

B2 – Tunnel Starnberg – Erkundung des heterogenen Baugrundes und Auswirkungen auf die Planung

Dr.-Ing. Jochen Fillibeck, Dipl.-Ing. Max Lachmann
Zentrum Geotechnik, TU München
Dipl.-Ing. Martin Maier
Staatliches Bauamt Weilheim
Dipl.-Ing. Günther Eger
Ingenieurbüro EDR GmbH, München

1 Einleitung

Die Bundesstraße 2 verbindet in Fortführung der A 952 (Zubringer zur Bundesautobahn A 95, München – Garmisch-Partenkirchen) die Stadt München mit den Zentren Starnberg sowie Weilheim-Peißenberg-Schongau. Durch ihre Verbindungsfunktion ist die in Nord-Süd-Richtung verlaufende B 2 in Starnberg die Hauptachse für den Durchgangsverkehr.

Das Bestreben, die Stadt Starnberg vom starken Durchgangsverkehr im Zuge der B 2 zu entlasten, reicht schon viele Jahrzehnte zurück. Bei der Suche nach Lösungsmöglichkeiten wurden viele Planungsvarianten, sowohl Umgehungs- wie auch Tunneltrassen, untersucht. Letztlich mussten alle oberirdischen Varianten ausgeschieden werden, da der Bau einer Umgehungsstraße aus Gründen des Natur- und Landschaftsschutzes (nicht ausgleichbare Eingriffe in Natur und Landschaft) nicht realisierbar ist und die Entlastungswirkung einer Umgehungsstraße geringer ist (unzureichende Verkehrswirksamkeit). Als einzige realisierbare und wirksame Möglichkeit wurde ein Tunnel unter der Stadt weiterverfolgt. Diese Lösung, der „Entlastungstunnel Starnberg“, wurde 1985 in den Bedarfsplan für die Bundesfernstraßen aufgenommen. 1988 wurde ein Raumordnungsverfahren durchgeführt, das für die Tunneltrasse mit der landesplanerischen Beurteilung 1989 positiv abgeschlossen wurde. In den Jahren 1999 bis 2007 folgte dann das Planfeststellungsverfahren. Mehrere Klagen gegen den Planfeststellungsbeschluss vom 22.2.2007 wurden vom Bayerischen Verwaltungsgerichtshof am 9.7.2008 abgewiesen. Im Bedarfsplan für die Bundesfernstraßen ist das Projekt „Entlastungstunnel Starnberg“ im „Vordringlichen Bedarf“ eingestuft.

Die B 2 ist sehr stark belastet. Der durchschnittliche tägliche Verkehr auf der B 2 in der Ortsdurchfahrt beträgt bis zu 40.000 Kfz / 24h. Diese starke Verkehrsbelastung der B 2 führt vor allem in den Hauptverkehrszeiten und an Wochenenden (Ausflugs- und Erholungsverkehr) zu erheblichen Stauungen in der Ortsdurchfahrt. Als Folge der Überlastung der Kreuzungen kommt es auch an den einmündenden Straßen zu großen Staulängen. Neben der Belästigung der Anwohner durch Lärm und Abgase, den Schwierigkeiten beim Überqueren der Fahrbahn und den Zeitverlusten bei der Stadtdurchfahrt führt dies dazu, dass viele Verkehrsteilnehmer „Schleichwege“ durch parallele Ortsstraßen suchen und es auch dort zu Unzuträglichkeiten kommt. Das hohe Verkehrsaufkommen trägt auch zu einem erheblichen

Unfallgeschehen bei. Die Unfallrate in der Ortsdurchfahrt Starnberg liegt deutlich höher als die Vergleichswerte für Bayern.

Als einzig durchführbare Maßnahme zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse in der Ortsdurchfahrt Starnberg wird vom Straßenbaulastträger der Bau eines Entlastungstunnels angesehen. Gleichzeitig wird die Verkehrsverbindung für den regionalen Verkehr aus dem Raum Weilheim-Peißenberg-Schongau mit Zielrichtung Starnberg und München deutlich verbessert. Eine Verkehrsuntersuchung hat ergeben, dass durch den Bau eines Entlastungstunnels in Starnberg eine Verkehrsmenge von insgesamt 18.000 Kfz / 24h in den Tunnel verlagert werden kann. Durch die Herausnahme des Durchgangsverkehrs und die Verkehrsumlagerung von den Parallelstraßen zur alten B 2 ergibt sich eine Verbesserung der Wohnqualität und der Funktionsfähigkeit des Stadtkerns sowie eine Verbesserung der Verkehrssicherheit. Durch den Entlastungstunnel sind deutliche Verbesserungen der Lärmsituation und Abgassituation im Stadtzentrum von Starnberg, insbesondere in den parallelen Ortsstraßen zu erwarten. Durch die Reduzierung der Verkehrsbelastung auf der bisherigen B 2 wird auch die Trennwirkung der alten Bundesstraße spürbar gemindert.

Das Tunnelbauwerk beginnt in der Weilheimer Straße (Bundesstraße 2) etwa 100 m westlich der Franz-Heidinger-Straße mit einer 200 m langen Rampe, gefolgt von einem 80 m langen Tunnelabschnitt, der in offener Bauweise erstellt wird. Der bergmännische Tunnelabschnitt verläuft zuerst unter der Weilheimer Straße und ab Bau-km 0+850 östlich davon, um den Almeidaberg mit einer maximalen Überdeckung von etwa 26 m zu unterqueren. Anschließend wird das Gebäude Weilheimer Straße 7 mit einem Abstand von 6,9 m unterfahren, gefolgt vom Schlossberg, bei dem die Überdeckung auf maximal etwa 45 m ansteigt. Im beschriebenen Bereich fällt der Tunnel mit 3,8 % ab und erreicht bei Bau-km 1+874 den Gradiententiefpunkt. Anschließend steigt die Trasse mit 4,5 % an, unterquert den Georgenbach und einige Bauwerke mit einer Überdeckung von minimal 8,6 m (Anwesen Münchner Straße 1) und folgt ab etwa Bau-km 2+100 wieder dem Straßenverlauf der Bundesstraße 2 (hier Münchner Straße). Der bergmännische Tunnelabschnitt endet nach 1.689 m. Im Anschluss daran wird der Tunnel auf 108 m Länge in Bohrpfahl-Deckelbauweise erstellt. Über das anschließende 102 m lange nördliche Rampenbauwerk bindet die Trasse etwa 25 m westlich der Bahnlinie München-Garmisch in die bestehende Bundesstraße 2 ein.

Außer der Tunnelröhre und den Rampenbauwerken sind insgesamt 4 Querschnittserweiterungen für Pannenbuchten, 6 Notausstiege und ein Lüftungsbauwerk mit Anbindungen an den Tunnel zu erstellen.

Der Entlastungstunnel Starnberg liegt in äußerst heterogenen Baugrund- und Grundwasserverhältnissen. Um diese beschreiben und werten zu können, war eine intensive Erkundung erforderlich. Nachfolgend werden zunächst die allgemeinen geologischen Verhältnisse im Bereich des Entlastungstunnels Starnberg erläutert und es wird schwerpunktbildend der Umfang und die Ergebnisse des Erkundungsprogramms beschrieben. Anschließend wird auf die heterogenen Grundwasserverhältnisse näher eingegangen sowie die geplanten Dükermaßnahmen erläutert. Diese sind erforderlich, damit die Grundwasserfließverhältnisse nicht

unzulässig durch das im Grundwasserstrom liegende Tunnelbauwerk beeinflusst werden (Aufstau bzw. Sunk).

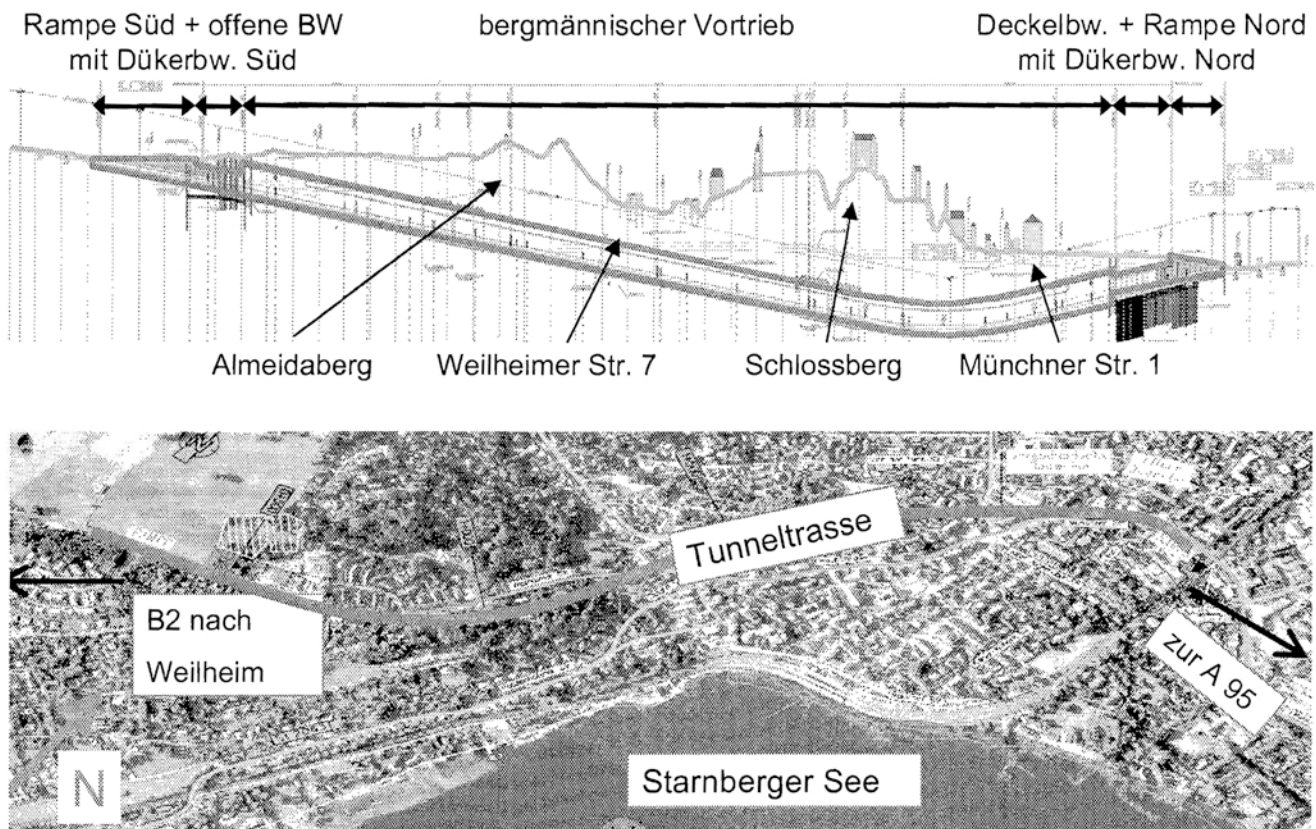


Abb. 1.1: Schnitt und Lageplan

2 Baugrunderkundungen

2.1 Allgemeine geologische Situation

Der für das geplante Tunnelbauwerk in Starnberg relevante oberflächennahe geologische Bau und die vielfältigen geomorphologischen Formen im Bereich des geplanten Baufelds sind Ergebnis von Ablagerungen des jüngeren Tertiär und des gesamten Quartär, deren Abtragung, Umlagerung und Überformung.

Vor ca. 18 Millionen Jahren kam es nach dem endgültigen Rückzug des sog. Molassemeeres zu terrestrischen und limnischen Ablagerungen, der Oberen Süßwassermolasse. Das Molassematerial, überwiegend Sande und Tone (Mergel), seltener auch Kiese, besteht überwiegend aus dem Abtragungsschutt des im Tertiär sich heraushebenden Alpengebirges.

Im Quartär, beginnend vor ca. 2,4 Millionen Jahren, führten tiefgreifende Klimaänderungen zu längeren Kaltzeiten mit Eiszeiten, in denen wiederholt Gletscher aus dem Alpenraum bis weit in das Vorland vorstießen und weite Teile des Alpenvorlandes mit Gletschereis bedeckten. In den mindestens sechs Vorlandvergletscherungen im Verlauf des Quartärs, mit der Würm-, Riß-, Mindel-, Günz-, Donau- und Bieber-Kaltzeit stießen der Isargletscher rd. 45 km und der Loisachgletscher bis rd. 70 km weit vom Alpenrand nach Norden vor, zuletzt vor ca. 18.000 Jahren. Im Gebiet der Stadt Starnberg gestaltete der Isarvorlandgletscher die tertiäre

Landoberfläche neu. Er räumte in weiten Bereichen die weichen Molasseschichten aus und schüttete an deren Stellen großflächig Moränen und Glazialschotter auf. Der Starnberger See (früher Würmsee) entstand aus einem aus der tertiären Molasse ausgearbeiteten Gletscherzungenbecken mit ca. 150m Tiefe.

Das Abschmelzen des Gletschereises, beginnend vor mehr als 15.000 Jahren zum Ende der letzten Eiszeit (Würm-Eiszeit), erfolgte in sog. Rückzugsphasen. Bei längeren Stillstandsphasen kam es dabei zur Bildung von Endmoränenwällen halbkreisförmig um die Zungenbecken. Bei kürzeren Stillständen bildeten sich weitere meist kleinere Rückzugsmoränenwälle. Dadurch entstand das komplexe Bild der Moränenwälle, die sich girlandenartig um die Zungenbeckenseen, wie auch dem heutigen Starnberger See anordneten (nach MEYER & SCHMIDT-KALER, 1997). Einen Eindruck der Ablagerungsbedingungen am Gletscherrand vermittelt nachfolgendes Foto eines aktuellen Gletschers (Abb. 2.1).

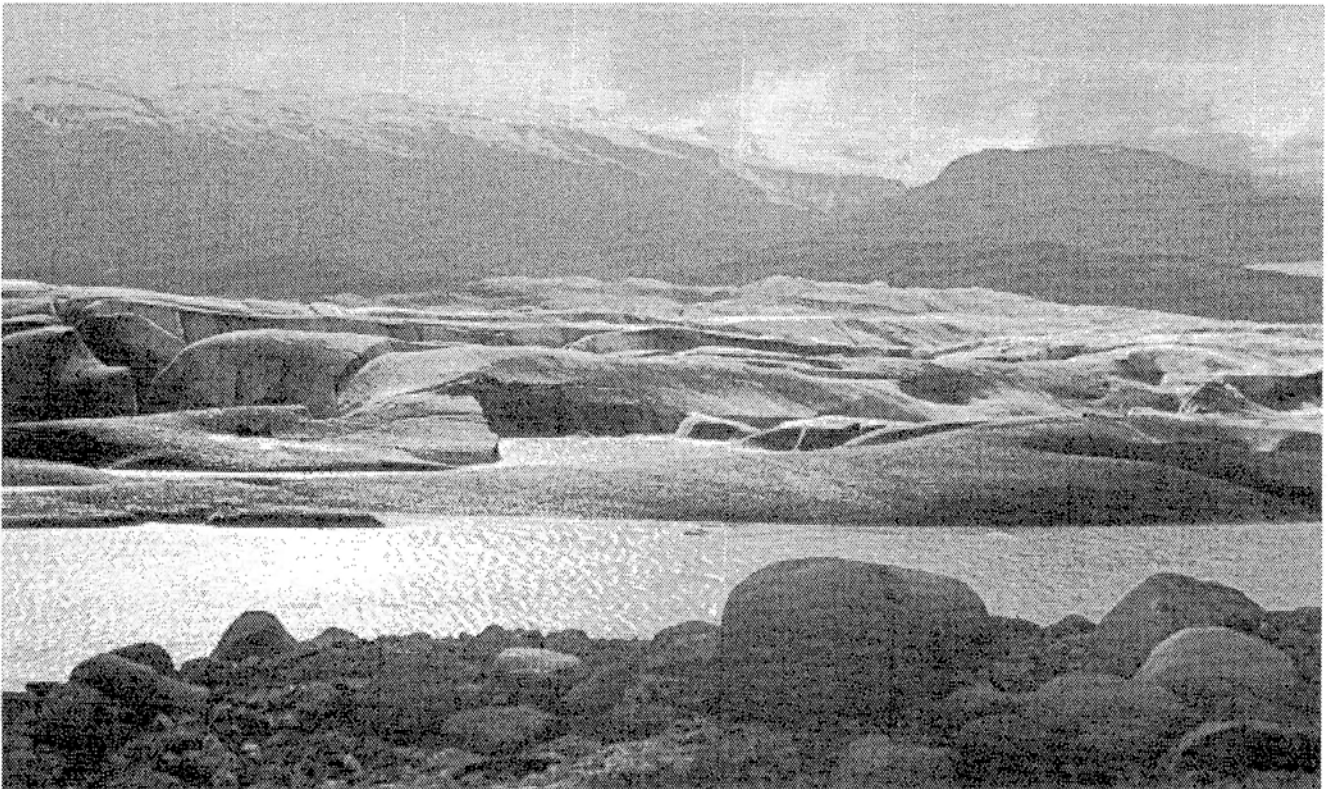


Abb. 2.1: Beispiel einer aktuellen Gletscherablagerung

Die Moränen bestehen aus unsortierten Geschieben und großen Blöcken in mergeliger Grundmasse. Je nach Eigenschaft wird zwischen bindiger und nichtbindiger Moräne unterschieden. Innerhalb der Moränenwälle kam es durch das schrittweise Zurückschmelzen des Gletschereises zur Ausbildung von peripheren Abflussrinnen. Auch bei Starnberg sind die Wallzüge von einer ganzen Reihe dieser Schmelzwasserrinnen begleitet und sicherlich auch von diesen (seewärts) durchbrochen. Sie sind durch Kies- und Sandablagerungen gekennzeichnet und teils sehr gut sortiert (Rollkiese).

Am Nordende des Starnberger Sees sind im Stadtgebiet von Starnberg Schotterterrassen ausgebildet, die sich an die Innenflanken der Starnberger Moränenphase anlehnen. Weitere Kiesablagerungen, vor allem auch oberflächennah, sind das Ergebnis postglazialer fluviatiler Erosion und Akkumulation. Im Ergebnis von Kalksinterbildungen aus stark kalkhaltigen

Wässern sind vor allem in diesen kiesigen Ablagerungen Verfestigungen, die Bildung des sog. Nagelfluh, häufig zu finden.

Mit dem Rückzug des Gletschers wurden die Zungen- und Stammbecken schrittweise von Norden nach Süden eisfrei und füllten sich mit Schmelzwasser. In den Seen lagerte sich tonige Gletschertrübe als Seeton ab. Im Beckenbereich des Starnberger Sees wurden weitläufig Seetone und Feinsandlagen sedimentiert. Die Ablagerungen reichen bis in das Stadtgebiet von Starnberg. Seetonablagerungen früherer Rückzugsphasen in Warmphasen oder Warmzeiten finden sich auch innerhalb der Moränenablagerungen in den Moränenwällen.

Abb. 2.2 zeigt beispielhaft typische geologische Verhältnisse, wie sie aus den beschriebenen Ablagerungsbedingungen resultieren können.

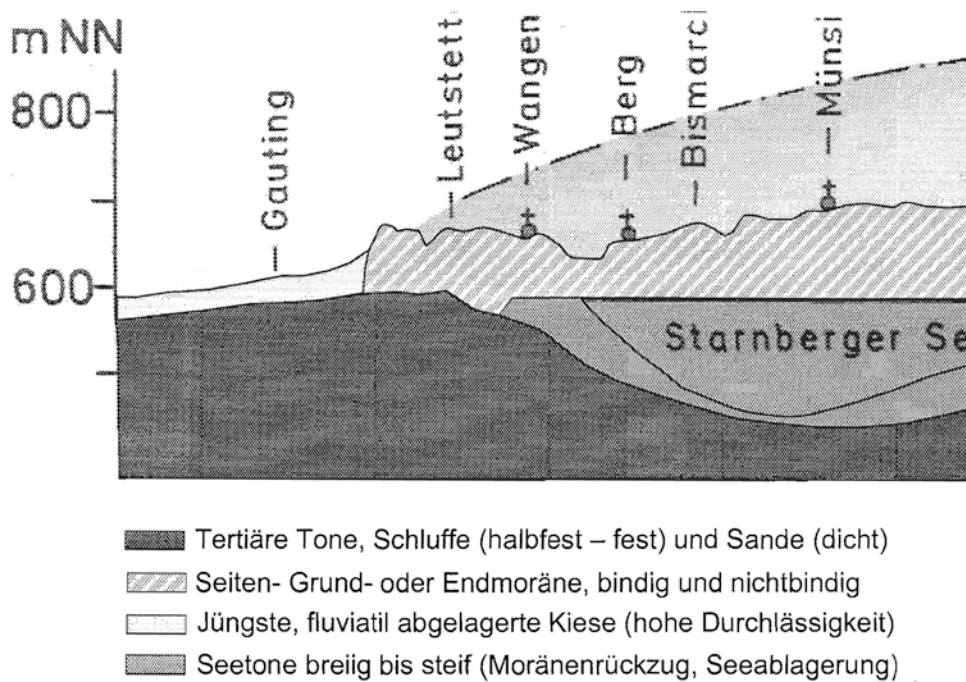


Abb. 2.2: Allgemeiner geologischer Schnitt nach Mayer & Schmidt-Kaler, 1997

2.2 Erkundungsprogramm

Für die Trassenfestlegung und Genehmigungsplanung des Entlastungstunnels Starnberg wurden bereits in den Jahren 1988 und 1990 erste Baugrunderkundungen durchgeführt. Die dabei gewonnenen Baugrundinformationen wurden in einem 3. Erkundungsprogramm von April 2009 bis März 2010 vertieft.

Hierzu wurden 59 Aufschlussbohrungen mit einer Tiefe zwischen 12 m und 73 m und einer Gesamtböhrlänge von ca. 2.230 m abgeteuft. Das Bohrraster wurde dabei an die sehr heterogenen Baugrundverhältnisse sowie die jeweiligen Fragestellungen zu den einzelnen Bauwerken angepasst. In den Bohrungen wurden Bohrlochrammsondierungen zur Erkundung der Lagerungsdichte bzw. der Konsistenz sowie Bohrlochaufweitungsversuche zur Erkundung der Steifigkeit der anstehenden Böden durchgeführt. Ergänzt wurden diese Bohrungen durch 34 Rammsondierungen.

Insgesamt wurden an 224 der bei den Aufschlussbohrungen gewonnenen Bodenproben im Labor insgesamt mehr als 800 Einzelversuche zur Bestimmung der Baugrundeigenschaften durchgeführt.

Weiterhin wurden 42 Bohrungen zu Ein- bis Dreifachgrundwassermessstellen ausgebaut, in denen der Grundwasserstand beobachtet wird. Neben den 46 Kurzpumpversuchen zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit des Baugrunds wurden 4 Langzeitpumpversuche mit mehrtägiger Dauer durchgeführt. Die Langzeitpumpversuche dienen insbesondere dazu, Verbindungen zwischen verschiedenen Grundwasserleitern und deren Ergiebigkeit erkennen zu können.

Ergänzend wurden in ausgewählten Grundwassermessstellen mit Sonden die Fließrichtungen und die Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers ermittelt.

2.3 Besonderheiten bei der Erkundung der Grundwasserverhältnisse

Eine Besonderheit bei der Erkundung der Grundwasserverhältnisse war die Durchführung von geophysikalischen Versuchen zur Ermittlung der Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung des Grundwassers durch die Firma BLM (eine entsprechend spezialisierte Fachfirma). Es handelte sich dabei um Einbohrlochversuche, die ohne Beobachtung der umliegenden Messstellen ausgeführt werden. Da derartige Versuche nicht alltäglich sind, werden sie nachfolgend kurz erläutert:

In einem ersten Schritt wird bei der Versuchsdurchführung ein Leitfähigkeitstracer (NaCl) in die Messstelle eingebracht und dessen Verdünnung entlang der Filterstrecke über die Zeit mit einer Leitfähigkeitsmesssonde beobachtet. Daraus lassen sich die horizontalen Fließgeschwindigkeiten in der Messstelle v_f errechnen.

Anschließend wird im Bereich der größten Fließgeschwindigkeit (Ort der größten Verdünnung) die Fließrichtung durch fotometrische Auswertung der Bewegung eines eingebrachten Lebensmittelfarbstoffs ermittelt. Abb. 2.3 zeigt ein Auswertbeispiel zu einer Fließrichtungsmessung.

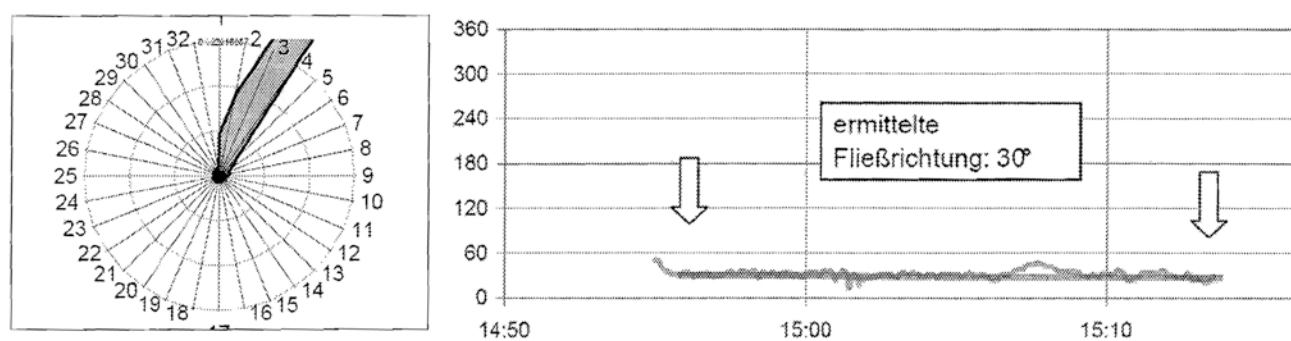


Abb. 2.3: Auszüge aus dem Bericht zu den geophysikalischen Versuchen der Fa. BLM

Unsere Erfahrungen mit dieser Messmethode zeigen, dass man im Allgemeinen plausible Ergebnisse erhält. Allerdings werden nicht zwangsläufig die großräumigen Verhältnisse wiedergegeben. Einzelergebnisse können durch örtlich begrenzte Einflüsse deutlich abweichen. Daher ist eine Überprüfung auf Plausibilität empfehlenswert, wie sie für den Tunnel Starnberg anhand mehrerer Messungen im jeweiligen Aquifer und einer ergänzenden

Auswertung von Grundwassermessungen an einem Stichtag erfolgte. Die Messgenauigkeit des Verfahrens steigt, wie zu erwarten, tendenziell mit der Fließgeschwindigkeit des Wassers.

Weiterhin sind beim Einsatz dieser Messmethoden nachfolgenden Einschränkungen zu beachten, die aber für die Untersuchungen beim Entlastungstunnel Starnberg keinen Einfluss hatten:

- Die Ermittlung der Fließgeschwindigkeit ist nicht möglich, wenn in der Messstelle vertikale Strömungen vorhanden sind, die beispielsweise durch einen Kurzschluss zweier Grundwasserstockwerke entstehen können.
- Gemäß den Angaben der ausführenden Firma ist die fotometrische Ermittlung der Fließrichtung bei sehr kleinen Fließgeschwindigkeiten (etwa $v_f < 10^{-3}$ m/d) nicht mehr möglich.

Insgesamt haben die ausgeführten geophysikalischen Messungen neben anderen Methoden dazu beigetragen, dass die beim Entlastungstunnel Starnberg sehr schwierigen und vielfältigen Grundwasserverhältnisse gut nachvollzogen werden konnten, wie nachfolgend gezeigt wird.

3 Folgerungen für die Baumaßnahme

3.1 Geologische Verhältnisse

Durch die abgeteufte Bohrungen und Sondierungen wurden detaillierte Informationen zur Schichtung des Baugrunds gesammelt. Die gewonnenen Erkenntnisse sind schematisch in Abb. 3.1 dargestellt.

Demnach kommt der Tunnel überwiegend in stark durchlässigen nichtbindigen und gering durchlässigen bindigen Moränenböden zu liegen, welche im Zuge der letzten Eiszeiten durch Gletscher gebildet wurden. Der bestimmende Kornanteil der nichtbindigen Moräne ist Kies und der der bindigen Moräne Ton und Schluff. Im Bereich der Portale durchörtert der Tunnel auch die durch Flussläufe abgelagerten und teilweise zu Nagelfluh verfestigten so genannten fluviatilen Sand- Kiesgemische.

Unter dem Almeida- und Schlossberg bindet der Tunnel in die deutlich älteren tertiären Tone und Schluffe ein, in die teilweise Sande und Sandsteinschichten eingelagert sind. In geringerem Umfang wurden auch vorwiegend tonige Seeablagerungen mit je nach Alter und Ablagerungsbedingung unterschiedlicher Festigkeit erkundet.

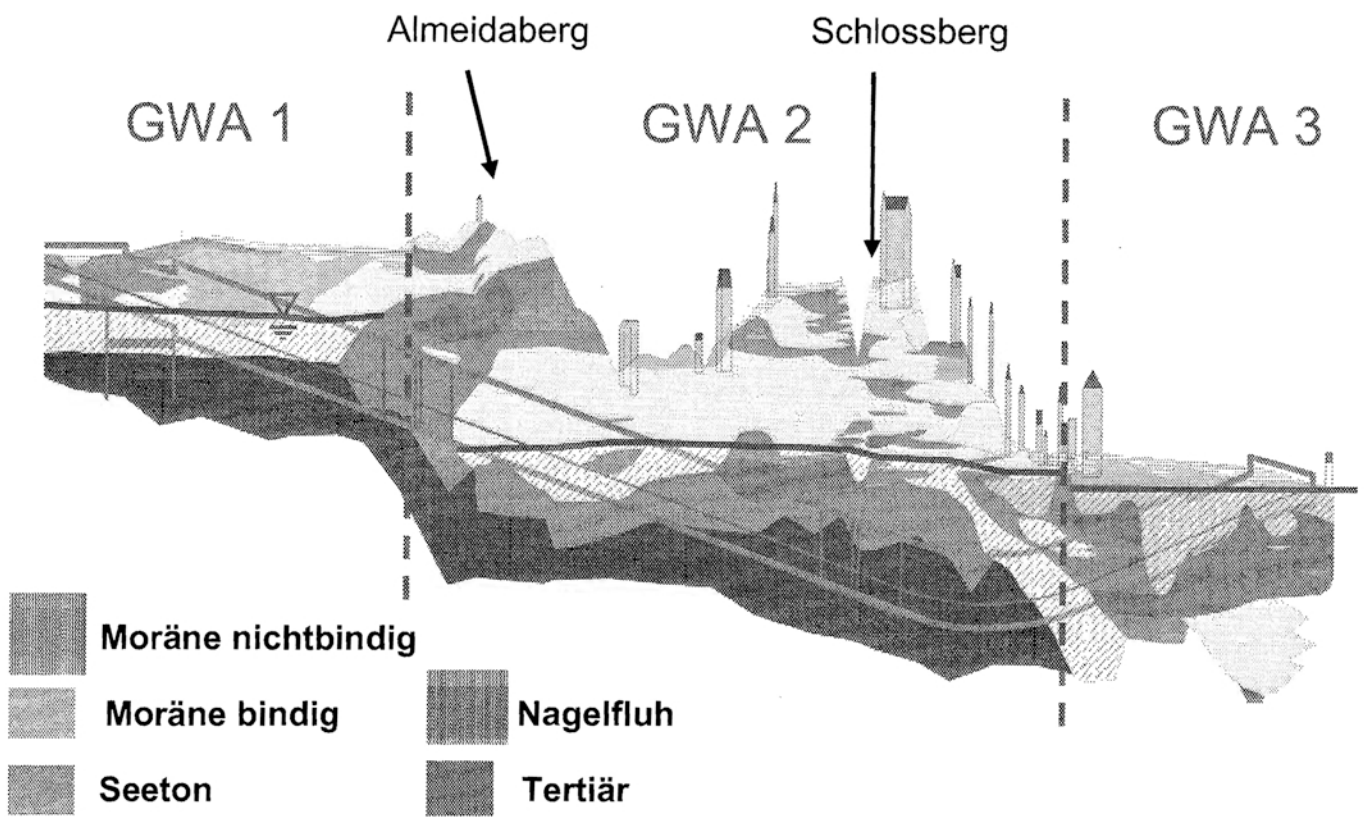


Abb. 3.1: Geologischer Schemaschnitt

3.2 Hydrogeologische Verhältnisse

Wie Abb. 3.1 zu entnehmen ist, ist in den quartären durchlässigen Schichten entlang der Tunneltrasse keine einheitliche Grundwasseroberfläche vorhanden, sondern es gibt 3, nachfolgend als Grundwasserabschnitte GWA 1 bis GWA 3 bezeichnete Bereiche, die durch vertikale oder schräge Barrieren voneinander getrennt sind. Die Grundwasserabschnitte zwischen diesen Barrieren zeigen teilweise deutlich unterschiedliche Grundwasserniveaus, wobei teilweise ein Gefälle von Süden nach Nordwesten und teilweise in Richtung Starnberger See, also nach Osten vorhanden ist. Die Fließrichtung wechselt demnach zwischen den Grundwasserabschnitten, ist aber auch innerhalb der Grundwasserabschnitte nicht einheitlich. Sie ist nicht zwangsläufig mit dem Verlauf der Geländeoberfläche identisch.

Zusätzlich liegen horizontale Barrieren aus bindigen Böden vor, so dass sich auch in unterschiedlicher Tiefe verschiedene Aquifere mit unterschiedlichen Druckhöhen ausgebildet haben. Nachfolgend werden nur die quartären Hauptaquifere näher beschrieben, da diese in größerem Umfang vom geplanten Tunnel beeinflusst werden und daher auch am häufigsten durch Grundwassermessstellen aufgeschlossen wurden.

3.2.1 Grundwasserabschnitt 1 (GWA 1)

Der GWA 1 befindet sich im südlichen Tunnelabschnitt (siehe Abb. 1.1) und wird im Nordwesten durch überwiegend bindige Moränenablagerungen begrenzt, die durch Bohrungen belegt sind. Südöstlich fällt das Gelände zum Starnberger See hin ab, dessen Wasserstand deutlich unter dem Grundwasserniveau des GWA 1 liegt. Da in diesem Bereich keine Quellaustritte bekannt sind, müssen auch hier wenig durchlässige Bodenschichten vorhanden sein. Im Osten sind ebenfalls wenig durchlässige Moränenablagerungen durch Bohrungen belegt.

Unter Zugrundelegung dieser geologischen Begrenzungen und der daraus begründeten Annahme, dass die Quellen der Landesanstalt für Fischerei (Fischzucht) aus diesem Aquifer gespeist werden, ist eine Strömung in Richtung Nord-Nordost anzunehmen. Diese Annahme wird, wie man Abb. 3.2 entnehmen kann, durch die Auswertung einer Grundwasser-Stichtagsmessung sowie durch 3 Fließrichtungsmessungen bestätigt.

Da der Tunnel größere Aquiferbereiche absperrt, würde bei dieser Fließrichtung der natürliche Grundwasserstrom ohne Zusatzmaßnahmen stark beeinträchtigt werden. Als Resultat der Baugrunderkundungen werden daher in diesem Bereich zwei Dükerbauwerke vorgesehen.

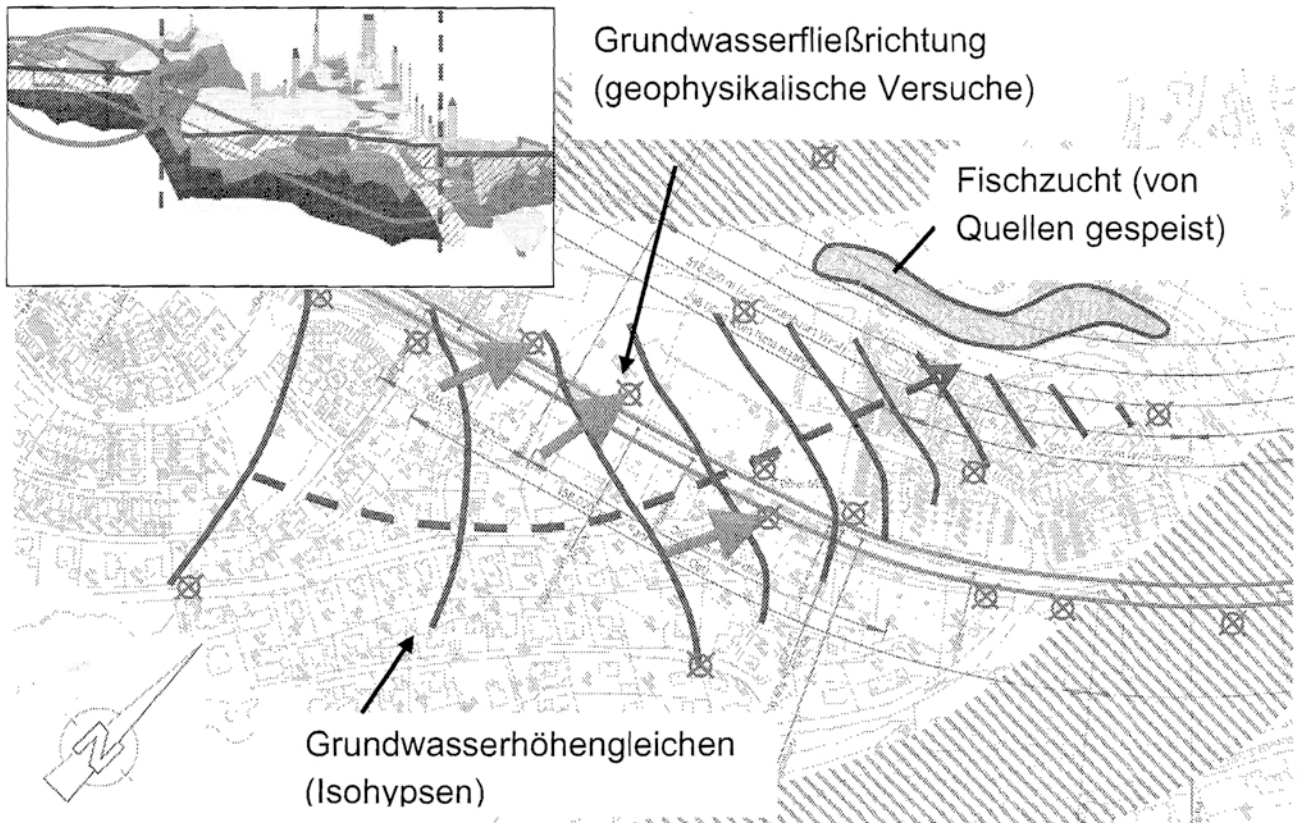


Abb. 3.2: Grundwasserabschnitt 1, südlicher Tunnelabschnitt

3.2.2 Grundwasserabschnitt 2 (GWA 2)

Der GWA 2 befindet sich im mittleren Tunnelabschnitt und weist sehr unterschiedliche Aquifermächtigkeiten und Durchlässigkeiten auf. Für den Entlastungstunnel Starnberg ist in erster Linie der südliche Bereich des GWA 2 relevant, in dem hohe Durchlässigkeiten und eine Fließrichtung etwa rechtwinklig zur Tunnelachse vorliegen (siehe Abb. 3.3).

Die ermittelten Fließrichtungen, welche stark von denen des GWA 1 abweichen, sind plausibel, wenn man die Topographie berücksichtigt. An der Geländeoberfläche ist ein Einschnitt zwischen dem Almeidaberg und dem Schlossberg sichtbar. Im Untergrund ist dieser Einschnitt in die bindige Moräne - etwas nach Südwesten unter den Almeidaberg verschoben - ebenfalls vorhanden. In dieser flachen Kiesrinne strömt das Grundwasser aus dem Siebenquellenbachtal im Südwesten und dem Hanfelder Hang im Nordwesten in

Richtung Starnberger See. Aus dem Höhenunterschied, der bis zum See überwunden werden muss, ergeben sich hohe hydraulische Gefälle.

Da der Tunnel in diesem Bereich ebenfalls große Teile des Aquifers absperrt, wird auch in diesem Abschnitt ein Düker vorgesehen. Dieser Düker, welcher im Detail in Abschnitt 3.3 beschrieben wird, muss, aufgrund der hohen Durchlässigkeiten, des hohen hydraulischen Gefälles sowie der ungünstigen Anströmrichtung (ca. 90° bezogen auf die Tunnelachse) eine sehr hohe Leistungsfähigkeit aufweisen.

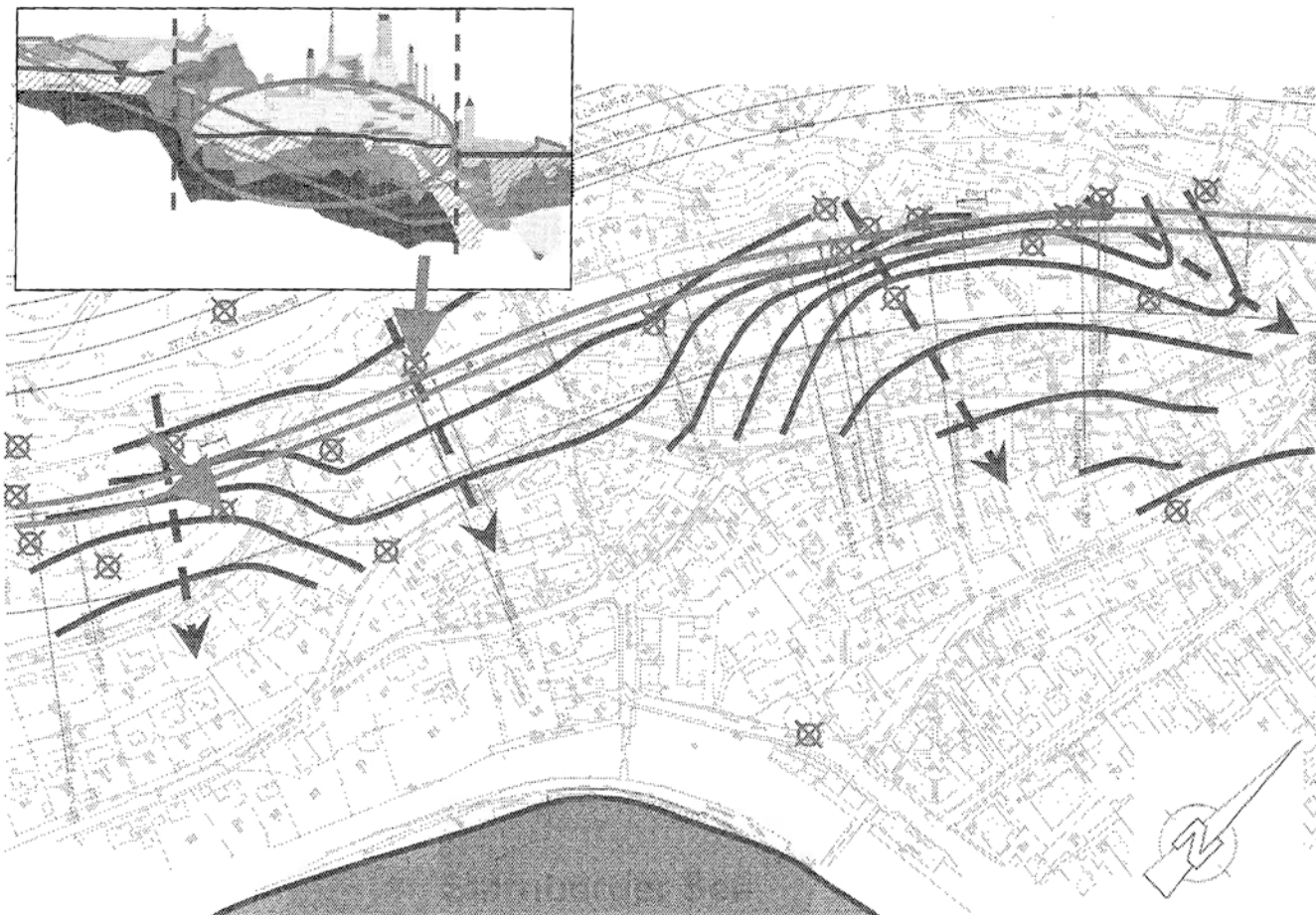


Abb. 3.3: Grundwasserabschnitt 2, mittlerer Tunnelabschnitt

3.2.3 Grundwasserabschnitt 3 (GWA 3)

Der GWA 3 befindet sich im nördlichen Tunnelabschnitt. Die ermittelten Aquifermächtigkeiten und Durchlässigkeiten variieren stark. Aus der Auswertung einer Grundwasser-Stichtagsmessung ergeben sich die in Abb. 3.4 dargestellten halbkreisförmigen Isohypsen mit radial nach außen zeigenden Fließrichtungen zwischen Norden, Osten und Süden.

Da das Grundwasserniveau im GWA 3 in der Regel einige Dezimeter über dem Wasserspiegel des Starnberger Sees liegt, ist die ermittelte Strömung Richtung Starnberger See im Süden bzw. dessen Ablauf, der Würm im Osten, plausibel. Bei Hochwasser kann der Seepegel auch über den Grundwasserstand ansteigen und die Fließrichtungen kehren sich zumindest in Teilbereichen um.

Die hydraulischen Gefälle sind im GWA 3 vergleichsweise gering, allerdings reichen die Untergeschosse einiger Bauwerke nahe an den Aquifer heran. Daher werden auch in diesem

Bereich zwei Düker vorgesehen, um den Grundwasseraufstau so gering wie möglich zu halten.

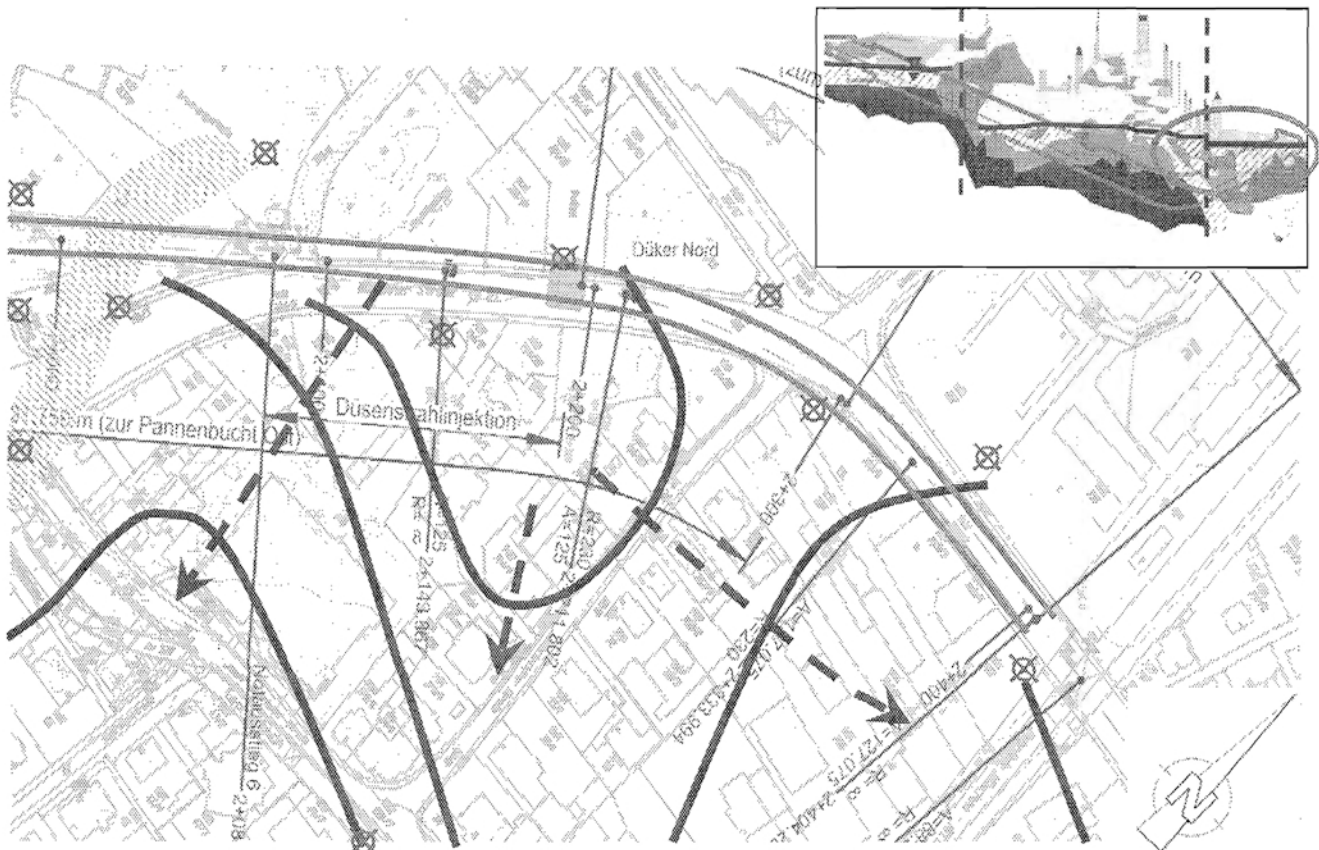


Abb. 3.4: Grundwasserabschnitt 3, nördlicher Tunnelabschnitt

3.3 Dükermaßnahmen

Aufgrund der dargestellten hydrologischen Verhältnisse sind für den Bau- und Endzustand des geplanten Tunnelbauwerks Maßnahmen zur Grundwasserüberleitung erforderlich, die sowohl die Anforderungen der Wasserwirtschaft erfüllen müssen, als auch die Auswirkungen auf die Grundwassersituation möglichst minimieren sollen.

3.3.1 Düker Süd

Die Problematik im südlichen Bereich liegt zum einen in dem zu erwartenden Aufstau durch das Tunnelbauwerk östlich der Trasse und zum anderen in der durch die Absperrwirkung der Tunnelröhre verringerten Wasserzufuhr zur westlich des Bauwerks gelegenen Fischzuchtanlage.

Im Zuge der Erkundung wurde für den südlichen Bereich (GWA 1) eine überzuleitende Wassermenge von ca. 150 l/s ermittelt. Hierzu muss die Leistungsfähigkeit des Dükers Süd, mit Hilfe einer angemessenen Anzahl an Horizontalfilterbrunnen hergestellt werden.

Beiderseits des geplanten Tunnels sollen Dükerschächte in Form von Bohrpfahlschächten erstellt werden, die unter dem Tunnelbauwerk mit einer Überleitung verbunden werden.

Die Filterstränge, die im Horiwellverfahren hergestellt werden, sollen hierbei aus den Schächten von mehreren Niveaus aus auf An- und Abströmseite mit einer Länge von 70 m hergestellt werden. Das Überleitungsrohr DN 600 wird mit einer Rohrvorpressung zwischen

den Schächten hergestellt. Die Schächte sind im Endzustand eingestaut und über den Schachtkopf über Steigleitern zugänglich (siehe Abb. 3.5).

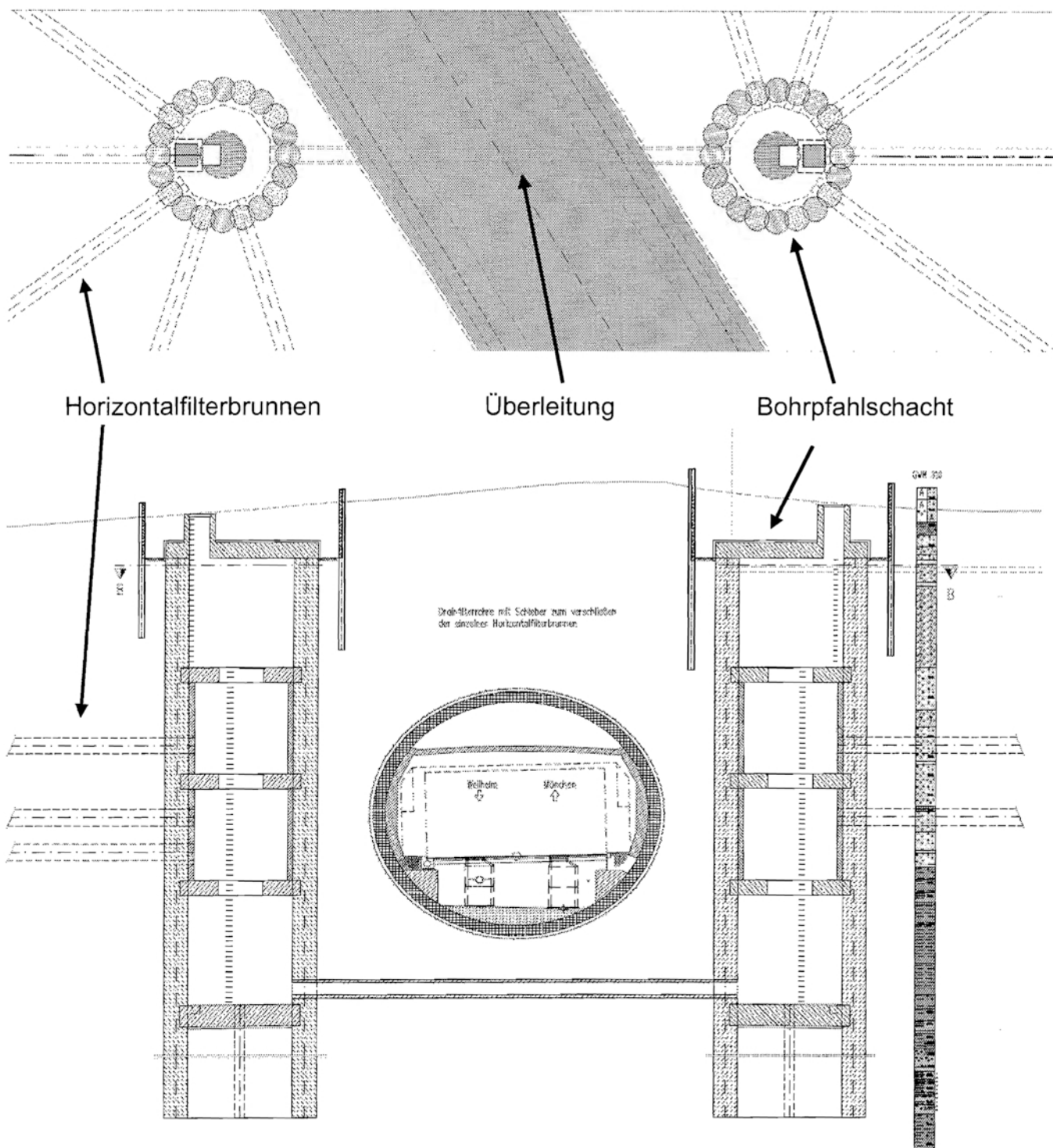


Abb. 3.5: Lageplan und Schnitt Düker Süd

3.3.2 Düker Startbaugrube Süd

Zusätzlich zum „Düker Süd“ wird im Bereich der Startbaugrube für die Schildmaschine eine Überleitungsmaßnahme mit Hilfe von Vertikalfilterbrunnen ausgeführt. Diese Lösung ist aus hydrologischer Sicht günstig, da zusammen mit dem Düker Süd das überzuleitende Grundwasser über einen größeren Bereich gefasst und wiederversickert werden kann. Dadurch verteilen sich auch die erforderlichen Filterstrecken auf beide Düker (Düker Süd und Düker Startbaugrube).

Die Ausbildung des Dükers erfolgt mit beidseitig der Bohrpfahlwand angeordneten vertikalen Filterbrunnen. Die Brunnenrohre sollen jeweils von der Innenseite der Bohrpfahlwand angebohrt und mit einem Dükerrohr miteinander verbunden werden. Die Verlegung dieser horizontalen Dükerleitung erfolgt als Vollrohr unterhalb der Bauwerkssohle. Die Verbindung zwischen den Brunnen und dem Überleitungsschacht erfolgt mit horizontalen Vollrohren, die vom Überleitungsschacht aus ebenso revisionsfähig sind. Die Schachtbauwerke aus Stahlbeton werden monolithisch mit dem Rechteckquerschnitt der Offenen Bauweise Süd verbunden. Im Endzustand sind die Schächte eingestaut.

Die Brunnen zur Wasserfassung und zur Wiederversickerung werden im Zuge der Bohrpfahlarbeiten für die Baugrube mit abgeteuft, sodass im Bauzustand bereits durch Überpumpen eine Grundwasserüberleitung im Bereich der Startbaugrube Süd stattfinden kann. Vorteilhaft hierbei ist, dass die Brunnen auch für den Endzustand herangezogen werden können. Bereits während des Bauzustandes der Startbaugrube kann somit beobachtet werden, ob eine Verringerung der Wasserzufuhr zur westlich des Bauwerks gelegenen Fischzuchtanlage auftritt. Falls erforderlich kann im Bauzustand mit zusätzlichen Vertikalfilterbrunnen reagiert werden. Nach Herstellung des Dükers Startbaugrube wird die Überleitung auf das endgültige System umgeschlossen und die temporäre Überleitung zurückgebaut.

3.3.3 Düker Mitte

Im Bereich von ca. Bau-km 1+000 bis Bau-km 1+350 liegt ein sehr hohes hydraulisches Gefälle des Grundwasseraquifers 2 (GWA 2) von ca. 5 % senkrecht zur Tunnelachse zum Starnberger See hin vor. Hier werden sehr große überzuleitende Wassermengen von bis zu 350 l/s prognostiziert.

Um einen großen Grundwasseraufstau zu vermeiden, wird eine zusätzliche, aufwendige Dükeranlage im Bereich nördlich des Almeidabergs zwingend erforderlich.

Aus zwei jeweils westlich und östlich der Trasse gelegenen kreisrunden Dükerschächten, die mit Bohrpfählen ausgeführt werden, sollen etwa parallel zur Tunnelachse Sammelstollen auf der An- und Abströmseite im Rohrvortrieb hergestellt werden, aus denen zur Wasserfassung und Wiedereinleitung kammförmig Horizontalfilterbohrungen im Fehlmannverfahren erstellt werden (siehe Abb. 3.6).

Die Stollenlänge wurde auf der Anströmseite mit 168 m und auf der Abströmseite mit 148 m Länge festgelegt. Der Innendurchmesser des Rohrvortriebs beträgt 3,00 m. Auf der Anströmseite sind 30 Filterstränge und auf der Abströmseite 60 Filterstränge mit einer Länge von 25 m vorgesehen. Die tatsächliche Anzahl ergibt sich im Zuge der Herstellung aus Grundwasserspiegelmessungen sowie den jeweiligen Ergiebigkeiten. Das Überleitungsrohr DN 1000 wird wie der Sammelstollen im Rohrvortrieb zwischen den Schächten erstellt.

Zur Gewährleistung der Revisionsfähigkeit sollen die einzelnen Wasserfassungs- und Wiedereinleitungsbohrungen einzeln verrohrt und mit Schiebern ausgestattet werden. Die Überleitung des Grundwassers erfolgt gefasst in Leitungen, die an die Wasserfassungs- und Ableitungsbohrungen angeschlossen werden. Somit steht kein freier Wasserspiegel in den Schachtbauwerken an.

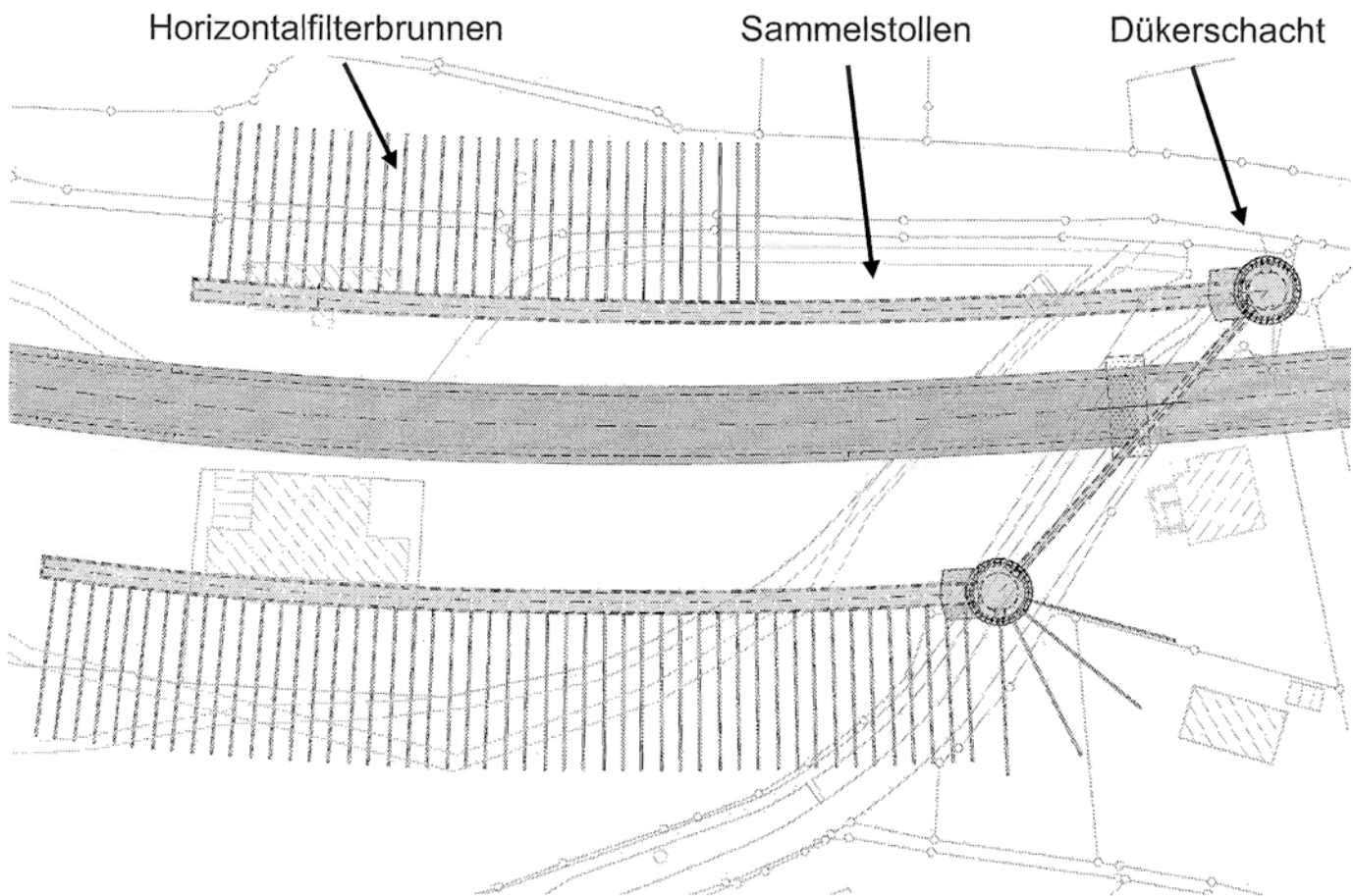


Abb. 3.6: Lageplan Düker Almeidaweg

3.3.4 Düker Nord

Im Bereich des Dükers Nord muss im Hinblick auf eine überzuleitende Wassermenge von ca. 20 l/s die Grundwasserfassung und Wiederversickerung so ausgeführt werden, dass die Aufstau- und Sunkerscheinungen minimal sind.

Das Überleitungskonzept besteht aus zwei unabhängigen Dükerbauwerken, die als Bohrpfahlschächte jeweils an die Bohrpfahldeckelbauweise und an die Rampe Nord angeschlossen werden. Die rechteckig ausgebildeten Düker werden im Zuge der Herstellung der Bohrpfahldeckelbauweise und zeitlich in Abhängigkeit von den Bau- und Verkehrsphasen so hergestellt, dass die Dükerbauwerke in Betrieb genommen werden können, wenn die Absperrwirkung durch die geplanten Bohrpfahlwände noch nicht auftritt. Das Überleitungsrohr DN 1000 bzw. DN 800 wird als Rohrvorpressung zwischen den Schächten aufgefahren. Die geplanten Horizontalfilterbrunnen werden im Fehlmannverfahren hergestellt. Im Endzustand sind die Schächte eingestaut.

4 Zusammenfassung

Beim Entlastungstunnel Starnberg handelt es sich um ein anspruchsvolles innerstädtisches Tunnelprojekt mit komplexen hydrogeologischen Randbedingungen, als da sind:

- extrem wechselhafte Grundwasserverhältnisse
- teilweise sehr große hydraulische Grundwassergefälle > 5 %

- teilweise sehr hohe Durchlässigkeiten $k > 5 \cdot 10^{-3}$ m/s
- verschiedene Grundwasserstockwerke entlang dem Tunnel wie auch untereinander mit stark unterschiedlichen Fließrichtungen

Nur durch ein umfangreiches Erkundungsprogramm mit einer Vielzahl von Grundwassermessstellen sowie mit großumfänglichen Pump- und geophysikalischen Versuchen war es möglich, die komplexen Grundwasserverhältnisse in einem Grundwassermodell zu beschreiben. Auf Basis dieses Grundwassermodells konnten Aussagen über die potentielle Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse durch den Entlastungstunnel Starnberg getroffen und die erforderlichen sehr umfangreichen Ausgleichsmaßnahmen (Grundwasserüberleitungen) geplant werden, auf welche im Text näher eingegangen wurde. Durch diese Maßnahmen wird gewährleistet, dass der großräumige Grundwasserfluss ohne nachteilige Auswirkungen erhalten bleibt.

5 Literatur

- Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7934 Starnberg Nord; H.JERZ; Bayerisches Geologisches Landesamt München 1987
- Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 8034 Starnberg Süd; H.JERZ; Bayerisches Geologisches Landesamt München 1987
- „Wanderungen in die Erdgeschichte (8) Auf den Spuren der Eiszeit südlich von München - östlicher Teil - “; MAYER & SCHMIDT-KALER; Verlag Dr. Friedrich Pfeil München 1997
- „Wanderungen in die Erdgeschichte (9) Auf den Spuren der Eiszeit südlich von München - westlicher Teil - “; MAYER & SCHMIDT-KALER; Verlag Dr. Friedrich Pfeil München 1997