

Bericht

zur Ermittlung der anfallenden Drainagemenge
an ein Tunnelbauwerk

im Rahmen des Projektes
„Ausbau B3 – Südschnellweg“

der Niedersächsischen Landesbehörde für
Straßenbau und Verkehr (NLStBV)

Impressum

Auftraggeber: Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr
(NLStBV)

Göttinger Chaussee 76 A

30453 Hannover

Auftragnehmer: GeoDienste GmbH,

Nienburger Str. 2, 31515 Wunstorf

Berichtsname: 0140161_drainagebericht_stand_20190930.docx

Seitenzahl: 14

Abbildungen: 3

Tabellen: 1

Anhänge: -

Anlagen: 1

CD-ROM:

Datum: 30.09.2019

Ausfertigung:

GeoDienste GmbH

Bearbeiter:



Dr. Axel Rogge, Dipl.-Geol. (GF)



Dr. Enrico Hamann, Dipl.-Geol.

Inhaltsverzeichnis

1. Verwendete Unterlagen	5
2. Veranlassung	5
3. Vorgehensweise	6
3.1. Numerische Implementierung der Drainage	6
3.2. Drainagemenge pro Zeiteinheit	7
3.3. Drainagemenge pro Ereignis höchster Grundwasserstände	7
4. Ergebnisse	9
4.1. Drainagemengen pro Zeiteinheit	9
4.1.1. Szenario 1 - kein Tunnel	9
4.1.2. Szenarien 2 und 3 - Tunnel ohne/mit Drainage	10
4.2. Drainagemengen pro Ereignis hoher Grundwasserstände	12
5. Zusammenfassung	14

Anlagen

- 1 GeoDienste GmbH (2019): B3 – Südschnellweg - Neuberechnung des höchsten zu erwartenden Grundwasserstandes entlang der geplanten Tunneltrasse. NLStBV, 08.05.2019

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Statistische Analyse der Dauer von Ereignissen höchster Grundwasserstände anhand der Grundwasserganglinie der Grundwassermessstelle 40997 unter Annahme eines Grundwasseranstiegs um 20 cm und daraus resultierende Drainagemengen pro Ereignis höchster Grundwasserstände bei Projektion auf die Tunneltrasse.....	13
--------	---	----

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Verdeutlichung der Häufigkeit des „Anspringens“ einer Drainage auf Höhe des berechneten höchsten Grundwasserstandes an der Tunneltrasse anhand der tatsächlichen sowie um 20 bzw. 40 cm nach oben verschobenen GW-Ganglinien der beiden GWM 40997 und 60025 (aus [4], Abb. 4).	8
Abb. 2	Numerische Simulation des höchsten zu erwartenden Grundwasserstandes durch Erhöhung der Grundwasserneubildung im Grundwasserströmungsmodell auf 130 %	10
Abb. 3	Numerisch ermittelte Grundwasserhöhen für die Simulationen ohne Tunnelbauwerk, mit Tunnelbauwerk (ohne Drainage) und mit Tunnelbauwerk (mit Drainage).	11

1. Verwendete Unterlagen

- [1] GeoDienste GmbH (2018): Bericht zur Erstellung eines numerischen Grundwasserströmungsmodells im Rahmen des Projektes „Ausbau B3 – Südschnellweg“ der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (NLStBV). Stand 25.07.2018.
- [2] GeoDienste GmbH (2018): Bericht zur Festlegung des bemessungsrelevanten Grundwasserstandes im Rahmen des Projektes „Ausbau B3 – Südschnellweg“ der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (NLStBV). Stand 22.08.2018.
- [3] GeoDienste (2018): Bericht zur Ermittlung der anfallenden Drainagemenge an ein Tunnelbauwerk im Rahmen des Projektes „Ausbau B3 – Südschnellweg“ der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (NLStBV). Stand 25.07.2019.
- [4] GeoDienste (2019): Stellungnahme zu B3 Südschnellweg - Neuberechnung des höchsten zu erwartenden Grundwasserstandes entlang der geplanten Tunneltrasse. NLStBV Hannover. Stand 08.05.2019.
- [5] Schüssler Plan (2019): Ausbau der B3 (Südschnellweg) - Protokoll B3-20190213 - Abstimmung zur Neuberechnung des höchsten GW-Standes. 01.04.2019.
- [6] INGE B3 (2018): B3/Südschnellweg Hannover, Bau-km 0+037 - 3+855, Baugruubenpläne km 2+000 bis km 2+416, km 2+416 bis km 2+832, km 2+832 bis km 3+234 und km 3+234 bis km 3+646. Stand 24.07.2018.

2. Veranlassung

Die Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr Hannover (NLStBV) plant, den Abschnitt des Süd-Schnellwegs (B3, B6 und B65) zwischen dem Landwehrkreisel im Westen und der Unterführung der Bahntrasse der DB im Osten zu erneuern. Als bauliche Lösung zur Querung der Hildesheimer Straße ist ein Tunnelbauwerk geplant. Da ein Tunnelbauwerk bis in den Grundwasserkörper reicht, kann durch die Querschnittverringerung und die damit verbundene Wirkung als hydraulische Barriere ein Aufstau im Grundwasseranstrom und eine Absenkung im Abstrom nicht ausgeschlossen werden.

Zur Vermeidung eines Grundwasseraufstaus über dem höchsten zu erwartenden Grundwasserstand hinaus ist eine Drainage auf der südlichen Tunnelseite geplant, die den

Grundwasserstand reguliert. Um die zu erwartenden Drainagemengen abzuschätzen, hat die Geodienste GmbH Berechnungen unter Verwendung des numerischen Grundwasserströmungsmodells [1] und des seinerzeit angenommenen höchsten zu erwartenden Grundwasserstandes [2] angestellt und eine Drainagemenge von ca. 5 l/s bei Überschreitung des höchsten zu erwartenden Grundwasserstandes prognostiziert [3].

In einer weiteren Stellungnahme wurde der höchste zu erwartende Grundwasserstand unmittelbar am geplanten Tunnelbauwerk und im Nahbereich des Tunnelbauwerkes modifiziert [4] (siehe Anlage 1). Daraufhin erfolgte die Festlegung eines neuen höchsten zu erwartenden Grundwasserstandes im Nahbereich der Tunneltrasse sowie der Höhe der Drainage. Die GeoDienste GmbH wurde beauftragt, die aufgrund dieser veränderten Randbedingungen zu erwartende Drainagemenge zu prognostizieren.

3. Vorgehensweise

Für weitere Bemessungen sind zwei Größen erforderlich, die Drainagemenge pro Zeiteinheit und die Drainagemenge pro Ereignis höchsten Grundwasserstandes. Erstere wird numerisch prognostiziert, zweitens überschlägig aus den numerischen Ergebnissen sowie aus Ganglinien ermittelten Frequenzen und der Dauer einzelner Ereignisse höchster Grundwasserstände abgeschätzt.

3.1. Numerische Implementierung der Drainage

Die Drainage stellt eine Randbedingung 3. Art dar, mit der Besonderheit, dass Wasser nur aus dem Modell herausfließen kann, d.h. Grundwasser kann nur in die Drainage fließen, nicht umgekehrt. Bei einer solchen Randbedingung werden die Drainagehöhe sowie der Eintrittswiderstand in die Drainage vorgegeben. Die Belegung der Randbedingung erfolgte über die gesamte Länge der Drainage.

Die Berechnung der Drainagemenge erfolgt nach folgenden Gleichungen:

$$C_d = K \cdot L$$

$$Q_d = C_d \cdot (h - d)$$

mit C_d - Hydraulische Durchlässigkeit der Modellzelle, K - Hydraulische Durchlässigkeit der Drainage, L - Länge der Drainage innerhalb der Modellzelle, Q_d - Drainagerate, h - Grundwasserstand, d - Drainagehöhe. Wenn also der Grundwasserstand (h) höher als die Drainagehöhe (d) ist, fließt Grundwasser gegen einen Widerstand (C_d) in die Drainage.

Letzterer ergibt sich aus der hydraulischen Durchlässigkeit der Drainage (K) und seiner Länge in der jeweiligen Modellzelle (L).

Im Modell wurde d mit der tatsächlichen Drainagehöhe und K initial mit einem Wert von $1e-4$ m/s belegt. Letzterer entspricht einer hohen Durchlässigkeit. Aufgrund von numerischen Problemen (Konvergenz, Massenbilanz) mit diesen initialen Vorgaben wurden d und K variiert bzw. so kombiniert, bis eine numerische Lösung möglich war. Kriterium für eine plausible Lösung war, dass die resultierenden Grundwasserspiegelhöhen nahe an der Drainagehöhe, aber auf jeden Fall nicht höher als die Drainagehöhe lagen (Zielfunktion). Das wurde mit Werten von K zwischen $1e-5$ und $1e-3$ m/s erreicht.

3.2. Drainagemenge pro Zeiteinheit

Unter Verwendung des stationären numerischen Grundwasserströmungsmodells zur Untersuchung des Einflusses des geplanten Tunnelbauwerkes wurden drei Szenarien simuliert, um die anfallende Drainagemenge pro Zeiteinheit zu ermitteln:

1. Szenario ohne Tunnel zur Einstellung des höchsten zu erwartenden Grundwasserspiegels im Nahbereich der Tunneltrasse ($HGW_{Langzeit}$ in Stellungnahme [4], siehe Anlage 1). Die Einstellung des Wasserstandes erfolgt über eine einheitliche Erhöhung der Grundwasserneubildung.
2. Szenario mit Tunnel ohne Drainage unter Verwendung der in Szenario 1 ermittelten Grundwasserneubildung
3. Szenario mit Tunnel mit Drainage unter Verwendung von Szenario 2 und Implementierung der Drainage. Die Höhenlage der Drainage entspricht dem in der Stellungnahme [4] beschriebenen ermittelten $HGW_{2017/18}$ (siehe Anlage 1).

3.3. Drainagemenge pro Ereignis höchster Grundwasserstände

Die insgesamt anfallende Drainagemenge pro Ereignis höchster Grundwasserstände lässt sich nur überschlägig ermitteln.

Die prognostizierte Drainagemenge pro Zeiteinheit in Szenario 3 repräsentiert die Wassermenge, die anfallen würde, wenn der hohe Grundwasserstand ein stationärer Zustand wäre. Tatsächlich wurde der festgelegte höchste Grundwasserstand in der Vergangenheit nur kurzzeitig (mehrere Tage) maximal einmal pro Jahr erreicht (siehe Stellungnahme [4])

in Anlage 1, Abb. 3). Durch den prognostizierten Aufstau im Grundwasseranstrom [1] erhöht sich die Frequenz sowie die Dauer des tatsächlichen Wirkens der Drainage entsprechend des Betrags des Aufstaus. Wie in Abb. 1 zu erkennen, ist die Frequenz und die Dauer des Wirkens der Drainage bei einem prognostizierten Grundwasseranstieg um > 40 cm größer als bei einem Anstieg um nur > 20 cm. Da für etwa $\frac{3}{4}$ der Drainagestrecke ein Aufstau > 20 cm prognostiziert wird, aber nur für $\frac{1}{4}$ der Drainagestrecke ein Aufstau von > 40 cm (siehe Modellbericht [1], Anhang 9), beziehen sich nachfolgende Mengenabschätzungen in erster Näherung auf die Frequenz und die Dauer des Wirkens der Drainage bei einem Aufstau von > 20 cm. Weiterhin ist bei der Abschätzung zu berücksichtigen, dass ein Grundwasseranstieg auf den höchsten Grundwasserstand nicht augenblicklich, sondern stetig erfolgt, ebenso die nachfolgende Absenkung. Daher wurden ermittelte Drainagemengen für ein Ereignis höchster Grundwasserstände in erster Näherung mit dem Faktor 0,5 multipliziert.

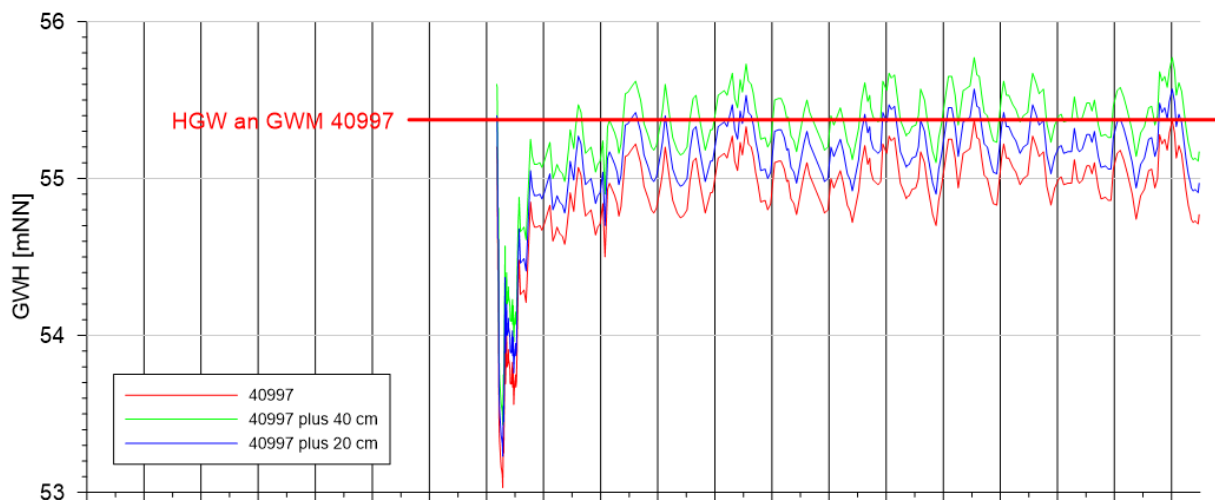


Abb. 1 Verdeutlichung der Häufigkeit des „Anspringens“ einer Drainage auf Höhe des berechneten höchsten Grundwasserstandes an der Tunneltrasse anhand der tatsächlichen sowie um 20 bzw. 40 cm nach oben verschobenen GW-Ganglinien der beiden GWM 40997 und 60025 (aus [4], Abb. 4).

4. Ergebnisse

4.1. Drainagemengen pro Zeiteinheit

4.1.1. Szenario 1 - kein Tunnel

Grundlage für das Szenario zur Simulation des höchsten zu erwartenden Grundwasserstandes vor Beginn der Tunnelbaumaßnahmen bildet das Kalibriermodell, das mittlere hydrologische Verhältnisse repräsentiert [1].

Laut Vorgabe ist zu ermitteln, wieviel Wasser der Drainage zufließt, wenn der Grundwasserstand den höchsten zu erwartenden Grundwasserstand nicht überschreiten soll. Beim höchsten zu erwartenden Grundwasserstand handelt es sich um einen konstruierten Grundwasserstand aus gemessenen Höchstständen an einzelnen Grundwassermessstellen zu verschiedenen Zeiten [4] (siehe Anlage 1). Daher ist dieser Grundwasserstand kein natürlicher (realer) Systemzustand, wohingegen das verwendete Modell auf Grundlage realer Systemzustände geeicht ist (mittlerer sowie mittlerer hoher Grundwasserstand). Um einen Wasserstand im Grundwasser simulieren zu können, der im Mittel auf Höhe des höchsten zu erwartenden Grundwasserstandes liegt, wurde die Grundwasserneubildung im Modell einheitlich um 30 % erhöht (Abb. 2). Zum Vergleich, erfahrungsgemäß muss zur Simulation eines mittleren hohen Grundwasserstandes maximal 10 bis 20 % Grundwasserneubildung aufgeschlagen werden. Somit erscheint die angesetzte Erhöhung der Neubildung für einen höchsten Grundwasserstand plausibel.

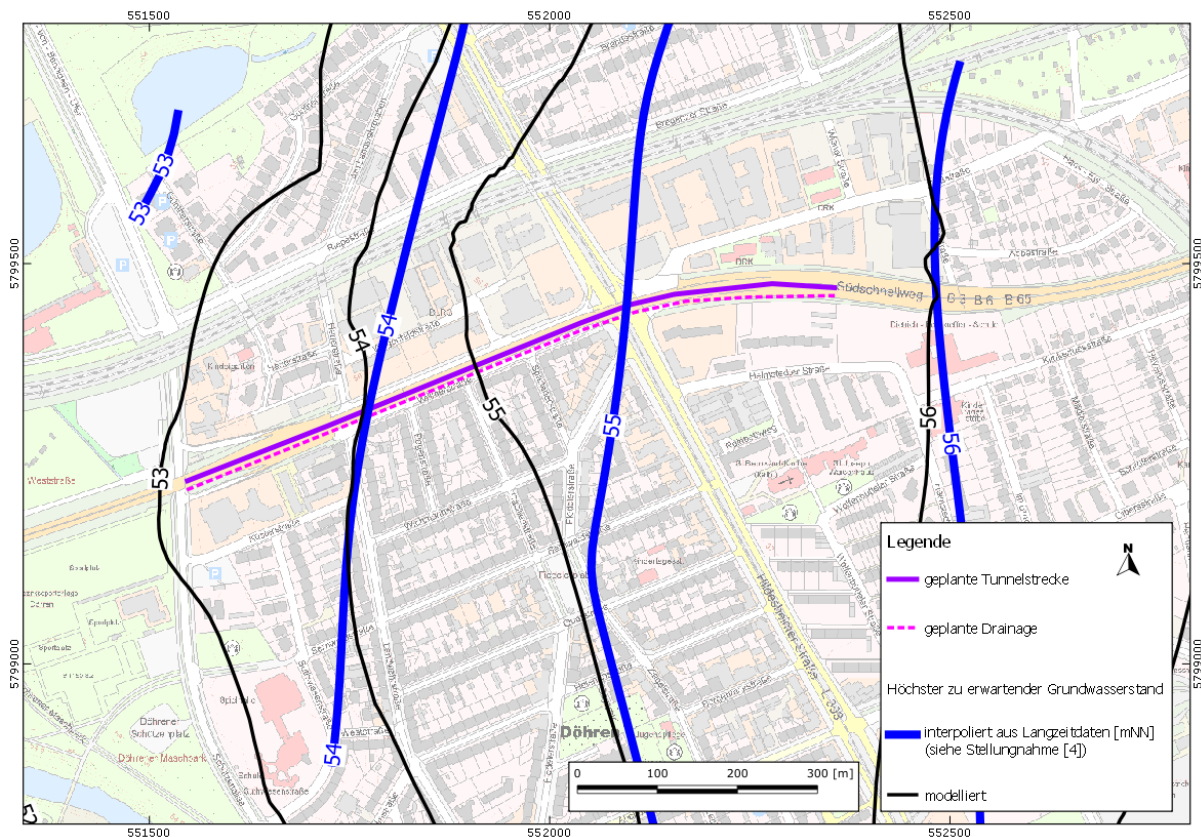


Abb. 2 Numerische Simulation des höchsten zu erwartenden Grundwasserstandes durch Erhöhung der Grundwasserneubildung im Grundwasserströmungsmodell auf 130 %

4.1.2. Szenarien 2 und 3 - Tunnel ohne/mit Drainage

Grundlage für die Szenarien 2 und 3 bildet das Szenario 2 „Teilabsperzung ohne Überströmung“ im Modellbericht [1]. In diesem Szenario reicht der Tunnelverbau von der Geländeoberkante z.T. bis in das Festgestein, im Bereich des westlichen Tunnelportals bis Bau-km 2+600 sowie des östlichen Portals bis Bau-km 3+000 kann der Tunnel unterströmt werden (siehe Tunnellage in Anhang 4 in [1]).

Die Drainage im Modell wurde als Randbedingung 3. Art entlang der gesamten Tunnelstrecke südlich des Tunnels implementiert. Dabei wird eine Drainagehöhe und eine Durchlässigkeitsbeiwert für die Drainage vorgegeben. An einer Drainage-Randbedingung wird Wasser aus dem System herausgenommen, wenn der Grundwasserstand höher als die Drainagehöhe ist. Durch Modifikation der Drainageparameter erfolgte die Anpassung eines Zustandes, in dem der Grundwasserstand mit Drainage entlang der Trasse unter der für die Drainage festgelegten Höhe liegt.

In Abb. 3 sind die Wasserstände für die Simulationen ohne Tunnelbauwerk sowie mit Tunnelbauwerk mit und ohne Drainage dargestellt. Wird das Tunnelbauwerk in das Modell implementiert, liegt der Grundwasserstand südlich des Tunnelbauwerkes erwartungsgemäß höher, nördlich niedriger als ohne Tunnelbauwerk. Mit implementierter Drainage sinkt der Grundwasserstand überall unterhalb des Grundwasserstandes ohne Drainage.

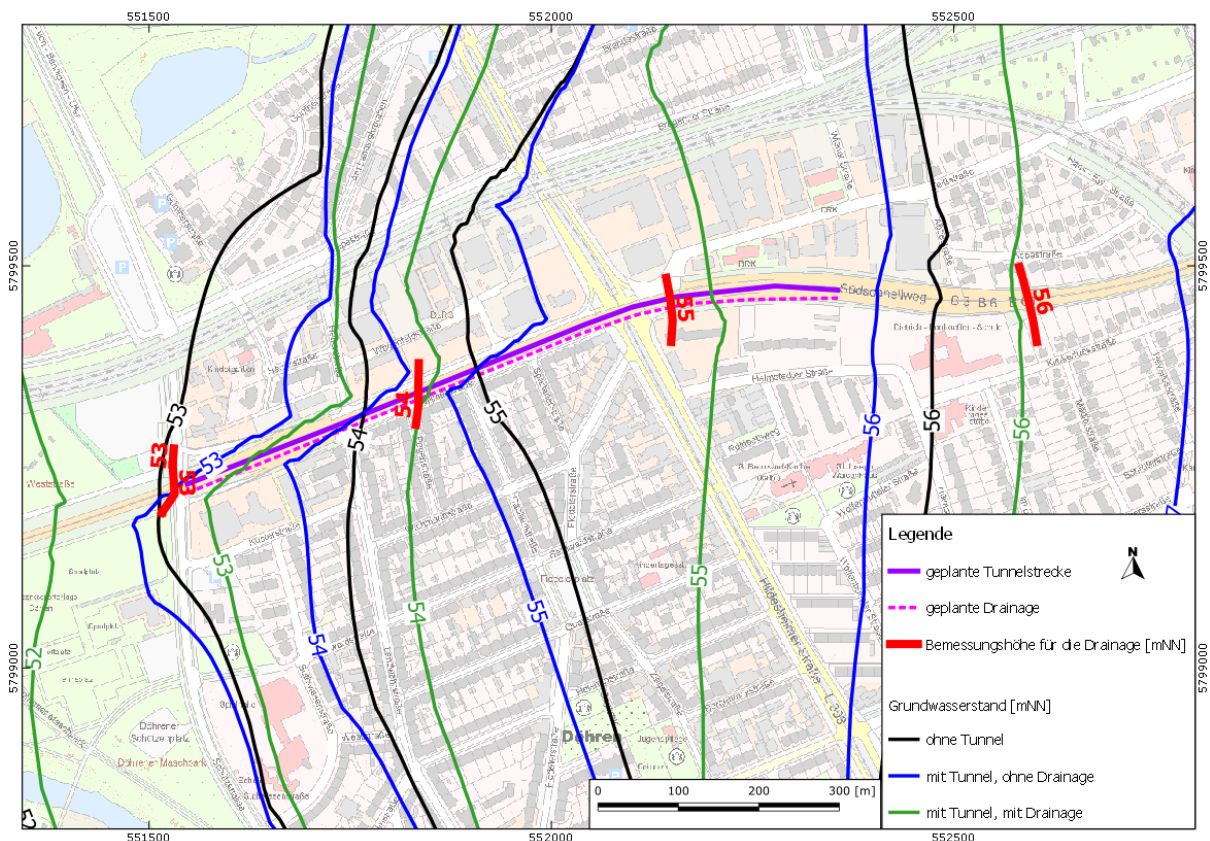


Abb. 3 Numerisch ermittelte Grundwasserhöhen für die Simulationen ohne Tunnelbauwerk, mit Tunnelbauwerk (ohne Drainage) und mit Tunnelbauwerk (mit Drainage).

Im Ergebnis der Simulation des Tunnelbauwerkes mit Drainage fällt insgesamt entlang des Tunnelbauwerkes eine Drainagemenge von ca. 10 l/s an. Aufgrund der Stationarität des numerischen Modells gilt diese Rate allerdings nur für den kurzen Zustand tatsächlich höchsten Grundwasserstandes. In der Realität steigt das Grundwasser jedoch stetig bis zum Höchststand an und sinkt auch wieder stetig ab. Somit kann die ermittelte stationäre Drainagerate im Hinblick auf die mittlere Drainagemenge pro Ereignis höchster Grundwasserstände mathematisch in erster Näherung um ein Faktor 0,5 korrigiert werden.

4.2. Drainagemengen pro Ereignis hoher Grundwasserstände

Die insgesamt anfallende Drainagemenge pro Ereignis höchster Grundwasserstände wurde überschlägig ermittelt (siehe Vorgehensweise Kap. 3). Dazu wurde basierend auf der Grundwasserganglinie der Grundwassermessstelle 40997 (siehe Abb. 1) die Anzahl der Monate pro Jahr ermittelt, an denen der Grundwasserstand bei Annahme eines Grundwasseraufstaus von 20 cm oberhalb des höchsten gemessenen Grundwasserstandes an der Messstelle liegt (Tab. 1). Während in einigen Jahren kein Grundwasserhöchststand auftritt und somit die Drainage nicht anspringen würde, dauert der Grundwasserhöchststand in anderen Jahren bis zu 5 Monate. Zur Abschätzung der anfallenden Drainagemenge pro Jahr wurden die berechneten statistischen Maßzahlen für die Dauer eines Grundwasserhöchststands-Ereignisses (min, max, \emptyset) auf die Tunneltrasse projiziert und auf die halbe prognostizierte Drainagemenge von 5 l/s bezogen (Halbierung der prognostizierten stationären Drainagemenge aufgrund der Stetigkeit von Grundwasserspiegelanstieg und -absenkung, siehe Vorgehensweise in Kap. 3.2).

Diese Abschätzung liefert Mengen zwischen 0 m³ in Jahren ohne höchste Grundwasserstände bis zu ca. 65 000 m³ in Jahren, in denen der höchste Grundwasserstand an 5 Monaten überschritten ist. Der Mittelwert der Drainagemenge liegt bei ca. 19 000 m³ in 1,5 Monaten Grundwasserhöchststand pro Jahr. Entsprechend der angesetzten prognostizierten Menge bei laufender Drainage von 5 l/s beträgt die tägliche prognostizierte Menge 432 m³/d bzw. 18 m³/h.

Tab. 1 Statistische Analyse der Dauer von Ereignissen höchster Grundwasserstände anhand der Grundwasserganglinie der Grundwassermessstelle 40997 unter Annahme eines Grundwasseranstiegs um 20 cm und daraus resultierende Drainagemengen pro Ereignis höchster Grundwasserstände bei Projektion auf die Tunneltrasse

Jahr	Einheit	Überschreiten des höchsten gemessenen Grundwasserstandes an Grundwassermessstelle 40997
1997	Monate	0
1998	Monate	0
1999	Monate	2
2000	Monate	1
2001	Monate	0
2002	Monate	2
2003	Monate	3
2004	Monate	0
2005	Monate	0
2006	Monate	0
2007	Monate	1
2008	Monate	4
2009	Monate	0
2010	Monate	3
2011	Monate	3
2012	Monate	1
2013	Monate	3
2014	Monate	0
2015	Monate	0
2016	Monate	1
2017	Monate	5
2018	Monate	3
min	Monate/Jahr	0
max	Monate/Jahr	5
Ø	Monate/Jahr	1.5
Drainagemenge (modelliert)	l/s	10
Drainagemenge unter Berücksichtigung stetigen Anstiegs bzw. stetiger Absenkung	l/s	5
Drainagemenge pro Ereignis höchster Grundwasserstände		
min	m ³	0
max	m ³	65 340
Ø	m ³	19 008

In Teilbereichen der Tunneltrasse wird ein Grundwasseranstieg von ca. 40 cm prognostiziert [1]. Wird dieser Anstieg auf die Grundwassermessstelle 40997 bezogen, erhöhen sich rein rechnerisch bei Projektion auf die Tunneltrasse die Ereignisse eines Wirkens der Drainage auf minimal 2, maximal 10 und im Mittel 5 Monate pro Jahr. Das hieße, dass die Drainage jedes Jahr anspringt.

5. Zusammenfassung

Aufgrund neu festgelegter zu erwartender höchster Grundwasserstände im Umfeld des geplanten Tunnelbauwerkes sowie einer neuen Höhe der Entlastungsdrainage entlang des Tunnels erfolgte eine neuerliche Berechnung der zu erwartenden Drainagemengen. Modellbasiert wurde eine stationäre Drainagemenge von ca. 10 l/s ermittelt, die anfallen würde, wenn dauerhaft höchste zu erwartende Grundwasserstände auftreten würden. Tatsächlich steigen Grundwasserstände bis zum Höchststand stetig an und sinken auch wieder stetig ab, so dass die ermittelte stationäre Drainagemenge mathematisch in erster Näherung ein Faktor 0,5 korrigiert werden kann. Eine statistische Auswertung von Ereignissen, an denen höchste Grundwasserstände erreicht werden, liefert Hinweise, dass ein tunnelinduzierter Grundwasseraufstau von > 20 cm rein rechnerisch zu Grundwasserhöchstständen über eine Dauer von bis zu 5 Monaten pro Jahr (im Mittel 1,5 Monate pro Jahr) führt. Unter Berücksichtigung der modellbasiert prognostizierten und um den Faktor 0,5 korrigierten stationären Drainagemenge pro Zeiteinheit lässt sich daraus eine anfallende Drainagemenge pro Jahr von bis zu ca. 65 000 m³ (im Mittel ca. 19 000 m³) abschätzen.