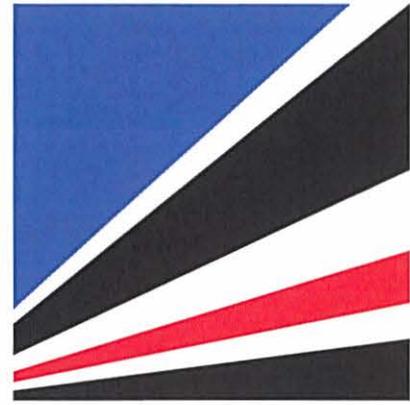

Ausbau- und Neubaustrecke
Stuttgart - Augsburg



Bereich Wendlingen-Ulm

Planfeststellungsunterlagen

Abschnitt 2.4, Alabstieg
km 75,250 bis km 81,768

Gemeinde Dornstadt und Stadt Ulm

**Anlage 14 Ingenieurgeologie, Erd- und
Ingenieurbauwerke**

nur zur Information

DB ProjektBau GmbH
Niederlassung Südwest
Projektzentrum Stuttgart 1
Mönchstraße 29
70191 Stuttgart

Die Bahn



1 Geologischer Überblick

Im Planfeststellungsabschnitt 2.4 durchfährt die Neubaustrecke mit dem Tunnel Alabstieg (einschließlich Zwischenangriffstollen) sowie seinem nördlichen Voreinschnitt und dem davor liegenden freien Streckenabschnitt geschichtete und massige Gesteine des Weißjuras, Gesteine der tertiären Unteren Süßwassermolasse sowie quartäre Ablagerungen und künstliche Auffüllungen. Im Bereich der im nördlichen Gleisdreieck des Hbf Ulm liegenden Bauwerke des Planfeststellungsabschnittes 2.4 - Rettungsplatz Portal Ulm samt Zufahrt und EÜ sowie das bauzeitlich zu verlegende Güterzuggleis 405 - stehen unter künstlichen Auffüllungen quartäre Ablagerungen sowie im tieferen Untergrund geschichtete und massige Gesteine des Weißjuras an (siehe Anlage 15.1, Beilage 2).

Die das Gebirge in diesem Streckenabschnitt aufbauenden stratigraphischen Einheiten sind nachfolgend im Einzelnen vom Liegenden zum Hangenden (d.h. vom Älteren zum Jüngeren) dargestellt.

2 Stratigraphische Einheiten

2.1 Weißjura

Die im Bereich des Tunnels Alabastieg anstehenden Gesteine des Weißjuras gliedern sich in eine geschichtete und eine massige Fazies. Aufgrund ihrer Entstehungsgeschichte - Gesteine der massigen Fazies stellen Riffkörper dar; Gesteine der geschichteten Fazies wurden in den zwischen den Riffen liegenden Arealen abgelagert - treten massige und geschichtete Fazies nebeneinander auf und verzahnen sich sowohl lateral als auch vertikal.

2.1.1 Geschichtete Fazies

Von den Schichtabfolgen der geschichteten Fazies stehen im direkten Tunnelbereich bzw. im näheren Tunnelumfeld die Schichtabfolgen des Kimmeridgiums 3, des Kimmeridgiums 4, des Kimmeridgiums 5 und des Tithoniums 1 an.

Die Gesteine der geschichtete Fazies stehen zwischen ca. km 77,000 und ca. km 77,150, ca. km 78,250 und ca. km 80,750 sowie ca. km 81,200 und ca. km 81,750 im Tunnel Alabastieg, im Bereich des gesamten Zwischenangriffsstollens sowie im tieferen Untergrund des nördlichen Gleisdreieckes des Hbf Ulm an.

Kimmeridgium 3 (ki3), Obere Felsenkalke

Die etwa 30 m mächtige Schichtabfolge der Oberen Felsenkalke steht nach derzeitigem Kenntnisstand nicht im direkten Tunnelbereich an, sondern tritt nur unterhalb des Tunnels und dann auch nur lokal auf.

Die Gesteine der Oberen Felsenkalke bestehen aus hellbraunen bis weißgelben massigen bis bankigen Kalksteinen mit eingeschalteten Mergelkalksteinbänken. Vereinzelt sind in die Kalksteinabfolgen auch Mergelsteinlagen eingeschaltet. Lokal sind diese Gesteine von Stylolithen durchzogen. Die Kornbindung dieser Gesteine ist überwiegend gut bis sehr gut. Die Schichtflächen sind in dieser Schichtabfolge wellig bis stufig und vorwiegend rau ausgebildet.

Die Gesteine der Oberen Felsenkalke weisen lokal Verkarstungen auf (siehe Kap. 4).

Kimmeridgium 4 (ki4), Liegende Bankkalke

Die lokal von der Tunnelbaumaßnahme betroffene, bis zu 30 m mächtige Schichtabfolge der Liegenden Bankkalke besteht hauptsächlich aus weißbraunen bis graubraunen Kalksteinen, in die z.T. dünne Mergelsteinlagen eingeschaltet sind. Untergeordnet kommen auch graubraune Mergel- und Mergelkalksteine vor. Die Liegenden Bankkalke (ki4) sind vorwiegend bankig, untergeordnet auch plattig oder massig ausgebildet. Gelegentlich durchziehen Stylolithen das Gestein. Die Kornbindung ist zumeist gut, stellenweise sogar sehr gut. Die Schichtflächenausbildung ist stufig bis wellig und die Schichtflächen zeigen überwiegend eine rauhe, untergeordnet eine glatte Ausbildung der Schichtoberflächen.

Die Liegenden Bankkalke sind lokal verkarstet (siehe Kap. 4).

Kimmeridgium 5 (ki5)

Von den Einheiten des Kimmeridgiums 5 stehen im Bereich des Tunnels Alabstieg sowie des nördlichen Gleisdreieckes des Hbf Ulm die Untereinheiten Untere Zementmergel (ki5u) und Zwischenkalke (ki5ZK) an.

Untere Zementmergel (ki5u)

Bei den etwa 40 m bis 60 m mächtigen Unteren Zementmergeln (ki5u) handelt es sich um graue bis dunkelgraue, bankige, vereinzelt auch dickbankige Mergelsteine, in die lokal hellgraue bankige bis plattige Kalksteine und Mergelkalksteine eingeschaltet sind. Die Mergelsteine weisen zumeist eine mäßige Kornbindung und die Mergelkalk- bis Kalksteine eine überwiegend gute Kornbindung auf. Die Mergelsteine weisen meist stufige bis ebene, glatte bis untergeordnet rauhe Schichtflächen auf. Die Mergelkalk- und Kalksteine haben wellige bis ebene, rauhe Schichtflächen.

Die Gesteine der Unteren Zementmergel sind nicht verkarstet.

Zwischenkalke (ki5ZK)

Bei den Zwischenkalken (ki5ZK) handelt es sich überwiegend um gelb-, graubraune sowie hellgraue, dichte, lokal flaserige bankige bis plattige Mergelkalk- bis Kalksteine, in die lokal dünne Mergelsteinlagen eingeschaltet sind. Die Mächtigkeit der Zwischenkalke unterliegt ablagerungsbedingt sowie aufgrund der Lage der Zwischenkalke an der alten tertiären Landoberfläche starken Schwankungen. Die Mächtigkeit variiert dabei etwa zwischen 10 m und 50 m. Die Mergelkalk- bis Kalksteine des ki5ZK besitzen meist eine gute, die zwischengeschalteten Mergelsteine eine überwiegend schlechte Kornbindung. Die Schichtflächen sind in dieser Schichtabfolge vorwiegend wellig bis eben und glatt bis rauh ausgebildet.

In den Zwischenkalken tritt lokal Verkarstung auf (siehe Kap. 4).

Tithonium 1 (ti1), Hangende Bankkalke

Die nur weit oberhalb des Tunnels Alabastieg in reduzierter Mächtigkeit von bis zu 10 m lokal auftretende Schichtabfolge der Hangenden Bankkalke besteht aus hoch reinen, weißen bis hellgrauen, bankigen Kalksteinen mit einer, auch im angewitterten Zustand, guten Kornbindung. Die Schichtflächen besitzen eine wellige und rauhe Oberfläche.

Die Hangenden Bankkalke sind lokal verkarstet (siehe Kap. 4).

2.1.2 Massige Fazies, Oberer und Unterer Massenkalk (Mo/Mu)

Die im Bereich des Tunnels Alabastieg in einer Mächtigkeit von über 200 m ausgebildete massige Fazies besteht aus den Schichtabfolgen des Oberen und Unteren Massenkalkes. Da aufgrund ihrer vergleichbaren Ausbildung zum Einen eine stratigraphische Differenzierung nicht immer möglich und zum Anderen bautechnisch auch nicht erforderlich ist, werden beide Einheiten zusammenfassend behandelt.

Die Gesteine der massigen Fazies stehen im Bereich des Tunnels Alabastieg zwischen ca. km 76,850 und ca. km 77,000, ca. km 77,150 und ca. km 78,200, ca. km 80,750 und ca. km 81,200 sowie in der südlichen Tunneleingangsstrecke auf etwa 100 m an. Im Bereich der nördlichen freien Strecke sowie des nördlichen Gleisdreieckes des Hbf Ulm treten diese Gesteine im tieferen Untergrund auf.

Bei den Gesteinen des Oberen Massenkalkes (Mo) und Unteren Massenkalkes (Mu) handelt es sich überwiegend um weißgelbliche bis gelbbraune, teils weißrötliche, massige, teils marmorierte Kalksteine. Des Weiteren treten hell- bis dunkelgraue, girlandenartig laminierte Kalksteine mit Mergelsteinhäutchen sowie lokal fein- bis mittelkörnige Dolomitsteine in der Massenkalkabfolge auf. Die unverwitterten Kalk- und Dolomitsteine zeigen in der Regel eine gute bis sehr gute Kornbindung; für die girlandenartig laminierten Kalksteine ist eine gute Kornbindung charakteristisch. Die Gesteine des Massenkalkes sind oft von zahlreichen Stylolithen durchzogen.

Die Gesteine des Massenkalkes sind mäßig bis lokal stark verkarstet (siehe Kap. 4).

2.2 Tertiär, Untere Süßwassermolasse (Ulmer Schichten), USM(UL)

Auf der ehemaligen Weißjuraoberfläche kam es im Laufe des Tertiärs im Raum Ulm zur Ablagerung der zumeist limnofluviatilen Schichten der USM(UL).

Die Mächtigkeit der USM(UL) schwankt sehr stark zwischen etwa 1 m und 90 m. Lokal ist diese Schichtabfolge auch vollständig abgetragen worden und die quartären Lockersedimente lagern direkt den Gesteinen des Weißjuras auf.

Die Schichten der USM(UL) treten im gesamten nördlichen freien Streckenabschnitt sowie im Tunnel Alabstiege in den Tunnelstrecken vom Nordportal bis ca. km 76,850 und von ca. km 81,650 bis ca. km 81,800 auf.

Im Allgemeinen ist die Schichtfolge der USM(UL) durch einen in vertikaler und lateraler Erstreckung heterogenen Gebirgsaufbau gekennzeichnet.

Im Bereich der Albhochfläche NW der Rommelkaserne sind die Gesteine der Unteren Süßwassermolasse im Übergangsbereich zur quartären Überdeckung in einer 5 m bis 10 m mächtigen Zone vollständig zu Lockergestein entfestigt. In dieser Zone der vollständigen Entfestigung bestehen die Ablagerungen der Unteren Süßwassermolasse aus einem sehr heterogenen und lateral wie vertikal stark variierenden Gemenge unterschiedlicher Lockergesteine. Der Hauptanteil dieser Lockergesteine variiert zwischen kiesig/steinigen bis stark kiesig/steinigen Tonen/Schluffen und tonig/schluffigen bis stark tonig/schluffigen Kiesen und Steinen. Lokal treten aber auch tonig/schluffige Feinsande bis feinsandige Tone/Schluffe auf. In dieser Entfestigungszone weisen die bindigen Lockergesteine eine vorwiegend steife bis halbfeste Konsistenz auf. Durch Schichtwasserführung bedingte Bereiche mit weicher Konsistenz treten nur sehr vereinzelt in geringmächtigen Lagen auf. Die gröberkörnigen kiesigen bzw. sandigen Folgen in der entfestigten Süßwassermolasse sind vorwiegend mitteldicht gelagert.

Unterhalb der entfestigten Zone sind die Gesteine der Unteren Süßwassermolasse, hierbei handelt es sich um unregelmäßige Wechselfolgen von bankigen Mergelkalk- und Kalksteinen mit vereinzelt zwischengeschalteten Mergelsteinlagen und Mergelsteinbänken, in einer 2 m bis 15 m mächtigen Aufwitterungszone stark verwittert. Während die Mergelsteine in diesem Bereich vorwiegend zu bindigem Lockergestein entfestigt sind, sind die Mergelkalk- und Kalksteine im Gebirgsverband anstehend stark zerlegt.

Unterhalb der Aufwitterungszone liegen die Süßwasserkalksteine der USM(UL) als weißbraune, weißgelbe bis graubraune, poröse bis kariöse, z.T. dichte, fossilführende Kalksteine mit stark schwankenden Kornbindungen vor. Teils weisen die Süßwasserkalksteine eine gute, teils eine mäßige bis schlechte Kornbindung

auf. Die Schichtflächen der Kalksteine sind überwiegend wellig, rauh oder glatt; nur vereinzelt treten stufige bzw. ebene Schichtflächen auf.

Die Mergelsteine innerhalb der Kalksteinabfolgen sind durch eine schlechte Kornbindung gekennzeichnet. Ihre Schichtflächen sind überwiegend wellig, glatt oder rauh.

In der nördlichen Tunneleingangsstrecke treten als Basis der Süßwassermolasse meist rotbraune bis graugrüne, steife bis halbfeste bzw. feste Schluffe und Tone auf.

Neben den oben beschriebenen Boden- und Gesteinsarten treten ab ca. km 79,000 in den liegenden Bereichen der USM(UL) auch bankige, mäßig bis stark verwitterte, gelbbraune und graugrüne Sandsteinhorizonte sowie mäßig bis vollständig verwitterte, graugrüne und rotbraune, teils sandige Tonsteine sowie Mergelsteine auf. Die Sandsteine zeichnen sich durch eine schlechte bis mäßige Kornbindung aus. Die Schichtflächen der Sandsteine sind wellig und rauh ausgebildet. Die Tonsteine sind durch eine allgemein schlechte Kornbindung gekennzeichnet. Ihre Schichtflächen sind überwiegend wellig, rauh oder glatt ausgebildet.

Teilweise sind die ab ca. km 79,000 angetroffenen Sand- und Tonsteine auch zu Lockergestein entfestigt bzw. sind nicht diagenetisch verfestigt worden. Diese Lockergesteine liegen dann als tonig/schluffige, mitteldicht gelagerte Sande bzw. als sandige und kiesige Tone und Schluffe mit steifer bis halbfester, stellenweise auch fester Konsistenz vor.

2.3 Quartär

Die im Trassenbereich anstehenden Gesteine des Weißjuras und Tertiärs werden auf der Albhochfläche und den Albhängen großflächig von quartären Alblehmen und im Donautal von quartären Talablagerungen überlagert. Zudem treten im Bereich des Rappenbades (ca. km 76,900 bis ca. km 77,200) sowie des nördlichen Gleisdreieckes des Hbf Ulm unterschiedlich mächtige künstliche Auffüllungen auf.

2.3.1 Alblehme q(I)

Die im Trassenbereich anstehenden Alblehme (Tone bzw. Ton-Schluff-Gemische) weisen Mächtigkeiten von 0,20 m bis zu 2,40 m auf. Sie sind in der Regel schwach, lokal auch feinsandig bis kiesig ausgebildet. Die Konsistenz des Alblehms ist vorwiegend steif, untergeordnet auch halbfest.

2.3.2 Talablagerungen, ungegliedert

Bei den unterhalb des Michelsberges im Randbereich des Donautales anstehenden quartären Talablagerungen handelt es sich vorwiegend um Tone/Schluffe mit variierenden sandig/kiesigen und teilweise auch organischen Anteilen. Diese bindigen Lockergesteine, die weiche bis steife, teilweise aber auch breiige Konsistenzen aufweisen, werden bereichsweise im Übergang zum anstehenden Weißjura entweder von Donauschottern (mitteldicht bis dicht gelagerter sandig/schluffiger Kies) oder Hangschutt/Hanglehm (mitteldicht bis dicht gelagerte stark tonig/schluffige Kiese bis stark kiesig/sandige Tone/Schluffe von steifer bis halbfester Konsistenz) unterlagert. Die Mächtigkeit der Talablagerungen variiert aufgrund eines unruhigen Reliefs der Weißjuraoberfläche von mehreren Metern bis etwa 10 m.

2.3.3 Künstliche Auffüllungen q(y)

Die im Bereich der Deponie Rappenbad mit Mächtigkeiten von bis zu 30 m vorliegenden künstlichen Auffüllungen (Bodenaushub) setzen sich vorwiegend aus sandig-kiesigen Schluffen und Tonen unterschiedlicher Plastizität und steifer bis halbfester Konsistenz zusammen. Darüber hinaus treten mitteldicht gelagerte, schwach sowie stark tonig/schluffige und kiesige Sande bzw. locker bis mitteldicht gelagerte sandige Kiese und Steine auf. Untergeordnet sind auch Ziegelreste, Asphaltreste und Betonbruchstücke in der Auffüllung vorhanden.

Im Bereich des nördlichen Gleisdreieckes des Hbf Ulm überdecken bis zu 2 m mächtige, heterogen ausgebildete künstliche Auffüllungen - tonig/schluffige Kiese bis kiesig/sandige Tone/Schluffe - großflächig die anstehenden Talablagerungen. Die künstlichen Auffüllungen weisen bei bindiger Ausbildung vorwiegend weiche Konsistenzen und bei rolliger Ausbildung vorwiegend lockere Lagerungen auf.

3 Tektonische Verhältnisse

3.1 Schichtlagerung

Als Teil der Süddeutschen Großscholle wurden die ursprünglich mehr oder weniger horizontal abgelagerten Schichtfolgen der Schwäbischen Alb und ihres Vorlandes durch tektonische Prozesse im Zusammenhang mit der Auffaltung der Alpen angehoben und nach SE verkippt. Aus diesem Grunde weisen die im Tunnelbereich anstehenden Gesteine der geschichteten Fazies generell ein flaches Schichteinfallen ($1^\circ - 3^\circ$) nach SE auf. Von diesem generellen Schichteinfallen abweichende Einfallrichtungen können im Nahbereich der massigen Fazies auftreten, wobei hier bei wechselnden Einfallrichtungen sich das Schichteinfallen auf bis zu 20° versteilen kann.

Die die Gesteine des Weißjuras diskordant überlagernden Gesteine der Unteren Süßwassermolasse weisen ein flaches Schichteinfallen mit wechselnden Einfallrichtungen auf. Die Einfallrichtung ist dabei jeweils auf das Zentrum des Ablagerungstrogens ausgerichtet.

3.2 Klüftung

Die im Tunnelbereich anstehenden Gesteine des Weißjuras sowie des Tertiärs weisen eine zweisecharige und orthogonale Klüftung auf. Die Streichrichtungen der Hauptklüftscharen variieren zwischen N-S und NE-SW sowie zwischen E-W und NW-SE. Die Klüfte stehen vorwiegend steil (Einfallwinkel $70^\circ - 90^\circ$). Innerhalb der Gesteine der Unteren Süßwassermolasse (USM(UL)), der Unteren Zementmergel (ki5u) und der Liegenden Bankkalke (ki4) treten zudem flacher einfallende Klüfte mit Einfallwinkeln von 30° bis 60° auf.

Die Klüfte sind bis auf den Massenkalk, in dem auch Riesenklüfte auftreten, vorwiegend als Groß- und Kleinklüfte ausgebildet. Die Klüftabstände sind vorwiegend mittel- bis weitständig (0,2 m bis 1 m bzw. 1 m bis 10 m). In den Zwischenkalken (ki5ZK) sowie den Liegenden Bankkalken (ki4) tritt zudem engständige Klüftung (Klüftabstand $< 0,2$ m) auf.

3.3 Störungen

Störungen mit ausgeprägten Schichtversätzen sind nach derzeitigem Kenntnisstand im Trassenbereich nicht vorhanden.

4 Verkarstung

Verkarstung tritt in den vom Tunnel Alabastieg durchfahrenen Gebirge in den Gesteinen des Weißjuras sowie untergeordnet auch in den Kalksteinfolgen der Unteren Süßwassermolasse auf. Die dabei in den verschiedenen Schichtabfolgen des Weißjuras auftretende Verkarstung ist hinsichtlich ihrer Art und Intensität jedoch nicht einheitlich, sondern variiert in Abhängigkeit von der jeweiligen lithologischen Ausbildung der Weißjuraschichten (massig oder geschichtet sowie Mergelsteinanteil). Sie ist in den Gesteinen der massigen Fazies und hier besonders in dolomitisierten Zonen - diese treten im Tunnelbereich jedoch nur selten auf - am stärksten und in den mergelsteinreichen Schichtabfolgen am geringsten ausgeprägt.

4.1 Verkarstungsgeschichte

4.1.1 Paläoverkarstung

Die Gesteine des Weißjuras unterlagen nach ihrer Ablagerung bis zur Überdeckung mit den tertiären Schichtabfolgen der Unteren Süßwassermolasse über einen langen Zeitraum, d.h. während der gesamten Kreidezeit sowie im Alttertiär (ca. 120 Mio. Jahre) einer wechselnd intensiven Paläoverkarstung. Da jedoch während dieser Zeitphase das Gebiet der Schwäbischen Alb immer ein Festlandbereich war, unterlag dieses Gebiet neben der Verkarstung auch einer dauerhaften Abtragung. Im Gegensatz zur Fränkischen Alb, wo alt angelegte Verkarstungsstrukturen durch verschiedene Sedimentationsvorgänge in der Kreidezeit immer wieder konserviert wurden, erfolgte im Bereich der Schwäbischen Alb eine solche Konservierung nicht. Hier wurden solche Strukturen vielmehr immer wieder durch Erosion abgetragen, so dass große oberflächige Karststrukturen, die in die alte Landoberfläche eingetieft waren, hier nicht entstehen konnten. Im Bereich der Schwäbischen Alb entstand dagegen eine ruhige Landoberfläche, die durch ein weitspänniges Relief mit Höhenunterschieden von bis zu 50 m geprägt ist. Dieses Relief wurde vor etwa 25 Mio. Jahren von den Gesteinen der Unteren Süßwassermolasse überdeckt und konserviert.

Neben dieser Oberflächenverkarstung entstanden durch die Paläoverkarstung in Abhängigkeit von der jeweiligen Ausbildung der Weißjuragesteine auch verschiedenste Verkarstungsstrukturen im Untergrund. In Abhängigkeit vom Lösungspotenzial der Weißjuragesteine - dieses ist bei Dolomit am höchsten, bei Massenkalken geringer und bei geschichteten Kalksteinen mit Mergelsteinlagen am geringsten - führte die Verkarstung zu unterschiedlich starken Trennflächen-erweiterungen, wobei hiervon hauptsächlich Klufflächen betroffen waren. In hauptsächlich aus Dolomiten aufgebauten Gebirgsbereichen - solche Gebirgsbe-

reiche treten im Durchfahrbereich des Tunnels Alababstieg jedoch nur in sehr geringem Umfang auf - führte die Verkarstung auch zu tiefgründigen Vergrusungen und teilweise auch zur Anlage größerer Karsthohlräume. Die im Zuge der Paläoverkarstung angelegten Karststrukturen wurden durch die Sedimentation der Unteren Süßwassermolasse bis in größere Tiefen weitgehend verfüllt und das Gebirge plombiert.

4.1.2 Danubische Verkarstung

Die danubische Verkarstung begann mit der Heraushebung und Verkippung des mesozoischen Schichtenpaketes nach Südosten im Jungtertiär. Die Basis der danubischen Verkarstung bildet im Allgemeinen die Oberkante der gebankten Kalksteine des Kimmeridgiums 2. Lokal reicht die Verkarstung auch bis an die Oberkante der Mergelsteine des Kimmeridgiums 1, die somit als die tiefste Lage der danubischen Verkarstungsbasis bekannt ist.

Nachdem die gesamte Alb infolge der vorausgegangenen tektonischen Hebung zum Festland wurde, begann sich vor ca. 8 bis 10 Mio. Jahren das neue Flusssystem der Urdonau zu entwickeln, wobei die Entwässerung maßgeblich durch die Verkippung der Juratafel bestimmt wurde. Etwa an der Wende Tertiär/ Quartär (vor ca. 3 Mio. Jahren) begann sich der Fluss etwa 150 m tief in die Juratafel einzuschneiden und bildete das Tal zwischen Ehingen und Ulm, welches heute von Ach und Blau durchflossen wird. Auch die zunächst flachen Muldentäler der Albhochfläche versuchten mit der Eintiefung ihrer Vorflut Schritt zu halten und bildeten tiefere, in das Gestein eingeschnittene Kerbtäler aus. Die Laichinger Alb wurde während dieser Zeit durch das urdonautributäre Flusssystem der Kleinen Lauter beherrscht.

Für das Gewässernetz ist eine bevorzugte Ost- bis Südost-Richtung bezeichnend mit weit nach Westen auslaufenden Talarmen und nur kurzen Zuflüssen aus dem Osten. Die Bachoberläufe konnten mit der Eintiefung bald nicht mehr Schritt halten, da mit der Tieferlegung der Urdonau auch die Karstwasseroberfläche rascher in die Tiefe sank. Die Bäche verloren immer mehr Wasser in den Untergrund und fielen allmählich trocken. Die gesamte Entwässerung verlagerte sich zusehends in die Klüfte und Spalten des Kalksteingebirges, die Verkarstung wurde intensiver. In den Bereichen, in denen der paläoverkarstete Weißjura (noch) mit Molasseablagerungen bedeckt ist, wird die direkte Versickerung von Oberflächenwasser in den Untergrund behindert. In diesen Bereichen findet weiterhin Oberflächenabfluss statt. Aufgrund der Vorflutsituation ist jedoch zu erwarten, dass unter der Molassebedeckung auch horizontaler Wasserdurchsatz im verkarsteten Weißjura stattfindet. Es wird erwartet, dass dieser aber weniger flächenhaft verteilt ist und sich auf wenige, hydraulisch leistungsfähige Karststrukturen konzentriert.

Im Bereich des Tunnels Alabstieg ist davon auszugehen, dass neben wenigen hydraulisch wirksamen Karststrukturen vornehmlich Paläokarststrukturen oberhalb des jetzigen Grundwasserspiegels sowie im Grundwasserspiegelschwankungsbereich reaktiviert wurden.

4.1.3 Rhenanische Verkarstung

Im Zuge der Entwicklung des Abflusssystemes des Rheins, das sich seit dem Jungtertiär ständig auf Kosten des Einzugsgebietes der Donau vergrößert hat, ist die rhenanische Verkarstung entstanden. Mit der Entwicklung des Einzugsgebietes des Rheins geht die rückschreitende Erosion des Albtraufes einher. Die rhenanische Verkarstung zeichnet sich heute dadurch aus, dass sie am Albtrauf und seinen Tälern ansetzt und sich von hier rückschreitend ins Gebirge fortsetzt. Der Reifegrad bzw. das Alter der rhenanischen Verkarstung nimmt daher mit Zunahme der Entfernung vom Albtrauf in Richtung Donau bzw. Molassebecken ab. Aufgrund seiner Lage ist beim Tunnel Alabstieg eine rhenanische Verkarstung nicht wirksam gewesen.

4.2 Verkarstungsstrukturen

In dem vom Tunnel Alabastieg zu durchfahrenden Gebirge ist nach derzeitigem Kenntnisstand in den verschiedenen Schichteinheiten mit dem Auftreten folgender Verkarstungsstrukturen zu rechnen.

Massige Fazies

Dort, wo die Gesteine der massigen Fazies (Massenkalk, Mo/Mu) von der Unteren Süßwassermolasse überlagert werden, ist in den Massenkalken eine mehrere Meter starke Aufwitterungszone infolge von Verkarstung und Verwitterung vorhanden. In der Aufwitterungszone ist das Gebirge durch Klufthkarst, der hier weitgehend alle Kluftstrukturen erfasst hat, stark zerlegt. Die Klüfte sind dabei im Dezimeter- bis Meterbereich erweitert und mit vorwiegend bindigem Lockermaterial von steifer bis halbfester Konsistenz gefüllt. Die Schichtgrenze zwischen den Massenkalken und der Unteren Süßwassermolasse ist dabei relativ ruhig ausgebildet und weist nur ein weitspänniges Relief auf.

Unterhalb der Aufwitterungszone tritt in den Kalksteinen des Mo/Mu (diese bilden die Hauptmasse der Gesteine dieser Schichtabfolge) vornehmlich Klufthkarst auf. Hierbei handelt es sich um gefüllte Karstspalten (plombierter Paläokarst), deren Öffnungsweiten überwiegend im Dezimeter- bis Meterbereich liegen werden. Die Füllungen dieser Karstspalten bestehen aus sandig/kiesigen Tonen/Schluffen von steifer bis halbfester Konsistenz. Teilweise, vor allem bei breiteren Karstspalten können in den Tonen/Schluffen auch Kalksteinbruchstücke (Stein- bis Blockgröße) eingelagert sein. Offene Hohlräume mit diesen Ausmaßen sind nach derzeitigem Kenntnisstand innerhalb der Kalksteinabfolgen des Mo/Mu nicht zu erwarten.

In den untergeordnet auftretenden dolomitisierten Bereichen des Mo/Mu ist neben dem Auftreten von Klufthkarst (Ausbildung entsprechend Kalksteinabfolgen Mo/Mu) auch mit dem Auftreten von Loch- und Röhrenkarst zu rechnen. Bei Lochkarst handelt es sich um cm- bis dm-große, rundliche Karsthohlräume in einem ansonsten vollständig erhaltenen Gebirgsverband. Diese Lochkarststrukturen, die vielfach im Grundwasserschwankungsbereich liegen, können ungefüllt oder aber auch mit Dolomitgrus oder Verwitterungslehm gefüllt sein. Bei vereinzelt zu erwartenden Karströhren mit Längenerstreckungen im Zehnermeterbereich ist davon auszugehen, dass diese vorwiegend ungefüllt sind und Durchmesser im dm-Bereich aufweisen. Karströhren mit größeren Durchmessern im m-Bereich sind eher unwahrscheinlich. Dasselbe gilt, da die dolomitisierten Bereiche innerhalb des Mo/Mu nur geringe Mächtigkeiten und Ausdehnungen haben, auch für größere offene Karsthöhlen.

Geschichtete Fazies

Von den Gesteinen der geschichteten Fazies des Weißjuras weisen nur die Zwischenkalke (ki5ZK) größere Verkarstungsstrukturen auf. Hierbei handelt es sich um plombierten Kluftkarst mit Öffnungsweiten im dm-Bereich. Die Kluftfüllungen bestehen aus sandigen oder sandig/kiesigen Tonen/Schluffen von steifer bis halbfester Konsistenz.

In den übrigen geschichteten Abfolgen des Weißjuras ist die Verkarstung nur schwach ausgeprägt. Hier sind die Klüfte nur leicht im cm-Bereich erweitert und vorwiegend mit Verwitterungslehm gefüllt.

5 Baugrundtechnische Beurteilung

Im Planfeststellungsabschnitt 2.4 sind der Tunnel Alabastieg und der Zwischenangriffsstollen in geschichteten Gesteinen des Weißjuras - Gesteine des Kimmeridgiums 4 (Liegende Bankkalke) und des Kimmeridgiums 5 (Untere Zementmergel und Zwischenkalke) -, in massigen Gesteinen des Weißjuras - Obere und Untere Massenkalk - sowie in den Gesteinen der tertiären Unteren Süßwassermolasse aufzufahren. Der nördliche Tunnelvoreinschnitt sowie der davor liegende freie Streckenabschnitt sind in den vorwiegend entfestigten und stark verwitterten Gesteinen der Unteren Süßwassermolasse und in quartären Lockergesteinen herzustellen. Die im Bereich des nördlichen Gleisdreieckes des Hbf Ulm liegenden Bauwerke des Planfeststellungsabschnittes 2.4 sind in quartären Lockergesteinen und künstlichen Auffüllungen herzustellen.

5.1 Tunnel Alabastieg

In den bankigen bis plattigen Kalksteinen mit Mergelsteinzwischenlagen der liegenden Bankkalke und der Zwischenkalke sowie den bankigen Mergelsteinen der Unteren Zementmergel sind beim Tunnel Alabastieg bis auf die Unterfahrbereiche des Rappenbadtales und des Lehrer Tales weitgehend homogene Gebirgsverhältnisse zu erwarten. In den zwei Talunterfahrungen ist mit heterogenen bis sehr heterogenen Gebirgsverhältnissen zu rechnen. Bei den über die gesamte Streckenlänge in den Zwischenkalcken liegenden Zwischenangriffsstollen sind bis auf die Stolleneingangsstrecke, in der aufgrund der oberflächennahen Gebirgsentfestigung mit heterogenen bis teilweise sehr heterogenen Gebirgsverhältnissen zu rechnen ist, weitgehend homogene Gebirgsverhältnisse zu erwarten.

Die Schichtabfolgen der geschichteten Fazies des Weißjuras weisen mittlere bis hohe Gesteins- und Gebirgsfestigkeiten auf. Die infolge von Verkarstung in den Kalksteinabfolgen dieser Schichteinheiten lokal auftretenden, überwiegend mit Lehm plombierten Kluftkarststrukturen sind aufgrund ihrer geringen Abmessungen tunnelbautechnisch beherrschbar.

In den massigen Gesteinen des Oberen und Unteren Massenkalkes liegen in unverkarsteten Gebirgsbereichen homogene, durch hohe Gesteins- und Gebirgsfestigkeiten geprägte Gebirgsverhältnisse vor. In verkarsteten Gebirgsbereichen treten dagegen heterogene bis sehr heterogene Gebirgsverhältnisse auf. Das Gebirge ist hier von Kluftkarststrukturen - vorwiegend mit sandig/kiesigen Tonen/Schluffen von steifer bis halbfester Konsistenz gefüllte erweiterte Kluftflächen mit Öffnungsweiten im Dezimeter- bis Meterbereich - unterschiedlich intensiv durchzogen und zerlegt. Gebirgsbereiche mit verhältnismäßig hohen Festigkeiten und geringen Verformbarkeiten können sich damit auf engstem Raum mit

Gebirgsbereichen wesentlich geringerer Festigkeiten und höherer Verformbarkeit abwechseln. Da die Lage und Größe von Verkarstungsstrukturen im Tunnelbereich im Einzelnen aber nicht vor dem Auffahren bestimmt werden kann, wird der Tunnelvortrieb auf diese Gebirgsverhältnisse angepasst und der bauwerksrelevante Gebirgsbereich um den Tunnel im Zuge des Vortriebes vorseilend mittels Bohrungen und geophysikalischer Verfahren auf das Vorhandensein von Karststrukturen untersucht. Bei vorhandenen Karststrukturen erfolgt dann ein auf deren Ausbildung abgestimmter Vortrieb und Ausbau.

In den Schichtabfolgen der Unteren Süßwassermolasse liegen in unverwitterten Gebirgsbereichen vorwiegend homogene bis heterogene Gebirgsverhältnisse vor. Diese Schichtabfolgen weisen mittlere bis teilweise geringe Gesteins- und Gebirgsfestigkeiten auf. In unverwitterten Gebirgsbereichen sowie den lokal an der Basis der Unteren Süßwassermolasse ausgebildeten Lockergesteinszonen liegen sehr heterogene Gebirgsverhältnisse vor. Die Gesteins- und Gebirgsfestigkeiten sind in diesen Bereichen gering bis sehr gering und erfordern eine auf diese Gebirgsverhältnisse angepasste Vortriebsweise des Tunnels.

Obwohl nach den bisherigen Untersuchungsergebnissen im Bereich des Tunnels Alabstieg sowie des Zwischenangriffstollens keine Störungen mit größeren Versatzbeträgen vorliegen, muss jedoch mit dem Auftreten kleinerer Störungen mit Versatzbeträgen von wenigen Dezimetern bis wenigen Metern gerechnet werden. Diese Störungen sind vornehmlich in Richtung der Hauptkluftrichtungen orientiert und stehen steil und weisen vermutlich zum überwiegenden Teil keine Mylonitzonen auf.

5.2 Erdbauwerke

Der nördliche Voreinschnitt des Tunnels Alabstieg sowie die Einschnittsböschungen im Bereich der freien Strecken sind in bindigen quartären Lockergesteinen sowie in entfestigten und stark verwitterten Gesteinen der Unteren Süßwassermolasse anzulegen. Entsprechend den bodenmechanischen Eigenschaften dieser Lockergesteine sowie den vorgesehenen Böschungshöhen ist geplant, die Voreinschnittsböschungen des Tunnels Alabstieg mit einer Neigung von 1:2 und die übrigen Einschnittsböschungen mit einer Neigung von 1:1,8 zu gestalten.

Da die im Bereich der Einschnittssohlen anstehenden Gesteine nicht den Anforderungen an den Einbau des Fahrweges mit Fester Fahrbahn entsprechen, sind hier entsprechende Bodenaustausch- bzw. -verbesserungsmaßnahmen erforderlich (voraussichtliche Eingriffstiefe bis etwa 3 m unter Schienenoberkante).

Der nördlich des Voreinschnitts Nord Tunnel Alabstieg liegende, bis zu 3 m hohe Damm ist auf quartären Lockergesteinen sowie entfestigten Gesteinen der

Unteren Süßwassermolasse zu gründen. Zur Gewährleistung kleiner und gleichmäßiger Setzungen über die gesamte Dammstrecke werden die oberen 3 m des Untergrundes komplett gegen tragfähiges und verdichtungswilliges Material (Tunnelausbruchmaterial) ausgetauscht. In Bereichen mit Dammhöhen über 1,5 m bzw. in Bereichen, wo unterhalb des Bodenaustausches noch stark setzungsempfindliche Schichten anstehen, ist der Untergrund darüber hinaus durch Ertüchtigungsmaßnahmen (z.B. Rüttelstopfsäulen) zu stabilisieren.

Der Aufbau des Dammes erfolgt mit einem abgestuften Korngemisch (z.B. gebrochenes Tunnelausbruchmaterial entsprechender Qualität).

Zwischen km 75,250 und km 75,770 wird östlich der NBS eine bis zu 20 m hohe Seitenablagerung angelegt. Diese Seitenablagerung, die 3 m hinter der Böschungskante des NBS-Einschnittes beginnt, wird NBS-seitig mit einer Böschungsneigung von 1:1,8 ausgeführt. Zur standsicheren Gestaltung dieser Böschung wird die Seitenablagerung in diesem Bereich aus ausgewähltem, ausreichend scherfestem Tunnelausbruchmaterial aufgebaut. NBS-abgewandt wird die Seitenablagerung unter landschaftsgestalterischen Gesichtspunkten modelliert, wobei im Wesentlichen flach geneigte Böschungen mit Neigungen von 1 : 3 bis 1 : 5 angelegt werden.

Die im Untergrund der Seitenablagerung anstehenden Böden weisen eine ausreichende Tragfähigkeit zur Aufnahme der Lasten aus der Seitenablagerung auf.

Der im Bereich des nördlichen Gleisdreieckes des Hbf Ulm anzulegende Rettungsplatz Portal Ulm kommt ebenso wie die Rettungsplatzzufahrt in künstlichen Auffüllungen und quartären Talablagerungen zu liegen. Die im Bauwerksbereich anstehenden Böden sind zum Einen nicht frostsicher und besitzen zum Anderen in weiten Bereichen keine ausreichende Tragfähigkeit, so dass neben dem erforderlichen Einbau zur Frostschutzschicht auch das Erdplanum vermutlich durchgängig durch Bodenverbesserungsmaßnahmen - Zugabe von hydraulischen Bindemitteln - zu ertüchtigen ist. Lokal, in Bereichen mit sehr gering tragfähigen Böden, kann auch ein partieller Bodenaustausch erforderlich werden.

Im Bereich des bauzeitlich zu verlegenden Güterzuggleises wird der Untergrund ebenfalls aus gering tragfähigen, nicht frostsicheren künstlichen Auffüllungen und quartären Talablagerungen aufgebaut. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Lagestabilität dieses Gleises sind hier im Erdplanum Bodenaustauschmaßnahmen mit einer Eingriffstiefe von mindestens 0,5 m erforderlich. Der aus gebrochenem Material herzustellende Bodenaustauschkörper wird mit einer entsprechend der Streckenkategorieeinstufung dimensionierten Planumsschutzschicht abgedeckt.

Von dem bei der Tunnelauffahrung anfallenden Ausbruchmaterial sind die Gesteine des Massenkalkes (Mo/Mu) sowie des Zwischenkalkes (ki5ZK) zum Teil

als Dammschüttmaterial für NBS-Dämme verwertbar. Die übrigen Ausbruchsmaterialien erfüllen nicht die Anforderungen an Dammbaustoffe für NBS-Dämme und sind zu deponieren.

5.3 Kunstbauwerke

Im Zuge der NBS-Baumaßnahme ist im Bereich des nördlichen Gleisdreieckes Hbf Ulm der Ersatz der bestehenden EÜ km 93,285 der Strecke 4700, Stuttgart - Ulm, durch die neu zu errichtende EÜ Zufahrt Rettungsplatz Portal Ulm vorgesehen, wobei die neue EÜ unter Betrieb zu erstellen ist. Die Gründungssohle der als Rahmenbauwerk geplanten EÜ sowie die Gründungssohlen der seitlich anschließenden, ebenfalls flach gegründeten Stützmauern kommen in quartären bindigen Talablagerungen zu liegen, wobei hier in den Gründungssohlen ggf. Bodenaustauschmaßnahmen zur Gewährleistung einer ausreichenden Tragfähigkeit auszuführen sind. Die Träger der im Bauzustand erforderlichen Hilfsbrücke werden auf ausreichend tragfähigem Untergrund abgesetzt.