

Kolloquium

Maschinelle Vortriebe im Lockergestein

Lockergesteinsstrecke des Längholtunnels – Wahl des Vortriebverfahrens

Ulrich Sennhauser
Dipl. Bauing. ETH/SIA
Bächtold & Moor AG
Bern

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1 Einleitung	3
2 Vorstellen des Projektes	3
3 Geologie	6
4 Wahl der Vortriebsmethode im Projekt	8
5 Rahmenbedingungen bei der Submission	10
6 Resultat der Submission	10
7 Risikobeurteilung und Vergabeentscheid	11
8 Erkenntnisse	14
9 Ausblick	14

Bericht Nr.		Revidiert am	
Erstellt am	5.5.08	Verfasser	
Verfasser	Sennhauser	Geprüft	
		Freigegeben	
Ablage	20080505 Vortrag Lockergesteinsstrecke Längholtunnel.doc		

1 Einleitung

Im Gegensatz zu meinen Vorrednern kann ich bei meinen Ausführungen nicht von Erfahrungen bei Bauarbeiten oder wissenschaftlichen Untersuchungen berichten, dafür möchte ich auf die Probleme des projektierenden Ingenieurs bei der Wahl des Vortriebsverfahrens eingehen. Dies erfolgt am aktuellen Beispiel der Lockergesteinsstrecke des Längholtunnels.

2 Vorstellen des Projektes

Der Längholtunnel gehört zur Umfahrung Biel, dem letzten noch nicht erstellten Teilstück der A5.

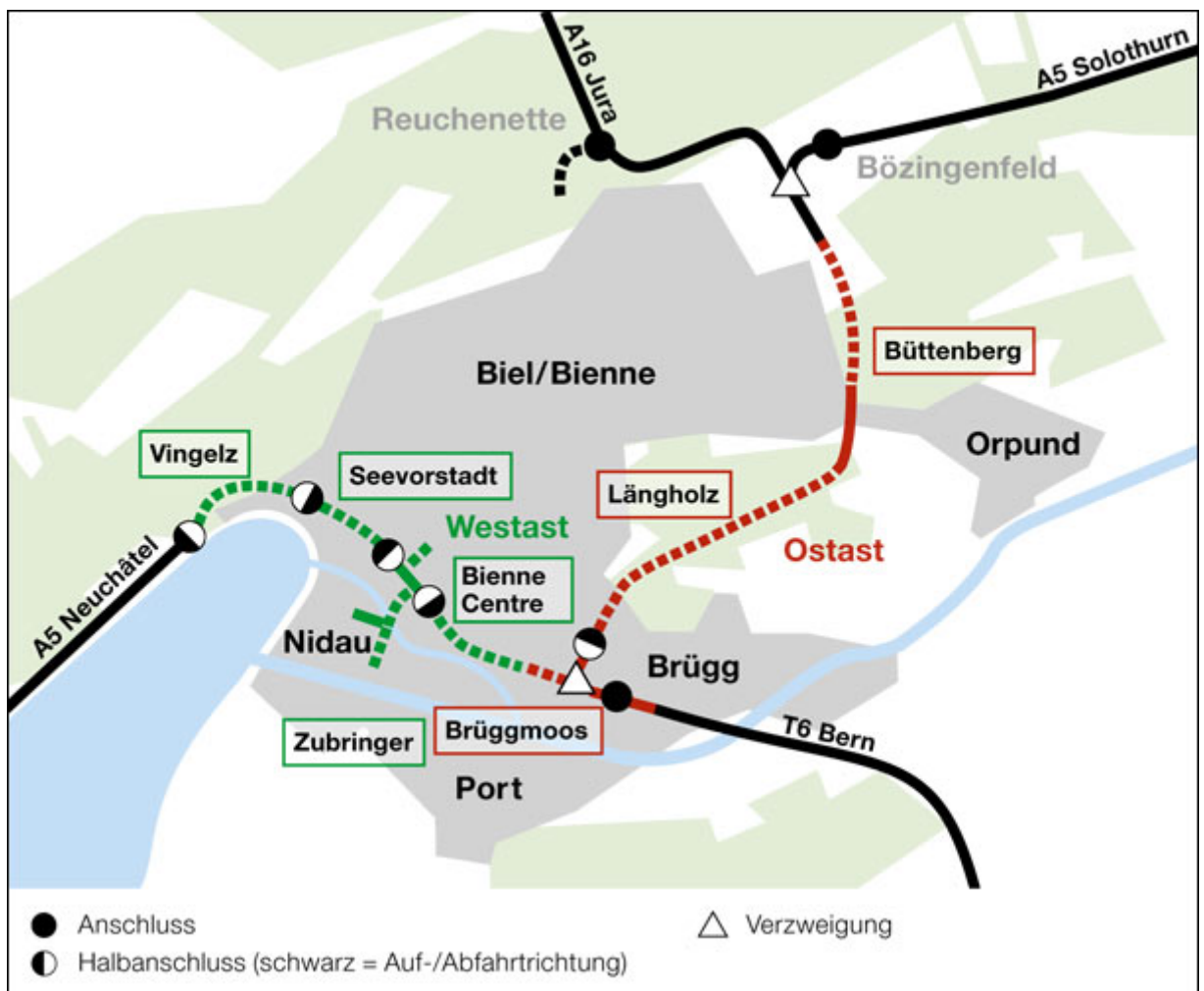


Bild 1: Übersicht Umfahrung Biel

Im Bild schwarz eingetragen sind die bestehenden Autobahnen und Autostrassen, die aus allen Richtungen bis an den Rand von Biel reichen. So enden die A16 aus dem Jura und die A5 von Solothurn im Norden beim Grosskreisel im Bözingenfeld.

Von Osten führt die Schnellstrasse T6 von Bern bis ins Brüggmoos und am Westufer des Bielersees endet die als 2-spurige Mischverkehrsstrasse ausgebildete A5 von Neuenburg kurz vor Biel. Die Umfahrung Biel wird die bestehenden Schnellstrassen miteinander verbinden. Sie ist aufgeteilt in einen Ostast, der das Bözingerfeld mit dem Brüggmoos verbindet und einen Westast der vom Brüggmoos nach Vingelz führt.

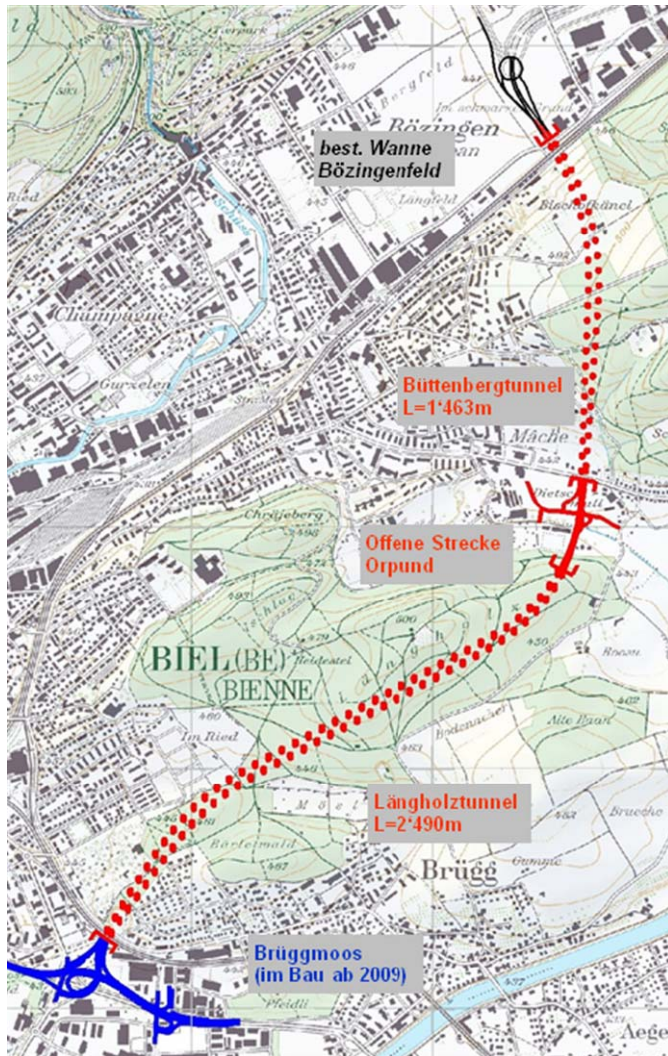


Bild 2: A5 Umfahrung Biel, Ostast

Der Ostast besteht aus den Teilen Bütenbergtunnel, offene Strecke Orpund und Längholztunnel, die zusammen das Tunnelbaulos bilden, sowie aus der Verzweigung Brüggmoos, die aber wegen Einsprachen zur Zeit noch blockiert ist.

Die Bauarbeiten des Tunnelbauloses haben im September 2007 begonnen. Die Vortriebsarbeiten werden von Norden, d.h. vom Bözingerfeld aus gestartet. Zuerst wird die erste Röhre des Bütenbergtunnels, anschliessend diejenige des Längholztunnels aufgeföhren. Danach wird die TBM zurück ins Bözingerfeld transportiert, von wo die zweite Röhre in gleicher Weise aufgeföhren wird.

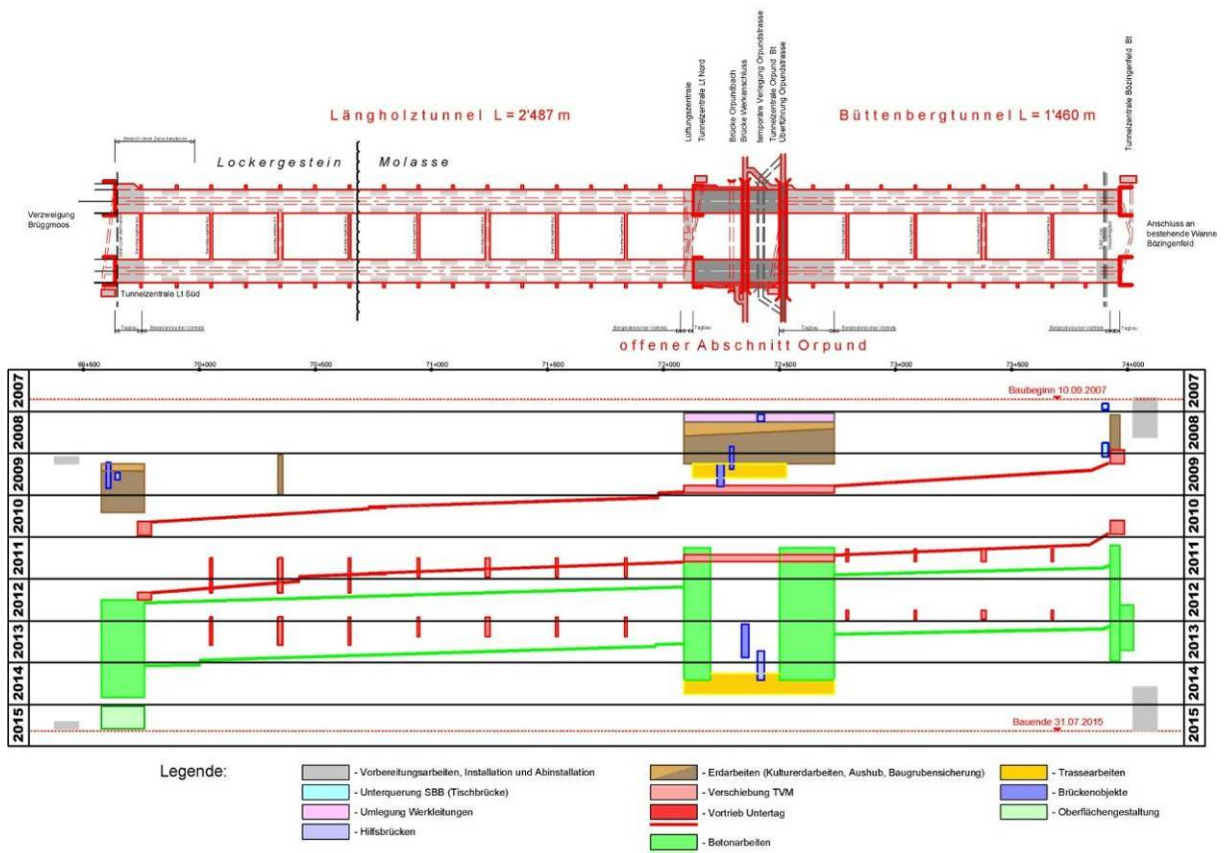


Bild 3: Bauprogramm A5 Umfahrung Biel Ostast, Tunnelos

Da der Büttenbergtunnel vollständig im Fels verläuft und wir uns anlässlich des heutigen Kolloquiums auf Lockergesteinsvortriebe fokussieren, komme ich direkt auf den Längholtunnel zu sprechen. Dieser rund 2'490 m lange, doppelröhrige Tunnel weist beidseitig kurze Tagbaustrecken von 40 m resp. 130 m Länge auf. Die Untertagstrecke unterteilt sich in eine rund 1'300 m lange Felsstrecke und eine rund 1'020 m lange Lockergesteinsstrecke. Das einheitliche von Nord nach Süd fallende Längsgefälle beträgt 0.5%.

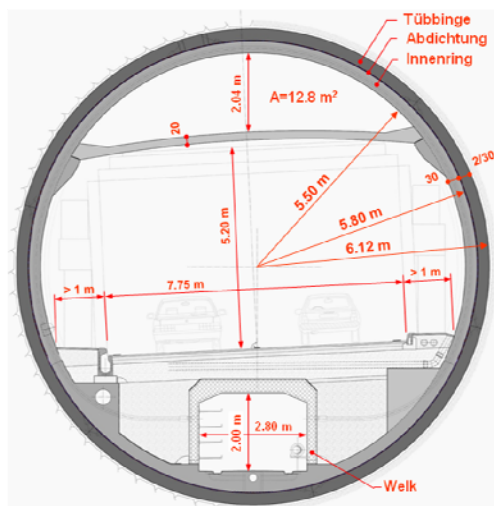


Bild 4: Normalprofil Längholtunnel

Das kreisförmige Normalprofil entspricht den heute im Nationalstrassenbau gültigen Normen und Richtlinien, weist einen Aussendurchmesser von 12.24 m und einen Radius der Innenschale von 5.50 m auf. Für die Rauchgasabsaugung ist eine Zwischendecke und unter der Fahrbahn ein begehrbarer Werkleitungskanal angeordnet.

3 Geologie

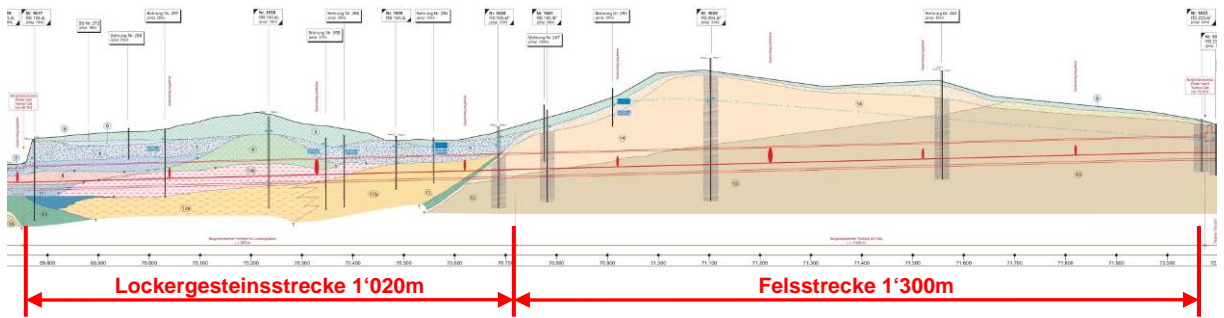


Bild 5: Geologisches Längenprofil Längholztunnel

Wie bereits erwähnt unterteilt sich der Längholztunnel in eine rund 1'300 m lange Felsstrecke und eine 1'020 m lange Untertagstrecke. Die Felsstrecke liegt in den Formationen der Obereren Meeresmolasse und der Oberen Süsswassermolasse. Beide werden hauptsächlich aus Sandsteinen, Siltsteinen mit wenigen und nur dünnen Mergelinlagen gebildet. Das Quellpotenzial ist deshalb gering. Die Felsüberlagerung beträgt zwischen 6 und 35 m.

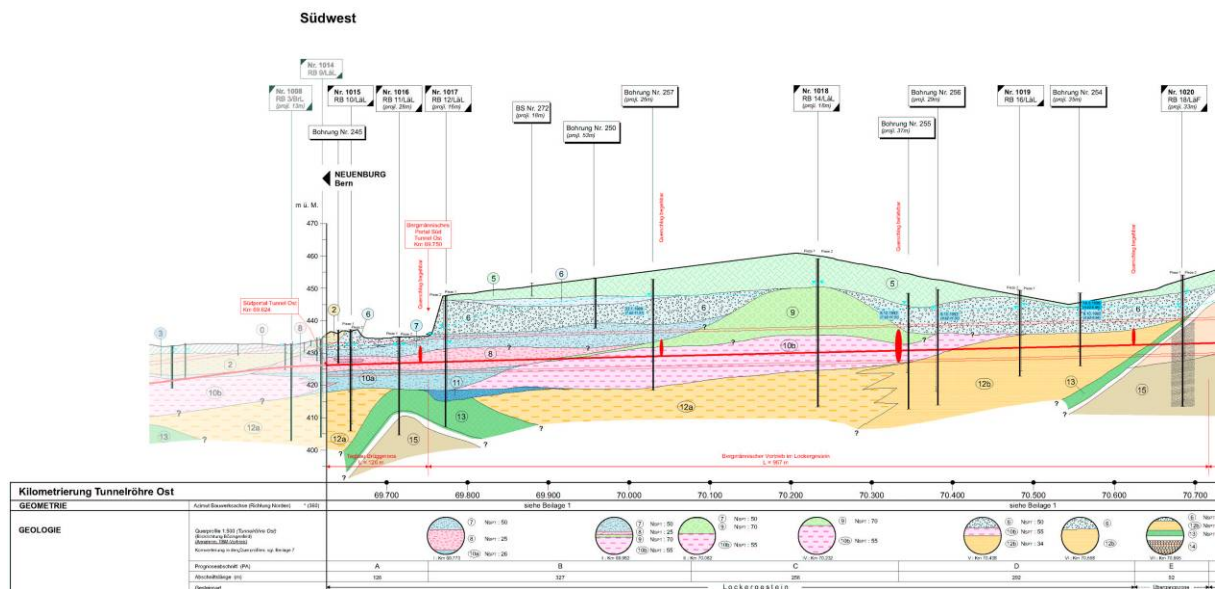


Bild 6: Geologie Lockergesteinsstrecke

Die in der Lockergesteinszone des Längholztunnels anstehenden Lockergesteine weisen einen äusserst heterogenen, stark wechselhaften Aufbau auf. Im Bereich des Tunnelvortriebs handelt es sich um glaziale und interglaziale Sedimente, die während bzw. vor der letzten Eiszeit abgelagert worden sind. Diese Schichten sind durch das Eis des Rhonegletschers erheblich vorbelastet worden. Sie sind mehrheitlich von steifer Konsistenz bzw. hart gelagert. Die Lockergesteins-Überlagerung beträgt zwischen 6.5 und 23 m.

Die Durchlässigkeiten der Schichten sind sehr unterschiedlich und generell relativ klein. Innerhalb den feinkörnigen Stausedimenten und der verschwemmten Grundmoräne können sandige und kiesige Lagen deutlich mehr und zum Teil gespanntes Grundwasser führen

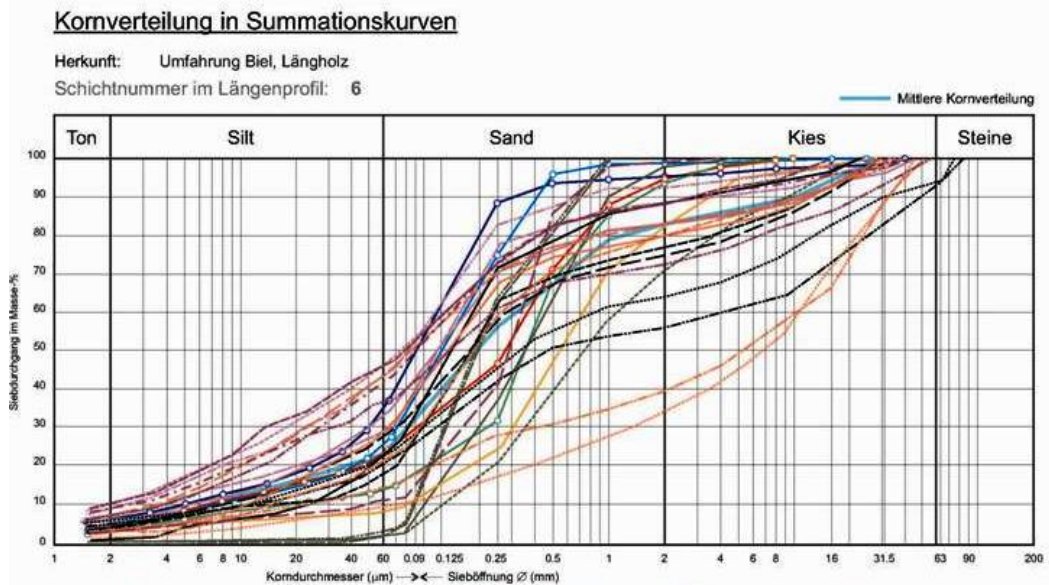


Bild 7: Kornverteilung Madretscher „Kiessande“

Bild 7 verdeutlicht den äusserst heterogenen und stark wechselnden Aufbau der erbohrten Lockergesteine. Aufgetragen sind die Auswertungen der Proben nur aus der Schicht Nr. 6. Die in der Literatur verwendete Bezeichnung „Madretscher Kiessand“ ist eher irreführend, da der Kies sehr selten ist und es sich hauptsächlich um saubere bis siltige Sande handelt.

Die folgenden Auswertungen aus den Bohrungen zeigen die sehr unterschiedlichen und schnell wechselnden Untergrundverhältnisse im Bereich des Lockergesteinsvortriebs.

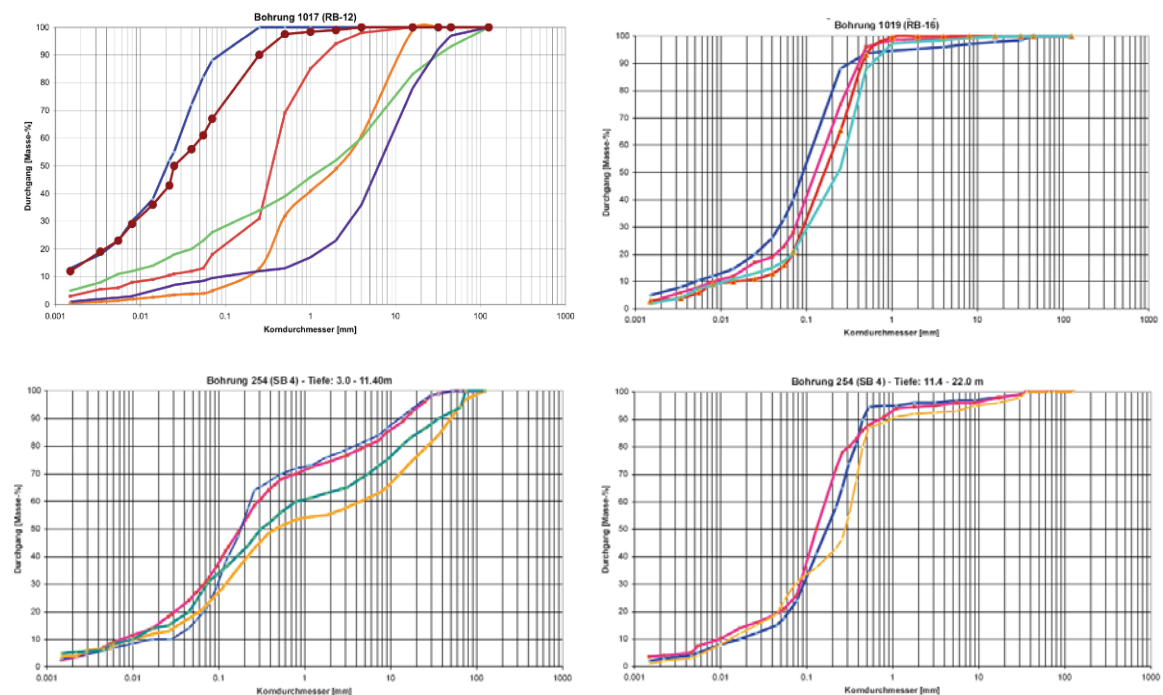


Bild 8: Korngrößenverteilung erbohrter Schichten im Bereich des Tunnelquerschnitts

4 Wahl der Vortriebsmethode im Projekt

Bei der Projektierung wurden folgende Vortriebsmethoden zur Durchörterung der Lockergesteinsstrecke des Längholtunnels untersucht:

- Hydroschild-TBM
- Erddruckschild-TBM
- Druckluftschild
- Konventioneller Vortrieb mit Grundwasserabsenkung und Teilquerschnitten
- Offene Baugrube (Tagbautunnel)

Die offene Bauweise wurde aus Umweltgründen (UVP) ausgeschlossen.

Für den Vergleich der bergmännischen Bauweisen ist ein Risikovergleich erstellt worden. Dabei wurde die Personensicherheit beim Vortrieb, die Systemsicherheit (Termine, Erschwernisse, Kosten) beim Vortrieb und das Materialmanagement (Aufbereitung, Transport und Deponierbarkeit) berücksichtigt.

Der Vergleich ergab folgende Rangreihenfolge:

1. Hydroschild-TBM
2. Erddruckschild-TBM
3. Konventioneller Vortrieb
4. Druckluftschild

Als Hauptrisikopunkte wurden für die verschiedenen Methoden folgende Risiken erkannt:

Beim **Hydroschildvortrieb** liegt der Anteil der Feinanteile bei verschiedenen Schichten an der oberen Grenze, d.h. die Separierung wird für diese Schichten sehr aufwändig werden.

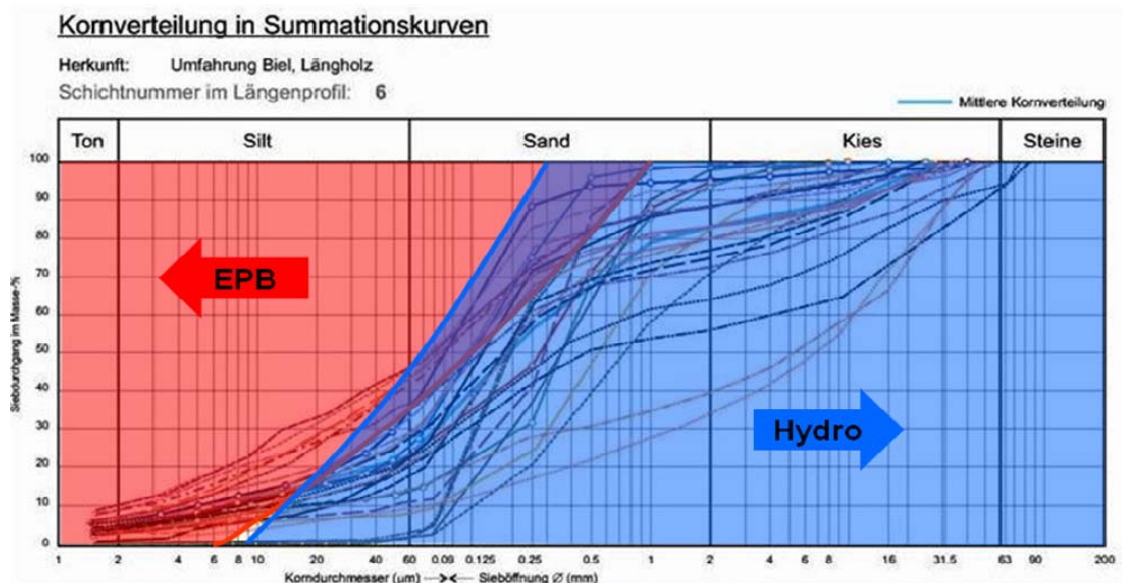


Bild 9: Verteilung der Korngrößen der Madretscher „Kiessande“ mit eingetragenen Grenzen für Hydroschild- resp. EPB-Schildvortrieb (Grundlage: Homepage Herrenknecht)

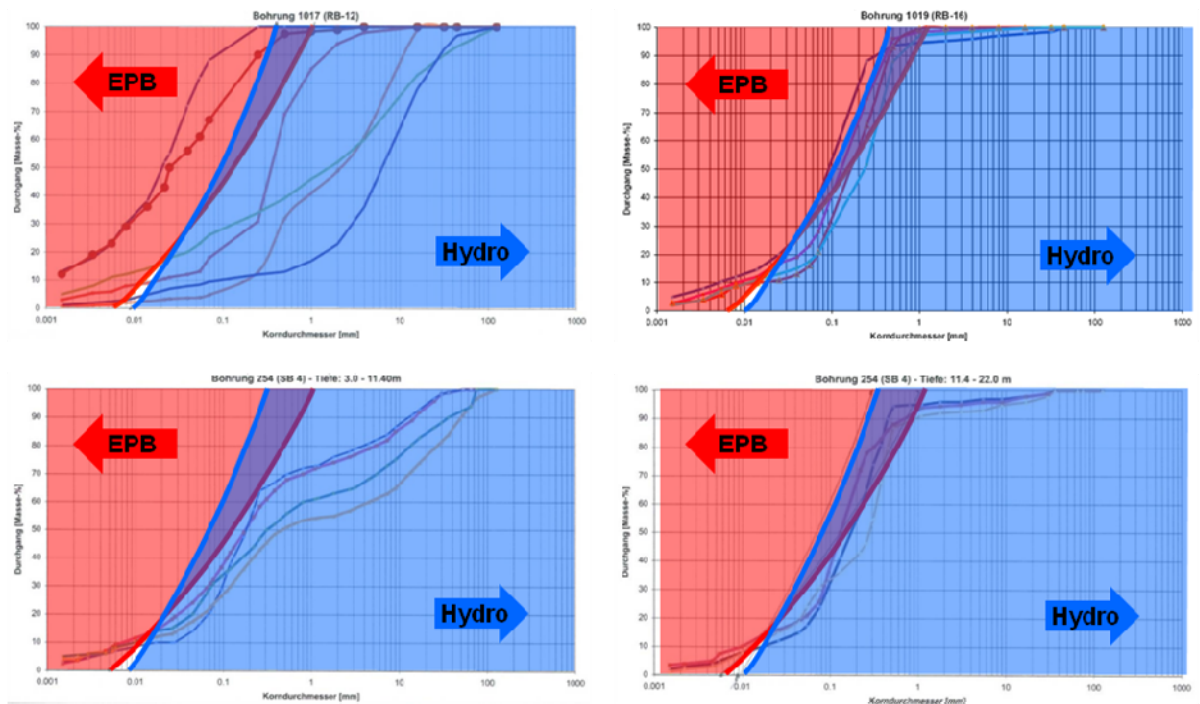


Bild 10: Verteilung der Korngrößen mit eingetragenen Grenzen für Hydroschild- resp. EPB-Schildvortrieb (Grundlage: Homepage Herrenknecht)

Beim **Erddruckschild** befürchtete man, dass bei den sehr unterschiedlichen, rasch wechselnden Verhältnissen die Konditionierung nicht oder nicht rechtzeitig und nicht optimal erfolgen könnte. Zudem liegen einige Schichten bezüglich Kornverteilung an der oberen Grenze des wirtschaftlichen Einsatzbereichs. Als weiteres Risikopotenzial wurde die Deponierung betrachtet. Es stellte sich die Frage, ob das anfallende Material geschüttet und verdichtet werden kann. Bezüglich der Umwelteinflüsse war die Frage offen, ob das konditionierte Material in den vorgesehenen Deponien abgelagert werden darf.

Beim **konventionellen Vortrieb** wurde als Hauptrisikopunkt die rechtzeitige und vollständige Entwässerung dieses heterogenen Bodens betrachtet. Beim Anfahren einer nicht entwässerten Sandlinse wird es zwangsläufig zu Einbrüchen, wenn nicht sogar zu Tagbrüchen kommen.

Der **Druckluftschild** in der hier erforderlichen Grösse wurde im Anbetracht der geringen Überdeckung und dem sehr heterogenen Bodens bezüglich Ausbläsern und Tagbrüchen als sehr risikoreich beurteilt.

Als Grundlage für die Submission hat man deshalb den Vortrieb mittels Hydroschild-TBM gewählt. Um das erkannte Risiko bezüglich der genügenden Entwässerung bei der Separierung für den Bauherrn zu minimieren, wurden strenge Vorgaben für den Restwassergehalt in die Besonderen Bestimmungen der Submission aufgenommen.

5 Rahmenbedingungen bei der Submission

Die Submission wurde als Gesamtlos für beide Tunnel (Büttenberg und Langholtunnel) des Ostast durchgeführt. Wenn wir an dieser Stelle nur die Lockergesteinsstrecke des Längholtunnels betrachten, ist das immer nur ein Teilaspekt der gesamten Ausschreibung.

Die für den Ostast zu verwendenden Deponien waren im UVB verbindlich festgelegt worden. Von den Unternehmern musste nur der Transport bis zur Deponie angeboten werden, das Betreiben der Deponie erfolgt über direkte Verträge zwischen den Deponiebetreibern und dem Tiefbauamt des Kantons Bern.

Der Hauptinstallationsplatz und die Übergabe des Ausbruchmaterials zum Abtransport müssen aus logistischen Gründen (Platzbedarf, Transportrouten, Lage der Deponien) zwingend im Bözingenfeld angeordnet werden.

Die Platzverhältnisse im Süden (Brüggmoos) sind eng und werden durch das Nachbarlos „Verzweigung Brüggmoos“ stark eingeengt.

Für den Restwassergehalt des Ausbruchmaterials nach der Separierung sind strenge Grenzen gesetzt.

Varianten beim Lockergesteinsvortrieb des Längholtunnels werden nur zugelassen, wenn nachgewiesen werden kann, dass das Risiko nicht grösser als beim Amtsvorschlag ist.

6 Resultat der Submission

Für das Los Tunnelbau des Ostastes der Umfahrung Biel haben vier Konsortien Angebote eingereicht. Neben verschiedenen Varianten und Vorschlägen die sich nicht auf die Lockergesteinsstrecke bezogen, sind für den Lockergesteinsvortrieb des Längholtunnels als Alternativen zum Hydroschild-Vortrieb (Amtsvorschlag) folgende Varianten eingereicht worden:

Anbieter	Vortriebsart
ein Anbieter	Konventionell, d.h. Vortrieb mit Teilquerschnitten mittels GW-Absenkung vom Pilotstollen aus
zwei Anbieter	Erddruckschild mit Bodenconditionierung
ein Anbieter	Keine Varianten, d.h. Hydroschild-Vortrieb wird als optimale Vortriebsmethode erachtet

Das preisgünstigste Angebot beinhaltete eine Variante mit Erddruckschild.

7 Risikobeurteilung und Vergabeentscheid

Der Kanton Bern hat einschlägige Erfahrung mit Unternehmervarianten im Tunnelbau. Deshalb wurde in den Besonderen Bestimmungen die Klausel aufgenommen, dass Varianten nur dann zugelassen werden, wenn gezeigt werden kann, dass der Bauherr kein grösseres Risiko als beim Amtsvorschlag eingehen muss.

Im Projekt wurde der Vortrieb mittels Erddruckschild bezüglich Risiken aber deutlich schlechter bewertet als der Hydroschildvortrieb.

Der Anbieter musste deshalb den Beweis erbringen, dass das Risiko des Vortriebs mittels Erddruckschild im Projekt zu ungünstig beurteilt wurde.

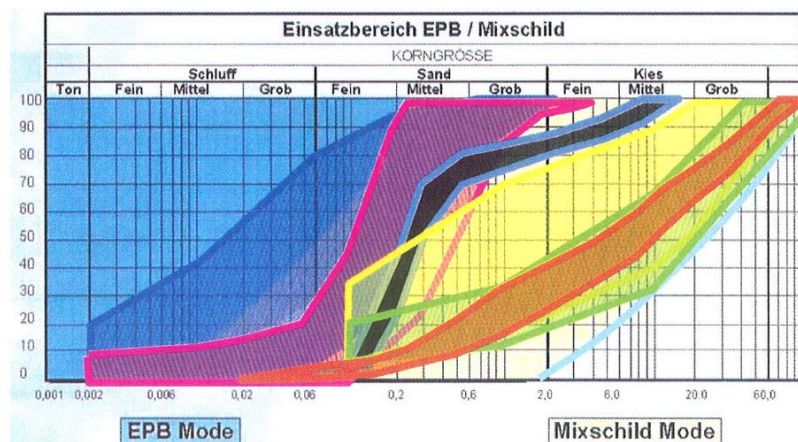
Zur Erinnerung: Die Hauptrisikopunkte im Projekt waren für den Erddruckschild:

1. Konditionierung:
Ist die Konditionierung der sehr unterschiedlichen, rasch wechselnden Bodenarten technisch machbar?
2. Umweltverträglichkeit:
Darf das konditionierte Material in den vorgesehenen Deponien gelagert werden?
3. Mehraufwendungen bei Vortrieb, Transport und Deponie:
Entstehen Mehraufwendungen infolge Verklebungen, fließendem oder wasser-gesättigtem Material beim Vortrieb und Transport? Wer trägt die Mehrkosten falls das Material in eine Inertstoffdeponie anstelle einer Deponie für U-Material (unverschmutztes Aushubmaterial) gebracht werden muss?

Die Nachweise der Gleichwertigkeit des Risikos im Einzelnen:

1. Konditionierung der anstehenden Böden

Anhand der Analyse von vielen in den letzten Jahren weltweit aufgefahrenen EPB-Vortrieben und der Analyse der dabei durchörterten Böden konnte glaubhaft gezeigt werden, dass auch die in Biel vorliegenden Verhältnisse mit entsprechender Konditionierung aufgefahren werden können. Vgl. dazu auch das vorhergehende Referat.



<p>Toulouse (F) '2003 HK EPB, Ø=7.72m mainly under water table Foam + Anti-Clay</p>	<p>Botlek (NL) '99 HK EPB, Ø=9,76m 3.6 bar water Foam + Polymer</p>	<p>Aviles (ESP)'99 Lovat EPB, Ø=3.4m 2.5 bar sea water Foam + Polymer</p>	<p>Mailano (I) '94 NFM EPB , Ø=8.03m mainly above groundwater Foam + Polymer</p>	<p>Lyon (F) '96 NFM EPB, Ø=10.98m 5-3 bar water Foam + Polymer + Bent</p>	<p>Torino (I) '2004 Lovat EPB, Ø=7.7m mainly above water table Foam + Polymer</p>
--	--	--	---	--	--

Bild 11: Verschiedene Einsatzbereiche von EPB

2. Umweltverträglichkeit

Der Nachweis, dass das konditionierte Material in den vorgesehenen Deponien abgelagert werden kann, musste über mehrere Stufen erbracht werden.

Zuerst wurden die vorgesehenen Produkte deklariert und deren Eigenschaften mit den entsprechenden Produkteblättern und Nachweisen offengelegt.

Der Anbieter liess durch ein Umweltfachbüro einen Bericht zur Umweltverträglichkeit des konditionierten Bodenmaterials erstellen. Darin waren nicht nur die verwendeten Produkte, sondern auch ihre Kombinationen sowie ihre Dosierung und schlussendlich die zu erwartenden Rückstände in den Deponien aufgezeigt.

Dieser Bericht sowie die Deklarationen der vorgesehenen Konditionierungsmittel wurden dem Gewässerschutzamt des Kantons Bern (GSA), das für die Bewilligung der Deponien und der darin gelagerten Materialien zuständig ist, zur Kontrolle vorgelegt.

Das GSA bestätigte die Deponierbarkeit des so konditionierten Materials für einige der vorgesehenen Deponien. Damit steht genügend geeignetes Deponievolumen zur Verfügung.

3. Erschwernisse beim Vortrieb, Transport und Deponie

Beim Amtsvorschlag (Hydroschildvortrieb) hat der Bauherr mit seiner strengen Bedingung für den Restwassergehalt des Materials nach der Separierung, das Risiko weitgehend dem Unternehmer zugeschoben. Dies war umso wichtiger, weil der Bauherr in einem direkten Vertragsverhältnis mit den Deponienbetreibern steht, und allfällige Mehraufwendungen bei der Deponie sofort auf ihn zurückfallen werden.

Diese Risikoverteilung musste auch für die Unternehmervarianten mit Erddruckschild in ähnlicher Weise beibehalten werden.

Der Bauherr legte den Unternehmern, die einen Erddruckschild als Variante angeboten hatten, eine zusätzliche Risikoordnung vor. Darin war festgelegt, dass der Verbrauch von Konditionierungsmitteln und sämtliche Erschwernisse als Folge von klebrigem, fließendem oder wassergesättigtem Material beim Vortrieb, Schüttern und Abtransport im Risikobereich des Unternehmers liegen. Ebenso muss der Unternehmer die Zusatzkosten bei der Deponierung als Folge zu nassen Liefermaterials übernehmen. Sollte die Zusammensetzung des angelieferten Materials so sein, dass es nicht mehr in einer Deponie für U-Material gelagert werden darf, muss der Unternehmer die Mehrkosten für die Deponierung in einer Inertstoffdeponie übernehmen.

Diese zusätzliche Risikoordnung wurde von beiden Anbietern der Erddruckschild-Varianten vollumfänglich akzeptiert.

Aufgrund der vorgängig beschriebenen zusätzlichen Erkenntnisse und Sicherheiten wurde die Risikobeurteilung des Erddruckschildvortriebs auf Basis der ursprünglichen Beurteilung angepasst. Dabei gab es bei einigen wesentlichen Punkten deutliche Verbesserungen.

Veränderung der Risikoeinschätzung nach der Submission

Personensicherheit

Instabile Ortsbrust beim Werkzeugwechsel
Einstieg unter Druckluft
Abbau von Blöcken

Vortrieb im Lockergestein

Tagbrüche
Verkleben der Abbauwerkzeuge ▲
Verbacken der Abbaukammer ▲
Instabile Ortsbrust
Ausbläser
Findlinge und Blöcke
Festklemmen der Maschine ▲
Variable geologische Verhältnisse ▲
Geologie ausserhalb Prognose ▲

Materialaufbereitung, Transport + Deponie

Grösserer Anfall an Feinanteilen als prognostiziert
Transport von zu feuchtem Material ▲
Zuw wenig geeignetes Deponievolumen ▲
Deponie von zu feuchtem Material ▲
Deponie von chemisch belastetem Material ▲

Legende: ▲ bessere Bewertung des Risikos dieses Kriteriums als im Projekt

Diese Bewertungen wurden auch für den Hydroschild- und den konventionellen Vortrieb neu erstellt. Daraus entstand eine neue Rangreihenfolge beim Risikovergleich.

Ergebnisse aus dem aktualisierten Risikovergleich:	Punkte
1) Erddruckschild	55
2) Hydroschild	61
3) konventionell	65

Damit waren die Vorgaben aus den Besonderen Bestimmungen erfüllt, und der Erddruckschildvortrieb konnte zugelassen werden.

Neben den guten Unterlagen, Begründungen und Argumenten der Anbieter war im Nachhineingesehen ein wesentlicher Punkt zum Umschwenken auf den Erddruckschild die Tatsache, dass zwei Anbieter mit demselben Vortriebssystem antraten und beide unabhängig voneinander überzeugende Argumente für die Anpassung der Risikozuordnung lieferten.

Vergabe der Arbeiten

Die Arbeiten des Tunnelbauloses (Büttenberg- und Längholztunnel) der A5 Umfahrung Biel, Ostast wurden im März 2007 durch den RR des Kantons Bern an die ARGE ATUBO bestehend aus Walo Bertschinger AG, Specogna AG, Porr Suisse AG vergeben.

Die Vergabe erfolgte auf Basis der Unternehmervariante mit Erddruckschild zu einem Betrag von knapp CHF 400 Mio.

8 Erkenntnisse

Einige Aspekte die bei der Entscheidungsfindung für die Wahl des Vortriebssystems wesentlich waren, wie Vortrieb in den Felsstrecken, Umstellungen von Fels- auf Lockergesteinsvortrieb etc. konnten hier nicht behandelt werden.

Trotzdem kann aus meiner Sicht folgende Tendenz festgestellt werden:

In wechselhaften Böden, die weder für den Hydro- noch für den Erddruckschildvortrieb optimal sind, scheint sich der Erddruckschild als wirtschaftlichere Lösung zu etablieren.

Dies dank verbesserter Maschinenteknik und grossen Fortschritten bei der Konditionierung des Bodenmaterials.

9 Ausblick

Die Bauarbeiten am Ostast der Umfahrung Biel haben im September 2007 begonnen. Der Vortrieb beim Büttenbergtunnel wird anfangs 2009 starten. Der erste Durchschlag ist auf Herbst 2009 vorgesehen. Anschliessend wird die Maschine durch die offene Strecke Orpund verschoben und Ende 2009 sollte der Vortriebsbeginn beim Längholztunnel sein. Die Inbetriebnahme des Ostastes der A5 Umfahrung Biel ist für 2016 geplant.

Die erste Röhre der Lockergesteinsstrecke des Längholztunnels wird voraussichtlich vom April bis August 2010 aufgeföhren werden.

Ob die praktischen Erfahrungen beim Lockergesteinsvortrieb unsere Überlegungen bezüglich der Risikozuteilung bestätigen, werden wir erst in gut zwei Jahren wissen. Wir brauchen also noch etwas Geduld.

Für ihre Geduld und ihre Aufmerksamkeit bedanke ich mich.