

Stuttgart 21

- **Umgestaltung des Bahnknotens Stuttgart**
- **Aus- und Neubaustrecke Stuttgart - Augsburg
Bereich Stuttgart - Wendlingen mit Flughafenanbindung**

Planfeststellungsabschnitte 1.1, 1.5 und 1.6a

- 7. Planänderung -

Analytische Beschreibung der Grundwasserneubildungs- abhängigen Schwankungen in den bauzeitlichen Grund- wasserandrangsraten und wasserrechtliche Würdigung

Vorhabenträgerin:

Deutsche Bahn AG
vertreten durch
DB ProjektBau GmbH
Großprojekt Stuttgart 21 – Wendlingen-Ulm
Räpplenstraße 17
70191 Stuttgart

Bearbeitung:

ARGE Wasser ♦ Umwelt ♦ Geotechnik
Oberdorfstraße 12
91747 Westheim
und
Heilbronner Straße 81
70191 Stuttgart
und
Pforzheimer Straße 126a
76275 Ettlingen
und Paul-Schwarze-Str. 3
01097 Dresden

Inhaltsverzeichnis

Textteil	Seite
1	Historie und Randbedingungen 1
2	Prognoserechnungen zur Ermittlung der Hydrologie-bedingten Schwankungen des bauzeitlichen Grundwasserandrangs..... 2
3	Anwendung eines Linearspeicher-Modells 4
4	Regressionsanalysen zwischen der verzögerten Grundwasserneubildung und den berechneten Wasserandrangsdaten..... 6
5	Synthetische Ganglinien zur Überprüfung der Regressionsanalysen.....11
6	Normierung der analytischen Ansätze aus den Regressionsbeziehungen.....14
7	Beispielrechnung.....16
8	Vorschlag für die wasserrechtliche Würdigung der Hydrologie-bedingten Einflüsse17
8.1	Vorbemerkungen17
8.2	Wasserrechtliche Würdigung18
9	Umsetzung des Prüfverfahrens und Zusammenfassung20

Anlagenteil

- Anlage 1: Berechnungen mit instationärer Hydrologie, Ausgewählte Teilbaugruben mit
Wasserhaltung PFA 1.1 und 1.5
- Anlage 2: Berechnungen mit instationärer Hydrologie, Ausgewählte Teilbaugruben mit
Wasserhaltung PFA 1.6

1 Historie und Randbedingungen

Das im Rahmen der 7. Planänderung beantragte Wasserrecht für das Bauvorhaben basiert auf Prognoserechnungen mit dem instationären Grundwasserströmungsmodell. Diese Prognoserechnungen setzen auf dem stationär für Mittelwasserstände geeichten GW-Modell auf (ARGE WUG, 2010). Davon ausgehend wurden die in das Grundwasser eingreifenden Baumaßnahmen instationär unter Berücksichtigung einer konstanten mittleren Grundwasserneubildung (GWN) und entsprechenden äußeren Modellrandbedingungen simuliert. Die dabei für hydrologische Mittelwasserverhältnisse ermittelten Grundwasserandrangsraten stellten die Basis der wasserrechtlichen Beantragung dar (7. Planänderung vom April 2011).

Der Sachverständige „Wasserwirtschaft“ legte im Nachgang zur 7. Planänderung auf der 73. AK-Sitzung am 12.10.2011 die Ergebnisse der Prognoserechnung unter Berücksichtigung der instationären Hydrologie für den Zeitraum April 2002 bis März 2009 vor. Aufgrund der insbesondere in den Jahren 2002 und 2003, mit gegenüber dem Mittel deutlich erhöhter Grundwasserneubildung (hydrologische Hochwasserverhältnisse), wurden für diesen Zeitraum deutlich erhöhte Grundwasserandrangsraten bestimmt, die eine Überschreitung der mit der 7. Planänderung beantragten Wassermengen bedingen.

Um das weitere Vorgehen bezüglich des 7. Planänderungsantrages festzulegen, fand am 14.12.2011 ein Aufklärungsgespräch zwischen der DB ProjektBau GmbH, dem Eisenbahnbundesamt sowie der unteren und oberen Wasserbehörde statt. Dabei wurde auch die wasserrechtliche Berücksichtigung der bauzeitlich auftretenden natürlichen hydrologischen Schwankungen diskutiert. Hierbei wurde festgelegt, dass seitens des Vorhabenträgers entsprechende Untersuchungen vorgenommen werden und ein Vorschlag zur wasserrechtlichen Regelung erarbeitet wird.

Seitens der DB ProjektBau GmbH wurde am 22.12.2011 der unteren Wasserbehörde ein Vorschlag über die weiteren Untersuchungen zur Bestimmung der Hydrologie-bedingten Beeinflussung des bauzeitlichen Grundwasserandrangs zugesandt, dem mit Mail vom 30.12.2011 seitens der Behörde grundsätzlich zugestimmt wurde. Ergänzend wurde hierbei angemerkt, dass bauzeitlich eine unbeeinflusste Referenzgröße zur Verfügung stehen muss, wobei die Grundwasserneubildung als möglicher Parameter vorgeschlagen wurde.

Dieser Vorschlag wurde DBPB-seits aufgegriffen und als Vorgabe für die nachfolgenden Arbeitsschritte festgelegt. Zum Thema Grundwasserneubildung ist grundsätzlich festzuhalten, dass die Grundwasserneubildung unabhängig von der Grundwassermodellierung auf Basis einer Grundwasserneubildungsbestimmung berechnet wird, die sich an den Beschreibungen im DVWK-Merkblatt 238 (DVWK 1996) orientiert. Aus methodischer Sicht handelt es sich hierbei um eine Bodenwasserhaushaltsbetrachtung, die die Prozesse Niederschlag, Verdunstung, Wasserspeicherung im Boden und Grundwasserneubildung beschreibt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen werden als ortsspezifische Zeitreihen für die GW-Modellierung laufend zur Verfügung gestellt.

2 Prognoserechnungen zur Ermittlung der Hydrologie-bedingten Schwankungen des bauzeitlichen Grundwasserandrangs

Grundlagen für die Ermittlung der Hydrologie-bedingten Schwankungen des bauzeitlichen Grundwasserandrangs sind zunächst zwei Prognoserechnungen mit „PFA-typischen“ Baugruben/Tunnelstrecken, die jeweils über die gesamte Berechnungszeit geöffnet bleiben. Bei der Auswahl der „PFA-typischen“ Baugruben/Tunnelstrecken wurde darauf geachtet, dass in den einzelnen PFA's sowohl oberflächennahe, als auch bis in den Bochinger Horizont reichende Eingriffe vertreten sind, um auch die zeitverzögerte Wirkung der Grundwasserneubildung auf die Grundwasserandrangsdaten in den Prognoserechnungen entsprechend berücksichtigen zu können.

Prognoserechnung 1:

stationäre Prognoserechnung auf Basis von MW-Verhältnissen (stationäre GW-Neubildung + äußere Modellrandbedingungen) unter Berücksichtigung des vollständigen Infiltrationskonzeptes.

Prognoserechnung 2:

Prognoserechnung mit instationärer Hydrologie der Jahre 1994 bis 2008 (instationäre GW-Neubildung und instationäre äußere Modellrandbedingungen) unter Berücksichtigung des vollständigen Infiltrationskonzeptes.

Die Lage der ausgewählten Baugruben kann Anlage 1 entnommen werden.

Aus der Prognoserechnung 1 können die stationären Grundwasserandrangsdaten für die ausgewählten einzelnen Baugruben bilanziert werden. Aus der Prognoserechnung 2 resultieren die instationären Grundwasserandrangsdaten für die ausgewählten einzelnen Baugruben in Abhängigkeit von jeweils herrschender GW-Neubildung und äußeren Modellrändern.

In einem ersten Schritt wurden die berechneten baugrubenspezifischen Grundwasserandrangsdaten bilanziert und miteinander verglichen. Hintergrund war die Frage, inwieweit die jeweiligen Grundwasserandrangsdaten einen vergleichbaren Gang aufzeigen und ob damit eine globale analytische Ableitung für die jeweiligen PFA's möglich ist. Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass dies generell möglich ist.

In einem zweiten Auswertungsschritt wurden nun die berechneten Grundwasserandrangsdaten aller einzelnen Baugruben der Prognoserechnungen 1 und 2 jeweils miteinander verglichen. Dieser Vergleich erlaubt die Bestimmung der Größenordnung der Hydrologie-bedingten Schwankung der Grundwasserandrangsdaten gegenüber dem stationären Grundwasserandrang (vgl. beispielhafte Abbildungen 1a und 1b).

Im dritten Schritt erfolgten die Bilanzierung der Grundwasserneubildung und der Vergleich mit den Grundwasserandrangsdaten, wobei letztgenannte nach baugrubenspezifischer Auswertung PFA-weise zusammengefasst wurden. In Abbildung 2 ist beispielhaft das Ergebnis der Prognoserechnung 2 bzgl. des Gesamtgrundwasserandrangs der im PFA 1.1 berücksich-

tigten 5 Baugruben (siehe Anlage 1) sowie der Verlauf der Grundwasserneubildung dargestellt.

Abbildung 1a: PFA 1.1 – Teilbaugrube 4, berechneter Grundwasserandrang bei stationärer MW-Hydrologie und bei instationärer Hydrologie (1994 – 2008)

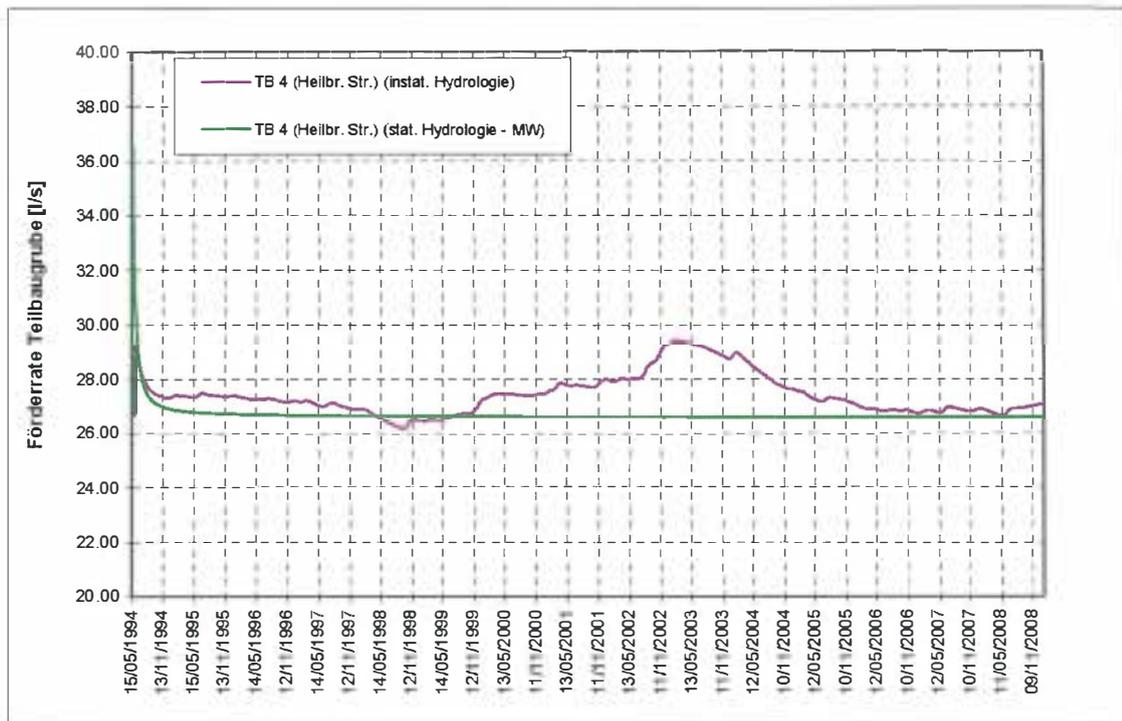


Abbildung 1b: PFA 1.5 – Kreuzungsbauwerk Ehmannastraße, berechneter Grundwasserandrang bei stationärer MW-Hydrologie und bei instationärer Hydrologie (1994 – 2008)

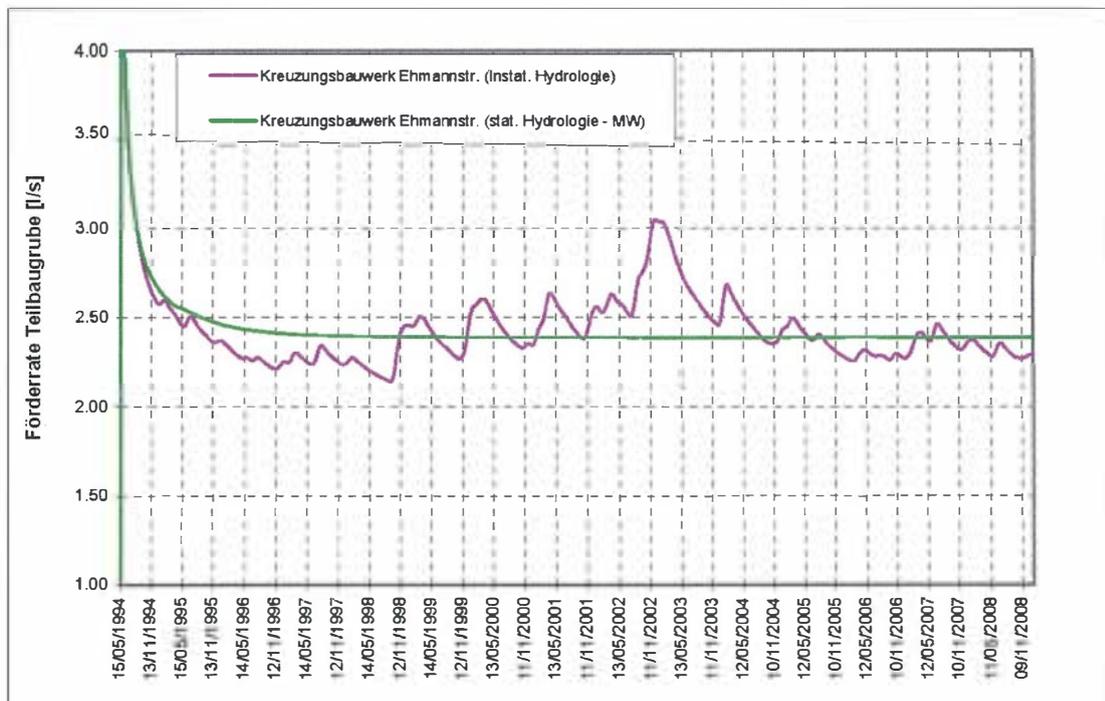
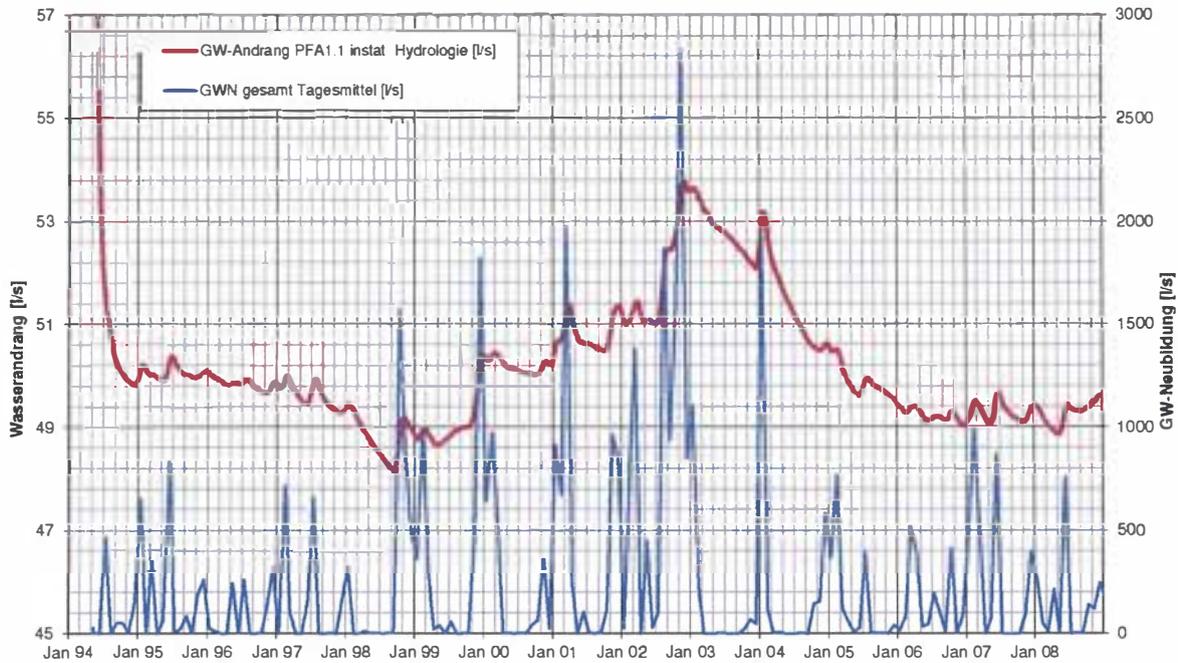


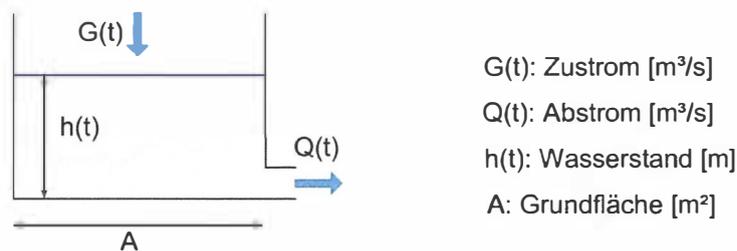
Abbildung 2: PFA 1.1 – Summe des berechneten Grundwasserandrangs aller berücksichtigten Baugruben bei instationärer Hydrologie (1994 – 2008)



3 Anwendung eines Linearspeicher-Modells

Die Abbildung 2 macht deutlich, dass die auf der Geländeoberkante angesetzte Neubildung nicht sofort in den Baugruben wirksam wird, sondern dass eine gewisse Zwischenspeicherung in der ungesättigten Bodenzone und in den oberen Grundwasservorkommen entlang der Fließwege bis zur Baugrube erfolgt. Um die zeitliche Verzögerung durch die Speicherwirkung analytisch zu beschreiben, liegt die Verwendung eines einfachen Linearspeicher-Modells nahe (siehe Abb. 3).

Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Einzelspeichers



Beim Linearspeicher wird davon ausgegangen, dass der Abstrom Q proportional zum Druck und damit zum Wasserstand h ist, wie es beispielsweise bei einer laminaren Sickerströmung im Boden der Fall ist.

$$(1) \quad Q(t) = T \cdot h(t)$$

mit $T =$ „Transmissivität“ oder Durchflusskonstante [m^2/s].

Wendet man die Gleichung für die Mengenerhaltung im Speicher an, so ergibt sich:

$$(2) \quad A \cdot \frac{dh}{dt}(t) = G(t) - Q(t) .$$

Durch Einsetzen von h gemäß der Gleichung (1) erhält man hieraus die Differentialgleichung für den Linearspeicher:

$$(3) \quad \frac{A}{T} \cdot \frac{dQ}{dt}(t) = G(t) - Q(t) ,$$

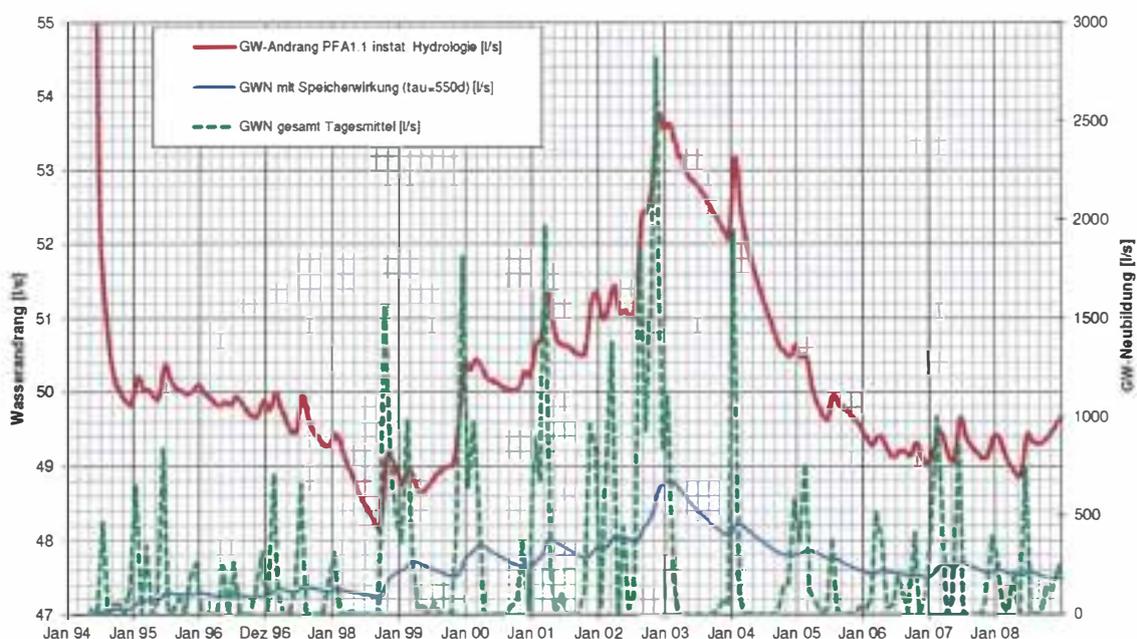
oder anders geschrieben, mit der Zeitkonstanten $\tau := A/T$ [s] :

$$(4) \quad \tau \cdot \frac{dQ}{dt}(t) + Q(t) = G(t) .$$

Damit ist ersichtlich, dass das Verhalten des Linearspeichers lediglich durch die Zeitkonstante τ bestimmt wird. Im stationären Fall ($dQ/dt=0$) ist der Abstrom Q gleich dem Zustrom G , bei plötzlichen Änderungen des Zustroms G reagiert der Abstrom Q durch einen exponentiellen zeitlichen Verlauf mit der Zeitkonstanten τ und nähert sich so dem neuen Wert von G an.

Im vorliegenden Fall entspricht der Zustrom G der Grundwasserneubildung, welche durch den Linearspeicher zur „Grundwasserneubildung mit Speicherwirkung“ (entspricht Q) wird. Die Wirkung des Linearspeicher-Modells ist in der folgenden Abb. 4 ersichtlich.

Abbildung 4: PFA 1.1 – Mittels Linearspeicher-Modell berechnete Grundwasserneubildung im Vergleich zur GW-Neubildung auf Tagesbasis und der berechneten Summe des Grundwasserandrangs aller hier berücksichtigten Baugruben des PFA 1.1



Als Ergebnis der Darstellung in Abbildung 4 ist festzuhalten, dass das Linearspeicher-Modell in der Lage ist, die zeitliche Verzögerung der Grundwasserneubildung so zu berechnen, dass die „Grundwasserneubildung mit Speicherwirkung“ näherungsweise einem Grundwasserabstrom entspricht und daher mit den Grundwasserandrangsraten in den Baugruben korreliert werden kann.

4 Regressionsanalysen zwischen der verzögerten Grundwasserneubildung und den berechneten Wasserandrangsraten

Für die Korrelation zwischen der „Grundwasserneubildung (GWN) mit Speicherwirkung“ (vgl. Abb. 4) und den berechneten Grundwasserandrangsraten ist zunächst die Zeitkonstante τ unbestimmt. Die Zeit τ entspricht zwar einer mittleren Fließzeit, kann aber nicht in einfacher Weise aus Erkundungs- oder Modelldaten ermittelt werden und ist folglich als Fitparameter zu betrachten. Um τ zu bestimmen, wurden daher an repräsentativen Baugruben Regressionsanalysen zwischen der „GWN mit Speicherwirkung“ und dem GW-Andrang durchgeführt und jeweils das Bestimmtheitsmaß R^2 ausgewertet (welches bei linearer Regression gleich dem Quadrat des Korrelationskoeffizienten ist).

Für die Regressionsberechnungen wurde jeweils eine „Einschwingphase“, die sich in den berechneten GW-Andrangsraten als fallender Trend zeigt, ausgespart, weil dadurch die erzielten Ausgleichspolynome verfälscht werden und die Prognosefähigkeit der Regression für spätere Ereignisse verringert wird. Im PFA 1.5 wurde anhand der Ganglinien der GW-Andrangsraten eine „Einschwingphase“ von 3 Jahren (vgl. Abb. 1b), im PFA 1.1 von 4 Jahren (vgl. Abb. 2) und im PFA 1.6a von 3 Jahren angesetzt. Die vergleichsweise langen „Einschwingphasen“ resultieren aus dem Umstand, dass als Startwert für die „GWN mit Speicherwirkung“ zum Zeitpunkt 15.05.1994 ein Wert von 0 angesetzt wurde (vgl. Abb. 9 bis 11), da der tatsächliche Wert aus Ermangelung vorhergehender GWN-Daten nicht bekannt war. Da die daraus resultierende „Einschwingphase“ keinen Einfluss auf die langjährige analytische Ableitung hat und damit auch nicht auf die baubegleitende Ausweisung der hydrologiebedingten „Mehrwasserrate“ an der gemessenen Gesamtförderrate, ist diese Vorgehensweise gerechtfertigt.

Außerdem wurde die Grundwasserneubildung mit Speicherwirkung jeweils von l/s in m^3/s umgerechnet, damit bei den Ausgleichspolynomen „handliche“ Koeffizienten errechnet werden. Die Ergebnisse der Regressionsanalysen für den PFA 1.1, den PFA 1.5 (ohne Trog Feuerbach), den Trog Feuerbach und den PFA 1.6a (Tunnelbereich) zeigen die Abbildungen 5 - 8.

Die Ergebnisse aller durchgeführten Regressionsanalysen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt, wobei sich für alle Baugruben außer dem Trog Feuerbach eine lineare Regression als ausreichend erwiesen hat.

Abbildung 5: PFA 1.1 – Korrelation der GW-Neubildung (mit Speicherwirkung, $\tau = 650$ d) mit der berechneten Summe des Grundwasserandrangs aller berücksichtigten Baugruben des PFA 1.1

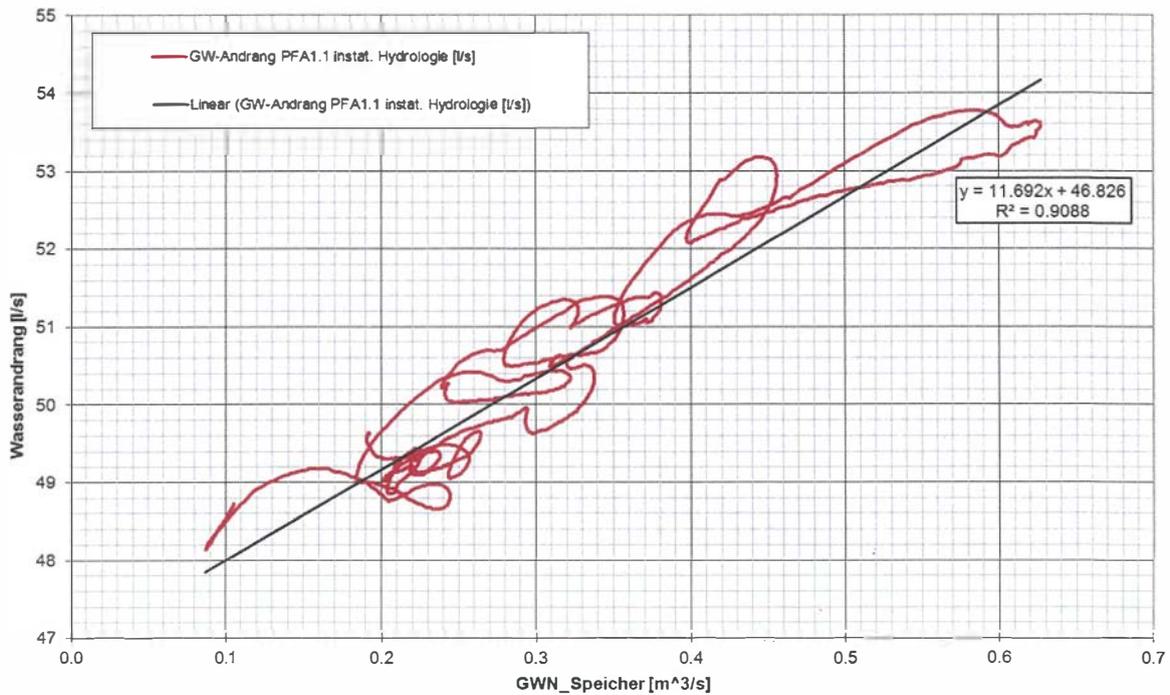


Abbildung 6: PFA 1.5 – Korrelation der GW-Neubildung (mit Speicherwirkung, $\tau = 500$ d) mit der berechneten Summe des Grundwasserandrangs aller berücksichtigten Baugruben des PFA 1.5 (ohne Trog Feuerbach)

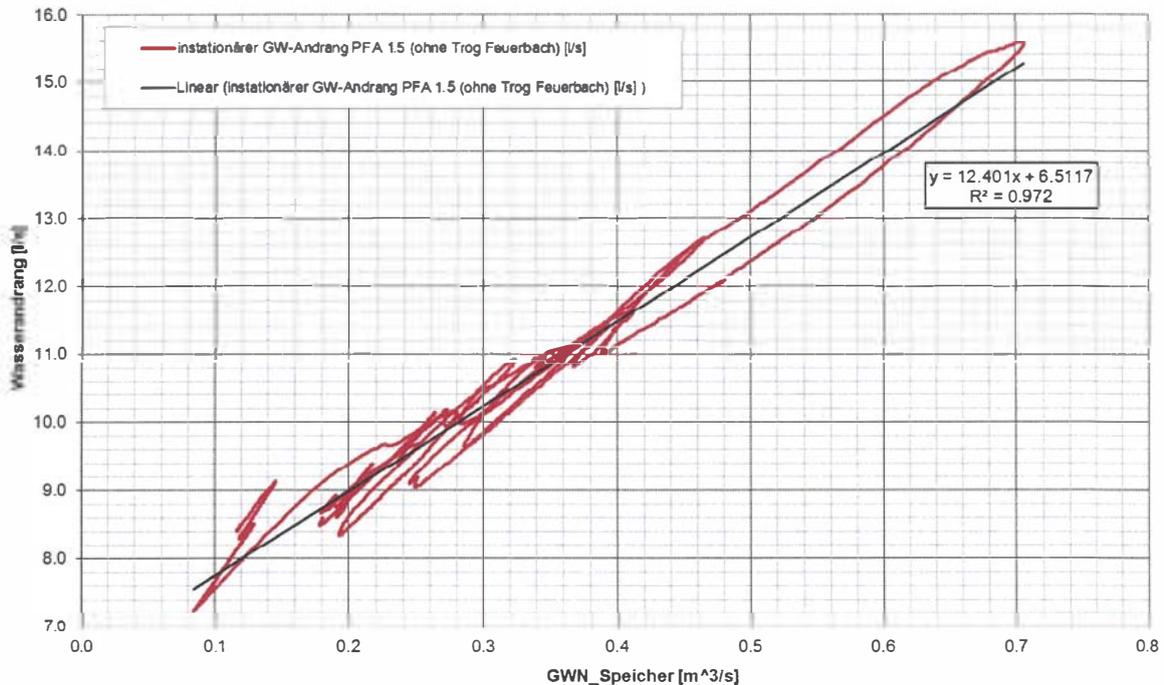


Abbildung 7: PFA 1.5 – Korrelation der GW-Neubildung (mit Speicherwirkung, $\tau = 1200$ d) mit dem berechneten Grundwasserandrang für den Trog Feuerbach bei quadratischer Regression

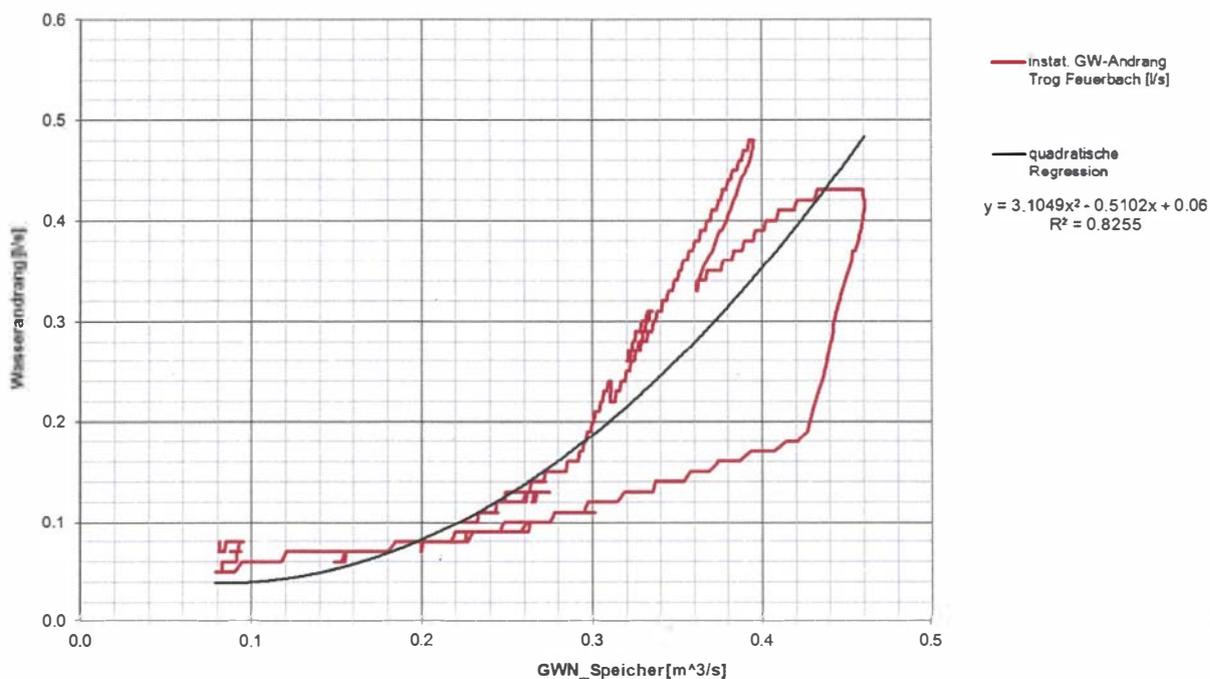


Abbildung 8: PFA 1.6a (Tunnelbereich) – Korrelation der GW-Neubildung (mit Speicherwirkung, $\tau = 650$ d) mit dem berechneten Grundwasserandrang für Achse 62, km 2,710 - km 4,550

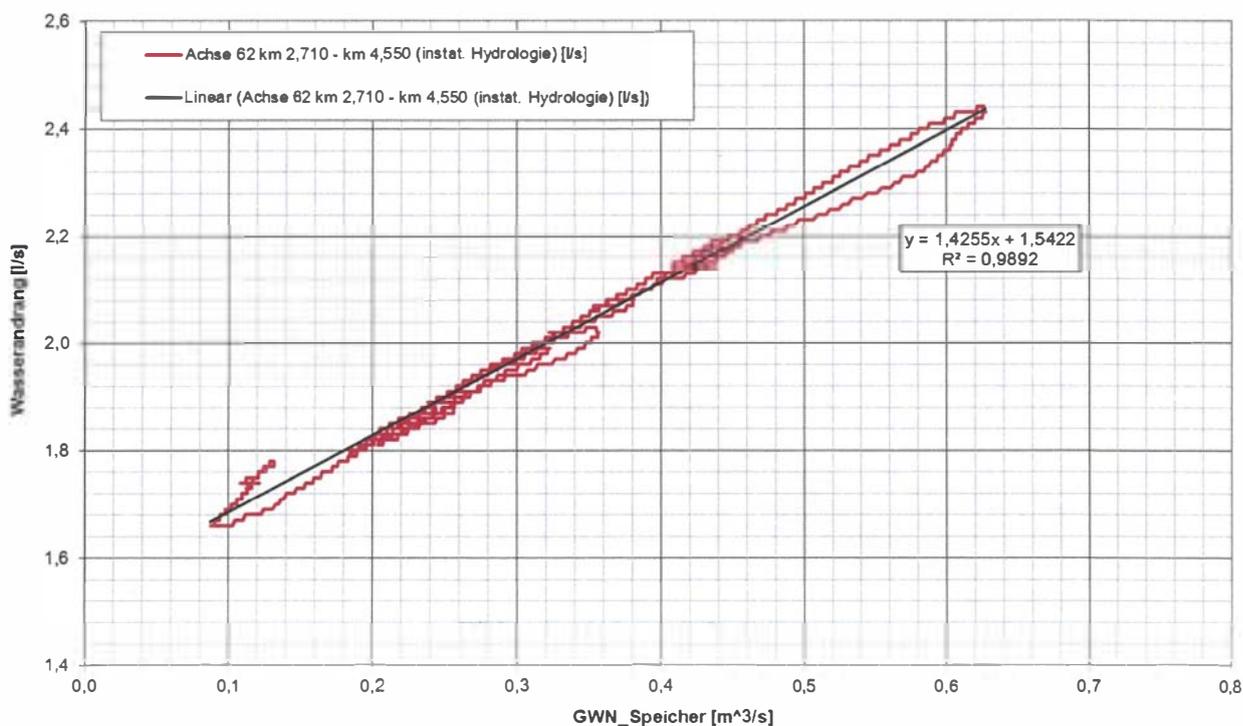


Tabelle 1: Korrelation zwischen der „Grundwasserneubildung (GWN) mit Speicherwirkung“ und dem berechnetem GW-Andrang in allen repräsentativen Baugruben für verschiedene Werte der Speicher-Zeitkonstanten τ

Bestimmtheitsmaß R^2 :

GWN-Speicherzeit τ [d]	PFA 1.1 instat. Hydrologie [l/s]	Achse 251/252 km -0,692 bis km -2,050 [l/s]	Achse 136/176 km -1.854 bis km -2.500 [l/s]	Kreuz.-bauw. Ehmannstr. [l/s]	Rettungsstollen Rosensteinpark [l/s]	Bhf. Mittenachstr. [l/s]	PFA 1.5 addiert (ohne Trog Feuerbach) [l/s]	Trog Feuerbach [l/s]	PFA 1.6 Achse 62 km 2,710 - km 4,550
50	0,22	0,16	0,32	0,59	0,51	0,63	0,42	-0,26	0,21
100	0,33	0,30	0,49	0,79	0,74	0,78	0,62	-0,08	0,38
150	0,45	0,42	0,61	0,89	0,87	0,86	0,74	0,04	0,52
200	0,56	0,53	0,70	0,94	0,94	0,90	0,83	0,13	0,64
250	0,65	0,61	0,76	0,97	0,97	0,92	0,89	0,20	0,73
300	0,72	0,69	0,82	0,97	0,99	0,93	0,93	0,27	0,80
350	0,78	0,75	0,86	0,97	0,99	0,92	0,95	0,32	0,86
400	0,83	0,81	0,89	0,96	0,98	0,91	0,97	0,37	0,90
450	0,86	0,85	0,92	0,94	0,97	0,90	0,97	0,42	0,94
500	0,89	0,88	0,94	0,92	0,94	0,88	0,97	0,47	0,96
550	0,90	0,91	0,95	0,89	0,92	0,85	0,97	0,51	0,98
600	0,91	0,93	0,95	0,86	0,89	0,83	0,95	0,55	0,99
650	0,91	0,94	0,95	0,83	0,86	0,80	0,94	0,59	0,99
700	0,90	0,94	0,95	0,80	0,83	0,77	0,92	0,62	0,99
750	0,89	0,95	0,94	0,77	0,80	0,74	0,90	0,65	0,98
800	0,88	0,94	0,93	0,74	0,76	0,71	0,87	0,68	0,97
850	0,86	0,94	0,91	0,71	0,73	0,68	0,85	0,71	0,95
900	0,84	0,93	0,89	0,67	0,70	0,65	0,82	0,73	0,94
950	0,81	0,91	0,88	0,64	0,66	0,62	0,80	0,75	0,92
1000	0,79	0,90	0,86	0,61	0,63	0,59	0,77	0,77	0,90
1100	0,73	0,86	0,81	0,55	0,57	0,54	0,71	0,80	0,85
1200	0,68	0,83	0,77	0,50	0,52	0,49	0,66	0,83	0,81
1300	0,63	0,79	0,73	0,45	0,47	0,44	0,61	0,84	0,76
1400	0,57	0,75	0,69	0,41	0,42	0,40	0,57	0,85	0,72
1500	0,53	0,71	0,65	0,38	0,39	0,36	0,53	0,85	0,68

 $R^2 \geq 0,8$  R^2 maximal

Standardabweichung der Residuen, σ_r [l/s]:

350	0,63	0,20	0,12	0,03	0,05	0,08	0,36	0,09	0,06
500	0,45	0,14	0,08	0,05	0,12	0,10	0,27	0,08	0,03
650	0,40	0,10	0,07	0,07	0,19	0,13	0,40	0,07	0,02
1200	0,76	0,17	0,15	0,12	0,35	0,21	0,95	0,05	0,07

 Aufteilung in 4 Bereiche: PFA 1.1, PFA 1.5 (ohne Trog Feuerb.), Trog Feuerbach und PFA 1.6a (Tunnel)

Schwankungsbereich der Wasserandrangsraten (Max.-Min.) [l/s]:

	5,63	1,82	1,56	0,91	2,60	1,62	8,35	0,43	0,78
--	------	------	------	------	------	------	------	------	------

σ_r / (Max.-Min.) [%] bei verwendeter Aufteilung:

	7,2	7,7	4,9	5,4	4,8	6,2	3,3	10,8	2,2
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----

Für den PFA 1.1 erhält man die beste Korrelation bei $\tau = 650$ d (mit $R^2 = 0,91$), wenn man die „GWN mit Speicherwirkung“ mit dem GW-Andrang aus der Prognoserechnung 2 mit instationärer Hydrologie vergleicht.

Für die Baugruben im PFA 1.5 (ohne Trog Feuerbach) zeigt sich, dass die optimale Zeitkonstante in den Bereichen mit relativ geringer Überdeckung (Rettungsstollen Rosenstein, Kreuzungsbauwerk Ehmmanstr. und Bhf. Mittnachtstr.) bei $\tau = 300$ d (mit $R^2 \geq 0,93$) und in den Bereichen mit relativ mächtiger Überdeckung (Achse 136/137 und Achse 251/252) bei $\tau = 700$ d (mit $R^2 \geq 0,94$) liegt, was qualitativ mit der Interpretation von τ als mittlerer Fließzeit zur Baugrube übereinstimmt. Wollte man daraus 2 Bereiche für die Speicher-Zeitkonstante τ im PFA 1.5 (ohne Trog Feuerbach) ableiten, stellt sich allerdings die Frage, wo genau die Grenze zwischen geringer und mächtiger Überdeckung zu ziehen ist. Betrachtet man dagegen nur einen Bereich, so zeigt sich aus Tabelle 1, dass mit der Zeitkonstanten $\tau = 500$ d immer noch gute Bestimmtheitsmaße von $R^2 \geq 0,88$ für alle einzelnen Baugruben erreicht werden und außerdem ein sehr gutes Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,97$ bei der Summe der Baugruben. Daher kann der Wert $\tau = 500$ d als repräsentativ für den PFA 1.5 (ohne Trog Feuerbach) betrachtet werden.

Beim Trog Feuerbach konnten mit linearer Regression nur ungenügende Bestimmtheitsmaße von maximal $R^2 = 0,7$ erzielt werden, weswegen ein quadratischer Regressionsansatz verwendet wurde. Damit ergibt sich das maximale Bestimmtheitsmaß (von $R^2 = 0,85$) für $\tau = 1500$ d, allerdings wird hier der quadratischen Regression für $\tau = 1200$ d (mit $R^2 = 0,83$) der Vorzug gegeben, weil diese für kleine Werte der Grundwasserneubildung einen flacheren Verlauf aufweist und damit besser einen konstanten Grundumsatz bei der Grundwasserströmung abbildet.

Im PFA 1.6a kann der gewählte Abschnitt von Achse 62 als repräsentativ für den Tunnelbereich außerhalb des Neckartales betrachtet werden. Im Bereich des Neckartales sind die Hydrologie-bedingten Grundwasserstandsschwankungen und damit auch der GW-Andrangsraten sehr gering, so dass eine analytische Ableitung des GWN-Einflusses als nicht notwendig eingestuft wird. Für die Achse 62 erhält man für $\tau = 650$ d das maximale Bestimmtheitsmaß (von $R^2 = 0,99$). Für die Trogbauwerke im PFA 1.6a ergeben sich nur sehr geringe GW-Andrangsraten, weshalb diese hier nicht weiter betrachtet werden.

Anhand der angeführten Ergebnisse wird für das Linearspeicher-Modell eine Aufteilung in 4 Bereiche mit folgenden zugehörigen Zeitkonstanten als ausreichend und sinnvoll erachtet:

- (5) $\tau = 650$ d für den PFA 1.1,
- (6) $\tau = 500$ d für den PFA 1.5 ohne Trog Feuerbach,
- (7) $\tau = 1200$ d für den Trog Feuerbach,
- (8) $\tau = 650$ d für den PFA 1.6a (Tunnelbereich).

Die bestimmten, vergleichsweise langen mittleren Fließzeiten τ (500 d bis 1200 d) resultieren insbesondere aus den zeitlich verzögerten Grundwasserzutritten aus Bereichen mit großen Grundwasserflurabständen. Die Durchsickerung in diesen Bereichen wird im numerischen

Modell über einen vereinfachten ungesättigten Strömungsansatz berechnet und berücksichtigt damit die zeitliche Verzögerung der Grundwasserneubildung bis in den gesättigten Grundwasserkörper in Abhängigkeit vom Flurabstand.

5 Synthetische Ganglinien zur Überprüfung der Regressionsanalysen

Aus den Regressionsgleichungen und der „GWN mit Speicherwirkung“ können synthetische Ganglinien des GW-Andrangs erzeugt und mit den Ganglinien des berechneten GW-Andrangs aus der Prognoserechnung 2 verglichen werden, um die Güte der Regression und des Linearspeicher-Modells zu bewerten. Für die 4 gewählten Bereiche ergeben sich die folgenden Gleichungen für die synthetischen Ganglinien (vgl. Angaben zu den Regressionspolynomen in den Abb. 5 - 8):

- | | | |
|------|---|-----------------------------------|
| (9) | $S(t) = 11,692 \cdot Q(t) + 46,826 \text{ l/s}$ | für den PFA 1.1, |
| (10) | $S(t) = 12,401 \cdot Q(t) + 6,5117 \text{ l/s}$ | für den PFA 1.5 (ohne Feuerbach), |
| (11) | $S(t) = 3,1049 \cdot Q^2(t) - 0,5102 \cdot Q(t) + 0,06 \text{ l/s}$ | für den Trog Feuerbach, |
| (12) | $S(t) = 1,4255 \cdot Q(t) + 1,5422 \text{ l/s}$ | für den PFA 1.6a (Tunnelbereich), |

mit $S(t)$ = synthetisch berechneter Wasserandrang [l/s] ,
 $Q(t)$ = verzögerte Grundwasserneubildung aus dem Speichermodell [m³/s] .

Dabei wird $Q(t)$ mittels des Linearspeicher-Modells gemäß Gleichung (4) aus der Grundwasserneubildung $G(t)$ unter Verwendung den entsprechenden Zeitkonstanten τ gemäß (5) bis (8) berechnet. Bei der Verwendung der Gleichungen (9) bis (12) ist zu beachten, dass Q in m³/s gegeben sein muss, damit Konsistenz mit den Regressions-Diagrammen vorliegt.

Der Vergleich der synthetischen Ganglinien mit den Ganglinien des Wasserandrangs aus der Prognoserechnung 2 ist für die 4 gewählten Bereiche in den Abb. 9 – 12 dargestellt.

Abbildung 9: PFA 1.1 – Über die Grundwasserneubildung synthetisch ermittelter Grundwasserandrang im Vergleich zur berechneten Summe des Grundwasserandrangs aller hier berücksichtigten Baugruben des PFA 1.1

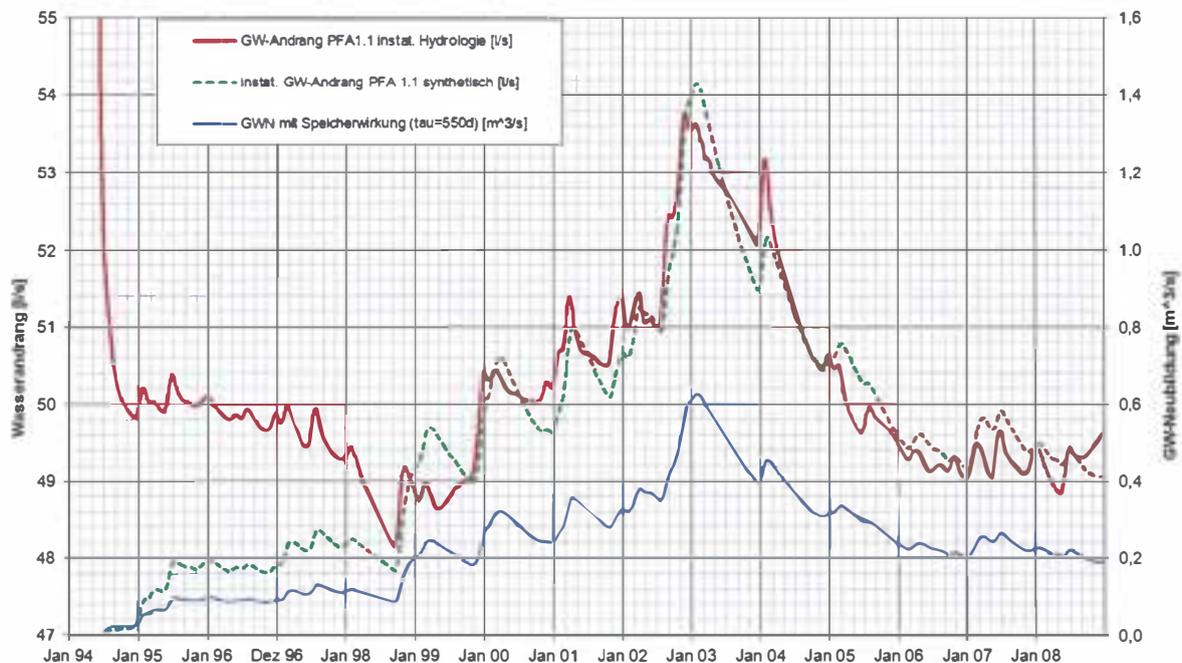


Abbildung 10: PFA 1.5 – Über die Grundwasserneubildung synthetisch ermittelter Grundwasserandrang im Vergleich zur berechneten Summe des Grundwasserandrangs aller berücksichtigten Baugruben des PFA 1.5 (ohne Trog Feuerbach)

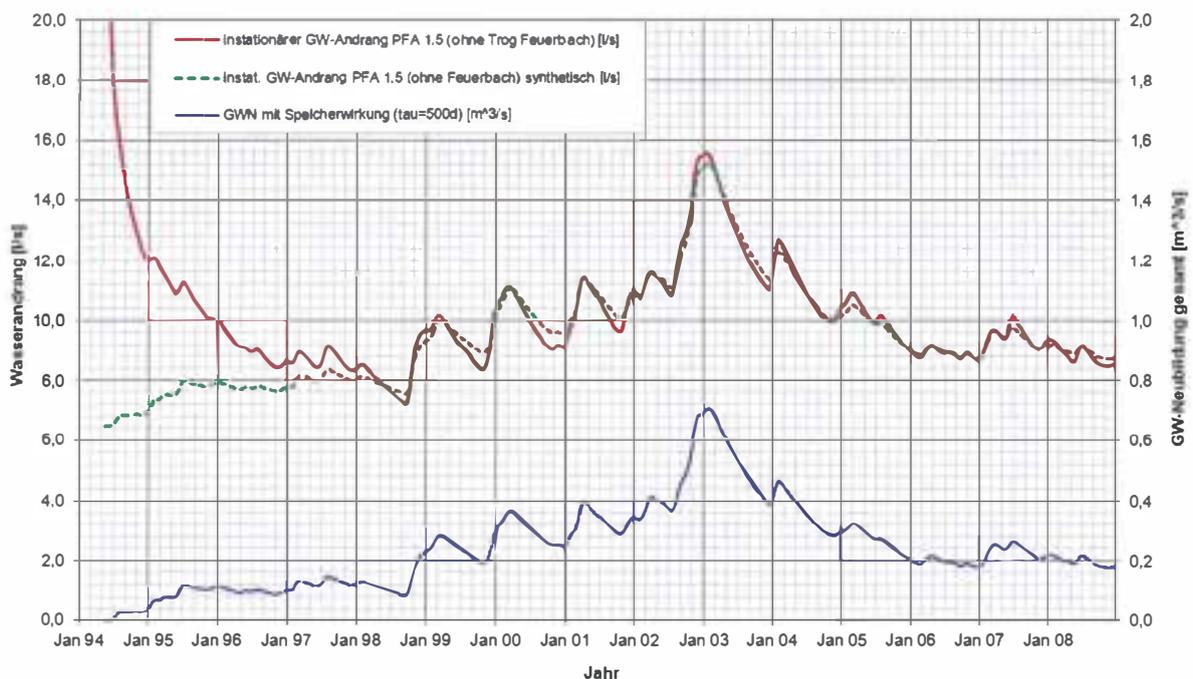


Abbildung 11: PFA 1.5 – Über die Grundwasserneubildung synthetisch ermittelter Grundwasserandrang im Vergleich zum berechneten Grundwasserandrang für den Trog Feuerbach

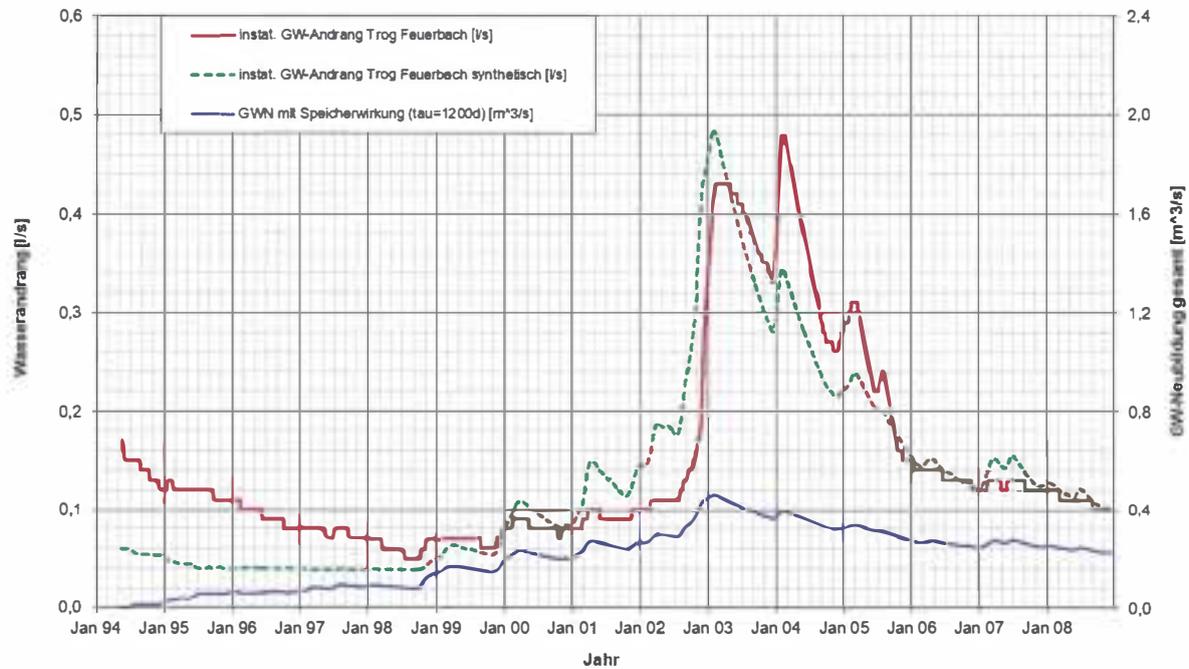
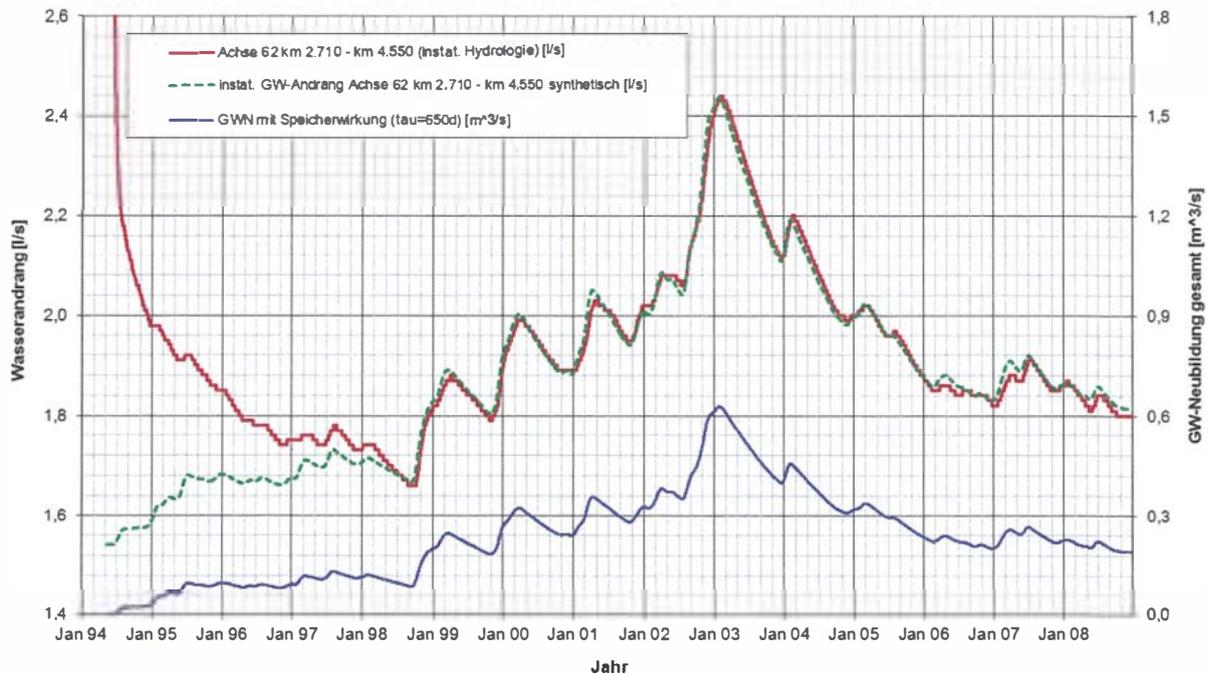


Abbildung 12: PFA 1.6a (Tunnelbereich) – Über die Grundwasserneubildung synthetisch ermittelter Grundwasserandrang im Vergleich zum berechneten Grundwasserandrang für Achse 62, km 2,710 - km 4,550



Die mittlere quadratische Abweichung zwischen den synthetischen Ganglinien und den Ganglinien des berechneten GW-Andrangs aus Prognoserechnung 2 ist identisch mit der Standardabweichung der Residuen σ_r , die in Tabelle 1 ebenfalls eingetragen ist. Die größten Werte von σ_r liegen im PFA 1.1 mit 0,4 l/s vor, im Verhältnis zur Schwankungsbreite der Wasserandrangsdaten betragen die Standardabweichungen der Residuen beim Trog Feuerbach 11 %, ansonsten durchweg weniger als 8% (vgl. Tabelle 1). Damit kann die Übereinstimmung des aus der Grundwasserneubildung synthetisch erzeugten GW-Andrangs mit dem GW-Andrang aus der Prognoserechnung 2 als sehr gut bezeichnet werden.

Das Linearspeicher-Modell zusammen mit den Regressionsanalysen liefert somit ein taugliches Verfahren, um die hydrologisch bedingten Einflüsse auf die GW-Andrangsdaten quantitativ zu erfassen.

6 Normierung der analytischen Ansätze aus den Regressionsbeziehungen

Für die bauzeitliche Überwachung der Einhaltung des Wasserrechts und die Bestimmung der Hydrologie-bedingten Änderung des bauzeitlichen Grundwasserandrangs ist die Ableitung von dimensionslosen Faktoren erforderlich.

In einem letzten Schritt werden hierfür nun die berechneten instationären GW-Andrangsdaten aus Prognoserechnung 2 normiert, indem sie durch die in Prognoserechnung 1 jeweils bestimmten stationären GW-Andrangsdaten dividiert werden. Die Ganglinie des normierten GW-Andrangs ist beispielhaft für den PFA 1.1 in der folgenden Abbildung 13 dargestellt.

Abbildung 13: PFA 1.1 – Ganglinien der absoluten und normierten Grundwasserandrangsdaten aller berücksichtigten Baugruben des PFA 1.1



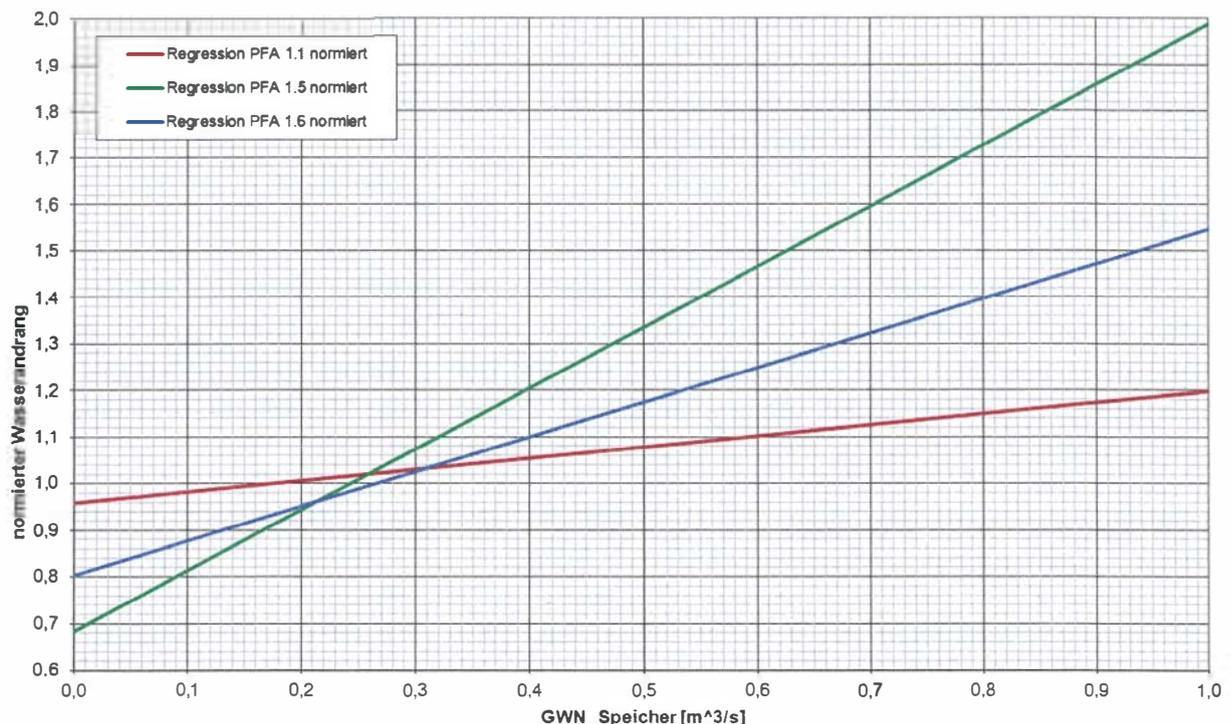
Durch die Normierung ergeben sich die folgenden aus den Gleichungen (9) – (12) abgeleiteten Beziehungen zwischen der verzögerten Grundwasserneubildung aus dem Linear-Speichermodell und den normierten GW-Andrangsdaten in den PFAs 1.1, 1.5 (ohne Trog Feuerbach) und 1.6a (Tunnelbereich):

- (13) $S_1(t) = 0,2392 \cdot Q(t) / (1\text{m}^3/\text{s}) + 0,9582$ für den PFA 1.1,
 (14) $S_1(t) = 1,3026 \cdot Q(t) / (1\text{m}^3/\text{s}) + 0,6840$ für den PFA 1.5 (ohne Feuerbach),
 (15) $S_1(t) = 0,7424 \cdot Q(t) / (1\text{m}^3/\text{s}) + 0,8032$ für den PFA 1.6a (Tunnelbereich),
 mit $S_1(t) =$ synthetisch berechneter normierter Wasserandrang [-].

Für $Q(t)$ gelten die gleichen Anmerkungen wie bei den Gleichungen (9) – (12). Beim Trog Feuerbach ist keine Normierung erforderlich, da die ermittelte Regressionsgleichung nur für dieses Bauwerk anwendbar ist.

Die normierten Regressionsgleichungen (13) bis (15) sind als Geraden in Abbildung (14) eingetragen und können so zur grafischen Abschätzung des normierten Wasserandrangs verwendet werden, der sich bei einem bestimmten Wert der Grundwasserneubildung mit Speicherwirkung (entspricht $Q(t)$) ergibt.

Abbildung 14: normierte Regressionsgeraden für den PFA 1.1, den PFA 1.5 (ohne Trog Feuerbach) und den PFA 1.6a (Tunnelbereich)



Somit hat man für jeden Zeitpunkt nun nicht mehr eine l/s-Angabe, sondern einen dimensionslosen Faktor, bezogen auf den jeweiligen stationären GW-Andrang. Dieser dimensionslose, PFA-spezifische Faktor erlaubt bei zukünftigen Abweichungen der gemessenen von den berechneten, stationären GW-Andrangsdaten die Quantifizierung des hydrologischen Anteils

an dieser Abweichung. Dies gilt auch für hydrologische Zustände, die noch höhere Grundwasserstände bedingen, als sie im ausgewerteten Zeitraum (hier 1994 – 2008) aufgetreten sind.

7 Beispielrechnung

Zur Verdeutlichung wird nachfolgend an einem fiktiven Beispiel die Vorgehensweise der bauzeitlichen Prüfung erläutert. Ziel der Prüfung ist die Ermittlung der hydrologiebedingten „Mehrwasserrate“ an der bei dem Grundwassermanagement gemessenen Gesamtförderrate.

1.) Ausgangssituation:

Mittels des instationären Grundwasserströmungsmodells wurde für den PFA 1.1 am Ende des Bauschrittes 2 für Mittelwasserverhältnisse die Förderrate von $Q_{\text{Prog MW}} = 60,85$ l/s prognostiziert. Bei dem Grundwassermanagement wird die Förderrate von $Q_{\text{gemessen}} = 54,76$ l/s gemessen.

Es ergibt sich folgende Feststellung:

- $Q_{\text{Prog MW}} = 60,85$ l/s (Prognose Mittelwasserverhältnisse)
- $Q_{\text{gemessen}} = 54,76$ l/s (tatsächliche Förderrate)

Die gemessene Förderrate entspricht 90% der prognostizierten Förderrate für mittlere Verhältnisse und bildet somit die Referenzförderrate für die Erreichung des Warnwertes. Mit Überschreitung der Referenzförderrate wird die Prüfung des grundwasserneubildungsabhängigen Anteils an der Förderrate notwendig.

2.) Überprüfung:

Um zu überprüfen, ob die Erreichung der Referenzförderrate des Warnwertes auf die instationäre Grundwasserneubildung zurückzuführen ist, wird nun die verzögerte Grundwasserneubildung aus dem Speichermodell [m^3/s] anhand der vorliegenden Grundwasserneubildungsdaten berechnet. Dabei ergibt sich für den Zeitpunkt der Messungen im fiktiven Beispiel ein Wert für $Q(t)$ von ca. $0,625$ m^3/s (vgl. Abb. 9, Februar 2003).

Unter Anwendung der Gleichung (13) kann jetzt der normierte Grundwasserandrang für den PFA 1.1 synthetisch berechnet werden: $S_1(t) = 0,2392 \cdot 0,625 + 0,9582 = 1,1077$.

Im nächsten Schritt kann also unter Berücksichtigung der instationären Grundwasserneubildung der aktuelle GW-Andrang, d.h. die aktuelle Förderrate für den Zeitpunkt der Prüfung berechnet werden: $Q_{\text{Berech Aktuell}} = 67,4$ l/s. Sie ergibt sich aus $= 60,85$ l/s $\cdot 1,1077$.

3.) Prüfergebnis:

Die Prüfung erfolgt anhand der Kennwerte:

- $Q_{\text{Berech Aktuell}} = 67,4 \text{ l/s}$ (unter Berücksichtigung der instationären Grundwasserneubildung)
- $Q_{\text{gemessen}} = 54,76 \text{ l/s}$ (tatsächliche Förderrate)

Es ist festzustellen, dass im fiktiven Beispiel die gemessene Förderrate von 54,76 l/s ca. 81 % der aktuell unter Berücksichtigung der jeweiligen Grundwasserneubildung berechneten Förderrate entsprechen. Die Referenzförderrate des Warnwertes entspricht 90 % der aktuell berechneten Förderrate von $Q_{\text{Prog Aktuell}} = 67,4 \text{ l/s}$ also $Q_{\text{WARN}} = 60,66 \text{ l/s}$. In dem Beispiel wurde der Warnwert demnach nicht erreicht / überschritten.

8 Vorschlag für die wasserrechtliche Würdigung der Hydrologie-bedingten Einflüsse

8.1 Vorbemerkungen

Die wasserrechtlichen Anträge in den Planfeststellungsunterlagen der PFA 1.1, PFA 1.2 und PFA 1.6a (jeweils Anlage 20.1) und die dort aufgeführten GW-Andrangsraten / –mengen basieren auf Prognoserechnungen mit dem stationären Grundwasserströmungsmodell. Diesen Prognoserechnungen wurden in Abstimmung mit dem Arbeitskreis Wasserwirtschaft Randbedingungen (GW-Neubildung und Zu-/Abströme) für Mittelwasserverhältnisse zugrunde gelegt. Diese Festlegung erfolgte trotz Bewusstseins der auftretenden hydrologischen Schwankungen und der damit verbundenen Schwankungen im bauzeitlichen Grundwasserandrang, da davon ausgegangen wurde, dass - über die lange Bauzeit betrachtet – diese Schwankungen ausgeglichen werden. Würden nämlich für die gesamte Bauzeit z.B. Hochwasserverhältnisse zugrunde gelegt worden sein, so hätte die Vorhabenträgerin einen wasserrechtlichen Rahmen, der keine Vorgaben (z.B. Überschreitung von Warn- und Einstellwerten bzgl. GW-Andrang) für die Umsetzung von Grundwasserhaushalts-schonenden Maßnahmen ergibt.

Zudem ist festzuhalten, dass zum damaligen Zeitpunkt der Antragstellung die aktuell nunmehr realisierte instationäre Grundwassermodellierung nicht möglich war, da die hierfür notwendigen hochauflösenden und langjährigen Datenreihen sowie die entsprechenden Werkzeuge nicht vorlagen.

In den vorstehenden Kapitel 1 – 7 ist dargelegt worden, dass ein einfaches und kurzfristig anwendbares Werkzeug zur Quantifizierung des Hydrologie-bedingten Anteils am Gesamtgrundwasserandrang besteht. Im nachfolgenden Kapitel 8.2 wird beispielhaft an Auszügen aus dem wasserrechtlichen Antrag für den PFA 1.1 (Stand 7. PÄ vom April 2011) der Vorschlag der Vorhabenträgerin für die wasserrechtliche Würdigung der Hydrologie-bedingten Schwankungen im Grundwasserandrang im Rahmen der 7. Planänderung formuliert. Die Änderungen / Ergänzungen sind als Blau eintrag gekennzeichnet.

8.2 Wasserrechtliche Würdigung

Antrag für den PFA 1.1

Die quantitativen Angaben zu den wasserrechtlichen Tatbeständen wurden auf der Basis der derzeitigen aktuellen Bautaktplanung (Stand Okt: 2010) unter Berücksichtigung der Mittelwasserstände erarbeitet.

Da die tatsächlich auftretenden Grundwasserandrangsraten und –mengen ursächlich auf die natürliche Variation der Grundwasserneubildung zurückzuführen sind, unterliegen sie gewissen Schwankungen. Da der Verlauf der natürlichen Grundwasserneubildung für die Bauzeit sowie der daraus resultierende Gang des Grundwasserandrangs nicht vorhergesagt werden kann, ist es im Hinblick auf die Überprüfung der Einhaltung des auf Basis von Mittelwasserhältnissen beantragten Wasserrechts erforderlich, die bauzeitlich gemessenen Wasserandrangsraten hinsichtlich der Niederschlagswasseranteile und der Hydrologie-bedingten Mehrraten zu analysieren und zu bereinigen.

Zur Absicherung der Planungssicherheit sollte daher unter IV.1 / 1.1. (Erlaubnisse) eine Planergänzung wie folgt beantragt werden:

Die genehmigten Gesamtfördermengen und -raten dürfen in dem Umfang überschritten werden, in dem die höheren Gesamtfördermengen und -raten durch hydrologiebedingte Abweichungen von den Mittelwasserhältnissen verursacht sind.

Der Nachweis dass die mögliche Mehrförderung einer hydrologiebedingten Schwankung bzw. höheren Grundwasserneubildung zuzuschreiben ist, soll allgemein bei Erreichen des Warnwertes für die anhand der Mittelwasserhältnisse ermittelten Fördermengen und –raten mittels der aus dem Linear-Speichermodell und den normierten GW-Andrangsraten abgeleiteten Gleichungen für den Faktor des normierten Grundwasserandrangs erfolgen. Für den Trog Feuerbach erfolgt die Prüfung anhand der nicht normierten Gleichung.

PFA 1.1	$S_1(t) = 0,2392 \cdot Q(t) / (1\text{m}^3/\text{s}) + 0,9582$
PFA 1.5 (ohne Feuerbach)	$S_1(t) = 1,3026 \cdot Q(t) / (1\text{m}^3/\text{s}) + 0,6840$
PFA 1.5 (Trog Feuerbach)	$S(t) = 3,1049 \cdot Q^2(t) - 0,5102 \cdot Q(t) + 0,06 \text{ l/s}$ (nicht normiert)
PFA 1.6a (Tunnelbereich)	$S_1(t) = 0,7424 \cdot Q(t) / (1\text{m}^3/\text{s}) + 0,8032$

Daher sollte ferner beantragt werden, die Nebenbestimmung 7.1.13.2.1 Punkt Fördermenge und -rate Bauwasserhaltung zu ergänzen:

Die prognostizierte Gesamtförderrate bzw. –menge entspricht der für den Mittelwasserstand prognostizierten Förderrate zuzüglich des den Mittelwasserstand überschreitenden hydrologiebedingten Anteils am Wasserandrang.

Hierzu wird seitens der Vorhabenträgerin bauzeitlich folgende Vorgehensweise umgesetzt:

1. Der unter Ziffer 6.1 des PFB zugesagte Sachverständige für Wasserwirtschaft ist verantwortlich für die Überwachung und Überprüfung, ob eine mögliche Mehrförderung einer hydrologiebedingten Abweichung von den Mittelwasserverhältnissen zuzuschreiben ist.
2. Die Überprüfung findet bereits bei Erreichen des Warnwertes der Fördermengen und –raten für Mittelwasserverhältnisse statt. Das Prüfergebnis ist kurzfristig nach Meldung über die Warnwerverreichung den beteiligten Behörden zu melden. Ferner ist das Prüfergebnis in den regulären Bericht des Sachverständigen für Wasserwirtschaft zu übernehmen.
3. Mit der Überprüfung des hydrologiebedingten Einflusses auf den Wasserandrang erfolgt die Bestimmung der Fördermengen und –raten, die infolge der höheren Grundwasserneubildung zu erwarten sind. So können auch für die Phasen, in denen aufgrund der höheren Grundwasserneubildung höhere Fördermengen und –raten bedingt sind, Warn- und Einstellwerte formuliert und überwacht werden.

Die Prüfung erfolgt in folgendem Ablauf:

- a) Die Bestimmung des Anteils der Niederschlagsmenge der Baugruben erfolgt über die Auswertung der im Beweissicherungsprogramm aufgenommenen Regenmesser und die Bestimmung der bauphasenabhängigen Größe der offenen Baugruben. Das Ergebnis wird von den im Zulauf zu den Wasseraufbereitungsanlagen im PFA 1.1 gemessenen Förderraten bzw. –mengen abgezogen. Das Ergebnis stellt den grundwasserbürtigen Anteil am Zulauf zur WA-Anlage dar.
- b) Die Bestimmung von Hydrologie-bedingten Mehrraten im grundwasserbürtigen Anteil am Zulauf zur WA-Anlage erfolgt anschließend über eine hinsichtlich des Verfahrens mit den Fachbehörden abgestimmte Auswertung der baumaßnahmenunbeeinflussten natürlichen Grundwasserneubildung. Mit dem dabei bestimmten Grundwasserneubildungs-abhängigen Faktor für den normierten Grundwasserandrang und dessen Multiplikation mit dem für Mittelwasserverhältnisse beantragten Grundwasserandrang wird die jeweilige Hydrologie berücksichtigende und wasserrechtlich einzuhalten-de Grundwasserandrangsrate ermittelt.
- c) Vergleich des unter a) bestimmten grundwasserbürtigen Anteils am Zulauf zur WA-Anlage mit dem gemäß b) unter Berücksichtigung der jeweils herrschenden Hydrologie berechneten Grundwasserandrang zur Überprüfung der Einhaltung des Wasserrechts

9 Umsetzung des Prüfverfahrens und Zusammenfassung

Die fachgutachterliche Prüfung und Bewertung des vorstehend beschriebenen Verfahrens ergibt, dass das gemäß DVWK-Regeln für die Grundwasserneubildungsdaten entwickelte Linearspeichermodell in der Lage ist, normierte Regressionsgleichungen zur Prüfung der Hydrologie-bedingten Grundwasserandrangsschwankungen bereitzustellen.

Damit steht bauzeitlich ein einfaches Werkzeug für die Überwachung der Einhaltung des Wasserrechts während der instationären und stationären Absenkphasen infolge der Bauwasserhaltung zur Verfügung.

Das Linearspeichermodell wurde auf Basis der hydrologischen Zustände im Zeitraum 1994 bis 2008 entwickelt. Für diesen Zeitraum zeigt das dem Speichermodell zugrunde liegende instationäre Grundwasserströmungsmodell eine gute bis sehr gute Reproduktion der gemessenen Grundwasserspiegel- und Quellschüttungsschwankungen.

Die Nachführung des instationären GW-Modells für den Zeitraum 2009 bis 2011 ergab für den Oberen Muschelkalk deutlichere Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Grundwasserständen in den verfügbaren Beweissicherungsmessstellen. Die Schüttungsraten der Heil- und Mineralquellen zeigten hingegen eine gute Übereinstimmung. Die hydrologischen und hydrogeologischen Ursachen für dieses Systemverhalten, dass vom numerischen Modell nicht vollständig abgebildet wird, sind nach den Untersuchungen wahrscheinlich auf die überregionalen Randbedingungen des Projektgebiets zurückzuführen. Aus diesem Grund ist eine Erweiterung des Linearspeichermodells auf den Zeitraum bis 2011 nicht zielführend.

Es kann festgestellt werden, dass die für den Zeitraum 2009 bis 2011 vorliegenden Grundwasserneubildungsdaten in ihrer Größenordnung innerhalb der bisher berücksichtigten Schwankungsbreite der Jahre 1994 bis 2008 liegen und damit das Linearspeichermodell auch für die Jahre 2009 bis 2011 Gültigkeit besitzt.

Auch bei Änderungen im Bauablauf können anhand der oben stehenden Formeln Überprüfungen stattfinden, sofern die für den veränderten Bauablauf bei Mittelwasserverhältnissen zu erwartenden Fördermengen und -raten ermittelt wurden.

Bauzeitlich erfolgt die Überwachung und Bewertung der kontinuierlich erhobenen Daten aus den Messungen der Baufirmen, des Betreibers des Grundwassermanagements sowie der mit der Durchführung der Beweissicherung Wasser beauftragten Firmen durch den Sachverständigen für Wasserwirtschaft (SV WW) der Vorhabenträgerin.

Dieser hat die Aufgabe, laufend die Einhaltung der im Planfeststellungsbeschluss formulierten Warn- und Einstellwerte sowie der wasserrechtlichen Erlaubnisse und Genehmigungen anhand der Vielzahl an Messwerten zu überprüfen und bei Überschreitung derselben umgehend die Überwachungsbehörden (AfU, EBA) sowie die Vorhabenträgerin zu informieren.

Des Weiteren obliegt ihm die Erarbeitung und Abstimmung von Maßnahmen zur Wiedererlangung eines ordnungsgemäßen Bauablaufes.

Hinsichtlich des bauzeitlichen Wasseranfalls in den Wasseraufbereitungsanlagen des PFA 1.1 und des PFA 1.5 wird der SV WW bei Erreichung der quantitativen Warnwerte eine Analyse der Grundwasserneubildungsdaten hinsichtlich des Vorkommens eines Hydrologiebedingt erhöhten Grundwasserandrangs vornehmen, um sicherzustellen, dass die diesbezüglichen Warnwerte noch nicht überschritten sind. Diese Prüfung findet unverändert anhand der *für Mittelwasserverhältnisse ermittelten Fördermengen und –raten statt. Dadurch bleibt die Früherkennung im Sinne der Warnwertdefinition der Planfeststellung weiterhin möglich.*

Sollte die Analyse ergeben, dass ein quantitativer Warnwert überschritten ist, so werden umgehend die Überwachungsbehörden (AfU, EBA) informiert und die mit den Warn- und Einstellwerten verbundenen Auflagen und Nebenbestimmungen der Planfeststellung umgesetzt.

Westheim / Ettlingen / Stuttgart / Dresden, den 29.03.2012

Die Bearbeiter:



Dipl.-Geol. Dr. T. Westhoff



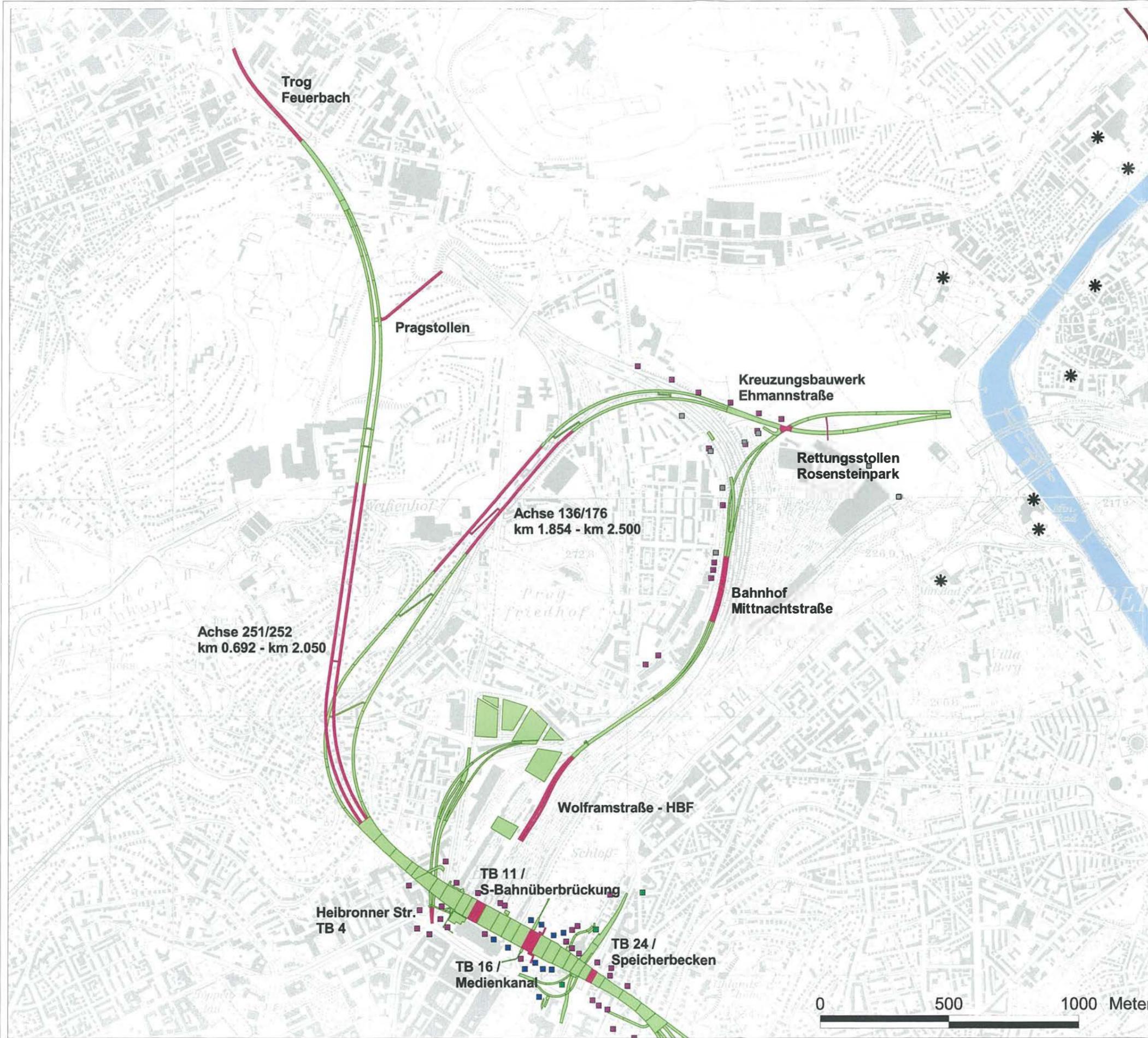
Dipl.-Geol. Dr. F. Wenderoth



Dipl.-Math., Dipl.-Phys., Dr.-Ing. K. Schott



Dipl.-Geol. K. Kernbach



Legende:

- Modellrand
- Heil- und Mineralquellen *
- Infiltrationsbrunnen
 - Infiltration q-km1 BH
 - Infiltration km1DRM-km1BH
 - Infiltration km1BH
 - Infiltration ku2GD
- Technische Planung
 - berücksichtigte Teilbaugruben
 - nicht berücksichtigte Teilbaugruben
- Neckar

Projekt Stuttgart 21

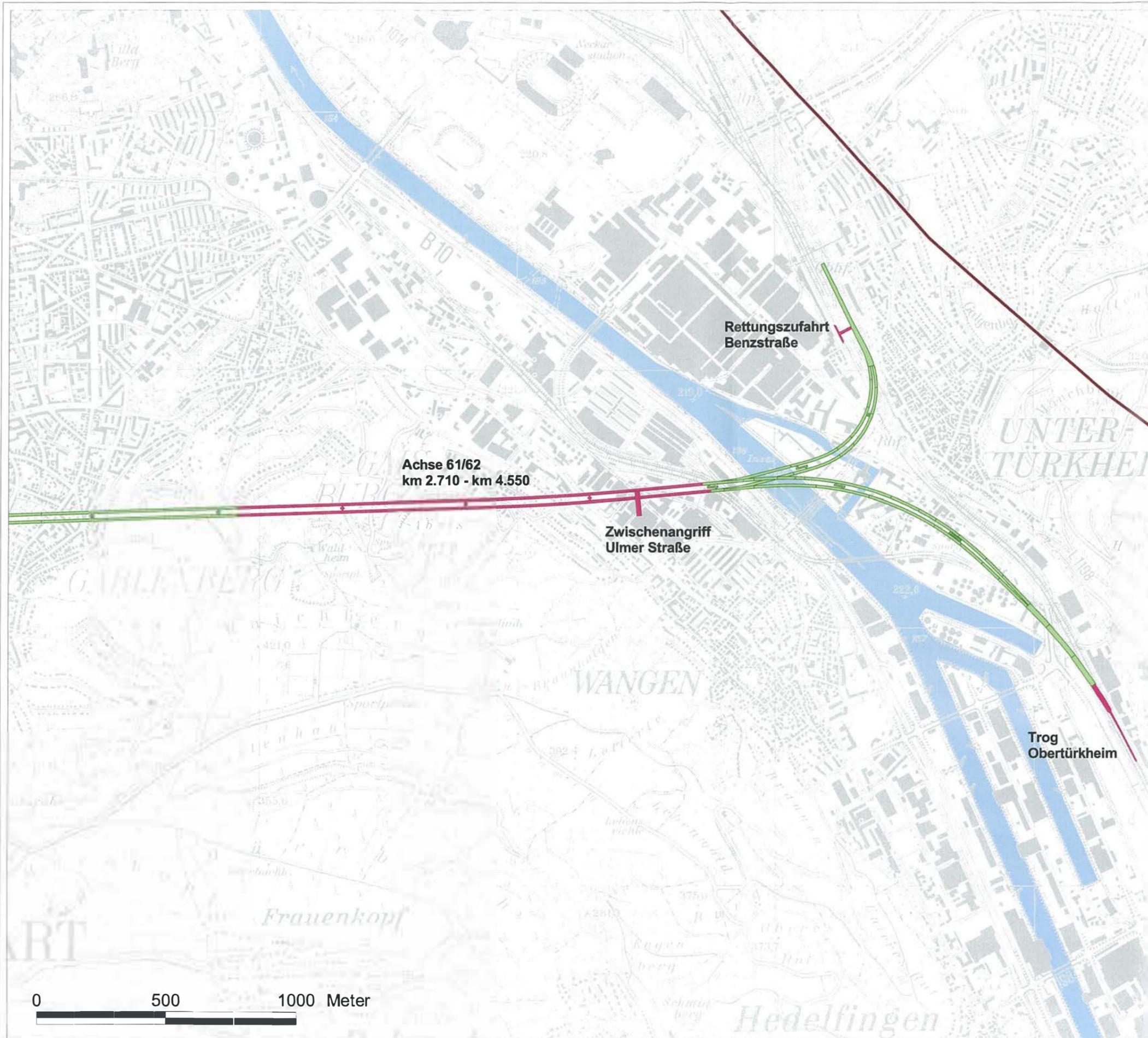
instationäre Prognoserechnung PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6 a/b

Berechnungen mit instationärer Hydrologie
Ausgewählte Teilbaugruben mit Wasserhaltung PFA 1.1 und 1.5

Thematik: Prognoseberechnungen	Maßstab: 1: 15000
Auftragnehmer:	Auftraggeber:
ARGE Wasser Umwelt Geotechnik	Paul Schwarz & Str. 2 01097 Dresden Pflorheimer Str. 126a 70275 Ebingen
Datum: 04.01.2012	Anlage: 1

DB ProjektBau GmbH
 Pöppelstraße 17
 70191 Stuttgart





Legende:

Modellrand



Technische Planung

-  berücksichtigte Teilbaugruben
-  nicht berücksichtigte Teilbaugruben

Neckar



Projekt Stuttgart 21
instationäre Prognoserechnung PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6 a/b

Berechnungen mit instationärer Hydrologie
 Ausgewählte Teilbaugruben mit Wasserhaltung PFA 1.6

Thematik:	Prognoseberechnungen	Maßstab:	1: 15000
Auftragnehmer:	ARGE Oberdorfer 12 Wasser 91747 Westheim Geotechnik 70191 Stuttgart	Paul Schwarz Sr 2 01097 Dresden Pfalzheim Sr 126a 76275 Eßlingen	Auftraggeber:  DB ProjektBau GmbH Rappelenstraße 17 70191 Stuttgart
Datum:	04.01.2012	Anlage:	2