

Neubaustrecke Wendlingen-Ulm: Geokunststoffe als Bestandteil der Gründung und Abdichtung des Hochgeschwindigkeits-Fahrweges zum Schutz des Grundwassers auf der Schwäbischen Alb

Dr.-Ing. Stefan Kielbassa, DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH, Stuttgart

Dr.-Ing. Marc Raithel, Kempfert + Raithel Geotechnik GmbH, Würzburg

Dr.-Ing. Jürgen Baumbusch, AQUASOIL Ingenieure & Geologen GmbH, Westheim

1 Projektvorstellung

Das Bahnprojekt Stuttgart–Ulm besteht aus den Teilprojekten Stuttgart 21 und der Neubaustrecke von Wendlingen nach Ulm. Dabei bezeichnet Stuttgart 21 die vollständige Neuordnung des Bahnknotens Stuttgart mit dem neuen Tiefbahnhof als Kernstück und der Strecke zum Flughafen Stuttgart und nach Wendlingen. Die anschließende Neubaustrecke wird den Hochgeschwindigkeitsverkehr bis Ulm ermöglichen und die Filstalbahn umfahren, wo heute wegen enger Radien keine dem modernen Fernverkehr gerechten Geschwindigkeiten gefahren werden können (Abb. 1).

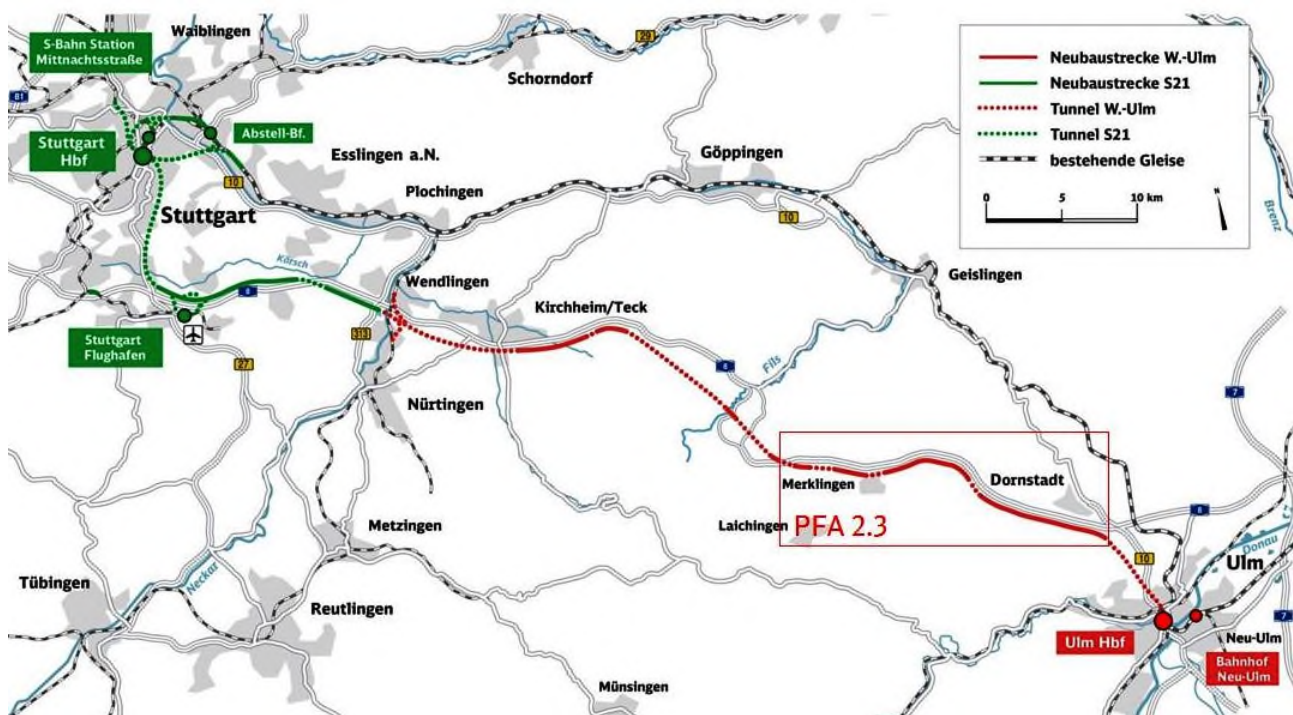


Abb. 1: Übersichtskarte Gesamtprojekt Stuttgart–Ulm (Quelle Projekt Stuttgart–Ulm)

Der Planfeststellungsabschnitt (PFA) 2.3 erstreckt sich auf der Hochfläche der Schwäbischen Alb zwischen Hohenstadt (NBS-km 53,811) im Westen und Dornstadt (NBS-km 75,250) im Osten. Der Abschnitt ist vom überwiegenden Verlauf auf offener Strecke in Parallellage zur BAB A8 geprägt (vgl. Abb. 2), deren vollständiger Ausbau zeitgleich von vier auf sechs Fahrstreifen erfolgt. Die Neubaustrecke verläuft größtenteils durch Wasserschutzgebiete der Zone III.



Abb. 2: Übersichtskarte PFA 2.3 Albhochfläche (Quelle: DB Projekt Stuttgart-Ulm)

Der Abschnitt auf der Albhochfläche ist gekennzeichnet durch schweren Erd- und Felsbau zur Herstellung von Einschnitten und Dämmen sowie der Baugruben für die Kunstbauwerke.

Insbesondere aufgrund des verkarsteten Baugrundes kommen als Bestandteil der Gründung und Abdichtung des Hochgeschwindigkeits-Fahrweges zum Schutz des Grundwassers auf der Schwäbischen Alb auch Geokunststoffe zum Einsatz.

2 Allgemeine Karstproblematik

Auf der Hochfläche der Schwäbischen Alb wird auf einer Länge von ca. 21,5 km verkarstetes/verkarstungsfähiges Gebirge durchfahren. Der Gebirgsaufbau und die Baugrundverhältnisse sind dabei überwiegend von Gesteinen des Weißjura-Gebirges (über ca. 18,9 km) und untergeordnet von Sedimenten der Unteren Süßwassermolasse (im östlichen Bereich über ca. 2,6 km) geprägt.

Die Verkarstungsvorgänge und -prozesse fanden primär in der Kreidezeit und während des Tertiärs statt. Es entstanden große Talsysteme sowie ein Karstrelief mit teilweise tiefen Karsthohlformen an der Geländeoberfläche (Wannen, Erdfälle, Dolinen, Schächte und Spalten). Des Weiteren entstanden jeweils in Abhängigkeit von den vorliegenden Vorflutsystemen weitverzweigte Höhlensysteme. Während bei den Kalksteinen vornehmlich die Klüfte von der Verkarstung betroffen waren und sich diese dadurch erweiterten, erfolgte die Verkarstung in den Dolomitsteinen bzw. dolomitierten Kalksteinen aufgrund deren hoher Verkarstungsfähigkeit durch ein höheres Lösungspotential großflächiger und wesentlich intensiver. Die Verkarstung war nicht gleichmäßig, sondern lokal sehr unterschiedlich. Als Folge davon entstand ein zwar sehr heterogenes aber dennoch intaktes Gebirge, in dem Karststrukturen unterschiedlichster Art und Größenordnung innerhalb unverkarsteter Gebirgsbereiche wahllos verteilt auftreten, vgl. Abb. 3. In den Sedimentationsphasen erfolgte bereichsweise eine Plombierung der existierenden Karsthohlräume.



Abb. 3: Verkarstetes Relief der Weißjura-Oberfläche (Quelle: Kempfert + Partner Geotechnik)

3 Schutz des Grundwassers

Die Albhochfläche ist dadurch gekennzeichnet, dass Niederschläge aufgrund der Verkarstung sehr schnell in große Tiefen versickern. Bild 4 zeigt den Verlauf des Karstgrundwasserleiters, der etwa 80m unter Geländeoberkante liegt. Die Neubaustrecke war hier ursprünglich nach dem herkömmlichen Konzept einer Entwässerung über die Dammschulter in längslaufende Versickerungsgräben geplant (WSG III).

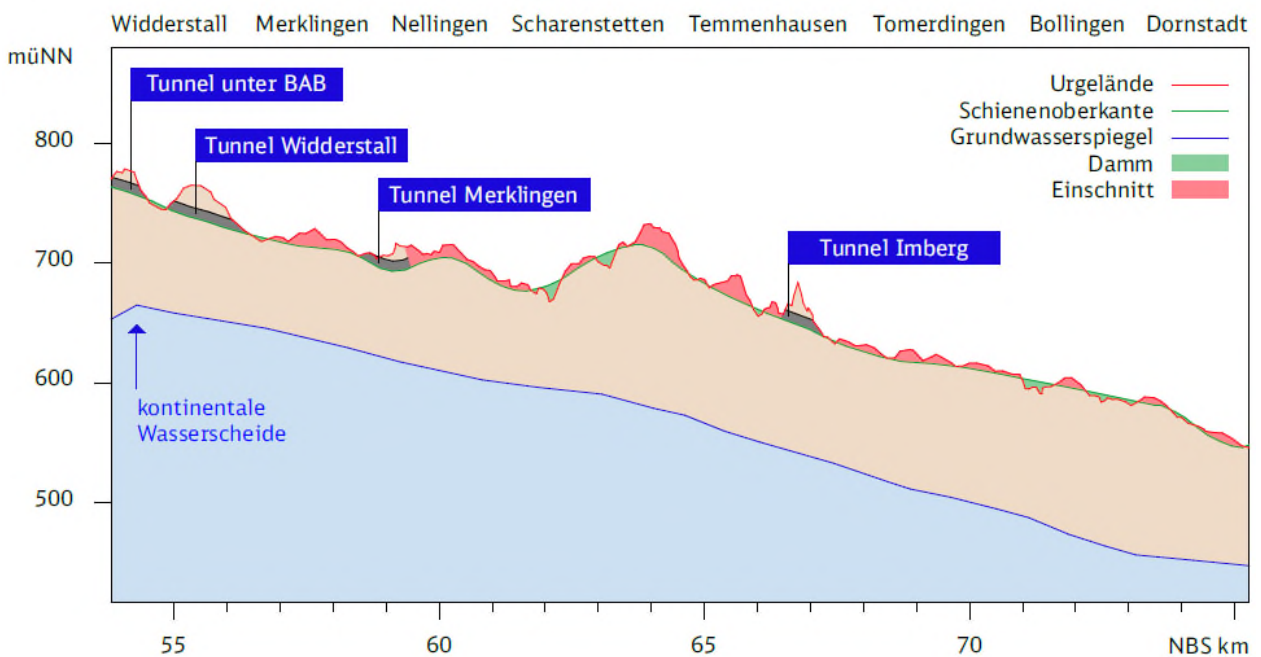


Abb. 4: Höhenplan PFA 2.3 Albhochfläche mit Karstgrundwasserspiegel

Vor dem Hintergrund der hohen Fließgeschwindigkeiten im Karst forderten in 2002 die zuständigen Wasserbehörden, dass die gesamte Alb planerisch wie ein WSG II zu behandeln sei. Insbesondere bedeutete dies, dass nun ein abgedichtetes System geplant werden sollte, dies insbesondere auch aufgrund der Tatsache, dass Transporte wassergefährdender Substanzen auf der NBS nicht auszuschließen sein würden. Auf dieser Grundlage entstand das Konzept einer abgedichteten Strecke mit dezentralen Klär- und Versickerungsbecken, das so auch in die Planfeststellungsunterlagen übernommen wurde.

4 Kunststoffdichtungsbahnen als Bestandteil des abgedichteten Fahrweges

Einschnitts- und Dammböschungen werden mit einer mineralischen Dichtungsschicht (Lehmschlag) versehen, die im Einschnittsbereich mindestens 2 m über Schienenoberkante geführt wird und im Dammbereich auch die Entwässerungsmulde am Dammfuß sowie die Entwässerungskörper unter den Bahnseitengräben einschließt. Der Mittelbereich der Festen Fahrbahn sowie die Randbereiche der NBS zwischen der hydraulisch gebundenen Tragschicht HGT der Festen Fahrbahn und der Dammschulter bzw. dem Bahnseitengraben werden ebenfalls abgedichtet. Eine Systemzeichnung der Streckenentwässerung mit Abdichtung ist in Abb. 5 dargestellt.

Die Bahnentwässerung erfolgt dann zu dezentralen Versickerungsbecken mit vorgeschalteten Regenklärbecken. Dort wird es über eine belebte Oberbodenschicht und einen Gütefilter versickert. Mit einer gegenüber dem Dauerstau entsprechend höher angeordneten Beckenüberlaufschwelle des Klärbeckens wird ein Havarievolumen von mindestens 45 m³ bereitgestellt. Dieses Havarievolumen ist in Anlehnung an die NBS Nürnberg - Ingolstadt an das Volumen eines halben Kesselwagens gewählt worden.

Sowohl die abgedichtete Ableitung als auch die dezentrale Versickerung über offene Becken und die Versickerung innerhalb der WSG-Zone III ist im Regelwerk der DB (Ril 836) nicht vorgesehen. Daher wurde eine Unternehmensinterne Genehmigung (UiG) und eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) des Eisenbahnbundesamtes erforderlich.

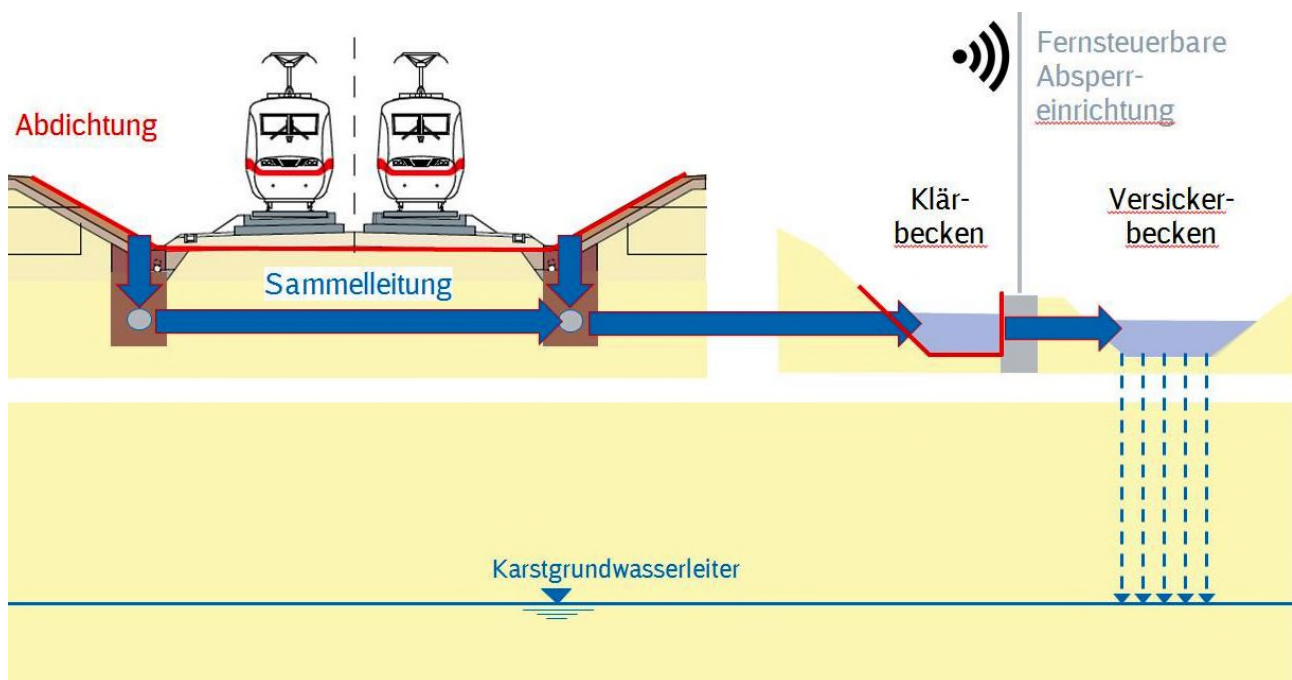


Abb. 5: Systemzeichnung Entwässerung und Abdichtungsschema (Quelle: DB Projekt Stuttgart—Ulm)

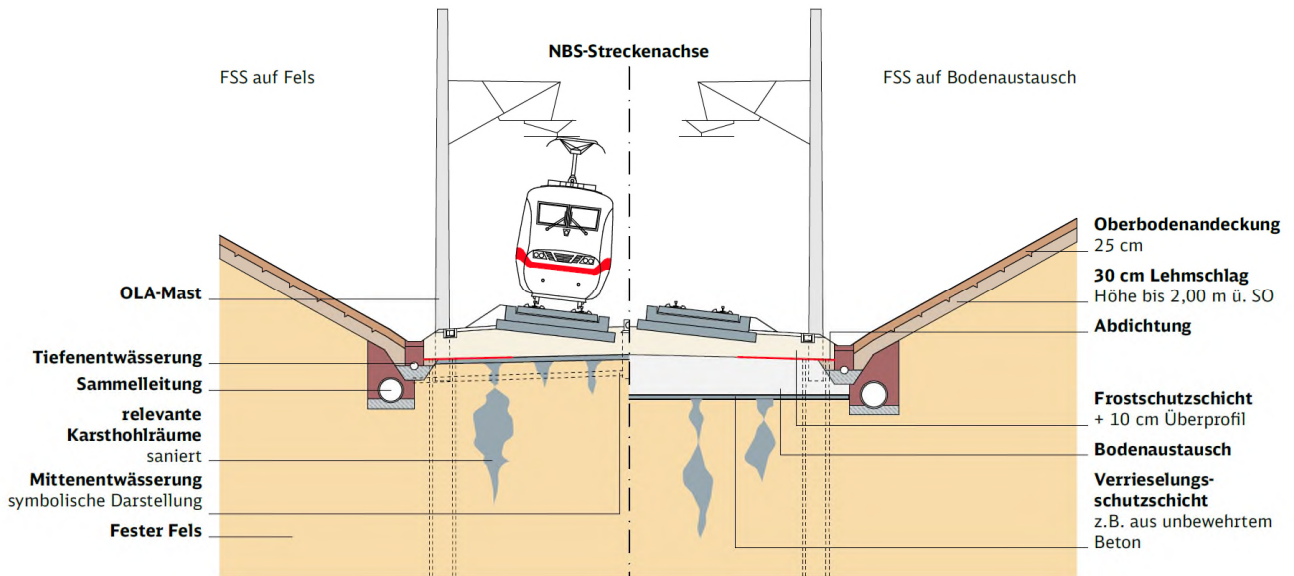


Abb. 6: Systemzeichnung Regelquerschnitt Einschnitt (Quelle: DB Projekt Stuttgart—Ulm)

Nach der ZIE sind zur Abdichtung der Randwegbereiche sind beidseitig profilierte Dichtungsbahnen aus PE nach dem Anwendungsfall 3.12, Abdichtungselement in Erdbauwerken (Kunststoffdichtungsbahnen), der DBS 918 039 mit einer Herstellerbezogenen Produktqualifikation (HPQ) der DB AG zu verwenden. Die Dichtungsbahnen sind beidseitig durch Schutzvliese zu schützen. Bei Verwendung von gebrochenem, scharf kantigem Material für Ausgleichs- oder Frostschuttschicht sind die Anforderungen an die Schutzvliese durch Eignungsnachweise zu bestätigen.

Die Dichtungsbahnen sind soweit in den Filter einzubinden (Einschnittlage) bzw. über die Böschungsschulter zu führen (Dammlage), dass eine ausreichende Überlappung mit der fahrbahnseitigen Lehmschlagpackung sichergestellt ist. Die Anordnung der Dichtungsbahnen im Randwegbereich ist in Abb. 7 dargestellt.

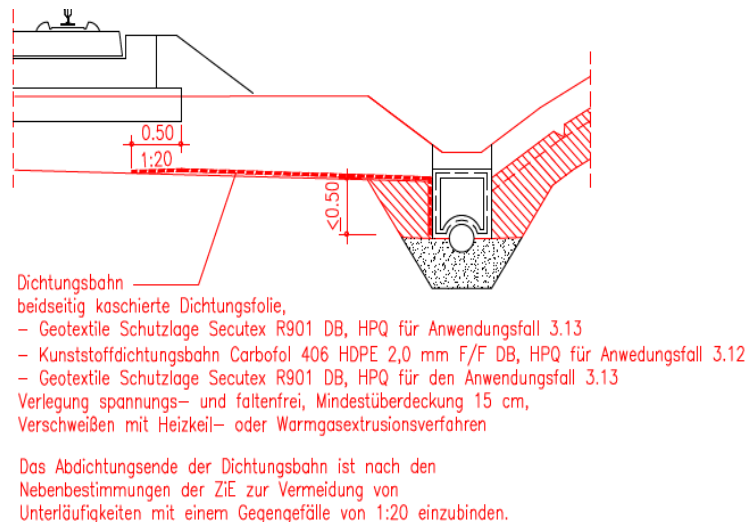


Abb. 7: Anordnung der Dichtungsbahn zur Abdichtung der Randwegbereiche (Quelle: INVER Auszug aus Ausführungsplanung)

5 Karstbedingter Verrieselungsschutz durch Geogitter

Zur bautechnischen Beherrschung der Verkarstungsthematik wurde im Zuge der Entwurfsplanung eine Real-Case-Prognose [1] der zu erwartender karstbedingter Schwächezonen, insbesondere luftgefüllter Hohlräume erstellt.

Die Erkundungen und Prognosen haben ergeben, dass während des Baus mit dem Auftreten von unterschiedlichen Karstphänomenen und extrem wechselhaftem Baugrund gerechnet werden musste, wobei unterschiedliche Maßnahmen zur Begegnung dieser Phänomene vorgesehen waren. Im Zuge der Ausführung wird deshalb in Abhängigkeit der Ergebnisse von flächendeckenden geophysikalischen Erkundungen (Seismik und Gravimetrie) bzw. in Abhängigkeit der Feststellungen während der Bau durchführung eine zielgerichtete und auf die lokalen Karsterscheinungen ausgerichtete Detailerkundung durch weitere direkte Aufschlüsse durchgeführt, vgl. auch [3] und [6].

Neben den Methoden zur Karsterkundung wird der Karstproblematik auch durch konstruktive Maßnahmen in den Regelquerschnitten der Erdbauwerke Rechnung getragen. Die Regelquerschnitte sehen dabei in Bereichen mit anstehendem Fels eine Verrieselungsschutzschicht aus unbewehrtem Beton mit einer Mindestdicke von $d = 15 \text{ cm}$ und in Lockergesteinslagen den Einbau von Geogittern und Vliesstoff im Sinne eines flexiblen Rieselschutzes vor.

Grundsätzlich soll hierdurch bei Verkarstungen bzw. Spaltenbildungen geringer Öffnungsweite ein Nachrieseln von im Ober-, Unterbau und Untergrund eingebauten Lockergesteinen (Bodenaustausch, Dammkörper, Frostschutzschicht FSS) verhindert werden.

In Abb. 8 ist die Anordnung eines Geogitters als Verrieselungsschutz im Regelquerschnitt dargestellt.

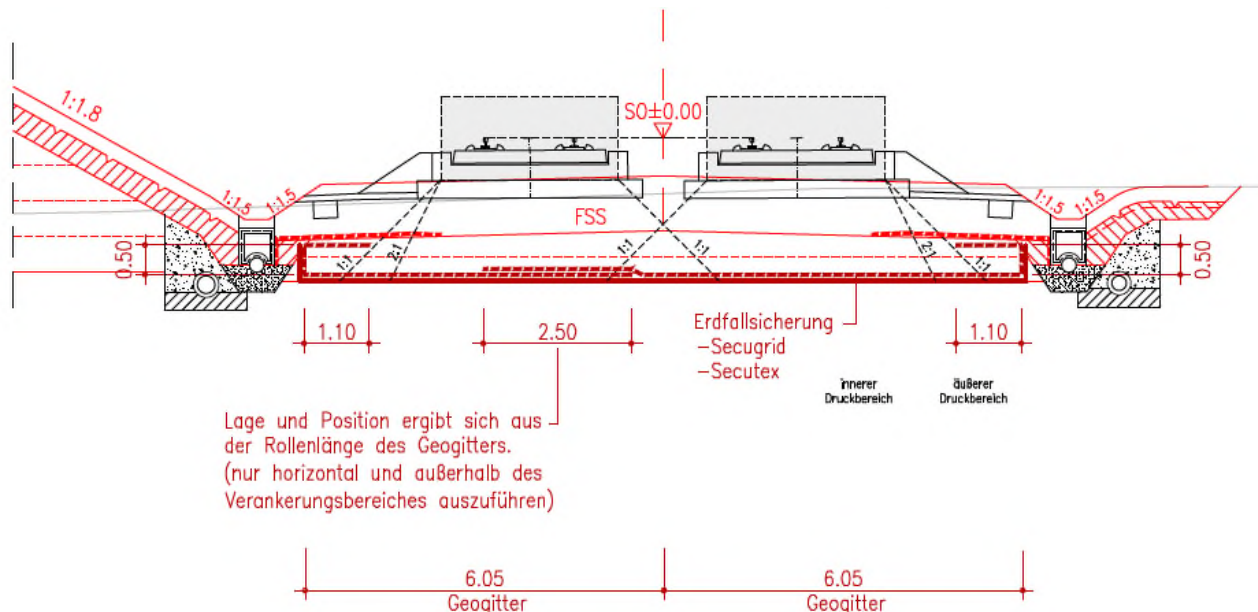


Abb. 8: Geogitter als Verrieselungsschutz im Regelquerschnitt (Quelle: INVER Auszug aus Ausführungsplanung)

Gegenwärtig zeigt sich jedoch, dass in weiten Bereichen der Strecke auf eine separate Verrieselungsschutzschicht im Streckenbereich verzichtet werden kann, da voraussichtlich mit Bindemittel verbessertes Dammschütt- oder Bodenaustauschmaterial verwendet werden wird. In diesem Fall ist auch ohne separate Verrieselungsschutzschicht ein Nachrieseln ausgeschlossen.

Dagegen bleibt im Bereich der vorgesehenen 5 Klär- und Versickerbecken (mit Abmessungen von je ca. je ca. 50 auf 100 m) ein Verrieselungsschutz aus Geogittern zwingend erforderlich, da dort zur Gewährleistung der Wasserdurchlässigkeit/Versickerung keine bindemittelverbesserten Schichten ver-

wendet werden können. Die zur Gewährleistung einer ausreichenden Versickerung auch gezielt verbleibender Klüfte und Spalten im Karstuntergrund werden durch das Geogitter somit planmäßig überbrückt.

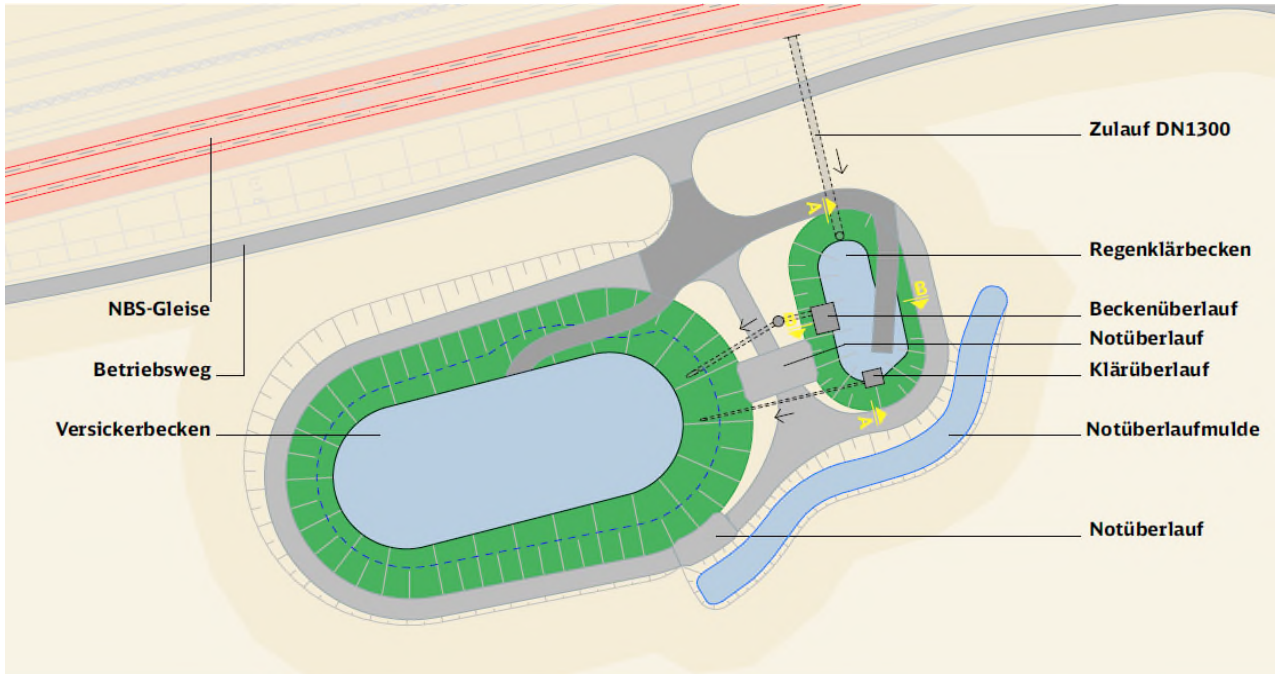


Abb. 9: Systemzeichnung eines Regenklär- und Versickerbeckens (Quelle: DB Projekt Stuttgart—Ulm)

Detail A
Erdrucksicherung:

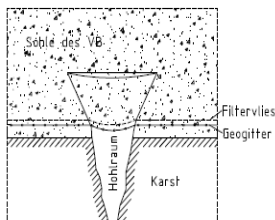


Abb. 10: Detail zur Geogitterverlegung (Quelle: [4])

6 Geogitter als Dammbasisbewehrung

Der Damm D7 liegt im mittleren Streckenabschnitt und weist bei einer Länge von ca. 260 m eine maximalen Dammhöhe von ca. 8 m auf.

Im Untergrund des Dammes D7 wurde im Zuge der Karsterkundung über ca. 150 m Länge im Bereich der max. Dammhöhen eine mit Felsblöcken, Verwitterungs-, Verkarstungs- und Zersatzmassen und erheblichen Ablehmanteilen gefüllte, tiefgründige Karstwanne erkundet. Die Ablehme sind dabei als weich bis steife, mittel- bis ausgeprägt plastische Tone anzusprechen.

Auf Grund der Baugrundverhältnisse wurde als Gründungsmaßnahme zunächst ein tiefreichender Bodenaustausch vorgesehen. Da teilweise im Gründungsbereich Ablehmmächtigkeiten bis über 10,5 m unter GOK erkundet wurden, verbleiben unter dem max. ca. 4,0 m mächtigen Bodenaustausch bis zu ca. 6,5 m mächtige Ablehmrestmächtigkeiten.

Der Gründung mit einem konventionellen Bodenaustausch liegen aufgrund des Verbleibs der Ablehm-
schichten unterhalb des Bodenaustauschkörpers Setzungs- und Konsolidationsberechnungen zugrun-
de.

Nach den vorliegenden Setzungsrechnungen liegen die rechnerischen Restsetzungen nach einjähri-
ger Überschüttung von 2 m damit im Bereich der Regulierbarkeit der Standard-Schienenbefestigung
bzw. den Anforderungen der Ril 836.

Als weitere geotechnische Nachweise für die Flachgründung auf bindemittelstabilisiertem Bodenaus-
tausch wurde der Nachweis des NBS-Dammes gegen Böschungsbruch und Dammfußgleiten geführt.
Auf dieser Grundlage wurde zur Gewährleistung der temp. Standsicherheit bei Ansatz von undrännierten
bzw. nur teilkonsolidierten Verhältnissen eine Dammbasisbewehrung aus Geogittern Secugrid 400/100
vorgesehen.

Abb. 12: die Geogitterverlegung



Abb. 11: Gründungsebene des Dammes D7 mit dem anstehenden Ablehm (Quelle: Kempfert + Partner
Geotechnik)



Abb. 12: Geogitterverlegung (Quelle: Kempfert + Partner Geotechnik)

Die tatsächlich eintretenden Verformungen werden im Rahmen der Gesamtheitlichen Verformungsbe-
trachtung durch Verformungsmessungen erfasst. Hierzu werden Setzungsmesspegel im Abstand von
ca. 20 bis 50 m in Streckenachse sowie 2 Horizontalinklinometer im Bereich der tiefsten ablehmgefüll-
ten Karstrinnen vorgesehen.

Nach Abschluss der Dammschüttung und vor Einbau der Festen Fahrbahn ist eine entsprechende Zwischenliegezeit eingeplant, während dessen durch die Messungen belegt werden soll, dass die Verformungen (Setzungen) infolge der zuvor stattgefundenen Erdarbeiten entsprechend abgeklungen/auskonsolidiert sind.

Aufgrund der nicht vermeidbaren Prognoseunsicherheiten sind aber zusätzlich mögliche Gegenmaßnahmen zur Kompensation von zunächst unverträglichen Restsetzungen vorgesehen, z.B. Erhöhung der temporären Überschüttung, Verlängerung der Liegezeiten oder ggf. auch der Einbau von Sonder-schienenstützpunkten.

7 Geogitterbewehrte Stützkonstruktion als Baubehelf

Nordwestlich von Merklingen wird die Kreisstraße K7407 über die NBS-Trasse mit dem BW 1 überführt. Die NBS-Trasse verläuft im Bauwerksbereich in Einschnittslage. Am Widerlager Nord des Bauwerkes BW 1 schließen näherungsweise rechtwinklig zur Brückenachse Stützbauwerke an. Die Stützbauwerke sind im Anschluss an das Brückenbauwerk als Trogbauwerke geplant und schließen die Lücke zwischen dem Brückenbauwerk über die NBS und dem Brückenbauwerk über die BAB A8, vgl. Abb.11.

Um die Befahrbarkeit zwischen den einzelnen Brückenbauwerken zu ermöglichen, ist somit die Verfüllung der Troglöcher erforderlich. Da die Anschlussblöcke der Trogbauwerke zunächst nur teilweise fertiggestellt und verfüllt werden konnten, wurden zur temporären Sicherung der stirnseitigen Böschungen der Trogverfüllungen bis zur Herstellung der Nachbarblöcke geogitterbewehrte Stützkonstruktionen hergestellt.



Abb. 13: Situation mit Teilverfüllung des Trogbauwerks zwischen Brücke über NBS und Brücke über BAB (Quelle: DB Projekt Stuttgart—Ulm)

Die Planung der geogitterbewehrten Stützkonstruktion erfolgte nach EBGEO [7] und ist in Abbildung 14 dargestellt.

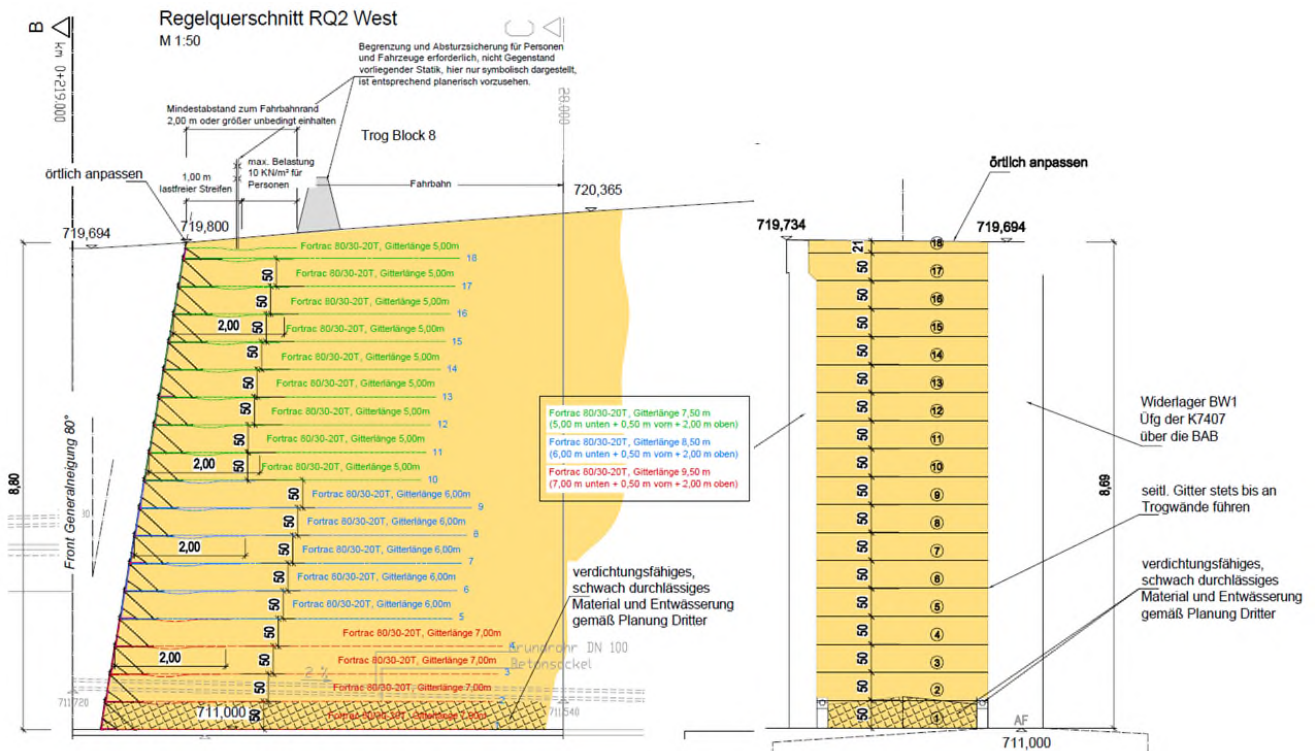


Abb. 14: Planung geogitterbewehrte Stützkonstruktion zur temporären Sicherung der stirnseitigen Böschungen der Trogvorfüllungen (Quelle: Ingenieurbüro für Geotechnik Urbanski Auszug aus Ausführungsplanung)

8 Zusammenfassung und Schlussbemerkung

Auf der Schwäbischen Alb sind aufgrund des verkarsteten Baugrundes besondere Maßnahmen erforderlich. Hier wird berichtet über den Einsatz von Geokunststoffen für Abdichtung und Gründung des Fahrweges und zugehöriger Nebenanlagen. Das Projekt hat jetzt in ersten Teilabschnitten die Phase des schweren Erd- und Felsbaus hinter sich, es werden bereits Sammelleitungen der Entwässerung und Oberleitungsmastgründungen hergestellt.

Unmittelbar bevor steht jetzt die Bauphase der Streckenabdichtung. Die Abdichtung erfolgt mit Kunststoffdichtungsbahnen, die unter der Frostschutzschicht eingelegt werden und das Wasser direkt in das geschlossene Entwässerungssystem ableiten. Über Sammelleitungen gelangt es in Klär- und Versickerungsbecken. Das System ist aus Gründen des Grundwasserschutzes durchgängig auf der gesamten Albhochfläche. Geogitter als Gründungsbestandteil werden örtlich nach Bedarf eingesetzt, insbesondere als Verrieselungsschutz für den Fall, dass zukünftigen Veränderungen im verkarsteten Baugrund zu begegnen ist.

LITERATUR

- [1] ARGE Wasser Umwelt Geotechnik. Großprojekt Stuttgart 21 – Wendlingen-Ulm. PFA 2.3 Albhochfläche. „Real-Case-Prognose Karstphänomene“ als eine Grundlage für die Entwicklung erdbau- und gründungstechnischer Konzepte im Karstgebirge im Rahmen der Entwurfsplanung. Fassung vom 04.08.2009 (unveröffentlicht).

- [2] Kielbassa S., Prischmann F., Beer, N.: Bahnprojekt Stuttgart–Ulm, Karsterkundungs- und -sanierungsmaßnahmen für den Hochgeschwindigkeitsfahrweg auf der Schwäbischen Alb; Geomechanics and Tunnelling, Heft-Nr. 2 April 2015, Seite 129-145.
- [3] Kielbassa S.: Baubegleitende Erkundung von Karst auf der Albhochfläche; Felsmechanik-Tag, Weinheim 2015.
- [4] Deutsche Bahn AG: UiG mit Fachtechnischer Stellungnahme TM 2007-1309 I.NVT(K) Ril 836.0509: ABS/NBS Stuttgart-Augsburg Projekt NBS Wendlingen-Ulm km53,838 bis 72,250; abgedichtete Bahnentwässerung und Versickerung im Wasserschutzgebiet vom 17.09.2007 (inkl. Antragunterlagen).
- [5] Eisenbahn-Bundesamt: ZiE „Sonderbauform der Bahnentwässerung (abgedichtetes System) im Karstgebiet mit Versickerung innerhalb des WSG, NBS Wendlingen – Ulm, PFA2.3, Albhochfläche km 53,838 – km 75,250“ vom 12.12.2011 inkl. 1. bis 3. Änderung.
- [6] Raithel M., Kielbassa, S., Baumbusch J.: Bau der Neubaustrecke Wendlingen-Ulm in verkarsitetem Baugrund. EI-Eisenbahningenieur 2015.
- [7] Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO). 2. Auflage - April 2010