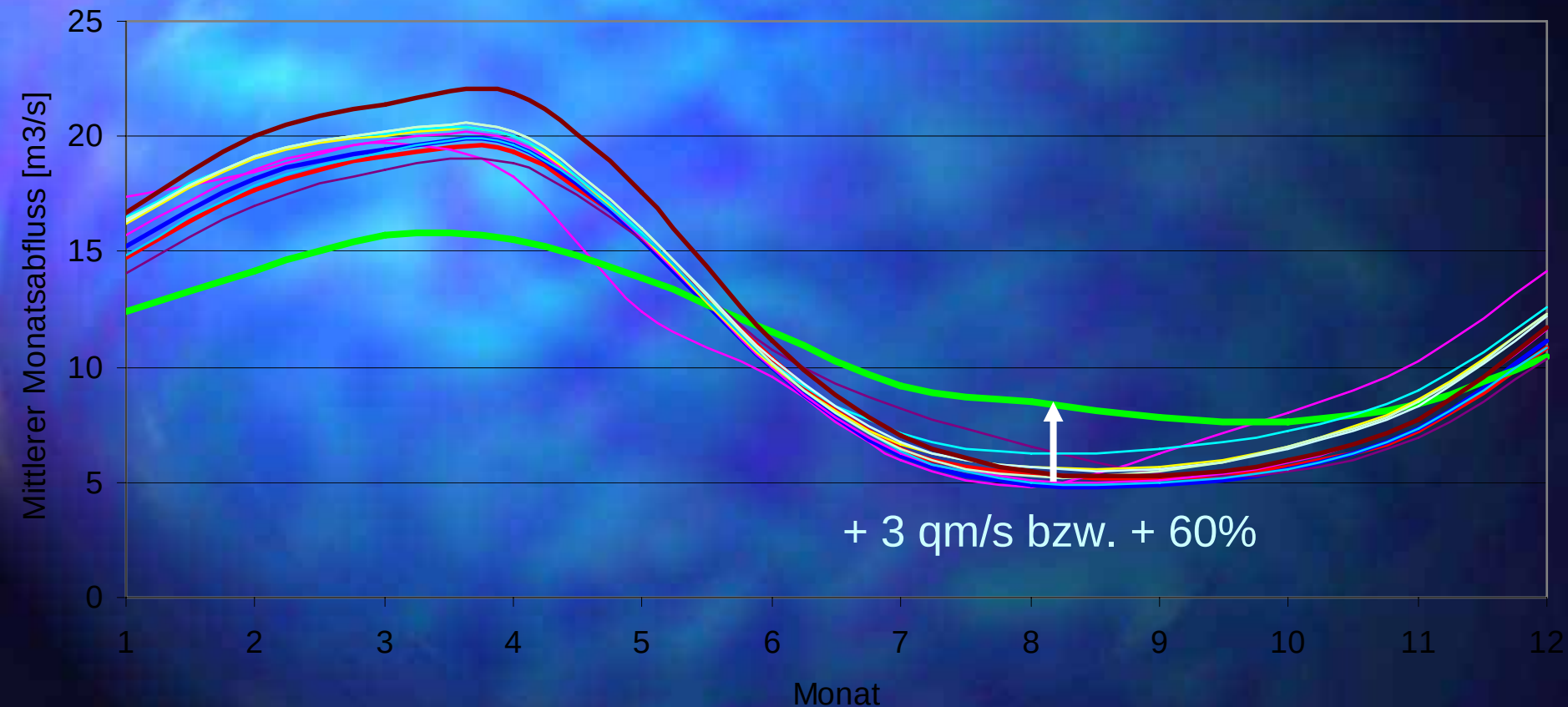


Modellierung des Wasserhaushaltes und der Abflussverhältnisse im Haveleinzugsgebiet

Bearbeitet durch: Büro für Angewandte Hydrologie Berlin
Dr. B. Pfützner
P. Hesse

Ursprüngliche Wunschvorstellung – Änderungen im innerjährlicher Gang bei verschiedenen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen



Vorgehensweise



Fokusebene

- Prozessnahe Abbildung der Wirkungen von gewässerbezogenen Managementoptionen zur Maximierung des Gebietsrückhaltes (Hammerfließ)



NA-Modell gekoppelt mit

- quasi-instationärem Fließgewässermodell → Abbildung der Stauwirkung von Wehren
- Grundwassermodell ASM → Abbildung der Wechselwirkungen OW-GW
- Bewirtschaftungsmodell → Abbildung von Management (Wehrsteuerung → Stauregime)

Zwischenebene

- Abbildung der Wirkungsketten in konzeptionellen Ansätzen (Nuthe)



NA-Modell mit

- Speicheransätzen für OW und GW
- Abbildung wichtiger Bauwerke
- Abbildung des Steuerregimes

Gesamtgebiet

- GIS-gestützte Abschätzung der Auswirkungen (Havel)



- Regelbasierte Ermittlung von „Zusatzverdunstungen“ gegenüber einem Basisszenario
- → Netto-NW-Aufhöhung

Gesamtmodell

- Methodischer Grundansatz



- Landesweite (havelweite) Modellierung mit einer einheitlichen Parametrisierung der Abflussbildungsparameter mit dem Ziel, die Abflussspende der Havel von ca. 135 mm/a abzubilden
- Interpretation der naturgemäß auftretenden Abweichungen (unbekannte unterirdische Zustromverhältnisse, Nutzungen) der simulierten Abflüsse von den Pegelbeobachtungen in den Kalibrierungsgebieten

Probleme:

- Bauwerke (Speicher, Wehre, Talsperren) und
- Dynamik des Grundwasserzustromes ist insbesondere in Transfergebieten und in Gebieten, in denen der GWLK 2 dominiert, mit NA-Modellen (Einzellinearspeicher) nur noch bedingt abbildbar. Gleiches gilt für die Einschätzung, ob die Grundwasserleiter gespannt oder ungespannt sind (kürze Reaktionszeiten in gespannten Bereichen)

Gesamtmodell

- Modellierungsdatenbasis (1)



Modellgebiet ca. 38.000 km²

- Brandenburg +
- Berlin +
- wesentliche Zuflussgebiete wie Schwarze Elster oder
- Einspeisung von Messreihen Spremberg/Spree

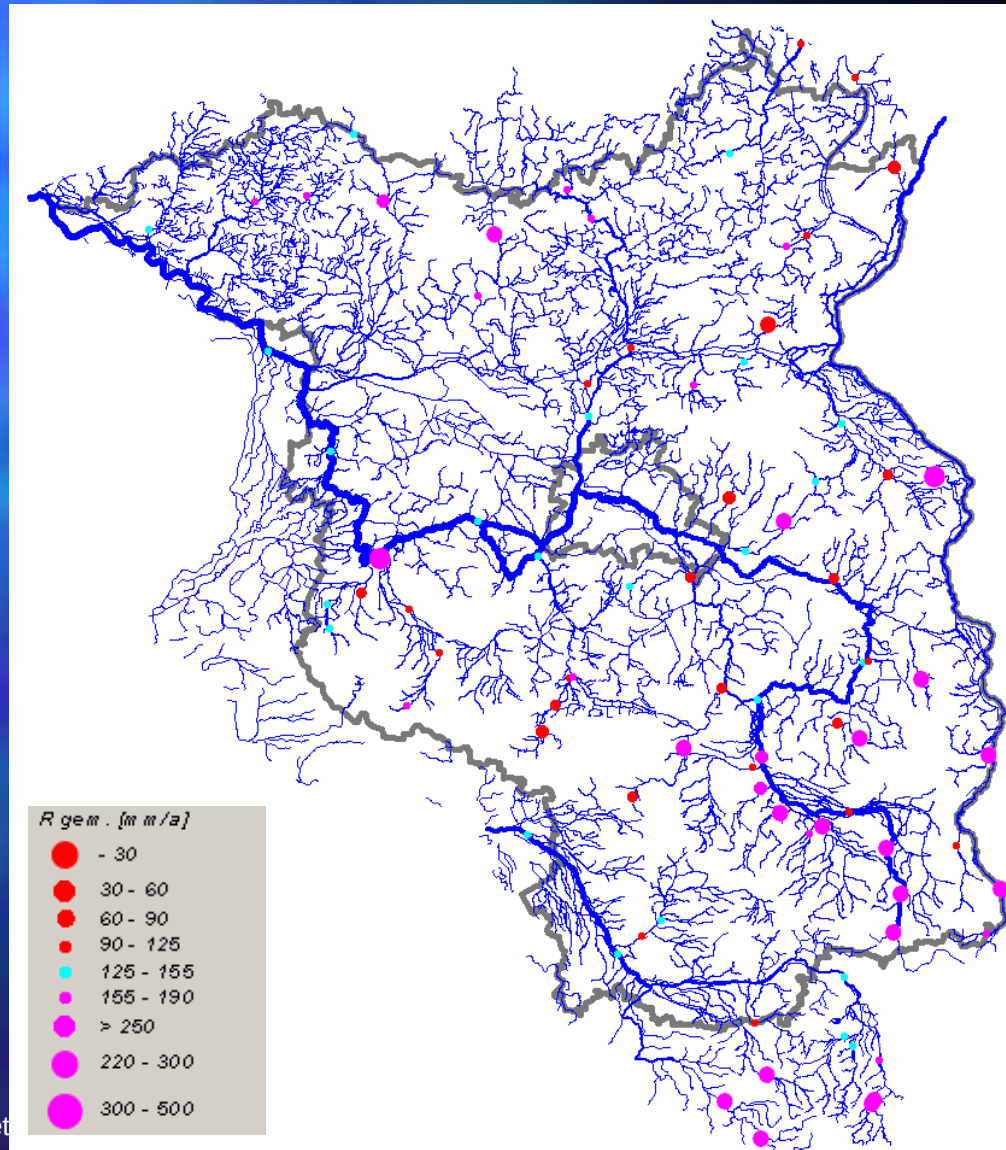
GIS-Datenmodell

1,074 Mio EFL aus Verschneidung
von Boden, Landnutzung,
DGM, ...

6.474 oberirdische WEGs

11.723 Fließgewässerabschnitte

(generalisiert und hierarchisiert)



Gesamtmodell – Modellierungsdatenbasis (2)

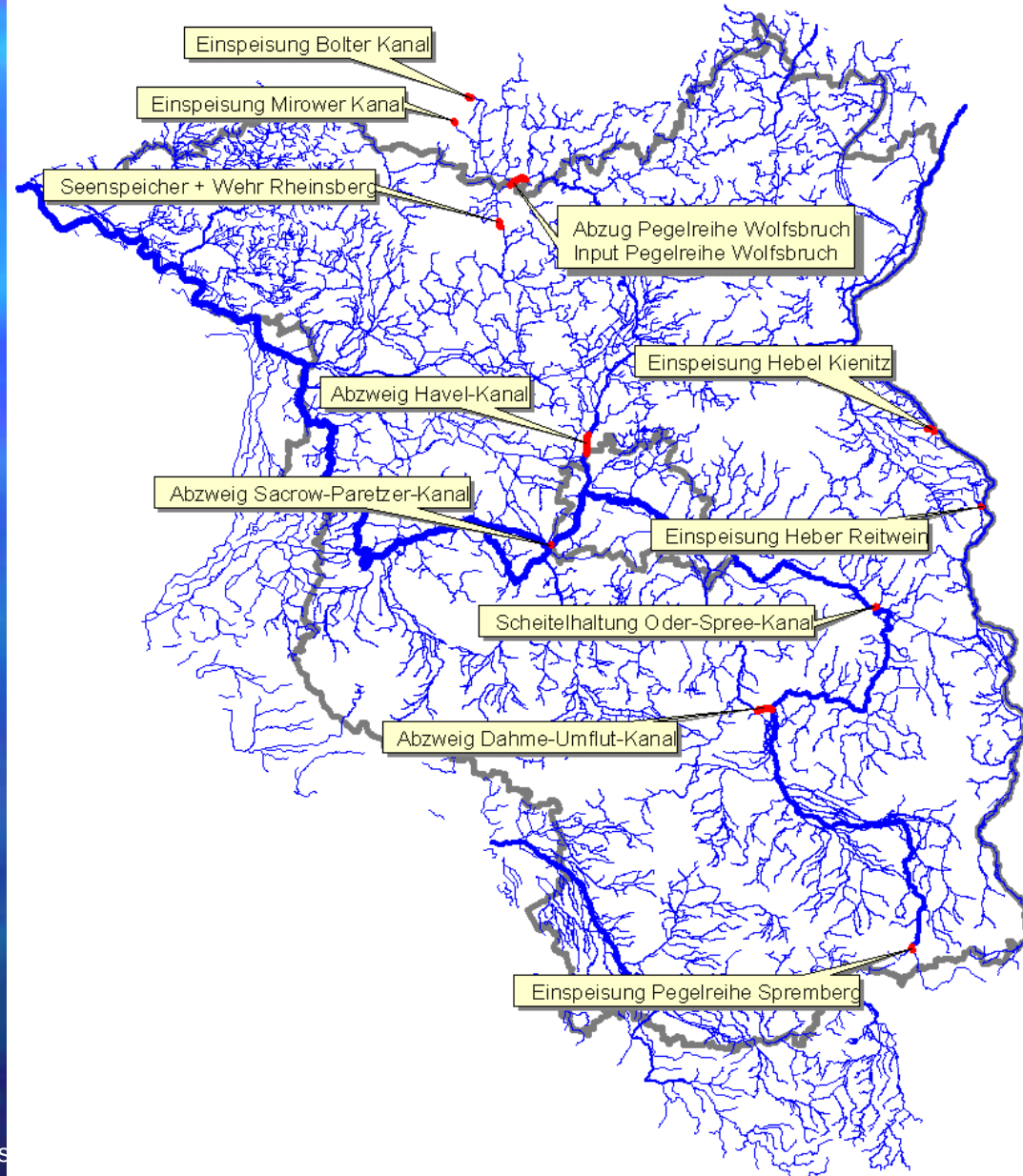


Gewässernetz

- 54.000 Gewässerabschnitte
- Integration von Überleitungen, Einspeisungen etc.

Hydrologische Daten

- 24 Eichpegel
- 36 Validierungspegel



Gesamtmodell

- Modellierungsdatenbasis (3)



Meteorologische Daten

340 Regen- und Klima-
stationen,
30 Jahre, Tageswerte

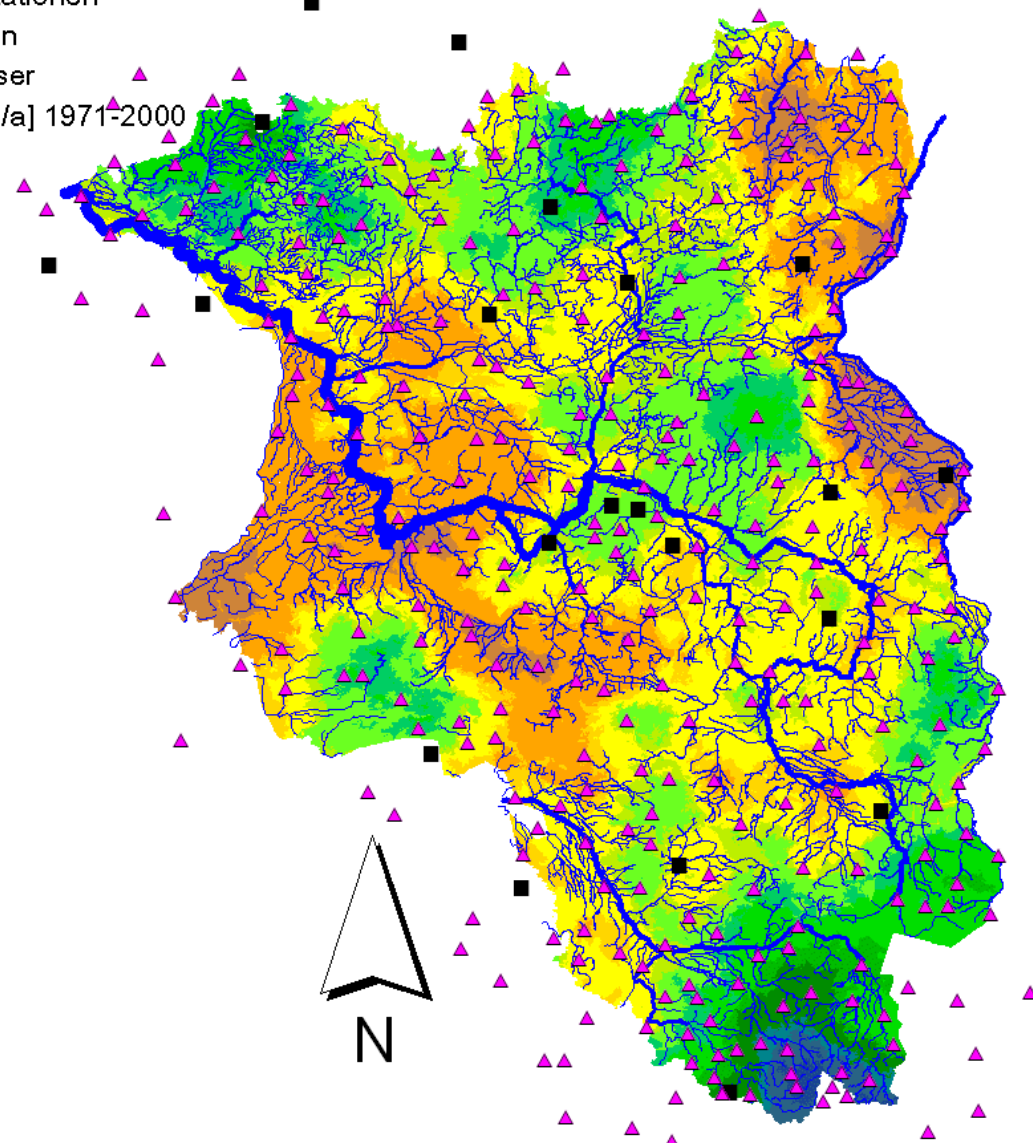
Bild:
Berechnete Niederschlags-
verteilung

Meteorologische Stationen

- Hauptstation
- ▲ Regenmesser

Niederschlag [mm/a] 1971-2000

476 - 517
517 - 534
534 - 547
547 - 559
559 - 569
569 - 579
579 - 588
588 - 598
598 - 608
608 - 619
619 - 632
632 - 648
648 - 665
665 - 687
687 - 717
717 - 747
747 - 774
774 - 797
797 - 822
822 - 898



Gesamtmodell

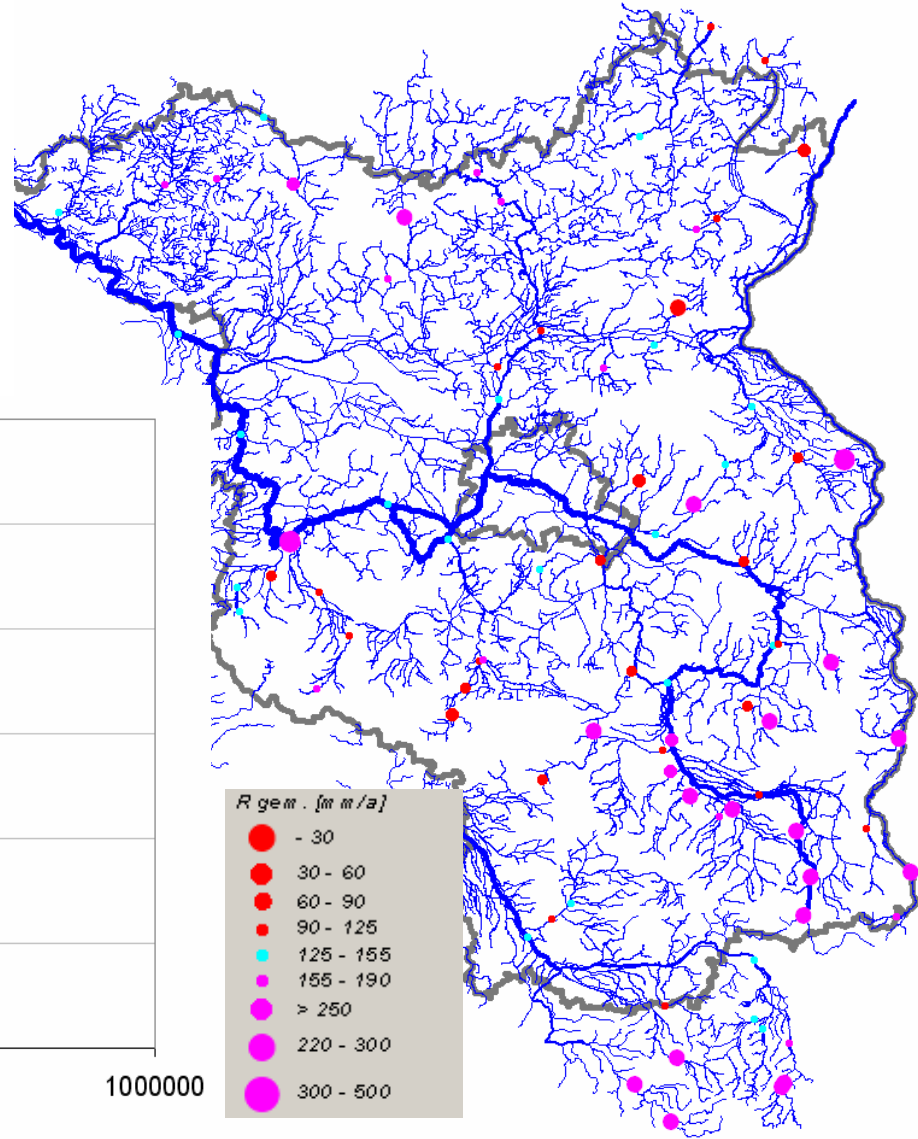
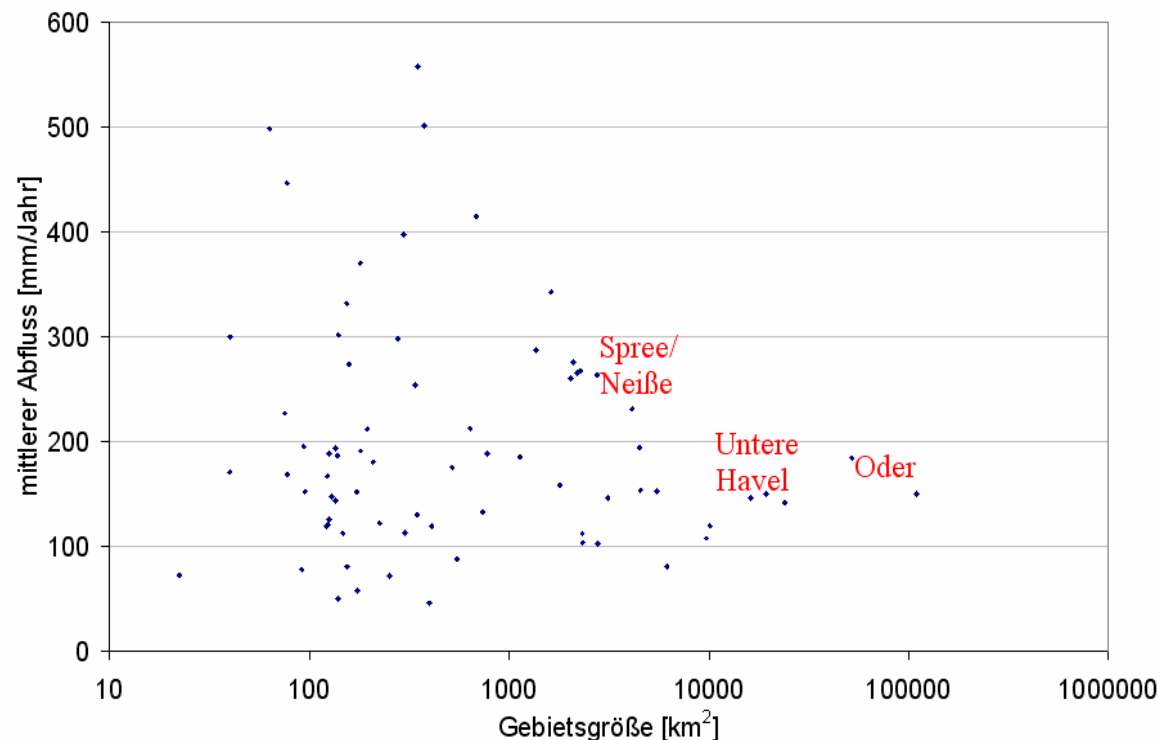
- Analyse der Pegeldaten

Sehr breites Spektrum der Abflussspenden für kleinere Gebiete

Spanne nicht über Unterschiede in den Abflussbildungsbedingungen erklärbar!

Mit wachsender Gebietsgröße werden so ca. 140 bis 150 mm/a erreicht

Große Spenden in der Spree (Bergbau + Mittelgebirgeinfluss)



Gesamtmodell



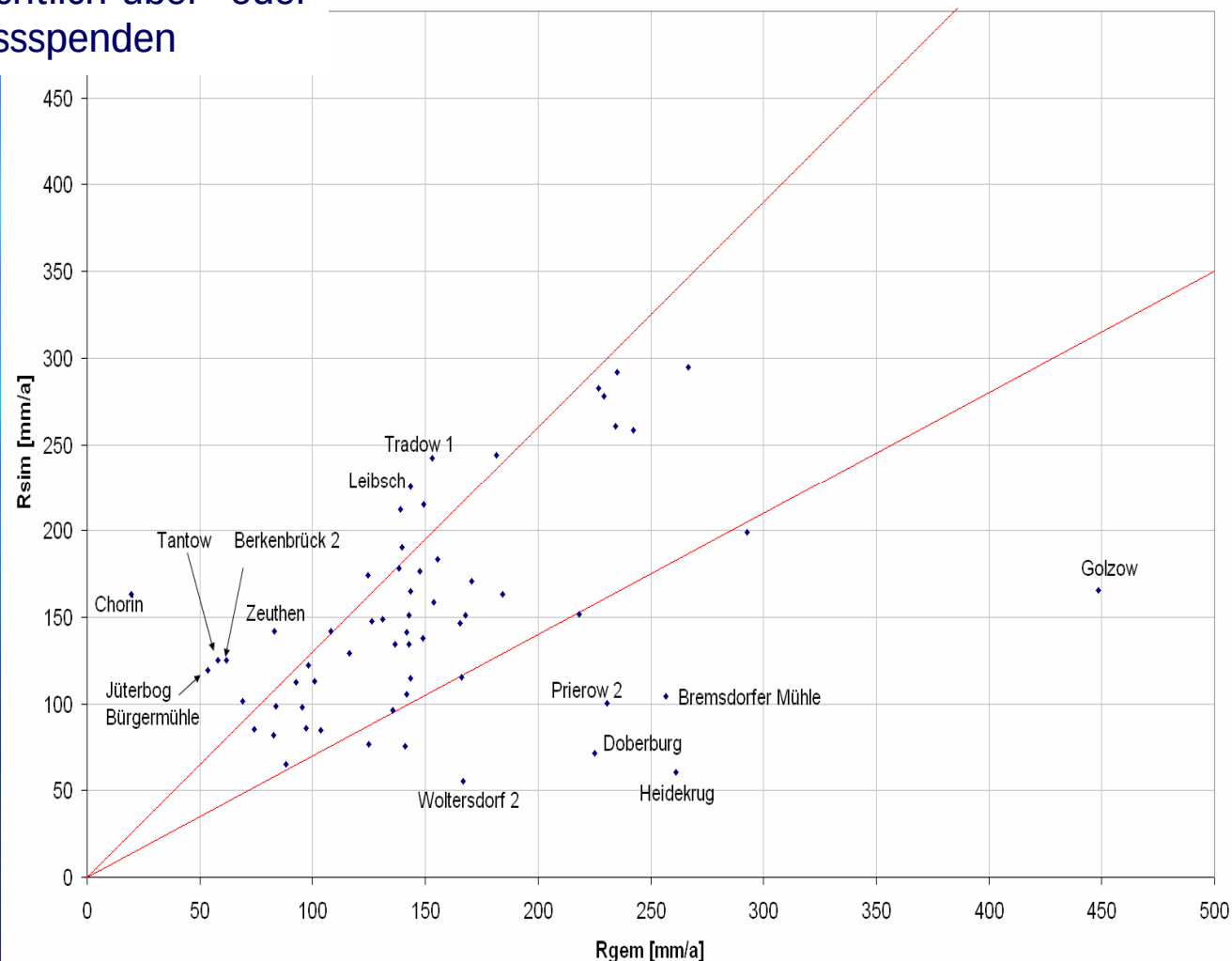
■ Probleme einer NA-Modell-gestützten Ermittlung von flächendifferenzierten Abflüssen im Tiefland

- Was sind die wirklichen Vergleichsgrößen für eine Modellkalibrierung ?
- Teils beträchtliche Unterschiede zwischen ober- und unterirdischen Einzugsgebiet,
 - mangels leicht und sicher bestimmbarer unterirdischer Einzugsgebietsgrenzen wird meist das oberirdische Einzugsgebiet als Bilanzgebietsgröße angesetzt
 - sehr viele Gewässer sind staureguliert, es findet ein innerjähriger Abflussausgleich statt (Speicherung im Winter, Abgabe im Sommer), die natürlichen MNQ-Werte wären in vielen Fällen geringer
 - Wie groß ist der Einfluss von Wassernutzungen auf die Bilanz bzw. die MQ-Werte ?

Gesamtmodell - Ergebnisse

Ca. 40 von 60 Gebieten innerhalb einer Abweichung von $\pm 30\%$

Ca. 20 Pegel mit teils beträchtlich über- oder unterschätzten Abflusspenden

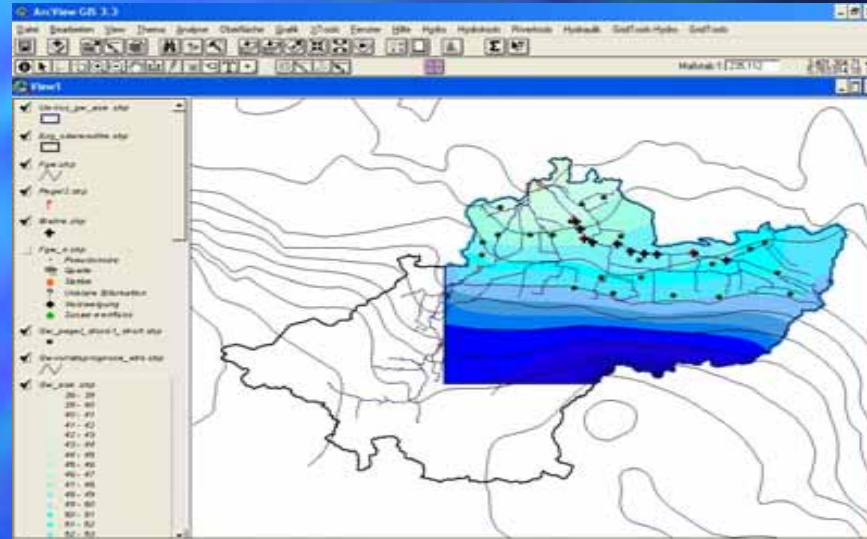


Detailmodell - Zielstellung

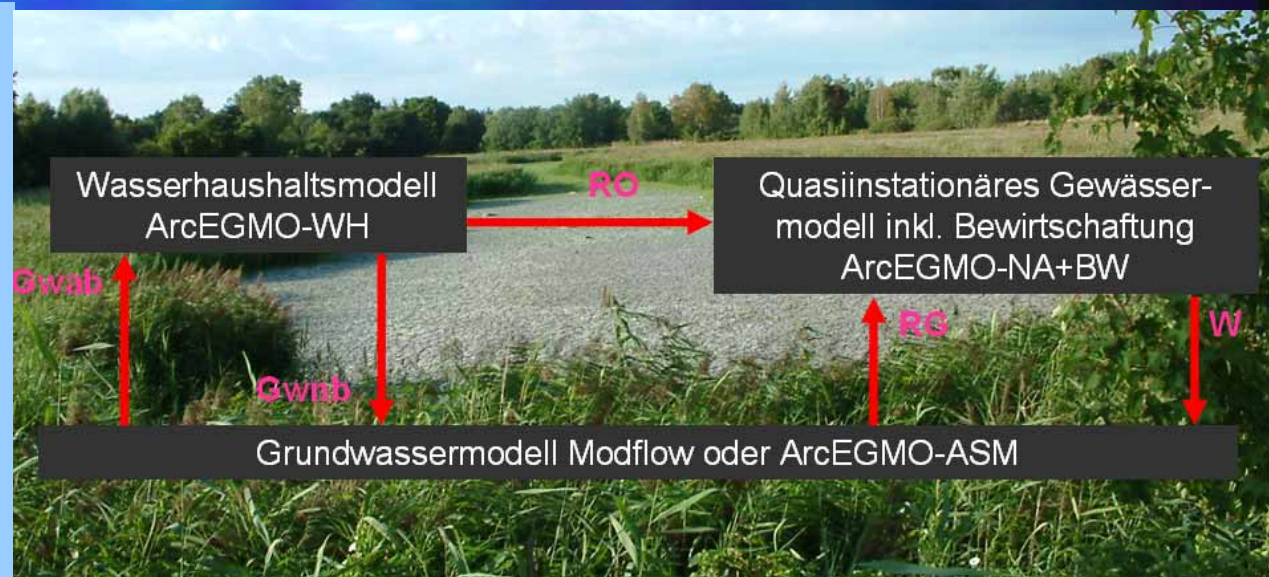


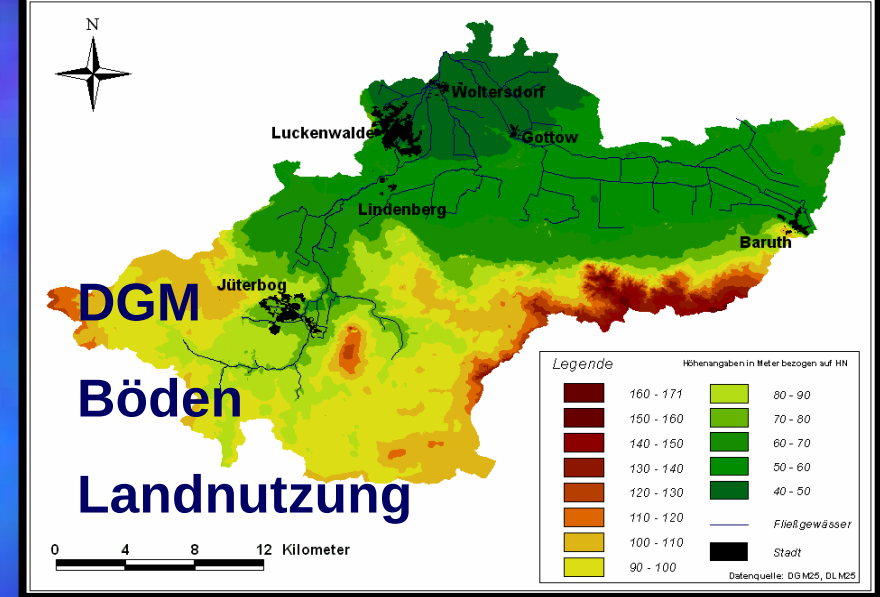
- Möglichst prozessnahe Abbildung der Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser und der Eingriffsmöglichkeiten über Bewirtschaftungsmaßnahmen
 - Hohe zeitliche und räumliche Auflösung notwendig
 - Hoher Aufwand für Datenbeschaffung, Modellaufbau und –parametrisierung
 - Hoher (numerischer) Aufwand für Modellanalysen
-
- Anwendbarkeit auf ein Fokusgebiet beschränkt
 - Schon im Hammerfließ waren nicht alle Eingangsdaten in der notwendigen Qualität verfügbar (Probleme: Gewässergeometrien, Bauwerke, Steuerung der Bauwerke)
 - Übertragung auf das Gesamtgebiet nur über Hochrechnungen (plausible Annahmen) möglich

Büro für Angewandte Hydrologie

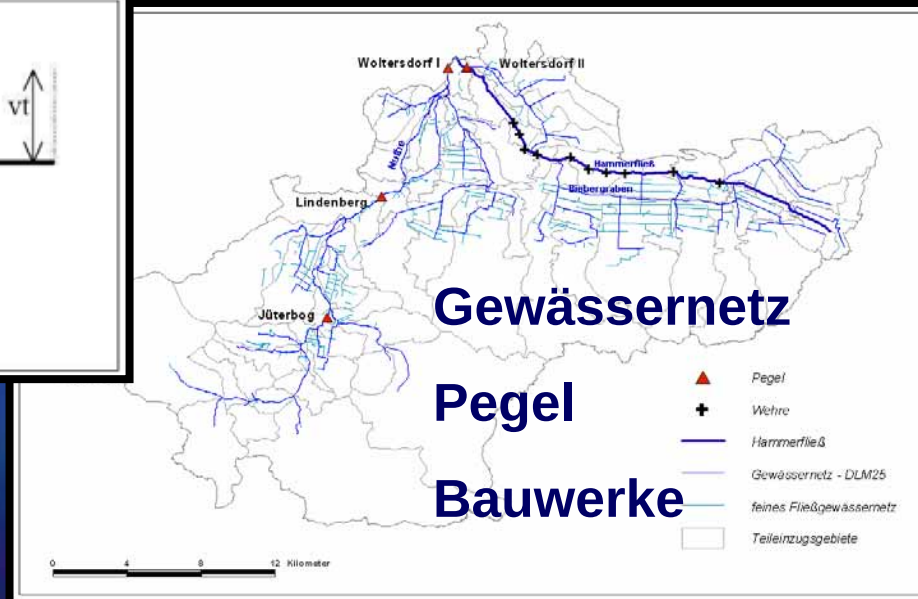
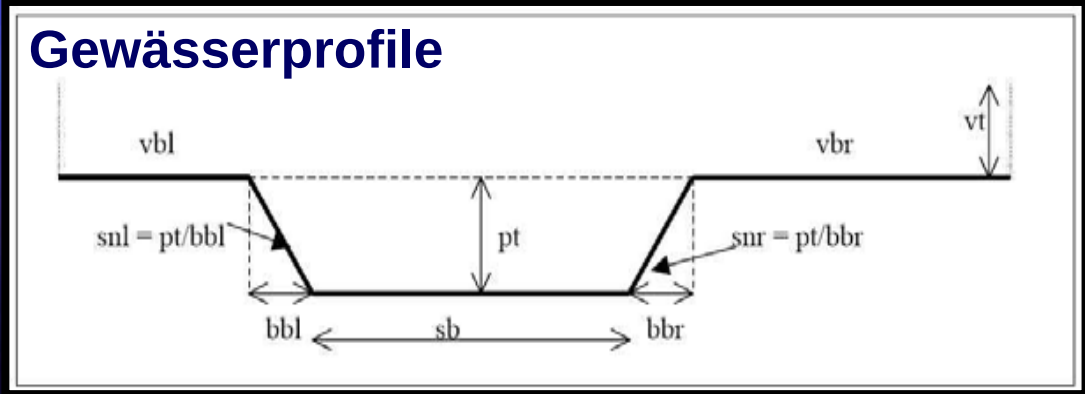


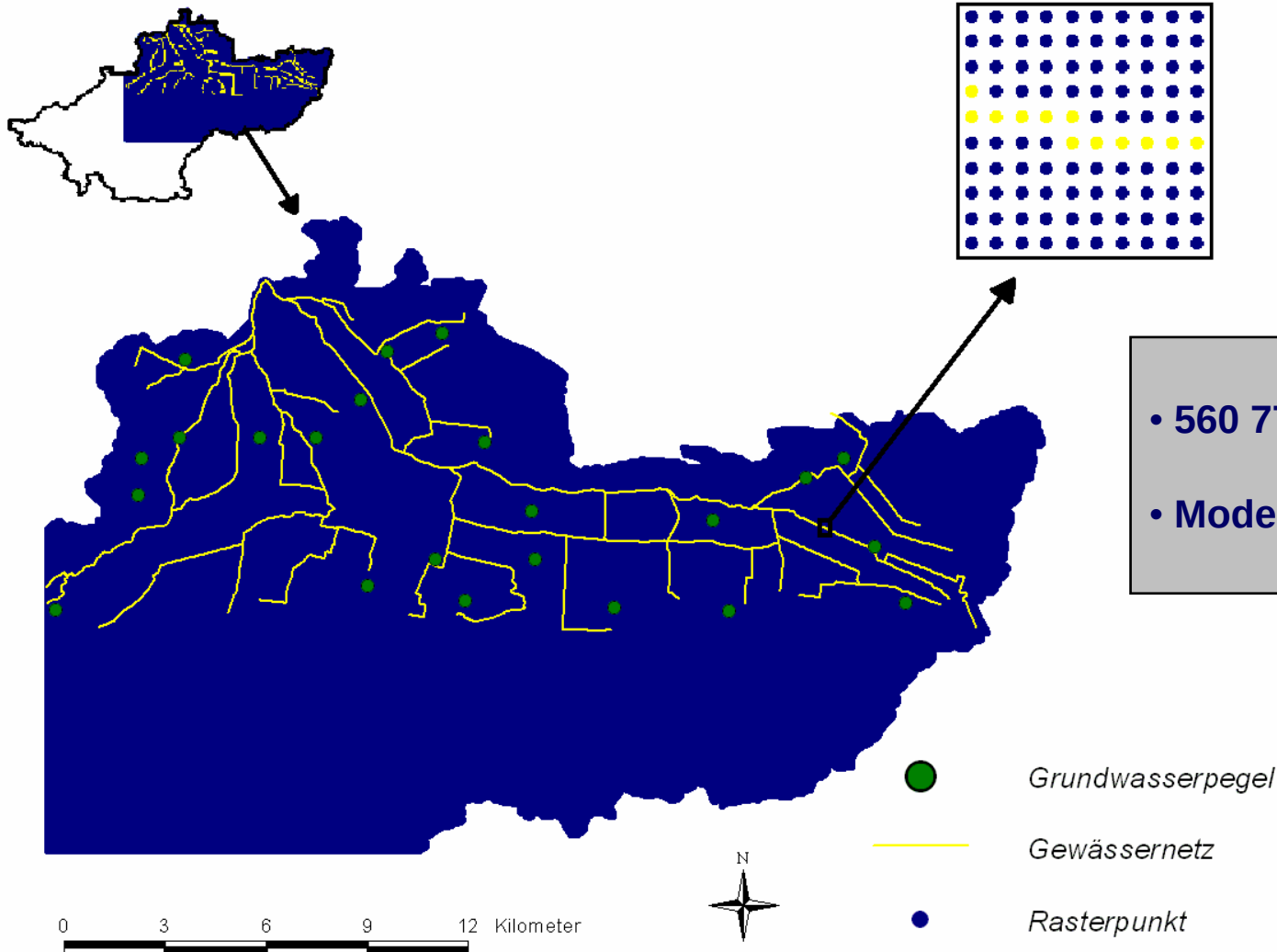
- quasi-instationärem Fließgewässermodell → Abbildung der Stauwirkung von Wehren
- Grundwassermodell ASM → Abbildung der Wechselwirkungen OW-GW
- Bewirtschaftungsmodell → Abbildung von Management (Wehrsteuerung → Stauregime)





Modelleingangsdaten



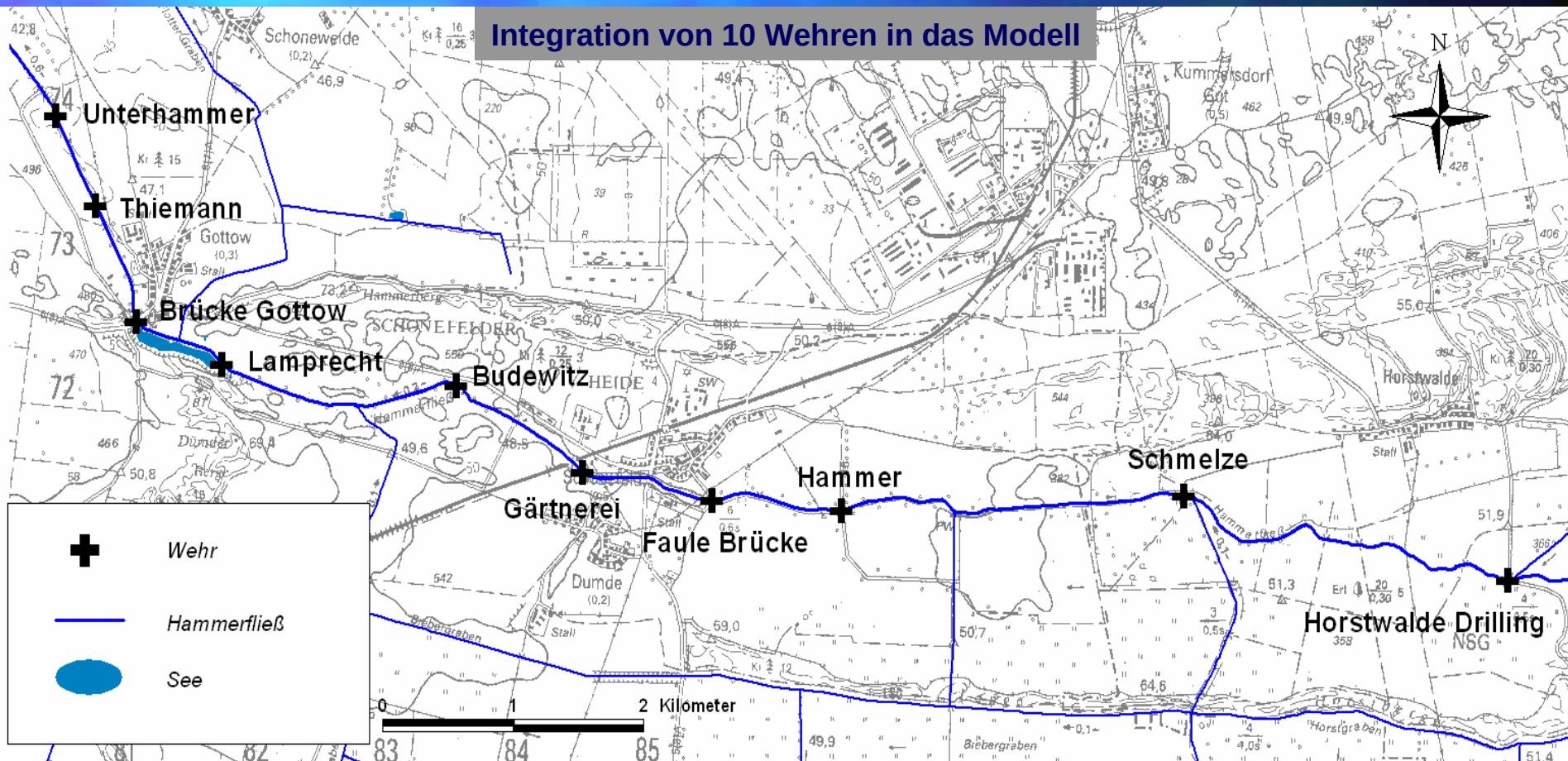


- 560 779 Rasterpunkte
- Modellfläche 575 km²

Welche Steuerungsmöglichkeiten existieren im Hammerfließ?

- Insgesamt ca. **54** Wehre und Staue und **2** Schöpfwerke
- Davon 10 Wehre im damaligen Landesdatenbestand (Bauwerkskataster) enthalten und hinsichtlich der hydraulischen Gegebenheiten parametrisierbar,
- Aber keine Aufzeichnungen, wie gesteuert wurde

Integration von 10 Wehren in das Modell



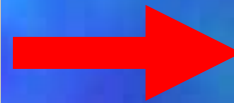
Rekonstruktion der Wehrsteuerung



Rekonstruierte Wehrsteuerung Sommer- / Winterstau

Wehr-Nr.	Wehrname	Sohltiefe	gegebene maximale Stauhaltung Sommer	gegebene maximale Stauhaltung Winter	rekonstruierte Stauhaltung Sommer	rekonstruierte Stauhaltung Winter
1	Horstwalde	0,57 m	1,00 m	1,00 m	0,10 m	0,30 m
2	Schmelze	0,83 m	1,00 m	1,60 m	0,30 m	0,50 m
3	Hammer	1,60 m	-	-	0,80 m	1,00 m
4	Faule Brücke	1,93 m	-	-	1,00 m	1,20 m
5	Gärtnerei	1,70 m	-	-	0,90 m	1,10 m
6	Budewitz	1,70 m	-	-	0,90 m	1,10 m
7	Lamprecht	1,70 m	1,10 m	1,10 m	0,90 m	1,10 m
8	Gottow	1,70 m	1,10 m	1,10 m	0,83 m	1,03 m
9	Thiemann	1,30 m	-	-	0,65 m	0,85 m
10	Unterhammer	1,30 m	0,85 m	0,85 m	0,85 m	0,85 m

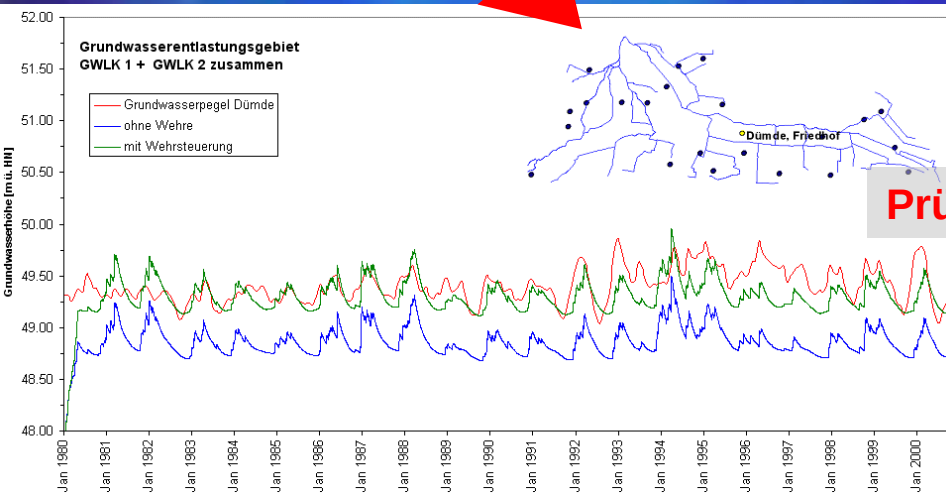
Annahme



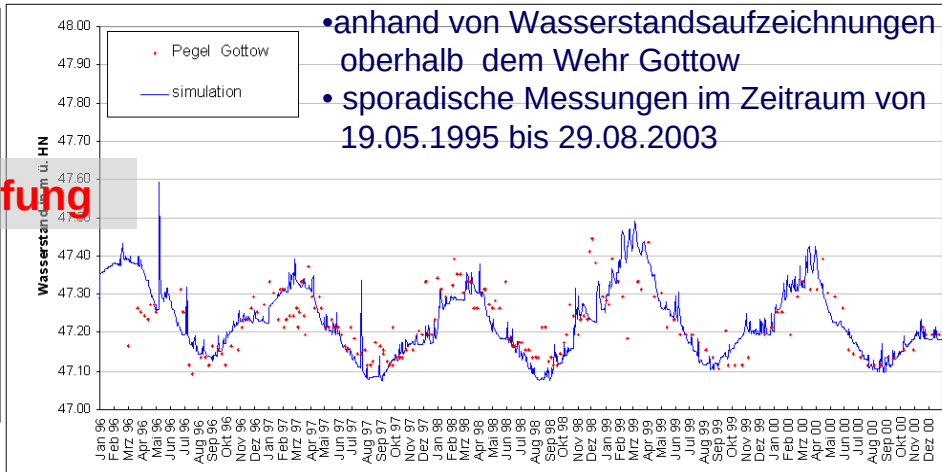
- monatliche Steuerung, Schrittweite beträgt 5 oder 10 cm
- maximale Stauhöhe im Februar und März
- minimaler Sommerstau im August und September erreicht

Tagesnummer		Wehrnummer									
Monat	TN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jan	1	49.91	49.95	49.57	49.72	49.41	48.44	47.49	47.15	44.95	44.75
Feb	32	49.96	50.00	49.62	49.77	49.46	48.49	47.54	47.20	45.00	44.75
Mrz	60	49.96	50.00	49.62	49.77	49.46	48.49	47.54	47.20	45.00	44.75
Apr	91	49.96	50.00	49.62	49.77	49.46	48.49	47.54	47.20	45.00	44.75
Mai	121	49.86	49.90	49.52	49.67	49.36	48.39	47.44	47.10	44.90	44.75
Jun	152	49.86	49.90	49.52	49.67	49.36	48.39	47.44	47.10	44.90	44.75
Jul	182	49.81	49.85	49.47	49.62	49.31	48.34	47.39	47.05	44.85	44.75
Aug	213	49.76	49.80	49.42	49.57	49.26	48.29	47.34	47.00	44.80	44.75
Sep	244	49.76	49.80	49.42	49.57	49.26	48.29	47.34	47.00	44.80	44.75
Okt	274	49.81	49.85	49.47	49.62	49.31	48.34	47.39	47.05	44.85	44.75
Nov	305	49.86	49.90	49.52	49.67	49.36	48.39	47.44	47.10	44.90	44.75
Dez	335	49.86	49.90	49.52	49.67	49.36	48.39	47.44	47.10	44.90	44.75

Umsetzung



Prüfung

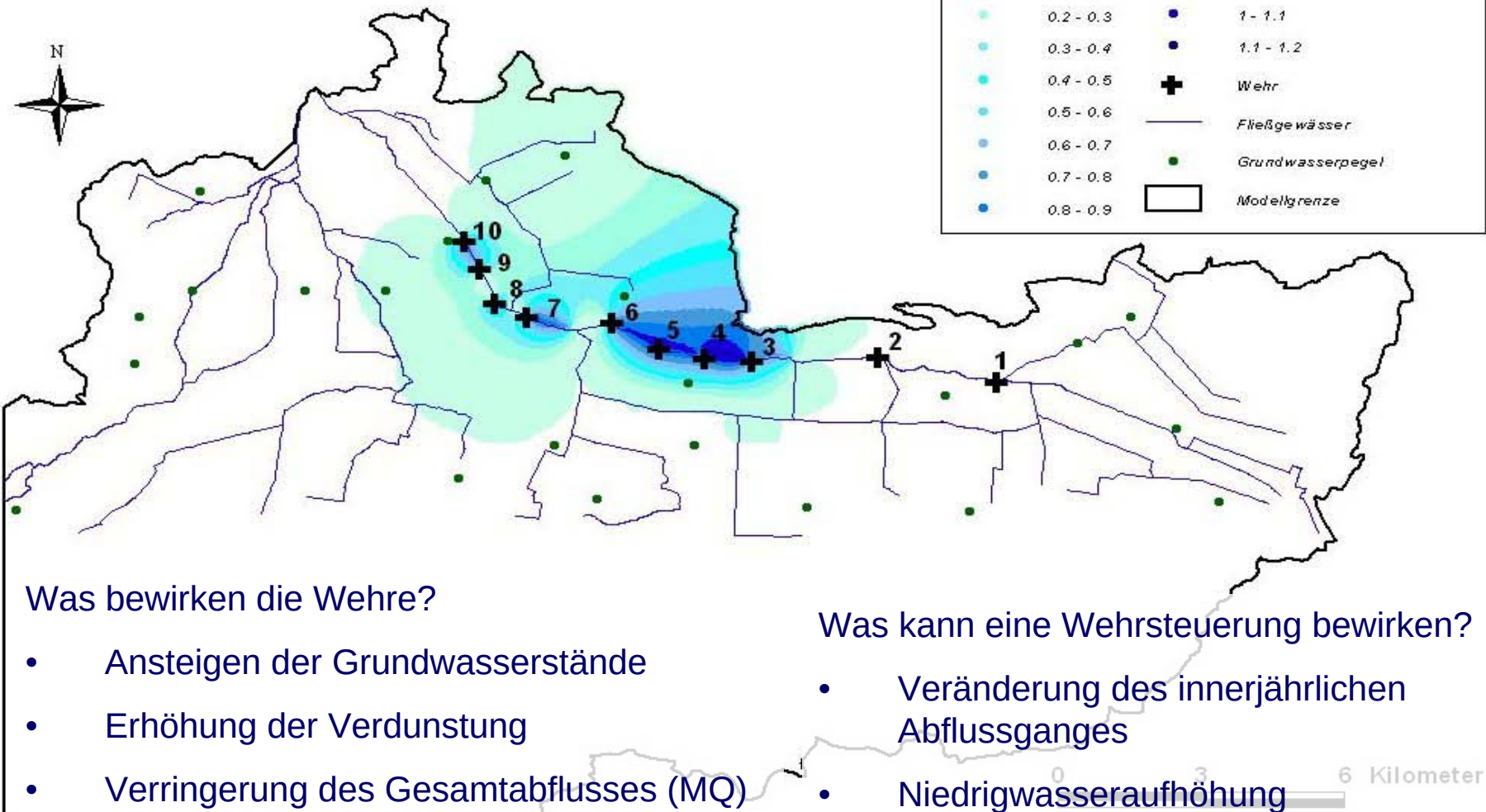


Szenarien

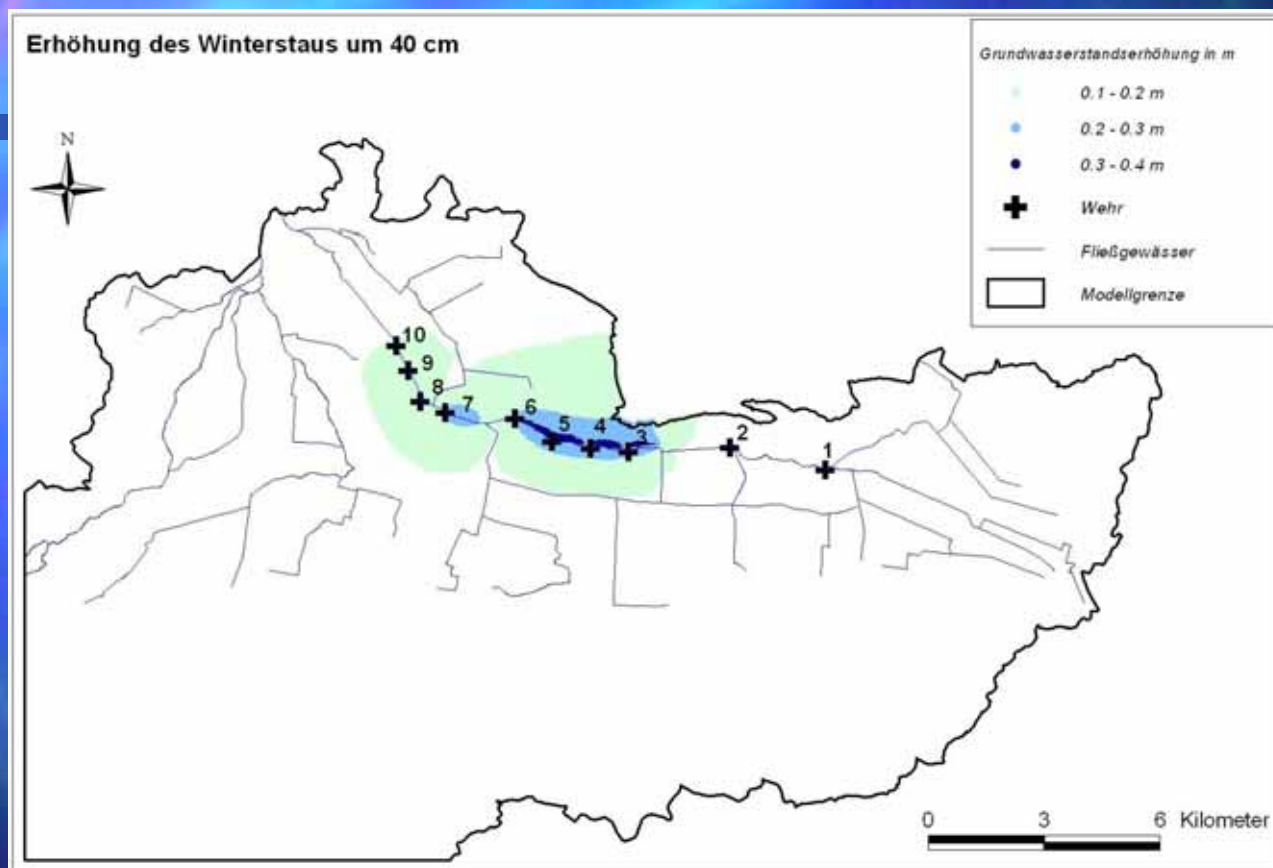


1. Erhöhung des Winterstaus (WASREG)
2. Rückbau von Wehren (RÜWE)
3. Reduzierung des Gewässernetzes (RÜGRÄ)
4. Reduzierung der Wasserentnahme (REWAS)
5. Landnutzungsänderung
6. Speicherbewirtschaftung Seen (WASEE)

Differenz berechneter Grundwasserstände mit Wehrsteuerung und ohne Wehre im Winter



Szenario 1: Erhöhung des Winterstaus (WASREG)



Wehr	Erhöhung des Winterstaus um:
1	10 cm
2	10 cm
3	40 cm
4	40 cm
5	40 cm
6	40 cm
7	40 cm
8	40 cm
9	30 cm
10	30 cm

- Differenz der Grundwassererhöhung durch Staumaximierung und der rekonstruierten Wehrsteuerung zum Berechnungszeitpunkt Winter

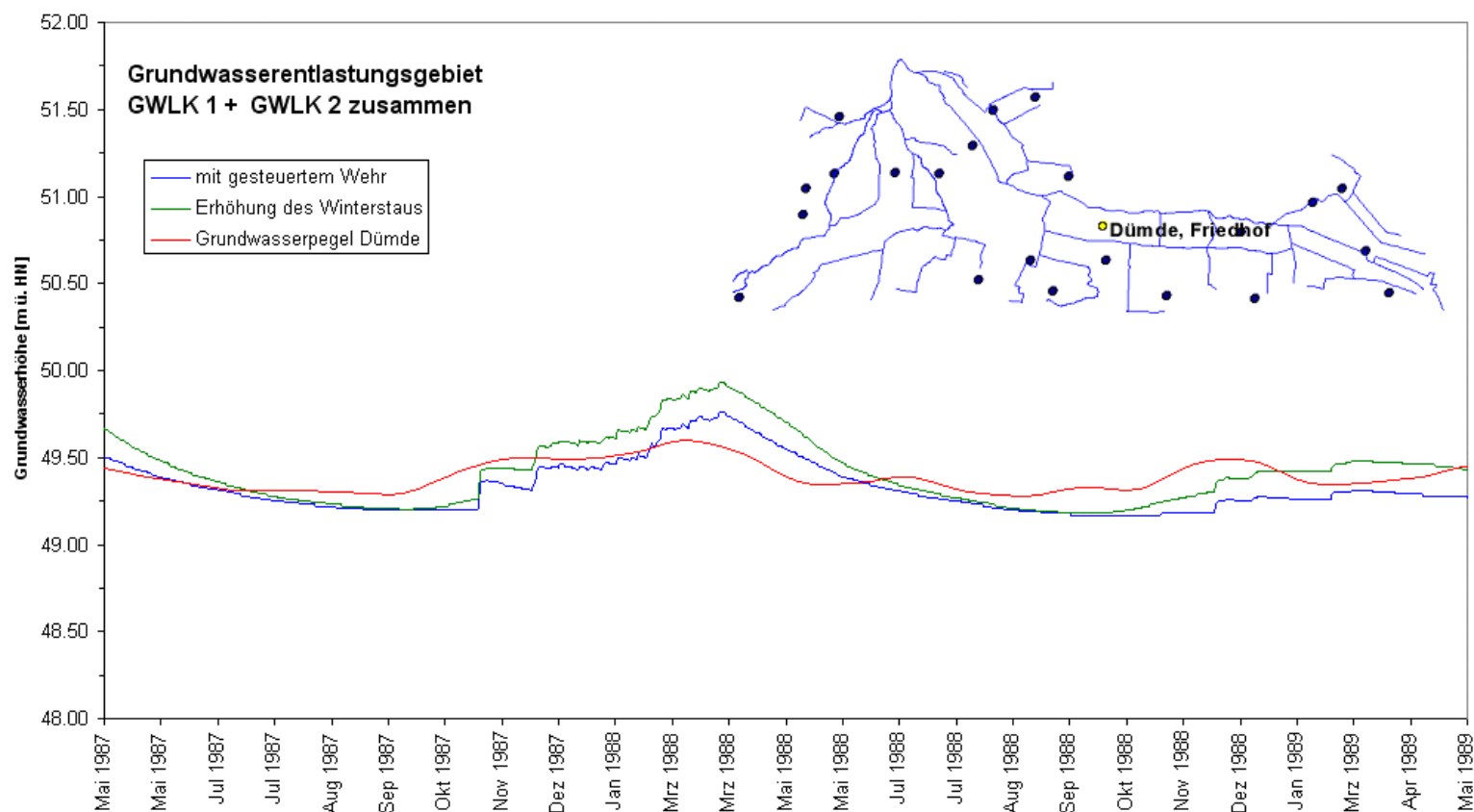
Erhöhung der Stauhöhe von 1 Meter um:	Volumen – Wehr Gottow
10 cm	16 814 m ³
20 cm	33 2010 m ³
30 cm	48 741 m ³
40 cm	69 442 m ³

Auswirkungen auf den Wasserhaushalt

- der MQ verringert sich minimal
- die Verdunstung bleibt gleich
- minimale Verringerung der Grundwasserneubildung

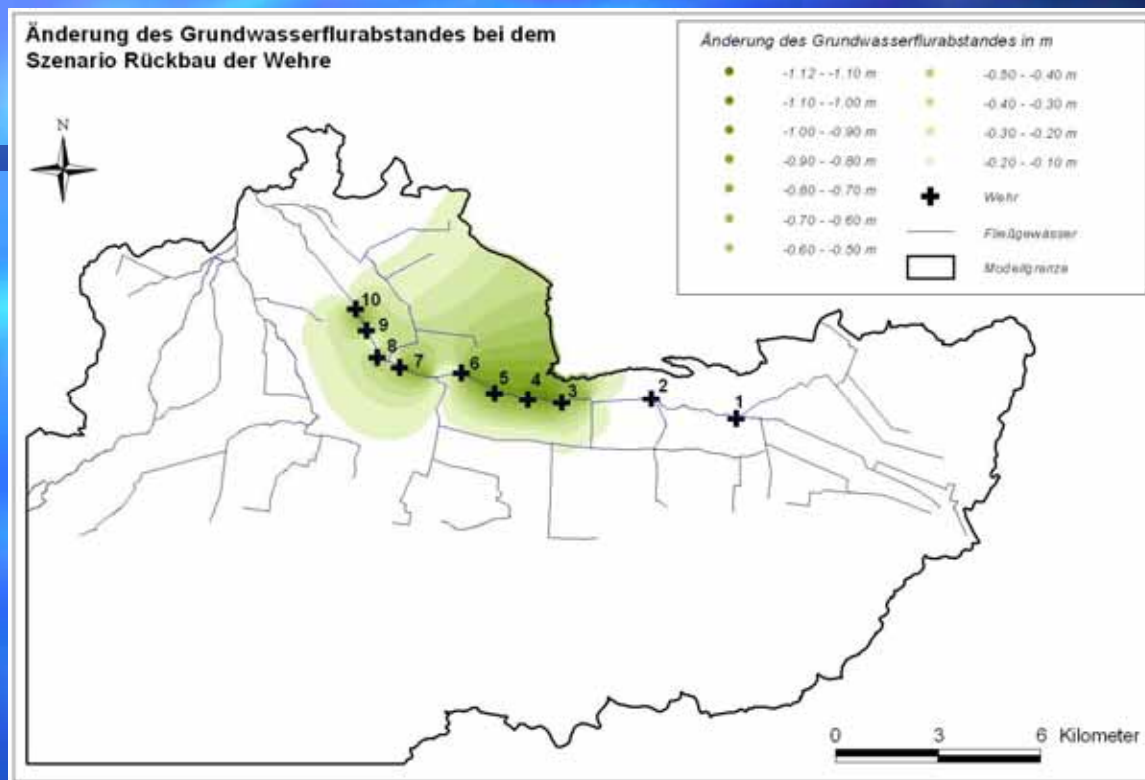
=> Nur geringe Auswirkungen, da Änderungen vorrangig im Winterhalbjahr, hier Verdunstung energie- und nicht feuchtelimitiert

Änderungen im Jahresgang der Grundwasserstände bei einer Maximierung des Winterstaus



- Grundwasserpegel Dümde, befindet sich 650 m vom Hammerfließ entfernt
- die Erhöhung des Winterstaus um 40 cm spiegelt sich in den Grundwasserganglinien wieder, allerdings nur um ca. 18 cm höheren Grundwasserständen gegenüber der Variante ohne erhöhten Winterstau, da der Pegel Dümde sich in ca. 650 m Entfernung vom Vorfluter befindet
- zum Sommer hin nähern sich dann wie zu erwarten beide Ganglinien immer mehr an, da die zusätzliche Gebietsspeicherung quasi „ausgelaufen“ ist

Szenario 2: Rückbau von Wehren (RÜWE)



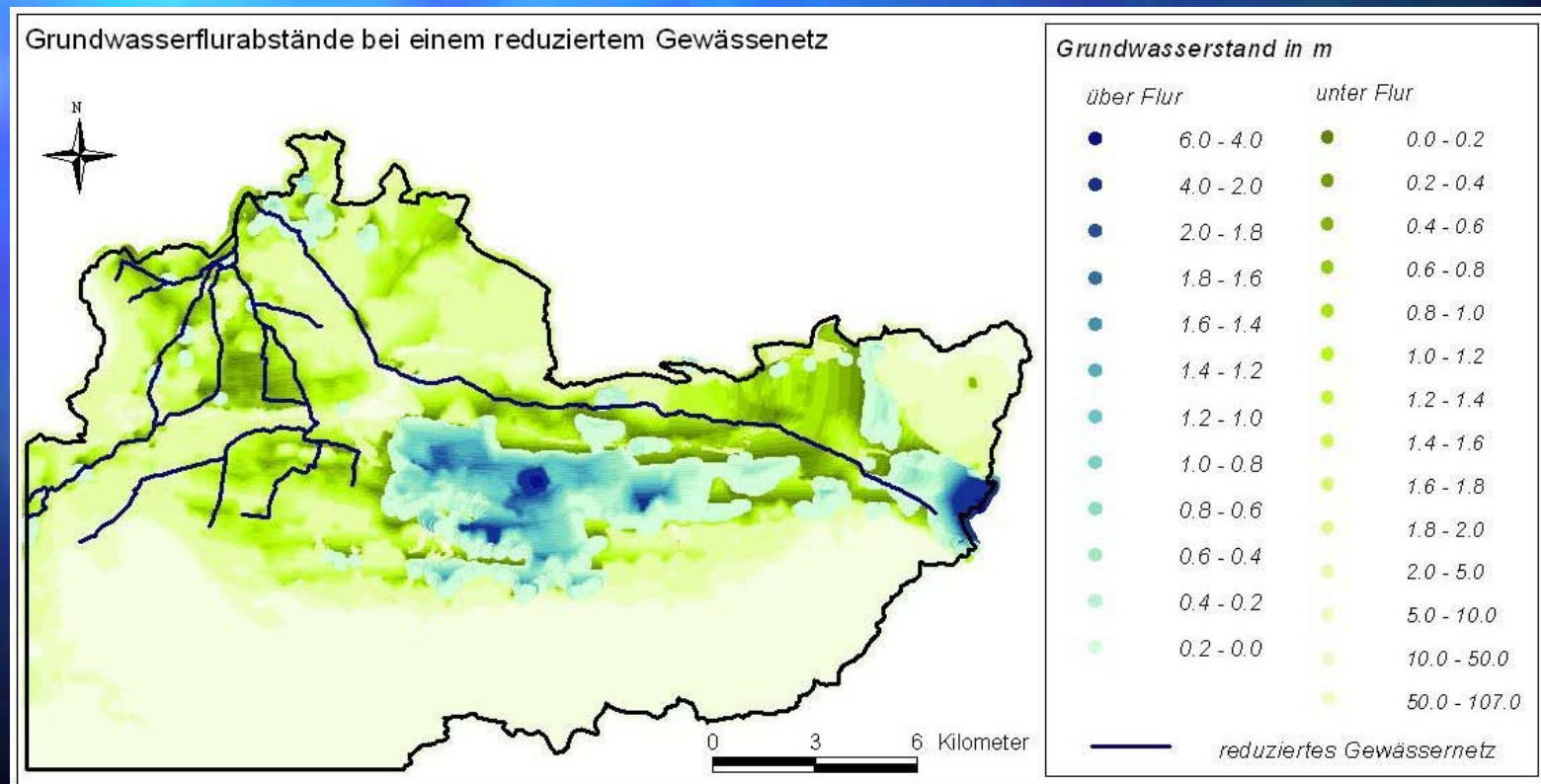
- der Rückbau von Wehren bewirkt ein Sinken des Grundwasserstandes in der näheren Umgebung der Wehre
- durch den Rückbau von Wehren erhöht sich der mittlere Jahresabfluss um 24 l/s
- die mittlere jährliche Verdunstung sinkt
- die Grundwasserneubildung erhöht sich

Szenario 3: Reduzierung des Gewässernetzes (RÜGRÄ)

- vollständige Zuschüttung der vielen Entwässerungsgräben im Einzugsgebiet des Hammerfließes
- nur noch der Gewässerhauptstrang, das Hammerfließ soll zur Entwässerung dienen
- es wird außerdem angenommen, dass die Wehre im Hammerfließ rückgebaut werden, d.h. außer Funktion sind

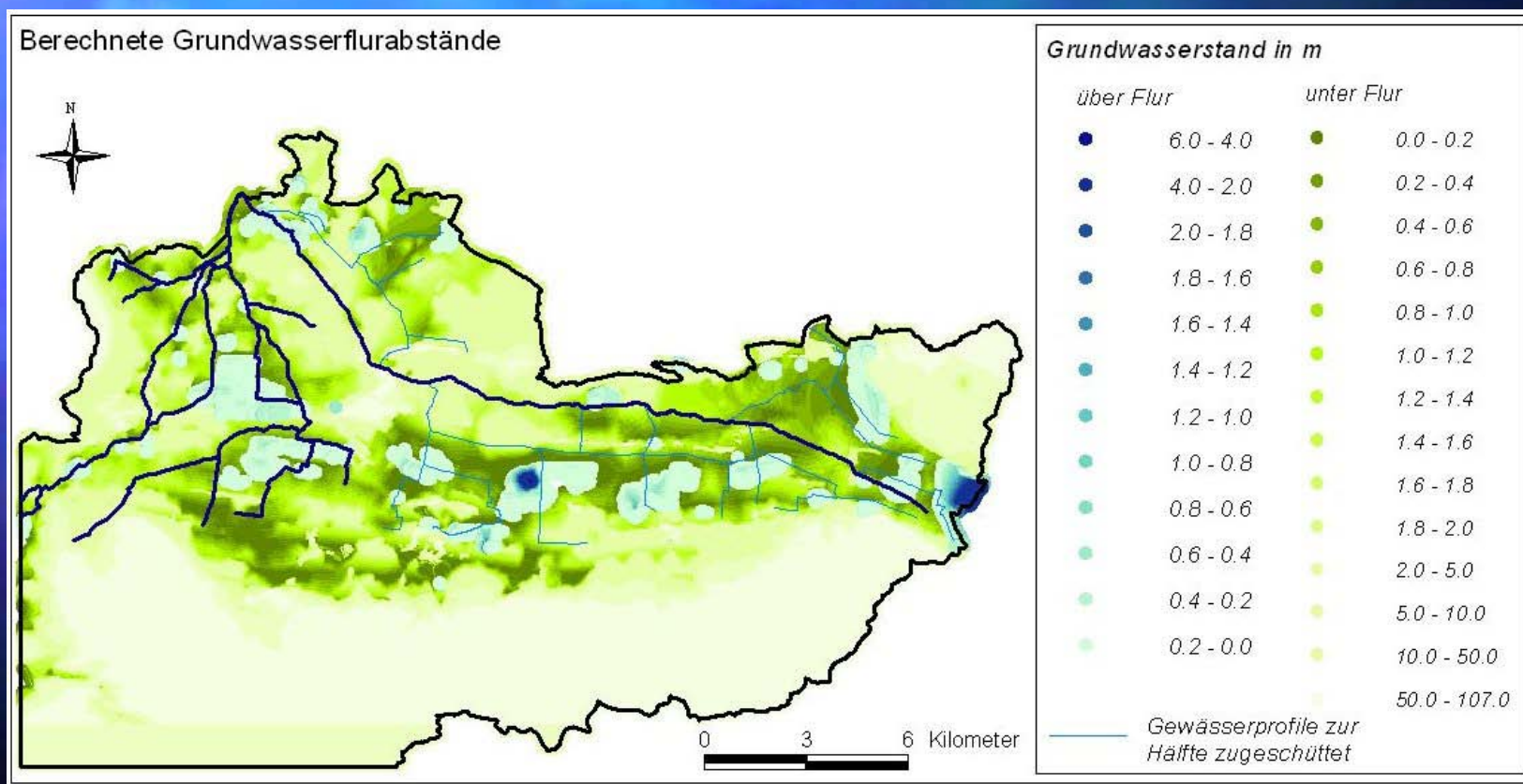


Folge: Eine Vielzahl an Flächen mit ehemaligen Entwässerungsgräben steht über Flur, d.h. der Grundwasserstand ist höher als die Geländehöhe

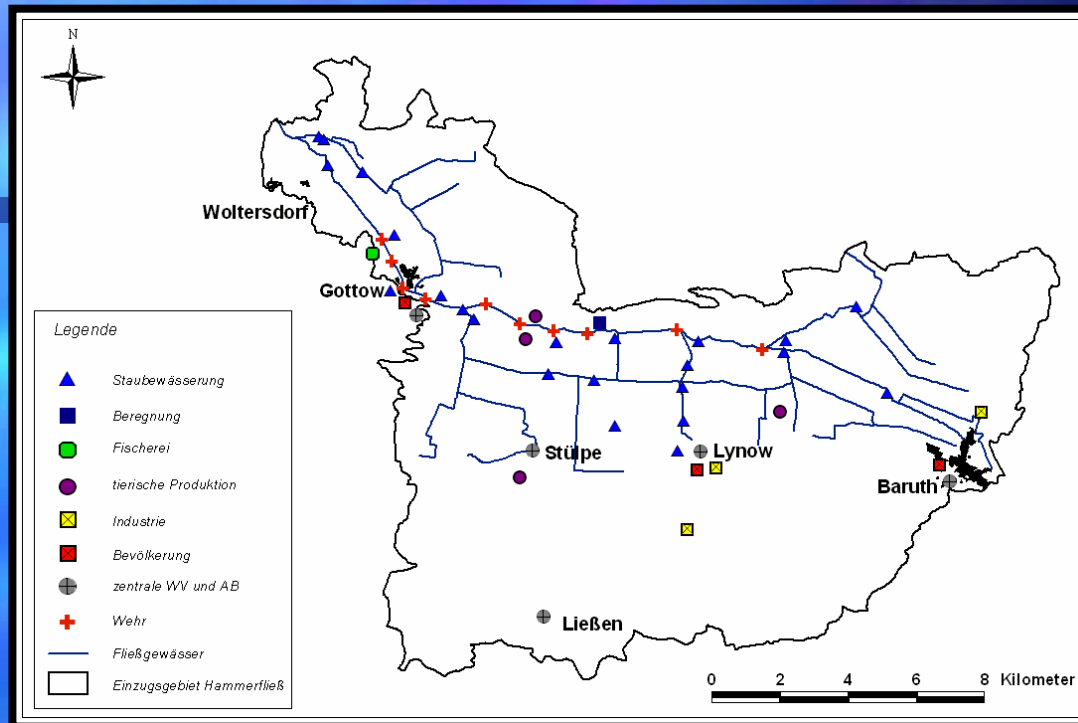


Zuschüttung des Gewässernetzes um die Hälfte der Profiltiefe

- Grundwasserflurabstände betragen in Durchschnitt 20 cm
- einige Flächen liegen über Flur
- Grundwasserfläche über Flur am Wolfsgraben ergibt sich aus einer Vertiefung im DGM



Szenario 4: Reduzierung der Wasserentnahme (REWAS)



⇒ es liegen nur genehmigte Entnahmen/Einleitungen des Zeitraumes 1969 bis 1994 vor

⇒ die Nutzer wurden nicht in das Modell integriert, d.h. es ist auch kein Szenario der Reduzierung der Wasserentnahmen, und keine Übertragung auf das Gesamtgebiet möglich

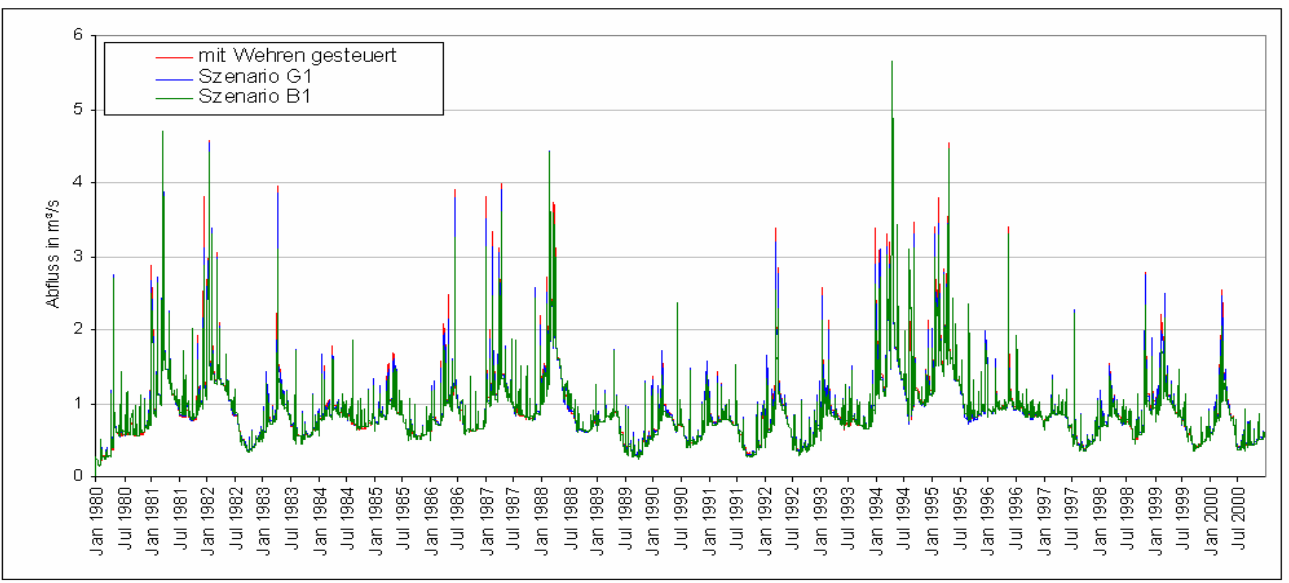
Nutzerbilanz Hammerfließ

Entnahme von Grundwasser:	90 l/s
Rücklauf von Grundwasser ins Grundwasser:	3 l/s
Rücklauf von Grundwasser ins Oberflächenwasser:	12 l/s

Bilanz Grundwasser: - 88 l/s

Bilanz Oberflächenwasser: 12 l/s (nur Rücklauf, keine Daten zur Entnahme)

Szenario 5: Landnutzungsänderung- G1 „Gute fachliche Praxis“+B1 „Bestmögliche Wassergüte“ im Hammerfließ



- der MQ sinkt minimal
- die Abflussspitzen werden leicht gedämpft
- die Verdunstung erhöht sich minimal
- die Grundwasserneubildung sinkt minimal

Szenario	MQ [m³/s]	MQ Sommer [m³/s]	MQ Winter [m³/s]	Verdunstung Jahr [mm/a]	Grundwasserneubildung [mm/a]
mit Wehren gesteuert	0.902	0.764	1.040	549	42
G1-„Gute fachliche Praxis“	0,904	0,777	1,030	551	38
B1-„Bestmögliche Wassergüte“	0,884	0,774	0,996	552	37

Einfluss von Landnutzungsänderungen



Vergleich Ist-Zustand mit B1 „Bestmögliche Wassergüte“

- Hier berechnet mit dem Gesamtmodell, d.h. ohne Berücksichtigung von Unterschieden in den ober – und unterirdischen Einzugsgebieten → Problem Hammerfließ
- Ergebnis: sehr geringe Änderungen (liegen im Bereich des Meßfehlers Niederschlag)
- keine Betrachtung weiterer „schwächerer“ Szenarien notwendig

Name	Jahres-MQ		Sommer-MQ		Winter-MQ		Abweichung MQ
	Ist	B1	Ist	B1	Ist	B1	
Hammerfließ	0.48	0.45	0.43	0.41	0.53	0.50	-5.6
obere Nuthe	1.17	1.09	1.12	1.05	1.22	1.13	-6.8
Nuthe	5.15	5.09	4.72	4.65	5.58	5.52	-1.2
Döllnitz	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	3.5
kleiner Rhin	0.20	0.18	0.19	0.17	0.20	0.18	-9.6
Rhin	5.97	5.48	5.56	5.05	6.39	5.92	-8.2
Obere Havel vor Einmündung der Spree	15.50	14.30	14.30	12.90	16.60	15.70	-7.7
Havel vor Eintritt in die Seen unterhalb Brandenburg	75.70	74.20	70.00	68.10	81.60	80.40	-2.0
Havel Schleuse Gnevsdorf (GVF)	99.70	96.70	91.50	88.10	108.00	105.00	-3.0

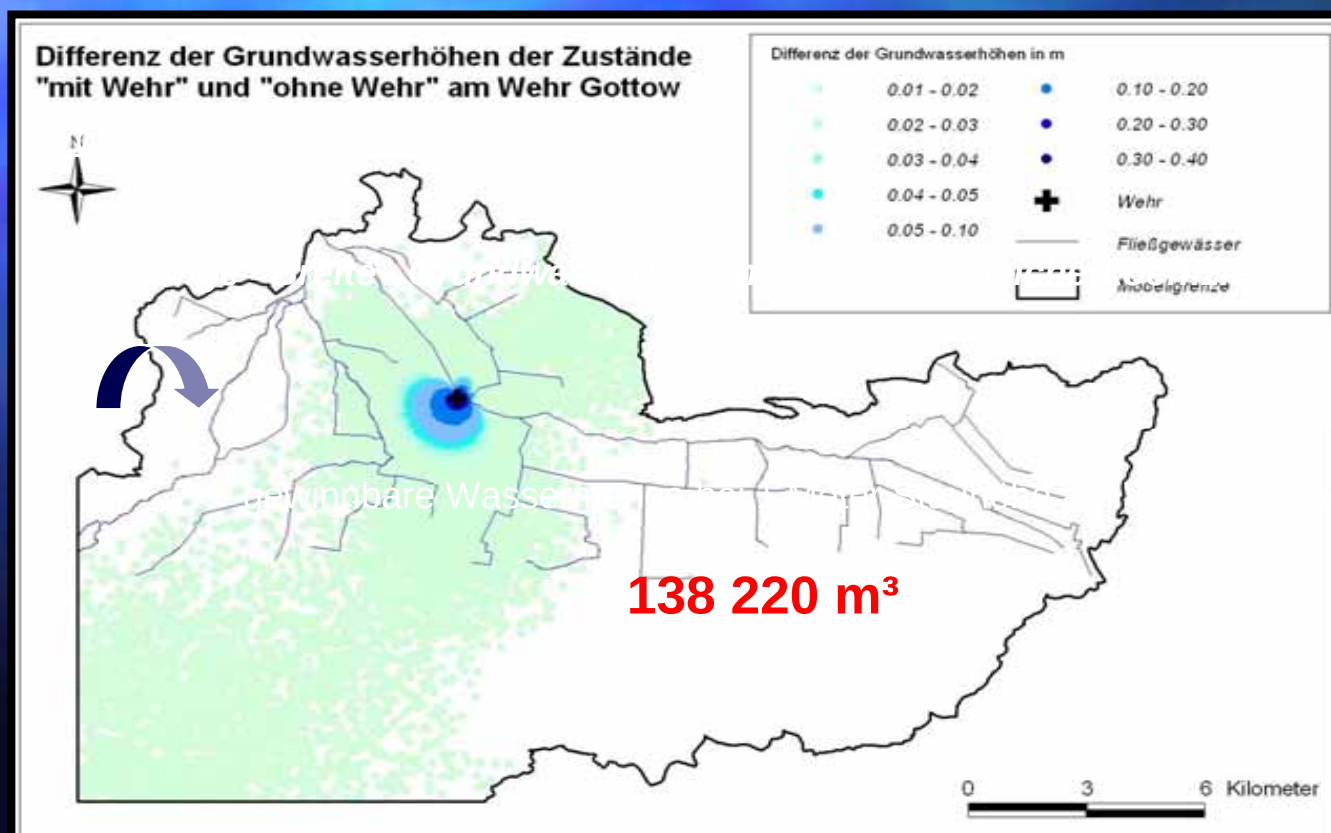
Gewinnbare Wassermenge

Wasservolumen bei einer Stauhaltung von 1 Meter am Wehr Gottlew:

Volumenberechnung anhand der Differenz
der berechneten Grundwasserhöhen „mit Wehr“
und „ohne Wehr“ der Rasterzellen
unter Berücksichtigung des Speicherkoeffizienten

Wehr Gottow

Schützenwehr, Doppelschütz mit Kurbel
Lichte Durchflussbreite: 4,90
Höhe: 2,10
Maximale Stauhöhe 1,10 m



Übertragung auf das Gesamtgebiet

- Im Gesamtgebiet der Havel bestehen 475 Wehre
- den Wehren sind keine Stauziele bekannt

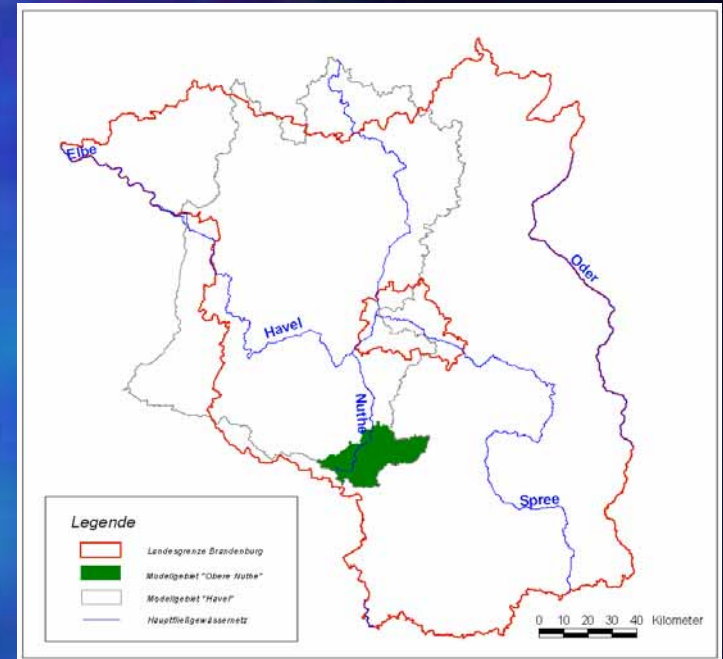
Annahmen zur Übertragung auf das Gesamtgebiet:

- die Stauhöhe beträgt an allen Wehren 1 m
- im Gesamtgebiet liegt die gleiche hydrogeologischen Situation, wie im Fokusgebiet Hammerfließ am Wehr Gottow, vor



bei einem Rückbau aller Wehre entsteht ein Verlust von Retentionsflächen mit einem Volumen von:

65 Millionen m³



Wasserstandserhöhung an Seen (WASEE)

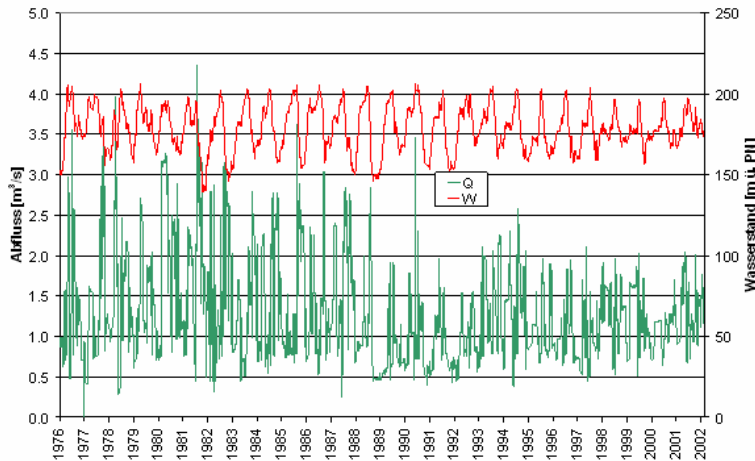


Abbildung 2-1: Wasserstände und Abflüsse am Pegel Rheinsberg OP

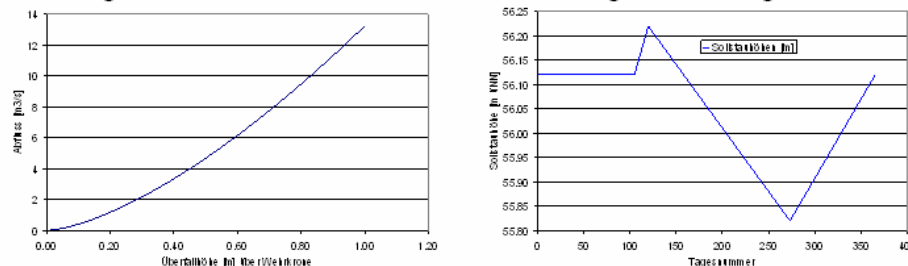


Abbildung 2-2: W-Q-Beziehung (links) und Sollstauhöhen im See laut Bewirtschaftungsplan (rechts) am Wehr Rheinsberg

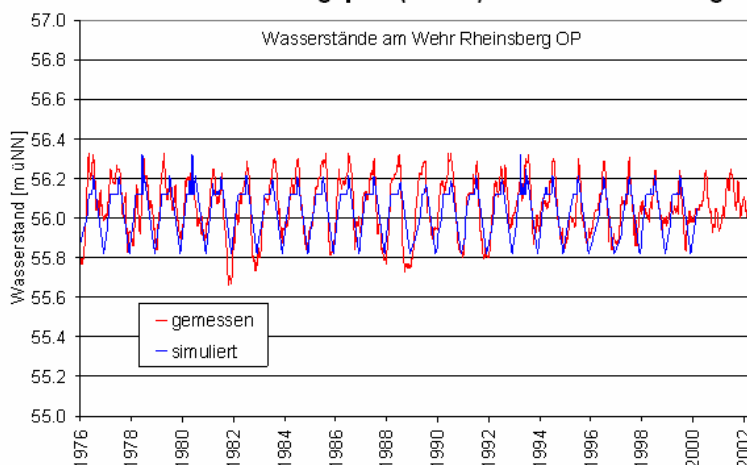


Abbildung 2-3: Gemessene und berechnete Wasserstände für Rheinsberg OP

Bewirtschaftung von Seen modellierbar, wenn folgende Angaben vorliegen:

- Speichereinhaltslinie,
- WQ-Beziehung,
- Steuerregeln

→ Für Gesamtgebiet nicht verfügbar!

→ Abschätzung der Möglichkeiten über einfache GIS-Analyse:

- Im Havelgebiet wurden 177 Seen als WRRL-relevant eingestuft.
- Davon sind 156 ans Gewässernetz angeschlossen, könnten also gezielt Wasser z.B. zur NW-Aufhöhung in der unteren Havel abgeben.
- Diese Seen haben eine Fläche von 345 km².
- Bei einer angenommenen Speicherlamelle von 20 cm ergäbe sich ein Volumen von 69 Mio. m³.
- Mögliche Abflusserhöhung von 10 m³/s über 80 Tage

Vergleich der Szenarien

Szenario	MQ [m³/s]	MQ Sommer [m³/s]	MQ Winter [m³/s]	Ver- dunstung Jahr [mm/a]	Grund- wasser- neubildung [mm/a]
mit Wehren gesteuert	0.902	0.764	1.040	549	42
1.) Erhöhung Winterstau	0.900	0.840	0.960	549	41
2.) Rückbau von Wehren	0.926	0.790	1.060	547	43
3.) reduziertes Gewässer	0.618	0.462	0.775	560	15
4.) Landnutzungs- änderung G1-„Gute fachliche Praxis“	0,904	0,777	1,030	551	38
5.) Landnutzungs- änderung B1-„Bestmögliche Wassergüte“	0,884	0,774	0,996	552	37

Bewertung der Szenarios als Handlungsoption aus wasserwirtschaftlicher Sicht



Handlungsoption	Bewertung
Erhöhung des Winterstaus	- ja, bei geeigneten Gewässerprofilen → Speicherlamelle zur NW-Aufhöhung
Rückbau der Wehre	- Wegfall des Wasserrückhaltes im Gebiet - Schaffung von Ausgleichsmaßnahmen, wie z.B. Sohlrampen erforderlich!
vollständige Reduzierung des Gewässernetzes	- ist für den Wasserhaushalt aufgrund der Verdunstungserhöhung und Verringerung der Grundwasserneubildung als negativ zu bewerten - Teilweise keine landwirtschaftliche Nutzung mehr möglich
Teilweise Zuschüttung des Gewässernetzes	- ist als Ausgleichsmaßnahme zur Grundwasserstandserhöhung bei Rückbau der vielen Staue als positiv zu bewerten
Landnutzungsszenarios „G1“ und „B1“	- hat bei gleichbleibenden Grundwasserflurabständen, mit denen die zukünftige Landnutzung teilweise gar nicht möglich wäre, wenig Auswirkung auf den Wasserhaushalt - als positiv ist die Dämpfung der Abflussspitzen zu bewerten
Wasserstandserhöhung an Seen	- Schaffung einer Speicherlamelle zur NW-Aufhöhung