

Projektstudie: Alternativprojekt zum Auflageprojekt Westast

Halbanschluss Rusel bis Verzweigung Brüggmoos, unter Weglassung des Halbanschlusses Biel-West (Strandboden) und des Vollanschlusses Bienne-Centre (Bahnhof)

Variantenstudie Westast:

Bau eines Gesamttunnels vom Brüggmoos nach Rusel (Vingelz)

Technischer Bericht

Verfasser:

Martin Gysel, Dr.-Ing., dipl. Bauing. ETH / SIA

Auftraggeber der Projektstudie:

Komitee „WESTAST SO NICHT!“

25. August 2017

GYSEL ENGINEERING

Dr.-Ing. Martin Gysel, dipl. Bauing. ETH/SIA

Boldistrasse 90
CH-5415 Rieden

Tel: 056 210 97 50

Fax: 056 210 97 51

gysel-engineering@bluewin.ch

INHALTSVERZEICHNIS

1	AUSGANGSLAGE	3
1.1	Allgemeines	3
1.2	Ziele des Komitees „WESTAST SO NICHT!“	4
1.3	Auftrag an den Projektverfasser der vorliegenden Studie	4
2	VARIANTENSTUDIEN	5
2.1	Variante 1	5
	Belassen der Linienführung des offiziellen Ausführungsprojekts, jedoch Bau eines Tunnels mittels Hydroschild (Mix-Schild) vom Brüggmoos bis zum westlichen Ende der Gefrierstrecke	
2.2	Variante 2	7
	Tagbautunnel unter dem Strassenzug Bernstrasse - Aarbergstrasse - Ländtestrasse	
2.3	Variante 3	9
	Bau eines Gesamttunnels mittels Hydroschild (Mix-Schild) vom Brüggmoos nach Rusel (Vingelz) = Bestvariante Grundsätzliche Charakteristik der Bestvariante (= vorgeschlagene Projektalternative)	
3	BESCHREIBUNG DER BESTVARIANTE (= VORGESCHLAGENE PROJEKTALTERNATIVE)	9
3.1	Linienführung	9
3.2	Längenprofil	9
3.3	Normalprofil	10
3.4	Technische Anlagen für den sicheren Tunnelbetrieb	11
3.4.1	Tunnellüftung	11
3.4.2	Schema und Anordnung der Tunnelausrüstung	11
	- Ausstellbuchten, mit SOS-/Hydranten-Nischen	11
	- Nischen für Strahlventilatoren (Längslüftung)	12
	- Weitere SOS-/Hydranten-Nischen	12
	- Betriebs-/Lüftungszentrale	12
3.5	Bauausführung des Gesamttunnels	12
3.6	Bauprogramm	13
3.7	Abschätzung der Baukosten	14
	SCHLUSSBEMERKUNG	15

1 AUSGANGSLAGE

1.1 Allgemeines

Das Nationalstrassennetz strahlt in Biel von der Verzweigung Brüggmoos in drei Richtungen sternförmig aus:

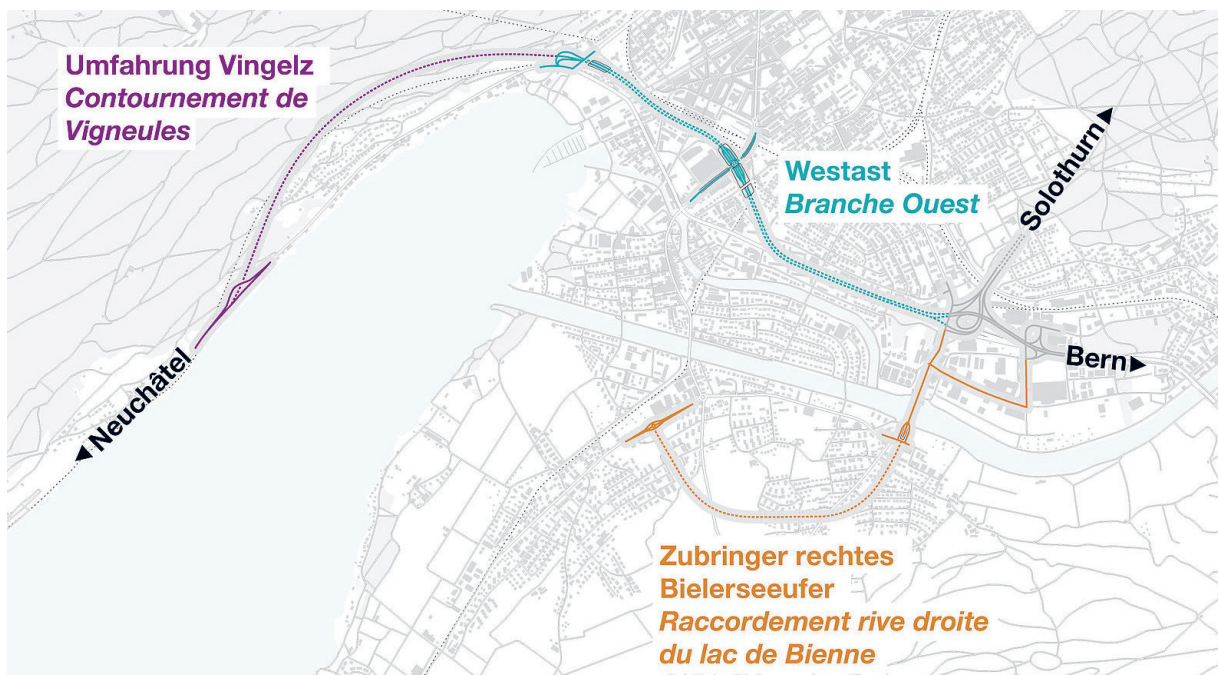
- Der fertiggestellte Ostast der N5 führt über Solothurn bei Luterbach in die A1.
- In südlicher Richtung ist der Anschluss an die Route nach Schönbühl an die A1 ebenfalls gebaut.
- Nach Westen soll der sogenannte Westast der N5 die Stadt Biel durchqueren. Er soll zum Halbinschluss Rusel in Vingelz führen, als Teil des Netzabschnitts bis Yverdon.
- Der geplante Porttunnel führt in Richtung Südufer des Bielersees.

Für den Westast besteht das offizielle Ausführungsprojekt, welches am 18. April 2017 zur öffentlichen Auflage gelangte.

Die vorliegende Projektstudie befasst sich mit dem Vorhaben Westumfahrung Biel. Sie sucht unter bestimmten Voraussetzungen nach Möglichkeiten einer Modifikation des Projekts, bzw. nach Alternativen zum Auflageprojekt zwecks einer sinnvollen Re-Dimensionierung des Vorhabens.

Die Westumfahrung Biel besteht bekanntlich aus mehreren Teilprojekten:

- **Teil Westast: Tunnel Weidteile/Tunnel City**
Querung der Stadt Biel, mit dem Teilabschnitt Tunnel Weidteile, dem Vollanschluss Bienne-Centre (inkl. Autobahnzubringer Salzhausstrasse und Murtenstrasse) dem Teilabschnitt Tunnel City und der Grundwasserwanne mit dem Halbinschluss Biel-West (Strandboden).
- **Teil Umfahrung Vingelz**
Durchquerung der steilen Felslehne zwischen dem Halbinschluss Biel- West und dem Halbinschluss Rusel
- **Teil Zubringer rechtes Bielerseeufer**
Vom Knoten Ipsachstrasse soll der Verkehr vom rechten Bielerseeufer durch den Porttunnel und die neue Kanalbrücke an den Autobahnanschluss Biel-Süd (Verzweigung Brüggmoos) geführt werden.



1.2 Ziele des Komitees «WESTAST SO NICHT!»

1. Der Vollanschluss Bienne-Centre (Bahnhof) und der Halbinschluss Biel-West (Strandboden) seien wegzulassen.
2. In der Folge und vorgezeichnet durch den Ausbau des Vingelztunnels (nur einröhrig, im Gegenverkehr auf je einem Fahrstreifen betrieben) könne die **gesamte** Strecke vom Brüggmoos bis nach Vingelz 2-spurig ausgebaut werden.
3. Zur optimalen Schonung der Stadt Biel solle eine 2-spurige **Tunnelröhre** erstellt werden, die nahe bei der Verzweigung Brüggmoos abtauche und wenn möglich erst nach Vingelz (im Rusel) wieder an die Erdoberfläche gelange.

In einer Studie, welche vorliegend berichtsmässig dokumentiert wird, wurden Projektalternativen erwogen und geprüft, welche machbar, attraktiv sowie zielführend sind.

Leitlinien:

Als Leitlinien für die Generierung von Alternativen können bezeichnet werden:

- Die gute Abwicklung des Verkehrs durch den Teilabschnitt soll unter den spezifischen verkehrstechnischen Gegebenheiten der Alternative gewährleistet sein.
- Der Netzbeschluss soll gewährleistet sein.
- Geologische und hydrogeologische Machbarkeit: Der Eingriff, d.h. die Beeinflussung des Grundwassers, muss kompatibel sein mit den geltenden Bedingungen und Vorschriften.
- Das Projekt muss technisch und betrieblich machbar sein.
- Die Bau-Ausführungstechnik muss erprobt und machbar sein.
- Für den Bau- und den Betriebszustand sollen die temporären und bleibenden Eingriffe in die Stadt minimal sein (Stadtbild, Häuser, Baumschubstanz/Grünbereiche).
- Die Dauer der Bauausführung soll deutlich geringer als jene des offiziellen Projekts sein.
- Die Baukosten sollen deutlich geringer als jene des offiziellen Projekts ausfallen.

1.3 Auftrag an den Verfasser der vorliegenden Projektstudie

Der Auftrag zur Durchführung der vorliegenden Studie erfolgte an den Verfasser durch das Komitee «WESTAST SO NICHT!».

Die Studie befasst sich nicht im Detail mit folgenden Aspekten des offiziellen Projekts: Gesamtproblem des Verkehrs im Raum Biel, Problematik der Häuser, Baumbestände und weitere Eingriffe, Stadtplanung und definitive Gestaltung nach dem Bau. Sie beschränkt sich strikte auf die Evaluierung von Alternativlösungen für den Teilabschnitt Brüggmoos - Rusel, unter der Annahme, dass die Anschlüsse Bienne-Centre (Bahnhof) und Biel-West (Strandboden) entfallen.

2 VARIANTENSTUDIEN

Zur Einarbeitung in die Aufgabe wurden zunächst das vorliegende Ausführungsprojekt und die relevanten Unterlagen studiert. Es wurden Begehungen vor und während der Bearbeitung der Studie ausgeführt.

Danach wurden Projektvarianten aufgestellt, um zu testen, wie die grundsätzlichen Probleme einer unterirdischen Strassenführung gelöst werden könnten.

Die Suche nach Lösungen führte zur Definition der folgenden drei Projektvarianten.

2.1 Variante 1

Belassen der Linienführung des offiziellen Ausführungsprojekts, **jedoch Bau eines Tunnels mittels Hydroschild (Mix-Schild) vom Brüggmoos bis zum westlichen Ende der Gefrierstrecke.**

Charakteristik der Variante 1:

Bau eines tiefliegenden bergmännisch erstellten Tunnels zwischen dem Brüggmoos und dem westlichen Ende des City-Tunnels

Die Variante 1 folgt in der Situation (HORAX) vom Brüggmoos bis zum Halbanschluss Rusel vollumfänglich dem offiziellen Projekt.

Das Längenprofil (VERAX) der **Hydroschild-Strecke** ist im Osten und im Westen auf die Höhenlage des offiziellen Projekts abgestimmt.

Das Längenprofil der Variante 1 beginnt im Nahbereich der Verzweigung Brüggmoos in Übereinstimmung mit dem offiziellen Projekt.

Berücksichtigt wurden die bereits erstellten Strukturen der Verzweigung Brüggmoos.

Der anschliessende Tagbautunnel des offiziellen Projekts wird so modifiziert, dass 140 m westlich des Heidewegs bei Km 170 + 600 die Fahrbahn auf Kote 419.50 zu liegen kommt.

Bei diesem Projektkilometer liegt das **bergmännische Portal** für den Hydroschild-Vortrieb.

Der Innendurchmesser des Schildes wurde auf $D_{\text{innen}} = 12.4$ Meter festgelegt. Auf das kreisrunde Tunnel-Normalprofil der Hydroschild-Strecke wird in Variante 3, Bestvariante, zurückgekommen.

Die Überdeckung über dem Schildscheitel beträgt am bergmännischen Portal ca. 5.5 m.

Am bergmännischen Portal, voraussichtlich in einer Startröhre, beginnt der Hydroschild-Vortrieb ($L = \text{ca. } 1'875$ m).

Siehe dazu Variante 3, «Vorgeschlagene Projektalternative, Bau eines Gesamttunnels bis Rusel» mit ein und derselben Vortriebsmaschine von Portal zu Portal.

Kriterien für die Festlegung des Längenprofils der Strecke «Hydroschild»:

- a) geologische und hydrogeologische Verhältnisse
- b) Überdeckung des Tunnels (vertikaler Abstand des Tunnelscheitels zur Erdoberfläche)

Die Behandlung dieser Kriterien findet sich im Kapitel 3, Bestvariante = vorgeschlagene Projektalternative.

Begründet durch den postulierten Wegfall des Vollanschlusses Bienne-Centre ist **ein relativ tief liegendes Längenprofil des Tunnels** vom Brüggmoos bis zum westlichen Ende der Gefrierstrecke definiert worden, das vom Bereich

Brüggmoos bis zum Tiefstpunkt unter der Salzhausstrasse fällt, um danach wieder zu steigen bis zum bergmännischen Westportal des City-Tunnels, d. h. bis zum westlichen Ende der Gefrierstrecke des offiziellen Projekts, wo sich die Zielbaugrube des Hydroschild-Vortriebs befindet. Der Vollanschluss Bienne-Centre entfällt.

Danach folgt die Variante 1 in Lage und Höhe unverändert dem Ausführungsprojekt, inklusive Vingeltunnel, wobei der Halbinschluss Biel-West entfällt.

Pilot- und Injektionsstollen

Unseres Erachtens ist es zur Erkundung der geotechnischen Verhältnisse notwendig, vorgängig zum Tunnelvortrieb einen **Pilot- und Injektionsstollen** vom Brüggmoos aus im Querschnitt des Tunnelvortriebs zu erstellen und dann vom Westportal her, wo die Injektionszentrale angeordnet wird, die notwendigen Injektionen, rückschreitend vom bergmännischen Portal Brüggmoos her, dem Tunnelvortrieb vorausgehend, auszuführen.

- Vortrieb des Injektionsstollens mittels eines Hydroschildes (D = 4.6 m); Auskleidung mit faserbewehrten Beton-Tübbing.

Sicherheitstechnische Tunnelausrüstung auf der Hydroschild-Strecke

Ausführungen dazu finden sich in Kapitel 3 (Variante 3, Bestvariante).

Drei Anmerkungen zu Variante 1

1. Weil der Vollanschluss Bienne-Centre wegfällt, ist es möglich, durch Unterfahrung des Coop-Areals die Horizontalachse zwischen der Salzhausstrasse und der Aarbergstrasse zu strecken (zu begradigen).
2. Die Ausführung der seitlichen Tunnelnischen für Ausstellbuchten mit SOS- / Hydranten-Nischen und seitlichen Nischen für die Platzierung von Strahlgebläsen für die Längslüftung des Tunnels nach dem Abschluss des Vortriebs, jedoch mit Vorarbeiten schon während des Vortriebs / Tunnelausbaues, stellen hohe bautechnische Anforderungen. Siehe Kapitel 3, Bestvariante = vorgeschlagene Projektalternative, Abschnitt 3.4.2, Absätze .1 und .2 (mit exemplarischer Vorstudie für die «Multifunktionsstelle» Strandboden zum Testen der Machbarkeit sowie zur Abschätzung der Baukosten).
3. Es ist darauf hinzuweisen, dass der Vortrieb mittels Hydroschild sehr umsichtiger Vorbereitungen bedarf. Zum Beispiel müssen für heikle Teilabschnitte des Vortriebs vorgängig **stabilisierende Injektionen des Bodens** ausgeführt werden.

An dieser Stelle seien folgende geotechnischen Probleme **des offiziellen Projekts** erörtert:

- Wannens und Tunnelabschnitte des offiziellen Projekts liegen in der Höhenlage der Schüss-Schotter. Die Unterdeckung mittels technischer Massnahmen ist notwendig, aber auch vorgesehen.
- Wie das Problem allfällig beeinflusster Zonen mit gespanntem Grundwasser gelöst wird, entzieht sich unserer Kenntnis.
- Die Anwendung der Gefriermethode zur Unterfahrung der SBB ist nicht risikofrei. Jedenfalls ist grosse Erfahrung des ausführenden Unternehmers notwendig. Sowohl die Qualität des Frostkörpers wie auch Setzungen an Damm und Oberbau müssen minutiös «online» überwacht werden.

Unseres Erachtens sind es **Erschütterungen** (durch den Bahnverkehr), welche den Frostkörper zerstören können, da Eis auf schnelle Beanspruchung (Schläge, harte Druckwellen) **sehr spröde** reagiert, hingegen bei langsamer Beanspruchung / Dauerbeanspruchung unter Eigengewicht (Druck) bekanntlich Kriecheigenschaften aufweist, die ein Brechen des Eises verhindern.

Sprödebruch führt zu Rissen, Spalten: Der Frostkörper verliert unter Umständen seine Tragfähigkeit.

Es ist unseres Erachtens von Vorteil, wenn die Gefrierstrecken entfallen und der Vortrieb auch dort mittels eines Hydroschildes bewerkstelligt würde, wie in Variante 1 beschrieben.

Im Zusammenhang mit der Grundwasserproblematik wird auf die folgende Stellungnahme verwiesen:

«Projektauflage Westumfahrung Biel, Zweitmeinung betreffend Eingriffe in die Grundwasserleiter», Büro Dr. H. Jäckli AG, Geologen, Zürich. – im Auftrag des Komitees „WESTAST SO NICHT!“

Beurteilung der Variante 1

Die Variante 1 kann als technisch machbar bezeichnet werden.

Im Abschnitt Westportal der Hydroschildstrecke (Schüss) bis zum Ostportal des Vingeltunnels (Strandboden) würde die Strassenführung in Wannelage jedoch nach wie vor einen unbefriedigenden Eingriff in den Stadtraum Seevorstadt bedeuten.

2.2 Variante 2

Tagbautunnel unter dem Strassenzug Bernstrasse - Aarbergstrasse - Ländtestrasse

Situation und Längenprofil

Die Idee der Variante 2 besteht darin, einen 2-spurigen Tagbautunnel mit Gegenverkehr vom Brüggmoos unter dem Strassenzug Bernstrasse - Aarbergstrasse - Ländtestrasse und weiter bis zum Portal des Vingeltunnels zu realisieren.

Dabei müssen die Streckengleise der SBB kurz vor dem Vingeltunnel unterquert werden, z.B. mittels Einrichten von Hilfsbrücken für die SBB-Gleise oder besser durch einen bergmännischen Vortrieb auf 60 m Länge.

Der Abschnitt Brüggmoos bis Vingeltunnel gemäss Variante 2 ist etwa gleich lang wie der Vingeltunnel, d. h., ca. 2.3 km.

Die Variante 2 wurde entworfen, um die Tagbaustrecke und den Vingeltunnel zu einem durchgehenden Tunnel zusammenzuschliessen.

Das Tagbau-Längenprofil unter der Stadt hindurch berücksichtigt die zu unterfahrenden Gewässer Schüss und Madretsch Schüss.

Die Überdeckung (Erdauflast auf die Tunneldecke) wurde längs der Strecke so gewählt, dass keine zu grossen Tiefen(Erdlasten) resultieren.

Normalprofil und Sicherheitsausrüstung für den Tunnelbetrieb

Das entworfene Normalprofil enthält in einem rechteckigen Querschnitt (Stahlbeton, Aussenmasse 12 x 12 m) den 2-spurigen Verkehrsraum mit Banketten, inkl. Schlitzrinne und Kabelblöcken, sowie einen Abluftkanal über dem Verkehrsraum. Nischen für Ausstellbuchten und die SOS- / Hydranten-Nischen sind seitlich angeordnet.

In unserem Entwurf sind die Nischen für Strahlgebläse ebenfalls seitlich angeordnet. So wird die Gesamthöhe des Tunnels von der Bodenplatte bis zur Tunneldecke minimal und konstant durchgezogen.

Die Tunnelbaugrube längs der Strassentrasse muss nur für die oben beschriebenen Nischen verbreitert werden. Ansonsten wird eine lichte Breite zwischen den Längs-Baugruben-Abschlüssen von 14 m benötigt. Die Bern-, Aarberg- und Ländtestrasse lassen diese Baugrubenbreite an sich zu.

Längs der gewählten Linienführung müssen für die Sicherheit der Verkehrsteilnehmenden die erwähnten Ausstellbuchten mit SOS- / Hydranten-Nischen sowie Schächte für die Selbstrettung und den Zutritt für Rettungspersonal – in einem vorgegebenen Raster – erstellt werden. Geeignete Stellen für diese Anlagen sind vorhanden. An diesen Stellen können evtl. auch Nischen für die Strahlgebläse vorgesehen werden.

Die Sicherheitsausrüstung für den Tunnelbetrieb wird an sogenannten **Multifunktionsstellen** errichtet.

Im Stadtbild bleibend sichtbar werden nur die bescheidenen Schacht-Kopfbauten zu den Flucht- / Rettungs-Schächten sein.

Das Tunnel-Lüftungssystem des Tagbautunnels wird gleich auszulegen sein wie jenes der Variante 3, d. h. gleich wie es für den Vingeltunnel vorgesehen ist (siehe Beschreibung im Kapitel 3, Variante 3).

Unterdükerung des Grundwasserstroms

Unter der Bodenplatte des Tunnels wird zur Unterdükerung von Grundwasser von Ober- zu Unterstrom eine durchlässige Sickerschicht vorgesehen. Als Ergänzung dazu können in regelmässigen Abständen Quer-Drainagerohre eingelegt werden, welche über aussenliegende Kontrollschächte inspiziert und bei Bedarf gereinigt werden können.

Bauweise:

Konventionelle Lösung im Grundwasser:

Ausserhalb der tief eingebundenen Spundwände wird der Grundwasserspiegel auf grössere Längen (je Bauabschnitt) mittels Filterbrunnen abgesenkt. Dabei sind die Schüss-Schotter relevant, nicht aber die darunter liegenden viel dichteren, praktisch wasserundurchlässigen geologischen Formationen.

In der Baugrube (Baugrubenabschlüsse mit gespriessten Spundwänden) wird der Tunnelkasten konventionell geschalt (die Wände 2-häuptig) und betoniert. Der Tunnelkasten wird rundum abgedichtet (Polymerbitumen- oder Dualseal-Bentonit-Lösung).

Hauptnachteil der Variante 2, Tagbautunnel:

Die Immissionen durch Lärm, Staub und die gesamte Bautätigkeit «übertag» während sehr langer Zeit sind äusserst lästig für die Bevölkerung.

Das grösste Problem ist die breite Baugrube durch die Stadt.

Die Bauausführung in Abschnitten ist nicht wirklich entlastend.

- Die Anwendung der Deckelbauweise könnte erwogen werden: Ein provisorischer begehbare und befahrbarer Stahldeckel würde den jeweils in Ausführung begriffenen Bauabschnitt überdecken.

Dieses komplizierte und teure Verfahren würde aber keine wesentliche Verbesserung bringen.

Beurteilung der Variante 2, Tagbautunnel:

- Die Variante 2, Tagbautunnel, ist technisch und betrieblich machbar.
- Sie eignet sich für die Einordnung in einen Gesamttunnel vom Brüggmoos bis nach Rusel / Vingelz.
- Die Bauausführung des Zusammenschlusses Tagbautunnel /Vingeltunnel und dessen Bau dürfte sich wegen der engen Platzverhältnisse, und ohne zu viele Häuser abzureissen, schwierig gestalten.

Die Baukosten wären sicher geringer als jene für einen Gesamttunnel mittels der Hydroschild-Lösung längs des Strassenzuges unter der Stadt hindurch und dem anschliessenden Projekt- / Tunnelabschnitt im Fels (Vingeltunnel).

Trotzdem kann die Kombination Tagbautunnel + Vingeltunnel als Gesamttunnel nicht empfohlen werden. Insbesondere wegen der **Bauausführung** des Tagbautunnels quer durch das betroffene Stadtgebiet hindurch resultiert unseres Erachtens ein klares **No-go** für die Tagbau-Variante.

2.3 Variante 3

Bau eines Gesamttunnels mittels Hydroschild (Mix-Schild) vom Brüggmoos nach Rusel (Vingelz) von rund 5 Kilometern Länge = **Bestvariante**

Grundsätzliche Charakteristik der Bestvariante (= Projektalternative Westast)

Die grundsätzliche Charakteristik der Bestvariante besteht darin, dass **ein Hydroschild, ausgebildet als Mix-Schild-TBM**, für Böden im Grundwasser («Nass-Fahren», Hydroschild-Modus), aber auch für genügend standfeste Böden ohne eigentliche Grundwassereinwirkungen (möglicherweise teils auch unter der Stadt) sowie für den Vortrieb im Fels (Juraformationen) im Modus einer normalen Schild-Vortriebsmaschine, «Trocken-Fahren») **insgesamt für den Vortrieb des Gesamttunnels vom Brüggmoos nach Rusel/Vingelz** vorgeschlagen wird.

Die weiterführende Beschreibung der vorgeschlagenen Bestvariante findet sich in Kapitel 3.

3 BESCHREIBUNG DER BESTVARIANTE = VORGESCHLAGENE PROJEKTALTERNATIVE Westast

3.1 Linienführung

Die Projektalternative folgt in der Situation (Horizontale Achse = HORAX) vom Brüggmoos aus dem Strassenzug Bernstrasse - Aarbergstrasse - Ländtestrasse und kreuzt nach Unterquerung der SBB-Doppelspur beim offiziellen Projekt-Km 168 + 434.0 beim Portalbauwerk Vingelz Ost die offizielle Projektachse spitzwinklig.

Begründung:

Die Achse der Projektalternative muss wegen der Lage der «Multifunktionsstellen» Strandboden nach dem angegebenen Portalkilometer geringfügig in Richtung Berglehne ausholen, um danach in die Achse des offiziellen Projekts Vingelztunnel einzumünden.

Bis auf diese geringfügige Anpassung der Tunnelachse kann das offizielle Projekt Vingelztunnel **telquel**, inklusive Normalprofil, Tunnelausrüstung etc., in die Projektalternative übernommen werden.

Im Bereich des erwähnten Strassenzugs in Biel folgt die Tunnelachse nicht «sklavisch» den Strassenachsen.

Begründung:

Es muss eine Detail-Linienführung vorgesehen werden, die adäquat ist für:

- die strassenbautechnische Auslegung
- den maschinellen Vortrieb des Tunnels
- die Positionierung der 4 sogenannten «Multifunktionsstellen» (mit seitlichen Nischen / Schächten), die nicht direkt unter, sondern samt Tunnelröhre etwas neben den städtischen Strassen angeordnet sind.

3.2 Längenprofil

Das Längenprofil (Vertikale Linienführung = VERAX) beginnt im Nahbereich des Brüggmoos / Heideweg in Übereinstimmung mit dem offiziellen Projekt wie bei Variante 1. Berücksichtigt wurden die bereits erstellten Strukturen der Verzweigung Brüggmoos.

Ebenfalls wie bei Variante 1 wird der anschliessende Tagbautunnel des offiziellen Projekts so modifiziert, dass 140 m westlich des Heidewegs bei Km 170 + 600 die Fahrbahn auf Kote 419.50 liegt. Dort wurde das bergmännische Portal für den Hydroschild mit dem Durchmesser $D_{\text{innen}} = 12.4$ m festgelegt. Die Überdeckung über dem Schildschiebel beträgt hier ca. 5.5 m.

Kriterien für die Festlegung des Längenprofils der Hydroschild-Strecke

a) Beachtung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse

Es wurde darauf geachtet, dass die Tunnelröhre genügend weit unterhalb der durchlässigen Schüss-Schotter liegt. Damit kann eine Beeinflussung der Höhenlage des Grundwasserspiegels vermieden werden. Nördlich des Tunnels kommt es nicht zu einer Erhöhung und südlich davon nicht zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels; dies, weil der Tunnel in den sehr undurchlässigen Formationen unter den Schüss-Schottern, also unter dem Grundwasserstrom, steckt.

Der Tunnel übt deshalb keine Barrieren-Wirkung auf den darüber liegenden Grundwasserstrom in Richtung Süden aus. Spezielle Massnahmen der Grundwasser-Unterdükerung sind nicht notwendig.

Der sehr beschränkte Längenabschnitt des Tunnels, wo tiefliegendes gespanntes Grundwasser zu durchfahren ist (Zonen 8a und 10a gemäss der Geologie nach Kellerhals + Häfeli AG), bereitet keine grundsätzlichen Schwierigkeiten dank der Vortriebsmethode Hydroschild. Denn der Hydroschild entzieht im Modus «Nassfahrt» dem Boden kaum Wasser. Zudem werden die Tübbing-Elemente, welche die Aussenschale des Tunnels bilden werden, bereits im Schild (Stahlzylinder) mittels Neopren-Dichtungen gegeneinander abgedichtet, so dass hinter dem Tunnelschild dauerhaft bereits eine wasserdichte Tunnelröhre vorhanden ist.

Aus diesen Gründen kommt es nicht zu einem Druckabfall in der tiefliegenden gespannten Grundwasserzone. Möglicherweise auftretende, unliebsame Setzungen in andern Zonen der Stadt Biel können so verhindert werden.

b) Beachtung der Überdeckung des Tunnels (vertikaler Abstand des Tunnelscheitels zur Erdoberfläche) bezüglich folgender Aspekte:

- bodenmechanische Aspekte (Einbettung der Tunnelröhre)
- grössere Tiefe zur Ausnützung eines höheren Grundwasser- / Porenwasserdruck für das bessere Funktionieren des Hydroschilds im Modus «Nassfahren»
- Häuser, Foundationen, Werkleitungen
- Unterfahrung der Gewässer (Schüss, Madretsch Schüss)

3.3 Normalprofil

Der Vingeltunnel und der Tunnelabschnitt unter der Stadt hindurch sind fast gleich lang, so dass unter anderem besonders das System der Tunnellüftung für beide Tunnelabschnitte gleich gelöst werden kann.

Daraus folgt:

Von der Funktion her können/müssen Raumeinteilung und Flächenbedarf für das Strassen-Lichtraumprofil mit seitlichen Banketten, für den Abluftkanal über dem Verkehrsraum sowie für den Kabelkanal / Fluchtstollen unter der Fahrbahn identisch ausgelegt werden. Deshalb kann sich das kreisrunde Tunnel - Normalprofil für den Projektabschnitt unter der Stadt hindurch an das Normalprofil des Vingeltunnels anlehnen.

Es ist anzumerken, dass infolge Benützung der gleichen Schild-Vortriebsmaschine auch der Vingeltunnel das Auskleidungssystem des «Stadtabschnitts übernehmen muss», d.h. Tübbingringe für die Aussenschale und, unseres Erachtens auch einen abgedichteten Beton-Innenring, so dass ein bewährtes 2-schaliges Auskleidungssystem entsteht.

Eine Fahrbahndecke aus Stahlbeton, anstelle der Lösung «Vingelz», würde es ermöglichen, den Sohlenkanal grösser auszubilden, was günstig wäre, wenn dieser Kanal zusätzlich auch die Funktion eines Fluchtstollens übernehmen soll. Für den Bau des Tunnels mittels einer Schild-Vortriebsmaschine (Hydroschild in Form eines Mix-Schildes) und der Annahme der Stärke des Aussenrings (Tübbinge) und des Innenrings von je 30 cm ist ein Schild mit einem Innendurchmesser von ca. 12.4 m. erforderlich.

Im entworfenen Normalprofil liegt die Fahrbahnhöhe ca. 4.0 m über dem tiefsten Punkt des Schildes.

Die entsprechenden Höhen von Schildscheitel, Schildsohle und Fahrbahnhöhe wurden herangezogen, um im Längenprofil / Geologischen Längenprofil den vertikalen Längsverlauf des Tunnels bestmöglich festzulegen; dies unter Berücksichtigung weiterer höhenmässiger Randbedingungen.

3.4 Technische Anlagen für den sicheren Tunnelbetrieb

Im Folgenden werden die technischen Anlagen, welche den ASTRA-Richtlinien entsprechen müssen, soweit summarisch erläutert, als die einzelnen Anlagen relevant sind für die Feststellung der Machbarkeit der hier vorgeschlagenen Projektalternative.

3.4.1 Tunnellüftung

Für den Gesamttunnel soll das Lüftungssystem des Vingeltunnels des offiziellen Projekts verwendet werden.

Betrieb des Tunnels unter Verkehr:

Die Längslüftung erfolgt mittels Strahlgebläsen, die in speziellen Nischen paarweise links und rechts vom Verkehrsraum angeordnet werden. Der Luftstrom wird insgesamt in Richtung Brüggmoos bewegt, mit Austritt durch das Tunnelportal.

Alternativ dazu kann geprüft werden, ob es Vorteile bringt, den Luftstrom von der Mitte des Tunnels her zu den beiden Portalen im Brüggmoos und im Rusel zu blasen.

Ereignisfall:

Auftretende Rauchgase (Brandfall) werden durch Öffnungen(Klappen) je nach Ort des Unfalls über den Abluftkanal zur Betriebs-/Lüftungszentrale Rusel oder Brüggmoos abgesogen und über einen Abluftkamin in die Atmosphäre ausgestossen.

Es muss näher abgeklärt werden, ob der Abluftkanal in Tunnelmitte durch eine Querwand in zwei gleich lange Abschnitte getrennt wird, oder ob es sicherer ist, dies nicht zu tun.

3.4.2 Schema und Anordnung der Tunnelausrüstung

Beschreibung für den Tunnelabschnitt vom Brüggmoos bis Biel West

Ausstellnischen, mit SOS- / Hydranten-Nischen («Multifunktionsstellen»)

Anordnung ca. alle 600 Meter

Standorte:

- in der Nähe der Guglerstrasse (Fahrbahn 15 m unter OK Terrain)
- westlich der Keltenstrasse (Molasse-Fels; Fahrbahn 23 m unter OKT)
- nordwestlich Rousseau-Platz (Fahrbahn 23 m unter OKT)
- Strandboden(Fahrbahn 15 m unter OKT)

Vorstudie für die Multifunktionsstelle Strandboden (Konzept und Bauablauf):

Zweck dieser Vorstudie ist es, die Machbarkeit der Realisierung der Multifunktionsstellen zu überprüfen und die Baukosten approximativ abzuschätzen.

Konzept:

- Anordnung von Ausstellbuchten und Ventilatornischen beidseits der Fahrbahn, hintereinander, in genügendem Abstand
- Anordnung eines Querstollens von einer der einander gegenüberliegenden Ausstellbuchten zum vertikalen Flucht- und Rettungsschacht
- Flucht- und Rettungsschacht, Durchmesser 8 m, Innenmass; mit zentralem Lift (nur in Begleitung von Rettungspersonal benützbar); Wendeltreppe mit Zwischenpodesten, welche den Liftschacht spiralförmig umschlingt; Türen-Konzept; Schachtkopf an der Erdoberfläche
- Berücksichtigung eines Abgangs von den Ausstellbuchten in den Kabel- und Fluchtstollen unter der Fahrbahn

Bauablauf:

a) während Tunnelvortrieb:

- Ausführung tunnelparalleler Spundwände, gegenseitiger Abstand 19 - 20 m, mit Verbreiterung der Umspundung im Bereich des Flucht- und Rettungsschachts
- Ausführung von Schmalwänden und Injektionen als Abschluss-Stirnwände der Baugrube (sie werden durch die TBM durchfahren)

b) wenn der Tunnelvortrieb die entsprechende Multifunktionsstelle durchquert hat und Innen- und Aussenring des Tunnels an der betreffenden Stelle ausgeführt sind:

- Ergänzung der Baugrubenumschliessung: Injektionen / Abdichtungen
- Aushub Baugrube in Etappen, mit Freilegen der Tunnelröhre bis zur Fahrbahnkote, sowie Aushub für den Flucht- / Rettungsschacht
- in Etappen mit Pilgerschritt: Herausschneiden der Seitenbereiche der Tunnel-Auskleidung über OK Fahrbahn und Ausführung der Wände und Decken der Ausstellbuchten inkl. SOS- und Hydranten-Nischen sowie Ausführung der Abgänge von den Ausstellbuchten in den Fluchtstollen, inkl. Abdichtung gegen Grundwasser
- analoger Bau der Ventilator-Nischen
- Stahlbetonarbeiten Verbindungsstollen zu Schacht sowie Schacht-Betonierung, samt Abdichtung gegen Grundwasser
- Innenausbau (Lift, Treppen, Beläge usw.)
- Hinterfüllungs- und Auffüllungsarbeiten. Über dem Tunnelbereich mit seitlichen Nischen wird die Auffüllung zwischen den Spundwänden nicht nur verdichtet, sondern gleichzeitig so stabilisiert, dass eine tragende Mitwirkung über Tunnel + Nischen entsteht.
- Rückziehen der Spundwandbohlen

Die Fertigstellung aller technischen Einrichtungen erfolgt später im Zug der Montagearbeiten im ganzen Tunnel.

Nischen für Strahlventilatoren (Längslüftung)

Standorte:

- integriert in «Multifunktionsstelle» Keltenstrasse
- integriert in «Multifunktionsstelle» Strandboden

Weitere SOS- / Hydranten-Nischen

Anordnung/Standorte:

Je in der Mitte zwischen den «Multifunktionsstellen».

Weitere betriebliche Anlagen:

Betriebs- / Lüftungszentrale

Die Betriebs- und Lüftungszentrale Brügemoos kann am Standort des offiziellen Projekts beim Heideweg oder evtl. näher bei der Verzweigung Brügemoos angeordnet werden.

3.5 Bauausführung des Gesamttunnels

Bauinstallationen

Die umfangreichen Bauinstallationen für den Vortrieb und den Bau des Gesamttunnels werden hauptsächlich im Raum Brügemoos konzentriert und entsprechend erschlossen.

(Zusätzlich sind lokale kleine Bauinstallationen z. B. bei den Multifunktionsstellen, eine Injektionszentrale am Übergang Lockergestein / Fels in Biel West, Installationen in Rusel, Vingelz, zu errichten.)

Brügemoos:

- Feste Installationen aller Art und Zwischendeponieräume etc.
- Gewichtige An- und Abtransporte wie:
Vortriebsmaschinen, Rohrleitungen, Förderbänder, sowie unzählige andere Geräte wie Krane, Transportgeräte, Schalwagen, Pumpen, Förderleitungen, Silos etc.
- Die Aufbereitung des Ausbruchmaterials sowie dessen weiterer Abtransport kann vom Brügemoos her sicherlich am besten erfolgen.

- **Tübbing-Elemente:**
Der Antransport und Transport in den Vortrieb der ins Gewicht fallenden Gesamtmenge der Betonelemente (Tübbing) wird über das Brüggmoos zu organisieren sein; für die zu produzierende Menge könnte je nach ARGE eine Vorfabrikation auf dem Installationsgelände in Frage kommen.

Die Anlieferung von Baumaterialien aller Art wie Zement, Injektionsmittel, Zuschlagstoffe, Stahl, Fertigbeton, Spritzbeton, Schalungsmaterial usw. erfolgt hauptsächlich über das Brüggmoos.

- **Vortrieb des Tunnels:**
Vor dem bergmännischen Portal wird im Trasse der Bernstrasse eine Baugrube zwecks Montage des Hydroschildes abgeteuft. In dieser Bauphase besteht zwischen dem gebauten Westteil des Knotens Brüggmoos und dem bergmännischen Portal eine provisorische Nivellette. Erst nach Vollendung des bergmännischen Tunnels werden die notwendige Auffüllung und die Vollendung des Tagbauteiles mit dem Bau der Betriebszentrale stattfinden.

Es sei erwähnt, dass der Hydroschild als sogenannter Mix-Schild ausgebildet sein muss, d. h. er kann **im Nassbetrieb** als wirklicher Hydroschild mit abgeschotteter Kammer für den Bohrkopf, stabilisierender Bentonitsuspension und Steinbrecher funktionieren.

Die Bentonitflüssigkeit mit dem abgebohrten Bodenmaterial wird in einer Rohrleitung nach «übertag» und die gereinigte/ergänzte Suspension laufend wieder in die Abbaukammer gefördert. Der Hydroschild kann in eine normale Schild-TBM umgewandelt werden für längere, geeignete Strecken mit hart gelagertem Lockergestein oder Fels, welche im Trockenbetrieb mit einem normalen Schuttersystem viel wirtschaftlicher aufgeföhren werden können.

Der Vortrieb im ganzen Bereich «Vingeltunnel» ist mittels der vorgeschlagenen Vortriebsmaschine, auch beim Auftreten von grossen Karstwassereinbrüchen, nach unseren Erfahrungen gut zu bewältigen. Bekanntlich tritt Karstwasser durch Karstschläuche aus standfesten Kalkformationen aus, sodass keine zusätzlichen Schwierigkeiten wegen mangelnder Standfestigkeit für die Schildmaschine bestehen wird. Auch die spezielle geologische Zone vor dem Portal Rusel/Vingelz kann bewältigt werden. Aufwärts- und Abwärtsvortrieb wird durch die entsprechende Auslegung der Wasserhaltung beim Vortrieb gelöst.

- Pilotstollen / Injektionsstollen; Installationen vor Ort bei Beginn Felsstrecke Vingeltunnel
- Konsolidationsinjektionen: am Übergang Lockergestein/Felsstrecke und längs Vortriebsstrecke im Lockergestein

Die Injektionen werden von Biel West her (Injektionszentrale) beginnend beim Portal Brüggmoos rückschreitend (vor dem Hydroschild-Vortrieb her) bis zum Beginn der Felsstrecke in Biel West ausgeführt.

3.6 Bauprogramm, Abschätzung Gesamtbauzeit

Für die Bauausführung des Gesamttunnels ist ein Gesamt-Bauprogramm (Balkendiagramm) ausgearbeitet worden; dies unter Annahme von Erfahrungswerten für die Vortriebsleistungen und aller übrigen Haupttätigkeiten.

Die Einordnung der Tätigkeiten und ihre Abhängigkeiten, Hintereinanderschaltungen usw. sind berücksichtigt worden.

Die Montage der elektromechanischen Anlagen und die Fertigstellung wurde ebenfalls erfasst.

Resultat:

Ab Unterzeichnung des bereinigten Werkvertrags und dem unmittelbaren Beginn der Bauarbeiten kann damit gerechnet werden, dass der Gesamttunnel Brüggmoos bis Rusel/Vingelz in einer Gesamtbauzeit von 8 bis 9 Jahren betriebsbereit ist.

Voraussetzung dafür ist, dass auch übergeordnete Arbeiten für die Fernüberwachung des Tunnels und entsprechende Tests an sämtlichen Anlagen innerhalb der letzten beiden Baujahre des vorliegenden Bauprogramms ausgeführt werden; in dieser Zeit sind praktisch ausschliesslich Montagearbeiten der elektromechanischen / elektronischen Anlagen am Tunnel im Gang.

3.7 Abschätzung der Baukosten

für die Variante 3 (Bestvariante) = vorgeschlagene Projektvariante

VORBEMERKUNG / HINWEIS:

Auf das Gesamttotal der Kosten der folgenden Tabellen werden in der Schlusszusammenstellung für besondere Risiken 10 % zugeschlagen.

A) Teilabschnitt Brüggmoos - Biel West

Bau Tunnelstrecke L = 2300 m und Anschluss an Brüggmoos L = 300 m

1) Bauteil

Tunnelröhre, mit Hydroschild, Durchmesser 12.4 m	Fr.	100'000 / m' x 2'300 m'	=	Fr.	230'000'000
Pilot-/Injektionsstollen mit Hydroschild, D = 4.6 m	Fr.	15'000 / m' x 2'300 m'	=	Fr.	34'500'000
Bodenstabilisierung: Injektionen ab Injektionsstollen und Übergang Lockergestein/Fels	Fr.	45'000 / m' x 2'300 m'	=	Fr.	103'500'000
Multifunktionsstellen:					
- Guglerstrasse, T=19 m			=	Fr.	25'000'000
- Keltenstrasse, T=27 m*			=	Fr.	40'000'000
- Rousseau-Platz, T=27 m			=	Fr.	30'000'000
- Strandboden, T=19 m*			=	Fr.	40'000'000
Kleine Nischen (Injektionen + Bau)			=	Fr.	15'000'000
Betriebs-/Lüftungszentrale Heideweg			=	Fr.	50'000'000
Offene Strecke + Tagbau Brüggmoos	Fr.	25'000 / m' x 300 m'	=	Fr.	7'500'000
Total Bauteil Brüggmoos-Biel West gerundet:				Fr.	575'500'000
				Fr.	575'000'000

*) zusätzlich mit Ventilator-Nischen

2) Elektromechanische Anlagen

	Fr.		=	Fr.	
Elektromechanische Anlagen Brüggmoos-Biel West					
30 % auf Kosten Bauteil = Fr. 172'500'000, aufgerundet auf 180 Mio.	Fr.		=	Fr.	180'000'000
Total Elektromechanik Brüggmoos-Biel West					180'000'000

3) Totale Kosten Teilabschnitt Brüggmoos - Biel West

	Fr.		=	Fr.	
Total Bauteil Brüggmoos-Biel West	Fr.		=	Fr.	575'000'000
Total Elektromechanische Anlagen Brüggmoos-Biel West				Fr.	180'000'000
Total Bauteil + Elektromechanik Bauteil Brüggmoos-Biel West				Fr.	755'000'000

B) Teilabschnitt Biel West - Rusel (Vingeltunnel), L = 2342 m

	Fr.		=	Fr.	
Bauteil Teilabschnitt Biel West-Rusel	Fr.		=	Fr.	192'300'000
Elektromechanische Anlagen Biel West-Rusel, Total (=30 % auf Kosten Bauteil = Fr. 57'690'000, aufgerundet auf Fr. 57'700'000)			=	Fr.	57'700'000
Total Bauteil und Elektromechanik Teilabschnitt Biel West-Rusel (Vingeltunnel)			=	Fr.	250'000'000

Zusammenstellung der Baukosten:

Totale Kosten Teilabschnitt Brüggmoos-Biel West:	Fr. 755'000'000
Totale Kosten Teilabschnitt Biel West-Rusel (Vingeltunnel)	Fr. 250'000'000
Zwischentotal:	Fr. 1'005'000'000

Zuschlag für Unvorhergesehenes (besondere Risiken: 10% auf Zwischentotal	Fr. 100'000'000
Geschätzte Baukosten Gesamtstrecke Brüggmoos-Rusel	Fr. 1'105'000'000

Kostenabgrenzung:

- Nicht enthalten in obiger Grobkostenschätzung sind:
- Honorare für Projektierung, Bauleitung, Bauherrenberatung,
 - weitere bauherrenseitige Kosten.

SCHLUSSBEMERKUNG

Die Genauigkeit der vorliegenden Abschätzungen von Bauzeit und Baukosten muss dem Umstand Rechnung tragen, dass die vorliegende Studie in sehr kurzer Zeit erarbeitet wurde, wobei das bearbeitete Alternativprojekt wohl etwa die Stufe «Planungsstudie SIA» erreicht hat.

Allerdings darf gesagt werden, dass die vorliegende Projektierung und die Abschätzungen auf reiche Erfahrung bei Planung, Projektierung und Baurealisierung für komplexe Gross-Tunnelprojekte für Autobahn und Eisenbahn abgestützt sind.

5415 Rieden, 25. August 2017
Martin Gysel

Gysel Engineering

Dr.-Ing. Martin Gysel, dipl. Bauing. ETH/SIA

Boldstrasse 90
CH-5415 Rieden

Tel: 056 210 97 50

Fax: 056 210 97 51

gysel-engineering@bluewin.ch