

## 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

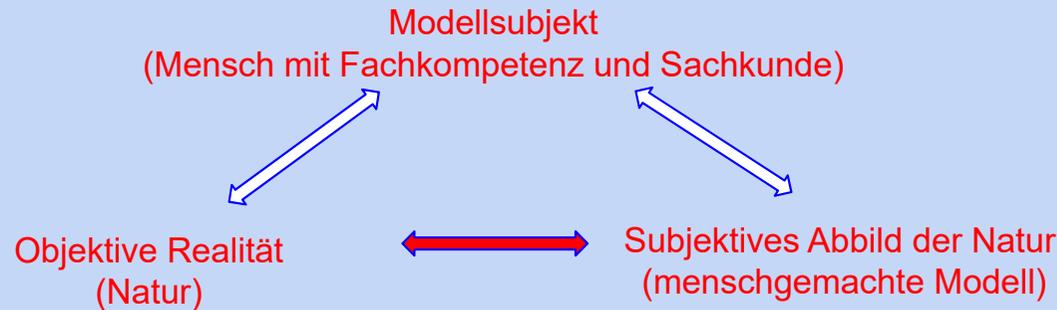


Büro für Angewandte Hydrologie GmbH



## Was sind Modelle ?

**Modelle sind durch den Menschen nachempfundene Abbilder der Natur.**



## Was sind Grundwasser-Modelle ?

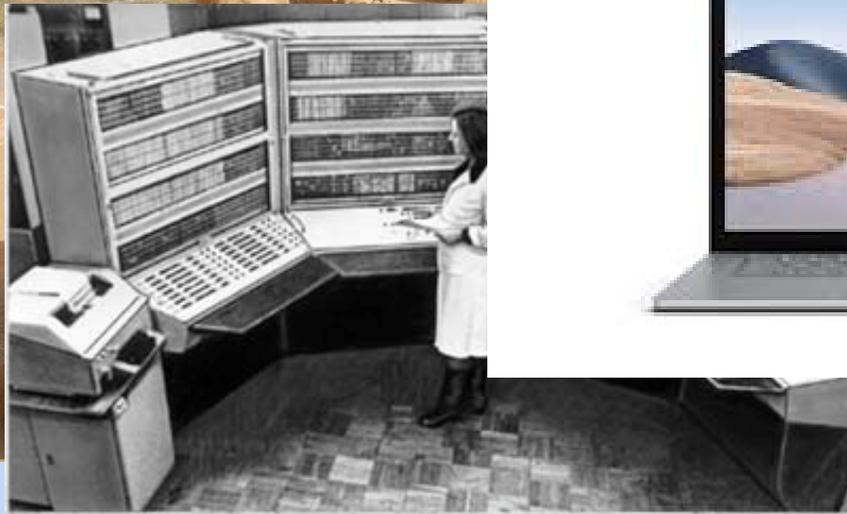
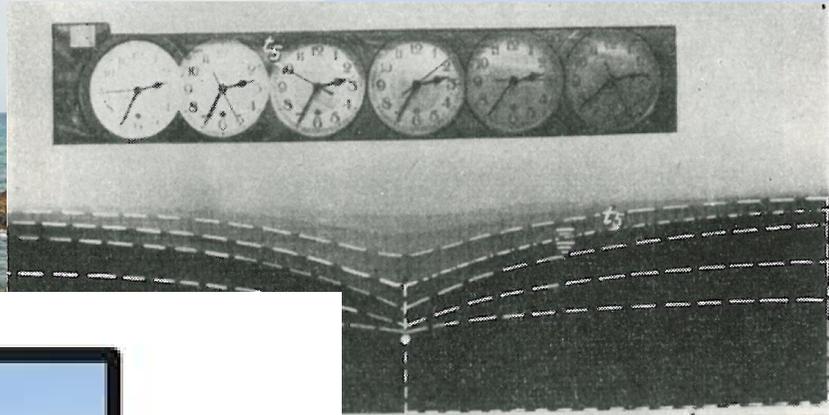
**Grundwasser-Modelle sind mathematische Werkzeuge zur Berechnung von Grundwasserströmungen im Untergrund (abhängig von anderen Komponenten des Wasserhaushaltes).**

**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

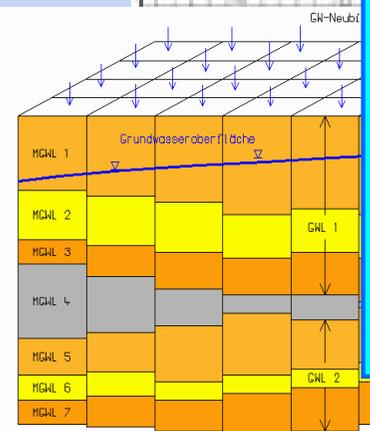
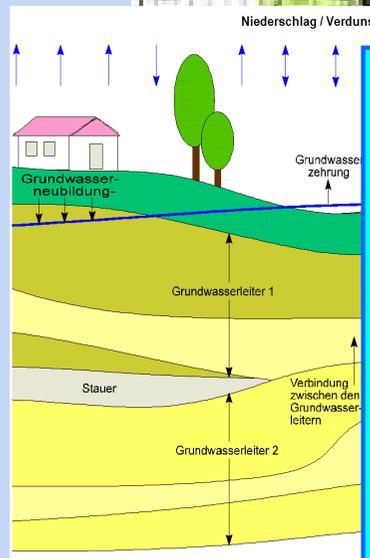


## Berechnungsmethodik numerischer GW-Modelle

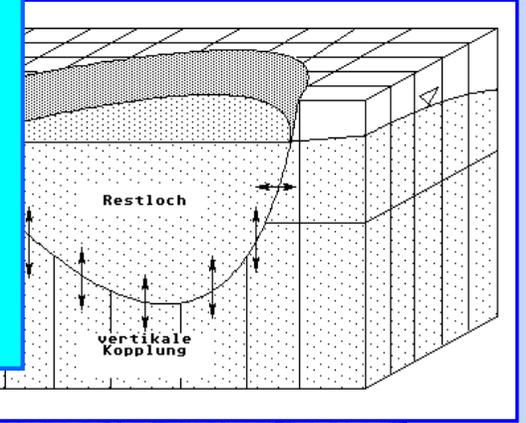
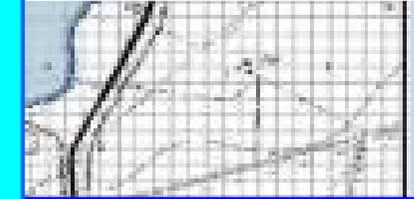
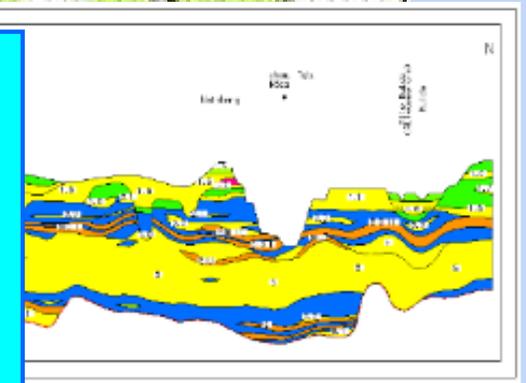
**Das Programmsystem PCGEOFIM® ist ein behördlich anerkanntes Berechnungsprogramm für die Prognose der GW-Dynamik und GW-Beschaffenheit, speziell in bergbaulich beeinflussten Regionen und hat sich in den Bergbaugebieten Mitteldeutschlands und der Lausitz bereits als Standard durchgesetzt.**

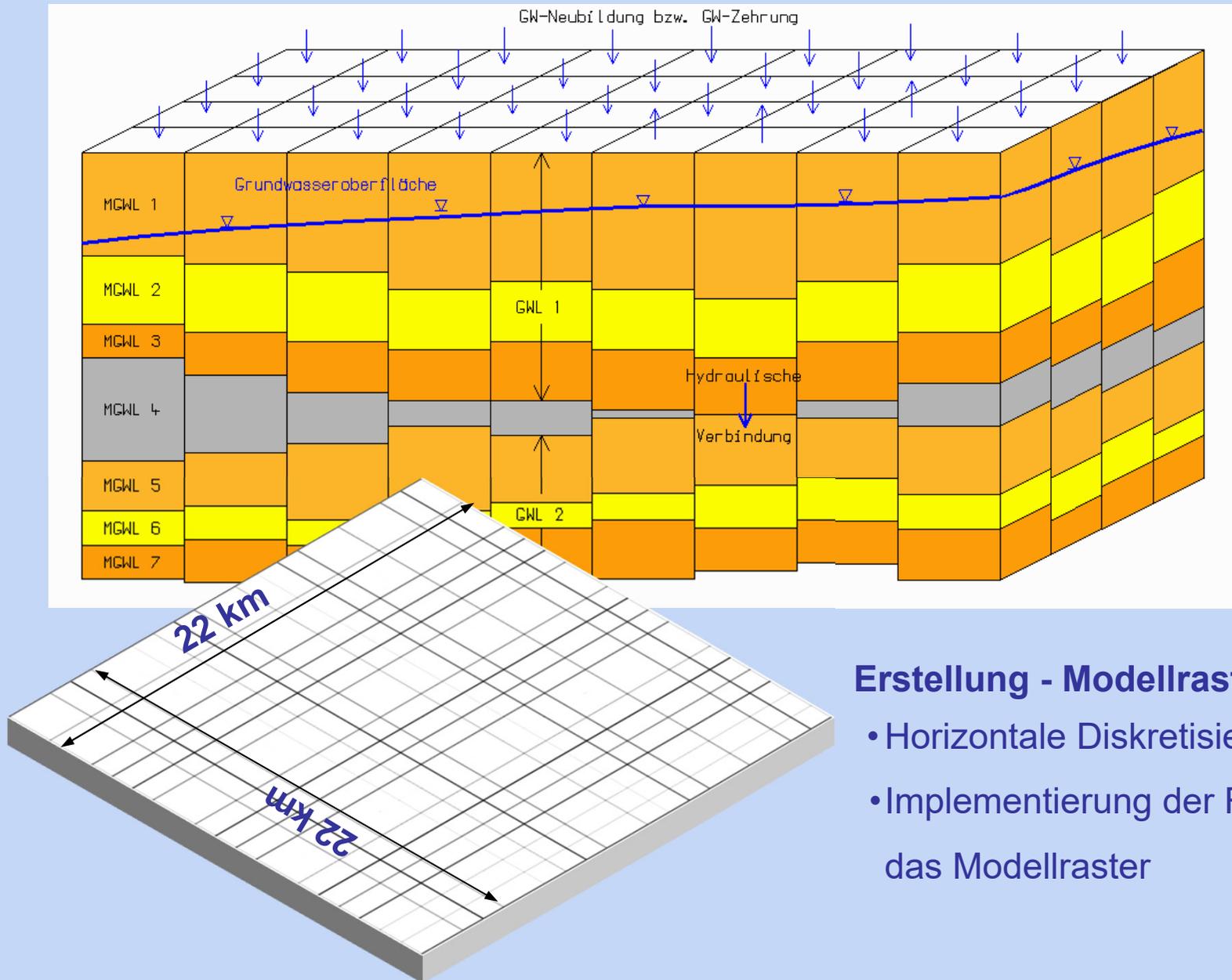
**Es wird durch die IBGW GmbH selbst angewendet, ständig praxisbezogen weiterentwickelt und exklusiv vertrieben.**

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



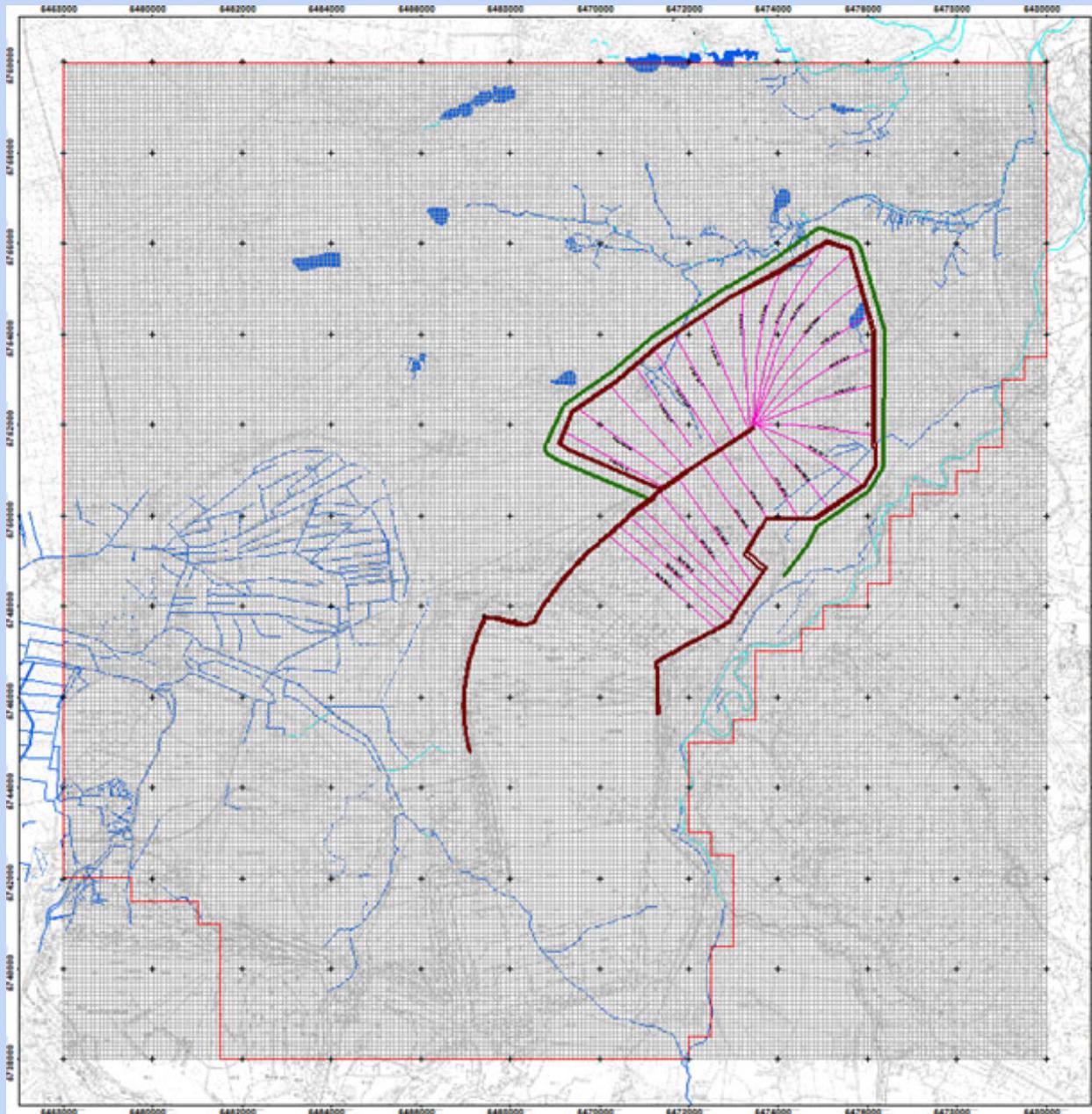
■ 93 mNHN  
■ 94 mNHN





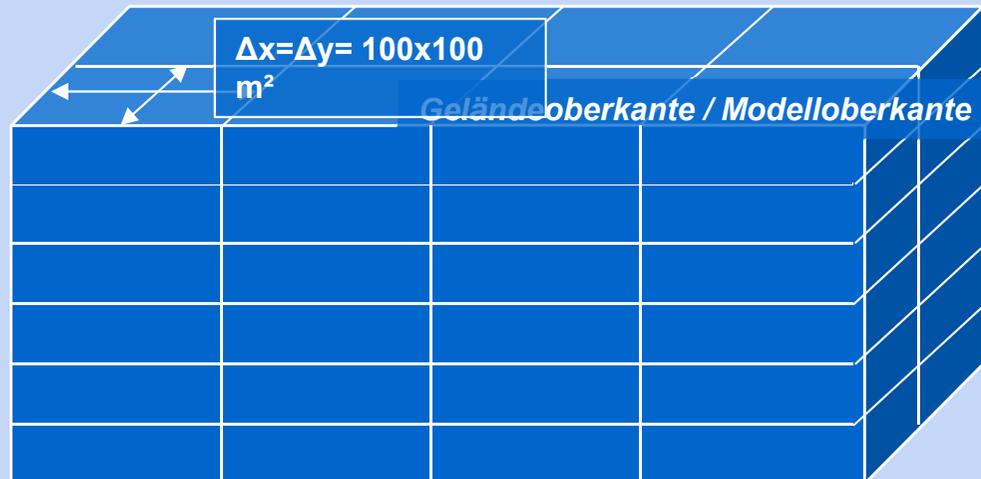
## Erstellung - Modellraster

- 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

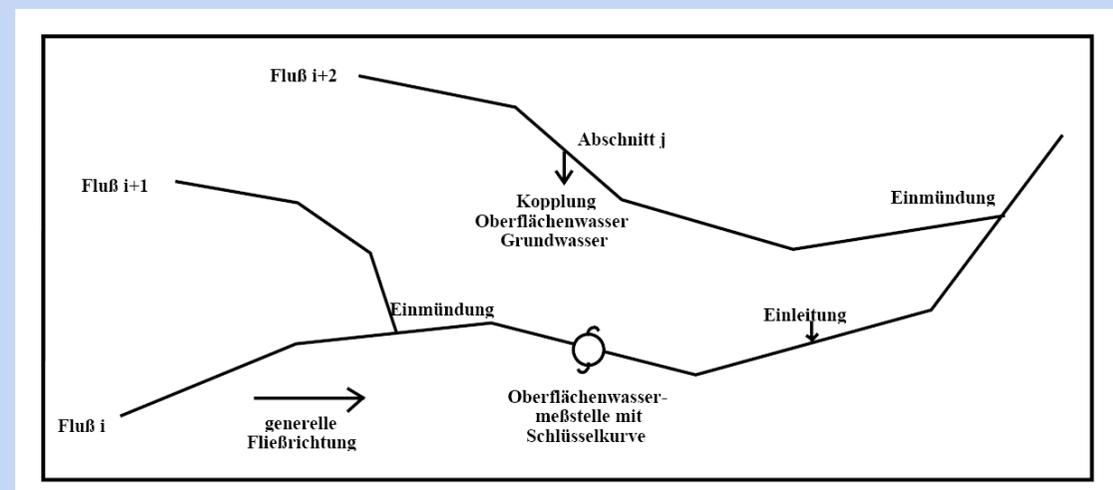
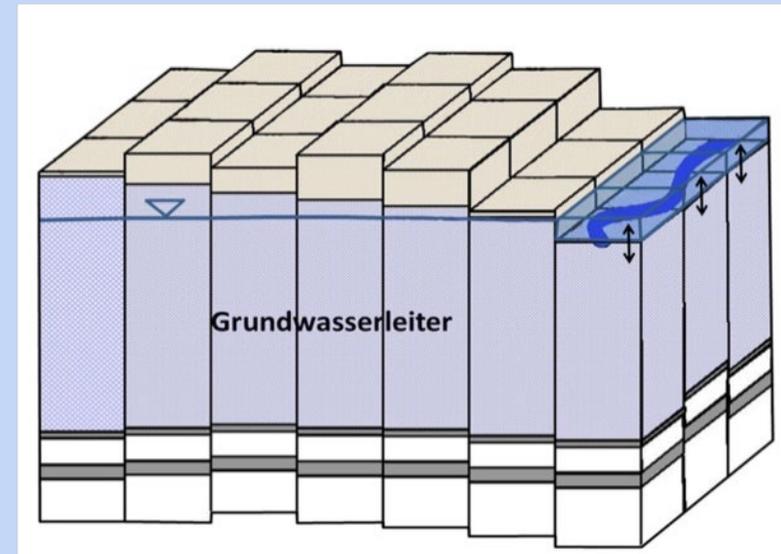
### RB 3. Art – Oberflächengewässer:

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

## Spezielle Randbedingungen im Grundwasserströmungsmodell

### Fließgewässer:

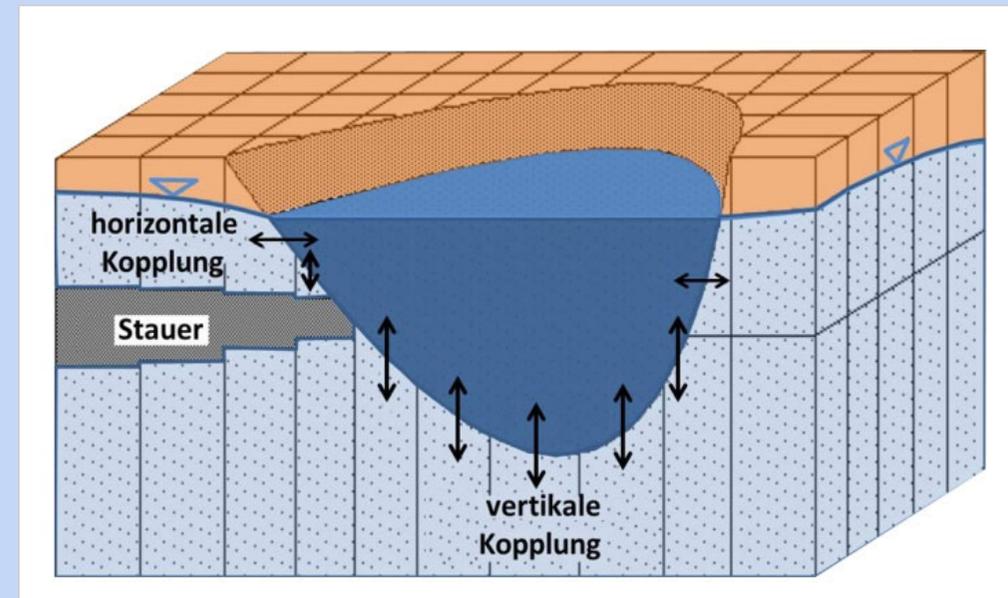
- RB Fließgewässer:  
Gekoppelte Randbedingung 3. Art, d.h.  
 + Fluss- u. GWstand bedingen sich in  
 Abhängigkeit d. Kolmation gegenseitig  
 + Flusswasserstand ergibt sich gemäß  
 W-Q-Beziehung von Manning-Strickler  
 → nur Basisabfluss, kein Zwischen- u.  
 Oberflächenlandabfluss

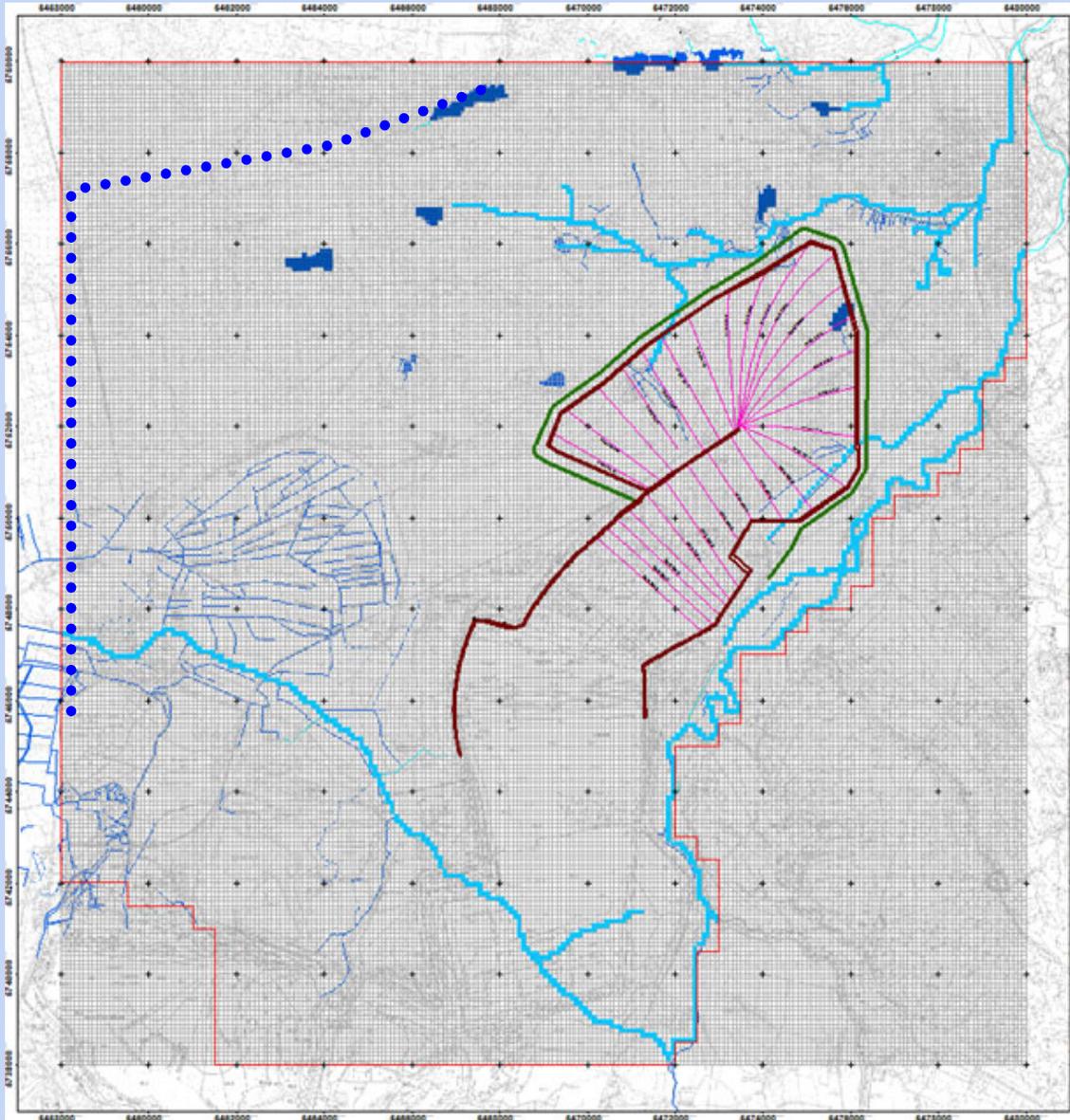


## Spezielle Randbedingungen im Grundwasserströmungsmodell

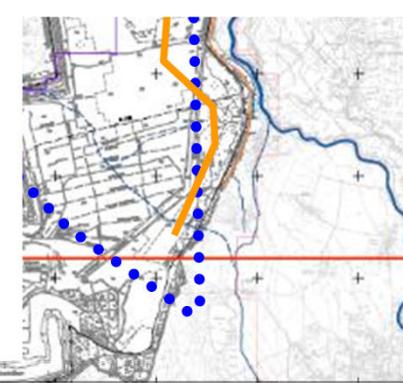
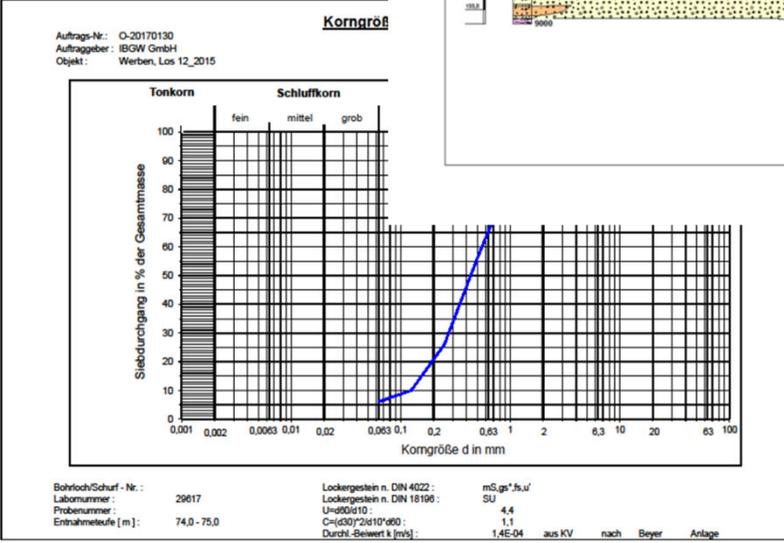
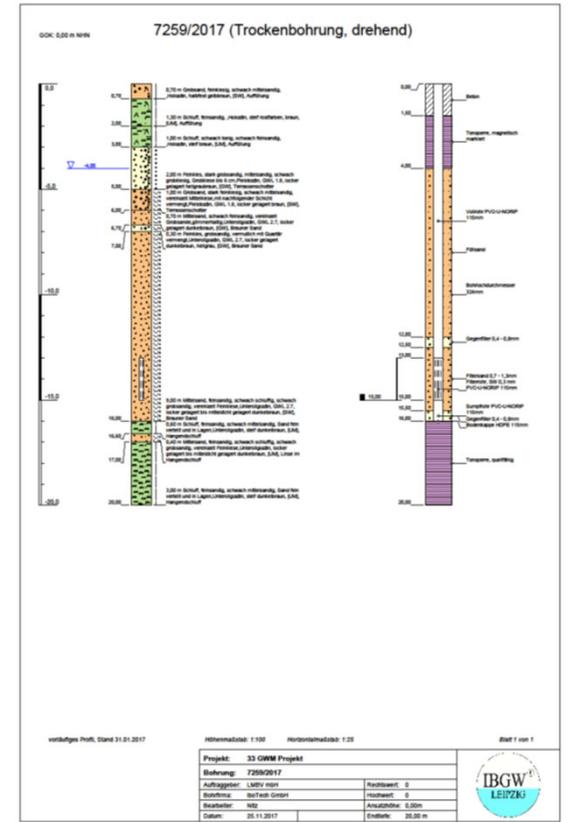
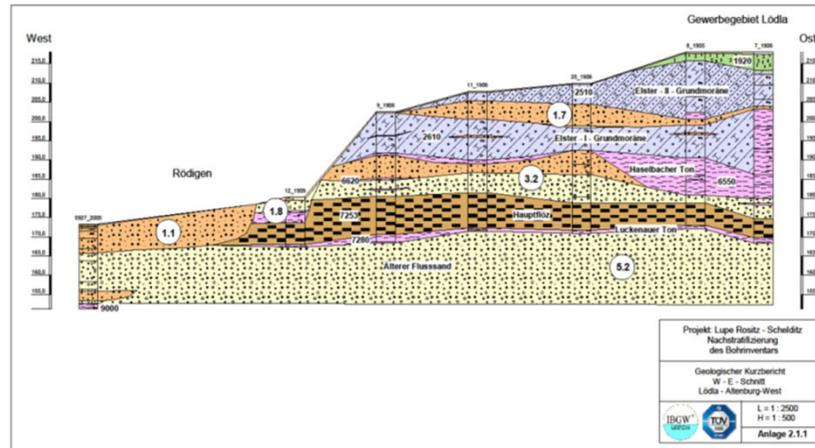
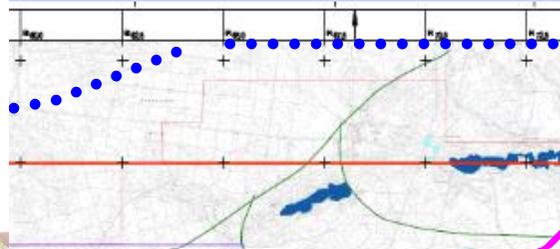
### Standgewässer:

- 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 (Taubenkeller Sande)	Nachschütlbildg.	1210	1920	1
		gf Wd/Berliner (Urvonats)	Nachschütlbildg.	1220	1930	1
gl Wb		Beckenbildung		1960	1	
gl Wv		Grundmoräne		1970	2	
gl Wv		Beckenbildung		1980	2	
gf Wv	Vorschütlbildg.		1300	1990	3	
Eem Warmzeit	z E			2000	(4)	
	gf S3a-Wv	Nach- bis Vorschütlbildungen	1300	2051	3	
P L E I S T O Z Ä N	Saale Kaltzeit	gl S3a	Beckenbildung	2060	4	
		gl S3	Grundmoräne	2070	4	
		gl S3v	Beckenbildung	2080	4	
		gl S3v	signifikanter Schluff im G 150	2150	4	
		gf S2a-S3v	Nach- bis Vorschütlbildungen	1500	2151	5
		gf S2 (Transit-Fluv)	signifikanter Fluvial	1512	2155	5
		gl S2a	Beckenbildung	2160	6	
		gl S2	Grundmoräne	2170	6	
		gl S2v	Beckenbildung	2190	6	
		gl S2v	signifikanter Schluff im G 150	2200	6	
		gf S2v	Vorschütlbildg.	1500	2211	7
		gl S1a	Beckenbildung	2360	7	
		gf S1a	Nachschütlbildg.	1500	2370	7
				2370W	7	
		gl S1	Grundmoräne	2410	8	
gl E2a-S1v	Beckenbildung	2420	8			
gf S1v	Vorschütlbildg.	1600	2430	9		
Holstein Warmzeit	h H			2440	9	
	gf E1a-S1v	Nach- bis Vorschütlbildungen	1600	2482	9	
Elster Kaltzeit	gl E1	Grundmoräne	2510	10		
	gl E1a-E2v	Beckenbildung	2540	10		
	gf E1a-E1v	Nach- bis Vorschütlbildung	1700	2571	11	
	gl E1	Grundmoräne	2610	11		
	gl E1v	Beckenbildung	2640	11		
gf E1v	Vorschütlbildung	1900	2660	11		
2. Sondernummern (Quartär)						
Sonstige	Ungegliederte Tertiar-sedimente, ungliedert					
	Bräunkohle		3010			
	Sande		3020			
	Schluffe/Tone		3030			

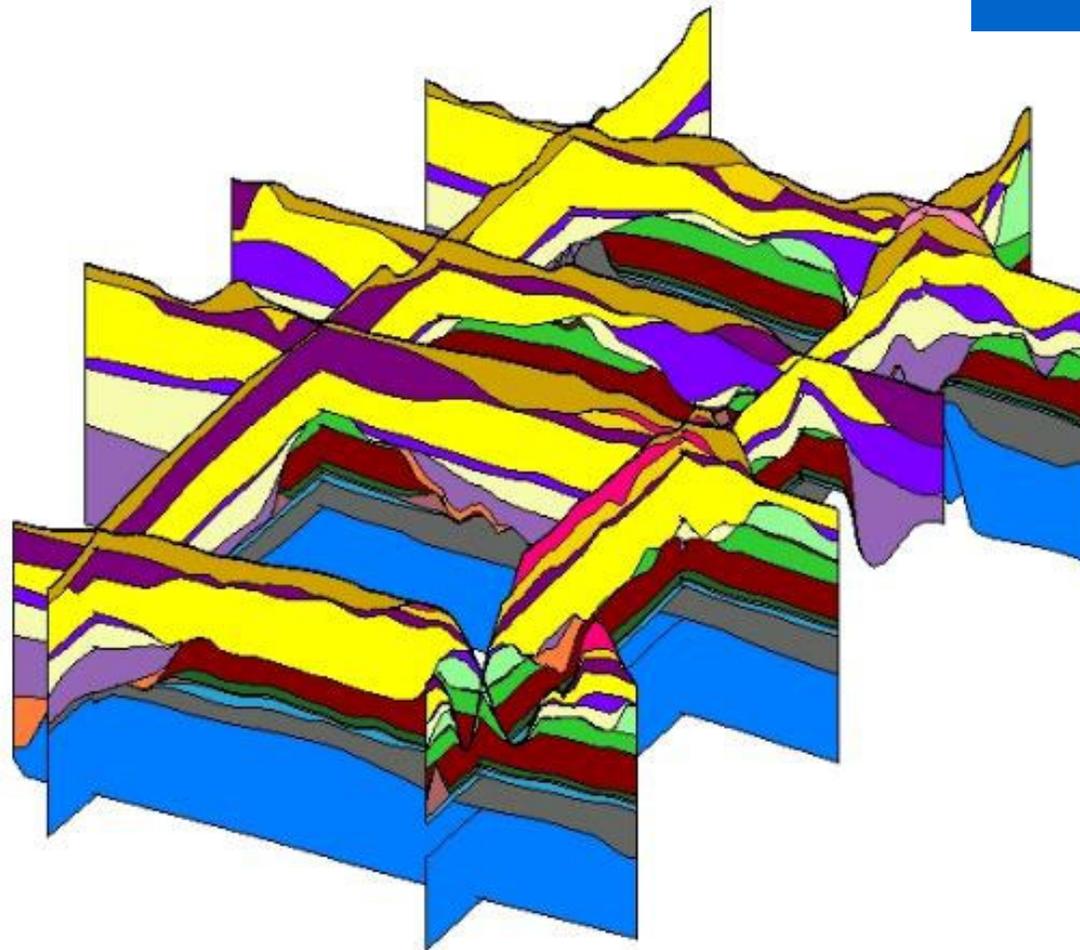
3. Tertiär/Prätertiär							
REGIONAL GLEDERG	LITHOSTRATIGRAPHISCHE EINHEIT	Schlüsselnummer		Modellschicht „Jawa-Nord“ MG-Nr.			
		GWL FLOZ	STRAT.-NR.				
M I O Z Ä N	R	Sedimente, allgemein		3896			
		Sande (GWL 322)		4020	12		
		Überbegleiter MF2		4070	13		
		Sande (GWL 410)		4100	14		
		Hängendschluff 1		4210	15		
		Sande (GWL 430)		4200	15		
		Hängendschluff 2		4240	15		
		Sande (GWL 430)		4300	15		
		Hängendschluff 3		4260	15		
		Sande (GWL 440)		4400	15		
		Flößbank 1		MF21	4300	15	
		B R I E S K E R	Wabrowe Schichten mit 2.LFH	Zwischenmittel 1:			
				Liegendschluff Flößbank 1		4310	15
				Sande (GWL 451)		4510	15
				Hängendschluff Flößbank 2		4330	15
Jüngster Hornöser Mäander (JHM)				4330	15		
Flößbank 2				MF22	4340	15	
Zwischenmittel 2:							
Liegendschluff Flößbank 2				4350	15		
Sande (GWL 452)				4530	15		
Hängendschluff Flößbank 3				4370	15		
Sonderentwicklung Hgd.schluff							
• Oberer Teil (Y-Peak)				4371	15		
• Sporadische Kohle				4372	15		
• Unterer Teil				4373	15		
Älterer Hornöser Mäander (AHM)				4374	15		
F O L G E	Drehkammer Schichten	Flößbank 3					
		a) Allgemein		MF23	4380	15	
		b) Sonderentwicklung (signifikanter Zwischenmittel)					
		• Oberer Teil		MF23	4383	15	
		• Signifikanter Mittel		4384	15		
		• Unterer Teil		MF23	4385	15	
		Liegendschluff Flößbank 3		4390	15		
		Sande (GWL 500)		5000	4400	16	
		Hängendschluff Unterbegleiter		4410	17		
		Unterbegleiter MF2		MF2U	4440	17	
		Liegendschluff Unterbegleiter		4450	17		
		Sande (GWL 611)		6110	4510	18	
		Schluff im Hängenden B 2 (B2H)		4530	19		
		Horizont B 2 (Leithorizont)		4560	19		
		Schluff im Liegenden B 2 (B2L)		4680	19		
Sande (GWL 622)		6220	4690	19			
Bachhainer Schichten mit 3.LFH	Bachhainer Schichten mit 3.LFH	Kohle im GWL 6220		4700	19		
		B1-Horizont (=Sauer 620/630)		4710	19		
		Sande (GWL 630)		6300	4720	19	
		Hängendschluff MF 3		4770	19		
		Oberbank MF3		MF31	4780	19	
		Zwischenmittel Unterbank MF 3		MF32	4820	19	

S P F / M O F	Löß-/Sand / Weichsel / Schichten mit 4.LFH	Schluffe / Tone		5110	19	
		Sande (GWL 7502)	7502	5162	20	
		Hauptbank MF4	MF42	5300	20	
		Liegendschluff Hauptbank		5310	20	
					20	
O L I	C O F	Cottbuser Schichten	Ölitzersande (GWL 8201)	8201	5601	20
			Gieseler-Sande (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



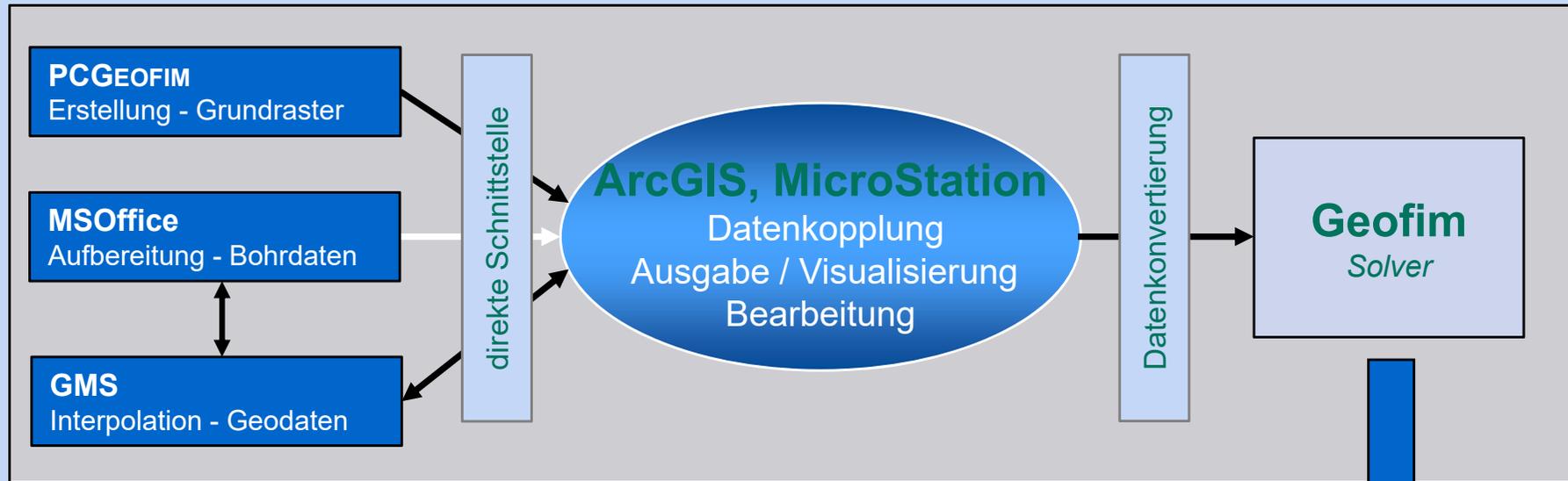
Materials

Grey	MG1_Holozaen
Pink	MG2_g W
Brown	MG3_GWL 130
Magenta	MG4_g S3
Yellow	MG5_GWL 140
Purple	MG6_g S2
Light Yellow	MG7_GWL 150
Dark Purple	MG8_g S1
Light Green	MG9_GWL 160
Light Blue	MG10_g E2
Orange	MG11_GWL 170-190
Light Green	MG12_GWL 300
Brown	MG13_OBGL MF2
Green	MG14_GWL 400
Red	MG15_MF2
Dark Green	MG16_GWL 500
Light Blue	MG17_UBGL MF2
Light Blue	MG18_GWL 600
Grey	MG19_MF3+MF4
Blue	MG20_GWL 700-800
Black	material_21

Z  
Lx

## Auswertung und Übergabe der Modellierungsergebnisse

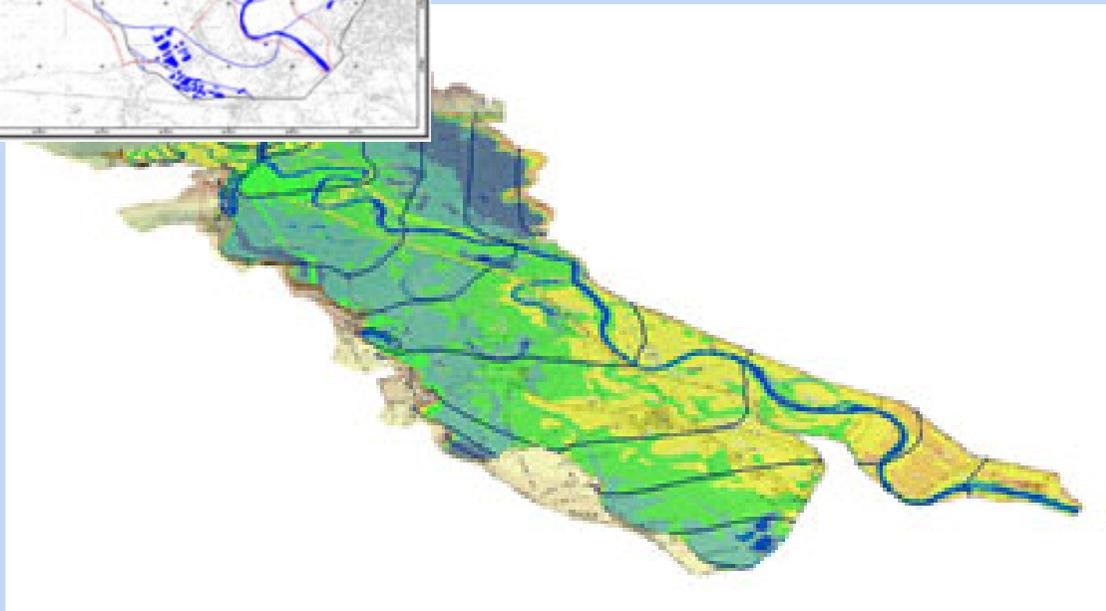
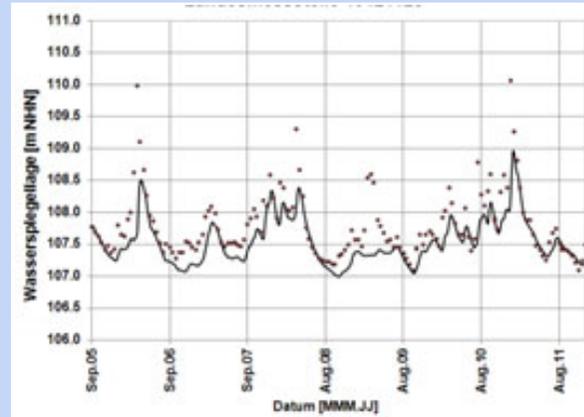
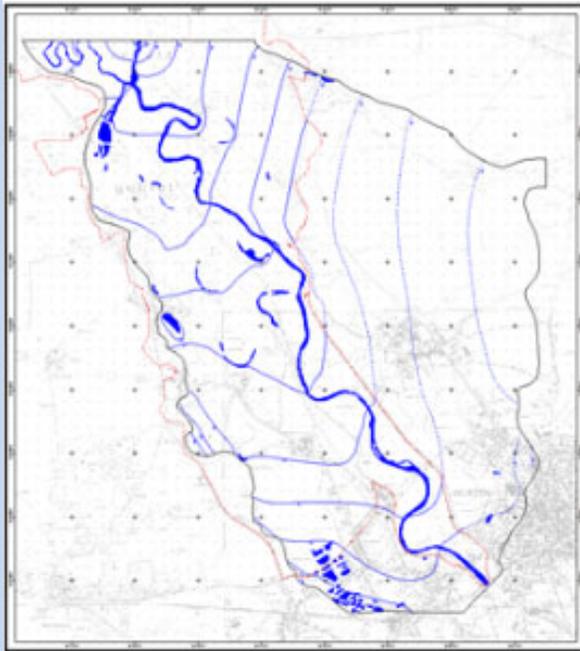
Preprocessing



Postprocessing



## Auswertung und Übergabe der Modellierungsergebnisse



Mögliche Darstellung der Modellergebnisse anhand fiktiver Beispiele

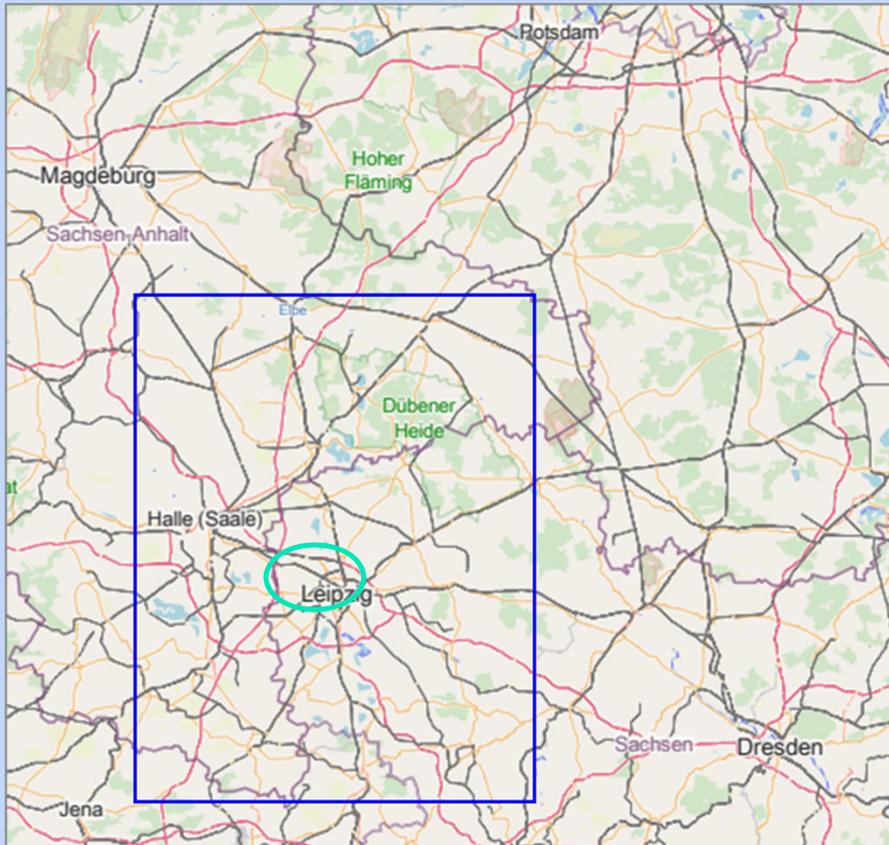
### Datenübergabeformate:

- 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

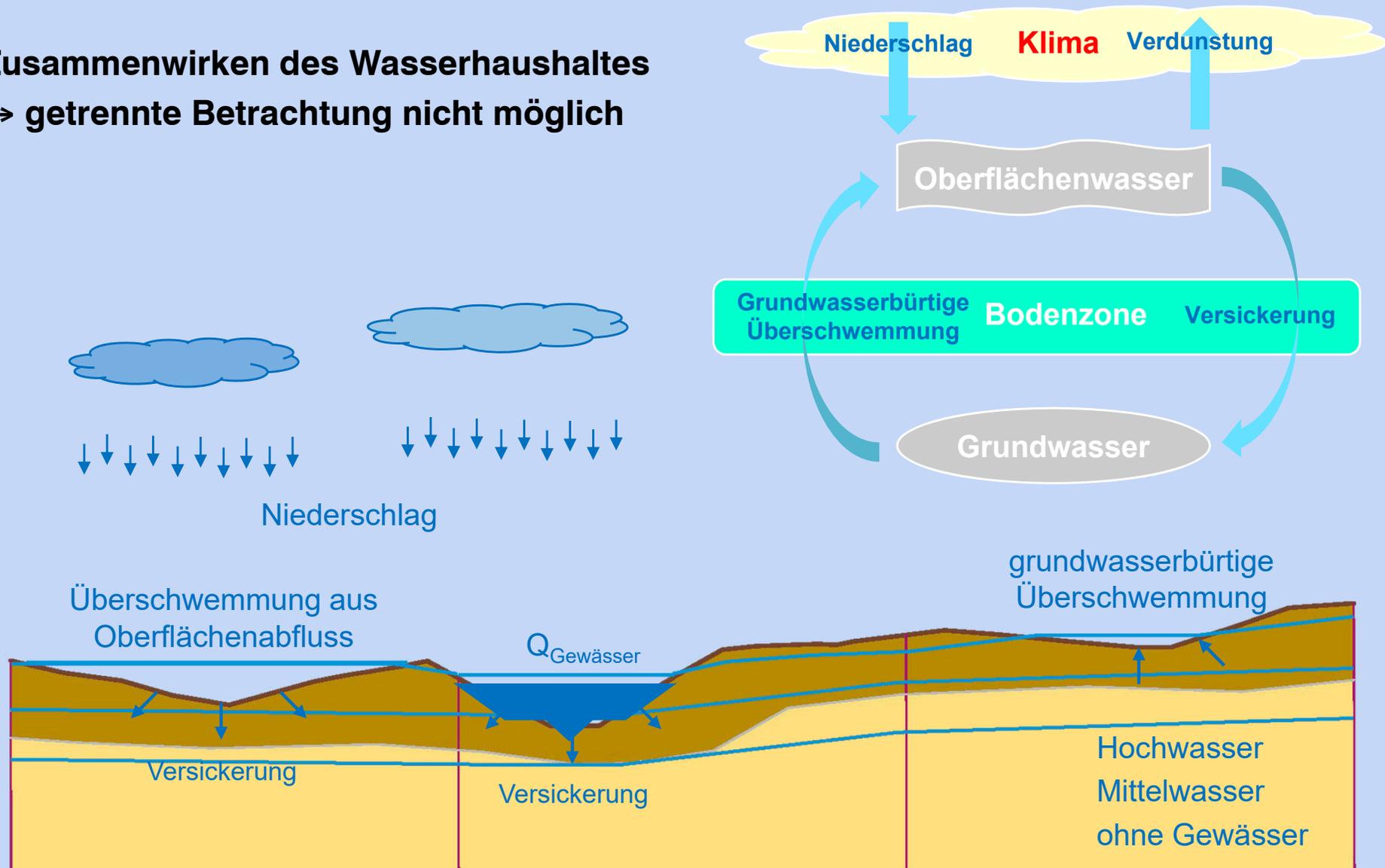
weg vom Natürlichen Zustand zum sehr stark veränderten urban geprägten  
Kulturraum



**Die aktuelle Generationenaufgabe:**

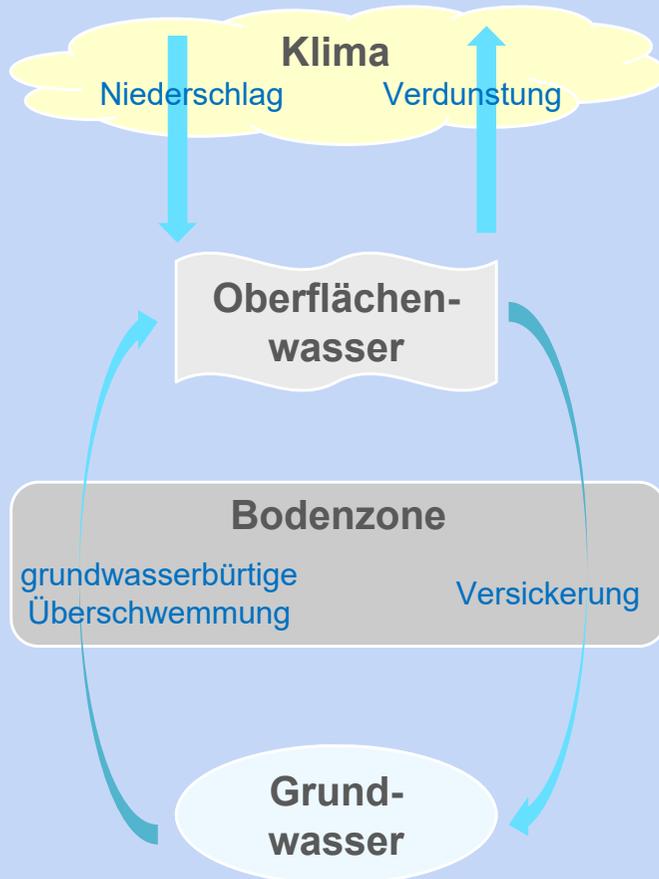
weg vom urban und technisch geprägten Nutzraum wieder zum Naturraum

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



## Zusammenwirken des Wasserhaushaltes

→ **Modellkopplung erforderlich**



### ArcEGMO

Klima

Bodenzone

- Simulation des Wasserhaushalts 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

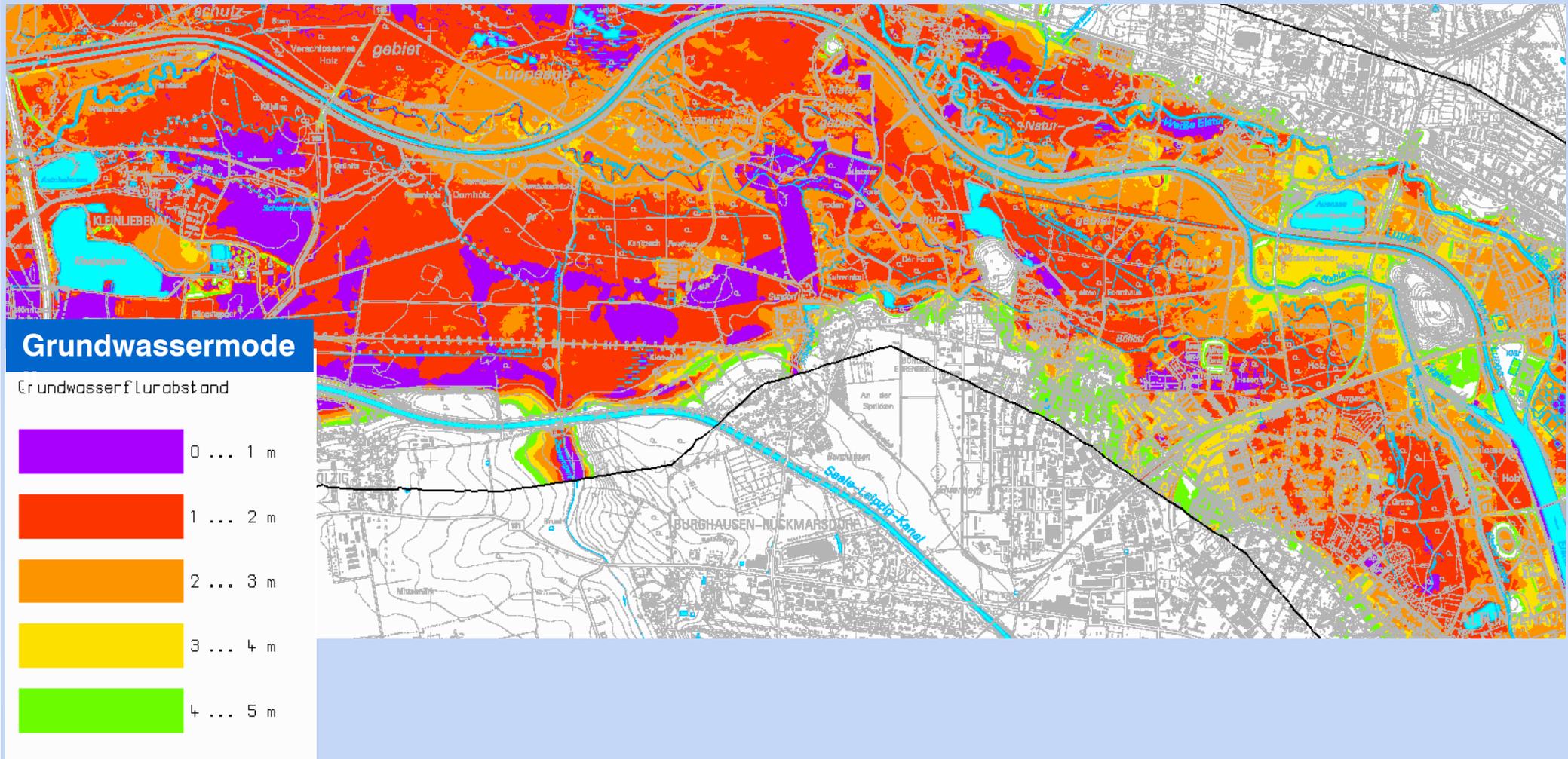
### PCGEOFIM

Grundwasser

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

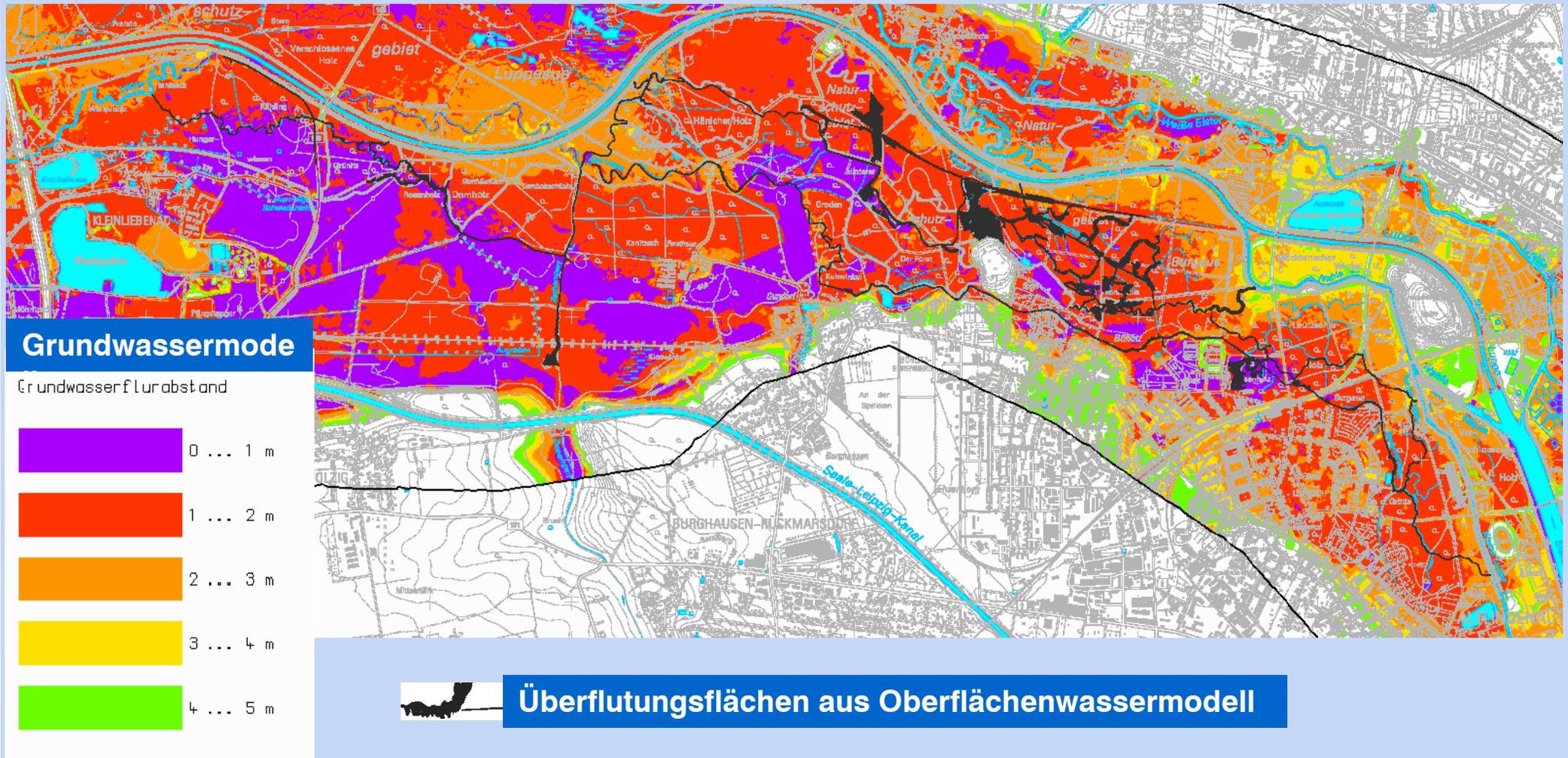
# Grundwasserflurabstand

## Vergleichszustand ohne Maßnahme Auenrenaturierung



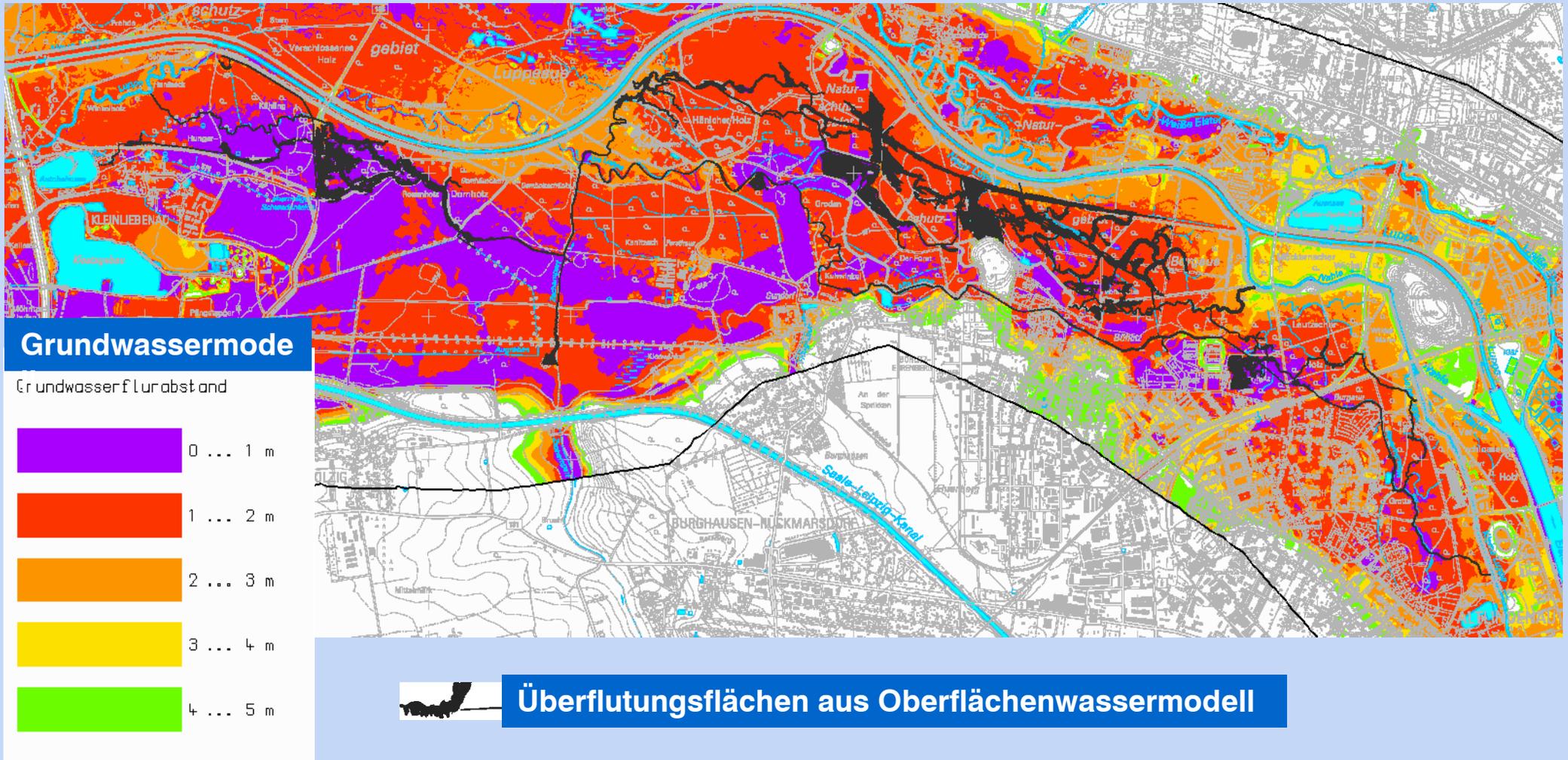
# Grundwasserflurabstand

## Mit Maßnahme Auenrenaturierung– Normalabfluss



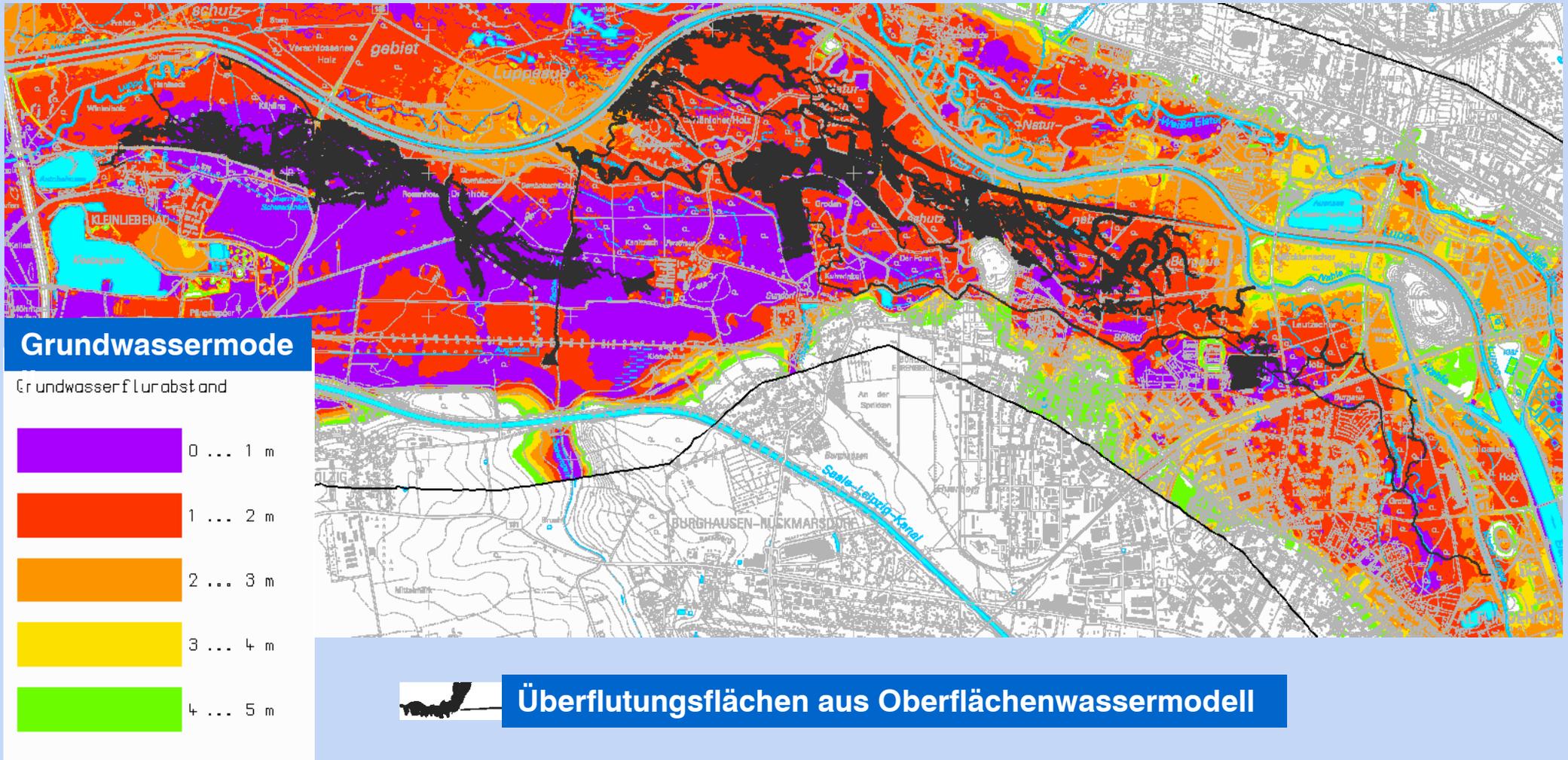
# Grundwasserflurabstand

## Mit Maßnahme Auenrenaturierung– erhöhter Abfluss



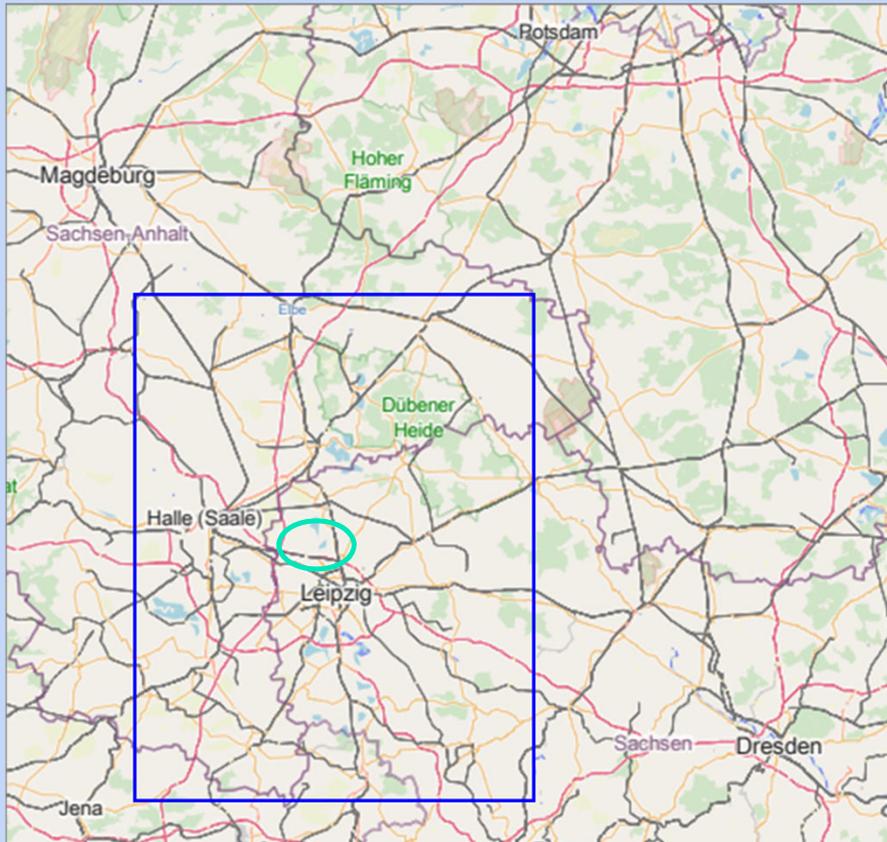
# Grundwasserflurabstand

## 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



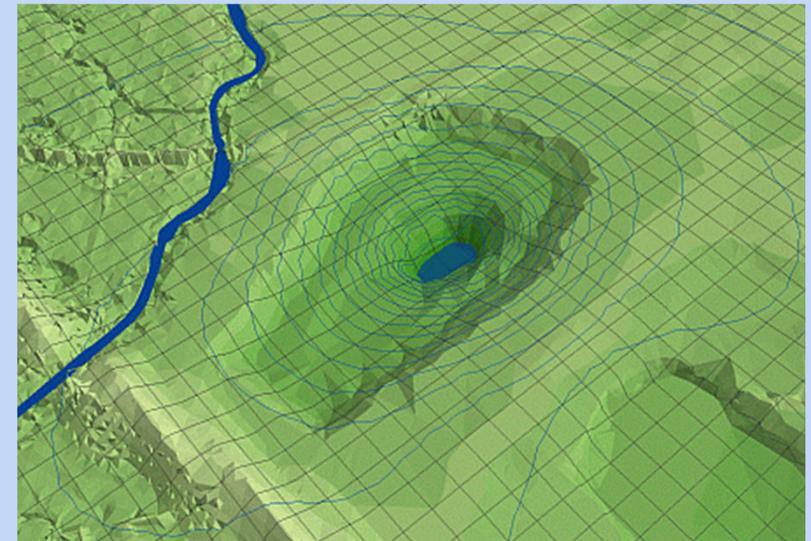
## Modellgrundlage

# Numerisches Grundwasserströmungsmodell

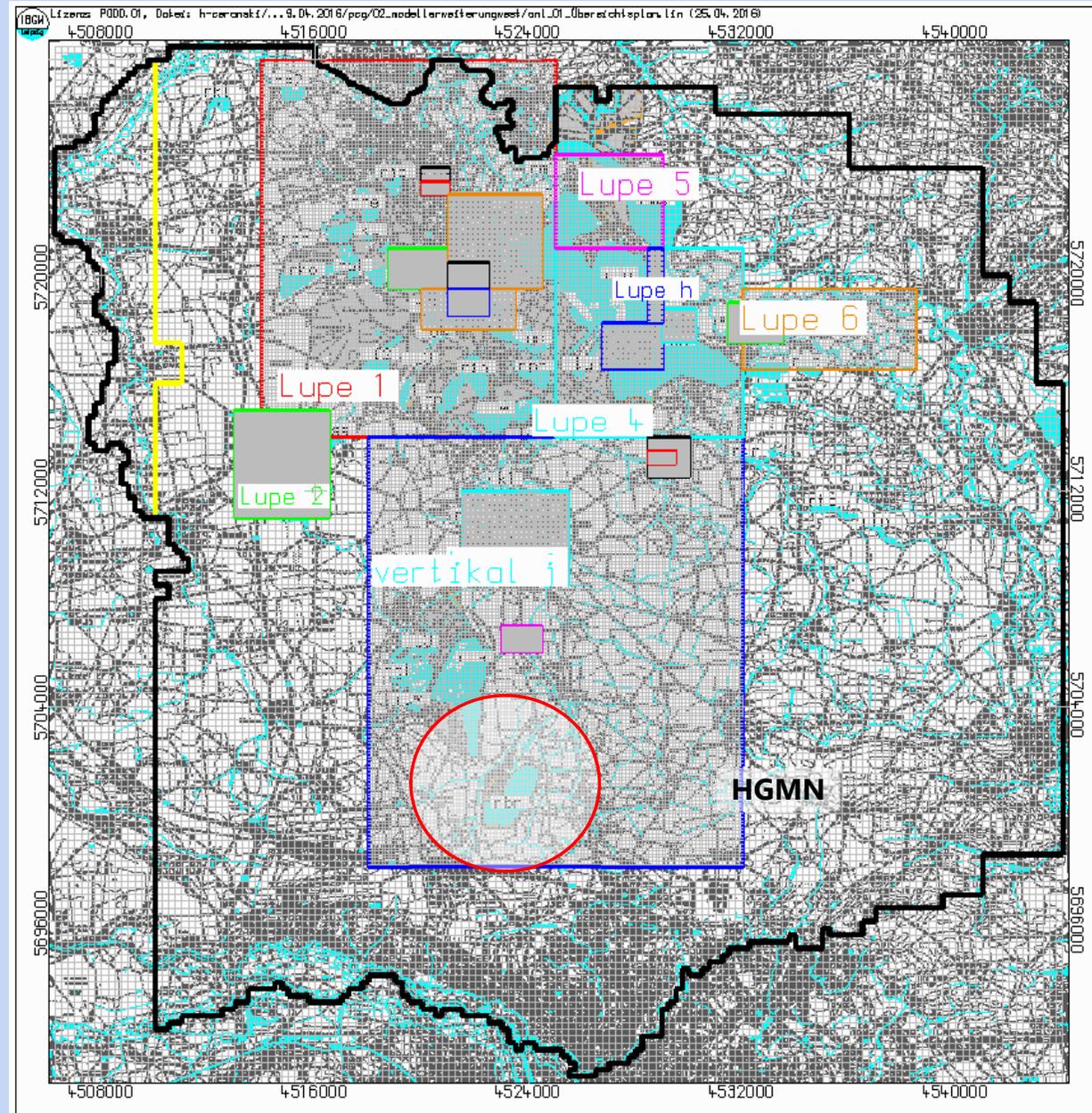
## Grundlage: Hydrogeologisches Großraummodell

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)

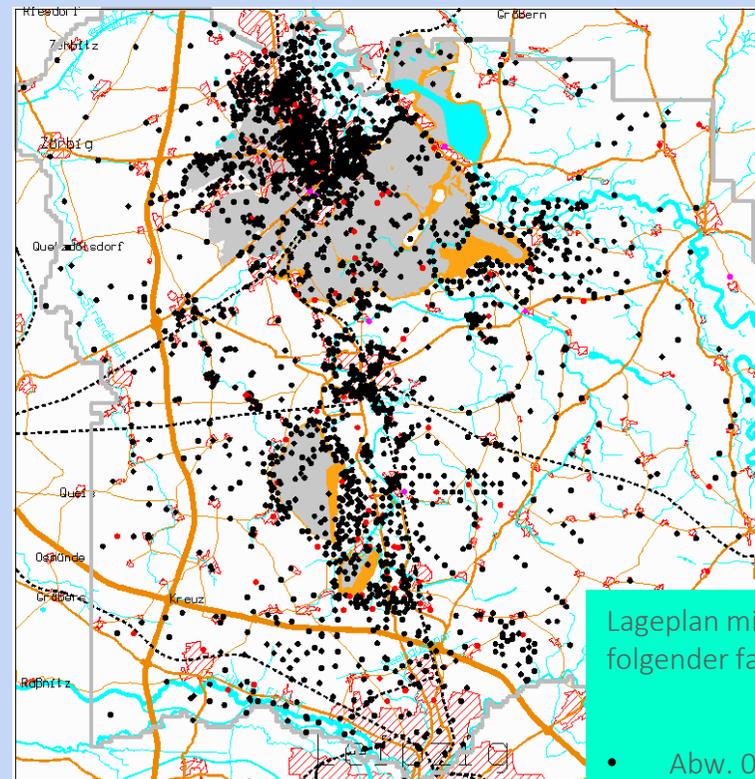
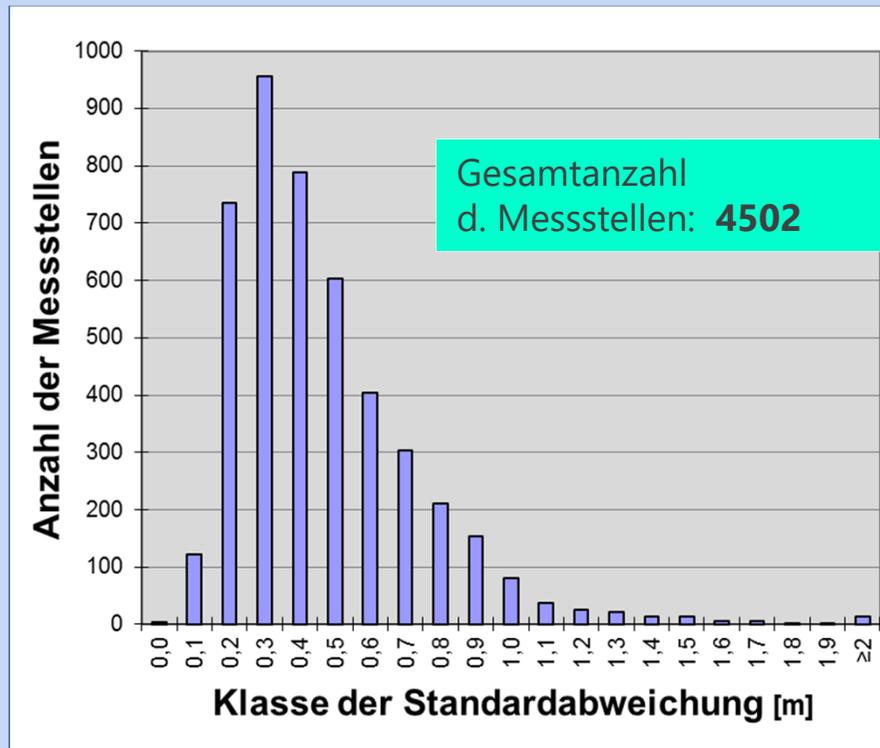


## Hydrogeologisches Großraummodell – Nord (HGMMN)



## 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

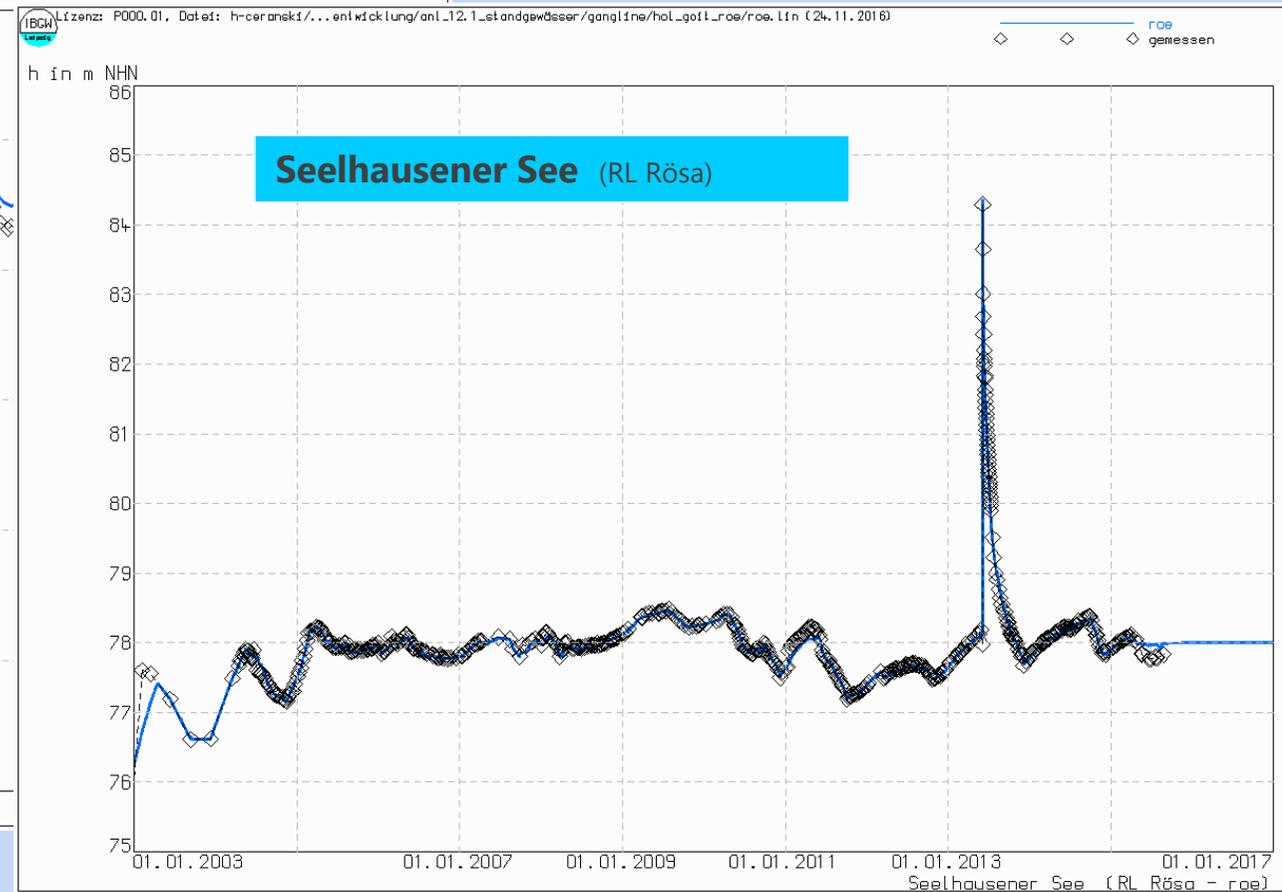
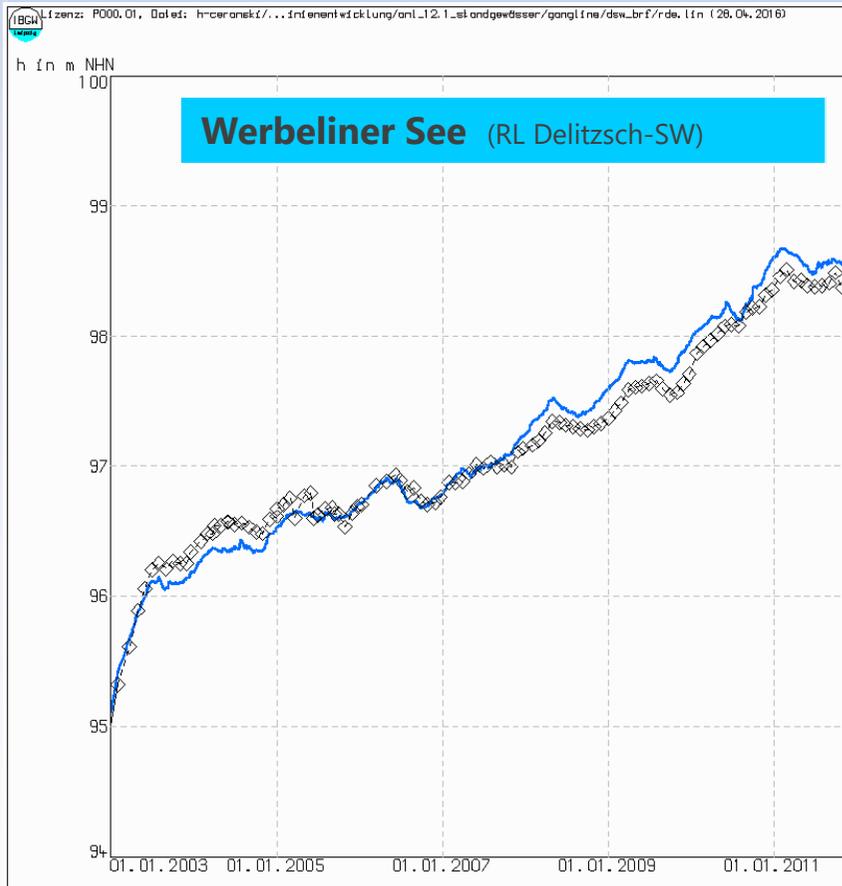


Lageplan mit allen Messstellen mit folgender farblicher Markierung:

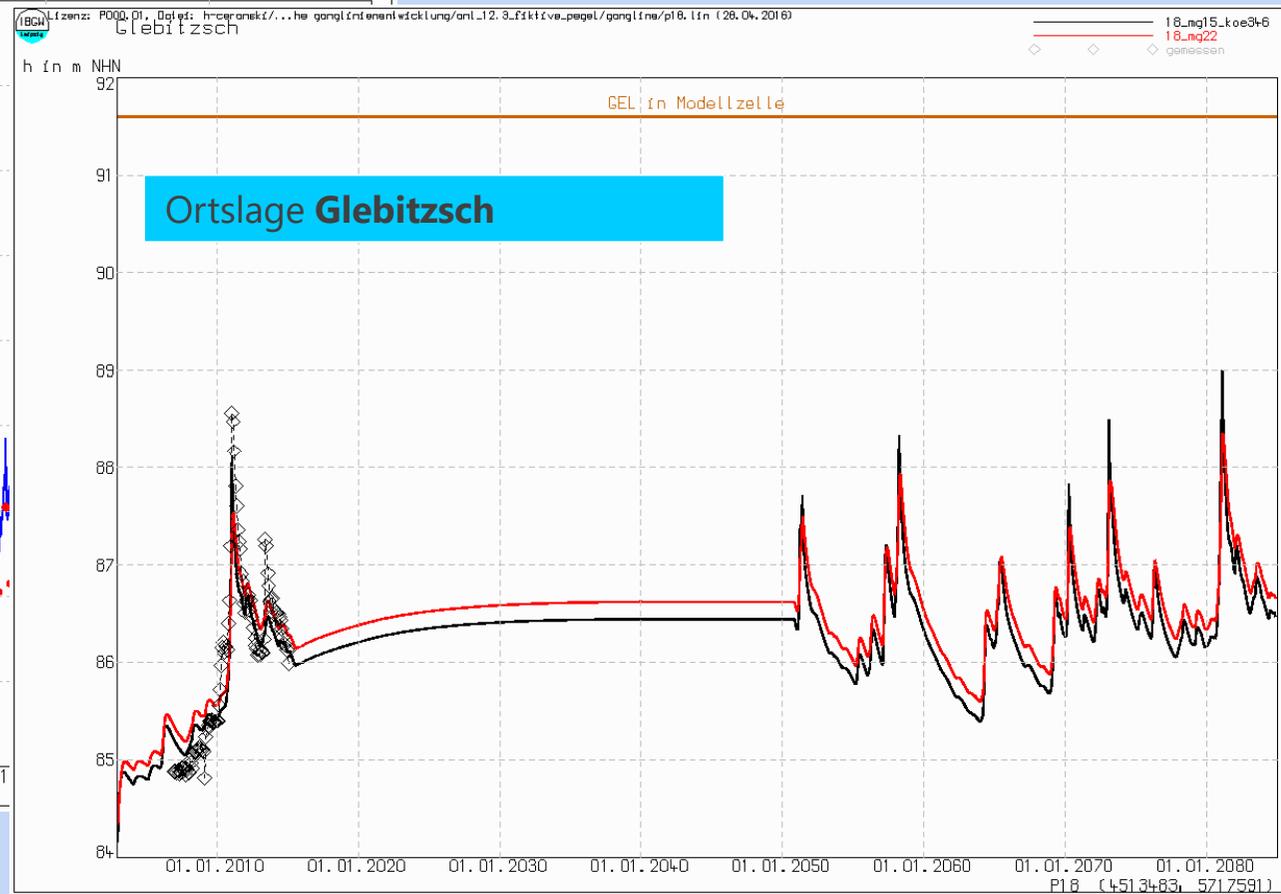
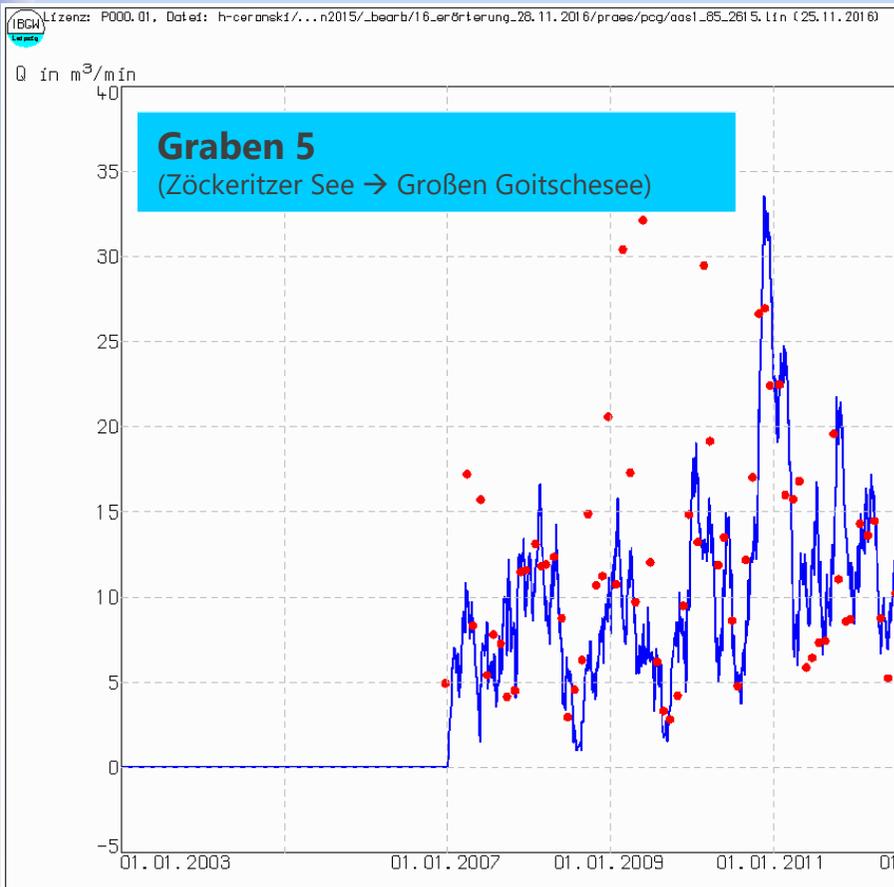
- Abw. 0-1 m
- Abw. >1 m



## Berechnungsergebnisse

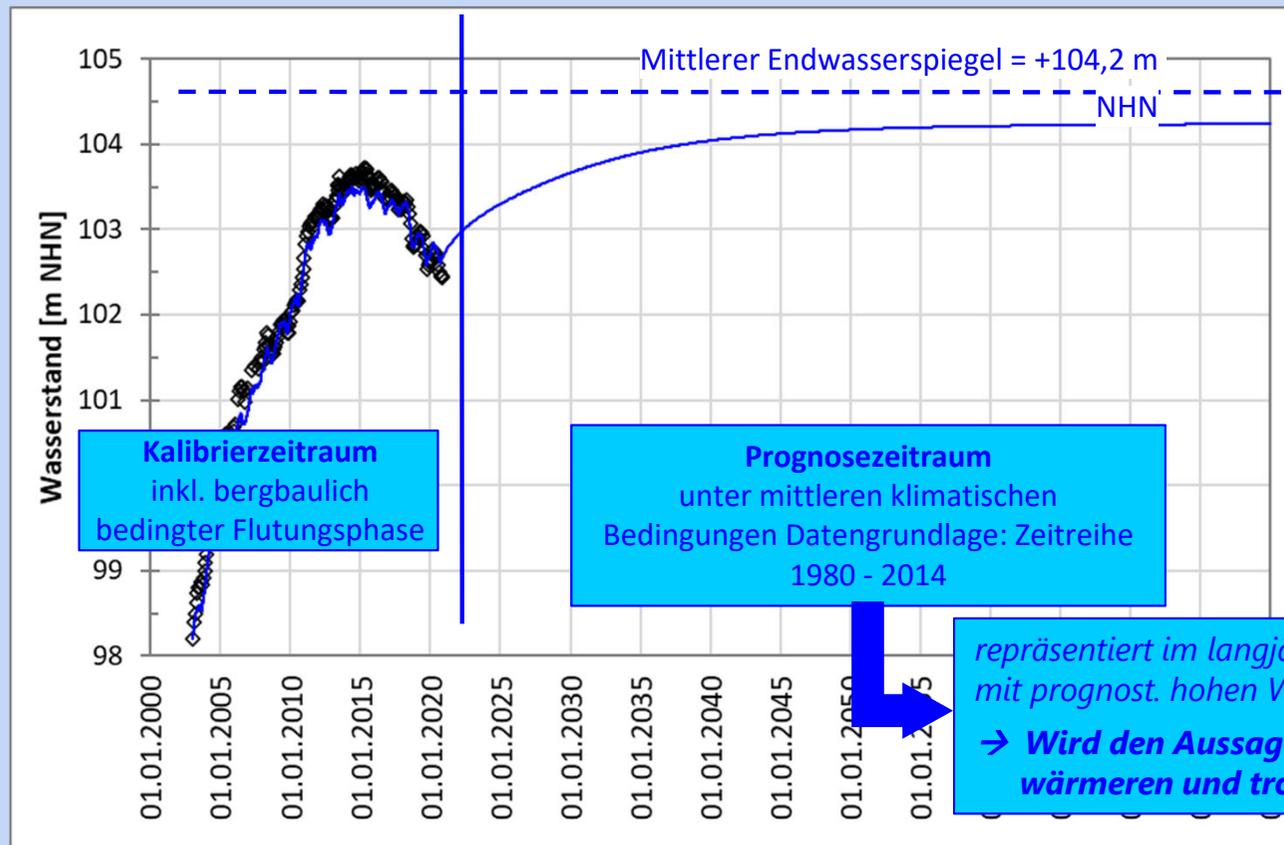


## Berechnungsergebnisse



## 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> |

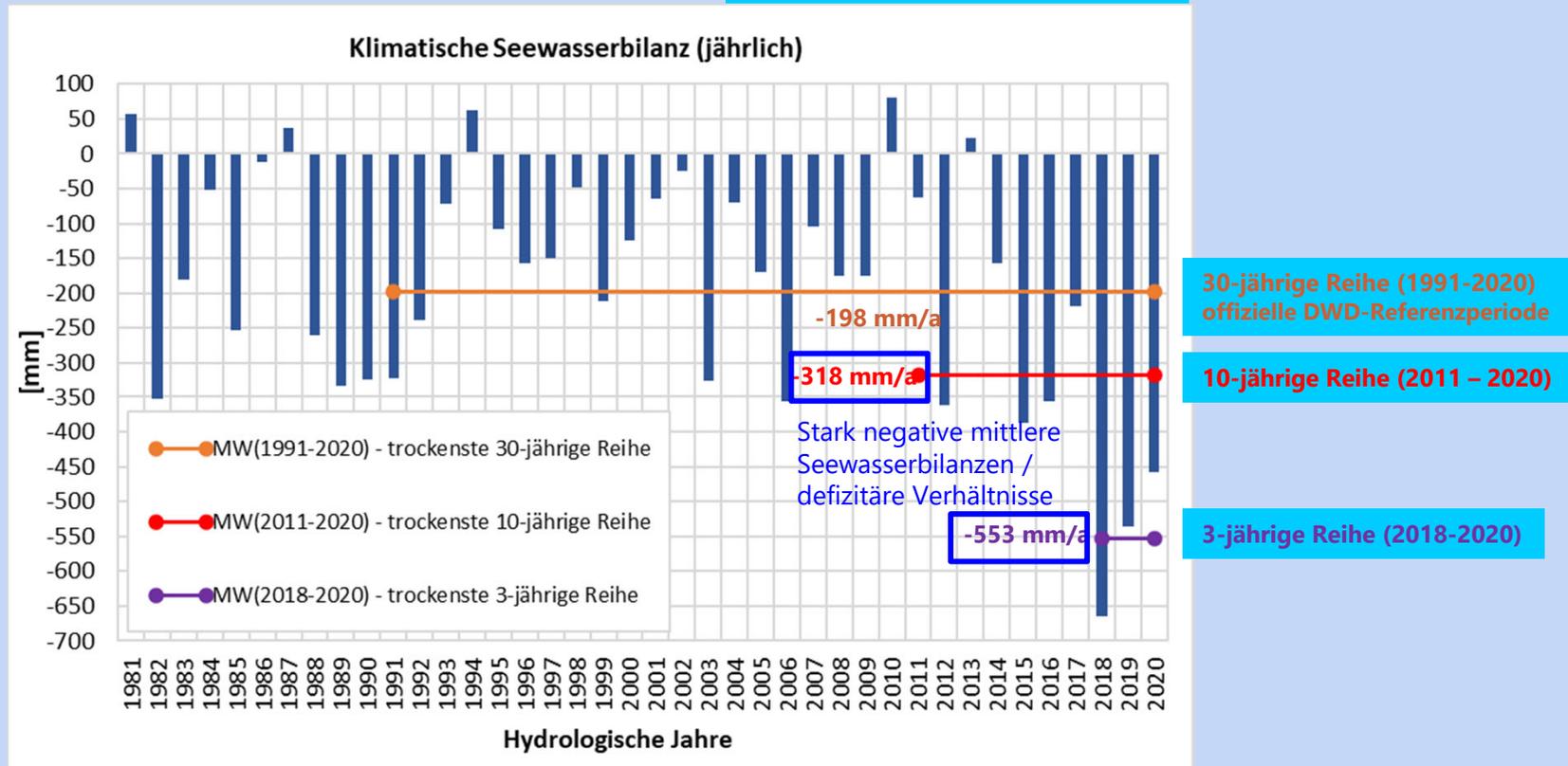
*[Einordnung gemäß Stellungnahme Landesdirektion Sachsen]*

*\*gegenüber der Klimareihe 1961-1990*

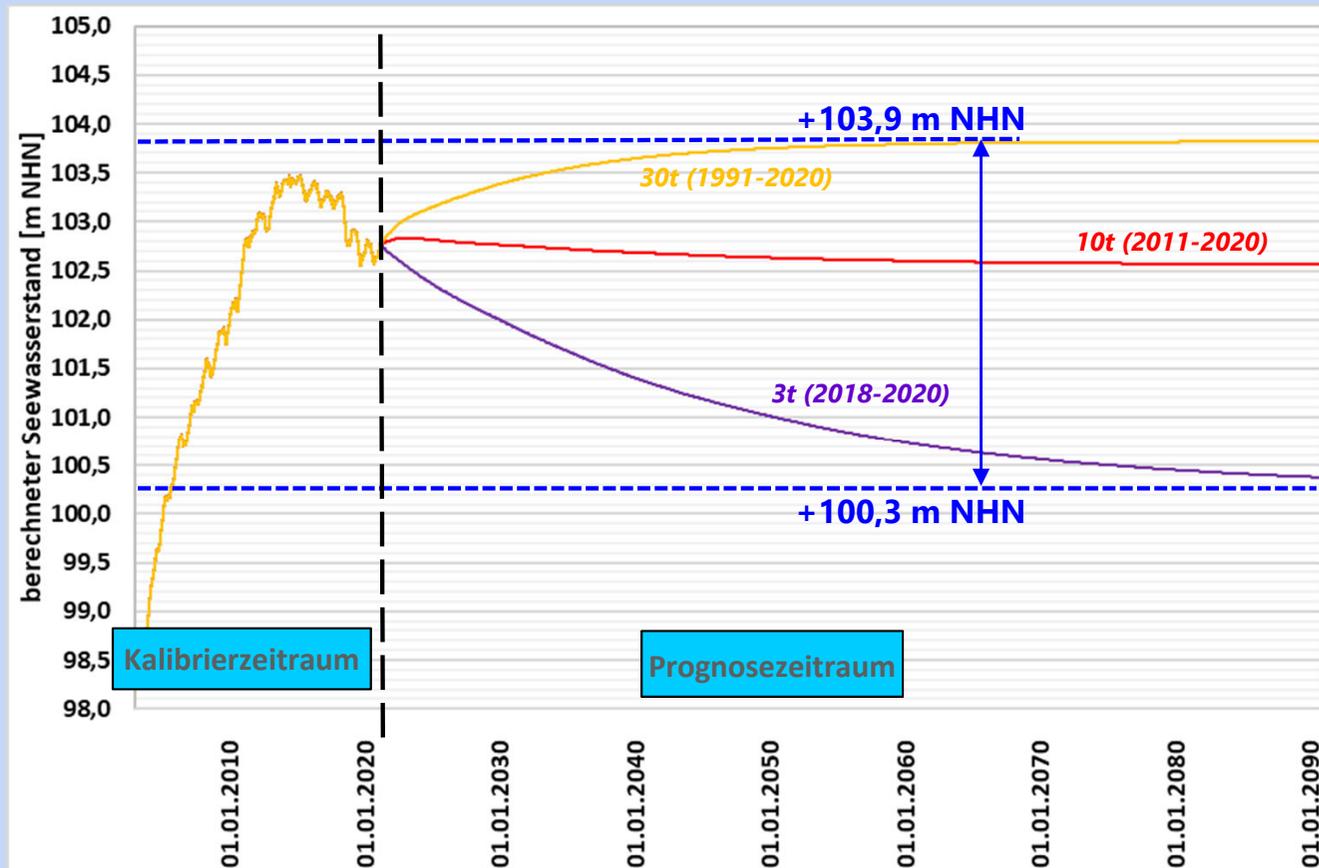
## Modellvarianten

### 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.

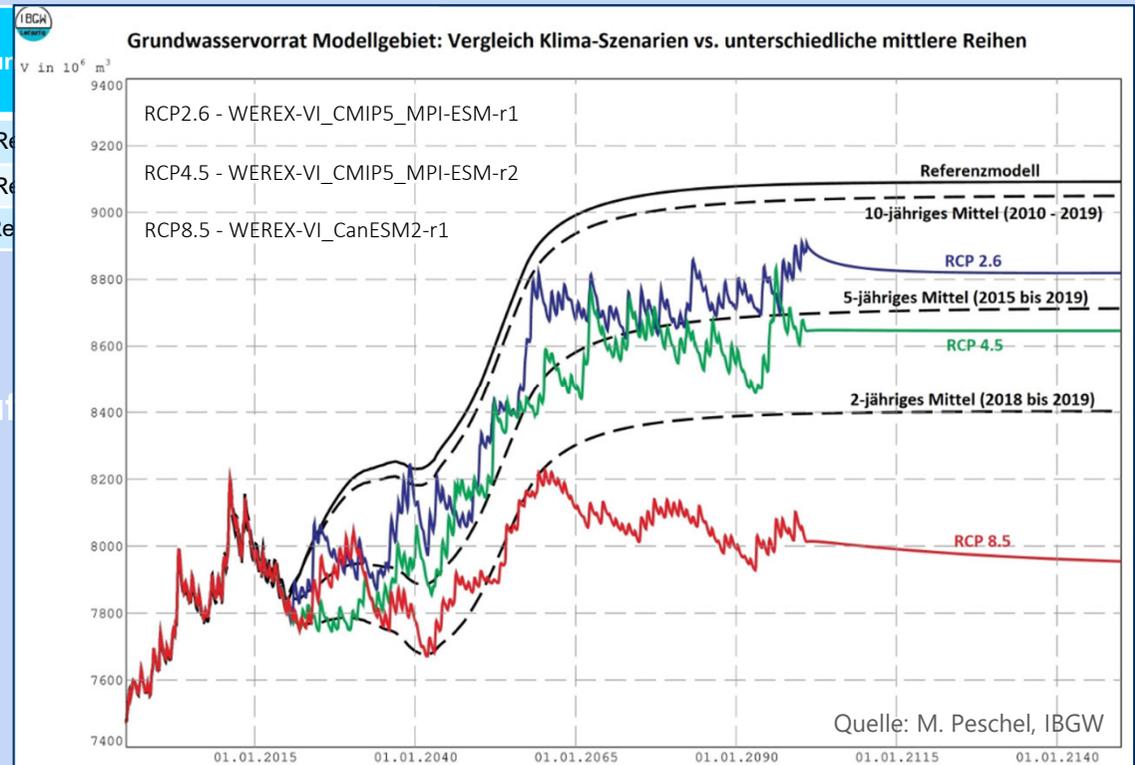


## Zusammenfassung

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*

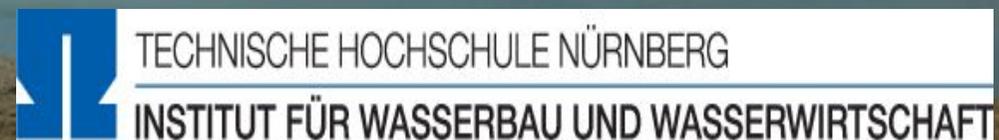
unter Beachtung klimatischer Einflüsse.



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !**

**Prof. Dr.-Ing. Holger Mansel**

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



Januar 2017