

Raitersaich – Ludersheim – Sittling – Altheim 380-kV-Ersatzneubauprojekt

Juraleitung

**Ltg.-Abschnitt A-Katzwang Raitersaich\_West – Luders-  
heim\_West  
(LH-07-B170)**

**Planfeststellungsunterlage**

**Unterlage 10.1**

**Wasserrechtliche Antragsunterlage**

Antragsteller:



**TenneT TSO GmbH**

Bernecker Straße 70

95448 Bayreuth

Bearbeitung:



**Ingenieurgemeinschaft Katzwangtunnel**

**c/o SWECO GmbH**

Hanauer Landstraße 135 - 137

60314 Frankfurt am Main

<b>Aufgestellt:</b>	TenneT TSO GmbH  gez. i.V. J. Gotzler                      gez. i.V. A. Junginger	30.04.2025
<b>Bearbeitung:</b>	Sweco GmbH  i.A. gez.: Marcel Anhorn	
<b>Anlagen zum Dokument</b>		
<b>Änderungs- historie:</b>	Änderung:	Änderungsdatum:

---

## Inhaltsverzeichnis

1.	Beschreibung der Baumaßnahmen und Antragstellung .....	7
2.	Datengrundlage.....	8
3.	Standortbeschreibung.....	8
3.1	Lage.....	8
3.2	Geologie.....	10
3.3	Hydrogeologie.....	11
3.4	Wasser- / Heilquellenschutzgebiete.....	12
3.5	Altlasten und Altlastenverdachtsflächen.....	12
3.6	Quellen, Teiche und Brunnenanlagen .....	12
3.7	Überschwemmungsgebiete.....	12
4.	Entwässerungsmaßnahmen.....	13
4.1	Wasserhaltung .....	13
4.1.1	Entwässerungsansatz Erdkabelbereich .....	13
4.1.2	Entwässerungsansatz Start- und Zielbaugruben.....	14
4.2	Bemessungsgrundlage .....	14
4.2.1	Bemessungsgrundlage Erdkabelbereich .....	14
4.2.2	Bemessungsgrundlage Start- und Zielbaugrube .....	16
4.3	Berechnungsergebnisse.....	17
4.3.1	Berechnungsergebnisse Erdkabelbereich .....	17
4.3.2	Berechnungsergebnisse Start- und Zielbaugruben .....	19
4.3.3	Bauzeitliche Niederschlagsmengen von versiegelten Flächen.....	19
4.3.4	Bauwasser für die Tunnelvortriebsarbeiten.....	20
4.3.5	Gesamtentnahme- und Ableitmengen während der Bauphase .....	20
4.4	Ableitung des anfallenden Wassers aus dem Baubetrieb .....	24
4.5	Oberflächenentwässerung.....	26
4.5.1	Temporäre Arbeitsstreifen und BE-Flächen .....	26
4.5.2	Dauerhaft versiegelte Flächen .....	26
5.	Einfluss der Wasserhaltung.....	29
5.1	Einfluss auf das Grundwasser .....	30
5.2	Einfluss auf Oberflächengewässer .....	30
5.3	Einfluss der Grundwasserabsenkung.....	32
6.	Anlagen in, an, über und unter oberirdischen Gewässern .....	33
7.	Baubegleitendes Monitoring .....	34

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abschnitt A-West mit Teilabschnitt A-Katzwang .....	9
Abbildung 2: Übersichtskarte Abschnitt A-Katzwang mit Querschnitt .....	10

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung der Trassenabschnitte für die Ermittlung des Wasserandrangs.....	15
Tabelle 2: Durchlässigkeitsbeiwerte an den Start-/Zielbaugruben für die Modellrechnung.	17
Tabelle 3: Grundwasserspiegelhöhen zur Abschätzung der Andrangsmengen.....	17
Tabelle 4: Berechneter Grundwasserandrang im Erdkabelbereich .....	18
Tabelle 5: Übersicht über die Gesamtentnahme- und Ableitungen .....	23
Tabelle 6: Berechnungsgrundlagen und -Ergebnisse Rigolenversickerung.....	28

## 1. Beschreibung der Baumaßnahmen und Antragstellung

Die TenneT TSO GmbH plant im Rahmen des Netzausbaus den Ersatzneubau der Höchstspannungsleitung „Juraleitung“ mit einer Spannungsebene von 380/220 kV. Die Trasse hat eine Gesamtlänge von etwa 170 Kilometer und verläuft in insgesamt sechs Abschnitten von Raitersaich über Ludersheim und Sittling bis nach Altheim. Der Neubau der Juraleitung wird größtenteils als Freileitung realisiert, lediglich für den im Abschnitt A-West gelegenen Teilabschnitt A-Katzwang ist eine Ausführung als Erdkabeltrasse geplant.

Der vorliegende Antrag bezieht sich lediglich auf den Erdkabelabschnitt A-Katzwang, der auf einer Länge von etwa 3,3 km zwischen der Kabelübergangsanlage Wolkersdorf und der Kabelübergangsanlage Katzwang-Ost verläuft.

Im östlichen und westlichen Bereich des Teilabschnittes ist eine offen verlegte Erdkabeltrasse mit einer Länge von etwa 660 m bzw. 390 m vorgesehen. Im dazwischenliegenden Bereich soll die Leitung in einem etwa 2,3 km langen Tunnelbauwerk (Mikrotunnel) das Rednitztal, den Stadtteil Katzwang und den Main-Donau-Kanal unterfahren (vgl. Abb. 1).

Für die im Rahmen der Maßnahme erforderliche und geplante Grundwasserabsenkung/-entnahme, das Bauen im Grundwasser, die Wiedereinleitung des geförderten Grundwassers sowie die Niederschlagsentwässerung während der Bau- und Betriebsphase ergeben sich folgende Benutzungstatbestände nach § 9 WHG [D1]:

- § 9 Abs. 1 Nr. 1 durch Entnahme von Wasser aus einem Oberflächengewässer zur Versorgung der Baumaßnahmen mit Bauwasser.
- § 9 Abs. 1 Nr. 4 durch das temporäre Einleiten von Prozess- und Grundwasser in Oberflächengewässer im Zuge der Wasserhaltungsmaßnahmen, die temporäre sowie dauerhafte Ableitung von Niederschlagswasser sowie das Verlegen von Erdkabeln und die Errichtung von dauerhaften Schachtbauwerken im grundwassergesättigten Bereich.
- § 9 Abs. 1 Nr. 5 durch die Entnahme und Ableitung von Grundwasser aus den Baugrubenbereichen durch die Wasserhaltungsmaßnahmen.
- § 9 Abs. 2 Nr. 1 durch das Herstellen von Schachtbauwerken, die dauerhafte Verlegung eines Erdkabels sowie die Erstellung eines Tunnelbauwerks im Grundwassergesättigten Bereich.

Daher beantragt die Sweco GmbH im Namen und Auftrag der TenneT TSO GmbH gemäß § 8 Abs. 1 WHG die wasserrechtliche Erlaubnis.

Die entsprechenden Entnahme- und Ableitungsmengen können der Tabelle 5 entnommen werden. Eine zusammenfassende Erläuterung, wonach gemäß § 12 WHG die Voraussetzungen für die Erteilung der Erlaubnis gegeben sind, findet sich in den Kap. 5.

Des Weiteren wird für die Errichtung des Tunnelbauwerks unter der Rednitz sowie dem Main-Donau-Kanal die Anlagengenehmigung im Sinne des § 36 Abs. 1 WHG i.V.m Artikel 20 BayWG [D2] beantragt. Nähere Erläuterungen zu den genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen finden sich in Kap. 6.

---

## 2. Datengrundlage

Die Ausarbeitung der vorliegenden Wasserrechtlichen Antragsunterlage wurde vom Verfasser auf Grundlage der nachfolgenden Daten erstellt:

- Unterlage 1.0 Erläuterungsbericht
- Unterlage 2.1 Übersichtslageplan M 1:25.000
- Unterlage 7.0 Profilpläne
- Unterlage 8.0 Umweltfachliche Untersuchungen
- Unterlage 9.2 Schaltechnisches Gutachten im Zuge der Baumaßnahme
- Unterlage 10.2 Fachbeitrag gemäß EU-WRRL
- Unterlage 10.3 Hydrogeologisches Gutachten
- Materialband MB01 Unterlage zum Bodenschutz
- Materialband MB04.2 Geotechnischer Bericht Tunnel
- Materialband MB04.3 Geotechnischer Bericht Erdkabel
- Materialband MB04.4 Wasserhaltungskonzept
- Materialband MB04.6 Gutachten LGA
- Bayern Atlas – Geoportal Bayern
- LFU Bayern – Geodatendienst
- Deutscher Wetterdienst – CDC Climate Data Center

## 3. Standortbeschreibung

### 3.1 Lage

Der innerhalb des Abschnittes A-West befindliche Teilabschnitt A-Katzwang befindet sich im Regierungsbezirk Mittelfranken und verläuft südlich von Nürnberg.

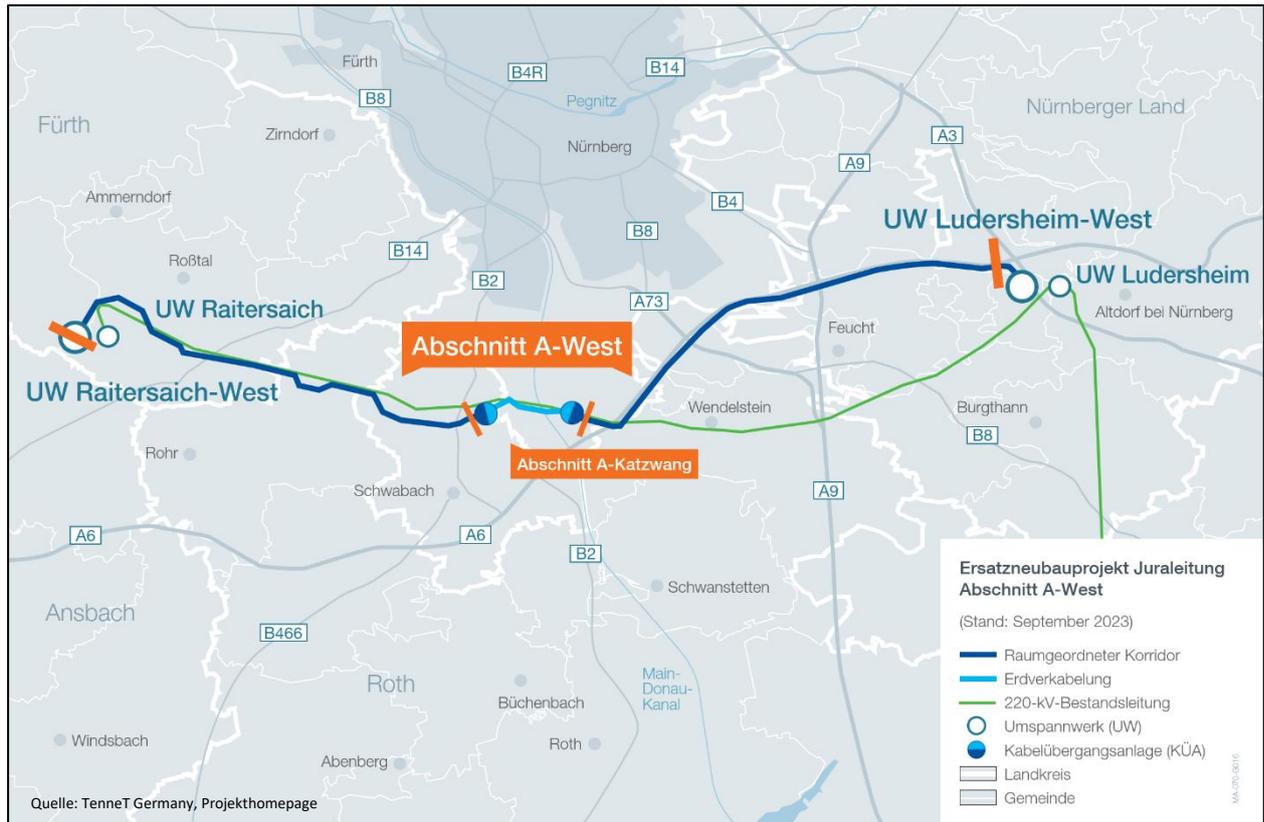


Abbildung 1: Abschnitt A-West mit Teilabschnitt A-Katzwang

Die Erdkabeltrasse im östlichen Bereich sowie die Startgrube und der größte Teil des Tunnels befinden sich im Stadtgebiet der kreisfreien Stadt Nürnberg, während sich der westliche Tunnelabschnitt und die Zielgrube sowie die nach Westen anschließende Erdkabeltrasse im Landkreis Schwabach befinden (vgl. Abb. 2).

Mit dem geplanten Tunnel werden der Main-Donau-Kanal, der Stadtteil Katzwang sowie die Rednitz gequert (vgl. Abb. 2). Der Startschacht liegt östlich der Gaulnhofers Straße, die Zielgrube westlich der Volckamerstraße. Die Entfernung zwischen der geplanten Start- und Zielgrube beträgt etwa 2,3 km.

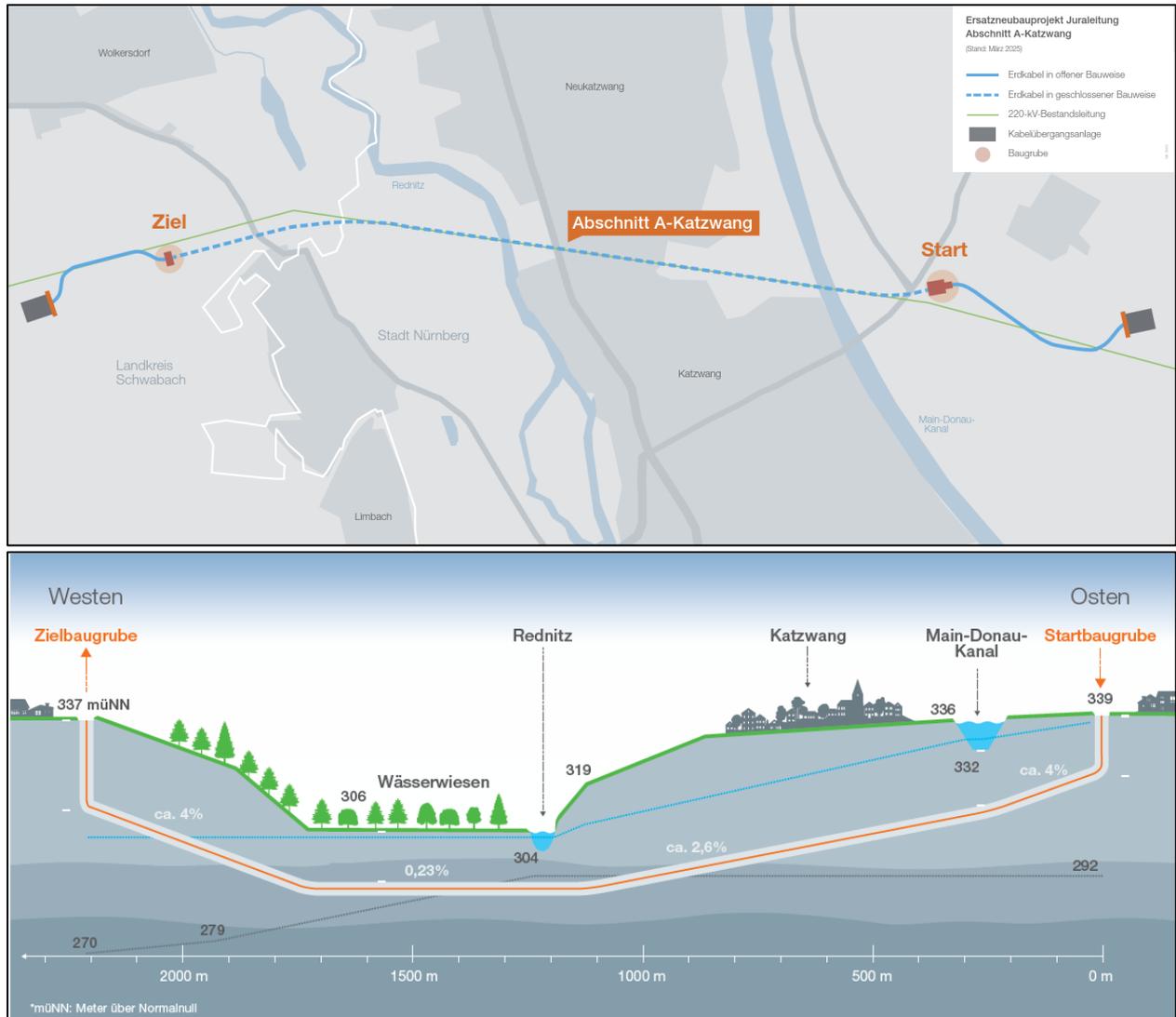


Abbildung 2: Übersichtskarte Abschnitt A-Katzwang mit Querschnitt

Genauere Informationen zum Trassenverlauf können dem Übersichtslageplan (Unterlage 2.1) entnommen werden.

### 3.2 Geologie

Gemäß den Ergebnissen der Baugrunduntersuchungen (Materialbände MB04.2 und MB04.3) setzt sich der Untergrund bis etwa 50 Meter unterhalb der Geländeoberkante aus Gesteinen des mittleren Keupers zusammen. Folgende Formationen wurden im Zuge der Bohrungen angetroffen (von oben nach unten):

- Löwenstein-Formation mit:
  - Mittlerer Burgsandstein
  - Unterer Burgsandstein
- Hassberge-Formation mit:
  - Blasensandstein
- Grabfeld-Formation mit:

---

- Estherienschichten

Die im Startbereich anstehenden Gesteine der Hassberg-Formation setzen sich aus fein- bis grobkörnigen, weiß- bis rotgrauen Sandsteine zusammen, die von rotbraunen bis grüngrauen Ton- und Schluffsteinen begleitet werden. Gelegentlich sind auch weiß- bis gelbgraue Dolomitsteinbänke anzutreffen. Der Untere Bursandstein der Löwenstein-Formation (Zielbereich) setzt sich aus fein- bis grobkörnigen Sandsteinen zusammen, die in verschiedenen Farben wie weiß, grüngrau, grauweiß und gelbbraun vorkommen und stellenweise kieselig gebunden sind. Außerdem sind in diese Schichten rote, rotbraune und grüngraue Tonsteine eingelagert. Der Mittlere Bursandstein besteht aus mittel- bis grobkörnigen grauen Sandsteinen, die teilweise kieselig gebunden sind und Feldspat enthalten. Diese Sandsteine sind von schluffigen Tonsteine (rot/rotbraun) sowie von weißgrauen Karbonatknuern durchzogen. Im oberflächennahen Bereich sind die angesprochenen Festgesteine überwiegend zu Verwitterungstone bzw. gemischtkörnige Verwitterungsböden zerfallen. Die Estherienschichten, die aus Tonsteinen, Schiefertonen, Steinmergeln und Feinsandsteinen bestehen, bilden die Basis und sind durch einen klaren Farbwechsel von hellgrau über braun und rot bis hin zu grau und dunkelgrau/schwarz gut abgrenzbar. Darüber hinaus sind diese von besonderer hydrogeologischer Bedeutung, da sie als großräumige Grundwasserstockwerks trennende Dichtschicht zur darunter liegenden Benk-Formation fungieren.

In weiten Teile entlang der Trasse sind die Gesteine des Keupers von quartären Auesedimente der Rednitz überlagert. Diese bestehen aus bis zu 14 m mächtigen fluviatilen Terrassensande sowie Auenlehme bzw. Auensande.

Die jüngsten Ablagerungen bestehen aus anthropogenen Auffüllungen, die im Untersuchungsgebiet beispielsweise in Bereichen wie Straßendämmen, dem Main-Donau-Kanal oder Hangmodellierungen vorkommen können.

Nähere bzw. genauere Informationen können den geotechnischen Berichten (Materialband MB04.1 und MB04.2) entnommen werden.

### **3.3 Hydrogeologie**

Die hydrogeologischen Bedingungen stehen in engem Zusammenhang mit der Stratigrafie im Untersuchungsgebiet. Aufgrund der Ergebnisse aus der Baugrunderkundung wird im Projektgebiet zwischen einem schwebenden oberflächennahen sowie einem tieferen Hauptgrundwasserleiter unterschieden.

Der oberflächennahe Untergrund besteht aus Lockersedimenten und in den tieferen Bereichen überwiegend aus Festgesteinen, wobei der Porenraum zwischen den einzelnen Klatten sowie die vorhandenen Klüfte und Hohlräume für die Grundwasserbewegung zur Verfügung stehen.

Bei Lockersedimenten hängt die Porendurchlässigkeit und damit die Grundwasserergiebigkeit von der Korngrößenverteilung und der Lagerungsdichte ab. Ein höherer Gehalt an tonigen und schluffigen Komponenten führt zu einer Verringerung der Porendurchlässigkeit. Die im Untersuchungsgebiet festgestellten quartären Sande fungieren als schwebender Porengrundwasserleiter.

Darüber hinaus gibt es im Untergrund Festgesteine, die aufgrund eines signifikanten Porenvolumens, eines Kluftsystems oder vorhandener Hohlräume als Kluft-, Karst- oder kombinierte Poren- und Kluftgrundwasserleiter (Aquifer: Sandsteine und Kalksteine) oder in Abwesenheit dieser Merkmale als Grundwasserstauer (Aquiclude: Ton-/Schluffsteine) klassifiziert werden. Aufgrund der zahlreichen Wechselfolgen von Sand-, Schluff- und Tonsteinen innerhalb der verschiedenen Formationen existieren

bis zur geplanten maximalen Verlegetiefe im Bereich des Tunnelbauwerks mehrere grundwasserführende und grundwasserstauende Schichten.

In den im Rahmen der Baugrunderkundung abgeteuften Bohrungen wurde bis auf wenige Ausnahmen immer Grundwasser angetroffen. Die Grundwasserspiegelhöhe stellte sich bei der Baugrunduntersuchung als relativ homogen dar.

Eine Besonderheit stellt der Grundwasserkörper im Benk-Sandstein dar. Das bedeutende Grundwasservorkommen wird von der Stadt Nürnberg als Tiefenwasserspeicher genutzt und durch die darüberliegenden Estherienschiefer geschützt. Es liegt, insbesondere im Gebiet des Rednitztals, als gespanntes Grundwasser vor (artesisch).

Nähere bzw. genauere Informationen können den geotechnischen Berichten (Materialband MB04.1 und MB04.2) entnommen werden

### **3.4 Wasser- / Heilquellenschutzgebiete**

Wasser- und Heilquellenschutzgebiete sind gemäß den Geodatendiensten des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LFU Bayern) von der beantragten Gewässerbenutzung nicht betroffen.

### **3.5 Altlasten und Altlastenverdachtsflächen**

Gemäß den vorliegenden Informationen befinden sich weder im Bereich der Trasse noch innerhalb der prognostizierten Absenktrichter der Wasserhaltung Altlasten- bzw. Altlastenverdachtsflächen. Darüber hinaus liegen nach Sichtung der Grundwassergleichenpläne aus dem Umweltatlas keine Hinweise auf relevante Altlasten im Zustrombereich zur Baumaßnahme vor.

### **3.6 Quellen, Teiche und Brunnenanlagen**

Gemäß den vorliegenden Informationen aus dem Umwelt Atlas des Bayerischen Landesamtes für Umwelt befinden sich keine Quellen und Teiche im Nah- bzw. Einflussbereich der prognostizierten Absenktrichter.

Allerdings befindet sich im Bereich der Startbaugrube und innerhalb des prognostizierten Absenktrichters mehrere Brauchwasserbrunnen, die vorrangig zur Versorgung der Betriebe und Bewässerung von Gärten genutzt werden. Brunnen befinden sich auf dem Betriebsgelände der Gärtnerei Beschel, auf dem Landwirtschaftsbetrieb Kühnlein sowie im nordöstlich gelegenen Siedlungsgebiet „am Roten Bühl“. Eine nähere Bewertung hinsichtlich möglicher Auswirkungen findet sich in Kap. 5.3.

### **3.7 Überschwemmungsgebiete**

Gemäß den Informationen aus dem Geodatendienst des Bayerischen Landesamtes für Umwelt verläuft der geplante Tunnel durch das festgesetzte Überschwemmungsgebiet der Rednitz. Da das festgesetzte Überschwemmungsgebiet mit ausreichendem Abstand unterquert wird und im betreffenden Bereich keine oberflächlichen Baumaßnahmen vorgesehen sind, finden die entsprechenden baulichen Schutzvorschriften gemäß § 78 WHG keine Anwendung. Eine Genehmigung zur Errichtung von Anlagen innerhalb von festgesetzten Schutzgebieten ist demnach nicht zu beantragen.

## 4. Entwässerungsmaßnahmen

### 4.1 Wasserhaltung

Unter dem Begriff Wasserhaltung werden im Allgemeinen Maßnahmen verstanden, welche während der Bauzeit je nach Situation und Erfordernis u.a.

- die Trockenhaltung von Baugruben und Gräben,
- die Sicherheit gegen Auftrieb im jeweiligen Bauzustand,
- die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch (durch Entfernen der Bodenauflast beim Aushub bzw. durch Umspülen des Baugrubenverbaus),
- die Reduzierung des Wasserdruckes auf eine Verbauwand und
- die Aufrechterhaltung des Grundwasserstromes bzw. des Grundwasserstandes

gewährleisten.

Im Projektbereich werden baubegleitende Maßnahmen zur Wasserhaltung an Kabelgräben sowie Baugruben erforderlich, sofern diese in den Grundwasserleiter einbinden. Ziel der Wasserhaltung ist es primär, den Grundwasserspiegel soweit abzusenken, dass möglichst trockene Baugruben für die Arbeiten zur Verfügung stehen. Darüber hinaus soll temporäres Schicht- / Stauwasser, das den Baugruben aus den Böschungsbereiche zuläuft, gesammelt und abgeleitet werden.

Die Auswahl der jeweiligen Verfahren zur Grundwasserhaltung, hängt im Wesentlichen von den hydrogeologischen und konstruktiven Gegebenheiten ab, wobei die nachfolgend beschriebenen Entwässerungsverfahren zum Einsatz kommen können.

#### 4.1.1 Entwässerungsansatz Erdkabelbereich

Gemäß der gutachterlichen Einschätzung (Materialband MB04.4) kann auf Grundlage des ermittelten Wasserandrangs davon ausgegangen werden, dass die Wasserhaltung in beiden Bereichen (Ost und West) mittels einer offenen Wasserhaltung beherrscht werden kann.

Bei offenen Wasserhaltungen wird das in die Baugrube einströmende Wasser, das sowohl durch die Sohle als auch aus den Böschungen zuströmt, auf oberflächlichem Weg abgeleitet. Dies geschieht entweder direkt über an den Rändern der Baugrubensohle angeordnete Mulden oder indirekt durch vollflächige Filterschichten, die sich auf Höhe der Baugrubensohle befinden. Diese sind mit einem umlaufenden Ringdrän verbunden, das an den Rändern der Baugrubensohle verläuft. Bei größeren Baugrubenflächen können zusätzlich Stichdräne eingesetzt werden, die ebenfalls an das umlaufende Ringdrän angeschlossen werden. Das gesammelte Wasser wird dann einem oder mehreren Pumpensümpfen zugeleitet, die sich an den tiefsten Punkten der Baugrubensohle befinden.

Ihre Anwendung erfordert einen standfesten Untergrund, wie zum Beispiel bindige Böden, Fels mit Klüften und grober Kies, bei denen keine Auftriebsgefahr besteht. In sandigen und kiesigen Böden dagegen ist ihre Anwendung nur möglich, wenn man die Schleppkraft des Wassers beherrscht, was vor allem in Feinsanden schwierig ist. Aufgrund der Grundbruchgefahr ist eine offene Wasserhaltung nur bis in geringe Tiefen möglich. Mit zunehmender Tiefe wächst durch den stärker werdenden Wasserandrang die Gefahr von Bodenauflockerungen, was die Standfestigkeit und Tragfähigkeit des Bodens gefährden kann.

Bei der Erstellung der Kabelgräben sollte insbesondere in den Bereichen mit topographisch bedingtem Längsgefälle beachtet werden, dass Tag- und Grundwasser parallel zum tiefsten Punkt in die Gräben fließen. Um eine unerwünschte Wasseransammlung an lokalen Tiefpunkten zu verhindern, sollten entsprechende Pumpensümpfe eingerichtet werden. In Bereichen mit steilerem Gefälle kann es zudem erforderlich sein, konstruktive Querschotts im Graben anzubringen. Diese Maßnahmen tragen auch dazu bei, eine unerwünschte Erosion der Grabensohle durch fließendes Wasser, beispielsweise bei Starkregenereignissen, zu vermeiden.

Die Wasserhaltungsmaßnahmen sind im Zuge der Ausführungsplanung hydraulisch zu dimensionieren. Sollten sich im Zuge der Ausführungsplanung oder der weiteren Baugrunderkundung Hinweise ergeben, dass die Gefahr eines Grundbruchs besteht, kann alternativ eine geschlossene Wasserhaltung mittels Horizontaldrainagen erfolgen. Der Einbau der Horizontaldrainagen erfolgt, abhängig von den geologischen und hydrogeologischen Rahmenbedingungen, in der Regel während des Aushubs des Kabelgrabens in offener Bauweise. In speziellen Fällen kann der Einbau auch im Vorfeld des Kabelgrabenaushubs mittels Fräsverfahren erfolgen.

Nach Abschluss sämtlicher Arbeiten zum Tiefbau der Kabelleitungen werden alle verbleibenden Baugruben ordnungsgemäß verfüllt und die Wasserhaltung anschließend außer Betrieb genommen.

Sollten sich im Zuge der weiteren Planung Änderungen an den hier genannten bzw. empfohlenen Wasserhaltungsmaßnahmen ergeben, werden die zuständigen Behörden zeitnah darüber informiert.

#### **4.1.2 Entwässerungsansatz Start- und Zielbaugruben**

Zur Trockenhaltung der durch Trägerbohlverbau gesicherten Start- und Zielbaugruben wird eine geschlossene Wasserhaltung mittels einer Tiefbrunnenanlage zum Einsatz kommen. Bei der entsprechenden Anlage wird in jedem Brunnen eine Pumpe eingebaut, die das Wasser nicht hochsaugt, sondern drückt. Die Brunnen sind Kiesschüttungsbrunnen mit Bohrdurchmessern von 400 bis 1.500 mm und Filterdurchmessern von 200 bis 1.250 mm. In der Regel werden elektrisch betriebene Unterwasserpumpen eingebaut. Die Brunnen werden sowohl außerhalb als auch innerhalb der Baugrube errichtet. Die Anordnung erfolgt individuell entsprechend der vorherrschenden geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten und wird im Zuge der Ausführungsplanung entsprechend den berechneten Andrangsmengen dimensioniert. Für die Aushubarbeiten sowie die Ableitung von Niederschlagswasser im Sohlenbereich wird zusätzlich eine offene Wasserhaltung mittels Ring- und Stichdrainagen während der Aushubarbeiten installiert. Nach Beendigung der Arbeiten werden die Wasserhaltungsmaßnahmen eingestellt und die Tiefbrunnen und die Filterbereiche fachgerecht mit Brunnendämmern verschlossen.

Zur Trockenhaltung des Trogbauwerks wird bei Bedarf eine zusätzliche offene Wasserhaltung (vgl. Kap. 4.1.1) zur Ableitung von Niederschlagswasser installiert.

### **4.2 Bemessungsgrundlage**

#### **4.2.1 Bemessungsgrundlage Erdkabelbereich**

Als geometrische Basis für die Erdkabeltrasse wurde von einem Regelquerschnitt mit zwei parallelen Kabelgräben mit je ca. 1,95 m Grabentiefe und einer Grabenbreite von jeweils ca. 9,0 m geplant. Die Verlegetiefe der Kabel liegt bei ca. 1,70 m u. GOK, die Trassenbreite bei insgesamt ca. 28 m, wobei die Baustraße mittig angeordnet wird. Die beiden Gräben werden im Regelfall mit einer beidseitigen

Böschung und einem Böschungswinkel gemäß DIN 4124 [D4] zwischen 45° und 60° hergestellt. Geplant ist, die beiden Gräben mit leichtem zeitlichem Versatz nacheinander herzustellen.

Die Festlegung der Bauwasserstände erfolgte auf Grundlage der Baugrunduntersuchungsergebnisse. Nähere Informationen dazu können dem Wasserhaltungskonzept (Materialband MB04.4) entnommen werden. Durch den Baugrundgutachter wurde bei der Festlegung der Bauwasserstände ein Sicherheitsaufschlag von 1,0 m zum höchsten gemessenen Grundwasserstand berücksichtigt.

Im Wasserhaltungskonzept wurden für die im Bereich der Kabelgräben vorkommenden Böden die Durchlässigkeitsbeiwerte als Bandbreiten gemäß DIN 18130 [D5] festgelegt. Auf Grundlage der im geotechnischen Bericht (Materialband MB04.3) beschriebenen unregelmäßigen Wechsellagerungen von Verwitterungstone und gemischtkörnigen Verwitterungsböden und vor dem Hintergrund der kleinräumig variierenden Bedingungen, wurde für die hydraulischen Berechnungen des Wasserandrangs der folgende Wert festgelegt:

$$k_f = 2 \times 10^{-5} \text{ m/s.}$$

Dieser Wert diene als charakteristischer Wert zur Abschätzung der Durchlässigkeit aller oberflächennahen Baugrundsichten im gesamten Trassenverlaufs des Erdkabels bis etwa 2,5 m u GOK. Der Oberboden wurde dabei nicht als separate Schicht in die hydraulischen Berechnungen einbezogen.

Zur Ermittlung des Wasserandrangs in den Kabelgräben wurde die Trasse anhand der geotechnischen Längsprofile des Erdkabels in mehrere Abschnitte unterteilt, die vergleichbare Bauwasserstände und Bodenverhältnisse aufweisen. Die entsprechende Einteilung sowie die angesetzten Bauwasserstände der einzelnen Abschnitte sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Einteilung der Trassenabschnitte für die Ermittlung des Wasserandrangs

Bereich	Kilometrierung Abschnitt		Länge [m]	Bauwasserstand [m u. GOK]
	von	bis		
Ost	0+000	0+200	200	1,0
	0+200	0+380	180	1,0
	0+380	0+430	50	3,5
	0+430	0+520	50	=GOK
	0+520	0+590	70	1,5
	0+590	0+665	75	1,0
West	0-020	0+130	150	3,0
	0+130	0+190	60	1,9
	0+190	0+250	60	1,1
	0+250	0+300	50	2,0
	0+300	0+400	100	1,3

Gemäß der aktuellen Terminplanung wurden für die Dauer der Wasserhaltungsmaßnahmen im östlichen Bereich ca. 26 Wochen und im westlichen Bereich ca. 21 Wochen angesetzt. Hierzu ist anzumerken, dass die angegebenen Zeiten für die Erstellung beider Kabelgräben gelten. Wie in den Planunterlagen

festgelegt, wird davon ausgegangen, dass die beiden parallelen Gräben nicht gleichzeitig ausgehoben werden.

#### **4.2.2 Bemessungsgrundlage Start- und Zielbaugrube**

Die Start- und Zielbaugrube sollen gemäß der vorliegenden Planungen mittels eines Trägerbohlverbaus gesichert und durch eine umlaufende Grundwasserhaltung mittels Brunnen trocken gehalten werden. Für die Baugrube im Startbereich wurde eine Dimensionierung von ca. 21 m x 36 m bei einer Tiefe von etwa 19 m angenommen. Im Zielbereich betragen die Abmessungen ca. 20 m x 21 m, bei einer Tiefe von etwa 27 m.

Im Rahmen der Voruntersuchungen zur Erstellung der Planfeststellungsunterlagen wurde eine mehrstufige Baugrunderkundung durchgeführt. Die auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführten Ermittlungen des Grundwasserandrangs in den Baugruben erfolgte von zwei unabhängigen Gutachtern unter Anwendung verschiedener Verfahren sowie, dem fortschreitenden Erkenntnisgewinn geschuldet, auf Grundlage unterschiedlicher Daten.

Vom ersten Gutachter (Materialband MB04.4) wurden die Berechnungen des Wasserandrangs mittels eines dreidimensionalen geologischen Modells unter Verwendung der Software *Leapfrog* durchgeführt. Die Grundwasser-absenkung wurde hierbei unter Anwendung eines Drain-Package simuliert, was als eine vereinfachte Vorgehensweise anzusehen ist, da die tatsächliche Absenkung mittels mehrerer Pumpbrunnen erfolgen wird. Trotzdem ermöglicht diese Methode eine grobe Abschätzung der für die Absenkung erforderlichen Fördermengen. Die kf-Werte wurden auf Grundlage der zum Zeitpunkt der Berechnung vorliegenden Baugrunddaten sowie der einschlägigen Literatur abgeschätzt, diese sind in Tabelle 2 dokumentiert. Der simulierte Grundwasserstand an der Startbaugrube betrug 336,6 m NHN und lag damit sehr nahe an dem im Geotechnischen Bericht aufgeführten Wert (Materialband MB04.2). Der Grundwasserspiegel unter der Zielbaugrube lag bei etwa 312,0 m NHN. Die Grundwasserabsenkung wurde für die Start- und Zielbaugrube bis ca. 1,0 m unterhalb der Basis der geplanten Baugruben simuliert. Die Modellierung erfolgte in vereinfachter Form und unterliegt den nachfolgend aufgeführten Einschränkungen:

- Stark vereinfachte Geologie mit einer generalisierten Darstellung ohne Berücksichtigung der Wechsellagerung von tonigen und sandigen Schichten.
- Konservative Annahme für die hydraulischen Leitfähigkeitswerte ohne Berücksichtigung von lokalen Variabilitäten.
- Keine Umfassende Kalibrierung des Modells, da das Modell auf die hydraulischen Lasten entlang des vorhandenen geologischen Profils angepasst wurde und daher nicht auf andere Bereiche angewendet werden kann.
- Simulation im stationären Zustand (Gleichgewichtszustand), ohne Berücksichtigung von dynamischen Änderungen im Grundwasserfluss.

Tabelle 2: Durchlässigkeitsbeiwerte an den Start-/Zielbaugruben für die Modellrechnung

Einheiten	$k_{f\ x,y}$ [m/s]	$k_{f\ z}$ [m/s]
Stubensandstein (Startbaugrube)	$1,7 \times 10^{-6}$	$1,7 \times 10^{-7}$
Blasensandstein (Zielbaugrube)	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-6}$
Estherienschichten	$1,0 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-8}$
Grabfeld-Formation	$1,0 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-8}$
Quartäre Sedimente	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-4}$

Beim zweiten Gutachter (Materialband MB04.6) erfolgte die Ermittlung bzw. Abschätzung der Wasserandrangsmengen auf Grundlage der in einer späteren Stufe der Baugrunderkundung durchgeführten Pumpversuche sowie anhand von Erfahrungswerten aus vergleichbaren Projekten im Raum Nürnberg. Dabei wurden für beide Baugruben die aus den Pumpversuchen ermittelten  $k_f$ -Werte ( $1,0 \times 10^{-5}$  bis  $5,0 \times 10^{-5}$  m/s) sowie die dort im Beharrungszustand erzielten konstanten Förderraten (2,0 l/s) angesetzt. Die für den Hauptgrundwasserleiter bzw. das oberflächennahe, schwebende Grundwasserstockwerk herangezogenen Grundwasserdruckspiegelhöhen lassen sich der nachfolgenden Tabelle 3 entnehmen.

Tabelle 3: Grundwasserspiegelhöhen zur Abschätzung der Andrangsmengen

Grundwasserleiter	Grundwasserspiegelhöhe [mNHN]	
	Startbaugrube	Zielbaugrube
Schwebender GW-Leiter (Quartär)	337,5 – 336,0	337,1 - 335,2
Hauptgrundwasserleiter (Keuper)	328,0 – 326,0	322,5 - 319,0

### 4.3 Berechnungsergebnisse

#### 4.3.1 Berechnungsergebnisse Erdkabelbereich

Die Berechnung des Wasserandrangs für die offenen Wasserhaltung erfolgten nach *Davidenkoff*, gemäß der Formel:

$$Q = k \times H^2 \times \left[ \left( 1 + \frac{t}{H} \right) \times m + \frac{L_1}{R} \times \left( 1 + \frac{t}{H} \times n \right) \right]$$

mit

Q = Wasserandrang in der Baugrube [ $m^3/s$ ]

n = Beiwert aus  $t/R$

k = Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]

L1 = Länge der Baugrube [m]

H = Abstand GW-Spiegel zu Baugrubensohle [m]

L2 = Breite der Baugrube [m]

t = Tiefe der für den Zufluss wirksamen Zone

R = Reichweite nach *Sichardt* [m]

m = Beiwert aus L2/R

Die Faktoren n und m sind dabei geometrische Faktoren, die sich aus der Geometrie der Gräben bzw. Baugrube ergeben und können aus Tabellen in *Herth/Arndts* [D7] abgeleitet werden.

Die Reichweitenermittlung erfolgte nach der empirischen Formel von *Sichardt* gemäß dem Ansatz:

$$R=3000 \times s \times \sqrt{k}$$

Der nach der oben ausgeführten Berechnung ermittelte Wasserandrang Q sowie die Reichweiten R für jeden Trassenabschnitt kann, basierend auf den angesetzten Bauwasserständen und Durchlässigkeiten, der nachfolgenden Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: Berechneter Grundwasserandrang im Erdkabelbereich

Bereich	Kilometrierung Abschnitt		Länge [m]	Absenkbetrag H [m]	Reichweite R nach <i>Sichardt</i> [m]	Wasserandrang Q nach <i>Davidenkoff</i>	
	von	bis				[l/s]	[m³/h]
Ost	0+000	0+200	200	0,96	13,0	2,0	7,2
	0+200	0+380	180	0,96	13,0	1,8	6,5
	0+380	0+430	50	-	-	- *	- *
	0+430	0+520	50	1,96	26,0	1,8	6,5
	0+520	0+590	70	0,46	6,0	1,0	3,6
	0+590	0+665	75	0,96	13,0	0,9	3,3
West	0-020	0+130	150	-	-	- *	- *
	0+130	0+190	60	-	-	- *	- *
	0+190	0+250	60	0,86	12,0	1,5	5,4
	0+250	0+300	50	-	-	- *	- *
	0+300	0+400	100	0,66	9,0	2,2	7,9

\* keine Wasserhaltung erforderlich da Bauwasserstand unterhalb der Baugrubensohle liegt

Es ist zu beachten, dass die angegebenen Wasserandrangsmengen jeweils für einen einzelnen Kabelgraben gelten. Es wird im Weiteren davon ausgegangen, dass die beiden parallelen Gräben nicht gleichzeitig ausgehoben werden. Darüber hinaus sieht der Bauablauf vor, dass die Verlegearbeiten immer nur auf einer Teillänge von 100 m durchgeführt werden und daher auch die Wasserhaltung immer nur auf einer Länge von 100 m erfolgt. Aufgrund dieser Annahme lassen sich folgende **mittlere Andrangsmengen** für die beiden Bereiche ableiten:

- Bereich Ost: ca. **130 m³/d**
- Bereich West: ca. **160 m³/d**

Die ermittelten Wassermengen beziehen sich auf den ungünstigsten Fall, der während der Bauzeit zu erwarten ist. Sollten die Grundwasserstände, wie im Jahresverlauf üblicherweise zu erwarten, unter dem festgelegten Bauwasserstand liegen, würde der Zufluss an Wasser in die Kabelgräben deutlich geringer ausfallen. Ferner wird darauf hingewiesen das bei einer offenen Wasserhaltung keine Absenkung unterhalb der Baugrubensohle erfolgt.

### 4.3.2 Berechnungsergebnisse Start- und Zielbaugruben

Wie bereits in Kap. 0 erwähnt, erfolgte die Ermittlung des Grundwasserandrangs für die Wasserhaltung an der Start- und Zielbaugrube auf unterschiedliche Art und Weise und auf Grundlage verschiedener Basisparameter. Entsprechend führen die beiden Ansätze zu unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich der anfallenden Wassermengen.

Entsprechend den Ergebnissen aus der Modellrechnung ist an den jeweiligen Baugruben mit folgendem Grundwasserandrang zu rechnen:

- Startbaugrube: ca. **100 m<sup>3</sup>/d**
- Zielbaugrube: ca. **25 m<sup>3</sup>/d**

Auf Grundlage der Pumpversuchsdaten sowie den Erfahrungswerten aus dem Raum Nürnberg sind an den jeweiligen Baugruben hingegen folgende Wasserandrangsmengen zu erwarten:

- Startbaugrube: ca. **1.728 m<sup>3</sup>/d**
- Zielbaugrube: ca. **1.080 m<sup>3</sup>/d**

Im Zuge der weiteren Planung wird das Drain-Package Modell auf Basis der aktuellsten Erkundungsergebnisse sowie der Daten der Pumpversuchsauswertung angepasst. Um die potenziellen Auswirkungen der Grundwasserentnahme und -ableitung vorab abschätzen zu können und um Sicherheit hinsichtlich der erwarteten Mengen zu gewährleisten, werden im Folgenden lediglich die höheren, konservativ abgeschätzten Mengen aus den Pumpversuchsdaten / Erfahrungswerten herangezogen.

Die Ermittlung der maximalen Absenkreichweite erfolgte nach der *Sichardt*-Formel [D9]. Da dieser Ansatz in der Regel nur bei homogenen und isotropen Aquiferen (z.B. sandig-kiesige Grundwasserleiter mit einer Porosität von etwa 30 % und einer Mächtigkeit von ungefähr 15 m) zufriedenstellende Ergebnisse liefert, wurde eine entsprechende Korrektur gemäß *Desens und Houben* [D10] durchgeführt. Entsprechend den Grundwasserberichten der Stadt Nürnberg liegt der jährliche Schwankungsbetrag des Grundwassers im Bereich der Startbaugrube zwischen 1,0 und 2,0 m. Im Rahmen der Berechnungen wurde daher die Absenkreichweite unter Berücksichtigung einer Restabsenkung von 1,0 m ermittelt:

- $R_{1m, Start} = 350 \text{ m}$

Im Zielbereich wurde auf eine Ermittlung der Absenkreichweite verzichtet, da gemäß der Annahme im Modell die Absenkung etwa 25 m u GOK erfolgt. Da sich die Absenkreichweiten immer auf den angenommenen Grundwasserstand beziehen, sind im Zielbereich durch die Absenkung keine Auswirkungen hinsichtlich Umweltbelange oder Nachbarbebauungen zu erwarten.

### 4.3.3 Bauzeitliche Niederschlagsmengen von versiegelten Flächen

Im Rahmen der Bewertung der potenziellen Ableitungsmengen von Niederschlagswasser, welches auf den versiegelten Baustellenflächen im Bereich der Startbaugrube anfällt, wurden die verfügbaren Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zur jährlichen Niederschlagsmenge an der Messstation „Nürnberg“ aus dem Jahr 2024 herangezogen. Die Niederschlagshöhe an der Messtation beträgt dabei 690,8 mm/Jahr.

Die angesetzte Fläche der versiegelten Flächen wurde mit 12.289 m<sup>2</sup> angesetzt. Daraus resultieren rechnerisch täglich Niederschlagsmengen von:

- Niederschlagsmenge Bereich Startbaugrube: ca. **23 m<sup>3</sup>/d**

Auf der Startseite der Baumaßnahme wird das Niederschlagswasser von den versiegelten Baustellenflächen zentral erfasst. Dies geschieht durch Straßenabläufe, die in ein Niederschlagswasserkanalnetz eingebunden sind. Bei den Baustraßen erfolgt die Versickerung über wegeparallele Entwässerungsmulden. Detaillierte Informationen hierzu sind in Kap. 4.5.1 zu finden. Da im Zielbereich der Baumaßnahme keine Versiegelung der Baustellenflächen erfolgt, werden die Niederschlagsmengen in der Tabelle 5 ausschließlich für die Startseite bilanziert.

#### **4.3.4 Bauwasser für die Tunnelvortriebsarbeiten**

Für die Versorgung des Tunnelvortriebs im Startbereich werden gemäß dem aktuellen Planungsstand täglich etwa 280 m<sup>3</sup> Bauwasser für die Herstellung des Ringspaltmörtels, der Bentonitsuspension zur Stützung und Abraummaterialetransport sowie für die Kühlung der Pumpen und Spülung der Förder- und Speiseleitungen benötigt. Aufgrund der Berechnungsergebnisse für die Startbaugrube aus der Modellrechnung (vgl. Kap. 4.3.2) kann es vorkommen, dass die Wässer aus der Wasserhaltung für den Bauwasserbedarf nicht ausreichen. In diesem Fall ist eine zusätzliche Wasserentnahme aus dem Main-Donau-Kanal vorgesehen. Die durchschnittliche Entnahmemenge beträgt dabei ungefähr 180 m<sup>3</sup> pro Tag. Der Pumpbetrieb erfolgt aufgrund von Ruhezeiten etwa 13 Stunden pro Tag, sodass mit einer Entnahmeleistung von ca. 13,8 m<sup>3</sup>/h zu rechnen ist. Die dafür vorgesehene Entnahmestelle liegt unterhalb der Brücke „Gaulnhofener Straße“.

Da der Vortrieb aus dem Ostbereich erfolgt, werden die entsprechenden Bauwässer im westlichen Bereich der Baumaßnahmen (Zielbereich) nicht benötigt.

Aufgrund des im Ringspaltmörtel sowie im Aushubmaterial (Restfeuchte) gebundenen Wassers reduziert sich das rückzuführende Bauwasser um ca. 100 m<sup>3</sup>/d. Die Bentonitsuspension wird in Aufbereitungsanlagen für die Wiederverwendung aufbereitet. Letztlich fallen in Kombination mit den Kühl- und Spülwässern täglich voraussichtlich 180 m<sup>3</sup> nicht weiter für den Vortrieb verwertbares Bauwasser an, welches nach der Aufbereitung in den Main-Donau-Kanal abgeleitet wird. An dieser Stelle wird auf die weiterführenden Erläuterungen in den Kap. 4.3.5 sowie 4.4 verwiesen.

Die Entnahme- und Einleitstellen sowie Informationen zum Leitungsverlauf zum Baufeld können den Lageplänen im Materialband MB04.4.2 entnommen werden.

#### **4.3.5 Gesamtentnahme- und Ableitmengen während der Bauphase**

Gemäß der Planung erfolgen die Vortriebsarbeiten sowie die Verlegung der Erdkabel getrennt voneinander. Die Wasserhaltung für die Start- und Zielbaugruben ist jedoch über einen deutlich längeren Zeitraum in Betrieb, unter anderem noch für den Aushub der Start- und Zielbaugruben, die Installation der Tunnelvortriebsmaschine sowie im Nachgang für die Errichtung der dauerhaften Schachtbauwerke.

Da, wie bereits in Kap. 4.3.4 angemerkt, für die Vortriebsarbeiten die Wässer aus der Grundwasserhaltung genutzt werden können und es zeitlich zu Überschneidungen zwischen der Wasserhaltung aus den Start- und Zielbaugruben sowie der des Erdkabelbereichs kommt, können für den Ostbereich insgesamt fünf und den Westbereich zwei Wasserhaltungsphasen mit abweichenden Gesamtentnahme- und Ableitmengen unterschieden werden. Nachfolgend werden die sich daraus ergebenden Szenarien

genauer erläutert. Eine Aufstellung zu den einzelnen maximalen Entnahmemengen, der Gesamtmenge sowie den zu abzuleitenden Mengen kann der Tabelle 5 entnommen werden.

### **Bereich Ost**

- Phase 1: Es werden lediglich die Wässer aus der Wasserhaltung für die Startbaugrube gefördert und in den Main-Donau-Kanal abgeleitet. Die Gesamtdauer dieser Phase beläuft sich nach dem aktuellen Planungsstand auf ca. 147 Wochen.
- Phase 2: Die Wasserhaltung für die Startbaugrube ist in Betrieb und die Vortriebsarbeiten laufen. Wie in Kap. 4.3.4 werden dabei die Wässer aus der Wasserhaltung der Startbaugrube zur Kompensation des Bauwasserbedarfs für den Vortrieb verwendet. Bei Bedarf wird zusätzlich Wasser aus dem Main-Donau-Kanal entnommen. Der verbleibende Teil des Bauwassers, welcher nicht im Ringspaltmörtel oder im Aushubmaterial gebunden ist, wird je nach Bedarf aufbereitet und in den Main-Donau-Kanal abgeleitet. Die Gesamtdauer dieser Phase beläuft sich nach dem aktuellen Planungsstand auf ca. 39 Wochen.
- Phase 3: Es wird neben dem Wasser aus der Wasserhaltung der Startbaugrube auch das Wasser aus der Wasserhaltung des Erdkabelbereichs gefördert. Gleichzeitig laufen noch die Vortriebsarbeiten für den Tunnel. Wie in Kap. 4.3.4 werden dabei die Wässer aus der Wasserhaltung der Startbaugrube zur Kompensation des Bauwasserbedarfs für den Vortrieb verwendet. Bei Bedarf wird zusätzlich Wasser aus dem Main-Donau-Kanal entnommen. Der verbleibende Teil des Bauwassers, welcher nicht im Ringspaltmörtel oder im Aushubmaterial gebunden ist, wird je nach Bedarf aufbereitet und in den Main-Donau-Kanal abgeleitet. Die Gesamtdauer dieser Phase beläuft sich nach dem aktuellen Planungsstand auf ca. 13 Wochen.
- Phase 4: Es wird neben dem Wasser aus der Wasserhaltung der Startbaugrube auch das Wasser aus der Wasserhaltung des Erdkabelbereichs gefördert. Da die Vortriebsarbeiten zu diesem Zeitpunkt bereits abgeschlossen sind, wird während dieser Phase aber kein Bauwasser benötigt. D.h. die gesamten Wässer aus beiden Wasserhaltungsbereichen werden entnommen, je nach Bedarf aufbereitet und in den Main-Donau-Kanal eingeleitet. Die Gesamtdauer dieser Phase beläuft sich nach dem aktuellen Planungsstand auf ca. 9 Wochen.
- Phase 5: Für den Anschluss des Erdkabelbereichs an das KSR wird die Wasserhaltung des Erdkabelbereichs kurzzeitig nochmals in Betrieb genommen. Die Wasserhaltung in der Startbaugrube ist zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht mehr in Betrieb. Die anfallenden Wässer werden je nach Bedarf aufbereitet und in den Main-Donau-Kanal eingeleitet. Die Gesamtdauer dieser Phase beläuft sich nach dem aktuellen Planungsstand auf ca. 4 Wochen.

### **Bereich West**

- Phase 1: Es werden lediglich die Wässer aus der Wasserhaltung für die Baugrube gefördert und abgeleitet werden. Die Gesamtdauer für diese Phase beläuft sich nach dem aktuellen Planungsstand auf ca. 108 Wochen.
- Phase 2: Es wird neben dem Wasser aus der Wasserhaltung der Zielbaugrube auch das Wasser aus der Wasserhaltung des Erdkabelbereichs gefördert. Bauwasser wird im Zielbereich nicht benötigt, d.h. die gesamten Wässer aus beiden Wasserhaltungsbereichen werden entnommen, je nach Bedarf aufbereitet und in die Rednitz eingeleitet (siehe Kap. 4.4). Die Gesamtdauer dieser Phase beläuft sich nach dem aktuellen Planungsstand auf ca. 21 Wochen.

Bei den in Tabelle 5 dargestellten Wasserandrangsmengen handelt es sich um rein rechnerische Werte, die jedoch mit ausreichender Sicherheit bemessen wurden. Aufgrund von nicht vorhersehbaren Witterungsereignissen, jahreszeitlich schwankenden Grundwasserständen sowie unterschiedlichen Andrangsmengen entlang des Erdkabelbereichs können die angegebenen Werte während der Bauphase abweichen. Sollten die Mengen aus der Wasserhaltung nicht ausreichen, um den Bedarf an Bauwasser zu decken, wird darauf hingewiesen, dass eine zusätzliche Wasserentnahme aus dem Main-Donau-Kanal vorgesehen ist. Gemäß den Berechnungsergebnissen wird davon ausgegangen, dass die Entnahmemenge bei ungefähr 180 m<sup>3</sup> pro Tag beträgt. Auch in diesem Fall kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Menge aufgrund der oben genannten Einflüsse Schwankungen unterliegt.

Daher wird eine enge Abstimmung mit den zuständigen Behörden hinsichtlich der tatsächlichen Andrangs- und Entnahmemengen während der Bauausführung angestrebt.

Tabelle 5: Übersicht über die Gesamtentnahme- und Ableitungen

		Dauer	Wasserhaltung Start-/Zielbaugrube		Wasserhaltung Erdkabelbereich		Bauwasserbedarf	Verluste durch Tunnelvortrieb (gebundenes Wasser Ringspaltmörtel/Aushubmaterial)	Niederschlagswasser von bauzeitlich versiegelten Flächen	Gesamtableitmenge über die Bauzeit inkl. Niederschlagswasser <sup>(1)</sup>	
			max. Entnahmemenge	Gesamtentnahmemenge über die Bauzeit	max. Entnahmemenge	Gesamtentnahmemenge über die Bauzeit				[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> ]
			[Wochen]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /d]				[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /d]
Bereich Ost	Phase 1	147	1.728	1.778.112	-	-	-	-	23	1.751	1.801.779
	Phase 2	39	1.728	471.744	-	-	280	100	23	1.651	450.723
	Phase 3	13	1.728	157.248	130	11.830	280	100	23	1.781	162.071
	Phase 4	9	1.728	108.864	130	8.190	-	-	23	1.881	118.503
	Phase 5	4	-	-	130	3.640	-	-	23	153	4.284
Bereich West	Phase 1	108	1.080	816.480	-	-	-	-	-	1.080	816.480
	Phase 2	21	1.080	158.760	160	23.520	-	-	-	1.240	182.280

<sup>(1)</sup> die Verluste durch die Vortriebsmaßnahmen sind berücksichtigt und wurde aus der Gesamtableitmenge rausgerechnet

#### 4.4 Ableitung des anfallenden Wassers aus dem Baubetrieb

Die Ableitung des Bauwassers aus dem Bereich der Startbaugrube sowie dem anschließenden Erdkabelbereich erfolgt über temporär verlegte Schlauchleitungen in den Main-Donau-Kanal. Der Einleitpunkt befindet sich etwa 35 Meter nordöstlich der Brücke „Gaulnhofers Straße“ über den Main-Donau-Kanal an einem am Ostufer gelegenen Kanalzulauf. Die Bentonitsuspension, die beim Tunnelvortrieb zur Stabilisierung und zum Transport von Material benötigt wird (vgl. Kap. 4.3.4), wird durch Aufbereitungsanlagen (z.B. Separierungsanlagen, Kammerfilterpressen, Polymer-/Flockmittelanlagen, Zentrifugen und Absetzbecken) so aufbereitet, dass sie teilweise wiederverwendet werden kann. Dabei fallen voraussichtlich pro Tag 120 m<sup>3</sup> nicht verwertbares aufbereitetes Wasser aus der Bentonitsuspension und weitere 60 m<sup>3</sup> Brauchwasser aus der Pumpenkühlung/-spülung an, die abgeleitet werden müssen. Abstimmungen hinsichtlich der prognostizierten Mengen und der Konzeptionierung wurden im Vorfeld bereits mit dem zuständigen Wasser- und Schifffahrtsamt sowie dem Wasserwirtschaftsamt durchgeführt.

Im Bereich der Zielbaugrube wird das Bauwasser über temporär verlegte Schlauchleitungen in die Rednitz abgeleitet. Der Einleitpunkt befindet sich etwa 700 Meter nordöstlich der Baumaßnahme unter der Bahnbrücke der Bahnstrecke 5320. Für die Überquerung der Volckamerstraße ist eine Rohrbrücke mit einer lichten Höhe von 4,50 Metern vorgesehen. Weitere Rohrbrücken entlang des Leitungsverlaufs sind zudem am Weihergraben sowie an einem Feldweg geplant. Die genauen Leitungsverläufe und die Lage der Einleitstellen können den Lageplänen zu den Einleit- und Entnahmestellen Wasser (Materialband MB04.4.2) entnommen werden.

Nach Vorabstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt (WWA) der Stadt Nürnberg sind bei der Einleitung in den Main-Donau-Kanal sowie die Rednitz folgende Auflagen/Einleitkriterien zu berücksichtigen: Es darf nur klares, nicht verunreinigtes Wasser ohne Schwebstoffe in das Gewässer eingeleitet werden. Stark getrübbtes Wasser muss wirkungsvoll gereinigt werden (Absetzbecken/Sandfang oder Kiesfilter), bevor es dem Gewässer zugeführt wird. Bei einer Bauwasserhaltung sind an der Einleitungsstelle in den Vorfluter vom Beginn bis zum Ende der Bauwasserhaltung folgende Grenzwerte einzuhalten:

- Abfiltrierbare Stoffe < 50 mg/l
- Absetzbare Stoffe < 0,5 ml/l
- pH-Wert 6,5 – 9,0

Als Orientierung für die Dimensionierung der Absetzeinrichtungen kann die DWA-A 166 (Anforderungen an die Absetzanlage) herangezogen werden. Die Temperaturerhöhungen infolge Wassereinleitung dürfen beim Main-Donau-Kanal gemäß Rücksprache mit dem Wasserwirtschaftsamt maximal 2 K und bei der Rednitz, gemäß Rücksprache mit der oberen Naturschutzbehörde maximal 0,1 K betragen. Die Einleittemperaturen sind zu überwachen, so dass in Abhängigkeit der Wassertemperaturen der Rednitz bzw. des Main-Donau-Kanals die maximalen Temperaturerhöhungen ständig gewährleistet werden. Nach aktuellem Kenntnisstand ist durch die Einleitung des Baustellenwassers in den Main-Donau-Kanal bzw. die Rednitz und die resultierende Durchmischung mit keiner Überschreitung der Grenztemperatur nach der OGewV [D3] zu rechnen. In Extremfällen sind jedoch entsprechende Maßnahmen zur Einhaltung der Grenztemperaturen geplant. Nähere Informationen dazu finden sich in Kap. 5.2 der vorliegenden Unterlage.

Die oben genannten Einleitkriterien werden im Rahmen der Ausschreibung der Bauleistungen an den zukünftigen Auftragnehmer weitergegeben. Er hat dafür Sorge zu tragen, dass die Kriterien eingehalten werden. Sollten Reinigungsmaßnahmen erforderlich werden, ist die Wirksamkeit nachzuweisen. Alle zum Einsatz kommenden Mittel, wie bspw. Flockungsmittel, sind beim WWA Nürnberg genehmigen zu lassen. Im Zuge dessen sind die Sicherheitsdatenblätter der jeweiligen Stoffe vorzulegen und gegebenenfalls Versuche sowie Laboranalysen durchzuführen. Hieraus können sich noch ggf. weitere Grenzwerte in Bezug auf die Einleitung für bestimmte spezifische Inhaltsstoffe ergeben. Dies resultiert aus der Tatsache, dass zum jetzigen Zeitpunkt, gemäß Planer/Vorhabenträger aus technischen sowie ausschreibungsbedingten Gründen noch keine endgültige Festlegung auf bestimmte entsprechende Produkte erfolgen kann.

Vor Zuführung an den Einleitstellen wird das einzuleitende Wasser (Wasserhaltung Start-/Zielbaugruben + Erdkabelstrecken, ggf. Prozesswasser Tunnelvortriebsarbeiten, Oberflächenwasser) in einem Becken/Tank zusammengeführt, sodass die Möglichkeit besteht, regelmäßig Beprobungen durchzuführen. Grundsätzlich wird das Wasser vor Einleitung derart vorbehandelt, dass die Einleitbedingungen des WWA eingehalten werden. Werden die Einleitbedingungen nicht erreicht, wird die Einleitung gestoppt. Gleiches gilt, falls im Rahmen von Starkregenereignissen o.ä. – insbesondere während der Sperrpause – die prognostizierten Einleitmengen überschritten werden und keine Einleitung erfolgen kann. Die Speicherkapazität der Becken/Tanks wird auf mehrere Vortriebstage ausgelegt. Sollte über einen längeren Zeitraum keine Einleitung möglich sein, wird das Wasser über Tankwagen abgefahren.

Um die Böschungsbereiche und Gewässersohlen vor potenziellen Schäden zu schützen und den Schiffsverkehr (MDK) nicht zu behindern, werden die Einleitstellen durch geeignete Maßnahmen gesichert (z.B. Prallbleche am Rohrausgang). Die Festlegung des Umfangs der Schutzmaßnahmen erfolgt im Zuge der Bauausführung durch die hydrogeologische und umwelttechnische Baubegleitung in Abstimmung mit den zuständigen Behörden. Eine zeitnahe Außerbetriebnahme der Einleitung nach Abschluss der Arbeiten im entsprechenden Bereich sowie ein Rückbau der Sicherungsmaßnahmen an den Einleitstellen wird angestrebt.

Im Rahmen der Bauausführung werden vor Baubeginn, entsprechend den Anforderungen der zuständigen Behörden, Grund- und Oberflächenwasserproben für eine Initialbeprobung entnommen und analysiert. Der weitere Umfang der Aufbereitung orientiert sich an den gegebenenfalls vorhandenen Belastungen der abzuleitenden Wässer sowie an den Einleitgrenzwerten für die Ableitung in Oberflächengewässer. Entsprechende Möglichkeiten zur Beprobung der abzuleitenden Wässer werden vorgesehen.

Auf eine, auch nur teilweise, Versickerung der Wässer aus der Bauwasserhaltung wird im Zuge der Baumaßnahme verzichtet, da gemäß den aktuellen Ergebnissen der Baugrunderkundung die oberflächennahen sowie tieferen Bodenschichten nur bedingt für eine Versickerung geeignet erscheinen und mit Risiken behaftet ist. Folgende Gründe sind dabei ausschlaggebend:

- teilweise bindige Böden und niedrige Durchlässigkeiten im oberflächennahen Bereich
- teilweise hohe Grundwasserstände mit zum Teil gespannten Verhältnisse
- Oberflächennahe Versickerung größerer Mengen kann zur Veränderung des Einleithorizontes (Bsp. unkontrollierte Austritte in Böschungen., Erhöhung der Druckpotentiale im GWL)
- Sickerfähigkeit in tieferen Bereichen (Sandsteinkeuper) wird aufgrund von anisotropen Sandstein-/Tonstein-Wechselagerung sowie schwacher Klüftung als gering eingestuft.

- Kolmation der Schluckbrunnen bei langer Betriebsdauer
- Die Erstellung und der Betrieb von Schluckbrunnen, neben der bereits geplanten Oberflächenentwässerung führt zu einem unverhältnismäßig hohen und kostenintensiven Aufwand

Darüber hinaus hat gemäß des Fachbeitrags zum EU-WRR (Unterlage 10.2) die Wasserentnahme selbst bei maximaler Menge und Dauer sowie Ableitung in den Main-Donau-Kanal bzw. die Rednitz keine langfristigen Auswirkungen auf den mengenmäßigen Zustand des Grundwasserkörpers, was eine Reinfiltration in den Grundwasserleiter nicht zwingend erforderlich macht.

Falls entgegen den Erwartungen die abzuleitenden Wassermengen deutlich niedriger ausfallen als prognostiziert, wird im Zuge der Ausführung sowie in Abstimmung mit dem zuständigen WWA geprüft, ob die Versickerung als Alternative in Betracht gezogen werden kann. Sollte es im Zuge der Ausführung unerwartet zu Problemen mit den vorgesehenen Einleitungen kommen, werden die zuständigen Behörden zeitnah informiert und das weitere Vorgehen abgestimmt.

Im Weiteren wird auf das baubegleitende Monitoring in Kapitel 7 verwiesen.

## **4.5 Oberflächenentwässerung**

### **4.5.1 Temporäre Arbeitsstreifen und BE-Flächen**

Zur Errichtung der Kabeltrasse und für die Vortriebsarbeiten des Tunnels werden temporäre Arbeitsstreifen sowie lokale Baustelleneinrichtungsflächen (BE-Flächen) benötigt. Innerhalb dieser Bereiche erfolgen sämtliche Bauabläufe, einschließlich der Ablagerung des Aushubmaterials und der Aufbereitung der Wässer. Die Flächen werden je nach Bedarf geschottert, mit einer Asphalttragschicht versehen oder bleiben unversiegelt. Genaue Informationen zum Aufbau der BE-Flächen können den entsprechenden Plänen im Materialband MB05 entnommen werden.

Für die Bauphase wird zudem auf der Startseite eine asphaltierte, ringförmige Baustraße auf der BE-Fläche angelegt. Im Bereich des Zugangs zur BE-Fläche von der Kemptener Straße aus werden beidseitig wegeparallele Entwässerungsmulden zur Ableitung von temporär anfallendem Niederschlagswasser eingerichtet.

Auf der Startseite der Baumaßnahme erfolgt die Sammlung des Niederschlagswassers von der asphaltierten BE-Fläche durch mehrere auf dem Baufeld verteilte Straßenabläufe in Verbindung mit einem Niederschlagswasserkanalnetz. Das gesammelte Wasser werden über das Kanalnetz zu einem Regenwassersammelabsetzbecken geleitet und anschließend zusammen mit den Betriebswässern über den Main-Donau-Kanal abgeführt. Auf den geschotterten Flächen ist eine Sammlung des Niederschlagswassers nicht vorgesehen, da dieses ortsnahe über den darunterliegenden Boden schadlos versickern kann.

Im Zielbereich erfolgt gemäß der aktuellen Planung lediglich eine Einschotterung der BE-Fläche, sodass auch dort das Niederschlagswasser ortsnahe in den darunterliegenden Boden versickern kann.

### **4.5.2 Dauerhaft versiegelte Flächen**

Nach Abschluss der Vortriebsarbeiten werden auf beiden Seiten der Tunnelröhren jeweils ein oberirdisches Betriebsgebäude sowie ein unterirdisches Stahlbetonbauwerk als Zugang zum Tunnel errichtet. Das Schachtbauwerk stellt das abschließende unterirdische Bauwerk an den Tunnelköpfen dar

---

und ermöglicht im Betriebsfall den Zugang zu Wartungs- und Zugangsbereichen der Kabelanlage sowie der Bauwerksteile. Der Zugang zum Schachtbauwerk erfolgt über das oberirdisch angeordnete Betriebsgebäude. Die Betriebsgebäude werden sowohl an der Startseite als auch an der Zielseite in die Betriebsgelände integriert. Die Anforderungen an die Betriebsgelände sind auf beiden Seiten identisch, was sich in der grundlegenden Struktur sowie der Ausstattung widerspiegelt. Diese umfassen Flächen für PKW- und LKW-Stellplätze, befestigte Lagerflächen für Wartungs- und Reparaturarbeiten sowie Aufstellflächen für die Feuerwehr. Aufgrund dieser Anforderungen kommt es auf den Betriebsgeländen zu Teilversiegelungen der Oberfläche.

Die Entwässerung der Dachflächen durch Niederschläge erfolgt gemäß DIN 1986-100 [D6] unter Verwendung vorgehängter Regenrinnen und Fallrohre aus Metall. Die Verbindungen werden elektrisch leitend durch Löten oder Nieten hergestellt. Darüber hinaus werden alle Fallrohre mit Reinigungsflanschungen sowie Erdungsschellen ausgestattet. Die Ableitung der Niederschlagswässer erfolgt über eine ausreichend dimensionierte Rigolenversickerung im Randbereich der Betriebsgelände. Die Niederschläge, die von den versiegelten Flächen innerhalb der Betriebsgelände anfallen, werden ebenfalls durch Freigefälle den Rigolen zugeführt und dort versickert. Die Dimensionierung der Rigolen erfolgte nach dem vereinfachten Verfahren gemäß DWA-A 138 [D8] sowie auf Grundlage der aktuellen Flächenplanung, den Ergebnisse und Empfehlungen aus den Baugrunduntersuchungen und den Niederschlagsdaten des Deutschen Wetterdiensts (KOSTRA-DWD). Die angesetzten Basisparameter sowie Berechnungsergebnisse für die beiden Betriebsgelände können der folgenden Tabelle 6 entnommen werden.

Tabelle 6: Berechnungsgrundlagen und -Ergebnisse Rigolenversickerung

		Betriebsgelände			
		Katzwang		Wolkersdorf	
<b>Flächenermittlung</b>					
Art der Befestigung	[-]	Schrägdach	Straßen, Wege und Plätze	Schrägdach	Straßen, Wege und Plätze
mittlere Abflussbeiwert $\psi_{m,i}$	[-]	1	0,5	1	0,5
Einzugsgebietsfläche $A_{E,i}$	[m <sup>2</sup> ]	1070	2490	970	1680
undurchlässige Fläche $A_{u,i}$	[m <sup>2</sup> ]	1070	1250	970	840
Bemessungsfläche $AC$	[m <sup>2</sup> ]	2320		1810	
<b>Berechnungsparameter</b>					
Wiederkehrzeit $T$	a	5		5	
Überschreitungshäufigkeit $n$	1/a	0,2		0,2	
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$	m/s	1,0 x 10 <sup>-5</sup>		1,0 x 10 <sup>-5</sup>	
Höhe Rigole $h_R$	m	2,00		2,00	
Breite Rigole $b_R$	m	2,00		2,00	
Speicherkoeffizient $s_R$	-	0,7		0,7	
Zuschlagsfaktor $f_Z$	-	1,2		1,2	
<b>Berechnungsergebnisse</b>					
Maßgebende Redenspende $r_{D(n)}$	l/(s*ha)	10,5		11,0	
Maßgebende Regendauer $D$	min	720		720	
<b>Erforderliche Rigolenlänge <math>L_R</math></b>	<b>m</b>	<b>35,3</b>		<b>28,8</b>	

Bei den nicht versiegelten Flächen der Betriebsgelände erfolgt die Niederschlagswasserbeseitigung auf natürliche Weise durch die Reinfiltration über den Oberboden.

Beidseitig sind außerdem asphaltierte Betriebszufahrten geplant, welche bereits im Zuge der Bauausführung errichtet werden und als Baustraße dienen. Diese werden für die Betriebszeit lediglich angepasst, beispielsweise durch den Rückbau der Ausweichmulden im Zielbereich. Zur Ableitung von temporär anfallendem Niederschlagswasser sind dabei wegeparallele Entwässerungsmulden vorgesehen, um die Niederschläge schadlos in den Unterboden versickern zu lassen.

## 5. Einfluss der Wasserhaltung

Nach § 8 Absatz 1 WHG bedarf die Benutzung eines Gewässers der Erlaubnis oder der Bewilligung, soweit nicht durch dieses Gesetz oder auf Grund dieses Gesetzes erlassener Vorschriften etwas anderes bestimmt ist. Durch die geplanten Bauarbeiten ergeben sich dabei folgende Benutzungstatbestände gemäß § 9 WHG:

- § 9 Abs. 1 Nr. 1 durch Entnahme von Wasser aus einem Oberflächengewässer zur Versorgung der Baumaßnahmen mit Bauwasser.
- § 9 Abs. 1 Nr. 4 durch das temporäre Einleiten von Prozess- und Grundwasser in Oberflächengewässer im Zuge der Wasserhaltungsmaßnahmen, die temporäre sowie dauerhafte Ableitung von Niederschlagswasser sowie das Verlegen von Erdkabeln und die Errichtung von dauerhaften Schachtbauwerken im grundwassergesättigten Bereich.
- § 9 Abs. 1 Nr. 5 durch die Entnahme und Ableitung von Grundwasser aus den Baugrubenbereichen durch die Wasserhaltungsmaßnahmen.
- § 9 Abs. 2 Nr. 1 durch das Herstellen von Schachtbauwerken, die dauerhafte Verlegung eines Erdkabels sowie die Erstellung eines Tunnelbauwerks im Grundwassergesättigten Bereich.

Aus hydrogeologischer Sicht ist zu beurteilen, inwieweit Einflüsse durch die beantragte bauzeitliche sowie dauerhafte Gewässerbenutzung nach § 9 WHG einen Erlaubnisversagensgrund i.S. §12 Absatz 1 Nummer 1 WHG (schädliche, nicht durch Nebenbestimmungen vermeidbare oder nicht ausgleichbare Gewässerveränderungen) oder die Nichterfüllung anderer öffentlich-rechtlicher Vorschriften (§12 Absatz 1 Nummer 1 WHG) besorgen lassen.

Es gilt für alle Gewässer eine Verschlechterung zu vermeiden. Dies bezieht sich sowohl auf den ökologischen und chemischen Zustand der Oberflächenwasserkörper als auch auf den mengenmäßigen und chemischen Zustand der Grundwasserkörper. Alle Störungen sind so gering wie möglich zu halten, um eine Verschlechterung der Gewässerqualität zu verhindern. Die spezifischen Anforderungen sowie die Erläuterungen zu den qualitativen und quantitativen Auswirkungen der Wasserhaltung können dem Fachbeitrag zur EU-WRRL entnommen werden (Unterlage 10.2). Eine entsprechende Prüfung hinsichtlich möglicher Umweltauswirkungen erfolgt hingegen im Fachbeitrag Umwelt (Unterlage 8.1). Sämtliche Maßnahmen zur Vermeidung und Minimierung von Eingriffen und zum Schutz der Gewässer im Zusammenhang mit der Wasserhaltung sind in den Maßnahmenblättern der umweltfachlichen Untersuchung (Unterlage 8.4) aufgeführt. Durch die Umsetzung der aufgelisteten Maßnahmen wird sichergestellt, dass alle gesetzlichen Vorgaben und Sorgfaltspflichten zur Gewässerbewirtschaftung gemäß § 5 und § 6 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) beachtet werden.

Die entsprechenden Eingriffsbewertungen sowie Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen hinsichtlich öffentlich-rechtlicher Vorschriften zum Thema Boden- und Denkmalschutzrecht sowie dem Waldrecht können den umweltfachlichen Untersuchungen in der Unterlage 8.1 bzw. 8.2 sowie den Maßnahmenblättern in der Unterlage 8.4 entnommen werden. Entsprechende Untersuchungen hinsichtlich Immissionsschutzrecht und dazugehörige Vermeidungs- und Minderungskonzepte hingegen finden sich in den Unterlagen 9.2 und 9.3.

Im Folgenden wird ein kurzer Zusammenfassung über die potenziellen Einflüsse der bauzeitlichen Wasserhaltung auf Oberflächengewässer und Grundwasser gegeben, während für eine detaillierte

Bewertung der Auswirkungen an dieser Stelle auf die entsprechenden Fachbeiträge bzw. Fachgutachten verwiesen wird.

## **5.1 Einfluss auf das Grundwasser**

Für die Start- und Zielbaugrube ist mit geschlossenen Wasserhaltungen zu rechnen, während für die Erdkabelgräben eine offene Wasserhaltung vorgesehen ist. Das geförderte Wasser soll aus der Startbaugrube in den Main-Donau-Kanal eingeleitet werden. Auf der Zielseite wird eine Einleitung in die Rednitz angestrebt. Im Zuge der Wasserhaltungsmaßnahmen ist mit den in Tabelle 5 genannten Entnahme-/Einleitmengen zu rechnen, welche ggf. aufgrund von nicht vorhersehbaren Witterungsereignissen, jahreszeitlich schwankenden Grundwasserständen sowie unterschiedlichen Andrangsmengen entlang des Erdkabelbereichs im Laufe der Bauphase variieren können.

Bezogen auf die Größe der betroffenen Grundwasserkörper im Start- sowie Zielbereich wird die Wasserentnahme selbst bei maximaler Menge und Dauer sowie Ableitung in den Main-Donau-Kanal bzw. die Rednitz keine langfristigen Auswirkungen auf den mengenmäßigen Zustand des Grundwasserkörpers haben.

Der chemische Zustand der Grundwasserkörper wird durch die Maßnahme nicht beeinflusst. Es entstehen keine stofflichen Belastungen des Grundwassers, sodass der Trendumkehr nach § 47 Abs. 1 Nr. 2 WHG nichts entgegensteht.

Eine betriebsbedingte Erwärmung des Grundwassers in ca. 15 m unter Geländeoberkante (GOK) kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Thermisch unbelastetes Grundwasser durchströmt auf kurzer Strecke den durch die Tunnelwandung um ca. 15 K erwärmten Bereich und nimmt anschließend auf den nachfolgenden 20 – 30 m Strömungsweg die natürlichen Bedingungen des Grundwasserkörpers wieder an. Eine thermische Beeinflussung konzentriert sich demnach auf einen sehr begrenzten Raum. Weiträumige Auswirkungen sind daher nicht zu erwarten.

Der Katzwangtunnel befindet sich überwiegend unterhalb des Grundwasserspiegels, sodass die Grundwasserneubildung oberhalb des Bauwerks in üblicher Weise erfolgt. Der Tunnel sowie die Schächte der Start- und Zielbaugruben stellen aufgrund ihrer Ausrichtung eine geringfügige Barriere für den Grundwasserfluss dar. Dadurch ist im Zuflussbereich eine Erhöhung des Grundwasserspiegels zu erwarten, während im nördlichen Strömungsschatten geringfügig niedrigere Wasserspiegel zu prognostizieren sind. Die Gesamtmenge des verfügbaren Grundwassers bleibt unverändert, sodass keine Beeinträchtigung zu erwarten ist.

Nähere Informationen hinsichtlich der quantitativen sowie qualitativen Auswirkungen auf das Grundwasser können dem Fachbeitrag zur Wasserrahmenrichtlinie (Unterlage 10.2), dem hydrogeologischen Gutachten (Unterlage 10.3) sowie dem Fachbeitrag Umwelt (Unterlage 8.1) entnommen werden.

## **5.2 Einfluss auf Oberflächengewässer**

Im Zuge der Bauphase kann es durch die Einleitung der Wässer aus der Wasserhaltung zu einer Mobilisierung von Stoffen im Bereich der Einleitstellen kommen. Aufgrund geplanter Vermeidungs-/Minderungsmaßnahmen wie zum Beispiel Erosionsschutzmatten (vgl. Maßnahmenblätter Unterlage 8.4), vorgeschalteter Absetzbecken sowie der Verdünnungseffekte im Gewässer können messbare nachteilige Auswirkungen ausgeschlossen werden. Darüber hinaus ist anzunehmen, dass sich aufgrund

von Durchmischungs- und Verdünnungseffekten die physikalisch-chemischen Komponenten in den Oberflächengewässern bei einer Einleitung nicht signifikant ändern und innerhalb der natürlichen Schwankungsbreiten liegen. Zur Sicherstellung sind dafür entsprechende Monitoringmaßnahmen im Zuge der Bauarbeiten vorgesehen (vgl. Kap. 7).

Während der Betriebsphase ist ein Stoffeintrag in erhöhten Konzentrationen aufgrund der Entfernung zu den Gewässern nicht zu erwarten.

In den betroffenen Oberflächenwasserkörper liegt aktuell keine UQN-Überschreitung vor, im Zuge des Vorhabens werden keine flussspezifischen Stoffe aus- bzw. eingebracht, sodass keine Verschlechterung eintreten kann. Eine Reduzierung eines möglichen Eintrags von Fest-, Trüb- und Schwebstoffen wird durch eine entsprechend dimensionierte Aufbereitung und der Einhaltung der in Kap. 4.4 genannten Grenzwerte entgegengewirkt.

Laut dem Fachbeitrags gemäß EU-WRRL (Unterlage 10.2) kommt es bei mittleren Temperaturverhältnissen im Main-Donau-Kanal sowie der Rednitz, durch die Einleitung und die daraus resultierenden Durchmischung zu keiner unzulässigen Temperaturerhöhung nach der OGewV [D3]. Grundlage dieser Einschätzung ist die Worst-Case-Annahme, dass Bauwasser mit einer Temperatur von bis zu 30 °C eingeleitet wird. Die zulässige Gewässeraufwärmspanne beträgt, gemäß den Abstimmungen mit der höheren Naturschutzbehörde, für den Main-Donau-Kanal 2 K und für die Rednitz 0,1 K. In Extremfällen, beispielsweise bei sehr niedrigen oder sehr hohen Temperaturen in den Gewässern, kann eine Überschreitung der bestehenden Grenzwerte jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden. Um sicherzustellen, dass die Grenzwerte für die Temperaturerhöhung in solchen Ausnahmefällen eingehalten werden, sind im Start- und Zielbereich bei Bedarf entsprechende Maßnahmen zur Temperaturregulierung vorgesehen, wie etwa Luftkühlung durch PV-betriebene Ventilatoren oder Bodenkollektoren (vgl. Maßnahmenblätter Unterlage 8.4).

Der Wasserhaushalt der betroffenen Oberflächengewässer Rednitz und Main-Donau-Kanal wird als „mäßig“ eingestuft. Die Einleitungen von Wässern wird sich temporär geringfügig auf den Wasserhaushalt an den entsprechenden Einleitstellen auswirken. Hierbei muss zwischen der Einleitung in den Main-Donau-Kanal und der Rednitz unterschieden werden. Bei letzterem handelt es sich um Wässer, die ohnehin auf natürliche Weise der Rednitz zuströmen würden. Daraus ergibt sich hinsichtlich des Wasserhaushalts keine signifikante Veränderung im Vergleich zum natürlichen Zustand, jedoch eine zeitliche Verschiebung, da das gehobene Wasser den OWK durch eine künstlich geschaffene Ableitung schneller erreicht als auf seinem natürlichem Fließweg. Durch die Einleitung in den Main-Donau-Kanal kommt es hingegen zu einer Verschiebung der Wasservolumina. Das der Rednitz nun nicht mehr zuströmende (Grund-)Wasser kommt dem Main-Donau-Kanal in gleichem Maße zugute. Infolge der Einleitungen von Wässern durch die Wasserhaltungsmaßnahmen ist eine geringfügige bauzeitliche Verbesserung des Wasserhaushalts im Main-Donau-Kanal zu prognostizieren. Für die Rednitz ergibt sich gleichsam ein Defizit. Es ist jedoch anzumerken das die in Tabelle 5 genannten maximalen Wasserhebungsmengen von umgerechnet ca. 0,02 m<sup>3</sup>/s im Vergleich zu den mittleren Abflussmengen der beiden Oberflächenwasserkörper zwischen 4,0 m<sup>3</sup>/s (Main-Donau-Kanal) und > 12 m<sup>3</sup>/s (Rednitz) als vernachlässigbar einzustufen sind. Gleiches gilt für die Entnahme von Wasser von 180 m<sup>3</sup>/d aus dem Main-Donau-Kanal.

Bei Niederschlagsereignissen führt die teilweise Versiegelung der dauerhaften Zuwegungen und Betriebsflächen zu einem Anstieg des oberirdischen Abflusses und einer Reduzierung der Versickerungsrate. Aufgrund der geplanten Versickerungsanlagen (Rigolen) innerhalb der beiden

Betriebsgelände sowie im Randbereich der Zufahrten können die Niederschläge jedoch weiterhin auf natürlichem Weg der Vorflut zufließen, sodass keine nachteiligen Veränderung des natürlichen Wasserhaushalts zu erwarten sind.

Durch die geplanten Maßnahmen erfolgen keine direkten Eingriffe in die Fließgewässerkörper und deren Struktur, wodurch die hydromorphologischen Zustände der Oberflächengewässer unverändert bleiben. Auch durch die Querungstiefen von 12 Metern unter dem Main-Donau-Kanal und 10 Metern unter der Rednitz sind keine morphologischen Auswirkungen zu erwarten. Durch die geplante Einleitung sind bei entsprechenden Schutzmaßnahmen (vgl. Kap. 4.4) an der Einleitstelle keine Erosionen zu erwarten.

Die Wasserentnahme für den Bau soll über eine Saugleitung im Main-Donau-Kanal unterhalb der Brücke „Gaulnhofener Straße“ erfolgen. Der Saugkorb wird ca. 1 Meter unter dem Wasserspiegel eingeplant, gleichzeitig ist ein Abstand von mindestens 1 Meter über dem Grund vorgesehen. Um die Schifffahrt auf dem Kanal nicht zu behindern, wird der Saugkorb im Uferbereich positioniert und fixiert. Um den Fischbestand im Kanal zu schützen, wird der Saugkorb mit einem Schutzgitter mit einer Maschenweite von maximal 10 mm ausgestattet. Die erforderliche Querschnittsfläche des Saugschlauchs wird so gewählt, dass eine maximale Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s nicht überschritten wird. Weitere Informationen dazu finden sich in den Kapiteln 3.1.1 sowie 3.1.2.2 der Unterlage 11.2.

In Rahmen der Einleitung der Wässer aus der Wasserhaltung in die Rednitz können durch Stoffeinträge sowie Veränderungen von Gewässertemperatur, Sauerstoffgehalt und pH-Wert Beeinträchtigungen der Lebensräume aquatischer Arten bzw. Artengruppen entstehen. Hiervon betroffen sind unter anderem die potenziellen Habitatbereiche geschützter Libellenarten wie der „Grünen Keiljungfer“, welche durch die bauzeitlichen Gewässereinleitungen geschädigt und für die erfolgreiche Larvalentwicklung der Art untauglich gemacht werden könnten. Auch für geschützte Fischarten wie der „Groppe“ sowie weitere gewässerbezogene Arten wie dem „Europäischen Biber“ bietet die Rednitz grundsätzlich Lebensraumpotential, welches durch Veränderungen der Gewässereigenschaften beeinträchtigt werden könnte. Durch die geplanten Maßnahmen werden die Einträge von Trüb-, Schad- und Schwebstoffen mittels vorgeschalteter Absetzbecken entsprechend der in Kap. 4.4 angegebenen Grenzwerte vermindert. Durch Beschränkung der maximalen Einleitmenge wird zudem eine ausreichende Verdünnung im Gewässer sichergestellt, wodurch Temperatur- und pH-Wertveränderungen der Rednitz entsprechend der Angaben in Kap. 4.4 minimiert werden und erhebliche nachteilige Auswirkungen auf die Lebensräume aquatischer Arten ausgeschlossen werden können.

Nähere Informationen hinsichtlich der quantitativen sowie qualitativen Auswirkungen auf das Grundwasser können dem Fachbeitrag zur Wasserrahmenrichtlinie (Unterlage 10.2), dem hydrogeologischen Gutachten (Unterlage 10.3) sowie dem Fachbeitrag Umwelt (Unterlage 8.1) entnommen werden.

### **5.3 Einfluss der Grundwasserabsenkung**

Der in Kapitel 3.3 beschriebene schwebende Grundwasserleiter ist für die Wasserversorgung der Vegetation relevant, da Wasservorkommen bis zu einer Tiefe von 5 m von der Vegetation genutzt werden können. Bei der Zielbaugrube reicht die Absenkreichweite des schwebenden Grundwassers bis ca. 85 m. Ein Großteil dieser Fläche wird vom BE-Feld eingenommen, wodurch keine zusätzlichen Auswirkungen auf die Biotope durch die Grundwasserabsenkung zu erwarten sind. Die angrenzenden Flächen sind größtenteils Acker- und Intensivgrünland, deren naturschutzfachliche Wertigkeit durch die Absenkung nicht gemindert wird. Grundwasserabhängige Feuchtbiotope sind nicht betroffen. Am Rand des

Absenktrichters befinden sich im Norden Gehölze und im Westen Nadelwald, die bis zu 5 m Tiefe Wasser erschließen können. Dort besteht potenziell eine Beeinträchtigung der Vegetation. Die Restabsenkung im Randbereich des Absenktrichters ist jedoch gering und kleiner als die übliche jährlichen Schwankungsbreiten des Grundwasserspiegels (ca. 1 bis 2 m). Die Biotope sind an solche Schwankungen gewöhnt, daher sind keine erheblichen Beeinträchtigungen zu erwarten. Bei der Startbaugrube reicht die Absenkreichweite bis zu 85 m und erstreckt sich ebenfalls zum großen Teil über die BE-Fläche. Das weitere umliegende Gebiet ist hauptsächlich von Acker- und Verkehrsflächen sowie landwirtschaftlichen Lageflächen und Gebäuden geprägt. Die naturschutzfachliche Wertigkeit dieser Biotope wird durch die Absenkungen nicht gemindert. Gehölze und Einzelbäume am Rand der Absenkreichweite könnten potenziell betroffen sein, jedoch ist das Absenkmaß auch hier gering und im Schwankungsbereich des Grundwassers.

Erhebliche Auswirkung auf Gewässer und grundwasserbeeinflusste Feuchtbiotope bzw. sonstige Biotope durch die Grundwasserentnahme ergeben sich nicht. Der Main-Donau-Kanal ist ein künstliches Gewässer, das aufgrund der künstlichen Sohlabdichtung nicht durch das Grundwasser beeinflusst wird. Die Rednitz mit seinen Feuchtbiotopen liegt außerhalb des Wirkungsbereichs der Absenkung.

Im potenziellen Einflussbereich des Absenktrichters der Startbaugrube befinden sich diverse Eigenwasserversorgungsbrunnen. Diese liegen auf dem Betriebsgelände der Gärtnerei Beschel, dem Landwirtschaftsbetrieb Kühnlein sowie im nordöstlich gelegenen Siedlungsgebiet „Am Roten Bühl“. Basierend auf den derzeit vorliegenden Daten kann eine Absenkung der Brunnenwasserstände und damit eine Verringerung der Ergiebigkeit nicht ausgeschlossen werden. Ein vollständiges Trockenfallen der Brunnen ist jedoch als unwahrscheinlich einzustufen. Die betroffenen Eigentümer werden vor Baubeginn kontaktiert, und es wird mit diesen sowie der zuständigen Behörde ein Monitoring (z. B. Beobachtung der Grundwasserstände mittels Datenlogger) zur Überwachung der Auswirkungen der Grundwasserhaltungsmaßnahmen auf die Brauchwasserbrunnen abgestimmt. Sollten sich signifikante Auswirkungen ergeben, wird der Vorhabenträger bauzeitlich eine Ersatzwasserversorgung bereitstellen.

Nähere Informationen hinsichtlich der quantitativen sowie qualitativen Auswirkungen auf das Grundwasser können dem Fachbeitrag zur Wasserrahmenrichtlinie (Unterlage 10.2), dem hydrogeologischen Gutachten (Unterlage 10.3) sowie dem Fachbeitrag Umwelt (Unterlage 8.1) entnommen werden

## **6. Anlagen in, an, über und unter oberirdischen Gewässern**

Nach § 36 Abs. 1 Satz 1 WHG [D1] sind Anlagen in, an, über und unter oberirdischen Gewässern so zu errichten, zu betreiben, zu unterhalten und stillzulegen, dass keine schädlichen Gewässerveränderungen zu erwarten sind und die Gewässerunterhaltung nicht mehr erschwert wird, als es den Umständen nach unvermeidbar ist. Die nach Art. 20 BayWG [D2] geltenden Bedingungen für die Genehmigung von Anlagen in, an, über und unter Gewässern (zu § 36 WHG) sind zu berücksichtigen. Danach sind Anlagen an Gewässern der ersten oder zweiten Ordnung genehmigungspflichtig, die weniger als 60 m von der Uferlinie entfernt sind oder die Unterhaltung oder den Ausbau beeinträchtigen können (Art. 20 Abs. 1 Satz 2 BayWG). Darüber hinaus kann die Regierung durch Rechtsverordnung die Genehmigungspflicht auch für Anlagen im Sinne des § 36 WHG an Gewässern der dritten Ordnung oder Teilen davon begründen (Art. 20 Abs. 2 BayWG).

Gemäß den Planunterlagen werden keine oberflächlichen, dauerhaften baulichen Anlagen errichtet, die sich näher als 60 m an der Uferböschung befinden. Lediglich im Zuge der Baumaßnahmen im Start- und Zielbereich des Tunnels sowie im vorgeschalteten Erdkabelbereich kommt es innerhalb des vorgenannten 60 m-Streifens zur Errichtung temporärer Anlagen im Rahmen der Wasserhaltungsmaßnahmen und der damit verbundenen Leitungsverlegung für die Entsorgung der Baustellenwässer (Prozess- bzw. Grundwasser) sowie darüber hinaus im Startbereich zur Versorgung der Baustelle mit Wasser aus dem Main-Donau-Kanal. Die Einleitung bzw. Entnahme erfolgt im Bereich des Main-Donau-Kanals am befestigten und an der Rednitz an einem unbefestigten Uferbereichen. Die entsprechenden Entnahme- und Einleitpunkte sowie die Mengen und Einleitkriterien bezüglich Schad- und Trübstoffen wurden im Vorfeld mit den zuständigen Behörden abgestimmt. Eine Erschwerung der Gewässerunterhaltung kann daher ausgeschlossen werden. Eine zeitnahe Außerbetriebnahme der Einleitung bzw. Entnahme nach Abschluss der Arbeiten im entsprechenden Bereich sowie ein Rückbau der baulichen Anlagen an den Einleit- und Entnahmestellen wird angestrebt. Darüber hinaus sind aus Sicht des Fachbeitrags Umwelt (Unterlage 8.1) sowie des Fachbeitrags zur EU-WRRL (Unterlage 10.2) durch die temporären Maßnahmen keine schädlichen Gewässerveränderungen zu erwarten.

Das Tunnelbauwerk quert, wie in Kap. 1 beschrieben, die Rednitz (Gewässer 1. Ordnung) sowie den Main-Donau-Kanal (Gewässer 1. Ordnung) und ist damit gemäß § 36 Abs. 1 WHG als Leitungsanlage unter einem oberirdischen Gewässer anzusehen. Der Abstand zwischen Tunneloberkante und Gewässersohle beträgt bei der Rednitz ca. 9 m und beim Main-Donau-Kanal etwa 12 m. Daher ist u.E. davon auszugehen, dass hier keine Erschwernisse für die Gewässerunterhaltung und keine schädlichen Gewässerveränderungen auftreten.

Da aufgrund der oben genannten Erläuterungen keine schädlichen Gewässerveränderungen zu erwarten sind und die Gewässerunterhaltung nicht mehr erschwert wird, als es den Umständen nach unvermeidbar ist, liegen die genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen für die Errichtung und den Betrieb der temporären sowie der dauerhaften beschriebenen Anlagen im Sinne des Art. 20 BayWG i.V.m. § 36 WHG vor.

## 7. Baubegleitendes Monitoring

Das baubegleitende Gewässermonitoringkonzept wird nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand schwerpunktmäßig auf die Mengenkontrolle von Fließgewässerabflüssen und die hydrochemische Kontrolle der abzuleitenden Grundwässer sowie die Wasserqualität bei Einleitung in die Fließgewässer konzipiert. Daher sind primär folgende Maßnahmen geplant:

- Regelmäßige Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Entnahmeeinrichtungen sowie der installierten Anlagenteile
- Regelmäßige Überprüfung der Einleitungsstellen im Hinblick auf nachteilige Auswirkungen für das benutzte Gewässer, z. B. im Zusammenhang mit der Benutzung auftretende Erosionen, Eintrag von absetzbaren Stoffen.
- Ermittlung der geförderten und eingeleiteten Wassermengen mittels Wasserzähler
- Chemische Kontrollanalysen der relevanten Einleitparameter vor und nach der Wasseraufbereitung
- Monitoring der Gewässertemperatur Main-Donau-Kanal und Rednitz

•  
Zur Bestimmung der geförderten Wassermengen werden Messeinrichtungen installiert, die täglich abgelesen und in einem Wasserbuch dokumentiert werden. Hierbei werden auch die Einleitmengen an den Einleitstellen festgehalten.

Die Messungen dienen zur Überprüfung der berechneten maximalen Einleitungsmengen und zur Überwachung der insgesamt geförderten Abwassermenge. Die zuständige Behörde erhält bei Bedarf entsprechende Informationen.

Die analytische Überprüfung des Förderwassers sowie bei Bedarf der Einleitgewässer erfolgt regelmäßig durch die hydrogeologische Baubegleitung, sowohl vor als auch nach der Einleitstelle. Der Umfang der Analytik in Bezug auf die Qualitätsvorgaben des einzuleitenden Förderwassers und der Einleitgewässer wird vor Baubeginn mit der zuständigen Behörde abgestimmt.

Um zuverlässig eine mögliche Temperaturänderung erfassen zu können, soll die Temperaturmessung im Main-Donau-Kanal in Fließrichtung 200 m vor der Einleitstelle, an der Einleitstelle sowie 200 m nach der Einleitstelle gemessen werden. Dazu soll mindestens wöchentlich in einer Entfernung von 1,0 m zum Ufer in 30 cm Wassertiefe die Temperatur manuell gemessen und dokumentiert werden. Zeigen die Messergebnisse eine signifikante Temperaturerhöhung, wird der Messrhythmus in Abstimmung mit der zuständigen Behörde angepasst. Es obliegt dem zukünftigen Auftragnehmer ein automatisiertes Monitoringsystem einzusetzen.

Wie in Kapitel 4.4 beschrieben, sollen die einzuleitenden Wässer vor Einleitung in einem Becken/Tank zusammengeführt werden. In diesem Behälter soll ebenfalls eine regelmäßige arbeitstägliche Temperaturmessung erfolgen. Wird in den Monaten Dezember bis Februar (Wintermonate) sowie Juli bis August (Sommermonate) die Grenztemperatur von 30°C (vgl. Kapitel 5.2) erreicht, ist die Einleitung unmittelbar zu unterbrechen. Sollten die Pufferkapazitäten nicht ausreichen, um den Zeitraum zu überbrücken, ist das Wasser vor Einleitung zu kühlen oder alternativ mittels Tankwagen abzufahren und zu entsorgen.

Für die Einleitstelle an der Rednitz ist hinsichtlich der nachzuweisenden Temperaturänderungen des Gewässers aufgrund des einzuleitenden Wassers aus der Baugrubenwasserhaltung vorgesehen, ca. 10 m stromauf- und stromabwärts der Einleitstelle sowie unmittelbar stromabwärts der Einleitstelle regelmäßig Messungen durchzuführen. Die Messungen sollen in einem Abstand von ca. 1 m vom Ufer und in einer Tiefe von ca. 30 cm durchzuführen.

Die Messungen sind mindestens wöchentlich durchzuführen und in ein geeignetes Monitoringsystem zu übertragen. Eine Anpassung des Messrhythmus erfolgt analog zum Main-Donau-Kanal. Die Automatisierung dieses Systems obliegt dem späteren AN.

Das einzuleitende und aus der Zielbaugrube geförderte Wasser wird vor der Einleitung in einem Becken bzw. Tank gepuffert und nur bei Bedarf übergehoben. Da es sich bei dem anfallenden Wasser ausschließlich um Grund- und Sickerwasser handelt, ist eine Temperaturüberschreitung von 30 °C unwahrscheinlich. Dennoch soll in diesem Behälter eine regelmäßige, arbeitstägliche Temperaturmessung erfolgen. Bei Überschreitung der Grenzwerte wird entsprechend der vorstehenden Erläuterungen zur Einleitung in den MDK verfahren.

Das baubegleitende Monitoring wird in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden vor Baubeginn abgestimmt.

---

Die Ergebnisse des Monitorings werden von der hydrogeologischen Baubegleitung dokumentiert und regelmäßig dem VHT übergeben. Der VHT stellt die Dokumentation bei Bedarf der zuständigen Behörde zur Verfügung.

---

## Literaturverzeichnis

- [D1] Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3901) geändert worden ist
- [D2] Bayerisches Wassergesetz (BayWG) vom 25. Februar 2010 (GVBl. S. 66, 130, BayRS 753-1-U), das zuletzt durch § 1 des Gesetzes vom 9. November 2021 (GVBl. S. 608) geändert worden ist
- [D3] Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373), die zuletzt durch Artikel 2 Absatz 4 des Gesetzes vom 9. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2873) geändert worden ist
- [D4] DIN 4124 (2012): Baugruben und Gräben – Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten, Beuth-Verlag, Berlin, 2012
- [D5] DIN 18130-1:1998-05 (1998): Bestimmung der Wasserdurchlässigkeiten, Teil 1: Laborversuche, Beuth-Verlag, Berlin, 1998.
- [D6] DIN 1986-100 (2016): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056, Beuth-Verlag, Berlin, 2016
- [D7] Herth, W., & Arndts, E. (1994). Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung. Berlin: Ernst, Verlag für Architektur u. techn. Wiss.
- [D8] DWA-ARBEITSBLATT 138 (2005): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- [D9] Sichardt, W., 1928. Das Fassungsvermögen von Rohrbrunnen und seine Bedeutung für die Grundwasserabsenkung, insbesondere für größere Absenkungstiefen. Berlin: Julius Springer Verlag.
- [D10] Desens, Annika/Georg J. Houben (2021): Jenseits von Sichardt – empirische Formeln zur Bestimmung der Absenkreichweite eines Brunnens und ein Verbesserungsvorschlag, in: Grundwasser, Bd. 27, Nr. 2, S. 131–141