Nur zur Information

Projekt Stuttgart 21

- **Umgestaltung des Bahnknotens Stuttgart**
- **Ausbau- und Neubaustrecke Stuttgart - Augsburg**

  Bereich Stuttgart - Wendlingen mit Flughafenanbindung

Planfeststellungsabschnitte

1.1, 1.2, 1.5, 1.6a und 1.6b

Prognoseberechnungen mit dem instationären Grundwasserströmungsmodell

Vorhabenträger:

DBProjektBau GmbH
Großprojekt Stuttgart 21 – Wendlingen-Ulm

Räpplenstraße 17
70191 Stuttgart

Bearbeitung:

ARGE Wasser ♦ **U**mwelt ♦ **G**eotechnik

Oberdorfstr. 12
91747 Westheim

Heilbronner Str. 81
70191 Stuttgart

Pforzheimer Str. 126a
76275 Ettlingen

Paul-Schwarze-Str. 2
01097 Dresden

Az.: A0006

Westheim, den 27.04.2011

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 2
Abbildungsverzeichnis 3
Tabellenverzeichnis 3
Anlagenverzeichnis 4
Beilagenverzeichnis 8
1. Vorhaben, bauliche Anlagen und Bauzeiten 9
2. Modellgrundlagen 12
2.1. Geometrische Umsetzung der technischen Planung im GWSM 12
2.2. Zeitliche Umsetzung der technischen Planung im GWSM 15
2.3. Steuerung der zeitabhängigen Randbedingungen mittels IFM-Modul 22
3. Prognoseberechnungen 24
3.1. Bauablauf 24
3.2. Instationäre Berechnung der gesamten Baumaßnahme (Bauschritte 0 bis 13) 26
3.3. Bilanzbetrachtungen 38
3.4. Stationäre Prognoserechnung zur Bestimmung des potentiellen Grundwasser-aufstaus im PFA 1.1 nach Fertigstellung des Tiefbahnhofs 42
3.5. Empfehlungen und Folgerungen für den Grund- und Mineralwasserschutz 47
4. Zusammenfassung und Empfehlungen 48
5. Verwendete Unterlagen 51

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Aufgenommene Werte für Tunnel- und Baugrubenunterkanten aus Höhenplänen.. 14
Abbildung 2-2: Übersicht zur Bauweise der Tunnelstrecken und Teilbaugruben 15
Abbildung 2-3: Bautaktung PFA 1.1 - Bauschritt 2 17
Abbildung 2-4: Bautaktung PFA 1.1 - Bauschritt 7 18
Abbildung 2-5: Bautaktung PFA 1.1 - Bauschritt 7 mit Netzknoten 19
Abbildung 2-6: Zeitabhängige k_f-Werte DB-Tunnel im q1 - BS 3a 20
Abbildung 2-7: Zeitabhängige k_f-Werte DB-Tunnel im q1 - BS 7 21
Abbildung 2-8: Zeitabhängige k_f-Werte DB-Tunnel im km1DRM (mittlerer Abschnitt) BS 11 22
Abbildung 2-9: Modulgesteuerte Kanalabschnitte 24
Abbildung 3-1: Muschelkalk Bilanzkomponenten Ausgangszustand 39
Abbildung 3-2: Muschelkalk Bilanzkomponenten Ausgangszustand – Bauschritt 1 40
Abbildung 3-3: Muschelkalk Bilanzkomponenten Ausgangszustand – Bauschritt 2 41
Abbildung 3-4: Muschelkalk Bilanzkomponenten Ausgangszustand – Bauschritt 7 42
Abbildung 3-5: Potentialdifferenz im Quartär vor und nach Fertigstellung des Tiefbahnhofs 43
Abbildung 3-6: Potentialdifferenz im Bochinger Horizont vor und nach Fertigstellung des Tiefbahnhofs 44
Abbildung 3-7: Potentialdifferenz im Quartär vor und nach Fertigstellung des Tiefbahnhofs ohne Kanalabschnitte 45
Abbildung 3-8: Potentialdifferenz vor und nach Fertigstellung des Tiefbahnhofs im Bochinger Horizont ohne Kanalabschnitte 46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Verzeichnis der Baumaßnahmen und Teilbaugruben im PFA 1.1 13
Tabelle 2-2: Dauer der Bauschritte 16
Tabelle 3-1: Gegenüberstellung von Quellschüttungsveränderung und effektiver Grundwasserentnahme 38

Anlagenverzeichnis

Anlage 1.1	Teilbaugruben des DB-Tunnels einschließlich Infiltrationsbrunnen PFA 1.1 im GWSM
Anlage 1.2	Folgebaumaßnahmen PFA 1.1 im GWSM
Anlage 1.3	Technische Planung mit Infiltrationsbrunnen im Bereich PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a/b im GWSM
Anlage 2	Dokumentation der Infiltrationsbrunnen und Umsetzung im GWSM
Anlage 3.1	Instationär berechneter Wasserandrang und Infiltration PFA 1.1 Bauschritt 0 bis 13
Anlage 3.2	Instationär berechneter Wasserandrang PFA 1.2 Bauschritt 0 bis 13
Anlage 3.3	Instationär berechneter Wasserandrang und Infiltration PFA 1.5 Bauschritt 0 bis 13
Anlage 3.4	Instationär berechneter Wasserandrang und Infiltration PFA 1.6a/b Bauschritt 0 bis 13
Anlage 3.5	Instationär berechneter Quellschüttungsverlauf der Heil- und Mineralquellen, Wasserhaltungsverlauf, Infiltrationsverlauf und effektive GW-Andrangsverlauf im Bauschritt 0 bis 13 für alle PFA im Stuttgarter Talkessel
Anlage 4.1	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 0
Anlage 4.2	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 1
Anlage 4.3	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 2
Anlage 4.4	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 3a
Anlage 4.5	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 3b
Anlage 4.6	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 3c
Anlage 4.7	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 4a
Anlage 4.8	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 4b
Anlage 4.9	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 5
Anlage 4.10	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 6
Anlage 4.11	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 7
Anlage 4.12	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 8
Anlage 4.13	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 9
Anlage 4.14	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 10
Anlage 4.15	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 11
Anlage 4.16	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 12
Anlage 4.17	Bautaktung und Infiltrationsbrunnen PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für den BS 13

Anlage 5.1 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1DRM für den BS 0 im Bereich des Technikgebäudes

Anlage 5.2 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 1, PFA 1.1

Anlage 5.3 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 1, PFA 1.1

Anlage 5.4 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 2, PFA 1.1

Anlage 5.5 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 2, PFA 1.1

Anlage 5.6 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im ku2LD-ku1F für den BS 2, PFA 1.1

Anlage 5.7 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im mo für den BS 2, PFA 1.1

Anlage 5.8 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 2, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.9 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1DRM für den BS 2, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.10 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 2, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.11 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im ku2GD für den BS 2, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.12 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im ku2LD-ku1F für den BS 2, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.13 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im mo für den BS 2, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.14 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 3a, PFA 1.1

Anlage 5.15 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 3a, PFA 1.1

Anlage 5.16 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 3b, PFA 1.1

Anlage 5.17 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 3b, PFA 1.1

Anlage 5.18 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 3c, PFA 1.1

Anlage 5.19 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 3c, PFA 1.1

Anlage 5.20 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 4a, PFA 1.1

Anlage 5.21 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 4a, PFA 1.1

Anlage 5.22 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 4b, PFA 1.1

Anlage 5.23 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 4b, PFA 1.1

Anlage 5.24 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 5, PFA 1.1

Anlage 5.25 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 5, PFA 1.1

Anlage 5.26 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 6, PFA 1.1

Anlage 5.27 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 6, PFA 1.1

Anlage 5.28 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 7, PFA 1.1

Anlage 5.29 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 7, PFA 1.1

Anlage 5.30 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im ku2LD-ku1F für den BS 7, PFA 1.1

Anlage 5.31 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im mo für den BS 7, PFA 1.1

Anlage 5.32 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 7, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.33 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1DRM für den BS 7, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.34 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 7, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.35 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im ku2GD für den BS 7, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.36 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im ku2LD-ku1F für den BS 7, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.37 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im mo für den BS 7, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.38 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 8, PFA 1.1

Anlage 5.39 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 8, PFA 1.1

Anlage 5.40 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 9, PFA 1.1

Anlage 5.41 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 9, PFA 1.1

Anlage 5.42 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 10, PFA 1.1

Anlage 5.43 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 10, PFA 1.1

Anlage 5.44 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 11, PFA 1.1

Anlage 5.45 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 11, PFA 1.1

Anlage 5.46 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 12, PFA 1.1

Anlage 5.47 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 12, PFA 1.1

Anlage 5.48 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im ku2LD-ku1F für den BS 12, PFA 1.1

Anlage 5.49 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im mo für den BS 12, PFA 1.1

Anlage 5.50 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 12, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.51 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1DRM für den BS 12, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.52 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 12, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.53 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im ku2GD für den BS 12, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.54 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im ku2LD-ku1F für den BS 12, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.55 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im mo für den BS 12, PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b

Anlage 5.56 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im q für den BS 13, PFA 1.1

Anlage 5.57 Berechnete Absenkung des Grundwasser(druck)spiegels im km1BH für den BS 13, PFA 1.1

Anlage 6.1 Vertikale GW-Leakage durch km1GG - BS 2

Anlage 6.2 Vertikale GW-Leakage durch ku1ES - BS 2

Anlage 6.3 Vertikale GW-Leakage durch km1GG - BS 7

Anlage 6.4 Vertikale GW-Leakage durch ku1ES - BS 7

Anlage 6.5 Vertikale GW-Leakage durch km1GG - BS 12

Anlage 6.6 Vertikale GW-Leakage durch ku1ES - BS 12

Anlage 7 Berechnete Wasserandrangs- und Infiltrationsraten in den Teilbaugruben PFA 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a,b für die Bauschritte 1 bis 13 für stationäre Mittelwasserverhältnisse

Beilagenverzeichnis

Beilage 1.1 Dokumentation der im GWSM definierten Reference-ID's zur Umsetzung der Randbedingungen zur Bauwasserhaltungen mittels IFM-Modul (nur für AG)

Beilage 1.2 Dokumentation Stress-Perioden (nur für AG)

1. Vorhaben, bauliche Anlagen und Bauzeiten

Als „Bahnprojekt Stuttgart 21", das die Planfeststellungsabschnitte (PFA) 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6a und 1.6b umfasst, wird die Umgestaltung des Bahnknotens Stuttgart bezeichnet. Kernstück des neu gestalteten Bahnknotens Stuttgart ist die Umwandlung des bestehenden 16gleisigen Kopfbahnhofs in Stuttgart in einen 8gleisigen tiefergelegten Durchgangsbahnhof für den Fern- und Regionalverkehr, der gegenüber der heutigen Lage der Bahnsteige um ca. 90 Grad gedreht wird. Der neue Hauptbahnhof wird durch unterirdische Zulaufstrecken aus Richtung Feuerbach, Bad Cannstatt, Wangen bzw. Ober-/Untertürkheim und der Filderebene angebunden.

Die bisherigen Abstell- und Wartungsanlagen am Rand des Rosensteinparks werden in den Bereich des heutigen Güterbahnhofs Untertürkheim verlegt. Neben den daraus resultierenden verkehrlich-betrieblichen Verbesserungen, d.h. der Dimensionierung der Verkehrsanlagen für den künftigen Bedarf, bietet diese grundlegende Veränderung der Bahnanlagen im Stuttgarter Talkessel die Chance, insgesamt gut 100 ha bisherigen Bahngeländes städtebaulich zu nutzen. Davon sollen ca. 20 ha zur Erweiterung des Rosensteinparks und des Unteren und Mittleren Schloßgartens verwendet werden. Das bestehende, denkmalgeschützte Bahnhofsgebäude bleibt seiner Funktion nach erhalten. Der künftige Stuttgarter Hauptbahnhof besteht aus dem „Bonatz-Gebäude", der „Bahnhofshalle" und dem„ Nördlichen Bahnhofsgebäude".

Als notwendige Folgemaßnahmen des Projekts werden die bestehenden Anlagen der Stadtbahn in der Heilbronner Straße und an der Haltestelle Staatsgalerie den neuen Bedingungen entsprechend verändert. Hinzu kommt die Verlegung einer ganzen Reihe von Leitungen als Folge der Lage der neuen Bahnhofshalle, unter denen die Hauptsammler Nesenbach und West die wichtigsten sind.

Die S-Bahn wird im Bereich des heutigen Gleisvorfeldes künftig unterirdisch geführt. Auf Höhe der Mittnachtstraße wird eine neue S-Bahn-Station gebaut. Diese dient nicht allein der verkehrlichen Erschließung der neuen Stadtquartiere auf den freiwerdenden Gleisflächen sondern auch der Verbesserung des Nahverkehrsangebots für das bestehende Nordbahnhofviertel.

Abgesehen von diesen Baumaßnahmen im Stuttgarter Talkessel werden auch die Zulaufstrecken innerhalb des Knotens Stuttgart Hbf neu gestaltet. Beginnend in Stuttgart-Feuerbach wird eine neue zweigleisige, unterirdische Strecke im Zuge der Relation Mannheim – Stuttgart in den Hauptbahnhof eingeführt. Deren südliche Weiterführung erfolgt durch den etwa 9,4 km langen Fildertunnel, der am „Echterdinger Ei" die Geländeoberfläche erreicht. Im Fildertunnel zweigt die ebenfalls unterirdische Strecke in Richtung Stuttgart-Wangen ab. Dort verzweigt sie sich wiederum in zwei Streckenäste nach Stuttgart-Untertürkheim bzw. Stuttgart-Obertürkheim und wird dort an die bestehende Hauptabfuhrstrecke angebunden.

Der heute bestehende Güterbahnhof Untertürkheim wird in einen Wartungsbahnhof umgestaltet, der als Ersatz für den Abstellbahnhof am Rosensteinpark dient. Für die Anbindung Stuttgart-Bad Cannstatts an den neuen Hauptbahnhof ist eine neue Zuführungsstrecke erforder-

lich. Sie macht geringfügige Änderungen im Bahnhof Stuttgart-Bad Cannstatt sowie vor allem einen neuen Tunnel unter dem Rosensteinpark und eine neue Brücke über den Neckar notwendig. Diese 4gleisige Brücke nimmt neben den beiden Fernbahngleisen auch die beiden S-Bahn-Gleise auf.

Im Anschluss an den Fildertunnel folgt eine ebenfalls unterirdische Anbindung an die bestehende, umzubauende S-Bahnstation Flughafen. An dieser Station werden in Zukunft neben der S-Bahn auch die Regional-und Fernzüge der Gäubahn von und nach Horb - Singen - Zürich bedient. Als „Station Terminalbereich" ist sie Teil des „Filderbahnhofs/Flughafen". Die Streckenführung auf der Filderebene ist in der Weise vorgesehen, dass vom „Echterdinger Ei" aus die oberirdische Strecke nördlich parallel der BAB 8 bis zur Tank- und Rastanlage Denkendorf führt. Auf Höhe des Landesflughafens Stuttgart und im Bereich der geplanten Neuen Messe wird eine zunächst eingleisige Strecke bis etwa in Lage der Flughafenrandstraße ausgefädelt. Dort, im unmittelbaren Bereich der Terminals, entsteht eine neue 2gleisige Station für die Züge der Relation Mannheim – Stuttgart – München bzw. Stuttgart - Tübingen. Sie wird als „Station Neubaustrecke" ebenfalls Bestandteil des künftigen „Filderbahnhofs/Flughafen". Im weiteren Verlauf wechselt die Strecke im Bereich der Tank- und Rastanlage Denkendorf auf die Südseite der BAB 8 und wird bei Wendlingen über den Neckar geführt.

Detaillierte Angaben zu den geplanten baulichen Maßnahmen können den Antragsunterlagen zur Planfeststellung sowie den zwischenzeitlich vorliegenden Planfeststellungsbeschlüssen entnommen werden.

Die DBProjektBau GmbH hat für die geplanten Baumaßnahmen in den PFA 1.1, 1.2, 1.5, 1.6a und 1.6b des Projektes Stuttgart 21 das Baurecht beantragt, das vom Eisenbahnbundesamt mit den Planfeststellungsbeschlüssen

PFA 1.1:	Beschluss vom 28.01.2005
PFA 1.2:	Beschluss vom 19.08.2005
PFA 1.5:	Beschluss vom 13.10.2006
PFA 1.6a:	Beschluss vom 16.05.2007

erteilt wurde. Mit den Planfeststellungsbeschlüssen wurden auch die jeweils notwendigen wasserrechtlichen Erlaubnisse, Zulassungen und Befreiungen erteilt. Für den PFA 1.6b läuft noch das Planfeststellungsverfahren, wobei die Auslegung und Anhörung bereits stattgefunden hat.

Die Auswertung der Erkenntnisse des 5. Erkundungsprogrammes zur Ausschreibung / Ausführung und des mit dem Grundwassermanagement verbundenen Brunnen- und Pegelbohrprogrammes haben neue Fakten bezüglich der Schichtlagerung und der geohydraulischen Kennwerte ergeben. Des Weiteren konnten neue Erkenntnisse zum hydrogeologischen Systemmodell durch die Erarbeitung, Eichung und Validierung des instationären Grundwasserströmungsmodells für die Baubegleitung sowie durch die instationäre Simulation des Langzeitpumpversuchs im Oberen Muschelkalk abgeleitet werden (ARGE WUG 2010).

Gegenstand des vorliegenden Berichtes sind die mit dem geeichten und validierten instationä-

ren Grundwasserströmungsmodell neu durchgeführten Prognoserechnungen für einen geringfügig geänderten Bauablauf im PFA 1.1 (Vorziehen der Baumaßnahme Technikgebäude um 9 Monate gegenüber der planfestgestellten Bautaktung im PFA 1.1). Die den Prognoseberechnungen zugrunde gelegte Bautaktung der restlichen Planfeststellungsabschnitten entspricht der Bautaktung mit Stand der Planfeststellung.

Die einzelnen Teilbaugruben der geplanten Baumaßnahmen kommen überwiegend im Bereich der oberen Grundwasservorkommen im Quartär und Gipskeuper zu liegen bzw. greifen in diese ein; zudem liegen die Teilbaugruben im Zustrombereich der Heil- und Mineralquellen von Stuttgart - Bad Cannstatt und –Berg und unterschneiden in Teilbereichen im Bereich der vorgesehenen Wasserhaltungen z.T. die Druckfläche des Mineralwasservorkommens. Bei Eingriffen in den Gips- bzw. Lettenkeuper sind Auswirkungen der Baumaßnahmen auf das Mineralwasservorkommen bzw. die Heil- und Mineralquellen nicht auszuschließen.

Der Bauablaufplan geht nach aktuellem Planungsstand von einer zeitlich und räumlich versetzten Herstellung der einzelnen Teilbaugruben aus. Es sind nach derzeitigem Planungsstand 17 Bauschritte mit einer Dauer der Bauschritte zwischen 1 bis 9 Monaten vorgesehen (siehe Tabelle 2-2). Innerhalb dieser einzelnen Bauschritte sind gleichzeitig mehrere Grundwasserabsenkungen für verschiedene Teilbaugruben und Tunnelabschnitte in den einzelnen PFA in Betrieb. Gemäß den Vorgaben der raumordnerischen Beurteilung des Regierungspräsidiums Stuttgart vom September 1997 sind die Grundwasserkörper außerhalb der Baugruben zu stützen, um die Eingriffe in den Grundwasserhaushalt und das Mineralwassersystem zu minimieren. Dies kann u.a. durch Infiltrationsmaßnahmen erreicht werden. Zur Stützung der Grundwasserkörper außerhalb der Teilbaugruben wurde ein Infiltrationskonzept erarbeitet, das im Vorfeld der Planfeststellung in Abstimmung mit dem AWW-UAK "Grundwassermodellierung" optimiert und auf jeden BS individuell angepasst wurde. Im Rahmen dieses Infiltrationskonzeptes sind Infiltrationen über Infiltrationsbrunnen und Sohlfilter in die Horizonte q, q/km1BH, km1BH und ku2GD vorgesehen. Dieses Infiltrationskonzept wurde auf Basis der neuen Erkenntnisse mit dem instationär geeichten und validierten Grundwasserströmungsmodell im Rahmen der Prognoseberechnungen nochmals überprüft und angepasst. Lagepläne für das vollständige Infiltrationskonzept sämtlicher Bauschritte sind in der Anlage 4.1 bis 4.17 enthalten. Eine tabellarische Übersicht zum Inventar und zur Umsetzung der 67 Infiltrationsbrunnen ist in der Anlage 2 gegeben.

Mit dem stationär und instationär geeichten sowie verifizierten Grundwasserströmungsmodell (siehe ARGE WUG, 2010) wurden für die einzelnen Baumaßnahmen in den PFA's 1.1, 1.2, 1.5, 1.6a und 1.6b und unter Beachtung der weiteren zeitgleich auszuführenden Baumaßnahmen im Stuttgarter Talkessel (siehe Tabelle 2-1) instationäre Prognoseberechnungen zur Ermittlung

(1) des bauzeitlichen Wasserandrangs

(2) der bauzeitlichen Infiltrationsraten

(3) der Quellschüttungsschwankungen an den Heil- und Mineralquellen

(4) der bauzeitlichen Grundwasserabsenkung in den oberen Grundwasservorkommen

(5) der bauzeitlichen Grundwasserabsenkung im Oberen Muschelkalk

(6) des bauzeitlichen Grundwasseraufstiegs aus dem Oberen Muschelkalk

unter Zugrundelegung von Mittelwasserverhältnissen durchgeführt.

2. Modellgrundlagen

Den Prognoseberechnungen liegt das in 2009/2010 stationär sowie instationär geeichte und validierte Grundwasserströmungsmodell (GWSM) zugrunde. Dieses wurde mit dem Bericht „Aufbau, Eichung und Validierung des instaionären Grundwasserströmungsmodells“ ausführlich dokumentiert (ARGE WUG, 2010).

Im Folgenden werden daher nur die im Zuge der Prognoseberechnungen vorgenommenen Anpassungen dokumentiert bzw. Einzelheiten zur Modellgeometrie, die der besseren Verständlichkeit dienen, wiederholt. Die Anpassungen beinhalten zum einen die Randbedingungen zur Umsetzung der Bauwasserhaltungen in den PFA's 1.1 (Talquerung Hauptbahnhof), 1.2 (Fildertunnel), 1.5 (Zuführung Feuerbach / Bad Cannstatt, S-Bahn-Anbindung), 1.6a (Zuführung Hauptbahnhof Ober- / Untertürkheim) und 1.6b (Wartungsbahnhof), sowie zum anderen die im Zuge des Baufortschrittes erforderliche Anpassung von Materialparametern, wie z.B. die Realisierung des Umläufigkeitssystems für den DB-Tunnel. Weiterhin werden die Randbedingungen zur Realisierung des Infiltrationskonzeptes zur Stützung der Grundwasservorkommen im Nahbereich der Baumaßnahme dokumentiert.

Wesentliche Grundlage für die Umsetzung der Bauplanung im GWSM bilden die Festlegungen der Planfeststellungsbeschlüsse für die PFA's 1.1, 1.2, 1.5, 1.6a und 1.6b.

2.1. Geometrische Umsetzung der technischen Planung im GWSM

Sämtliche im GWSM berücksichtigten Elemente aus der technischen Planung wie Teilbaugruben und Tunnelstrecken sind in den Anlagen 1.1 bis 1.3 dargestellt. Die Anlagen 1.1 und 1.2 zeigen detailliert die für den PFA 1.1 berücksichtigten Teilbaugruben. Weiterhin sind die bereits in der Modelleichung berücksichtigten Tiefgründungen sowie sind die Lokationen der Infiltrationsbrunnen einschließlich des jeweiligen Infiltrationshorizontes dokumentiert. Die Anlage 1.3 zeigt die im GWSM berücksichtigte technische Planung für die weiteren PFA's im Stuttgarter Talkessel in der Gesamtübersicht.

Die folgende Tabelle 2-1 fasst die Baumaßnahmen und Teilbaugruben im PFA 1.1 zusammen. Eine vollständige Auflistung aller im GWSM umgesetzten Elemente ist in der Anlage 7 gegeben, welche die berechneten Wasserandrangs- und Infiltrationsraten in den Teilbaugruben und Tunnelstrecken für die PFA's 1.1, 1.2, 1.5, 1.6a und 1.6b ausweist.

Tabelle 2-1: Verzeichnis der Baumaßnahmen und Teilbaugruben im PFA 1.1

Baumaßnahme	Einzelbaumaßnahme	Teilbaugruben
DB-Tunnel und Bahnhofshalle im PFA 1.1	Nordkopf	1 mit Zugangsschacht Jägerstr, 1A (Rettungszufahrt Nord), 2, 3 und 8
	Bahnhofshalle	9 bis 18
	Südkopf	19/20 bis 25
Folgebaumaßnahmen im PFA 1.1	Verlegung Stadtbahn Heilbronner Str.	4, 5, 6-1, 6-2, 6-3, 7-1, 7-2, 7-3
	Verlegung Stadtbahn Hst. Staats-Galerie	8.1c, 8.2c, 8.3c, 8.4c, 8.5c, 8.6c, 8.7c, 8.8c und 8.9c
	Neubau Stadtbahnlinie U12	633-3
	Düker Hauptsammler West	H1, H2, H3 und H4
	Düker Cannstatter Str.	DC2, DC3, 16A, 16B und Abschnitt DB-Tunnel
	Düker Nesenbach	D1, D1 (Bypass), D2, D3, D4 D4(Bypass) und Anschlüsse D1, D4
	Medienkanal K.-G.-Kiesinger-Platz	in Teilbaugrube H2 betrachtet
	S-Bahn-Überbrückung	in Teilbaugrube 11 betrachtet
	Versorgungstunnel	in Teilbaugrube 13 betrachtet
	Medienkanal Schloßgarten	in Teilbaugrube 16 betrachtet
	Speicherbecken	in Teilbaugrube 23 und 24 betrachtet
	Anlieferung Arnulf-Klett-Platz (Technikgebäude)	T1
Weitere zeitgleiche Baumaßnahmen im Stuttgarter Talkessel	Neubau Stadtbahnlinie U 12	633-1, 633-2, 634-1, 634-2+3, 633/634
	Bebauung der Teilfläche A1	A1.1, A1.6a,b, A1.7, A1.8, A1.9, A1.12 und A1.15

Sämtlichen Teilbaugruben und Tunnelstrecken wurden für die Prognoseberechnungen Zielwasserstände für die Bauwasserhaltung zugewiesen. Dazu wurden aus den bauwerksspezifischen Höhenplänen die Werte für die Tunnel- und Baugrubenunterkanten entnommen. Methodisch wurde dabei so vorgegangen, dass in den PFA's 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a alle 100 Meter bzw. bei einem Gradientenwechsel oder bei Auftreten von baulichen Besonderheiten der Wert der Tunnel- bzw. Baugrubenunterkante in Verbindung mit der entsprechenden Kilometrierung aufgenommen wurde. Insgesamt wurden somit 833 Höhenpunkte für die Tunnel- und Baugrubenunterkanten ausgewiesen. Diese sind in der folgenden Abbildung 2-1 dargestellt.

Im GWSM wurden entlang der Tunnelstrecken für alle darauf liegenden Modellknoten des Finite-Elemente-Netzes auf Basis der aus den Längsschnitten entnommenen Werte, die Tunnelunterkanten linear interpoliert. Die Flächen der Teilbaugruben mit einheitlichen Niveau wurden mit entsprechend konstanten Werten ausgehalten. Ausgehend von dieser Belegung wurde für Abschnitte, die in offener Bauweise errichtet werden, ein Wert von 0,5 Metern von der Baugrubensohle bzw. Tunnelunterkante subtrahiert und als Zielwasserstand für die Baugrubenentwässerung festgelegt. Für die bergmännisch zu errichtenden Tunnelstrecken wurde die Tunnelunterkante als Zielwasserstand definiert.

Eine Übersicht zur Bauweise (offen/bergmännisch) der Teilbaugruben und Tunnelstrecken ist in der Abbildung 2-2 gegeben.

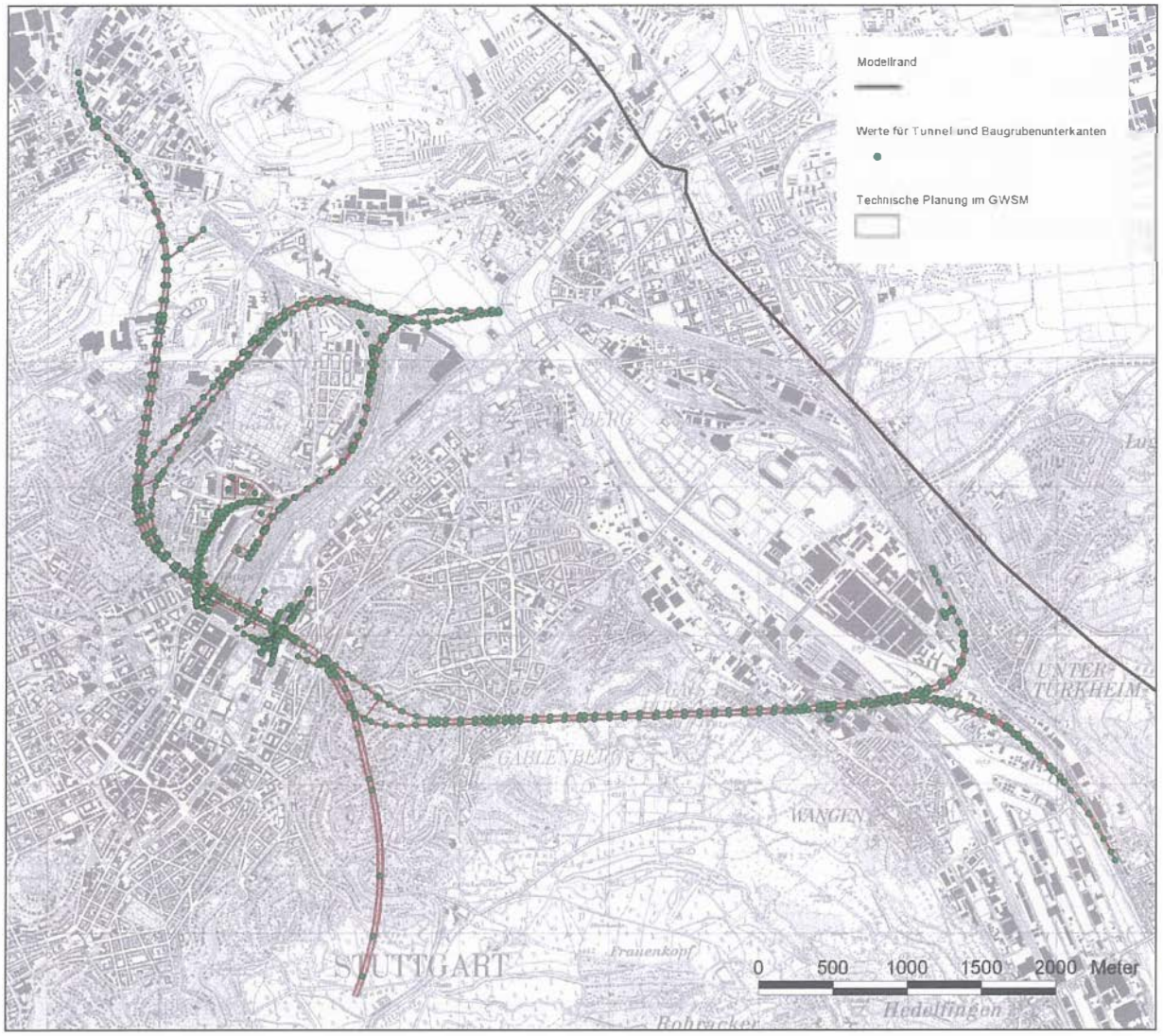


Abbildung 2-1: Aufgenommene Werte für Tunnel- und Baugrubenunterkanten aus Höhenplänen

Um die so ermittelten Zielwasserstände den entsprechenden, im Modell umgesetzten, geologischen Schichten zuzuordnen, erfolgte eine Verschneidung mit den Höhendaten der einzelnen Modellebenen (siehe ARGE WUG, 2010). Somit wird gewährleistet, dass die die Zielwasserstände repräsentierenden Randbedingungen in die jeweils relevanten Modellschichten einbinden. Neben der Ermittlung der Zielwasserstände für die Bauwasserhaltungen und der höhenmäßigen Zuordnung zu den Modellschichten wird der DB-Tunnel nicht nur horizontal sondern auch vertikal von der Modellgeometrie erfasst. Diese detaillierte geometrische Auflösung erfolgte, um Aussagen über einen potentiellen Grundwasseraufstau nach Fertigstellung der Baumaßnahme und das entsprechend im Planfeststellungsbeschluss vorgesehene Umläufigkeitssystem sowie die Grundwassersperren korrekt abbilden zu können. Grundwassersperren sind hydraulisch undurchlässige Barrieren, welche die Längsläufigkeiten zwischen den einzelnen Teilbaugruben im Bereich des DB-Tunnels unterbinden. Eine Beschreibung zur genauen Umsetzung der Teufenlagen der einzelnen Baugruben, des Umläufigkeitssystems und der Grundwassersperren ist in ARGE WUG (2010) dokumentiert.

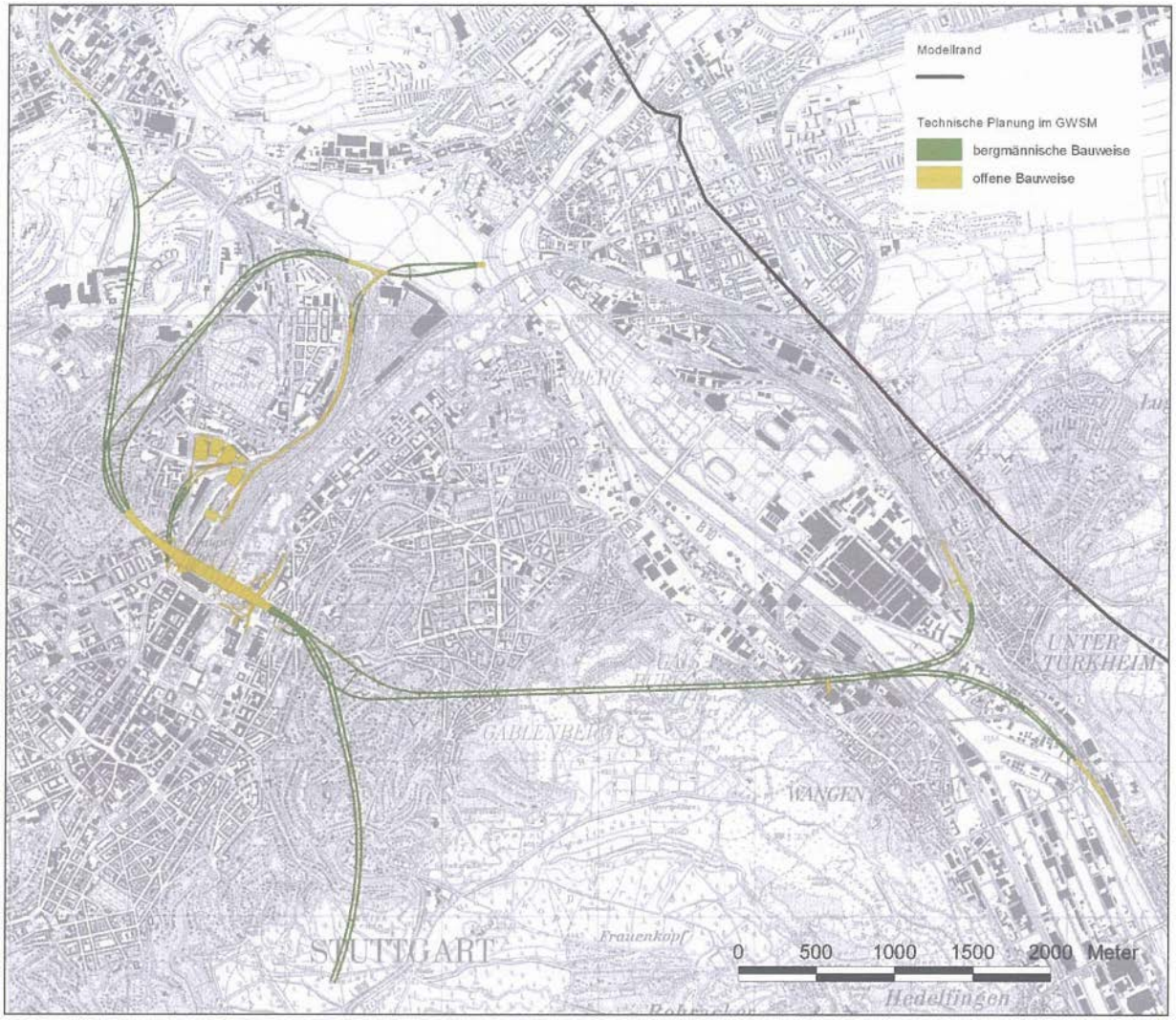


Abbildung 2-2: Übersicht zur Bauweise der Tunnelstrecken und Teilbaugruben

2.2. Zeitliche Umsetzung der technischen Planung im GWSM

Neben der korrekten geometrischen Umsetzung der technischen Planung im GWSM, dass heißt sowohl der lagegetreuen horizontalen Abbildung als auch der richtigen vertikalen Zuordnung, kommt der Zeitkomponente eine nicht minder wesentliche Rolle zu. Da nicht alle Baumaßnahmen gleichzeitig erfolgen und auch nicht gleichzeitig lang andauern, ist den Zielwasserständen der Bauwasserhaltungen eine entsprechende Dauer zuzuordnen.

Die in das Grundwasser eingreifenden Baumaßnahmen mit entsprechenden Wasserhaltungsmaßnahmen erstrecken sich insgesamt über einen Zeitraum von sieben Jahren. Diese sind in 17 Bauschritte unterteilt, die, wie die folgende Tabelle zeigt, unterschiedliche Zeitdauern aufweisen.

Tabelle 2-2: Dauer der Bauschritte

Bauschritt	Dauer [d]	von [d]	bis [d]
0	273,75	0	273,75
1	182,5	273,75	456,25
2	182,5	456,25	638,75
3a	30,0	638,75	668,75
3b	122,5	668,75	791,25
3c	30,0	791,25	821,25
4a	91,0	821,25	912,25
4b	91,5	912,25	1003,75
5	182,5	1003,75	1186,25
6	182,5	1186,25	1368,75
7	182,5	1368,75	1551,25
8	182,5	1551,25	1733,75
9	182,5	1733,75	1916,25
10	182,5	1916,25	2098,75
11	182,5	2098,75	2281,25
12	182,5	2281,25	2463,75
13	90,0	2463,75	2553,75

Bis auf die Bauschritte 0 und 13 weisen die Bauschritte eine Länge von 182,5 Tagen auf, wobei die Bauschritte drei und vier in die Teilbauschritte 3a bis 3c bzw. 4a bis 4b unterteilt wurden. Die Länge dieser Teilbauschritte variiert zwischen 30 bis 122,5 Tagen. Diese Unterteilung ist zur Abbildung des Auffahrkonzeptes für den Düker Nesenbach erforderlich. Der Bauschritt 0 repräsentiert mit 273,75 Tagen den Neubau des Technikgebäudes als Vorabmaßnahme, während der Bauschritt 13 mit 90 Tagen den Lückenschluss Wolframstraße umfasst.

Um jeder Teilbaugrube und den Tunnelstrecken die Dauer der Wasserhaltung zuzuweisen, wurden die entsprechenden Bauzeitenpläne ausgewertet. Diese zeigen den Baufortschritt und die Dauer an. Auf Basis dieser Bauzeitenpläne erfolgte die zeitliche Taktung der Teilbaugruben und Tunnelstrecken im GWSM. Dabei wurde zwischen den drei Zuständen „vor Bau“, „im Bau“, „fertig“ unterschieden. Nur während des Zustandes „im Bau“ wurde die erforderliche Grundwasserabsenkung im GWSM als aktiv angesetzt. Die folgenden zwei Abbildungen zeigen exemplarisch die Zuordnung der Zeitlichkeiten für die Bauschritte 2 und 7 für den Bereich PFA 1.1.

Die Darstellung des Bauablaufes für sämtliche Bauschritte ist in den Anlagen 4.1 bis 4.17 dokumentiert.

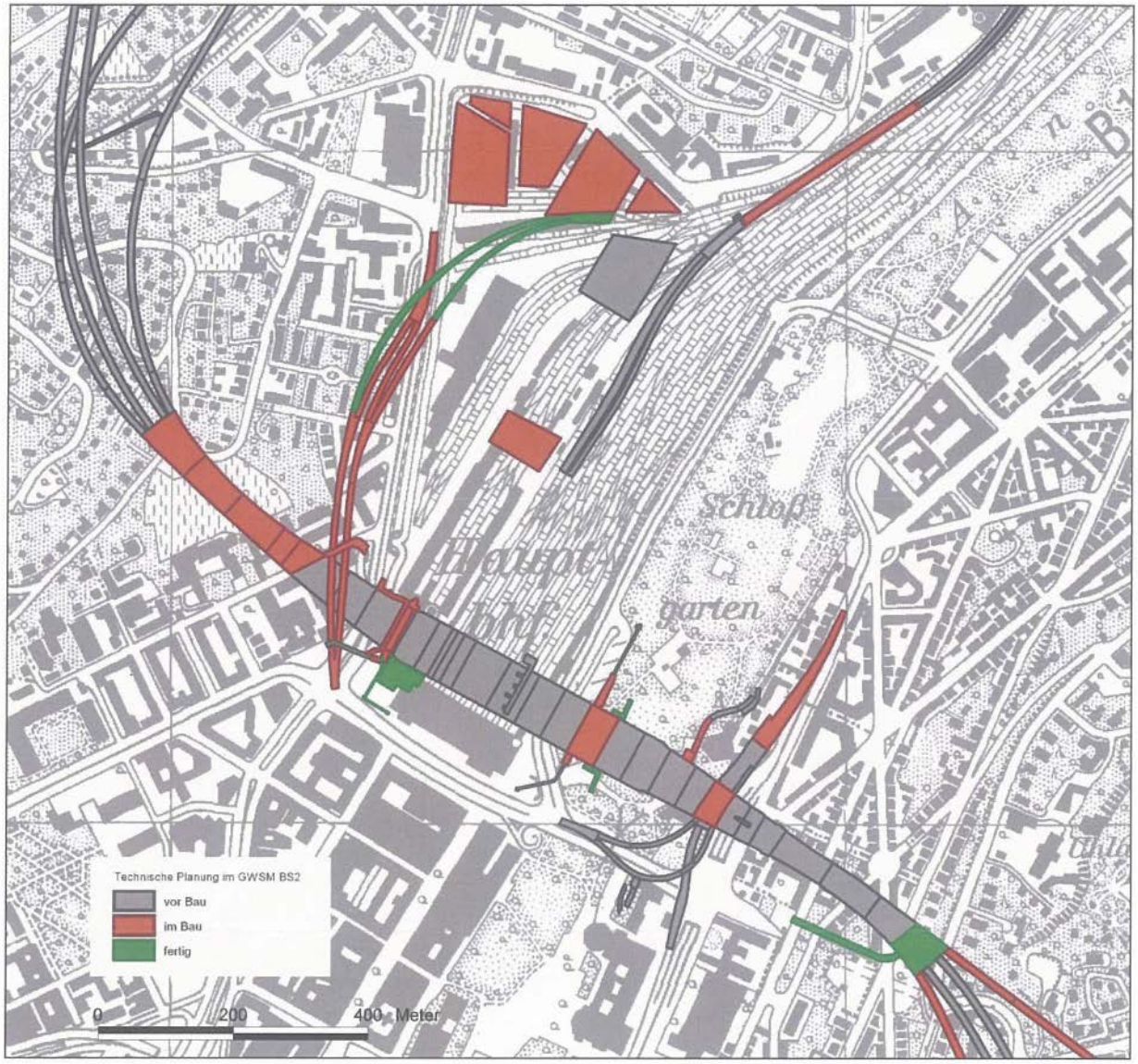


Abbildung 2-3: Bautaktung PFA 1.1 - Bauschritt 2

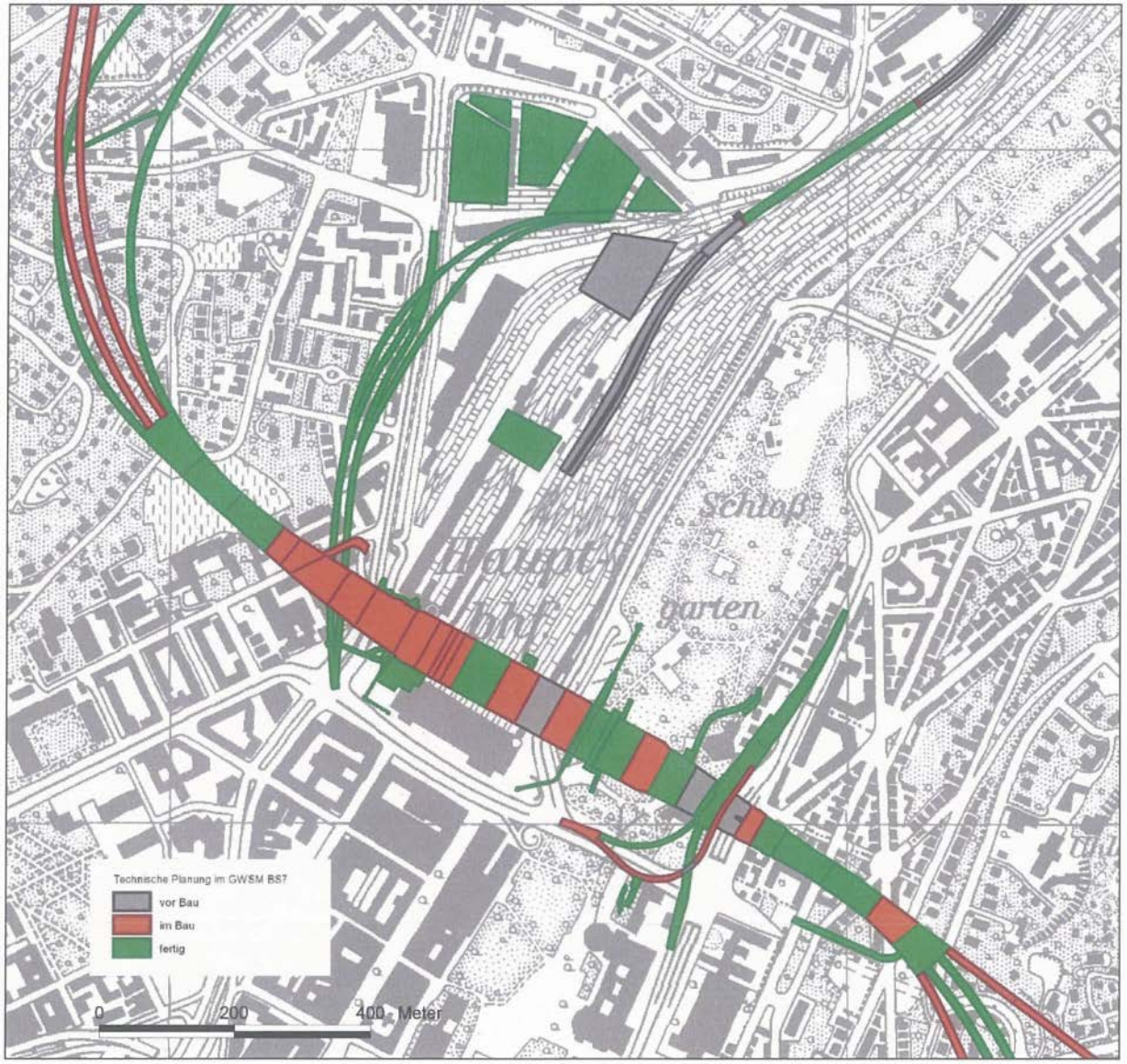


Abbildung 2-4: Bautaktung PFA 1.1 - Bauschritt 7

Die in den vorangegangenen Abschnitten exemplarisch dargestellte Bautaktung für die Teilbaugruben und Tunnelstrecken im Stuttgarter Talkessel wurde auf die mit Randbedingungen zu belegenden Netzknoten übertragen (Abbildung 2-5), für die bereits vorab die Zuweisung der Zielwasserstände für die Bauwasserhaltung und der zu belegenden Modellebenen erfolgte.

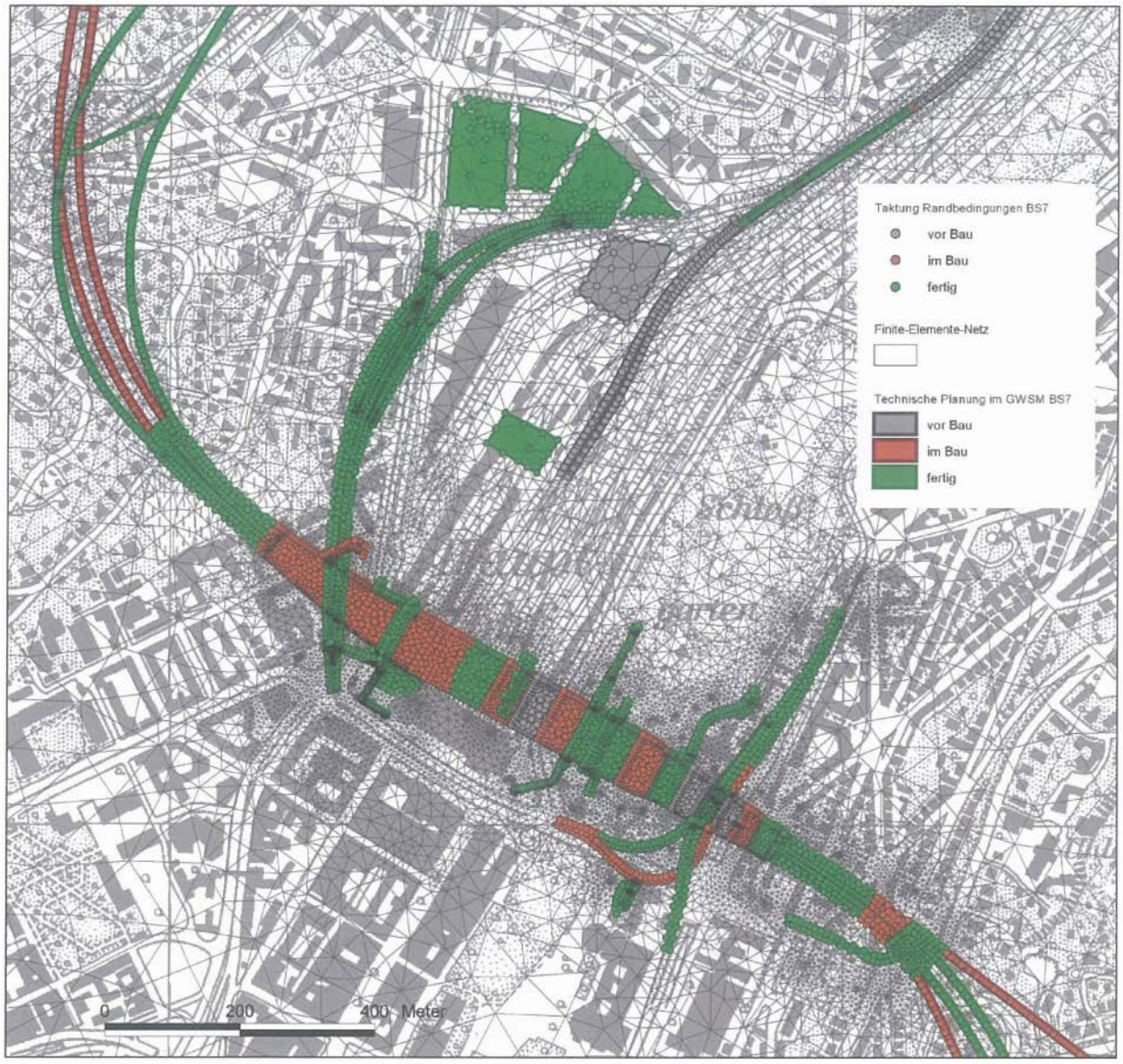


Abbildung 2-5: Bautaktung PFA 1.1 - Bauschritt 7 mit Netzknoten

Neben der Generierung der Zielwasserstände und deren zeitlicher Taktung für die Teilbaugruben und Tunnelstrecken war auch die Berücksichtigung zeitlich variierender k_f-Werte im Bereich des DB-Tunnels erforderlich. Wie bereits im Abschnitt 2.1 beschrieben, wurde der DB-Tunnel geometrisch detailliert aufgelöst, um Elemente wie das Umläufigkeitssystem und Grundwassersperren abbilden zu können. Da sowohl Umläufigkeitssystem als auch GW-Sperren nicht über den gesamten Simulationszeitraum wirksam sind, erfolgte eine entsprechend zeitlich variierende Belegung von k_f-Werten innerhalb des DB-Tunnels.

Nach Beendigung der Wasserhaltung in den Teilbaugruben wird durch das Heraufsetzen der k_f-Werte auf 10^{-3} m/s das Umläufigkeitssystem im Bereich der fertiggestellten Baugruben aktiviert. Weiterhin wird die Grundwassersperre durch eine Verringerung des k_f-Werte auf 10^{-11} m/s aktiv. Der jeweilige Bauwerkskörper wird nach Fertigstellung (Beendigung der Wasserhaltung) mit einem k_f-Wert von 10^{-11} m/s als undurchlässig berücksichtigt. Im Bereich des PFA

1.1 ist für den DB-Tunnel eine kombinierte Pfahl-Plattengründung vorgesehen. Um die Auswirkungen dieser Gründungskörper auf die Grundwasserabstrom- und -potentialverhältnisse beurteilen zu können, wurde auf Basis der vorliegenden Pläne mit Eintragung der Pfahlgründungen eine Abschätzung der pfahlbedingten Verminderung des Abflussquerschnittes vorgenommen. Diese ergab, dass sich der Abflussquerschnitt unterhalb des DB-Tunnels im ungünstigsten Bereich um 25 % verringert. Im GWSM wurde daher im Sinne einer worst-case-Betrachtung eine k_f-Wert-Reduktion um 25 % infolge der Pfahl-Plattengründung des DB-Tunnel unterhalb der Baugrubensohle bis zu den Grundgipsschichten realisiert.

In den folgenden drei Abbildungen ist die zeitabhängige Belegung der k_f-Werte im Bereich des DB-Tunnels exemplarisch für folgende Horizonte und Bauschritte (BS) dargestellt: q1 - BS 3a, q1 - BS7 und km1DRM (mittlerer Abschnitt) - BS 11.

In der Abbildung 2-6 sind die k_f-Werte für den Horizont q1 im Bauschritt 3a dargestellt. Die Baugruben 16 und 22 sind fertig gestellt. Hier sind jetzt k_f-Werte von 10^{-11} m/s definiert. Weiterhin ist die Aktivierung des Umläufigkeitssystems mit einem k_f-Wert von 10^{-3} m/s entlang der fertiggestellten Baugruben zu erkennen.

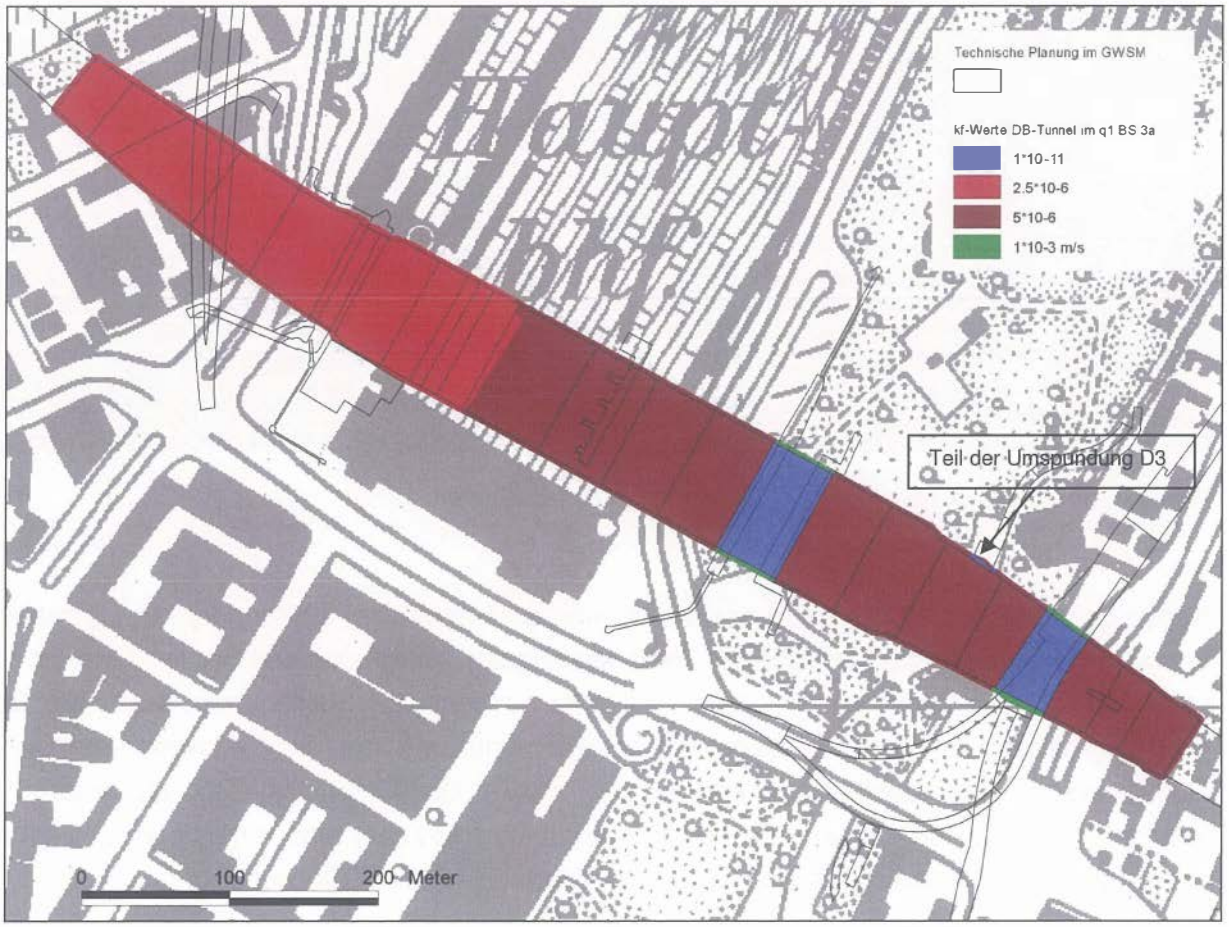


Abbildung 2-6: Zeitabhängige k_f-Werte DB-Tunnel im q1 - BS 3a

Die Abbildung 2-7 zeigt die k_f-Werte für den Horizont q1 im Bauschritt 7. Hier sind die Baugruben 12, 16, 17, 19/20, 22 und 25 bereits fertiggestellt und das Umläufigkeitssystem entsprechend aktiv.

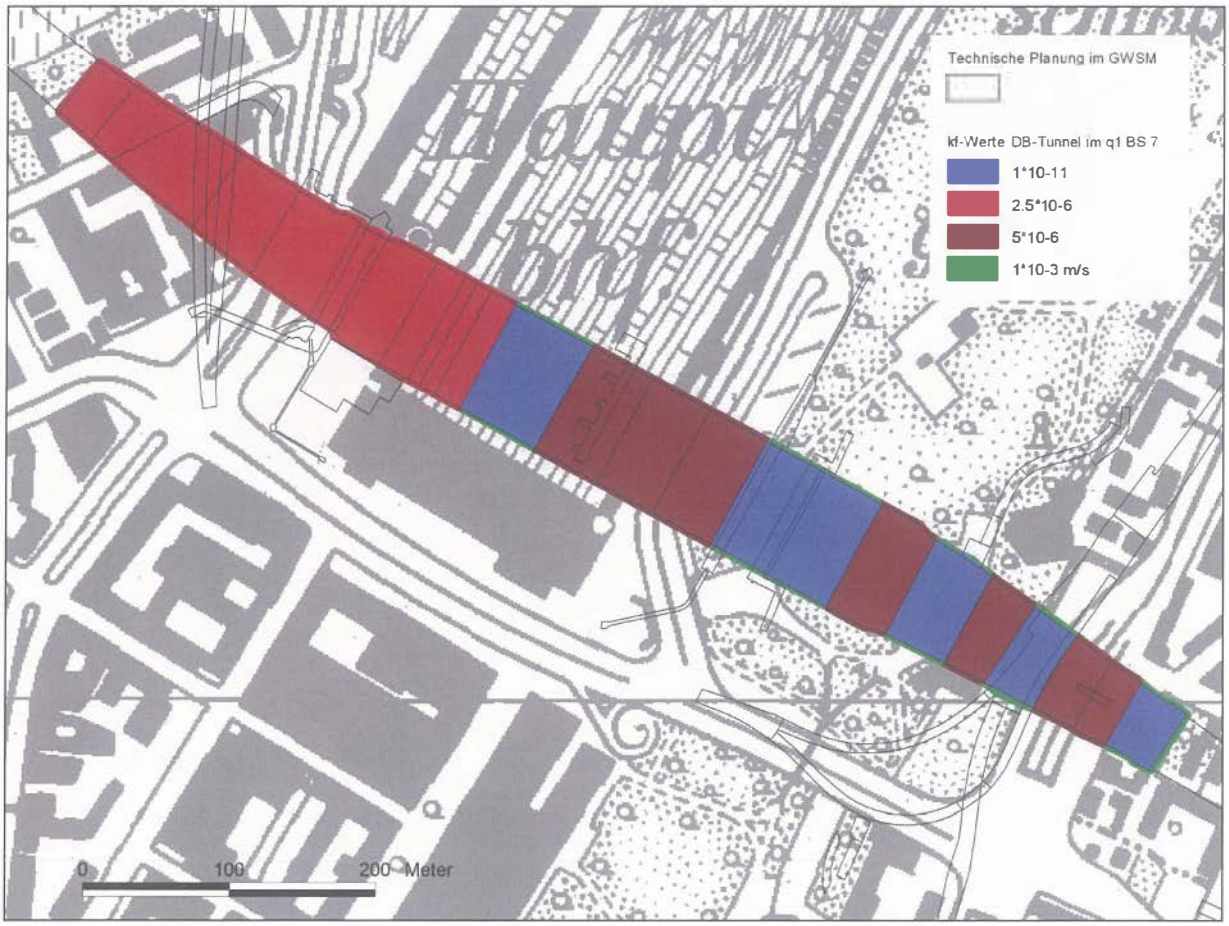


Abbildung 2-7: Zeitabhängige k_f-Werte DB-Tunnel im q1 - BS 7

In der Abbildung 2-8 sind die k_f-Werte für den Horizont km1DRM (mittlerer Abschnitt) im Bauschritt 11 nach Fertigstellung des DB-Tunnels dargestellt. Hier ist die flächenhafte Belegung des Sohlfilters mit 10^{-3} m/s an der Basis der in den km1DRM einbinden Baugruben dokumentiert. Weiterhin ist die Belegung der Grundwassersperren mit einem k_f-Wert von 10^{-11} m/s ersichtlich.

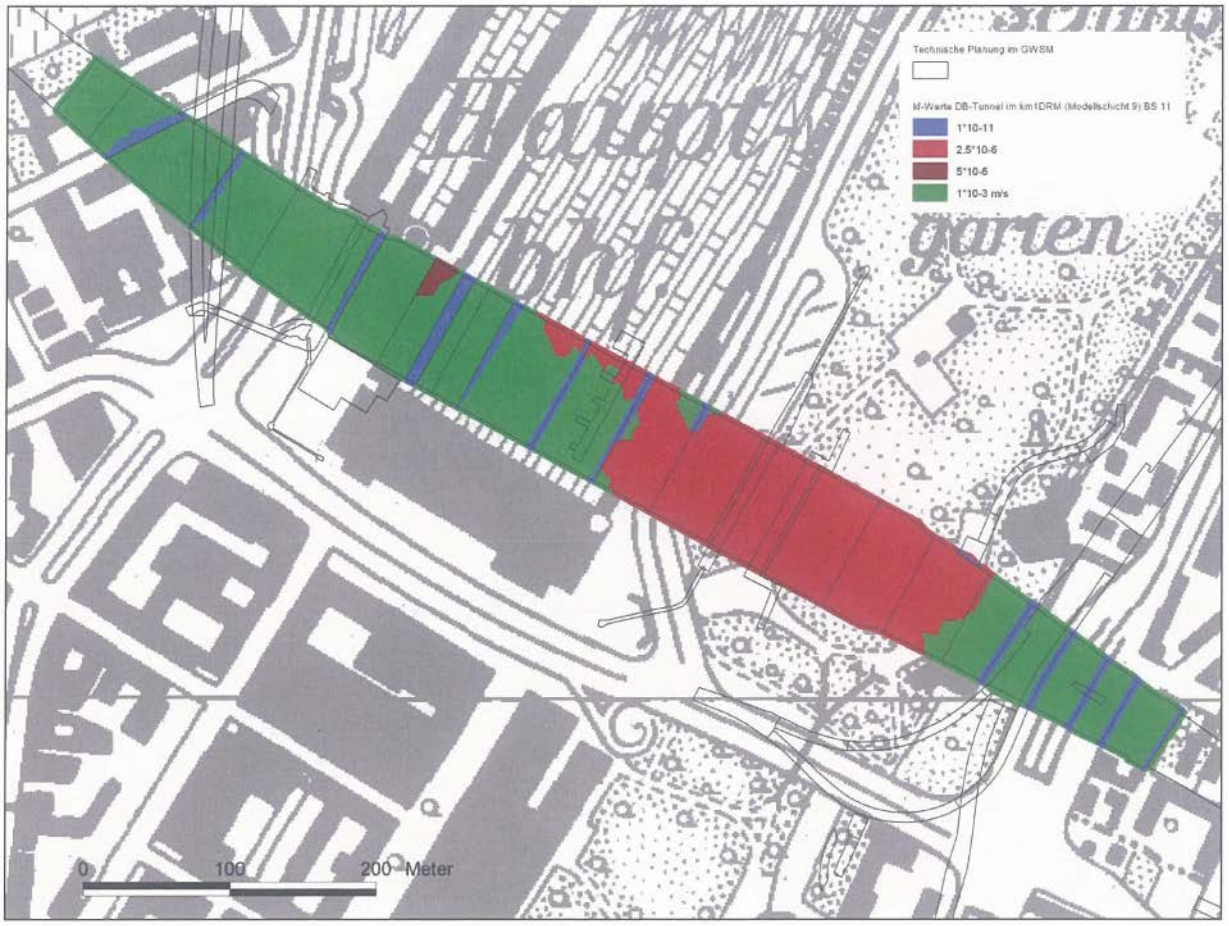


Abbildung 2-8: Zeitabhängige k_f-Werte DB-Tunnel im km1DRM (mittlerer Abschnitt) BS 11

2.3. Steuerung der zeitabhängigen Randbedingungen mittels IFM-Modul

Die Umsetzung der aufbereiteten Daten (siehe Abschnitt 2.1 und 2.2) als zeitabhängige Randbedingungen erfolgte im GWSM unter Verwendung des IFM-Moduls „Varying BC" der Firma DHI-WASY. Mit Hilfe dieses Moduls ist es möglich, Randbedingungen für einen definierten Zeitraum festzulegen, die außerhalb dieses Zeitraums nicht im Modell vorhanden und damit unwirksam sind.

Dies ermöglicht es, sämtliche Bauschritte in einer geschlossenen Simulation durchzuführen. Ohne die Verwendung des Moduls müssten sämtliche Bauschritte nacheinander separat berechnet werden, so dass eine deutliche Verlängerung der Berechnungszeiten die Folge wäre.

Voraussetzung für die Kopplung zwischen dem IFM-Modul und FEFLOW ist die Definition von „Nodal Reference Distributions". Hierbei wird für jeden mit einer Randbedingung zu belegenden Knoten auf den entsprechenden Modellebenen eine „Reference ID" definiert. Über diese ID erfolgt dann mit Hilfe des Moduls die Zuweisung der Randbedingungen, die extern in zwei Textdateien verwaltet werden. Dabei enthält eine Datei die im Modell definierte Reference-ID, der gleichzeitig eine oder mehrere „Stress-Perioden-ID's" zugeordnet werden. Die zweite Datei verwaltet wiederum die Stress-Perioden mit Angaben zu Randbedingungsart und -wert, Dauer sowie zu möglichen Nebenbedingungen, wie z. B. maximal erlaubter Infiltration. Die

externe Steuerung der Randbedingungen mit Hilfe des IFM-Moduls ermöglicht es, Anpassungen innerhalb der Textdateien schnell und einfach zu editieren und zu verwalten.

Mit Hilfe des IFM-Moduls wurden nicht nur die zeitlich variierenden Bauwasserhaltungen sondern auch die Infiltrationsbrunnen im Bereich des PFA 1.5 und 1.2/1.6a und die den DB-Tunnel kreuzenden Kanalabschnitte Hauptsammler West, Düker Cannstatter Str. und Düker Nesenbach gesteuert.

In der folgenden Abbildung 2-9 sind die im GWSM mit wechselnden Randbedingungen belegten Kanalabschnitte / Düker dargestellt. Die Umsetzung mit Hilfe des IFM-Moduls war notwendig, da diese nach Fertigstellung der neuen Düker nicht mehr wirksam sind.

Die Umsetzung der Kanalabschnitte im GWSM erfolgte analog der Modellkalibrierung als Randbedingung 3. Art, die jeweils bis zur Fertigstellung der neuen Dükerbauwerke wirksam sind.

Weiterhin sind die Infiltrationsbrunnen im PFA 1.5 und 1.2/1.6a IFM-modulgesteuert. Diese sind hierbei als Festpotentialrandbedingung definiert. Die Infiltration in den Horizont km1BH kann bis zum Erreichen des Infiltrationspotentiales unbegrenzt erfolgen. Die maximale Infiltration in den ku2GD (PFA 1.5) ist durch eine Nebenbedingung auf 1 l/s pro Brunnen begrenzt. Die Lage der Infiltrationsbrunnen kann der Anlage 1.3 entnommen werden. Anlage 2 fasst die im GWSM berücksichtigten Infiltrationsbrunnen mit Angaben zu den Stammdaten und zur Umsetzung im GWSM (Infiltrationshorizont, Modellebene, Infiltrationspotential mit ggf. Limitierung, Randbedingungsart und zeitliche Taktung) zusammen.

Sämtliche im Modell definierten „Reference-ID's" sind unter Angabe der Koordinaten, der PFA's, der entsprechenden Teilbaugruben bzw. Tunnelstrecken, der Modellebene und der zugehörigen Stressperiode in der Beilage 1.1 in tabellarischer Form zusammengefasst. Ferner sind die „Observation Point Groups" mit ausgewiesen. Diese dienen der Bilanzierung der einzelnen Abschnitte. Die Beilage 1.1 wird aufgrund des großen Umfangs (177 Seiten) nur für den Auftraggeber bzw. auf Nachfrage dokumentiert. Das Gleiche gilt für die Beilage 1.2. Diese enthält die Zusammenfassung sämtlicher Stressperioden-ID's mit Informationen zur Randbedingungsart, Dauer, Randbedingungswert und Nebenbedingungen.

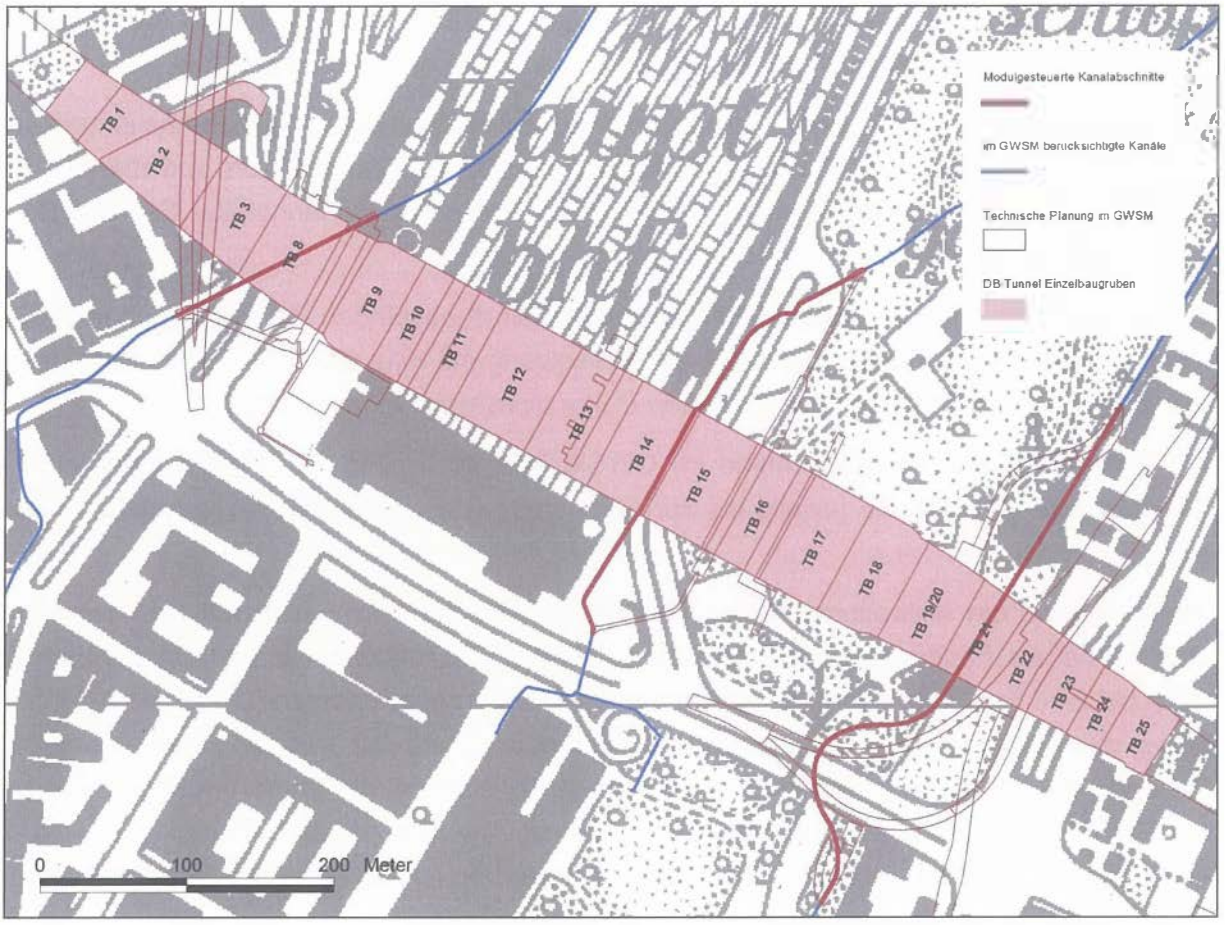


Abbildung 2-9: Modulgesteuerte Kanalabschnitte

3. Prognoseberechnungen

3.1. Bauablauf

Zur Durchführung der Baumaßnahmen ist eine Trockenlegung der einzelnen Teilbaugruben bzw. bergmännischen Tunnelauffahrstrecken notwendig. Dies wird durch offene Wasserhaltungen in den in offener Bauweise zu erstellenden Teilbaugruben bzw. durch eine Wasserhaltung in den bergmännischen Tunnelstrecken gewährleistet. In der Abbildung 2-2 sind die Bereiche, die in offener bzw. bergmännischer Bauweise errichtet werden, dargestellt.

Die Wasserhaltung führt infolge der Gebirgsentwässerung zu Grundwasserspiegelabsenkungen in den oberen Grundwasservorkommen im Quartär und Gipskeuper sowie in geringem Umfang auch im Unteren Keuper und Oberen Muschelkalk. Dabei kommt es in der Nesenbachtalquerung bereichsweise zu einer Umkehr der Potentialverhältnisse zwischen den tieferen und den oberen Grundwasservorkommen, was einen Aufstieg von mineralisierten Wässern aus tieferen Grundwasservorkommen in die Baugrubenwasserhaltung bewirkt.

Ohne Umsetzung von Grundwasserstützungsmaßnahmen entsteht ein weit ausgedehnter Absenktrichter in den oberen Grundwasservorkommen, der zu einem relativ großflächigen Potentialumkehrbereich führt. Die geplanten Infiltrationsmaßnahmen zur Stützung der Grund-

wasserkörper im Quartär und Bochinger Horizont außerhalb der Teilbaugruben dienen der Reduzierung der Ausdehnung und Tiefe der wasserhaltungsbedingten Absenktrichter (Gebirgsentwässerungsbereiche). Dadurch lassen sich zum einen Setzungen des Gebäudebestandes sowie zum anderen die Fläche des Potentialumkehrbereiches vermindern, so dass der Aufstieg mineralisierter Wässer aus dem Mineralwassersystem in die Baugrubenwasserhaltung und die Auswirkungen auf die Heil- und Mineralquellen von Stuttgart Bad Cannstatt und –Berg verringert werden. Somit dienen die Infiltrationsmaßnahmen der Minimierung der wasserwirtschaftlichen Auswirkungen des Bauvorhabens.

Gegenüber dem planfestgestellten Infiltrationskonzept ist nach den neuen Prognoseberechnungen eine Infiltration über Sohlfilter im Hinblick auf die Stützung der oberen Grundwasservorkommen nur wenig wirkungsvoll. Berechnungen mit dem GWSM ergaben, dass aufgrund hoher Durchlässigkeiten in den Infiltrationshorizonten entsprechend hohe Infiltrationsraten zur Erreichung der Einstauziele notwendig sind, was wiederum als Kreislaufwasser die Wasserandrangsraten benachbarter Wasserhaltungen ansteigen ließ. Im Ergebnis dieser Untersuchungen wurde in den weiteren Prognosen auf die Umsetzung der Sohlfilterinfiltration verzichtet.

Weiterhin erfolgte eine Begrenzung der maximalen Infiltration für die Infiltrationsbrunnen im Bereich des PFA 1.1, um die Kreislaufwasserraten auf ein sinnvolles Maß zu begrenzen. Hierzu erfolgte die Umsetzung der Infiltration über Brunnen im GWSM als Randbedingung 4. Art (Brunnenrandbedingung) mit einer maximalen Infiltrationsrate von 2 l/s pro Brunnen. Die Infiltration kann solange erfolgen, bis die mittels einer Nebenbedingung definierte, maximal zulässige Infiltrationshöhe erreicht wird. Grund für diese Art der Umsetzung sind die hohen ermittelten Durchlässigkeiten im km1BH in der Umgebung des DB-Tunnels. Beim Zulassen einer unbegrenzten Infiltration bis zum Erreichen der maximal zulässigen Infiltrationshöhe würden die Infiltrationsraten so hoch ausfallen, dass die Kapazität der Wasseraufbereitungsanlagen deutlich überschritten würde.

Die maximale Infiltrationshöhe wurde für jeden einzelnen Brunnen in Abhängigkeit von den berechneten Grundwasserpotentialen für Mittelwasserverhältnisse an jedem Brunnenstandort und den zu infiltrierenden Grundwasserleitern (q, q/km1BH, km1BH oder ku2GD) festgelegt (siehe Anlage 2).

Die Prognoseberechnungen mit Berücksichtigung der Infiltrationsmaßnahmen über Brunnen wurden hinsichtlich der Wasserandrangsraten zu Beginn eines jeden Bauschrittes (Erstwasserandrang) und am Ende eines jeden Bauschrittes (instationärer Wasserandrang am Bauschrittende) je Teilbaugrube ausgewertet. Die Berechnungsergebnisse sind je Teilbaugrube und Bauschritt in der Anlage 7 ausführlich dokumentiert. Weiterhin wurde die zeitliche Entwicklung der gesamten und PFA-spezifischen Wasserandrangs- und Infiltrationsraten sowie die Auswirkungen auf die Quellschüttungen der Heil- und Mineralquellen dargestellt (siehe Anlage 3.1 bis 3.5). Die Anlage 7 enthält weiterhin die berechneten Gesamtinfiltrationsraten der betriebenen Brunnen je PFA und Bauabschnitt.

3.2. Instationäre Berechnung der gesamten Baumaßnahme (Bauschritte 0 bis 13)

Die Prognoseberechnungen setzen auf dem stationär für Mittelwasserverhältnisse geeichten GWSM auf (ARGE WUG, 2010). Davon ausgehend werden die in das Grundwasser eingreifenden Baumaßnahmen, die sich insgesamt über einen Zeitraum von sieben Jahren erstrecken, instationär unter Berücksichtigung einer konstanten mittleren Grundwasserneubildung und entsprechenden äußeren Modellrandbedingungen simuliert. Diese sind in ARGE WUG (2010) dokumentiert.

Die Randbedingungen und Materialparameter zur Umsetzung der Bauplanung einschließlich deren zeitlicher Taktung wurden im vorangegangenen Kapitel 2 beschrieben. Diese entsprechen den Festlegungen aus den Planfeststellungsbeschlüssen für die im GWSM berücksichtigten PFA's 1.1, 1.2, 1.5 und 1.6a sowie dem Planfeststellungsantrag für den PFA 1.6b.

Die im Rahmen der Prognosen berücksichtigten Bauschritte sind in der Tabelle 2-2 zusammengefasst. Die zeitliche Darstellung des Bauablaufes, dass heißt für welche Teilbaugruben und Tunnelstrecken wann die Wasserhaltung erfolgt, ist für sämtliche Bauschritte in den Anlagen 4.1 bis 4.17 dokumentiert. Weiterhin kann die Bautaktung auch den Tabellen der Anlage 7 entnommen werden. Hier sind die berechneten Wasserandrangs- und Infiltrationsraten in den Teilbaugruben für die PFA's separat für alle Bauschritte ausgewiesen.

Die über die Bauzeit berechneten Wasserandrangs- und Infiltrationsraten sind weiterhin als Ganglinien für die einzelnen PFA's in den Anlagen 3.1 bis 3.4 dargestellt.

- **PFA 1.1**

Zu Beginn der Baumaßnahme ist im Bauschritt 0 nur die Wasserhaltung für den Neubau des Technikgebäudes aktiv. Da das Entwässerungsniveau nur geringfügig unter dem Mittelwasserstand liegt, fallen die Erstwasserandrangsraten mit ca. 0,8 l/s gering aus. Die während des Neubaus des Technikgebäudes hervorgerufene Grundwasserabsenkung im Horizont km1DRM von maximal 30 cm im Zentrum des Absenktrichters und 5 cm in der unmittelbaren Umgebung des Technikgebäudes ist entsprechend gering (siehe Anlage 5.1).

Die mit Abstand am höchsten auftretenden Erstwasserandrangsraten treten im PFA 1.1 nach den Prognoseergebnissen bei MW-Verhältnissen mit ca. 104 l/s während des Bauschrittes 1 auf.

Ein Drittel dieser Erstwasserandrangsrate von 104 l/s tritt dabei in der Teilbaugrube 4 der Baumaßnahme „Verlegung Stadtbahn Heilbronner Straße" auf. Aufgrund der hohen ermittelten Durchlässigkeiten im km1BH im Bereich von 10^{-4} m/s und einem Absenkziel, das etwa neun Meter unter Mittelwasserverhältnissen liegt, fallen die Wasserandrangsraten entsprechend hoch aus.

Die Reichweite der Grundwasserabsenkung im Bochinger Horizont durch die Wasserhaltung in der Teilbaugrube 4 ist entsprechend groß. Ende Bauschritt 1 reichen Absenkungen von ≥ 0,5 m ausgehend von der Teilbaugrube 4 bis zu 700 bis 1.000 m in das süd- bis südwestliche Nesenbachtal (siehe Anlage 5.3). Nördlich bis nordöstlich des DB-Tunnels überlagern sich im

km1BH die Grundwasserabsenkungen der Baumaßnahmen Teilbaugrube 4 (Verlegung Stadtbahn Heilbronner Straße), Neubau Stadtbahnlinie U12 sowie der Teilbaufläche A 1.15 (siehe Anlage 1.2). Die Absenkungen von ≥ 0,5 m reichen ausgehend vom DB-Tunnel etwa 600 bis 900 m in den nördlichen bis nordöstlichen Bereich des Nesenbachtals. Die Infiltrationsbrunnen im Umfeld der Teilbaugrube 4 zeigen aufgrund der hohen Durchlässigkeiten im km1BH einen kaum sichtbaren Stützungserfolg für den Grundwasserkörper. Die Infiltrationsraten wirken hier primär als Kreislaufwasser und tragen zu einer entsprechenden Erhöhung der Wasserhaltung bei.

Einen weiteren großen Anteil des v.g. hohen Erstwasserandrangs (23 %) ist auf die Wasserhaltung der Teilbaugrube Medienkanal Schlossgarten zurückzuführen. Diese Baugrube bindet in den Horizont q2 ein und weist ebenfalls ein mehr als neun Meter unter Mittelwasserstand liegendes Absenkziel der Wasserhaltung auf.

Weitere 17 Prozent des Erstwasserandranges sind der Teilbaugrube 8.6c der Baumaßnahme „Verlegung der Stadtbahnhaltestelle Staatsgalerie“ zuzuordnen. Diese mit mehr als 200 m relativ langgezogene Baugrube taucht in nördlicher Richtung ab. Die Zielwasserstände der Grundwasserabsenkung liegen am südlichen Ende bei 233,5 m NN und am nördlichen Ende bei 226,7 m NN. Der natürliche mittlere Grundwasserstand nimmt analog von etwa 235,0 auf 234,4 m NN ab. Die Zielwasserstände liegen damit fast acht Meter unter dem mittleren Grundwasserstand, so dass dies in Verbindung mit den entsprechend hohen Durchlässigkeiten für die hohen Wasserandrangraten verantwortlich ist.

Die Wasserhaltungen der Baumaßnahmen Medienkanal Schlossgarten und Teilbaugrube 8.6c (Verlegung Haltestelle Staatsgalerie) verursachen aufgrund ihrer Einbindung in den quartären Grundwasserleiter entsprechende Grundwasserabsenkungen im Bereich des zentralen Nesenbachtals (siehe Anlage 5.2). Absenkungen von ≥ 0,5 m reichen ausgehend vom DB-Tunnel etwa 500 bis 700 m in das nördliche Nesenbachtal. In südlicher Richtung werden Reichweiten für Absenkungen ≥ 0,5 m von bis zu 650 m erreicht. Die von Grundwasserabsenkungsbeträgen ≥ 0,5 m erfasste Fläche beträgt für den quartären Grundwasserleiter am Ende des Bauschrittes 1 ca. 0,62 km².

Bis zum Ende des Bauschrittes 2 reduziert sich der Wasserandrang im PFA 1.1 auf ca. 60 l/s. Nach wie vor beträgt dabei der Anteil der Wasserandrangsrate in der Teilbaugrube 4 (Verlegung Stadtbahn Heilbronner Straße) ca. ein Drittel der Gesamtwasserandrangsrate. Die Bauzeit des Medienkanals Schlossgarten beschränkt sich auf den Bauschritt 1, was den Rückgang der Wasserandrangsrate entsprechend begünstigt. Dieser Rückgang des Wasserandrangs im Bauschritt 2 wird jedoch gedämpft durch die Öffnung einiger neuen Teilbaugruben (TB) im Bauschritt 2, wie z. B. die Baugruben TB 6-3 und TB 7-3 der Baumaßnahme „Verlegung Stadtbahn Heilbronner Straße“.

Die Reichweite der Grundwasserabsenkungen ≥ 0,5 m im Bochinger Horizont durch die Wasserhaltung in der Teilbaugrube 4 nimmt im Bauschritt 2 zu. Am Ende des Bauschritts 2 hat sich die Reichweite der Grundwasserabsenkungen ≥ 0,5 m ausgehend von der Teilbaugrube 4 in südwestlicher Richtung auf 1.400 m erhöht (siehe Anlage 5.5). Auch in nördlicher Rich-

tung ist eine, wenn auch geringere Zunahme auf etwa 1.000 m sichtbar. Hier erfolgt jedoch eine Überlagerung der Grundwasserabsenkungen durch die Baumaßnahmen im Bereich des PFA 1.5 (siehe Anlage 5.10).

Eine signifikante Stützung der Grundwasserstände im km1BH durch Infiltrationsbrunnen erfolgt primär im Bereich der Baumaßnahmen Düker Cannstatter Straße, Düker Nesenbach, nördlich der Teilbaugrube 8.6c (Verlegung Haltestelle Staatsgalerie) und am Südkopf des DB-Tunnels. Hier steigen die Grundwasserstände infolge der Infiltration lokal über den mittleren Grundwasserstand an. Im Quartär erfolgt kaum eine Veränderung der Reichweiten für Grundwasserabsenkungen ≥ 0,5 m gegenüber dem Zustand am Ende des Bauschrittes 1. Die von Absenkbeträgen ≥ 0,5 m erfasste Fläche reduziert sich auf etwa 0,57 km². Im Bereich des Medienkanals Schlossgarten erfolgt eine Reduzierung der Absenkbeträge, da dieser bereits zum Ende des Bauschrittes 1 fertiggestellt ist (siehe Anlage 5.4).

Durch die im Bereich der Teilbaugruben 8 bis 11 des DB-Tunnels vorhandene Dolinenstruktur, die durch entsprechende k_f-Werte insbesondere in vertikaler Richtung (siehe ARGE WUG, 2010), umgesetzt wurde, pflanzt sich die primär durch die Teilbaugrube 4 verursachte Grundwasserabsenkung durch den Grundgips in die Schichten des Unterkeupers bis in den Muschelkalk fort (siehe Anlage 5.6 und 5.7). Im ku2LD werden ausgehend vom DB-Tunnel (Teilbaugrube 8) Reichweiten der Grundwasserabsenkungen ≥ 0,5 m von bis zu 1.500 m in südwestlicher Richtung und von bis zu 1.000 in nördlicher Richtung im Bereich des PFA 1.1 erreicht. Im Muschelkalk beträgt die Grundwasserabsenkung im Bereich des DB-Tunnels etwa 30 cm (siehe Anlage 5.7). Die Auswirkungen der Baumaßnahmen reichen mit bis zu 15 cm Absenkung bis an den südlichen und südwestlichen Modellrand. Im Bereich der nordöstlichen Modellbegrenzung liegen die Absenkungsbeträge bei 5 cm (siehe Anlage 5.13).

Mit dem Ende des Bauschrittes 2 sind einige Teilbaugruben der Baumaßnahme „Verlegung Stadtbahn Heilbronner Straße", die TB 8.6c (Verlegung der Stadtbahnhaltestelle Staatsgalerie) sowie einige Teilbaugruben des Düker Cannstatter Straße fertiggestellt, so dass sich der Wasserandrang mit Beginn des Bauschrittes 3 weiter verringert. Zu Beginn des Bauschrittes 3 fällt aufgrund der noch vorhandenen Restabsenkungen im Bereich der gerade fertiggestellten Teilbaugruben der Wasserandrang in den ersten Tagen auf ca. 43 l/s ab, um zum Ende des Bauschrittes 3 wiederum auf ca. 49 l/s anzusteigen. Mit Beendigung des Bauschrittes 3 wird die Wasserhaltung der TB 4 (Verlegung Stadtbahn Heilbronner Straße) eingestellt, so dass der Erstwasserandrang im Bauschritt 4 im Vergleich nur noch etwa 24 l/s beträgt, im Verlaufe des Bauschrittes 4 jedoch auf ca. 27 l/s ansteigt.

Mit dem Ende des Bauschrittes 3 erreicht die durch die Wasserhaltung der Teilbaugrube 4 hervorgerufene Grundwasserabsenkung im Bochinger Horizont ihre größte Ausdehnung. Absenkungen von bis zu 0,5 m reichen ausgehend von der Teilbaugrube 4 bis 1.600 m in das südwestliche Nesenbachtal (siehe Anlage 5.19). Mit der Fertigstellung der Teilbaugrube 4 und dem Einstellen der Wasserhaltung ab dem Bauschritt 4 kommt es in Verbindung mit der anhaltenden Infiltration im Bereich der TB 4 zu einer schnellen Rückbildung des Absenktrichters, so dass dieser am Ende des Bauschrittes 4 nicht mehr vorhanden ist. Im Bereich der Infiltrationsbrunnen kommt es im Zuge der anhaltenden Infiltration zu einem Anstieg der Grundwasser-

stände gegenüber dem Mittelwasserstand im km1BH. Analog bilden sich in den Bauschritten 3 und 4 auch die Absenkungen im Quartär zurück (siehe Anlage 5.18 und 5.22). Die von Absenkbeträgen ≥ 0,5 m erfasste Fläche beträgt am Ende des Bauschrittes 4 nur noch etwa 0,22 km².

Zwischen dem Bauschritt 5 und 7 steigen die berechneten Wasserandrangsraten erneut kontinuierlich an. Der Erstwasserandrang im Bauschritt 7 liegt bei 64 l/s und am Ende des Bauschritts 7 bei etwa 48 l/s. Der Anstieg der Andrangsraten ist im Wesentlichen durch die Inbetriebnahme der Grundwasserabsenkungen im Bereich der Teilbaugruben 8.1c, 8.7c und 8.9c (Verlegung der Stadtbahnhaltestelle Staatsgalerie) sowie der Teilbaugruben im Bereich des DB-Tunnels 13, 15, 18, 19/20 und 24 begründet. Insbesondere die Wasserhaltungen für die TB 8.7c und 8.9c sowie die TB 15 und 18 (DB-Tunnel) weisen Erstwasserandrangsraten von mehr als 10 l/s auf.

Analog zum Anstieg der Wasserandrangsraten erreichen auch die Grundwasserabsenkungen bis zum Ende des Bauschrittes 7 wieder größere Reichweiten. Im km1BH reichen Grundwasserabsenkungen ≥ 0,5 m ausgehend von der Teilbaugrube TB 8.9c (Verlegung Haltstelle Staatsgalerie), deren Sohle lokal in den km1BH einbindet, etwa 600 bis 700 m in südwestliche bis südliche Richtung. In nördlicher Richtung beträgt die Reichweite ausgehend vom DB-Tunnel (TB 13 und 15) ca. 400 m für Absenkungsbeträge bis 0,5 m (siehe Anlage 5.29).

Im quartären Grundwasserleiter reichen die Grundwasserabsenkungen ≥ 0,5 m etwa 600 m in das südliche Nesenbachtal. Ursächlich sind hier ebenso wie im km1BH die Wasserhaltungen der Baugruben zur Verlegung der Haltestelle Staatsgalerie, die zu einem großen Teil im Quartär zu liegen kommen. Ausgehend von den Teilbaugruben 13, 15 und 18 (DB-Tunnel) reichen die Absenkungen ≥ 0,5 m ca. 300 bis 400 m in nordöstliche Richtung (siehe Anlage 5.28). Die von Absenkbeträgen ≥ 0,5 m erfasste Fläche beträgt im PFA 1.1 am Ende des Bauschrittes 7 im Quartär ca. 0,5 km².

Entlang der Baumaßnahme „Verlegung Haltestelle Staatsgalerie“ sind im Grundgips lokal vertikal durchlässigere Bereiche vorhanden (siehe ARGE WUG, 2010). Dadurch reicht der Einfluss der Baumaßnahmen auch am Ende des Bauschrittes 7 bis in die Schichten des Unterkeupers. Hier treten im Vergleich zu den Auswirkungen am Ende des Bauschrittes 2 jedoch nur noch maximale Absenkbeträge zwischen 0,5 bis 1,0 m auf (siehe Anlage 5.30), die sich jedoch mit den durch den Bau des Fildertunnels hervorgerufenen Absenkungen überlagern. Im Oberen Muschelkalk liegen die Absenkbeträge im Bereich der Teilbaugruben 8.1c bis 8.3c sowie 8.7c und 8.9c (Verlegung Haltstelle Staatsgalerie) bei 25 cm. Im Umfeld des PFA 1.1 treten Absenkungen von 20 cm auf (siehe Anlage 5.31), die sich bis zum südlichen und südwestlichen Modellrand auf 10 cm reduzieren. Im nordöstlichen Bereich des Modellgebietes liegen die Grundwasserabsenkungsbeträge ≤ 5 cm (siehe Anlage 5.37).

Nach Beendigung des Bauschritts 7 fällt der Erstwasserandrang auf ca. 32 l/s ab. Der Abfall der Wasserandrangsrate ist primär durch das Abstellen der Wasserhaltung für die Baugrube 8.7c begründet.

Bis zum Ende des Bauschrittes 9 steigt der Wasserandrang mit Ausnahme eines kurz erhöhten Erstwasserandranges zu Beginn des Bauschrittes 9 durch die Öffnung der Baugruben 21 und 23 (DB-Tunnels), kontinuierlich auf etwa 41 l/s an.

Durch die Fertigstellung der TB 8.9c (Verlegung der Stadtbahnhaltestelle Staatsgalerie), der TB 2, TB 9 und TB 14 (DB-Tunnel) zum Ende des Bauschritts 9 fällt der Erstwasserandrang im Bauschritt 10 auf ca. 15 l/s ab und steigt zum Ende des Bauschrittes 10 auf etwa 18 l/s an. Mit dem Bauschritt 10 sind im Bereich des PFA 1.1 weitgehend alle Baumaßnahmen abgeschlossen. Lediglich die Wasserhaltung der Rettungszufahrt Nord und der Teilbaufläche A 1.12 ist noch in Betrieb. Der berechnete Wasserandrang liegt hier jedoch unter 0,01 l/s.

Am Ende von Bauschritt 10 sind im Bereich des PFA 1.1 im km1BH nur noch lokal Grundwasserabsenkungen vorhanden. Diese beschränken sich auf die Teilbaugrube 10 und die Rettungszufahrt Nord sowie auf die Teilbaugrube 23. Im Bereich der Teilbaufläche A sind weiterhin Grundwasserabsenkungen zu verzeichnen, die jedoch primär auf Baumaßnahmen des PFA 1.5 zurückzuführen sind (siehe Anlage 5.43). Ansonsten treten infolge der andauernden Infiltrationsmaßnahmen großflächigere Erhöhungen des Grundwasserstandes gegenüber dem Ausgangszustand bis maximal 2 m auf.

Im Quartär ist die Situation vergleichbar mit dem km1BH. Es sind größere Bereiche mit Grundwasserstandserhöhungen zu verzeichnen. Lediglich am Südkopf der DB-Tunnel treten durch die bis Ende des Bauschritts 10 andauernden Wasserhaltungen der Teilbaugruben 21 und 23 Grundwasserabsenkungen auf. Diese reichen ausgehend vom DB-Tunnel ca. 200 m ins nördliche und ca. 150 m ins südliche Nesenbachtal. Die entsprechende Absenkung umfasst nur noch eine Fläche von etwa 0,04 km².

Am Ende des Bauschrittes 12 sind im PFA 1.1 mit Ausnahme der Teilbaufläche A nur noch Erhöhungen des Grundwasserstandes gegenüber dem Ausgangszustand infolge der andauernden Infiltrationsmaßnahmen zu verzeichnen (siehe Anlage 5.46 und 5.47). Durch die lokal höheren vertikalen Durchlässigkeiten im Grundgips im Bereich des PFA 1.1 pflanzen sich die Grundwassererhöhungen analog den zuvor aufgetretenen Grundwasserabsenkungen in den Unterkeuper und Muschelkalk fort (siehe Anlage 5.48 und 5.49). Im Unterkeuper treten lokal im Bereich des Nordkopfes (DB-Tunnel) Grundwasserstandserhöhungen bis maximal 2 m auf. Im Muschelkalk liegen die Erhöhungen im Bereich des Nesenbachtals bei 10 cm, die sich in Richtung Modellrand auf 5 cm verringern.

Die über die Infiltrationsbrunnen realisierte Infiltration von in den Baugruben und Tunnelvortriebsbereichen gehobenen und aufbereiteten Wässern liegt im Zeitraum der Bauschritte 1 bis 9 zwischen 30 bis 45 l/s. Im Bauschritt 10 fällt die Infiltrationsrate auf 25 l/s und bis zum Ende des Bauschritts 12 auf ca. 13 l/s ab.

Die berechneten Wasserandrangs- und Infiltrationsraten sind für sämtliche Teilbaugruben und Tunnelstrecken in der Anlage 7 separat ausgewiesen.

- **PFA 1.2**

Die berechneten Wasserandrangsraten im Bereich des PFA 1.2 fallen mit einem maximalen Erstwasserandrang bei Öffnung der Anfahrbaugrube 515 von ca. 6 l/s zu Beginn des Bauschrittes 4 im Vergleich zu den anderen PFA's gering aus. Die Rate reduziert sich bis zum Ende des Bauschrittes 4 auf etwa 4 l/s.

Raten zwischen 0,9 bis 1,3 l/s treten im Bauschritt 1 (Wasserhaltung Verzweigungsbauwerk Fildertunnel und Rettungszufahrt Süd) sowie in den Bauschritten 5 bis 8 auf, innerhalb derer der Wasserandrang primär auf die Öffnung der Anfahrbaugruben 598 und 682 zurückzuführen ist. Entlang des Fildertunnels, der sich an das Verzweigungsbauwerk anschließt, fallen keine signifikanten Wasserandrangsraten an, da der im Modell berücksichtigte Fildertunnelabschnitt unterhalb des Anhydritspiegels Bereich verläuft. Die maximal auftretenden Raten liegen unter 0,3 l/s.

Analog zu den beschriebenen Wasserandrangsraten verhalten sich die Grundwasserabsenkungen gegenüber dem Ausgangszustand im Bereich des PFA 1.2. Relevante Absenkungen treten im km1BH lediglich außerhalb des vergipsten Bereiches (Anfahrbaugruben, Verzweigungsbauwerk, Fildertunnel bis km 0.850) in den Bauschritten 1 bis 8 auf. Wasserführende quartäre Schichten sind im Bereich des PFA 1.2 nicht verbreitet.

Die maximalen Reichweiten im km1BH treten in den Bauschritten 7 und 8 mit bis zu 700 m beidseitig des Fildertunnels auf (siehe Anlage 5.34 und 5.38), wobei es hierbei zu einer Überlagerung mit den Baumaßnahmen der PFA 1.1 und 1.6a kommt. Im ku2GD sind entlang des gesamten Fildertunnels (bis km 3.000) beidseitig Reichweiten von Grundwasserabsenkungen ≥ 0,5 m zwischen 300 bis 400 m zu verzeichnen (siehe Anlage 5.35). Ebenso wie im km1BH ist eine Überlagerung mit den durch die Baumaßnahmen im PFA 1.1 und 1.6a hervorgerufenen Grundwasserabsenkungen vorhanden. Diese prägen sich in geringem Maß (bis max. 1 m Absenkung) auch noch bis in den ku2LD durch (siehe Anlage 5.36).

Die vier Infiltrationsbrunnen südlich der Rettungszufahrt Süd und nördlich der Anfahrbaugrube 598 werden wasserrechtlich gesehen dem PFA 1.6a zugeordnet und entsprechend dort betrachtet. Durch diese erfolgt eine signifikante Stützung des Aquifers km1BH im Bereich der Anfahrbaugruben und es Verzweigungsbauwerkes in den Bauschritten 1 bis 8. Ab dem Bauschritt 9 sind in diesem Bereich durch die weiterlaufende Infiltration noch Erhöhungen des Grundwasserstandes gegenüber dem Ausgangszustand um 2-5 m zu verzeichnen (siehe Anlage 5.41). Zu diesem Zeitpunkt ist im GWSM im PFA 1.2 nur noch die Wasserhaltung entlang des Tunnelabschnittes zwischen km 2.866 bis km 3.000, wo anhydritführendes Gebirge durchfahren wird, in Betrieb.

- **PFA 1.5**

Die Erstwasserandrangsrate im Bauschritt 1 beträgt im PFA 1.5 ca. 7,8 l/s. Von dieser entfallen etwa 6,4 l/s auf die Wasserhaltung der Teilbaugrube Kreuzungsbauwerk Ehmannstraße. Geöffnet im Bauschritt 1 sind weiterhin die Teilbaugruben Verzweigungsbauwerk Ehmann-

straße, Pragtunnel, Trog Feuerbach, Vorwegmaßnahme S-Bahn-Zuführung Bad Cannstatt sowie einzelne Tunnelteilstrecken. Mit Beginn des Bauschrittes 2 und der Öffnung weiterer Teilbaugruben bzw. Tunnelabschnitte steigt die Erstwasserandrangsrate auf ca. 9,8 l/s an und fällt zum Ende des Bauschrittes auf etwa 8,1 l/s ab.

Die Auswirkungen der Baumaßnahmen zum Ende des Bauschrittes 2 sind im Bereich wasserführender quartärer Schichten noch gering (siehe Anlage 5.8), da zu diesem Zeitpunkt bis auf die Vorwegmaßnahme noch alle Teilbaugruben der S-Bahn-Zuführung nach Bad Cannstatt geschlossen sind. Diese verläuft bis zum Kreuzungsbauwerk Ehmannstraße zu einem großen Teil innerhalb des Nesenbachtals und dessen Ausläufern, wo zuoberst mehr oder weniger mächtige quartäre Lockergesteine anstehen. Im km1BH verbinden sich die Absenktrichter der geöffneten Teilbaustrecken der Fernbahnzuführungen nach Feuerbach und Bad Cannstatt zu einer Absenkfläche (siehe Anlage 5.10). Diese erreicht eine maximale Ausdehnung zwischen dem Killesberg im Westen und dem Kreuzungsbauwerk Ehmannstraße im Osten von 1.300 m für Absenkbeträge bis 0,5 m. In südlicher Richtung überlagern sich die Absenkbereiche mit denen des PFA 1.1. Die Absenkungen entlang der Fernbahnzuführung Feuerbach reichen bis in den ku2GD (siehe Anlage 5.11). Die maximalen Absenkbeträge liegen entlang der Zuführung Feuerbach bei etwa 2 m und weisen Reichweiten für Absenkungen bis 0,5 m von 400 bis 700 m aus. Im Bereich der Anfahrbaugruben kommt es zu einer Überlagerung der Absenktrichter mit denen des PFA 1.1, so dass die Absenkbeträge auf bis zu 3 m und Reichweiten auf mehr als 1.000 m entsprechend steigen.

Im Bereich vom Verzweigungsbauwerk Ehmannstraße bis zur Vorwegmaßnahme der S-Bahn-Zuführung Bad Cannstatt entsteht im Zuge der Infiltrationsmaßnahmen ein etwa 1.500 m langer Bereich in dem die Grundwasserstände im km1BH über denen des Ausgangzustandes liegen. Lokal treten Erhöhungen von mehr als fünf Metern auf. Diese Grundwasserstandserhöhungen prägen sich ins Hangende bis in die quartären Schichten sowie ins Liegende bis in den ku2GD durch (siehe Anlage 5.8 und 5.11). Östlich grenzt daran der durch die Wasserhaltung am Kreuzungsbauwerk Ehmannstraße hervorgerufene Grundwasserabsenkungsbereich an. Ausgehend vom Kreuzungsbauwerk wird eine maximale Reichweite von 400 m in östlicher Richtung für Absenkungsbeträge bis 0,5 m im km1BH erreicht. In den Dunkelroten Mergeln schließen sich die Absenkbereiche der Fernbahnzuführungen Feuerbach und Bad Cannstatt mit dem des Kreuzungsbauwerkes Ehmannstraße zusammen, da hier die Infiltrationswirkung der Brunnen lokal auf den km1BH beschränkt ist (siehe Anlage 5.9)

Im Bauschritt 3a treten keine signifikanten Änderungen hinsichtlich der Wasserandrangsraten auf. Erst mit Beginn des Bauschrittes 3b steigt die Andrangsrate auf etwa 19,3 l/s an und fällt zum Ende des Bauschrittes auf 12,8 l/s ab. Die Erhöhung des Wasserandrangs gegenüber dem vorangegangenen Bauschritt ist durch Öffnung der Teilbaugrube Rettungsstollen Rosensteinpark begründet, die allein bereits eine Erstrate von 9,7 l/s aufweist. Im Bauschritt 3c steigt die Erstwasserandrangsrate auf ca. 25,7 l/s an und fällt in kurzer Zeit auf 17 l/s ab. Die Dauer Bauschritt 3c beträgt 30 Tage. Verantwortlich für den Anstieg ist primär die Öffnung der Teilbaugrube Bahnhof Mittnachtstraße.

Der Erstwasserandrang im Bauschritt 4a liegt bei 20,5 l/s und fällt auf 17,4 l/s zum Ende des Bauschrittes. Es treten im Vergleich zum vorangegangenen Bauschritt keine wesentlichen Veränderungen auf. Einige Tunnelabschnitte werden geschlossen, neue kommen hinzu. Das Gleiche gilt für die Bauschritte 4b und 5. Die Erstwasserandrangsrate für den Bauschritt 4b liegt bei ca. 23,2 l/s und fällt kontinuierlich zum Ende des Bauschrittes 5 auf etwa 17 l/s ab.

Mit Beendigung des Bauschrittes 5 erfolgt die Fertigstellung mehrerer längerer Tunnelteilstrecken, so dass die Wasserandrangsraten sich mit Beginn des Bauschrittes 6 entsprechend verringern. Zum Ende des Bauschrittes 6 liegt die Wasserandrangsrate bei ca. ~~20,4~~ 13,2 l/s. Im Zuge der Abschaltung weiterer Wasserhaltungen entlang der Tunnelstrecken sinken die Raten in den Bauschritten 7 und 8 weiter ab.

Am Ende des Bauschritts 7 weisen die Grundwasserabsenkungen ≥ 0,5 m in den quartären Ablagerungen des Nesenbachtals Reichweiten bis zu 750 m auf (siehe Anlage 5.32). Diese sind auf die Öffnung des Rosensteintunnels sowie der Teilbaugruben zwischen dem Bahnhof Mittnachtstraße bis zum Kreuzungsbauwerk Ehmannstraße (S-Bahn-Zuführung Bad Cannstatt) zurückzuführen. Im km1BH wird deutlich, dass sich der Absenkbereich entlang der Fernbahnzuführung Bad Cannstatt bis zum Verzweigungsbauwerk Ehmannstraße am Ende des Bauschrittes 7 gestützt durch die Wirkung der Infiltrationsbrunnen bereits zurückgebildet hat. Hier wurden die letzten Teilbaustrecken bereits zum Ende des Bauschrittes 6 fertiggestellt. Der Absenkbereich der Zuführung Feuerbach reicht jedoch noch über den Ast der Fernbahn-Zuführung Feuerbach hinaus. Ausgehend von den Achsen 251 und 252 werden in östlicher Richtung Reichweiten von Grundwasserabsenkungen bis 0,5 m von etwa 700 bis 1.000 m erreicht (siehe Anlage 5.34). Entlang der S-Bahn-Zuführung Bad Cannstatt treten ausgehend vom Rosensteintunnel Reichweiten von bis zu 850 m auf. Das Bild in den Dunkelroten Mergeln ist vergleichbar dem im Bochinger Horizont, lediglich die Wirkung der Infiltrationsbrunnen auf die Grundwasserabsenkungen fällt geringer aus (siehe Anlage 5.33).

Die Absenkungen entlang der Zuführung Feuerbach haben sich im ku2GD gegenüber dem Bauschritt 2 durch die Öffnung weiterer Tunnelteilbaustrecken etwas vergrößert, jedoch findet keine Überschneidung mit den Absenkungen im Bereich des PFA 1.1 mehr statt (siehe Anlage 5.35). Die maximalen Reichweiten der Absenkungen liegen ausgehend von den Tunnelachsen 252 und 252 bei ca. 700 m in östlicher Richtung. Im Bereich des Kreuzungsbauwerkes Ehmannstraße prägen sich die Grundwasserstandserhöhungen im km1BH infolge der Infiltrationsmaßnahmen bis in den ku2GD durch. Eine Beeinflussung des ku2LD durch die Baumaßnahmen im PFA 1.5 findet jedoch nicht statt.

Ende Bauschritt 8 beträgt die Wasserandrangsrate etwa ~~10,7~~ 8,0 l/s. Da im Bauschritt 9 die Teilbaugrube für den Abschnitt zwischen Hauptbahnhof und dem Lückenschluss Wolframstraße geöffnet wird und entlang dieses Bereiches im q2 Durchlässigkeiten im Bereich von 10^{-3} m/s ermittelt wurden, steigt der Erstwasserandrang auf ca. 14,8 l/s an und reduziert sich zum Bauschrittende auf 10,3 l/s.

In den Bauschritten 10 bis 12 liegen die Wasserandrangsraten nur noch zwischen 3,5 bis 4,5 l/s. Dieser Rückgang ist begründet durch die Fertigstellung einiger Teilbaugruben entlang der

S-Bahn-Zuführung Bad Cannstatt, wie z.B. Kreuzungsbauwerk Ehmannstraße und dem Bahnhof Mittnachtstraße. Im Bauschritt 13 ist nur noch die Wasserhaltung für den Lückenschluss Wolframstraße aktiv. Entsprechend fällt die Andrangsrate auf 1,7 l/s bis 1,4 l/s zum Ende des Bauschrittes ab.

Am Ende des Bauschrittes 12 sind die Auswirkungen der Baumaßnahmen im PFA 1.5 in den wasserführenden quartären Sedimenten nur noch gering. Am südlichen Ende der S-Bahn-Zuführung Bad Cannstatt km 0.380 bis km 0.766 wird die Wasserhaltung erst zum Ende des Bauschrittes 12 eingestellt, so dass hier noch eine entsprechende Absenkung vorhanden ist. Die Reichweite der Absenkung beträgt etwa 150 m (siehe Anlage 5.50). Sowohl in den Dunkelroten Mergeln als auch im Bochinger Horizont haben sich in die Auswirkungen der Baumaßnahmen am Ende des Bauschrittes 12 bereits ebenfalls deutlich reduziert. Der flächenhafte Anteil der durch die Infiltration bedingten Grundwasserstanderhöhungen überwiegt (siehe Anlage 5.51 und 5.52). Eine Beeinflussung des ku2GD findet im Bauschritt 12 nur noch durch eine Erhöhung der Grundwasserstände infolge der Infiltrationsmaßnahmen im km1BH im Bereich des Kreuzungsbauwerkes Ehmannstraße statt.

Die Infiltrationsraten erreichen gleich zu Beginn des Bauschrittes 1 mit 9,5 l/s ihr Maximum und fallen innerhalb weniger Tage bis zum Ende des Bauschrittes auf 5,9 l/s ab. In den drauffolgenden Bauschritten 2 bis 6 erfolgt ein langsamer gleichmäßiger Anstieg auf bis zu 7 l/s. Danach sinkt die Infiltrationsrate kaum merklich bis zum Ende des Bauschrittes 9 um 0,2 l/s ab. Ab dem Bauschritt 10 bis zum Ende der Infiltration im Bauschritt 12 fällt die Infiltrationsrate auf einen Wert von ca. 5 l/s ab.

Der Anteil der Infiltration in den ku2GD an der Gesamtinfiltrationsrate im PFA 1.5 ist bis auf einen höheren Wert zu Beginn des Bauschrittes 1 von ca. 1 l/s mit ca. 0,9 l/s bis zum Ende des Bauschrittes 12 konstant. Die geringe Infiltrationsrate ist durch die geringen k_f-Werte des Grenzdolomits von unter 10^{-6} m/s im Bereich des Gleisdreiecks bedingt. Hier liegen fünf der insgesamt acht ku2GD-Infiltrationsbrunnen. Lediglich der Brunnen N154 liegt in einem durchlässigen Bereich von 10^{-4} m/s. Auf diesen entfallen 50 % der Gesamtinfiltrationsrate in den Grenzdolomit. Die beiden anderen Brunnen liegen in Bereich von Durchlässigkeiten von $5*10^{-6}$ m/s und 10^{-5} m/s. Informationen zur Umsetzung der Brunnen sind in der Anlage 2 enthalten.

- **PFA 1.6a und 1.6b**

Im PFA 1.6a wurde entlang der umspundeten Trogbauwerke Ober- und Untertürkheim sowie für die Rettungszufahrt Benzstraße und den Anfahrbereich mit Pfeilerstollen eine Spundwanddurchsickerung als Randbedingung 4. Art im GWSM berücksichtigt. Diese bildet den durch Undichtigkeiten der Spundwände hervorgerufenen zusätzlichen Wasserandrang in der Baugrube ab. In ARGE WUG (2005c) ist die Bemessung des über die Spundwände zutretenden Wasserandrangs dokumentiert. Für den Bereich Untertürkheim ergab sich eine zusätzliche bauzeitliche Grundwasserentnahme aus den grundwasserführenden Neckarkiesen von ca. 17 l/s in den Bauschritten 1 bis 5 und für den Bereich Obertürkheim von ca. 14 l/s in den Bauschritten 1 bis 7, ca. 10 l/s im Bauschritt 8 und etwa 3,7 l/s im Bauschritt 9, die durch entspre-

chende Entnahmen am jeweiligen Baugrubenrand umgesetzt wurden. Der durch die Spundwanddurchsickerung hervorgerufene zusätzliche Wasserandrang ist in der Anlage 3.4 als separate Kurve ausgewiesen. In den in der Anlage 7 ausgewiesenen Wasserandrangsraten pro Teilbaugrube und Bauabschnitt ist der Anteil der Spundwanddurchsickerung bereits berücksichtigt.

Der Erstwasserandrang im Bauschritt 1 ohne Berücksichtigung der Spundwanddurchsickerung beträgt ca. 17 l/s und fällt zügig zum Ende des Bauschrittes 1 auf 1,4 l/s ab. Der hohe Erstwasserandrang resultiert primär aus der Öffnung der Teilbaugruben für die Tröge Ober- und Untertürkheim. Nachdem die Tröge weitgehend trocken sind, ist der Wasserandrang ohne Berücksichtigung der Spundwanddurchsickerung aufgrund der im GWSM angesetzten geringen Durchlässigkeiten in der Baugrubensohle nur noch sehr gering.

Von Bauschritt 2 mit einem Erstwasserandrang von ca. 5 l/s und einem Wasserandrang von 1,9 l/s am Ende des Bauschrittes steigt die Rate kontinuierlich bis zum Ende des Bauschrittes 6 an. Im Bauschritt 5 beträgt die Erstwasserandrangsrate etwa 14,6 l/s und zum Ende des Bauschrittes 6, der keinen erhöhten Erstwasserandrang aufweist, ca. 6,3 l/s. Der Anstieg zwischen den Bauschritten 2 und 6 ist begründet durch die Zunahme der Wasserhaltungen für die einzelnen Tunnelteilstrecken ohne dass eine Fertigstellung zuvor geöffneter Abschnitte mit gleichzeitiger Abschaltung der Wasserhaltungen erfolgt (siehe Anlage 4). Erst mit Beginn des Bauschrittes 7 ist ein langer Abschnitt der Achse 61 und 62 fertiggestellt, so dass die Wasserandrangsrate auf 1,9 l/s zum Ende des Bauschrittes fällt. Die Fertigstellung der Zuführung nach Untertürkheim (Achse 713/714 einschließlich Trogbauwerk) zum Ende des Bauschrittes 5 spiegelt sich im Ganglinienverlauf des Wasserandrang ohne Berücksichtigung der Spundwanddurchsickerung (Summe Wasserhaltung PFA 1.6) nicht wieder, da über die Baugrubensohle kein signifikanter Wasserandrang erfolgt und auch entlang der Tunnelstrecke (Achse 713/714) der Wasserandrang gering ist. Deutlich wird die Fertigstellung der Zuführung nach Untertürkheim mit Ende Bauschritt 5 jedoch durch den deutlichen Rückgang der Spundwanddurchsickerung von ca. 31 l/s auf 14 l/s (vgl. Anlage 3.4).

Mit dem Ende des Bauschrittes 9 ist die Zuführung Ober-/Untertürkheim fertiggestellt. Die Wasserandrangsraten reduzieren sich in den Bauschritten 8 und 9 entsprechend der Zunahme der fertiggestellten Tunnelabschnitte (siehe Anlage 4). Erhöhte Erstwasserandrangsraten treten nicht mehr auf. Der Wasserandrang im Bauschritt 8 beträgt ca. 0,7 l/s und im Bauschritt 9 nur noch 0,2 l/s. Der Anteil der Spundwanddurchsickerung fällt von 10 l/s auf 3,7 l/s.

Im Quartär treten im Bereich des PFA 1.6a und 1.6b lediglich Grundwasserabsenkungen entlang der Trogbauwerke Ober- und Untertürkheim sowie im Anfahrbereich mit Pfeilerstollen auf. Diese Absenkungen betragen jedoch weniger als 1 m außerhalb der Umspundung der Tröge. Auch die Reichweiten sind aufgrund der hohen Durchlässigkeiten der Neckarkiese mit maximal 60 m östlich des Troges Untertürkheim gering (siehe Anlage 5.8).

In den Horizonten km1DRM und km1BH sind Grundwasserabsenkungen außerhalb der vergipsten Bereiche ausgewiesen. Außerhalb der vergipsten Bereiche verlaufen die Tunnelachsen primär in Gebirgsbereichen, die überwiegend Durchlässigkeiten zwischen 10^{-7} bis

10^{-9} m/s aufweisen. Im Bauschritt 2 treten signifikante Absenkungen am Verbindungsbauwerk zwischen den Tunnelachsen 61 und 62 (km 1.150), vor und nach dem „Zwischenangriff Ulmer Straße“ und an der Zuführung Untertürkheim auf (siehe Anlage 5.9 und 5.10). Die maximalen Reichweiten der Grundwasserabsenkungen ≥ 0,5 m liegen bei etwa 200 m im Bereich des Zwischenangriffs Ulmer Straße und am Verbindungsbauwerk zwischen den Tunnelachsen 61und 62 (km 1.150). Diese prägen sich mit vergleichbaren Reichweiten bis in den ku2GD durch (siehe Anlage 5.11).

Im Bauschritt 7 nach Fertigstellung der Tunnelteilstrecke zwischen km 1.250 bis km 3.620 (Kilometrierung bezogen auf Asche 61) liegen die maximalen Reichweiten von Grundwasserabsenkungen ≥ 0,5 m entlang der Achsen 61/62 im km1BH bei etwa 650 bis 750 m (siehe Anlage 5.34). Entlang der Zuführung Obertürkeim zwischen dem Zwischenangriff Ulmer Straße bis zum Anfahrbereich mit Pfeilerstollen werden maximal Reichweiten von Absenkungen bis 0,5 m von 400 m erreicht. Diese pflanzen sich über den ku2GD mit Reichweiten von bis zu 1.100 m (siehe Anlage 5.35) bis in den ku2LD mit Reichweiten von bis zu 800 m (siehe Anlage 5.34) fort. In diesen Horizonten erfolgt jedoch eine starke Überlagerung mit den durch Baumaßnahmen im PFA 1.2 hervorgerufenen Grundwasserabsenkungen.

Nach Beendigung sämtlicher Baumaßnahmen im PFA 1.6a mit dem Bauschritt 10, bilden sich die Grundwasserabsenkungstrichter im km1BH kontinuierlich zurück. Am Ende von Bauschritt 12 werden ausgehend von den Tunnelachsen 61/62 (km 1.300 bis km 3.400) noch Reichweiten von etwa 200 bis 400 m, lokal bis maximal 700 m für Grundwasserabsenkungen ≥ 0,5 m erreicht. Entlang der Zuführungen nach Ober- und Untertürkheim sind im Bauschritt keine Absenkungen von ≥ 0,5 m mehr zu verzeichnen (siehe Anlage 5.52). Analog dazu verringern sich auch die Auswirkungen der Baumaßnahmen im Unterkeuper (siehe Anlage 5.53 und 5.54).

Die Infiltrationsrate der vier Infiltrationsbrunnen südlich der Rettungszufahrt Süd und nördlich der Anfahrbaugrube 598, die wasserrechtlich gesehen dem PFA 1.6a zugeordnet werden, liegt in den Bauschritten 1 bis 9 zwischen 0,5 bis 0,9 l/s und fällt zum Ende des Bauschrittes 12 auf 0,4 l/s ab. Infiltrationsraten von ca. 0,9 l/s treten in den Bauschritten 1 (Öffnung Rettungszufahrt Süd und Verzweigungsbauwerk Fildertunnel), BS 6 (Öffnung Anfahrbaugrube 598 ab Bauschritt 5) und BS 7 (Öffnung Anfahrbaugrube 682) auf.

Quellschüttungsverlauf der Heil- und Mineralquellen

In der Anlage 3.5 ist der instationäre Verlauf der Quellschüttung an den Heil- und Mineralquellen für die Bauschritte 0 bis 13 zusammen mit den Ganglinien des Wasserhaltungsverlaufes, des Infiltrationsverlaufes und des effektiven Grundwasserandrangsverlaufes dargestellt. Im Verlauf des Bauschrittes 1 verringert sich die Gesamtquellschüttung um ca. 3,8 l/s. Die Reduktion der Quellschüttung kann auf die Öffnung einiger tief eingreifender Baugruben wie der TB 4 (Verlegung Stadtbahn Heilbronner Straße), dem Medienkanal Schlossgarten oder auch der TB 8.6c (Verlegung Stadtbahnhaltestelle Staatsgalerie) zurückgeführt werden. Im Zuge der Wasserhaltungen erfolgt hier eine Absenkung zwischen acht bis zehn Metern gegenüber dem

Mittelwasserstand (siehe Anlage 5.2 und 5.3). Grundsätzlich korrespondiert der Quellschüttungsverlauf mit der effektiven Grundwasserentnahme sowie mit den dadurch erzeugten Grundwasserabsenkungen (siehe Anlagen 5.1 bis 5.5, wobei geringer tiefe und weniger weitreichende Grundwasserabsenktrichter zu einer geringeren Quellschüttungsreduzierung führen.

Da zwischen dem Ende des Bauschrittes 1 und dem Bauschritt 2 durch die Öffnung weiterer Baugruben keine signifikante Veränderung der Wasserandrangsraten erfolgt und zudem die Infiltrationsraten der Brunnen steigen (siehe Anlage 3.1 und 3.5), bleibt der Quellschüttungsrückgang bis zum Ende des Bauschrittes 2 weitgehend konstant.

Danach setzt mit Beginn des Bauschrittes 3 eine kontinuierliche Erholung der Quellschüttung bis zum Ende des Bauschrittes 4 ein. Zwischen dem Ende von Bauschritt 2 bis zum Ende Bauschritt 3 steigt die Quellschüttung um etwa 1,3 l/s und zum Ende des Bauschrittes 4 um weitere 2,0 l/s an, so dass zu diesem Zeitpunkt das Defizit nur noch 0,5 l/s im Vergleich zur Ausgangsschüttung vor Beginn der Baumaßnahme beträgt.

Ausgehend vom Ende des Bauschrittes 4 fällt die Quellschüttung bis zum Ende des Bauschrittes 7 erneut kontinuierlich um ca. 2,7 l/s gegenüber dem Ausgangsniveau ab, das mit dem zeitllich analogen Anstieg der Wasserandrangsraten im Bereich PFA 1.1 korrespondiert. Der Anstieg der Entnahmeraten und der Rückgang der Quellschüttung werden - wie bereits beschrieben - im Wesentlichen durch die Öffnung der Teilbaugruben 8.1c, 8.7c und 8.9c (Verlegung der Stadtbahnhaltestelle Staatsgalerie) sowie der Teilbaugruben im Bereich des DB-Tunnels 13, 15, 18, 19/20 und 24 verursacht, wobei insbesondere die TB 8.7c und 8.9c sowie die TB 15 und 18 (DB-Tunnel) hohe Wasserandrangsraten aufweisen.

Ab dem Bauschritt 8 beginnt die Quellschüttung langsam wieder zu steigen. Auch der Wasserandrang im Bereich PFA 1.1 geht langsam zurück, insbesondere durch die Fertigstellung der Teilbaugrube 8.7 c (Verlegung Stadtbahnhaltestelle Staatsgalerie). Ab dem Bauschritt 10 steigt die Quellschüttung deutlich an. Bis zur Mitte des Bauschrittes 10 hat diese bereits die Ausgangsschüttung von vor Beginn der Baumaßnahme wieder erreicht. Der Anstieg dauert jedoch bis zum Ende des Bauschrittes 12 an. Zu diesem Zeitpunkt liegt die berechnete Quellschüttung 1,5 l/s über dem Ausgangswert. Ursache ist die über die Fertigstellung aller Baugruben im Bereich PFA 1.1 andauernde Infiltration (siehe Anlage 3.1). Mit der Einstellung der Infiltrationsmaßnahmen ab dem Bauschritt 13 beginnt die Quellschüttung wieder zu fallen, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Quellschüttung kurze Zeit später ihr Ausgangsniveau wieder erreicht hat.

Am Ende des Bauschrittes 12 fließen im gesamten Modellgebiet ca. 1,2 l/s aus dem ku2LD über die Estherienschichten in den Muschelkalk, wogegen am Ende des Bauschrittes 13 bereits wieder ca. 4,7 l/s aus dem Muschelkalk in den ku2LD aufsteigen. Vor Einsetzen der Baumaßnahme fließen dem ku2LD etwa 5,6 l/s aus dem Muschelkalk modellweit zu. Die Stützung des oberen Grundwasserkörpers über die Bauphase hinaus wirkt dem Aufstieg von Wasser aus dem Muschelkalk entgegen, so dass die Quellschüttung gegenüber dem Ausgangszustand in diesem Zeitraum geringfügig ansteigt.

3.3. Bilanzbetrachtungen

Neben den im vorangegangenen Abschnitt 3.2 ausführlich beschriebenen Änderungen hinsichtlich der Grundwasserandrangs- und Infiltrationsraten sowie des Quellschüttungsverlaufes während der einzelnen Bauschritte soll im Folgenden das Verhalten der äußeren Zu- und Abströme sowie der Leakageraten durch die Grundgips- und Estherienschichten betrachtet werden.

Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, warum der Quellschüttungsrückgang trotz der zum Teil erheblichen effektiven Grundwasserentnahmen mit maximal 3,8 l/s in den Bauschritten 1 und 2 relativ gering ist. In der folgenden Tabelle sind deshalb zunächst die Änderungen der Quellschüttung den effektiven Grundwasserentnahmeraten (Differenz zwischen Grundwasserandrang und -infiltration) in den PFA's 1.1, 1.2, 1.5, 1.6a und 1.6b für sämtliche Bauschritte gegenübergestellt. Weiterhin ist aufgrund der engen Korrespondenz zwischen den Entnahmeraten im Bereich des zentralen Nesenbachtals und den Quellschüttungsveränderungen die effektive Grundwasserentnahme für den PFA 1.1 separat ausgewiesen.

Tabelle 3-1: Gegenüberstellung von Quellschüttungsveränderung und effektiver Grundwasserentnahme

Bauschritte	Effektive Grundwasserentnahme PFA's ges. (ohne Berücksichtigung der Spundwanddurchsickerung im PFA 1.6a)	Effektive Grundwasserentnahme PFA 1.1	Quellschüttungsänderung gegenüber Ausgangszustand [l/s]
0	0,1	0,1	0
1	21,9	21,5	-3,8
2	20,8	17,3	-3,8
3a	8,4	4,3	-3,0
3b	18,6	9,1	-2,5
3c	23,3	9,4	-2,5
4a	13,0	-5,6	-0,6
4b	15,3	-5,2	-0,4
5	17,5	0,5	-0,8
6	20,9	8,0	-1,9
7	17,1	12,4	-2,7
8	9,1	6,9	-2,0
9	5,7	2,5	-1,6
10	-9,0	-7,0	0,3
11	-14,8	-13,7	1,4
12	-14,3	-13,4	1,5
13	1,4	0	0,5

Abbildung 3-1 zeigt die wesentlichen Bilanzkomponenten für den Muschelkalk sowie die Leakageraten für die Grundgips- und Estherienschichten für den Zustand vor Baubeginn. Hierbei strömen dem Muschelkalk 525,5 l/s über den südlichen und südwestlichen Modellrand zu. Über den nordöstlichen Modellrand einschließlich den thermischen Anomalien des Neckars werden 300,5 l/s und über die Heil- und Mineralquellen 205,8 l/s (ohne Berücksichtigung der Veilquelle, da nur Unterkeuper erschlossen) abgeführt. Die Differenz aus dem Zu- und Abstrom ergibt eine Überschussrate von 19,2 l/s, von denen 13,3 l/s durch Brunnen im Oberen Muschelkalk entnommen werden, so dass 5,9 l/s durch die Estherienschichten aufsteigen. Dieser Wert ist die rein rechnerische Summe aus Grundwasserzu- und –abstromkomponenten im Oberen Muschelkalk.

Die modellinternen Leakageraten werden in FEFLOW durch eine nachträglich Bilanzierung auf Basis der berechneten Potentiale ober- und unterhalb der betreffenden Schicht ermittelt. Dabei erfolgt eine flächenhafte Integration über das Geschwindigkeitsfeld. Es besteht die Möglichkeit diese Bilanzierung auf Basis der FEFLOW-Knoten oder der FEFLOW-Elemente durchzuführen. Im ersten Fall werden die Durchlässigkeiten der den Knoten umgebenden Elemente für die Berechnung gemittelt. Für die Berechnung auf Basis der Elemente erfolgt wiederum die Mittelung der an den benachbarten Knoten berechneten Geschwindigkeiten auf die Elementmitten. Die Auswertung für beide Verfahren ergibt geringfügig unterschiedliche Leakageraten für die Estherienschichten. Die auf Basis der Knoten ermittelte Rate beträgt 6,4 l/s und die auf Elementbasis ermittelte Rate 5,6 l/s. Der sich aus der Bilanzierung der Zu- und Abstromkomponenten ergebende Wert liegt mit 5,9 l/s dazwischen. Die Begründung für die geringfügigen Bilanzunterschiede sind in den jeweils genutzten Mittelungsverfahren zu sehen. Für die nachfolgenden Auswertungen und Darstellungen wurde die elementbasierte Methode zur Bestimmung der Leakageraten ausgewählt.

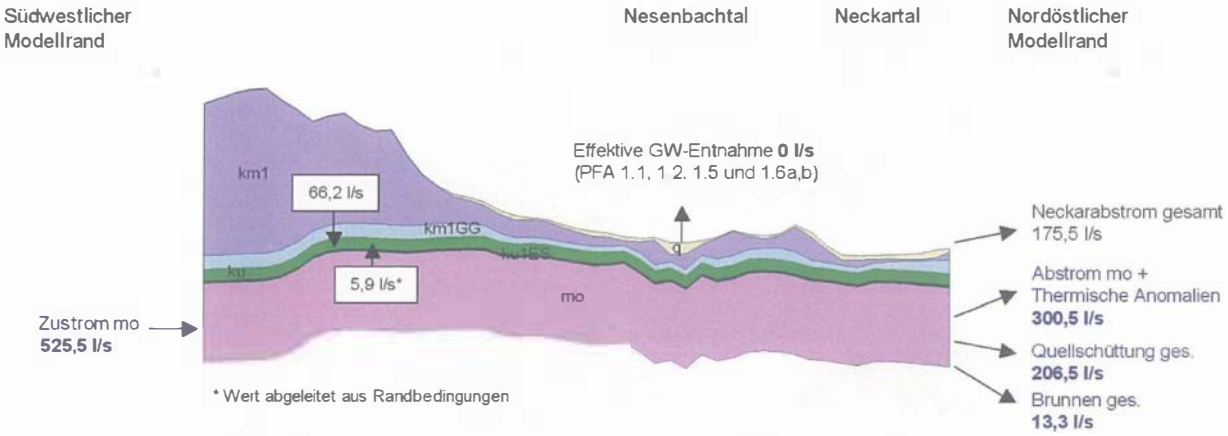


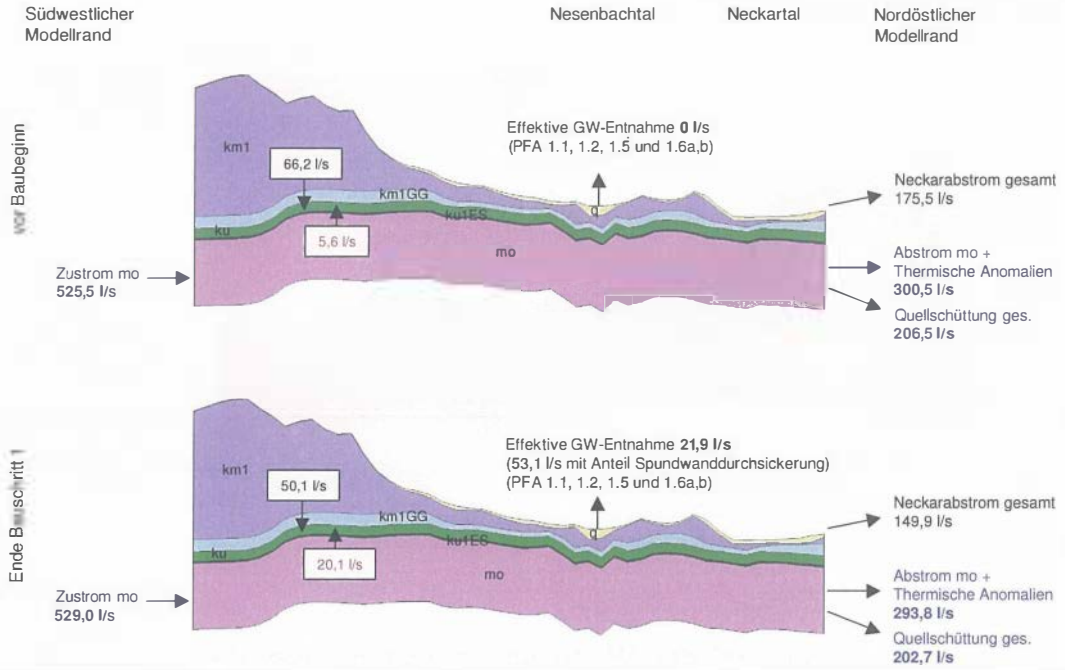
Abbildung 3-1: Muschelkalk Bilanzkomponenten Ausgangszustand

Die in der Tabelle 3-1 dokumentierten Werte zeigen deutlich, dass der stärkste Quellschüttungsrückgang in den Bauschritten 1 und 2 mit den höchsten Grundwasserentnahmeraten im PFA 1.1 einhergeht. Die effektive Grundwasserentnahme im Bauschritt 1 von 21,5 l/s im Bereich des PFA 1.1 führt zu einem modellweiten Mehraufstieg von 14,5 l/s durch die Estherienschichten gegenüber dem Ausgangszustand (Wert entspricht der modellintern bilanzierten Leakagerate auf Basis der elementbezogenen Integration). Trotzdem ist lediglich eine Quellschüttungsrückgang von 3,8 l/s zu verzeichnen. Die Ursachen für diesen geringen Quellschüttungsrückgang sind zusätzliche Kompensationskomponenten innerhalb des Oberen Muschelkalks. So erfolgt eine zusätzliche Kompensation des Mehraufstiegs durch einen um 3,5 l/s höheren Zustrom über den südlichen und südwestlichen Modellrand sowie die Reduktion des Abstroms über den nordöstlichen Modellrand und die thermischen Anomalien um 6,7 l/s. Die Summe der geänderten Zu- und Abströme im Muschelkalk beträgt danach 14,0 l/s. Demnach strömen am Ende des Bauschritts 1 0,5 l/s mehr über die Estherienschichten nach oben als durch die Randbedingungen kompensiert werden. Die Ursache für den geringfügigen Unter-

schied liegt, wie bereits oben beschrieben, in dem genutzten Mittelungsverfahren zur nachträglichen Bilanzierung der modellinternen Leakageraten begründet.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass ein im Zuge der Baumaßnahmen zunehmender Aufstieg von Mineralwässern über die Estherienschichten des Unterkeupers durch verschiedene Bilanzkomponenten des Oberen Muschelkalks kompensiert werden, so dass die Schüttungsrate, als eine dieser Komponenten, nur vergleichsweise geringfügig zurückgeht.

In den Abbildungen 3.2 bis 3.4 sind für die Bauschritte 1, 2, und 7 die Muschelkalk-Bilanzen jeweils am Bauschrittende dokumentiert. In allen dargestellten Fällen gibt es geringe Abweichungen zwischen dem modellintern bilanzierten Mehraufstieg durch die Estherienschichten und der Summe der geänderten Zu- und Abströme, die auf die bereits beschriebene Berechnungsmethode zurückzuführen sind.



Änderungen der Bilanzgrößen zwischen Bauschritt 1 und dem Zustand vor Baubeginn

Δ Zustrom mo 3,5 l/s
(Anstieg des Zustroms gegenüber dem Ausgangszustand)

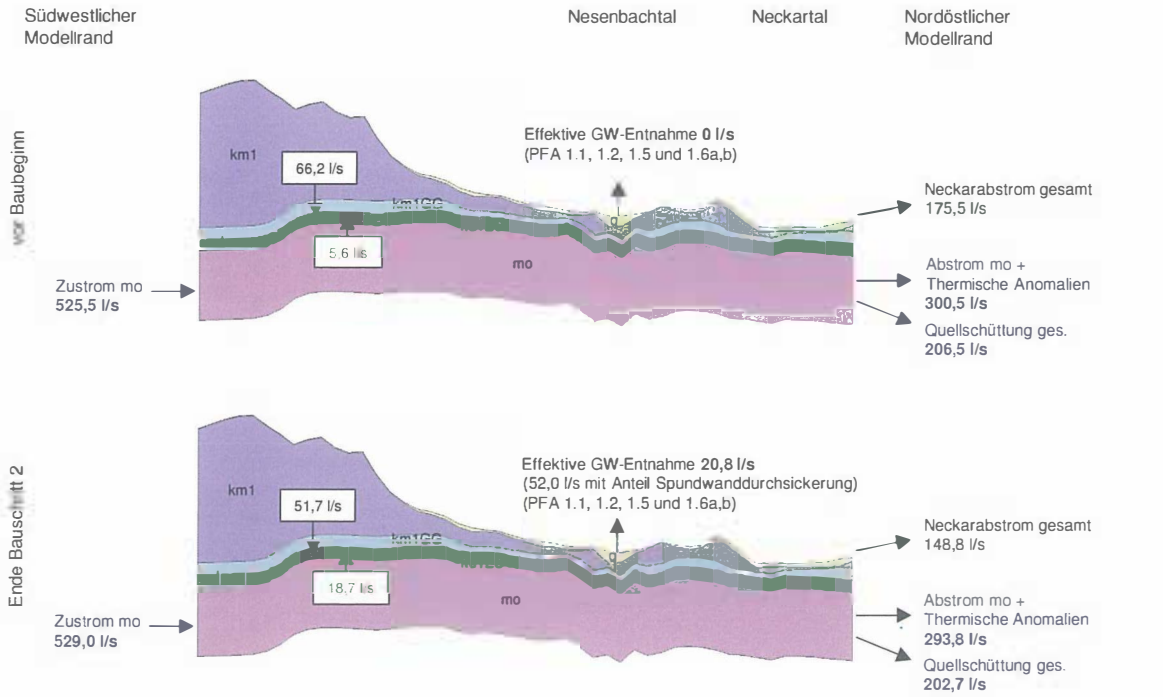
Δ Abstieg durch den km1GG in den ku 16,1 l/s
(Verringerung der Abstiegsrate gegenüber dem Zustand vor Baubeginn)

Δ Aufstieg durch die ku1ES in den ku 14,5 l/s
(Erhöhung der Aufstiegsrate gegenüber dem Ausgangszustand)

Δ Abstrom mo + Thermische Anomalien 6,7 l/s
Δ Quellschüttung 3,8 l/s
Δ Neckar gesamt 25,6 l/s
(Verringerung des Abstroms gegenüber dem Ausgangszustand)

Die Summe der Zu- und Abflussänderungen im mo von 14,0 l/s steht einer um 14,5 l/s erhöhten Aufstiegsrate aus dem mo in den ku gegenüber.

Abbildung 3-2: Muschelkalk Bilanzkomponenten Ausgangszustand – Bauschritt 1



Änderungen der Bilanzgrößen zwischen Bauschritt 2 und dem Zustand vor Baubeginn

Δ Zustrom mo **3,5 l/s**

(Anstieg des Zustroms gegenüber dem Ausgangszustand)

Δ Abstieg durch den km1GG in den ku **14,5 l/s**

(Verringerung der Abstiegsrate gegenüber dem Zustand vor Baubeginn)

Δ Aufstieg durch die ku1ES in den ku **13,1 l/s**

(Erhöhung der Aufstiegsrate gegenüber dem Ausgangszustand)

Δ Abstrom mo + Thermische Anomalien **6,8 l/s**

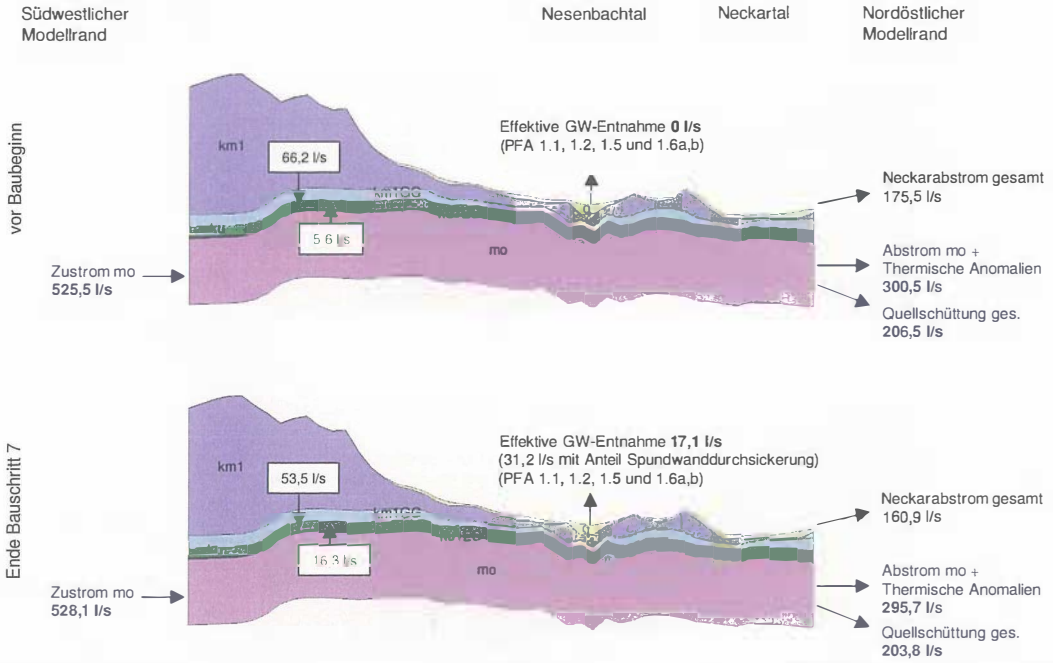
Δ Quellschüttung **3,8 l/s**

Δ Neckar gesamt 26,7 l/s

(Verringerung des Abstroms gegenüber dem Ausgangszustand)

Die Summe der Zu- und Abflussänderungen im mo von 14,1 l/s steht einer um 13,1 l/s erhöhten Aufstiegsrate aus dem mo in den ku gegenüber.

Abbildung 3-3: Muschelkalk Bilanzkomponenten Ausgangszustand – Bauschritt 2



Änderungen der Bilanzgrößen zwischen Bauschritt 7 und dem Zustand vor Baubeginn

Δ Zustrom mo **2,6 l/s**
(Anstieg des Zustroms gegenüber dem Ausgangszustand)

Δ Abstieg durch den km1GG in den ku 12.7 l/s
(Verringerung der Abstiegsrate gegenüber dem Zustand vor Baubeginn)
Δ Aufstieg durch die ku1ES in den ku **10,7 l/s**
(Erhöhung der Aufstiegsrate gegenüber dem Ausgangszustand)

Δ Abstrom mo + Thermische Anomalien **4,8 l/s**
Δ Quellschüttung **2,7 l/s**
Δ Neckar gesamt 14,6 l/s
(Verringerung des Abstroms gegenüber dem Ausgangszustand)

Die Summe der Zu- und Abflussänderungen im mo von 10,1 l/s steht einer um 10,7 l/s erhöhten Aufstiegsrate aus dem mo in den ku gegenüber.

Abbildung 3-4: Muschelkalk Bilanzkomponenten Ausgangszustand – Bauschritt 7

Die räumliche Veränderung der Leakageraten durch die Grundgips- und Estherienschichten ist für die Bauschritte 2, 7 und 12 in der Anlage 6 dargestellt. Sie dokumentieren die Veränderungen der flächenhaften Auf- und Abstiegsraten im Verlauf der Baumaßnahmen.

3.4. Stationäre Prognoserechnung zur Bestimmung des potentiellen Grundwasseraufstaus im PFA 1.1 nach Fertigstellung des Tiefbahnhofs

Zur Erhaltung der ursprünglichen Grundwasserströmungsverhältnisse nach Fertigstellung des unterirdischen Bahnhofs im PFA 1.1 ist ein Grundwasserumläufigkeitssystem geplant worden, welches beim Aufbau des instationären GWSM detailliert berücksichtigt und numerisch umgesetzt wurde (vgl. ARGE WUG, 2010 und Kapitel 2.2 dieser Dokumentation).

Um den Nachweis der Wirksamkeit dieses Grundwasserumläufigkeitssystems mit dem GWSM führen zu können, wurde abschließend eine stationäre Prognoseberechnung auf Basis von Mittelwasserverhältnissen unter Berücksichtigung des fertiggestellten Bahnhofs und des

Grundwasserumläufigkeitssystems durchgeführt. Dabei wurden die im zentralen Nesenbachtal liegenden Kanäle (Nesenbachkanal, Kanal Cannstatter Straße und Hauptsammler West) – soweit sie nicht im Bereich des DB Tunnels liegen - entsprechend ihrer Implementierung im stationär und instationär geeichten GWSM unverändert übernommen, um ausschließlich die Auswirkungen des fertiggestellten Bahnhofs mit Umläufigkeitssystem ausweisen zu können.

Die in diesem Prognoselauf berechneten Grundwasserpotentiale wurden von den Grundwasserpotentialen des Eichungsmodells abgezogen, um in Form von Differenzenplänen die Auswirkungen detailliert ausweisen und darstellen zu können.

Abbildung 3-5 zeigt diese Grundwasserdifferenzen für das quartäre Grundwasserstockwerk im Bereich des Nesenbachtalquerung.

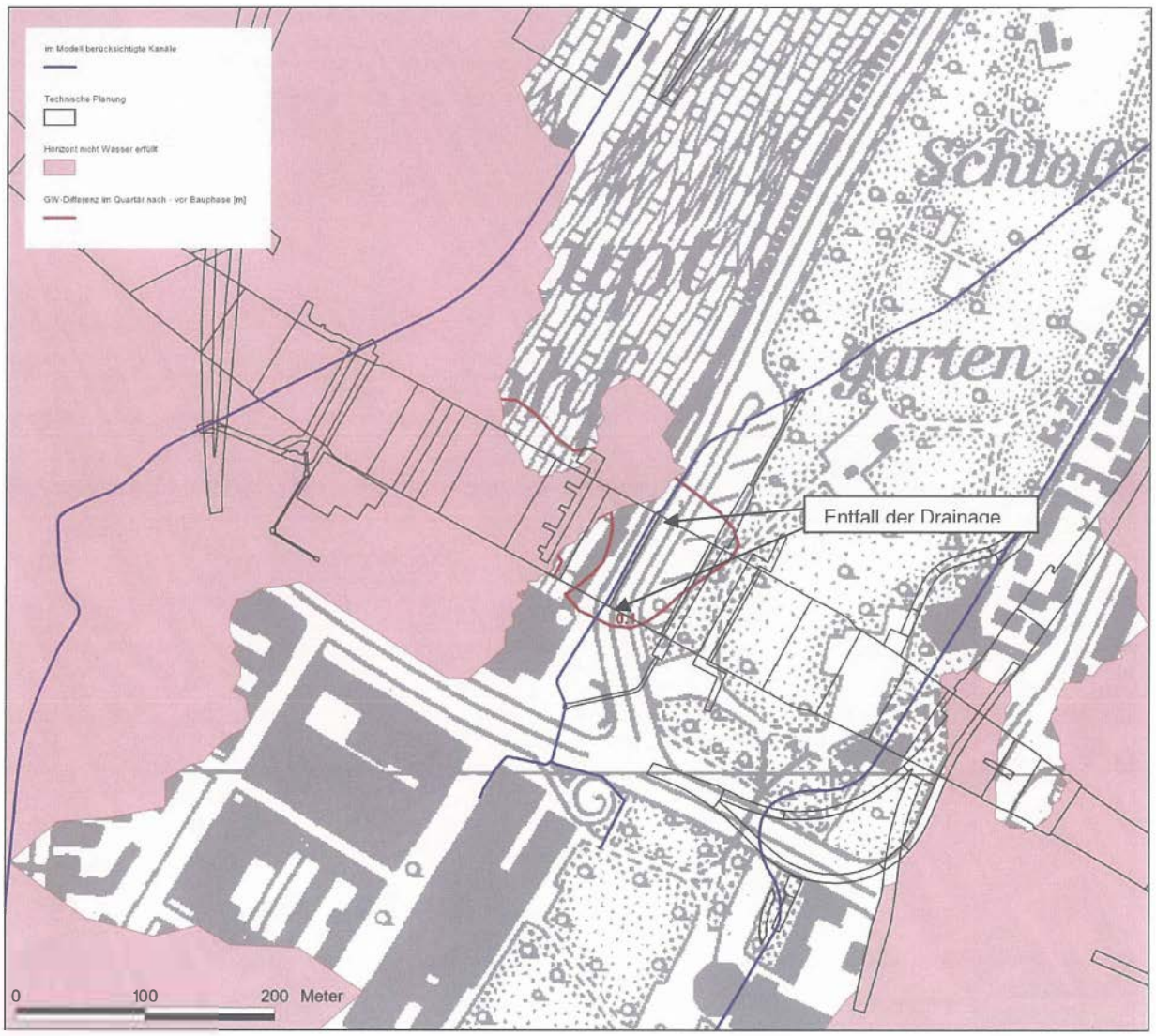


Abbildung 3-5: Potentialdifferenz im Quartär vor und nach Fertigstellung des Tiefbahnhofs

Die Abbildung belegt die Wirksamkeit des Umläufigkeitssystems, in dem sich nur im Bereich des Kanals Cannstatter Straße ein geringer Aufhöhungsbereich von ca. 0,1 m zeigt. Dabei ist

dieser nicht als direkte Auswirkung des Tiefbahnhofs zu sehen, sondern vielmehr in der entfallenen Drainage des Kanals Cannstatter Straße im Bereich des DB-Tunnels im infolge der Erneuerung desselben im Zuge der Kanalumverlegung.

Abbildung 3-6 zeigt die Potentialdifferenz vor Baubeginn und nach Fertigstellung des Tiefbahnhofs im Bochinger Horizont. Die Grafik dokumentiert ebenfalls die sehr geringen Auswirkungen des Tiefbahnhofs auf die Grundwasserströmungsverhältnisse mit maximalen Aufhöhungsbeträgen von ca. 0,05 m.

Zusammenfassend kann somit gesagt werden, dass das Umläufigkeitssystem die vom Tiefbahnhof hervorgerufene und im Planfeststellungsbeschluss zugelassene maximale Potentialdifferenz von 0,2 m im Grundwasser des Quartärs und Gipskeuper gewährleistet.

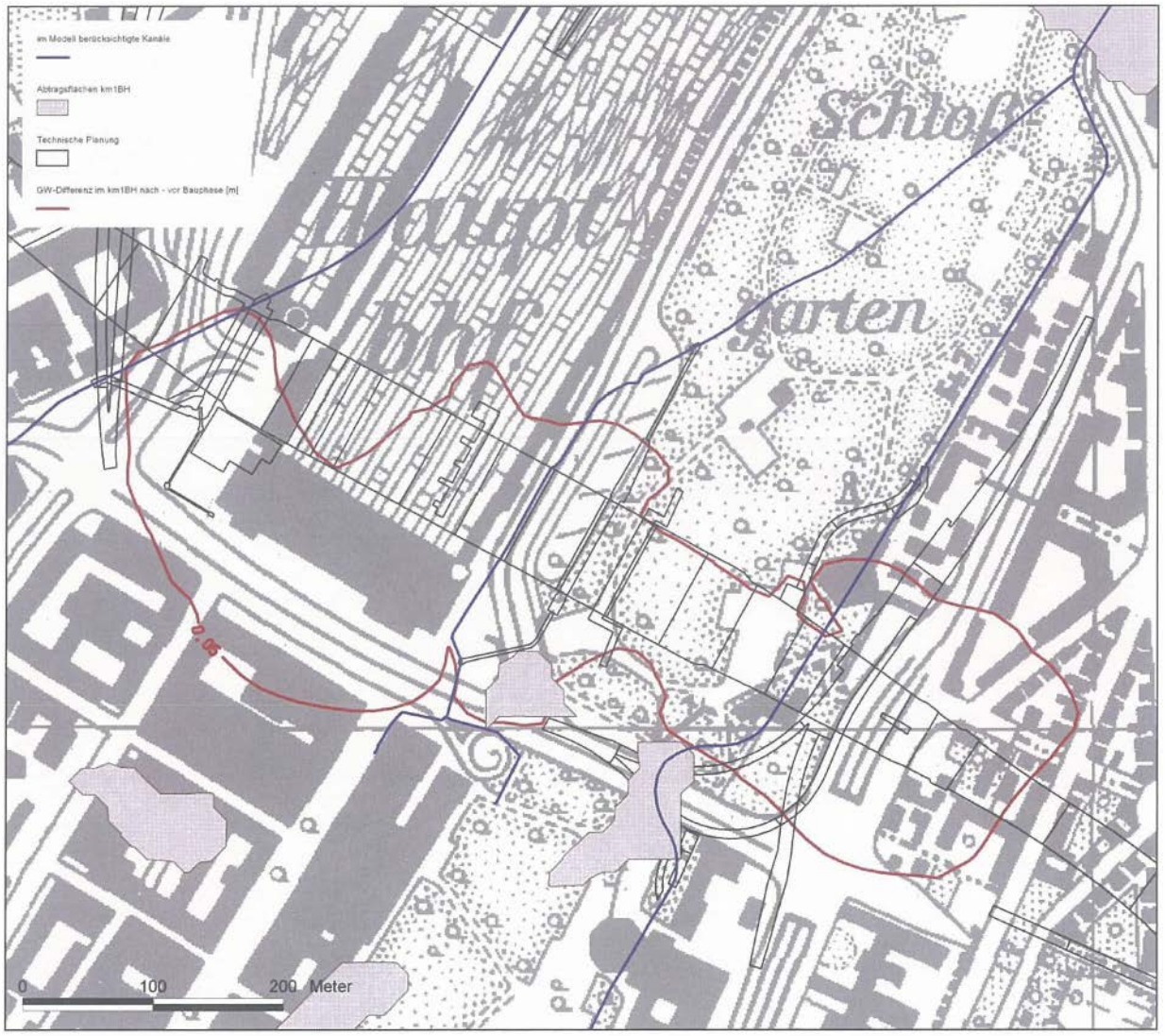


Abbildung 3-6: Potentialdifferenz im Bochinger Horizont vor und nach Fertigstellung des Tiefbahnhofs

Die zuvor beschriebenen Prognoseberechnungen wurden unter der Annahme durchgeführt, dass die im zentralen Nesenbachtal liegenden Kanäle auch nach Fertigstellung des Tiefbahn-

hofs in ihrem gegenwärtigen Ausbau vorliegen. Diese Annahme war nötig, um im Ergebnis der Differenzendarstellung ausschließlich die Wirkung des Tiefbahnhofs in Verbindung mit dem Umläufigkeitssystem darstellen zu können. Der tatsächliche Bauablauf sieht jedoch eine Unterdükerung des Tiefbahnhofs durch den Nesenbachkanal, den Kanal Cannstatter Straße sowie den Hauptsammler West vor. Aus diesem Grund werden diese Kanalabschnitte zwischen den jeweiligen Anschlussbauwerken nach Fertigstellung funktionslos, da diese rückgebaut werden und die neuen Kanalabschnitte als dicht anzusehen sind. Um somit quantifizieren zu können, inwieweit diese, im GWSM primär als Drainageelemente fungierenden Kanalabschnitte, Einfluss auf die Grundwasserströmungsverhältnisse nach ihrem Wegfall haben, wurde eine zweite Prognoseberechnung durchgeführt, die diesen Wegfall berücksichtigt.

Das Ergebnis für den quartären Grundwasserleiter ist wieder in Form eines Differenzenplanes in Abbildung 3-7 dargestellt.

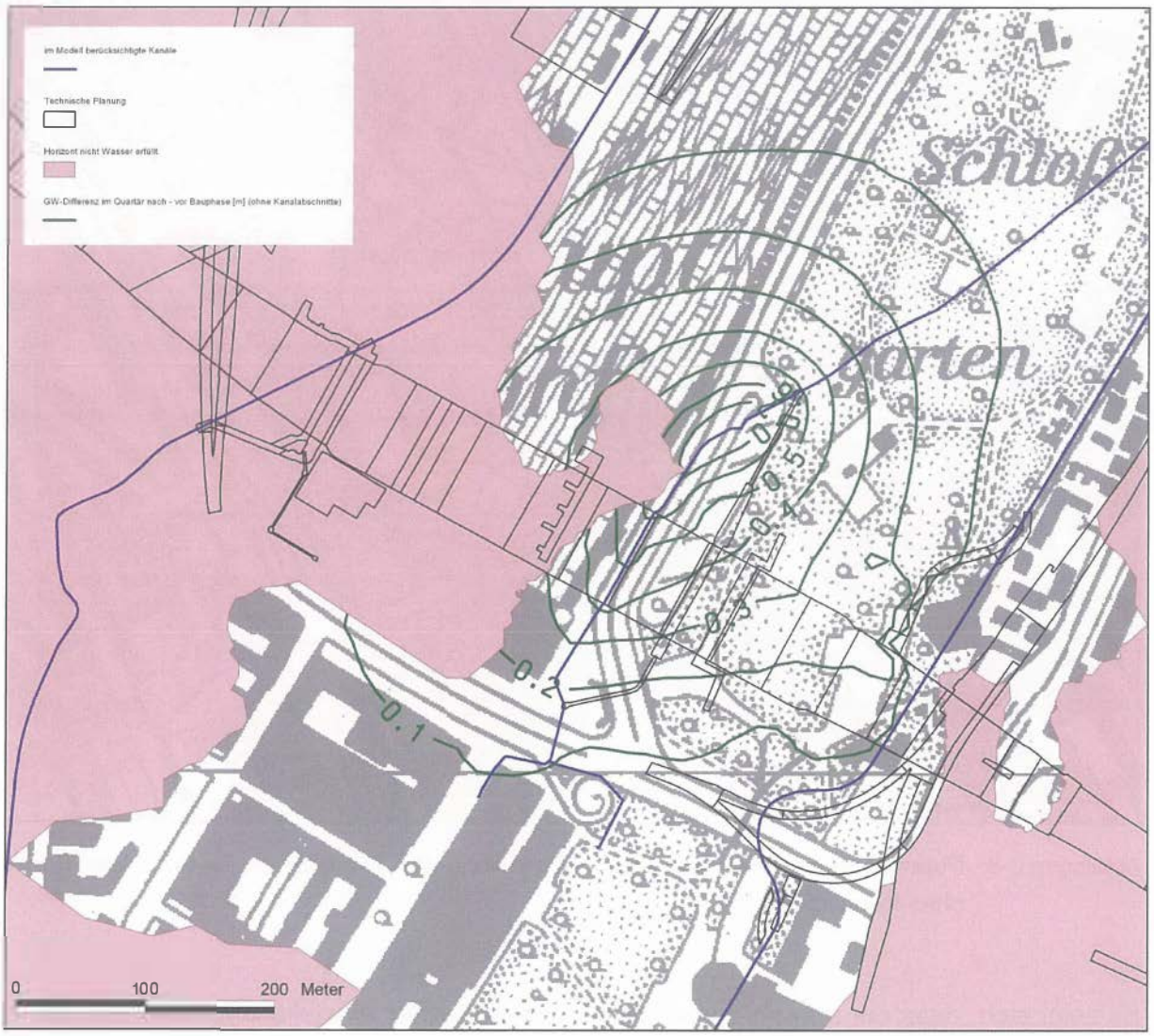


Abbildung 3-7: Potentialdifferenz im Quartär vor und nach Fertigstellung des Tiefbahnhofs ohne Kanalabschnitte

Die Grafik zeigt, dass sich insbesondere im Bereich des Kanals Cannstatter Straße eine Grundwasseraufhöhung von bis zu 0,7 m einstellt, wohingegen im Bereich des Nesenbachkanals nahezu keine Veränderung zu erwarten ist. Die sich einstellenden Aufhöhungsbeträge stehen damit in direkter Abhängigkeit von der Eingriffstiefe der jeweiligen Kanalabschnitte in die mittleren Grundwasserpotentialverhältnisse. Die aus diesen quartären Potentialaufhöhungen resultierenden Auswirkungen auf den Bochinger Horizont sind in Abbildung 3-8 dargestellt.

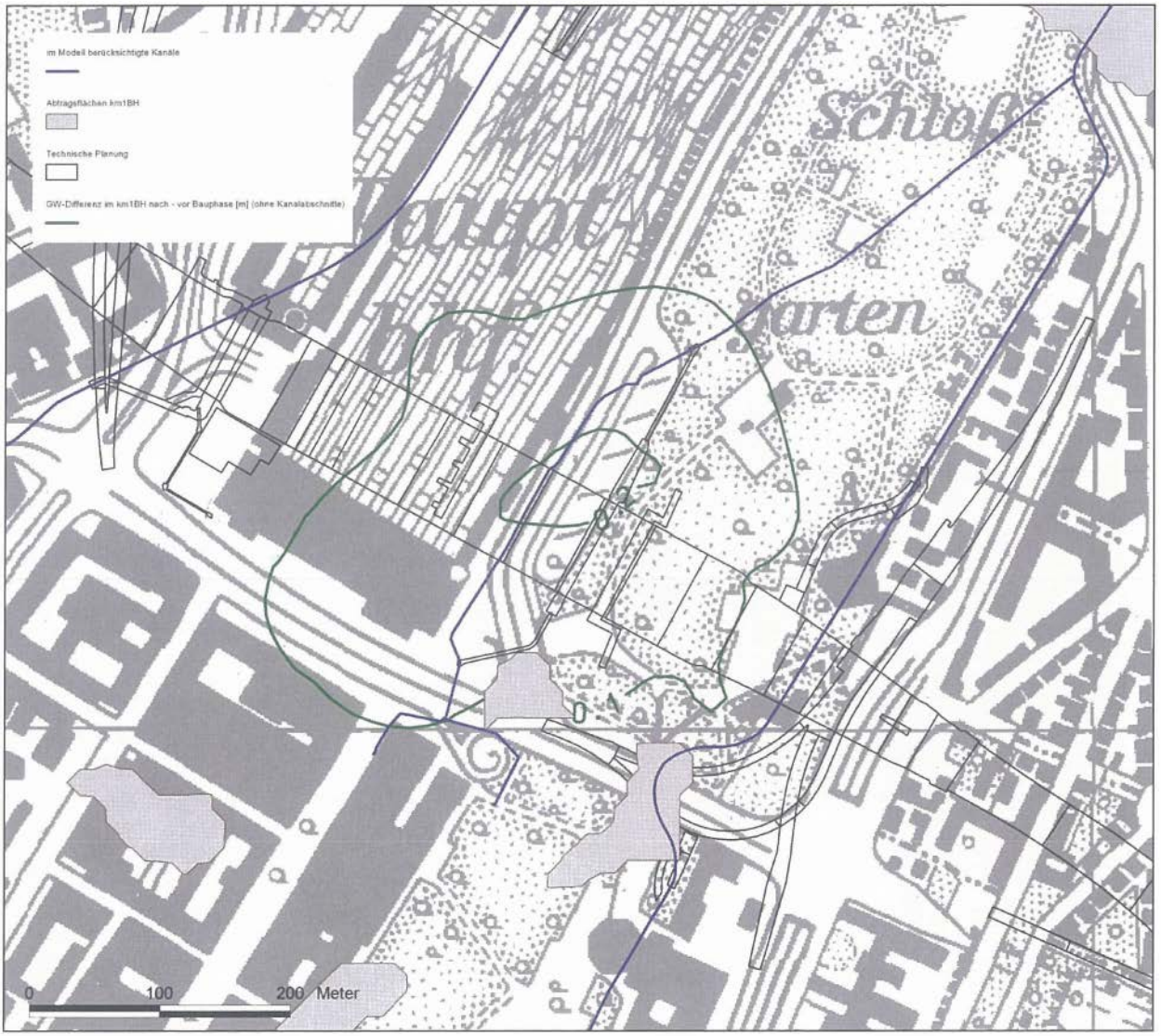


Abbildung 3-8: Potentialdifferenz vor und nach Fertigstellung des Tiefbahnhofs im Bochinger Horizont ohne Kanalabschnitte

Es zeigt sich, dass die sich im quartären Grundwasserleiter einstellenden Aufhöhungen von bis zu 0,7 m im tieferliegenden Bochinger Horizont maximale Aufhöhungen von bis zu 0,2 m induzieren.

Zusammenfassend bleibt somit festzustellen, dass die Dükerneubauten und die damit enfallenden, drainierend wirkenden alten Kanalabschnitte lokal zu Aufhöhungen führen werden. Es bleibt jedoch darauf hinzuweisen, dass die hier vorgestellten Ergebnisse nur qualitativer Natur sein können, da die im GWSM in Form von Randbedingungen implementierten Kanäle an keinen Messdaten (Abflussraten) kalibriert werden konnten.

3.5. Empfehlungen und Folgerungen für den Grund- und Mineralwasserschutz

Die durchgeführten Prognoserechnungen für den gesamten Bauablauf mit angepasstem Infiltrationskonzept zeigen auf, dass das Infiltrationskonzept wirkungsvoll dazu beiträgt, die durch die Eingriffe des Bauvorhabens bedingten wasserwirtschaftlichen Auswirkungen zu minimieren. Mit den in den einzelnen Bauschritten vorgesehenen Infiltrationen lassen sich generell wirksame Stützungen der Grundwasserleiter erreichen, die die Auswirkungen auf die Heil- und Mineralwasservorkommen und damit auf die Quellschüttungen an den Heil- und Mineralquellen reduzieren. Um jedoch unnötig hohe Kreislaufwasserraten zu vermeiden, ist eine laufende Überwachung und Steuerung der Infiltrationsbrunnen notwendig.

Zudem kann festgehalten werden, dass die Infiltrationen hinsichtlich der Reduzierung eines möglichen Mineralwasseraufstieges immer dann besonders wirkungsvoll sind, wenn die Infiltrationen in Grundwasserleiter erfolgen, die unterhalb der baubedingten Eingriffe liegen. Liegen die Infiltrationen und baubedingten Eingriffe bzw. Grundwasserhaltungen im gleichen Grundwasserleiter, wie dies zum Beispiel im Bereich der Teilbaugrube 4 der Stadtbahnverlegung Heilbronner Straße der Fall ist, zeigt sich eine geringere Wirksamkeit der Grundwasserstützungsmaßnahmen.

Im Einzelnen werden mit dem angepassten Infiltrationskonzept die nachfolgenden Minimierungen aus wasserwirtschaftlicher Sicht prognostiziert:

- Eine wirkungsvolle Stützung des quartären Grundwasserleiters außerhalb der Teilbaugruben des PFA 1.1
- Die Reduzierung der Druckspiegelabsenkungen im km1BH, besonders im zentralen Bereich der Baumaßnahme und am Südkopf des PFA 1.1
- Die Reduzierung der Druckspiegelabsenkungen in den Heil- und Mineralwasservorkommen
- Die Reduzierung der Mineralwasseraufstiegsbereiche aus dem Oberen Muschelkalk
- Die Reduzierung der maximalen Quellschüttungsrückgänge an den Heil- und Mineralquellen auf ca. 3,8 l/s
- Die Reduzierung der effektiven Grundwasserentnahmen

Die mit dem angepassten Infiltrationskonzept erzielten Minimierungen der wasserwirtschaftlichen Auswirkungen der Baumaßnahmen aller PFA erfordern jedoch Infiltrationsraten, die gegen Bautaktende je nach betrachtetem Bauschritt zwischen ca. 20 und ca. 50 l/s betragen, während die Wasserhaltungsraten Werte zwischen ca. 5 und ca. 100 l/s aufweisen. Besonders

im Bereich der Teilbaugrube 4 der Verlegung Stadtbahn Heilbronner Straße (Nordkopf), bei der die Wasserhaltung bis in die Infiltrationsschicht reicht (km1BH), sind die zu infiltrierenden Wasserraten während der ersten drei Bauschritte relativ groß, ohne eine signifikante adäquate Stützung des Grundwasservorkommens zu erzielen.

4. Zusammenfassung und Empfehlungen

Das Vorhaben des Bahn-Projektes Stuttgart 21 sieht im PFA 1.1 (Talquerung) die Umgestaltung des Hauptbahnhofes Stuttgart und im weiteren Verlauf die unterirdische Querung des Nesenbachtals (Bereich Hauptbahnhof und Mittlerer Schloßgarten) verbunden mit weiteren Folgebaumaßnahmen vor. Darüber hinaus werden im Stuttgarter Talkessel nach derzeitigem Projektstand zeitgleich weitere Baumaßnahmen (z.B. Städtebauprojekt Stuttgart 21) durchgeführt. Die Bauwerke kommen dabei im oberen Grundwasservorkommen zu liegen bzw. greifen in dieses ein; zudem liegen sie im engeren Zustrombereich der Heil- und Mineralquellen von Stuttgart-Bad Cannstatt und -Berg und unterschneiden z.T. die Druckfläche des Mineralwasservorkommens. Bei Eingriffen in den Gips- bzw. Lettenkeuper sind Auswirkungen der Baumaßnahmen auf das Mineralwasservorkommen bzw. die Heil- und Mineralquellen nicht auszuschließen.

Die Beurteilung der wasserwirtschaftlichen Auswirkungen der geplanten Baumaßnahmen des PFA 1.1, 1.2, 1.5, 1.6a und 1.6b auf die Grundwasservorkommen im Stuttgarter Talkessel sowie auf die Heil- und Mineralquellen von Stuttgart-Bad Cannstatt und -Berg erfolgt aufgrund der komplexen hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Situation im Stuttgarter Talkessel sowie des komplexen, instationären Bauablaufs mittels eines numerischen dreidimensionalen Grundwasserströmungsmodells.

Mit dem stationär und instationär geeichten und anhand des Messzeitraums 2007 – 2008 und dem Langzeitpumpversuch im Oberen Muschelkalk validierten und verifizierten Grundwasserströmungsmodell wurden für die einzelnen Baumaßnahmen im PFA 1.1 unter Einbeziehung der zeitgleich auszuführenden Baumaßnahmen im Stuttgarter Talkessel instationäre Prognoserechnungen für den geplanten Bauablauf durchgeführt.

Ziel der Prognoserechnungen war es,

(1) den bauzeitlichen Wasserandrang

(2) die bauzeitlich zu infiltrierenden Wasserraten

(3) die bauzeitlichen Veränderungen der Quellschüttungen an den Heil- und Mineralquellen

(4) die bauzeitlichen Veränderungen im oberen Grundwasserstockwerk

(5) die bauzeitlichen Veränderungen im Mineralgrundwasserleiter

zu ermitteln und das im instationären Grundwasserströmungsmodell berücksichtigte Infiltrationskonzept für MW-Verhältnisse auf seine Wirksamkeit zu überprüfen und zu optimieren. Die

Ergebnisse dieser Prognosen sind baugruben-/ tunnelabschnittsspezifisch in der Anlage 7 zusammengestellt.

Den numerischen Betrachtungen lag zunächst das planfestgestellte Infiltrationskonzept zugrunde, welches eine Infiltration über Infiltrationsbrunnen und die Sohlfilter fertiggestellter Teilbaugruben für jeden Bauschritt vorsieht. Die ersten Ergebnisse der Prognoserechnungen mit dem instationär geeichten Modell zeigten auf, dass die Sohlfilterinfiltration im PFA 1.1 aufgrund der höheren Durchlässigkeiten im Quartär und km1BH wenig sinnvoll ist und daher im abschließend angepassten Infiltrationskonzept nicht mehr berücksichtigt wurde. Darüber hinaus mussten die maximalen Infiltrationsraten im PFA 1.1 auf 2 l/s pro Brunnen begrenzt werden, um die sich ansonsten einstellenden hohen Kreislaufwassermengen zu begrenzen. Dieses angepasste und im instationären GWSM umgesetzte Infiltrationskonzept trägt wirkungsvoll dazu bei, die durch das Bauvorhaben bedingten wasserwirtschaftlichen Auswirkungen zu minimieren.

Im Einzelnen ergaben sich mit den durchgeführten Prognoseberechnungen, dass mit der Infiltration von gehobenen und aufbereiteten Wässern eine wirkungsvolle Stützung des quartären Grundwasserleiters im Umfeld der Teilbaugruben des PFA 1.1, wodurch Setzungen am Gebäudebestand vermindert werden können. Weiterhin ergibt sich eine Reduzierung der Druckspiegelabsenkung im km1BH, die besonders im zentralen Bereich der Baumaßnahme und am Südkopf des PFA 1.1 während der ersten drei Bauschritte und ab Bauschritt 4 im gesamten Bereich vorliegt. In Verbindung mit der wirkungsvollen Grundwasserstützung durch Infiltration im PFA 1.5 wird damit einhergehend auch das Ausmaß der Druckspiegelabsenkungen im Oberen Muschelkalk stark reduziert, was somit die Auswirkungen an den Heil- und Mineralquellen von Stuttgart-Bad Cannstatt und -Berg in starkem Umfang verringert. Durch das Aktivieren zusätzlicher Infiltrationsbrunnen in den 2 letzten Bauschritten wird gegen Ende der Baumaßnahmen das ursprüngliche Niveau der Quellschüttung der Heil- und Mineralquellen bereits überschritten, so dass hier ggf. baubegleitend früher die Infiltration im PFA 1.1 eingestellt werden kann.

Die bislang erzielten Resultate zeigen aber auch auf, dass die grundwasserstützenden Maßnahmen im Bereich des Nordkopfes des PFA 1.1 - vor allem durch die Wasserhaltung in der Teilbaugrube 4 der Verlegung Stadtbahn Heilbronner Straße während der ersten drei Bauschritte – nur wenig wirksam sind, da trotz relativ hoher Infiltrationsraten in den Grundwasserleiter des km1BH nur eine mäßige Stützung des Grundwasserleiters in diesem Teilbereich der Baumaßnahme möglich ist. Dies ist ursächlich darin begründet, dass der Eingriff im Bereich der Teilbaugrube 4 bis in den km1BH mit relativ hohen Durchlässigkeiten reicht, in welchen auch die Infiltrationen erfolgen.

Mit der abschließend durchgeführten Prognoseberechnung zur Ausweisung der potentiellen Aufstauwirkung des fertig gestellten Tiefbahnhofs im PFA 1.1 konnte gezeigt werden, dass das in das Bauwerk integrierte Grundwasserumläufigkeitssystem eine Aufhöhung nahezu vollständig unterbindet und somit die im Planfeststellungsbeschluss festgelegte Obergrenze von 0,2 m deutlich unterschritten wird.

Das instationäre Grundwasserströmungsmodell ist gemäß Planfeststellung bauzeitlich weiter zu betreiben und gegebenenfalls anhand der bauzeitlichen gewonnenen Erkenntnisse und Messergebnisse fortzuschreiben und anzupassen, um die Prognosefähigkeit des Modells weiter zu verbessern.

Westheim / Ettlingen / Stuttgart / Dresden, den 26.04.2011

Die Bearbeiter:

Dipl.-Geol. Dr. F. Wenderoth

Dipl.-Geol. Dr. T. Westhoff

Dipl.-Geol. K. Kernbach

Dipl.-Math. Dr. K. Schott

5. Verwendete Unterlagen

ARGE WASSER UMWELT GEOTECHNIK (2001)

Planfeststellungsabschnitt 1.1, Talquerung mit Hauptbahnhof – Geologische, hydrogeologische, geotechnische und wasserwirtschaftliche Stellungnahme, Teil 1: Geologie und Hydrogeologie – Westheim, 2001.

ARGE WASSER UMWELT GEOTECHNIK (2002)

Planfeststellungsabschnitt 1.5, Zuführung Feuerbach/Bad Cannstatt, S-Bahn-Anbindung - hydrogeologische, geotechnische und wasserwirtschaftliche Stellungnahme, Teil 1: Geologie und Hydrogeologie – Westheim, 2002.

ARGE WASSER UMWELT GEOTECHNIK (2003)

Geologische, hydrogeologische, geotechnische und wasserwirtschaftliche Stellungnahmen zum 5. EKP, Teil 1: Geologie und Hydrogeologie für den PFA 1.1, Talquerung mit Hauptbahnhof, 2003.

ARGE WASSER UMWELT GEOTECHNIK (2004)

Geologische, hydrogeologische, geotechnische und wasserwirtschaftliche Stellungnahmen zum 5. EKP, Teil 1: Geologie und Hydrogeologie für den PFA 1.2 - Fildertunnel, 2004.

ARGE WASSER UMWELT GEOTECHNIK (2005a)

Geologische, hydrogeologische, geotechnische und wasserwirtschaftliche Stellungnahmen zum 5. EKP, Teil 1: Geologie und Hydrogeologie für den PFA 1.5 – Zuführung Feuerbach/Bad Cannstatt, S-Bahn-Anbindung, 2005.

ARGE WASSER UMWELT GEOTECHNIK (2005b)

Geologische, hydrogeologische, geotechnische und wasserwirtschaftliche Stellungnahmen zum 5. EKP, Teil 1: Geologie und Hydrogeologie für den PFA 1.6 – Zuführung Ober-/Untertürkheim, Wartungsbahnhof, 2005 (Vorabzug).

ARGE WASSER UMWELT GEOTECHNIK (2005c)

Simulation zur Ermittlung der wasserwirtschaftlichen Auswirkungen der Spundwanddurchsickerung offener Baugruben im PFA 1.6 (Zuführung Ober-/Untertürkheim), 2005.

ARGE WASSER UMWELT GEOTECHNIK (2007)

Grundwasserströmungsmodell Stuttgarter Bucht – Ergebnisse der Aquifersystemanalyse als Basis für die instationäre Grundwassermodellierung (Stand: Grundwasserganglinienauswertung bis 12/2006), 2007

ARGE WASSER UMWELT GEOTECHNIK (2009)

Grundwasserströmungsmodell Stuttgarter Bucht – Ergebnisse der Modellkonzeption als Basis für die instationäre Grundwassermodellierung, 2009

ARGE WASSER UMWELT GEOTECHNIK (2010)

Langzeitpumpversuch im Oberen Muschelkalk im Zeitraum 25.01.2010–30.01.2010, Dokumentation, 30.07.2010

ARGE WASSER UMWELT GEOTECHNIK (2010)

Aufbau, Eichung und Validierung des instationären Grundwasserströmungsmodells, 2010 (Fassung vom 21.04.2011)

AMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1994)

Hydrogeologische Bewertung privater und städtischer Großbauvorhaben im zentralen Stadtgebiet Stuttgart in Hinblick auf eine quantitative Beeinträchtigung der Heil- und Mineralquellen von Stuttgart-Bad Cannstatt und –Berg, Stuttgart 1994

AMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1996)

Hydrogeologisches Modell Stuttgarter Talkessel (Nesenbachtal). - Amt für Umweltschutz Stuttgart, Gutachten Nr. 41/95-4, Stuttgart 1996.

AMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1998)

Hydrogeologisches Systemmodell Stuttgart. - Amt für Umweltschutz Stuttgart, Gutachten Nr. 41/98-1, Stuttgart 1998.

AMT FÜR UMWELTSCHUTZ (2008)

MAnagement of Groundwater at Industrial Contaminated sites (MAGIC) – Hydrogeologisches Modell Stadtgebiet Stuttgart – Feuerbach, Abschlussbericht, Stuttgart 2008.

GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1994)

Geologisch-hydrogeologische Dokumentation der Tiefbaumaßnahme „S-Bahn Stuttgart, Baulos 5/2, Lautenschlagerstraße“, Stuttgart 05.05.1994.

GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1997)

Geologische Karten für den Projektbereich Stuttgart 21 (Talbereich Nesenbachtal), GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG, Stuttgart 1997.

GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1998)

Hydrogeologisches Abschlussgutachten zur Abgrenzung des Wasserschutzgebietes für die Trinkwasserfassungen der Neckarwerke Stuttgart AG (NWS) in Stuttgart-Münster, -Hofen und –Mühlhausen (LfU-Nummer. 151), Freiburg 1998.

igi NIEDERMEYER INSTITUTE (1995)

ABS/NBS Stuttgart - Augsburg: Ingenieurgeologische, hydrogeologische und wasserwirtschaftliche sowie ökologische, schall- und erschütterungstechnische Aspekte im Hinblick auf die Planungen Stuttgart 21". Ingenieurgeologische, hydrogeologische und wasser-

wirtschaftliche Stellungnahme, 2. EKP. igi NIEDERMEYER INSTITUTE, Westheim 1995.

igi NIEDERMEYER INSTITUTE (1996)

ABS/NBS Stuttgart - Augsburg: Ingenieurgeologische, hydrogeologische und wasserwirtschaftliche sowie ökologische und schalltechnische Beratungen. Band 12, Teilbericht 9: Ingenieurgeologische, hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Stellungnahme - 2. Erkundungsprogramm, Stuttgart 21 Vorprojekt, Teil 2: Ergebnisse und Folgerungen; igi NIEDERMEYER INSTITUTE, Westheim/Stuttgart, September 1996.

igi NIEDERMEYER INSTITUTE (1997)

ABS/NBS Stuttgart - Augsburg: Ingenieurgeologische, hydrogeologische und wasserwirtschaftliche sowie ökologische und schalltechnische Beratungen. Band 12, Teilbericht 15: Hydrogeologische und wasserwirtschaftliche Stellungnahme zum 3. Erkundungs- und Untersuchungsprogramm (3. EKP), Stuttgart (Lose 1 - 3), igi NIEDERMEYER INSTITUTE, Westheim/Stuttgart, Januar 1997.

igi NIEDERMEYER INSTITUTE (1998)

ABS/NBS Stuttgart - Augsburg, Bereich Stuttgart - Wendlingen mit Flughafenanbindung, PFA 1.1 - 1.6. Monitoring Wasser und Boden. igi Niedermeyer Institute, Westheim/Stuttgart, März 1998.

igi NIEDERMEYER INSTITUTE (1998)

ABS/NBS Stuttgart - Augsburg, Bereich Stuttgart - Wendlingen mit Flughafenanbindung, Band 12, Teilbericht 24: Ingenieurgeologische, hydrogeologische und wasserwirtschaftliche sowie ökologische, schall- und erschütterungstechnische Aspekte im Hinblick auf die Planungen Stuttgart 21 - Numerische Grundwasserströmungs- und -bilanzbetrachtungen im Stuttgarter Talkessel. igi Niedermeyer Institute, Westheim/Stuttgart, Juni, 1998.

igi NIEDERMEYER INSTITUTE (2000)

ABS/NBS Stuttgart - Augsburg, Bereich Stuttgart - Wendlingen mit Flughafenanbindung, Teil 3, Anhang 1, Teilbericht 1: PFA 1.1, Talquerung mit Hauptbahnhof. Geologische, hydrogeologische, geotechnische und wasserwirtschaftliche Stellungnahme. igi Niedermeyer Institute, Westheim, 2000.

INGENIEURGESELLSCHAFT KuP (2010)

Schüttungsmessung an den Heil- und Mineralquellen während des Langzeitpumpversuches im Oberen Muschelkalk, Juli 2010.

KAPPELMEYER ET. AL. (1994)

Temperaturmessungen im Neckar zum Nachweis von Mineralwasseraustritten – Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, 2/1994: 141-156; Stuttgart 1994.

KOBUS, H. (2010)

Bericht 2010 / 87 - Arbeitskreis Grundwassererkundung und –modellierung.- Grundwassermodelle Stuttgart – Bad Cannstatt: Gemeinsame Datenbasis, Datenbank und Anforderungen an die instationäre Modellierung, Stand Mai 2010; Stuttgart

WASY (2009)

FEFLOW 5.4 – User's Manual, WASY GmbH, Berlin 2009.