

Abbildung 5.0-03: **Basis-Szenarien:** Differenz der Wasserstände bei abnehmender Fördermenge.

A: Differenz der Wasserstände Szenario 2 minus Szenario 1 (Wasserstände Abb. 5.0-02C minus 5.0-02A).

B: Differenz der Wasserstände Szenario 3 minus Szenario 2 (Wasserstände Abb. 5.0-02E minus 5.0-02C).

Im Bereich der Galerien E bis H des WW Friedrichshagen zeigen sich nur minimale Differenzen zwischen den unterschiedlichen Wasserständen. Dagegen ergeben sich für die übrigen Bereiche und besonders im Einzug der WW Johannisthal und Wuhlheide Unterschiede von mehreren Metern. Dies ist durch die unterschiedlichen Anteile an Uferfiltrat an der Gesamtförderung der Galerien (Abb. 5.0-01) begründet und wird im Text erläutert. So wird die Änderung der Entnahmemenge entlang der Galerien E bis H fast vollständig durch Änderung der Uferfiltratanteile kompensiert. An den übrigen Galerien bewirkt die Veränderung der Entnahmemenge auch Änderungen der Absenkung in einem großen Radius um die Galerien. Der Uferfiltratanteil dort beträgt nur maximal 60% (Tab. 5.0-01).

Das Szenario 5 simuliert – im Vergleich zu Szenario 2 bzw. 4 – die Reduzierung der Fördermenge durch Stilllegung von Brunnengalerien und Verlagerung der Förderung auf wenige Standorte (Tab. 5.0-02). Dabei ist auffällig, daß die Reduzierung der Fördermenge auf 75% bei einem Flächenbedarf der Einzugsgebiete von 40% gegenüber Szenario 4 möglich ist. Durch die verkleinerten Einzugsgebiete verringert sich der Neubildungsanteil an der Gesamtentnahme, während der absolute Anteil der Uferfiltrat gleich bleibt aber nun auf den verbleibenden kürzeren Uferbereichen intensiviert wird. Die höhere Förderung im Bereich der Galerien A-F des WW Friedrichshagen führt nur zu einer leicht verstärkten Absenkung von maximal 0,50 Metern (Abb. 5.0-04E). Diese Galerien können auf ein großes Einzugsgebiet und ein hohes GW-Dargebot zurückgreifen. Dagegen führt die Stilllegung der WW Wuhlheide und Johannisthal zu einem Anstieg des GW-Spiegels um bis zu 400 cm. In diesem Bereich würden sich die Wasserstände langfristig wieder den natürlichen Verhältnissen nähern, mit besonders für die Infrastruktur möglichen Problemen.

Die durch den Wiederanstieg des Grundwassers betroffenen Gebiete sind in Abbildung 5.0-04E als Isohypsen mit positiver Differenz dargestellt. In dieser Simulation führen die resultierenden geringen Flurabstände noch nicht zu einer Wiedervernässung ehemaliger Feuchtgebiete (Abb. 5.0-04C). Als weitere Folge der fehlenden Förderung werden in die Oberflächengewässer ca. $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ Grundwasser exfiltriert. Gegenüber der vorherigen Entnahme von ca. $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ ist das für die Spree eine positive Bilanz von ca. $0,75 \text{ m}^3/\text{s}$.

Betrachtet man die Reaktionen der einzelnen Brunnengalerien, lassen sich hinsichtlich der Bilanzanteile drei Gruppen ausgrenzen. Zu den Brunnengalerien der ersten Gruppe gehören die

Galerien E-H und K-M des WW Friedrichshagen. Sie fördern fast ausschließlich Uferfiltratanteile, was in ihrer Lage zu den Oberflächengewässern begründet ist. Die durchschnittliche Entfernung der Brunnen zur Uferlinie ist gering und beträgt nur 100-200 Meter. Zusätzlich wird das Einzugsgebiet der Galerien im Urstromtalbereich durch Dahme und Spree begrenzt („Insellage“). Bei hoher Förderleistung (Szenario 1) wird dadurch in den flächenmäßig begrenzten Einzugsgebieten der durch Neubildung generierte Anteil an der Förderung vernachlässigbar gering. Dieses Verhältnis ändert sich erst bei sehr geringen Fördermengen (Szenario 3) zu Gunsten der Neubildung (Tab. 5.0-01). Ein hervorragendes Beispiel für die Interaktion von Einzugsgebieten bildet die Galerie E. Bei insgesamt hohen Förderleistungen im Szenario 1 wird das Einzugsgebiet auf den Bereich zwischen Dahme, Müggelsee und dem Einzugsgebiet von Wuhlheide und Galerie A begrenzt. Die Entkopplung der Einzugsgebiete von Wuhlheide und Friedrichshagen (Nord) in den Szenarien 2/3 eröffnet die Möglichkeit der Verlagerung des Einzugsgebietes der Galerie E in diesen Bereich (Abb. 5.0-02F).

Die zweite Gruppe bilden die Galerien der WW Erkner und Kaulsdorf sowie A und R des WW Friedrichshagen. Sie fördern fast ausschließlich durch Neubildung generiertes Grundwasser, da die Galerien in ausreichender Entfernung zu den Gewässern liegen oder ihre Förderleistung zu gering ist. Die Galerien der WW Kaulsdorf sowie A und R des WW Friedrichshagen bilden lediglich Teileinzugsgebiete im Anstrom der WW Wuhlheide und Friedrichshagen (Nord) aus.

Die dritte Gruppe beinhaltet die Galerien mit einer für wasserwirtschaftliche Fragestellungen interessanten Kombination von Uferfiltrat- und Neubildungsanteilen an der GW-Entnahme, die in Abhängigkeit von der Förderleistung variieren. Sie sind durch einen durchschnittlichen Abstand der Brunnen von mindestens 500 Metern zur Uferlinie gekennzeichnet und/oder nutzen mit ihrem Einzugsgebiet den landseitigen Anstrom von den Hochflächen. Dazu gehören die Galerien der WW Wuhlheide, Johannisthal und Eichwalde sowie B-D und I des WW Friedrichshagen. Dabei steuert die Förderleistung nicht nur die Höhe der beiden Bilanzanteile (Tab. 5.0-01), sondern auch die Ausbildung der Einzugsgebiete im Grenzbereich zwischen benachbarten Galerien. Im Falle der WW Wuhlheide und Johannisthal verläuft diese Grenze bei ähnlicher Förderleistung beider Werke im allgemeinen entlang der Spree. Bei geringen Fördermengen wurde in seitlichen Bereichen der Einzugsgebiete eine Unterfahung der Spree simuliert. Dieses Wechselverhältnis war aber nicht Schwerpunkt der Arbeit.

Genauere Betrachtungen erfolgten dafür im Gebiet der dicht beieinander liegenden Galerien A-D des WW Friedrichshagen. Dafür wurden die Detail-Szenarien A bis C (Abb. 5.0-05) als Variation des Förderzustandes Mai 1999 simuliert. Die Galerien C/D liegen entlang des Müggelseeuferes und parallel dazu im nördlichen Anstrom die Galerie B (Abb. 5.0-05). Durch diese Lagebeziehungen verändern sich die Bilanzanteile der Galerien in Abhängigkeit von der Verteilung der Gesamtförderleistung und der Leistung der Einzelbrunnen (siehe auch Kap. 4.5, Validieren). Bei einer viel höheren Förderung der Galerien C/D gegenüber der Galerie B kann der Uferfiltratanteil für Galerie B bis auf Null reduziert werden (Szenario B & C). Im entgegengesetzten Fall blockiert eine erhöhte Entnahme der Galerie B den landseitigen Anstrom auf die Galerien C/D. Tendenziell ist dies aus dem Vergleich des Szenario A mit dem Szenario C in Abbildung 5.0-05 erkennbar.

Tabelle 5.0-02: Bilanzen der Förderszenarien 4 und 5 im Vergleich - basierend auf der Stilllegung von Brunnengalerien (veränderte Standorte) und Änderung der Fördermengen. Dem Szenario 4 liegt eine mit Szenario 2 vergleichbare (Tab. 5.0-01) Gesamtförderung zugrunde. Allerdings liegen die Entnahmeschwerpunkte anders. Szenario 5 simuliert die Konzentration der Förderung auf wenige Galerien, wobei eine mit Szenario 3 vergleichbare Gesamtförderung (Tab. 5.0-01) angenommen wird.

	Förderszenario	(4)		(5)	
	Modellauf Nr.	824a		825	
Gesamtbilanz	Förderung [m ³ /d]	289.304		219.759	
	Uferfiltrat [m ³ /d]	152.857		131.903	
<i>Anteil an Förderung</i>	Uferfiltrat [%]	52		60	
	GWNB [%]	21		11	
	Rand-Zustrom [%]	27		29	
Wasserwerk	Galerie	FM [m ³ /d]	UF [%]	FM [m ³ /d]	UF [%]
Johannisthal	gesamt	27.397	26,3		
Wuhlheide	Heber	32.876	39,2		
	UWM	8.219			
Kaulsdorf	gesamt	27.397	ohne	27.397	ohne
Friedrichshagen	gesamt	178.000		178.000	
	A - D	98.629	57,4	115.247	58,5
	A	5.480	ohne	5.480	ohne
	B - D		60,8		61,4
	E	16.438	85,0	21.917	85,0
	F	21.917	91,3	41.095	91,0
	G/H	5.480	55,7		
	I				
	K	13.689	88,4		
	L	8.219	82,7		
	M	13.698	82,5		
Einzugsgebiete	Bereich	[km²]		[km²]	
Fläche West	WUH, JOH, KAU	95,1		11,8	
Fläche Nord	FDH A - D	29,5		30,2	
Fläche Süd	FDH E - M	44,8		24,5	
<i>Fläche gesamt</i>	<i>Ohne ERK, EW</i>	169,4		66,5	
		[%]		[%]	
<i>Anteil gesamt (von 308 km²)</i>	<i>Ohne ERK, EW</i>	55,0		21,6	
Änderung West	WUH, JOH, KAU	100,0		12,4	
Änderung Nord	FDH A - D	100,0		102,4	
Änderung Süd	FDH E - M	100,0		54,7	
<i>Änderung gesamt</i>	<i>Ohne ERK, EW</i>	100,0		39,3	
Förderung West	WUH, JOH, KAU	100,0		28,6	
Förderung Nord	FDH A - D	100,0		116,8	
Förderung Süd	FDH E - M	100,0		79,3	
<i>Förderung gesamt</i>	<i>mit ERK, EW</i>	100,0		76,0	

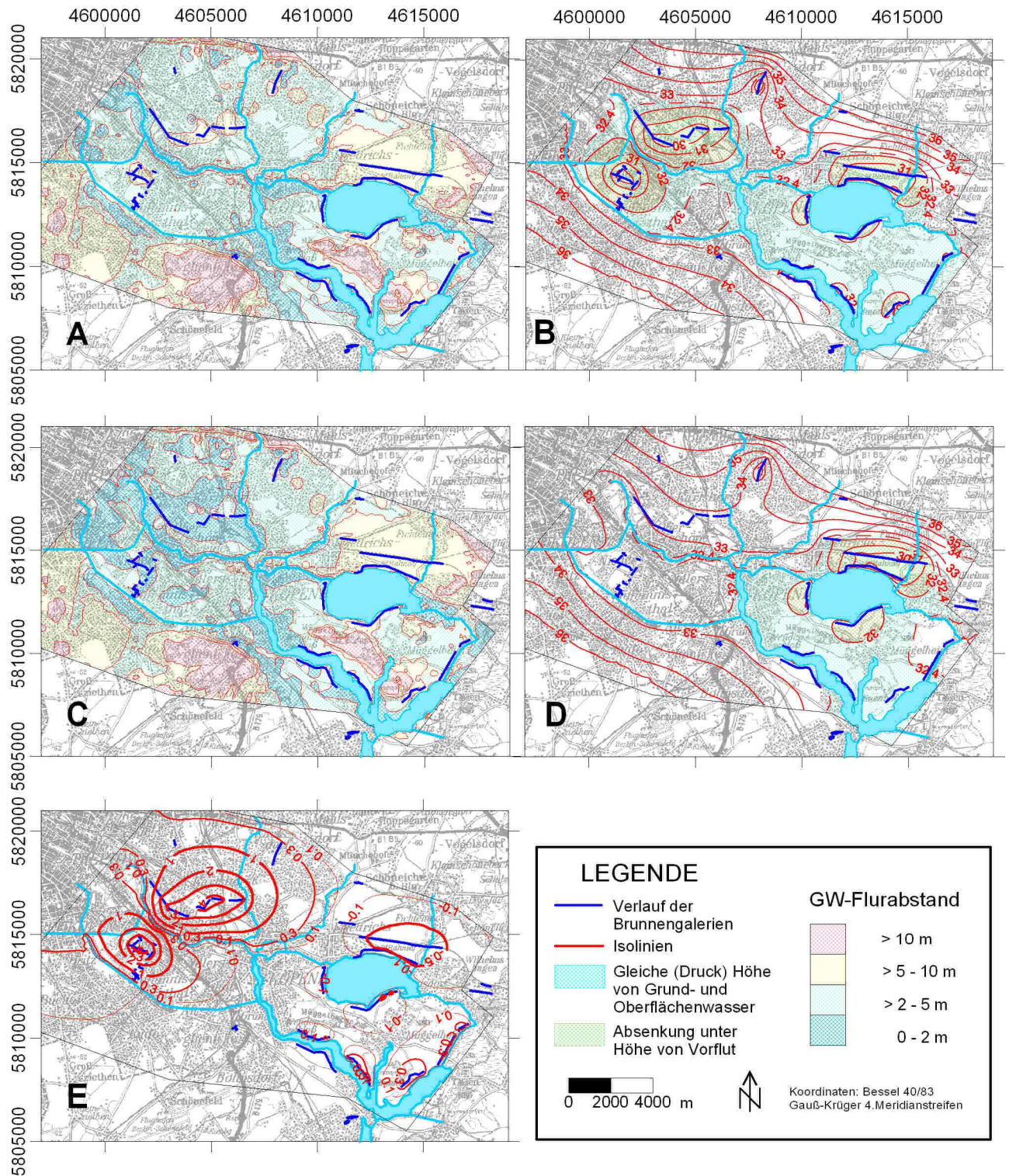


Abbildung 5.0-04: **Szenarien 4 & 5:** Auswirkungen von veränderter Fördermenge und Förderstandorte (s. Tab 5.0-02) bei konstanten Randbedingungen auf die GW-Flurabstände und die GW-Isophypsen.

A/B: Fördermenge nach Szenario 4 (Modellauf Nr.: 824a) – alle Brunnen galerien fördern.

C/D: Fördermenge nach Szenario 5 (Modellauf Nr.: 825) - WW Friedrichshagen fördert nur über Galerie A-F, WW Johannisthal und Wuhlheide stillgelegt. Wieder ansteigendes Grundwasser (geringer Flurabstand) führt noch nicht zur Ausbildung von Grundwasserblänken, da das WW Kaulsdorf in den potentiellen Bereichen noch aktiv ist (vgl.: Abb. 5.0-06).

E: Differenz der Wasserstände Szenario 5 minus Szenario 4 (Wasserstände Abb. 5.0-03C minus 5.0-03A) Die Differenz der Wasserstände zwischen Förderung und Stilllegung der WW Johannisthal und Wuhlheide verdeutlicht die durch Absenkung beeinflussten Bereiche des Grundwasserleiter.

Schlußfolgerungen

Die Simulation wasserwirtschaftlich begründeter Szenarien verdeutlicht die direkte Abhängigkeit der GW-Dynamik von der Fördermenge und den Förderstandorten der Brunnengalerien. Durch Reduzierung der GW-Entnahmen verringern sich die Flächen der (Teil)Einzugsgebiete, die Anteile der Uferfiltration und die GW-Flurabstände (Szenarien 1-3).

Folgende Zusammenhänge sind dabei für wasserwirtschaftliche Fragestellungen von Relevanz: Durch hohe GW-Entnahmen konkurrieren Teileinzugsgebiete um das GW-Dargebot. Diese Begrenzung verstärkt die ohnehin hohe Absenkung im Bereich der Brunnengalerien. Der dadurch erhöhte Gradient zwischen Entnahmen und Oberflächengewässern führt zu entsprechend hohen Uferfiltrat-Anteilen. Die Aufwärtsbewegung von Tiefenwasser im Bereich hydraulischer Verbindungen wird ebenfalls forciert (das Problem von Salzaufstiegen wurde hier nicht untersucht).

Auf die flächenmäßige Veränderung der Einzugsgebiete sollte daher durch ein angepaßtes Monitoring reagiert werden können. Größere Einzugsgebiete aktivieren nicht nur potentielle Gefahrenquellen, sondern auch zusätzliche Uferzonen für die Uferfiltration. Eine weitere Unsicherheit in hydraulischer Hinsicht stellt die mögliche Kolmation der Gewässerbereiche mit Uferfiltration dar. Hohe Uferfiltrat-Anteile durch o.g. Zustände beschleunigen möglicherweise auch Kolmationsprozesse, welche langfristig das Dargebot einschränken. Diese Prozesse können verhindert bzw. verlangsamt werden, indem die Förderung auf lange Brunnengalerien mit geringer und gleichmäßiger Entnahme je Brunnen verteilt wird. Dadurch verringerte Flurabstände sind auch unter ökologischen Gesichtspunkten (Feuchtgebiete etc.) von Vorteil. Zudem können Oberflächengewässer gezielt beeinflußt werden – hohe Sauerstoffgehalte und Fließbewegungen behindern die Kolmation. Eingeschränkte Uferfiltration würde besonders die Brunnengalerien mit „Insellage“ (zwischen Spree und Dahme) betreffen. Dort wird bei hoher Förderung (Szenario 1) bis zu 100% Uferfiltrat gewonnen. Der Erhalt der hydraulischen Uferfiltrationsleistung gewährleistet durch entsprechend geringe Absenkungen (Abb. 5.0-03) den Bestand der umliegenden sensiblen Feuchtgebiete und verhindert einen möglichen förderbedingten Salzaufstieg.

Somit ist auch die in Szenario 5 simulierte Konzentration der Förderung auf wenige Standorte nicht zu empfehlen. Neben den o.g. Gründen werden dabei zusätzlich die vorhandenen Anlagen an ihre Belastbarkeitsgrenzen gebracht. Durch die Stilllegung der WW Wuhlheide bzw. Johannisthal kommt es in diesen Bereichen langfristig zur Einstellung des „natürlichen Fließsystems“ (Szenario 6). Dies führt in weiten Stadtgebieten zu geringen Flurabständen (mögliche Wiedervernässung der ehemaligen Sumpfgebiete), welche infrastrukturelle Probleme nachsichziehen. Der Wiederanstieg des Grundwassers mobilisiert möglicherweise Altlasten, die dann der GW-Bewegung in Richtung Vorflut folgen könnten.

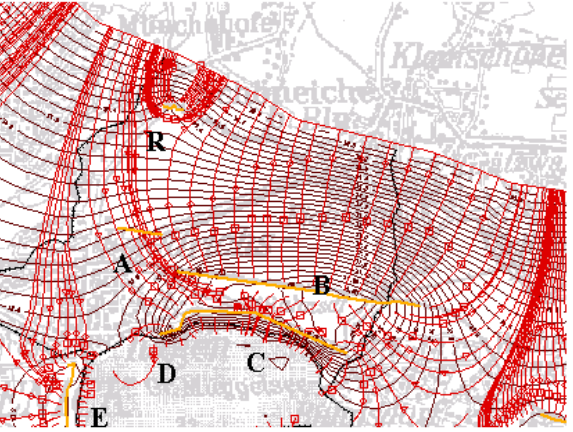
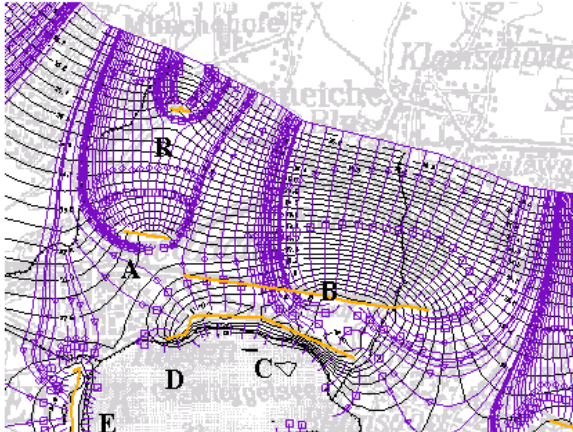
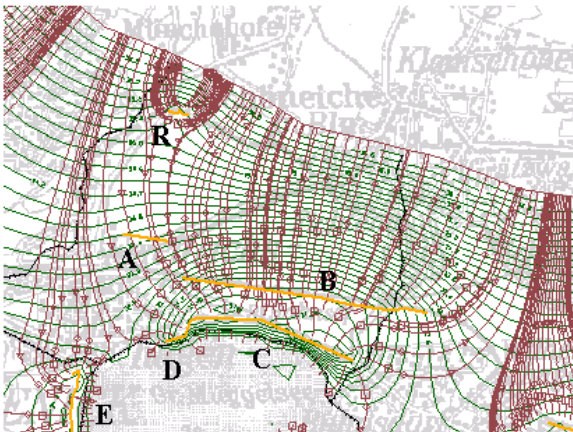
Karte der GW-Stromlinien	Bilanzdaten																								
	<p>Szenario A Detail Förderzustand 05/99 [Tm³/d]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Galerie FM</th> <th>UF</th> <th>GW landseitig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A 0,0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>B 35,1</td> <td>1,5</td> <td>33,6</td> </tr> <tr> <td>C/D 36,7/11,5</td> <td>45,2</td> <td>3,0</td> </tr> <tr> <td>E 11,4</td> <td>9,1</td> <td>2,3</td> </tr> <tr> <td>R 4,9</td> <td>0</td> <td>4,9</td> </tr> <tr> <td>gesamt 99,6</td> <td>55,8</td> <td>43,8</td> </tr> <tr> <td>Anteil 100%</td> <td>56%</td> <td>44%</td> </tr> </tbody> </table>	Galerie FM	UF	GW landseitig	A 0,0	0	0	B 35,1	1,5	33,6	C/D 36,7/11,5	45,2	3,0	E 11,4	9,1	2,3	R 4,9	0	4,9	gesamt 99,6	55,8	43,8	Anteil 100%	56%	44%
Galerie FM	UF	GW landseitig																							
A 0,0	0	0																							
B 35,1	1,5	33,6																							
C/D 36,7/11,5	45,2	3,0																							
E 11,4	9,1	2,3																							
R 4,9	0	4,9																							
gesamt 99,6	55,8	43,8																							
Anteil 100%	56%	44%																							
	<p>Szenario B Detail Förderzustand 05/99 [Tm³/d] geändert</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Galerie FM</th> <th>UF</th> <th>GW landseitig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A 6,0</td> <td>0</td> <td>6,0</td> </tr> <tr> <td>B 20,0 (nur Ost)</td> <td>0</td> <td>20,0</td> </tr> <tr> <td>C/D 40,0/8,0</td> <td>36,0</td> <td>12,0</td> </tr> <tr> <td>E 16,0</td> <td>12,9</td> <td>3,1</td> </tr> <tr> <td>R 4,9</td> <td>0</td> <td>4,9</td> </tr> <tr> <td>gesamt 94,9</td> <td>48,9</td> <td>46,0</td> </tr> <tr> <td>Anteil 100%</td> <td>51,5%</td> <td>48,5%</td> </tr> </tbody> </table>	Galerie FM	UF	GW landseitig	A 6,0	0	6,0	B 20,0 (nur Ost)	0	20,0	C/D 40,0/8,0	36,0	12,0	E 16,0	12,9	3,1	R 4,9	0	4,9	gesamt 94,9	48,9	46,0	Anteil 100%	51,5%	48,5%
Galerie FM	UF	GW landseitig																							
A 6,0	0	6,0																							
B 20,0 (nur Ost)	0	20,0																							
C/D 40,0/8,0	36,0	12,0																							
E 16,0	12,9	3,1																							
R 4,9	0	4,9																							
gesamt 94,9	48,9	46,0																							
Anteil 100%	51,5%	48,5%																							
	<p>Szenario C Detail Förderzustand 05/99 [Tm³/d] geändert</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Galerie FM</th> <th>UF</th> <th>GW landseitig</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A 0,0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>B 20,0 (gesamt)</td> <td>0</td> <td>20,0</td> </tr> <tr> <td>C/D 46,0/8,0</td> <td>45,0</td> <td>9,0</td> </tr> <tr> <td>E 16,0</td> <td>12,4</td> <td>3,6</td> </tr> <tr> <td>R 4,9</td> <td>0</td> <td>4,9</td> </tr> <tr> <td>gesamt 94,9</td> <td>57,4</td> <td>37,5</td> </tr> <tr> <td>Anteil 100%</td> <td>60,5%</td> <td>39,5%</td> </tr> </tbody> </table>	Galerie FM	UF	GW landseitig	A 0,0	0	0	B 20,0 (gesamt)	0	20,0	C/D 46,0/8,0	45,0	9,0	E 16,0	12,4	3,6	R 4,9	0	4,9	gesamt 94,9	57,4	37,5	Anteil 100%	60,5%	39,5%
Galerie FM	UF	GW landseitig																							
A 0,0	0	0																							
B 20,0 (gesamt)	0	20,0																							
C/D 46,0/8,0	45,0	9,0																							
E 16,0	12,4	3,6																							
R 4,9	0	4,9																							
gesamt 94,9	57,4	37,5																							
Anteil 100%	60,5%	39,5%																							

Abbildung 5.0-05: **Detail-Szenarien A - C:** Auswirkungen auf die GW-Stromlinien der Nordgalerien des WW FDH durch veränderte Fördermenge und Förderstandorte bei konstanten Randbedingungen. GW-Stromlinien verdeutlichen die Interaktion der Einzugsgebiete und Wechselwirkungen zwischen Brunnengalerien (linke Spalte). Die zugehörigen Bilanzanteile Fördermenge (FM) Uferfiltrat (UF) und GW im landseitigen Anstrom sind in der rechten Spalte dargestellt.

Szenario A: Simulation des Förderzustandes Mai 1999 – keine Förderung entlang der Galerie A. Der Einzug der Galerien B-D weitet sich bis in das Gebiet der Galerie A aus. Galerie B fördert noch Uferfiltratanteile.

Szenario B: Variation des Szenario A – zusätzlich Förderung entlang der Galerie A, aber nur der Osthälfte von Galerie B. Das eigene Teileinzugsgebiet der Galerie A verlagert den Einzug der Galerien B-D weitestgehend nach Osten. Die Galerie C erhält einen hohen Anteil an landseitigem GW, wogegen die Galerie B kein UF fördert.

Szenario C: Variation des Szenario A – keine Förderung entlang der Galerie A, dafür Galerie B mit verminderter und Galerie C/D mit erhöhter Förderung. Galerie B fördert als Teileinzug der Galerie C/D nur landseitiges Grundwasser. Die geringe Absenkung ermöglicht auch den landseitigen Zustrom zu den Galerie C/D - Galerie B wird unterfahren.

Natürliches Fließsystem – Szenario 6

Ob das natürliche Fließgeschehen richtig simuliert wurde, konnte nur anhand hydrologischer Tatsachen und einer Karte der GW-Stände nördlich des Müggelsees, vor Inbetriebnahme des Wasserwerkes Friedrichshagen (1905), überprüft werden. Die zu erreichenden hydrologischen Kriterien sind:

1. Das Grundwasser strömt von den Hochflächen in Richtung Urstromtal, nähert sich dort den Wasserständen der Oberflächengewässer und wird über die Vorflut entwässert.
2. Das GW-Strömungssystem im Urstromtal entspricht dem der Oberflächengewässer. Die Grundwasserstände sind im Osten höher als im Westen.

Der erste Punkt kann durch die Isolinienkarte mit dem „ungesenkten Wasserspiegel im April 1905“ (STÄDTISCHE WASSERWERKE BERLIN 1912) bestätigt werden. Zudem hat damals noch keine langfristige Absenkung des GW-Spiegels zu weitreichenden Auswirkungen im GWL geführt. Der GW-Stand an der nördlichen Modellgrenze betrug (bei leicht abweichendem Verlauf) zwischen 38 und 39 mNN. Daher wurde der Randzustrom für das Szenario 6 mit einer Höhe von 39 mNN (Annahme für die Nord- und Südwestgrenze) simuliert.

In Abbildung 5.0-06 wird das Ergebnis des Szenario 6 als Isolinienplan und Karte der GW-Flurabstände gezeigt. Die o.g. Kriterien werden vom Modell erfüllt. In der Bilanz strömen annähernd 150.000 m³/d (ca. 1,7 m³/s) Grundwasser von den Hochflächen in die Vorflut. Die Flurabstände sind noch geringer als nach Annahme der o.g. Wasserwerks-Stillegung und liegen (mit Ausnahme der Müggel- und Püttberge) bei weniger als 5 m im gesamten Urstromtalbereich (Abb. 5.0-06B). Dies führt möglicherweise zu einer Wiedervernässung ehemaliger Feuchtgebiete (Abb. 5.0-06B – weiße Flächen; heute z.T. ehem. Baggerseen: Biesdorf, Kaulsdorf, Wuhlestaasee) und bietet besonders im Nordosten (Flurabstand <2 m) weiträumig potentielle infrastrukturelle Konflikte.

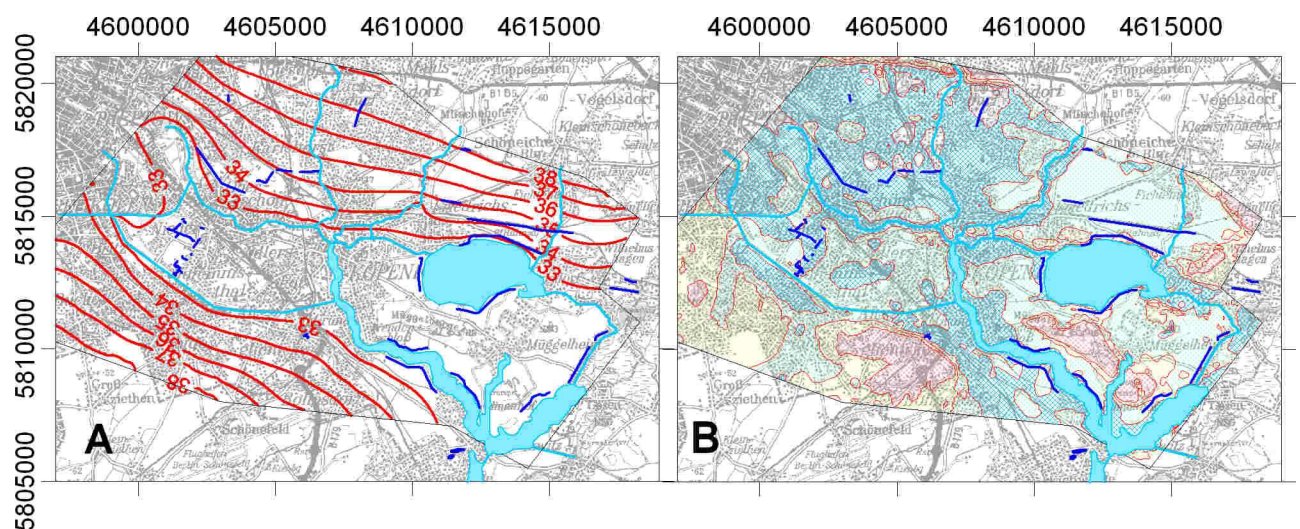


Abbildung 5.0-06: **Szenario 6**: GW-Isohypsen und GW-Flurabstände bei Simulation der GW-Strömung zum Zustand ohne GW-Entnahmen („natürliches Fließsystem“). In Abbildung B werden Bereiche möglicher Wiedervernässung im Einzugs der WW Kaulsdorf und Wuhleide (Blänken) als weiße Flächen (ohne Signatur) sichtbar.

A: GW-Isohypsen, Höhe Zustrom 39 mNN (Modellauf Nr.: 829)

B: GW-Flurabstand, Höhe Zustrom 39 mNN (Modellauf Nr.: 829)