Tunnel
**Starnberg**

# DIALOG

Geologie & Hydrogeologie



*„Geologie und Hydrogeologie spielen im Starnberger Untergrund eine wesentliche Rolle. Daher widmen wir diesen beiden anspruchsvollen Themengebieten die vorliegende dritte DIALOG-Ausgabe. Den Umfang mit insgesamt 16 Seiten haben wir an die große Bedeutung von Geologie und Hydrogeologie angepasst. Wir hoffen, dass es uns gelungen ist, Ihnen diese herausfordernden, technischen Sachverhalte verständlich darzustellen."*

Herwig Ludwig, Projektleiter Tunnel Starnberg
Staatliches Bauamt Weilheim

Die enge Beziehung zwischen Geologie und Hydrogeologie wird in der vorliegenden Ausarbeitung deutlich. Interessante und wissenswerte Schwerpunkte aus beiden Bereichen für die Realisierung des Tunnels Starnberg haben wir zusammengefasst und die folgenden Inhalte ausgearbeitet.

**Inhalt**


HERAUSFORDERUNGEN
ERKUNDUNGEN
PRAXISBEISPIEL
BODEN/WASSER
AUF EINEN BLICK
NUTZEN


Bei Fragen kommen Sie gerne bei uns im Infocenter vorbei. Geöffnet donnerstags zwischen 16 und 18 Uhr.
Oder schreiben Sie uns eine E-Mail an:
tunnelstarnberg@stbawm.bayern.de

Geologie beschäftigt sich mit Aufbau, Zusammensetzung und Struktur der Erde, den Gesteinen und ihrer Entwicklungsgeschichte sowie den Prozessen zur Formung der Erdkruste.

Hydrogeologie ist die Lehre vom unterirdischen Wasser und seiner Wechselwirkung mit den Gesteinen. Es geht um Vorkommen, Eigenschaften und Bewegung des Wassers im Untergrund.

Zum Einstieg in das Thema bietet Ihnen der geologische Längsschnitt auf Seite 4/5 einen guten Einblick in den komplexen Starnberger Untergrund.
Boden und Grundwasser stellen zwei wesentliche Herausforderungen für die Realisierung des Tunnels dar.

Wo kommen die Mess- und Erkundungsdaten her?
Die Rubrik „Erkundungen" liefert Hintergrundinformationen über die zeitlich gestaffelten Maßnahmen. Die „Grundwassermessstelle (GWM) 410" auf Seite 8 dient als anschauliches Praxisbeispiel von der Planung bis zum Ergebnis.



Entnahme eines Bohrkerns während der Arbeiten der GWM 402 an der Waldstraße. Bei dem Bohrkern handelt es sich um den Teil eines Kalksteins, der in diesem Bereich einen Durchmesser von mehr als zwei Metern aufweist. Vermutlich wurde dieser Kalkstein als Findling vom Gletscher nach Starnberg transportiert.

Auf Seite 11/12 finden Sie einen Lageplanausschnitt, in dem wir die Bündelung sämtlicher Messergebnisse der Erkundungsmaßnahmen zeigen.
Dieser Ausschnitt stellt beispielhaft die Region zwischen dem Institut für Fischerei und der Possenhofener Straße dar. Wie deutlich erkennbar, kreuzt die Tunneltrasse in diesem Bereich zweimal den Grundwasserstrom. Dies macht Dükerbauwerke erforderlich, deren grundlegende Funktionsweise auf Seite 14 in einer anschaulichen, schematischen Darstellung erklärt wird.

Die Zusammenstellung des Nutzens, der aus den Erkenntnissen über Geologie und Hydrogeologie für den Tunnel Starnberg gezogen werden kann, bildet den Abschluss dieser dritten DIALOG-Ausgabe.

HERAUSFORDERUNGEN

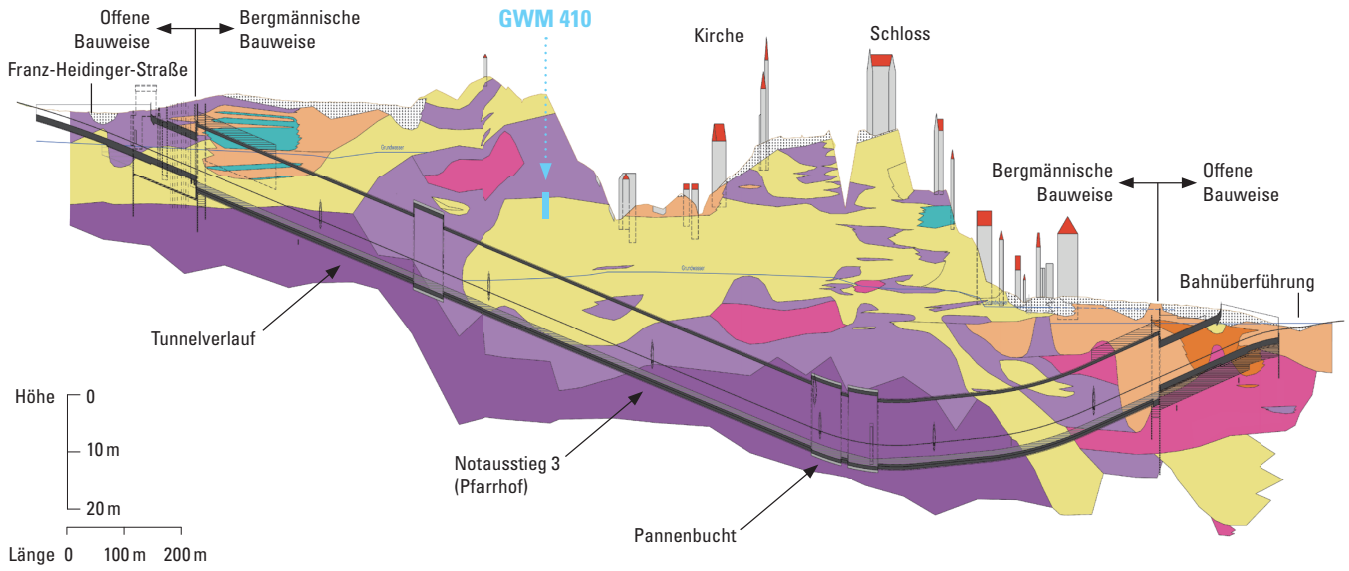
## Geologische Vielfalt

Der tiefere Untergrund Starnbergs besteht aus ca. 18 Mio. Jahre alten Ablagerungen des Tertiärs, der sog. Molasse. Diese beinhaltet den Abtragungsschutt der sich hebenden Alpen wie Sande, Tone und Kiese. Die daraufhin durch Erosion umgestaltete Molasseoberfläche wurde zur Quartärzeit vor ca. 2,6 Mio. Jahren durch Gletschervorstöße ins Alpenvorland geformt. Es kam hier zur Umlagerung und Sedimentation von Moränenmaterial, Schotterterrassen und Seetonen. Im Boden liegen daher verschiedene Sedimente kleinräumig nebeneinander vor. Kiesablagerungen sind teils durch kalkhaltiges Wasser zu Konglomeraten (Nagelfluh) verfestigt. Der Seeton besteht aus strukturempfindlichen Tonen unterschiedlicher Konsistenzen.

## Hydrogeologie: Facettenreiches Wasser

Die Heterogenität des Untergrunds und die Wechselhaftigkeit der Topografie schaffen komplexe Grundwasserverhältnisse. Verschiedene Grundwasserabschnitte sind durch undurchlässige Bodenschichten voneinander getrennt. Dadurch ergeben sich deutlich unterschiedliche Grundwasserniveaus. Aufgrund des dadurch vorhandenen Gefälles resultieren hohe Fließgeschwindigkeiten. Somit sind im Untergrund ausgeprägte Grundwasserströme vorhanden, die unterirdischen Bächen gleichen. Die Fließrichtung zwischen den Grundwasserabschnitten wechselt, ist weder innerhalb der Abschnitte einheitlich noch zwingend identisch mit dem Verlauf der Geländeoberfläche. Die Grundwasserleiter (Aquifere) unterteilen sich in Schichtwasser-, Tertiär- und Quartäraquifere.

## Geologischer Längsschnitt 10-fach überhöht




← Richtung Weilheim

Richtung München →

**Legende**

- Moräne, Kies mit geringmächtigen Sand- / Tonzwischenschichten
- Fluviatil abgelagerte Sande mit Tonzwischenschichten
- Moräne, Ton mit geringmächtigen Sand- / Kieszwischenschichten
- Seeton mit Sandzwischenschichten
- Fluviatil abgelagerte Kiese und Sande mit einzelnen feinkörnigen Zwischenschichten
- Konglomerat (Nagelfluh)
- Tertiäre Tone und Schluffe mit geringmächtigen Sandschichten
- Auffüllung
- Bohrprofil GWM 410 Ergebnis siehe Praxisbeispiel auf Seite 8/9

ERKUNDUNGEN

## Maßnahmen von 1988 bis heute

Das gemeinsame Ziel sämtlicher bisher durchgeführter Erkundungsmaßnahmen besteht darin, dem Starnberger Untergrund Kennwerte zu entlocken, die gebündelt in ein Baugrundmodell einfließen. Mit Hilfe dieser Erkenntnisse aus den Erkundungsprogrammen werden in der Planungsphase geeignete Bauverfahren ausgewählt. Für die spätere Ausschreibung und Durchführung gibt das Staatliche Bauamt Weilheim diese Informationen an die ausführenden Fachfirmen weiter.

Seit vielen Jahren werden in Starnberg Erkundungen in Form von Bohrungen* und Sondierungen* durchgeführt.

**Übersicht** (Bohrmeterangaben kumuliert)

**1988** **1. Erkundungsprogramm**
12 Bohrungen ➔ 260,4 Bohrmeter

**1990** **2. Erkundungsprogramm**
11 Bohrungen ➔ 309,0 Bohrmeter

**2009/10** **3. Erkundungsprogramm****
49 Bohrungen (35 Grundwassermessstellen und 14 Bohrungen):
146 - 419 mm Bohrungsdurchmesser, 7,5 - 73 m tief
+ 2 Großbohrungen bis 27 m Tiefe (600 - 900 mm)
➔ 1.746,7 Bohrmeter
34 schwere Rammsondierungen:
➔ 271,3 Sondiermeter

**2018** **4. Erkundungsprogramm****
26 Bohrungen (22 Grundwassermessstellen, 4 Bohrungen):
146 - 419 mm Bohrungsdurchmesser, 15 - 70 m tief
➔ 983,5 Bohrmeter
13 Drucksondierungen ➔ 271,5 Sondiermeter

**2019** **Drucksondierungen****
10 Drucksondierungen ➔ 182,7 Sondiermeter

* Erläuterung unter „Wissenswertes zu den Maßnahmen"

** apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Jochen Fillibeck war hier federführend als fachtechnische Bauüberwachung und als geotechnischer Sachverständiger eingebunden.

## Wissenswertes zu den Maßnahmen

Was unterscheidet Bohrung und Grundwassermessstelle? Ziel einer Bohrung ist die Gewinnung von Bohrkernen (siehe Bilder auf Seite 3, 7 und 8). Das Bohrloch wird verfüllt und verschlossen. Ziel einer Grundwassermessstelle (GWM) ist es, durch Grundwasserstände und Pumpversuche Erkenntnisse wie Zulaufmenge, Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung der Aquifere zu erhalten. Um dies zu ermöglichen, wird nach Bohrkernentnahme das Bohrloch mit Drainagerohren und Filterkies ausgebaut.

Bei der Sondierung wird ein Metallstab mit konischer Spitze in den Boden eingedrückt. Durch die auftretenden Widerstände erhält man Kenntnisse über den Bodenaufbau. Es gibt zwei Verfahren: a) Rammsondierung: kostengünstige Variante, mobiler Einsatz, leicht transportabel; b) Drucksondierung: Ausführung mit Raupengerät, hydraulisches Einbringen einer Metallstange mit Spitze. Diese Spitze ist eine Sonde, die Bodenkennwerte wie Spitzendruck, Reibung des Gestänges, Wasserdruck etc. aufnimmt.

## Eindrücke von diesen Maßnahmen


1


2


3


4

1. Bohrkrone eines Doppelkernrohrs wie sie für die Bohrung der GWM 404 (Gehweg an der Weilheimer Straße/B 2 auf Höhe eines Drogeriemarktes) verwendet wurde.
2. Bohrung einer GWM im Zentrum von Starnberg. Die Bohrung befindet sich an der Ecke Achheimstraße zur Theresienstraße.
3. Ausführung einer Drucksondierung an der Kreuzung Leutstettener Straße mit der B 2.
4. Messung der Grundwasseroberkante mittels eines Lichtlots an einer Oberflur-Grundwassermessstelle.

PRAXISBEISPIEL

## Erkenntnisse aus Bohrungen

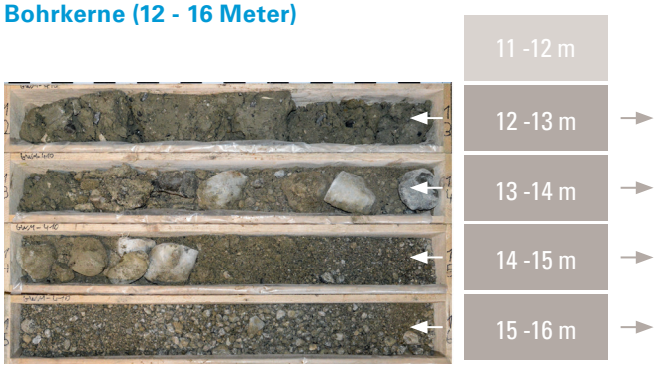
### Grundwassermessstelle GWM 410

2018 fand zwischen Prinzenweg und Almeidaweg eine dreitägige Bohrung statt, die dann zu der Grundwassermessstelle GWM 410 ausgebaut wurde.

Die genaue Position der Bohrung und Grundwassermessstelle ist im geologischen Längsschnitt (Seite 4/5) mit der blauen Markierung **GWM 410** gekennzeichnet. Die Nummer setzt sich aus zwei Teilen zusammen:
„4“ bezieht sich auf das 4. Erkundungsprogramm;
„10“ ist die Nummer der Bohrung.

Die Ergebnisse der Bohrungen werden in ein Bohrprofil übertragen, das eine detaillierte und anschauliche Darstellung der geologischen Schichten liefert.

### Bohrkerne (12 - 16 Meter)




### Erläuterung zu den Abbildungen

Aus den Bohrkernen (Foto links) werden von einem Geologen Bohrprofile erstellt (Abbildung rechts). Diese detaillierten Profile fließen in den geologischen Längsschnitt (Seite 4/5) ein, in dem die verschiedenen geologischen Einheiten zusammengefasst werden. Im Vergleich mit dem geologischen Längsschnitt sind im Bohrprofil die Hauptanteile von kiesiger Moräne (gelb) sowie von toniger Moräne (violett) deutlich erkennbar. Im Längsschnitt wird die orange Partie des Bohrprofils (Sand) der kiesigen Moräne (gelb) grafisch zugeordnet.

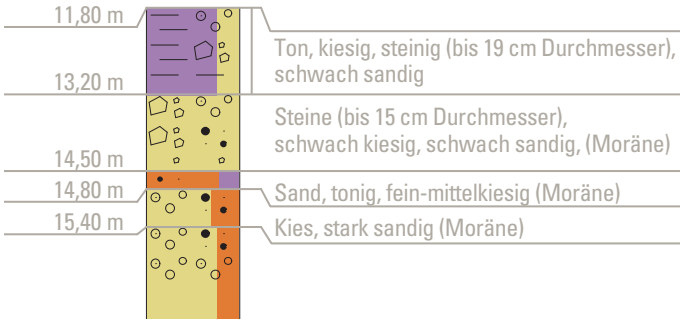
### Die Anfertigung des Bohrprofils

Im Foto, das die Holzkiste mit den Bohrkernen zeigt, sind die konkreten Meterangaben der Bohrkernentnahme eingezeichnet. Die Ergebnisse werden in das Bohrprofil eingetragen und beschrieben.

Die geologische Zuordnung wird mit einem Farbcode gekennzeichnet. In der Legende des geologischen Längsschnitts (Seite 4/5) wird der gleiche Farbcode verwendet.

In der Abbildung „Bohrprofil“ sind z. B. Gelb und Violett zu sehen, entsprechend den Farben im geologischen Längsschnitt (Seite 4/5: erstes und drittes Kästchen der Legende), die die geologische Schicht benennen.

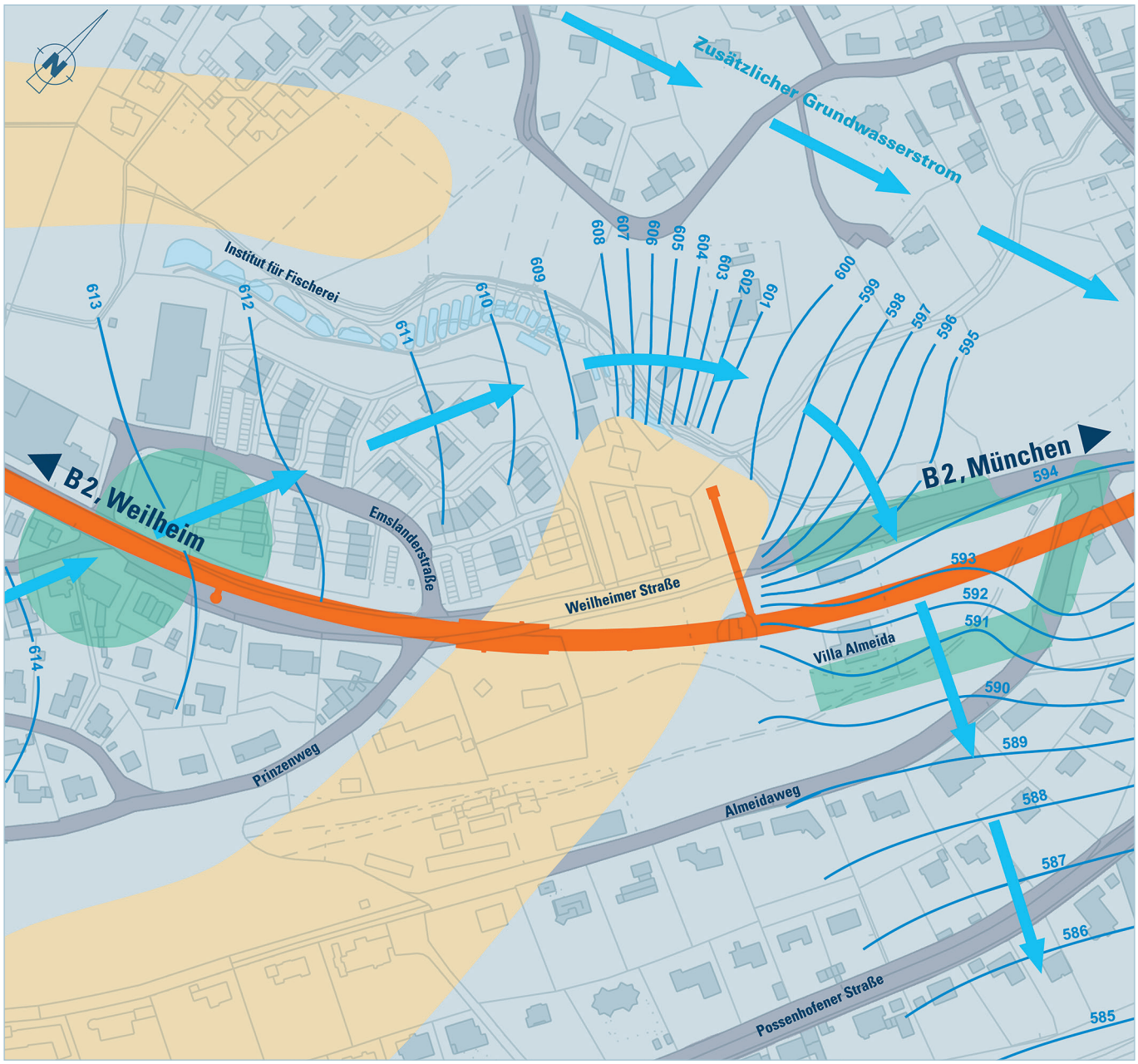
### Bohrprofil (12 - 16 Meter)




### Übertrag in das Baugrundmodell

Die Erkenntnisse aus der GWM 410 zusammen mit den Ergebnissen von allen weiteren Bohrungen und Grundwassermessstellen werden in das Baugrundmodell übertragen. Der geologische Längsschnitt stellt einen Ausschnitt aus dem dreidimensionalen Baugrundmodell dar. Dies basiert, wie beschrieben, auf der Gesamtheit aller erzielten Resultate.

## Lageplan Grundwasserströmung




614 — Isohypsen, alle Angaben in m ü. N.N.

Grundwasserströmungsrichtung

Wasserundurchlässige Schichten

Tunneltrasse inkl. Notausstiege und Pannenbuchten

Geplante Dükerbereiche

BODEN/WASSER

## Erkenntnisse aus Bohrungen

Der Lageplan auf Seite 11/12 zeigt die Ergebnisse umfangreicher Messungen zur Bestimmung der Grundwasserströmungsrichtung in der Region zwischen dem Institut für Fischerei und der Possenhofener Straße.

Messungen und Ergebnisse:
- Aus der Vielzahl der Grundwassermessstellen ergeben sich die Grundwasserhöhen.
- Aus der Vielzahl der Grundwasserhöhen ergeben sich die Isohypsen (Erläuterung siehe unten).
- Aus der Vielzahl der Isohypsen lassen sich Schlüsse auf die Grundwasserströmungsrichtung ziehen.

Die Resultate werden als hydrogeologische Angaben für das Baugrundmodell verwendet.

Für den Tunnelbau ist die Kenntnis der Grundwasserströmungsrichtung entscheidend, da sich das Bauwerk überwiegend im Grundwasser befindet und dieses beeinflussen würde. Im Lageplan auf Seite 11/12 grün eingezeichnet finden Sie die dort beispielhaft geplanten Dükerbauwerke, die das Grundwasser unter dem Tunnel durchleiten und einen Aufstau verhindern.

AUF EINEN BLICK

## Fachbegriffe kurz erklärt

### Isohypse
Ist die Verbindungslinie von gleichen Grundwasserhöhen. Anhand mehrerer Isohypsen (ähnlich Höhenlinien) mit zum Teil ausgeprägten Höhenunterschieden kann aufgrund des daraus resultierenden hydraulischen Gefälles die Strömungsrichtung ermittelt werden.

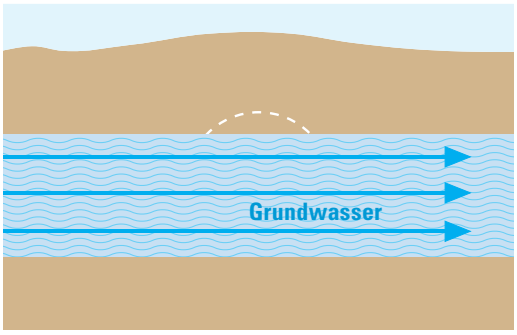
### Wasserundurchlässige Schichten
Geologische Einheiten, die aufgrund ihrer Feinkörnigkeit als sogenannte „bindige" Böden bezeichnet werden und nur eine sehr geringe Wasserdurchlässigkeit aufweisen (z. B. Tone).

BODEN/WASSER

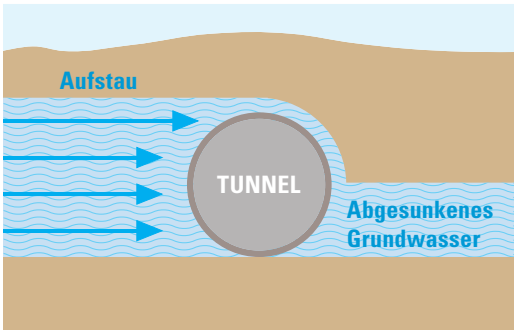
## Düker

Düker leiten das Grundwasser um, das auf Höhe des Tunnels fließen würde. Mit dem Einsatz eines Dükers unterquert das Grundwasser den Tunnel. Der natürliche Grundwasserstrom wird aufrechterhalten und ein Aufstau vermieden.

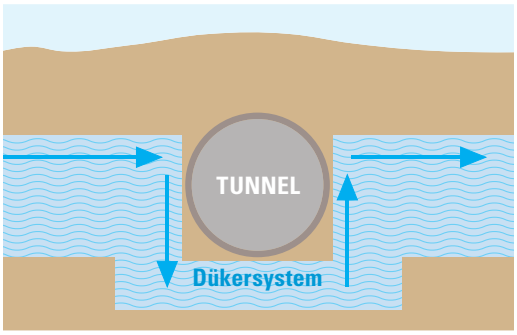
### Ausgangslage




### Ohne Düker




### Mit Düker



NUTZEN

## Geologie

Die Komplexität des Untergrunds und die damit einhergehende, im Verhältnis zu vergleichbaren Projekten sehr hohe Zahl an Bohrungen zeigt deutlich, dass die Starnberger Geologie sehr anspruchsvoll ist.



*„Die durchgeführten Bohrungen sind allesamt problemlos verlaufen. Gewisse Einschränkungen für die betroffenen Anwohner waren dabei nicht zu vermeiden. Wir bedanken uns ausdrücklich für das entgegengebrachte Verständnis. Weitere Bohrungen sind u. a. noch am Schlossberg vorgesehen."*

Daniel Bimesmeier, Ingenieurgeologe
Staatliches Bauamt Weilheim

### Nutzen aus den geologischen Erkenntnissen im Überblick:

- Genaue Kenntnisse der Geologie und Hydrogeologie dank Bohrungen und Grundwassermessstellen
- Auswahl und Optimierung der Bautechnik für die geologische Umgebung
- Reduzierung des bautechnischen Risikos in geologisch anspruchsvollen Bereichen
- Informationen für das Bodenverwertungskonzept*:
  - Vorabkenntnisse des Baugrunds
  - Auswirkungen auf die Separierungsanlage: Die TVM pumpt das Erdreich zusammen mit einer Spezialton-Wasser-Mischung aus dem Tunnel. Die Separierungsanlage trennt und entwässert den verflüssigten Aushub nach Korngröße.
  - Vorabeinteilung der Aushubmassen in Wiederverwertbarkeit bzw. Entsorgungsklassen
  - Planung der Logistik und Entsorgung

* Der Aushub der Tunnelvortriebsmaschine (TVM) und der Notausstiege wird über 400.000 m³ Erdreich/Gestein betragen. Das Tunnelteam sorgt heute mit dem Bodenverwertungskonzept für nachhaltige Lösungen von morgen.

## Hydrogeologie



*„Die für die Realisierung des Tunnels vom Staatlichen Bauamt Weilheim ergriffenen Erkundungsmaßnahmen wurden unter wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten gewählt. Sie bilden den richtigen Mix, um aus dem Starnberger Boden diejenigen Erkenntnisse zu gewinnen, die als gute Entscheidungsgrundlage für den Projektfortgang erforderlich sind."*

apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Jochen Fillibeck
Technische Universität München

Aus den Erkenntnissen über die Eigenschaften und die Bewegung des unterirdischen Wassers im Raum Starnberg können wertvolle Schlussfolgerungen für das Gesamtprojekt gezogen werden.

### Nutzen aus den hydrogeologischen Erkenntnissen im Überblick:

- Auswahl der Bautechnik auf Basis der hydrogeologischen Umgebung, z. B. ist eine Vereisung* bei zu starker Strömungsgeschwindigkeit des Wassers nicht möglich
- Genaue Erkenntnisse zu den Grundwasserströmungen. Diese sind essentiell erforderlich für den Bau der Düker.
- Aufbau eines breiten, auch abseits der Tunneltrasse gelegenen Grundwassermessnetzes für die Beweissicherung, um die Funktionsweise der Düker sicherzustellen.
- Kenntnisse zu Eigenschaften des Grundwassers sind wichtig für die Risikoanalyse sowie ein mögliches Maßnahmenpaket für das Institut für Fischerei.

* Baugrundvereisung ist ein Verfahren zur temporären Bodenstabilisierung durch künstliches Gefrieren des Bodenwassers. Mit dem Frostkörper wird der gefrorene Baugrund verfestigt und wasserundurchlässig bis diese Funktionen vom Bauwerk selbst übernommen werden können. Dies lässt sich in Starnberg nur in Bereichen mit geringer Grundwasserströmung durchführen.

Staatliches Bauamt
Weilheim

**Impressum**

**Herausgeber**
**Staatliches Bauamt Weilheim**
Öffentlichkeitsarbeit
Münchener Straße 39
82362 Weilheim
stbawm.bayern.de

Gestaltung und Visualisierung:
Wahrheitdesign GmbH, Remshalden

Geologischer Längsschnitt und
Lageplan Grundwasserströmung:
Zentrum für Geotechnik,
Technische Universität München
EDR GmbH, München

Bohrprofil:
Baugrund Süd Gesellschaft für
Geothermie mbH, Bad Wurzach

Druck: Esta-Druck GmbH, Huglfing
Gedruckt auf: Umweltzertifiziertem Papier,
LuxoArt Samt, FSC

Stand: 10/2019 · Änderungen vorbehalten