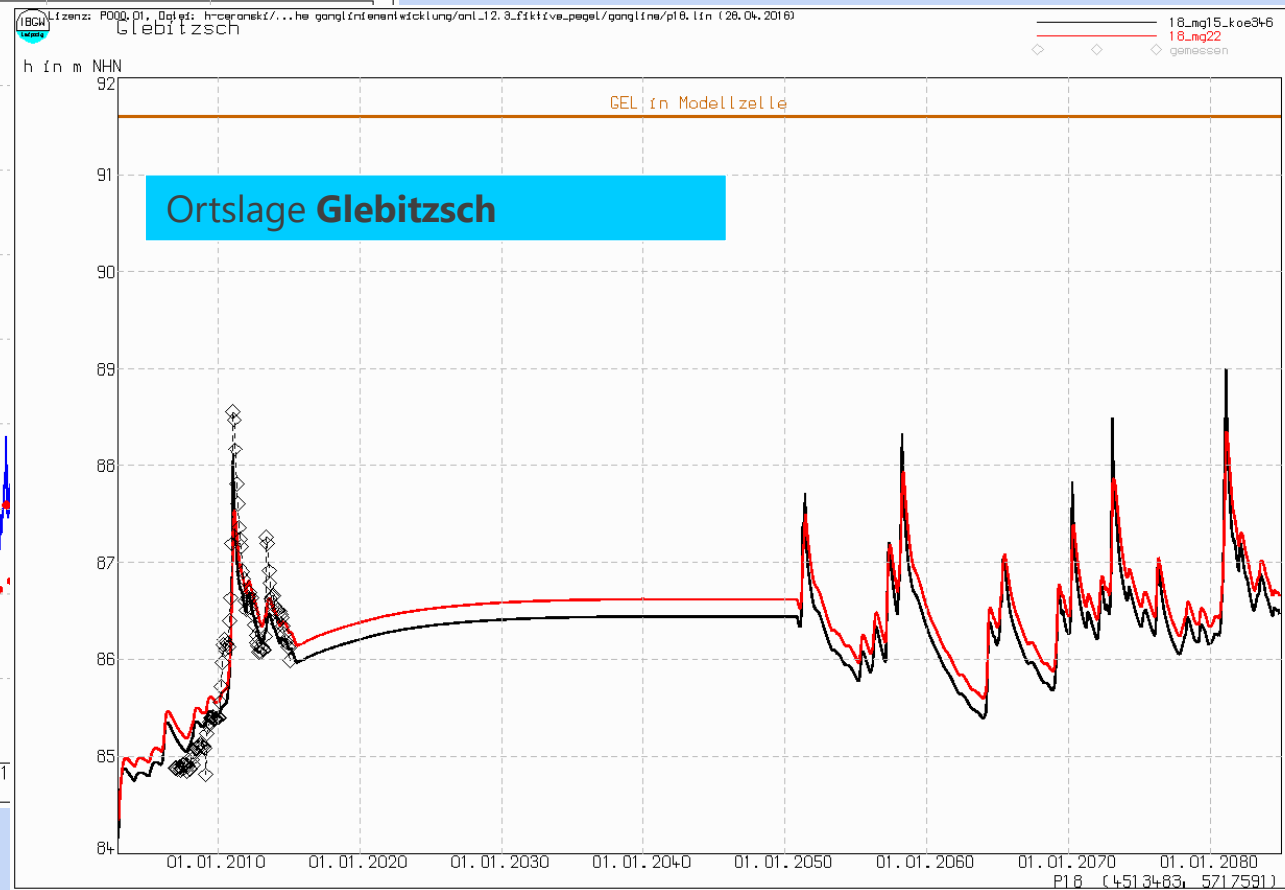
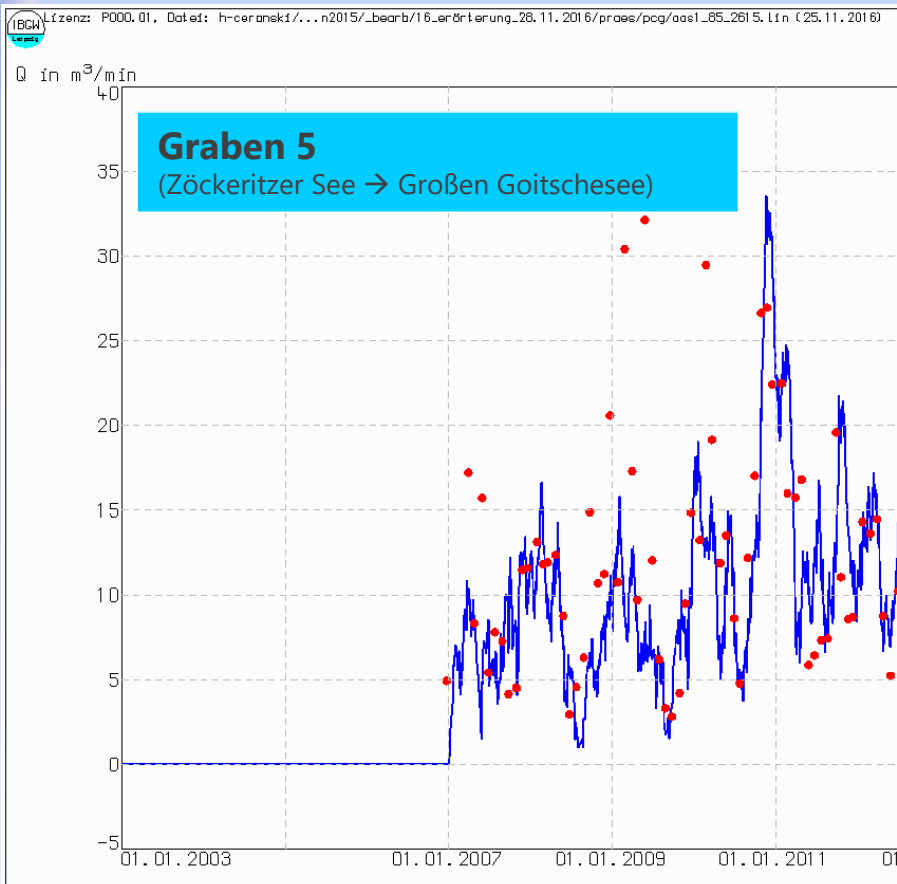
„instationärer“ Prognosezeitraum 2081–2120:

DWD P, EVAP täglich
Lysimeter GWN Monatswerte

Berechnungsergebnisse

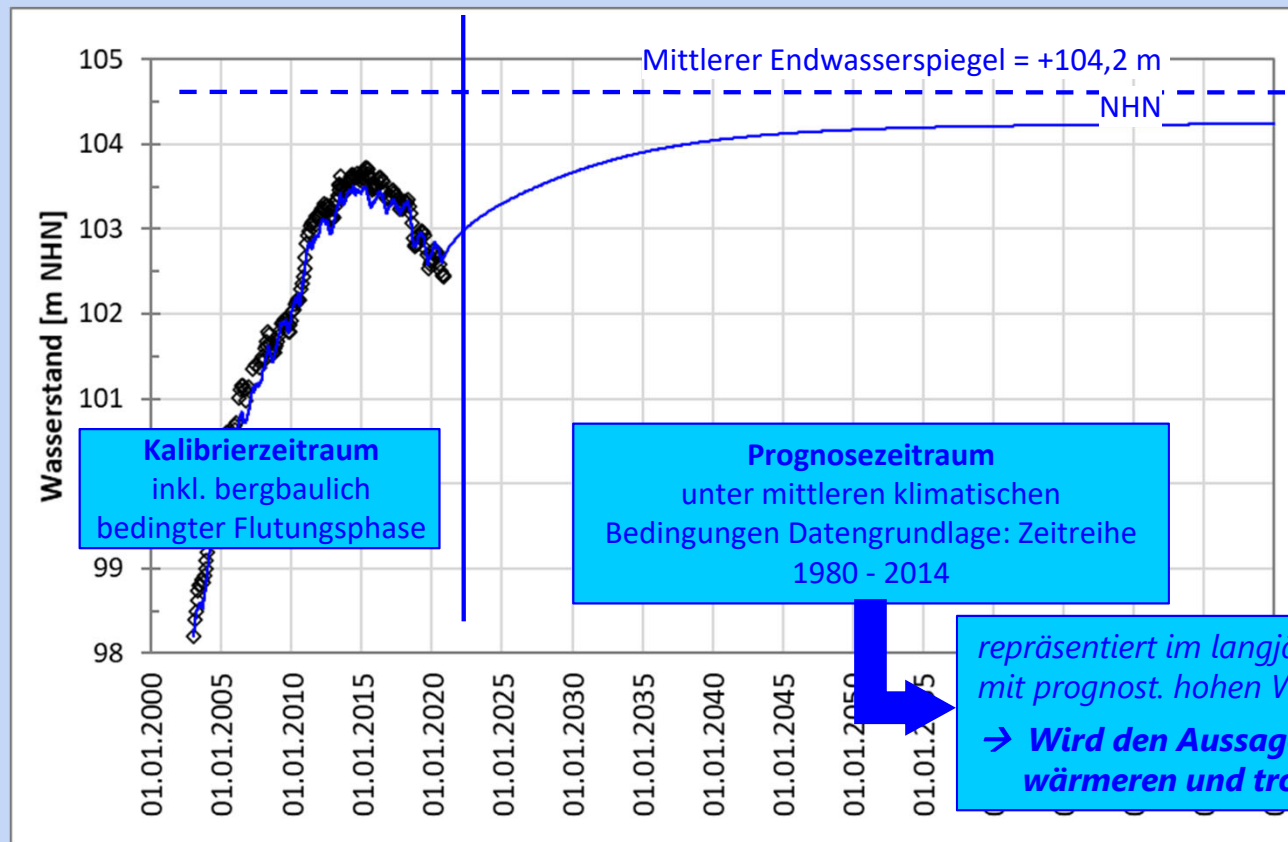


Berechnungsergebnisse



Berechnungsergebnisse – bisheriger klassischer Prognoseansatz

Prognostische Seewasserstandsentwicklung



Annahmen für Prognose:

- Berechnung langfristiger Prognosen auf Grundlage langjähriger klimatischer Mittelwerte der Klimareihe 11/1980 – 10/2014
- Annahme: Die zukünftigen klimatischen Verhältnisse entwickeln sich wie die vorangegangenen
- **Keine Berücksichtigung von Klimaprojektionen u. Trends**

Modellvarianten

methodisch vereinfachter Ansatz auf der Basis: „Was haben wir bereits gemessen und beobachtet!“

▪ Ziel:

- Anpassung Prognoseansatz - Abbildung der Tendenz hin zu zunehmend wärmeren und trockeneren Verhältnissen
- Erfassung der Bandbreite an sich zukünftig wahrscheinlich einstellenden wasserhaushaltlichen Bedingungen
- belastbarere Prognoseaussagen zur zukünftigen Entwicklung des Seewasserstandes / Überschussmengen

▪ Methodisch vereinfachter Ansatz – Prognoserechnungen auf Basis folgender Zeitreihen:

- | | | | |
|----------------|------------------------------|---|---|
| • Variante 30t | 30-jährige Reihe (1991–2020) | → | <i>aktuelle DWD-Referenzperiode</i> |
| • Variante 10t | 10-jährige Reihe (2011-2020) | → | <i>entspricht in etwa dem politischen Klimaziel (RCP2.6, +1,5K*)</i> |
| • Variante 3t | 3-jährige Reihe (2018-2020) | → | <i>ist mit +2,2 K* noch immer deutlich kälter als im „Weiter-wie-bisher“-Szenario (RCP8.5, +5 K* im Jahr 2100) projiziert</i> |

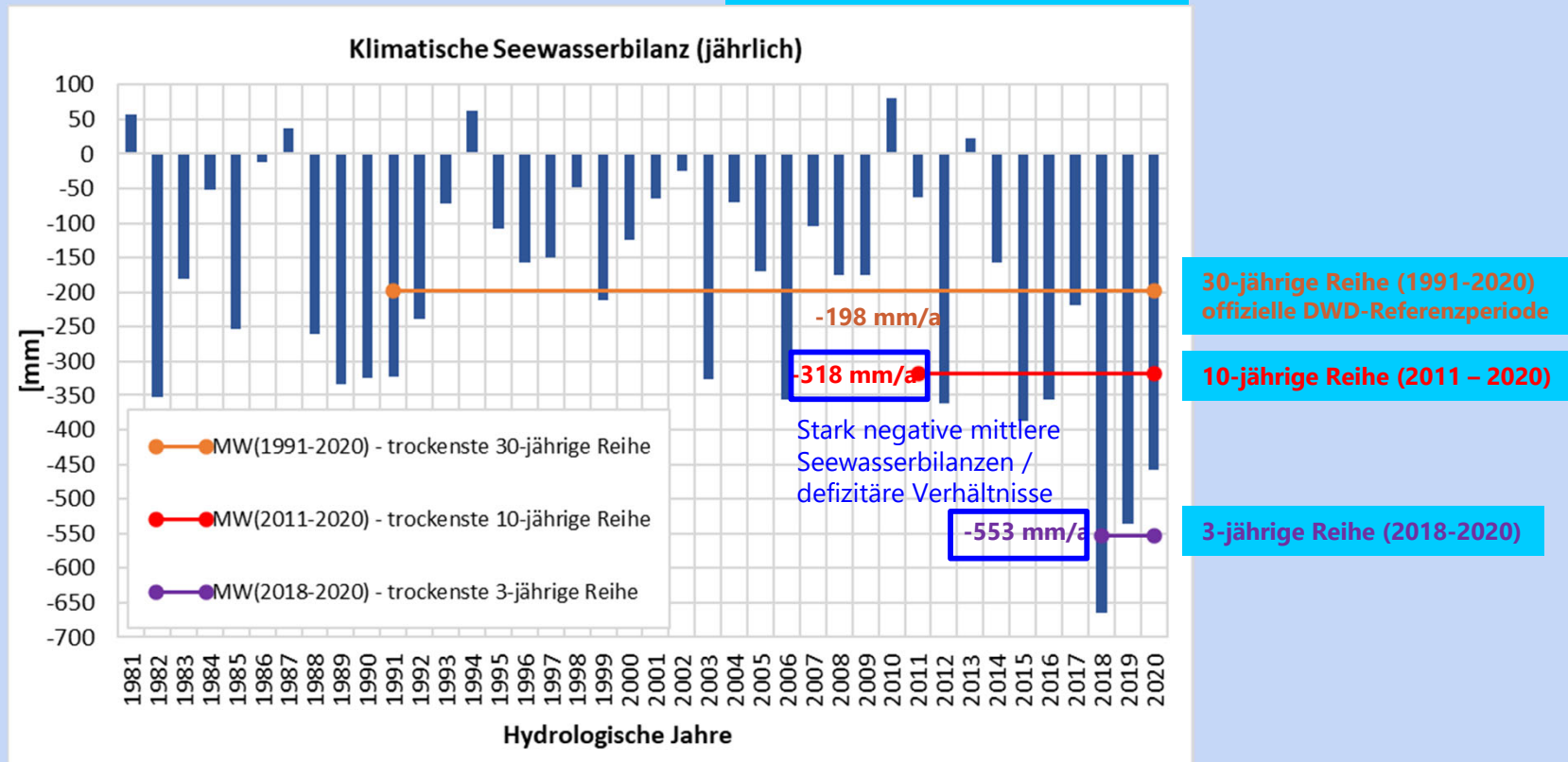
[Einordnung gemäß Stellungnahme Landesdirektion Sachsen]

**gegenüber der Klimareihe 1961-1990*

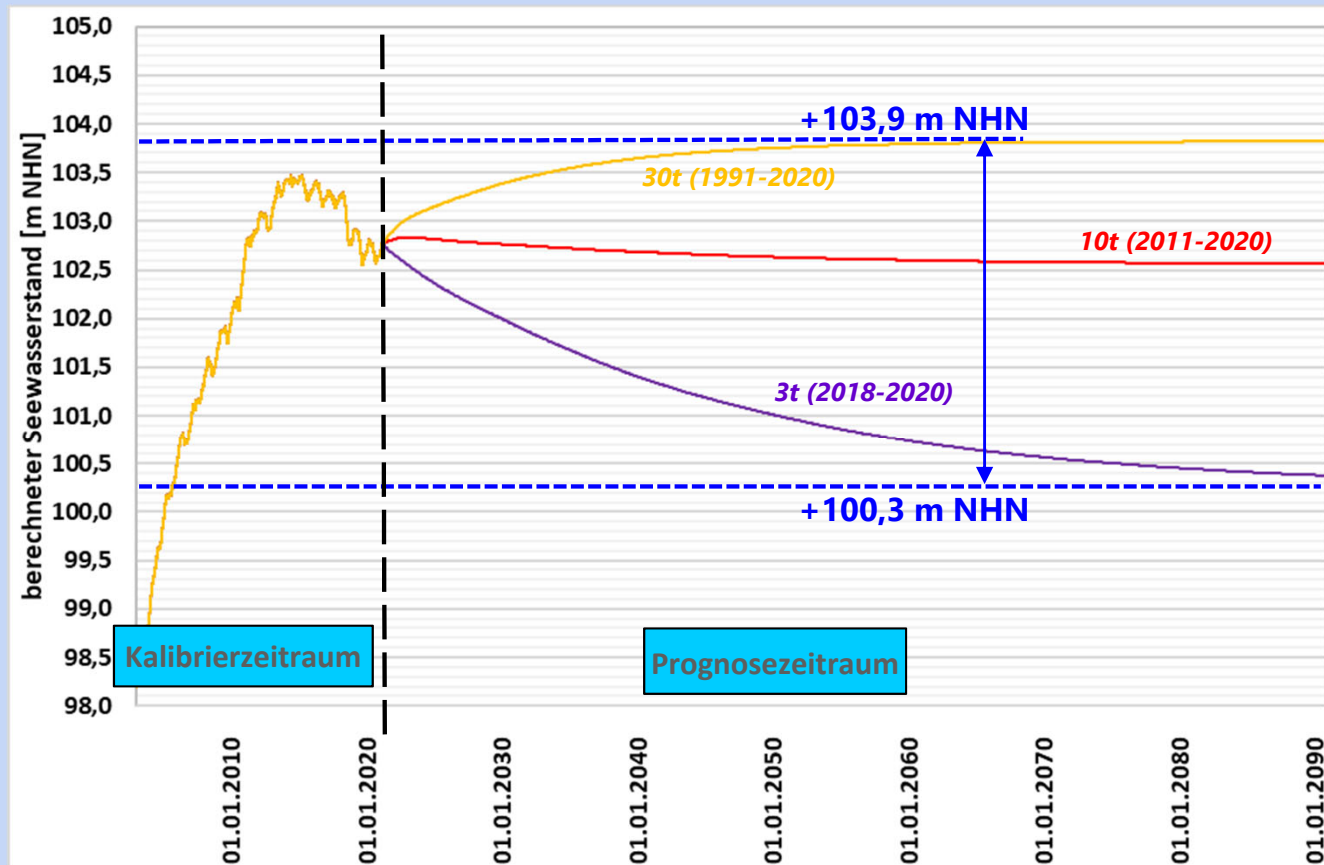
Modellvarianten

Vereinfachter methodischer Ansatz

Klimatische Seewasserbilanz =
Niederschlag minus Seeverdunstung



Berechnungsergebnisse zur prognostischen Seewasserstandsentwicklung



Variation um 3,6 m
in Abhängigkeit von der zugrundeliegenden klimatischen Randbedingungsansätze

Folgen für die weitere Planung

- Standsicherheit der Böschungen
- Probleme der Zugänglichkeit von Uferbereichen
- öffentliche Nutzungsmöglichkeiten
- Abfluß in den Vorfluter
- Geplante Investitionen, etc.

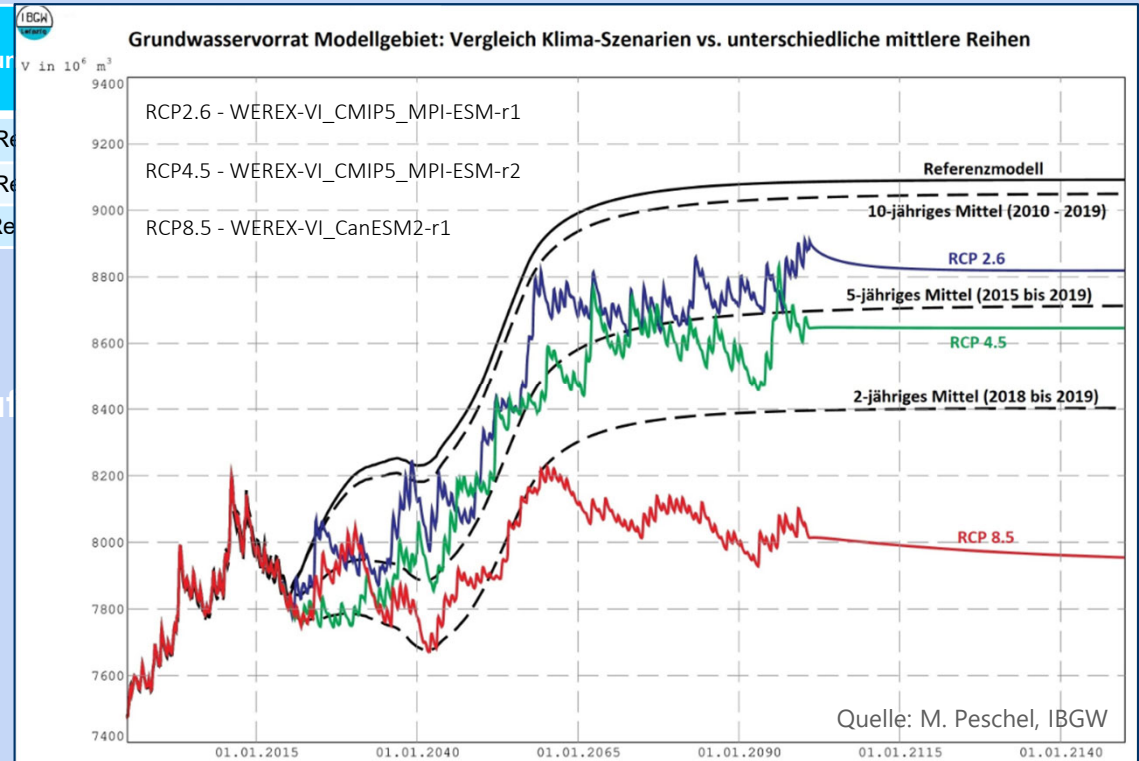


Zusammenfassung

Durchführung von Modellprognosen auf Grundlage ausgewählter vorangegangener Zeitreihen

Ziel: Abschätzung der langfristigen Entwicklung des regionalen Wasserhaushalts unter Berücksichtigung der zukünftigen klimatischen Verhältnisse

Kennzeichnung	Klimatische Datengrundlage für die Prognoserechnung unter mittleren Bedingungen	Erläuterung
30t	1991 - 2020	30-jährige Reihe
10t	2011 - 2020	10-jährige Reihe
3t	2018 - 2020	3-jährige Reihe



methodisch vereinfachter Ansatz - Unsicherheiten auf

Erste Einschätzungen möglich!

Kein Ersatz für Berechnungen mit regional begründeten Klimaprojektionen!

Wasserhaushaltsmodelle sind wichtige Hilfsmittel/ digitale Werkzeuge

zur Analyse und Beschreibung historischer (epignostischer) und derzeitiger (Ist-) Zustände

zur Prognose von zukünftigen hydrologischen Zuständen unter Berücksichtigung von (berg)baulichen und wasserwirtschaftlichen Planungen unter Beachtung verschiedener klimatischer Zustände ggfs. auch Klimaprojektionen

zur Vorbereitung von Planentscheidungen des Unternehmers und als Grundlage von behördlichen Entscheidungen im Abwägungsprozess eines Verfahrens

Notwendigkeit der interaktiv gekoppelten Modellierung aller Komponenten des Wasserhaushaltes

- *Bodenwasser*
- *Oberflächenwasser*
- *Grundwasser*

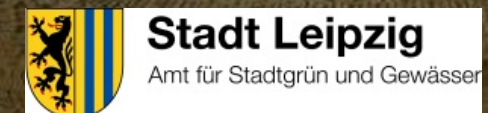
unter Beachtung klimatischer Einflüsse.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Prof. Dr.-Ing. Holger Mansel

**(öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für
Montanhydrologie)**



Januar 2017