



FWB

FACH WISSEN BAU

Heinz Ehrbar Olivier Böckli Christian Ammon

# Bau Praxis

Der Untertagbau

AUSGABE SCHWEIZ | BAND 2

# Inhalt

## Band 2

Fachausdrücke	6
Visualisierte Begriffe	8
Die Autoren	10
Vorwort	12
Die heilige Barbara	14

<b>11. Bauhilfsmassnahmen</b>	<b>16</b>
11.1 Rohrschirme	20
11.2 Injektionen	28
11.3 Düsenstrahlverfahren	43
11.4 Vorausdrainagen	50
11.5 Lange Ortbrustanker	54
11.6 Vereisung	56

<b>12. Abdichtung und Entwässerung</b>	<b>68</b>
12.1 Generelles zum Wasserhaushalt über und unter Tag	70
12.2 Entwässerungs- und Abdichtungskonzept	71
12.3 Abdichtungssysteme	73
12.4 Entwässerungssysteme	80
12.5 Massnahmen zur Verhinderung von Versinterungen	83
12.6 Unterhalt mit mechanischen Verfahren	86
12.7 Anwendungsbeispiele für Ableitkonzepte	88
12.8 Anwendungsbeispiele für Verdrängungskonzepte	90

<b>13. Ausbau</b>	<b>100</b>
13.1 Ausbauarten	102
13.2 Anforderungen an die Innenschale	104
13.3 Einbau der Innenschale	105
13.4 Einbau der Sohle	107
13.5 Einbau des Gewölbes	112
13.6 Firstspaltverpressung	116
13.7 Anforderungen an die Projektierung	117
13.8 Fahrbahntwässerung von Strassentunneln	122

<b>14. Bewirtschaftung des Ausbruchmaterials</b>	<b>136</b>
14.1 Rechtliche Rahmenbedingungen	138
14.2 Materialflussschema	146
14.3 Verwertung von Ausbruchmaterial	148
14.4 Ablagerung von Ausbruchmaterial	154
14.5 Materialtransporte und Deponiegrössen	155
14.6 Beispiel Gotthard-Basistunnel	160

<b>15. Umweltschutz auf Untertagbaustellen</b>	<b>168</b>
15.1 Allgemeine Grundsätze	170
15.2 Gesetze und Verordnungen	172
15.3 Richtlinien und Empfehlungen	173
15.4 Berücksichtigung des Umweltschutzes in Projektierung und Ausschreibung	174
15.5 Organisatorische Massnahmen	177
15.6 Massnahmen zur Gewährleistung des Umweltschutzes in der Realisierung	178

<b>16. Arbeitssicherheit im Untertagbau</b>	<b>190</b>
16.1 Bedeutung der Arbeitssicherheit im Untertagbau	192
16.2 Rechtlicher Rahmen	196
16.3 Pflichten der am Projekt Beteiligten	198
16.4 Phasenbezogene Umsetzung der Massnahmen für Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz	201
16.5 Anforderungen in Abhängigkeit der Vortriebsmethode	206
16.6 Massnahmen zur Verhütung von Hitzeerkrankungen	207
16.7 Rettungsorganisation für den Ereignisfall	210

<b>17. Baulüftung und Baukühlung</b>	<b>212</b>
17.1 Baulüftung	214
17.2 Anforderungen an Lüftungssysteme	216
17.3 Lüftungssysteme	218
17.4 Verantwortlichkeiten bei der Planung	224
17.5 Lüftungsinstallationen	225
17.6 Entstaubungsanlagen	231
17.7 Grundlagen zur Dimensionierung von Lüftungssystemen	234
17.8 Baukühlung, Gewährleistung der Arbeitsplatztemperaturen	237

<b>18. Logistik von Untertagbaustellen</b>	<b>242</b>
18.1 Logistische Herausforderungen von Linienbaustellen	244
18.2 Ausgestaltung des Installationsplatzes	249
18.3 Erschliessung des Installationsplatzes	257
18.4 Produktionsanlagen auf dem Installationsplatz	263
18.5 Logistik im Vortriebsbereich	266
18.6 Transporte unter Tag	279
18.7 Versorgungs- und Entsorgungssysteme auf Tunnelstrecken	311
18.8 Kommunikationssysteme im Tunnelbau	313
18.9 Installationen zur Wasserhaltung während des Vortriebs auf Tunnelstrecken	315

Sponsoren	326
Schlusswort	328
Literaturverzeichnis	330

## 13.2 Anforderungen an die Innenschale

Die Innenschale ist eine tragende, dauerhafte Betonauskleidung eines untertägigen Hohlraumbauwerks und muss die Stabilität des Hohlraums über die gesamte Lebensdauer gewährleisten. Die Verformungen müssen derart begrenzt werden, dass die Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks jederzeit gegeben ist. In diesem Sinne ist die Innenschale das Schlüsselement zu Sicherung der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit des Hohlraums.

Daraus lassen sich die folgenden Hauptanforderungen an das Innengewölbe herleiten:

1. Gewährleistung der sicheren Hohlraumstützung (Tragsicherheit) während der technischen Lebensdauer des Innengewölbes unter den jeweils gegebenen Randbedingungen aus Geologie, Geomechanik und Hydrogeologie sowie Nutzungsanforderungen

2. Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit im Hinblick auf die Beschränkung der Verformungen und Berücksichtigung sämtlicher geometrischen Vorgaben (Lichtraumprofil, technischer Nutzraum usw.)
3. Gewährleistung der Anforderungen bezüglich Dichtigkeit der Innenschale (in Kombination mit dem Abdichtungssystem)
4. Sicherstellung der verlangten Dauerhaftigkeit
5. Erfüllung der Brandschutzanforderungen
6. Erfüllung der Anforderungen bezüglich Umweltverträglichkeit unter Berücksichtigung der jeweiligen projektspezifischen Randbedingungen (Nachhaltigkeit)
7. Erfüllung der Anforderungen des Betreibers im Hinblick auf die Erhaltung, den Betrieb und die Anlagenverfügbarkeit
8. Berücksichtigung des Gebots zum wirtschaftlichen Bauen unter Beachtung sämtlicher Kosten aus dem Bau und der Betriebsphase



Bewehrung vor dem Betonieren der Innenschale, Tunnel Court

## 13.3 Einbau der Innenschale

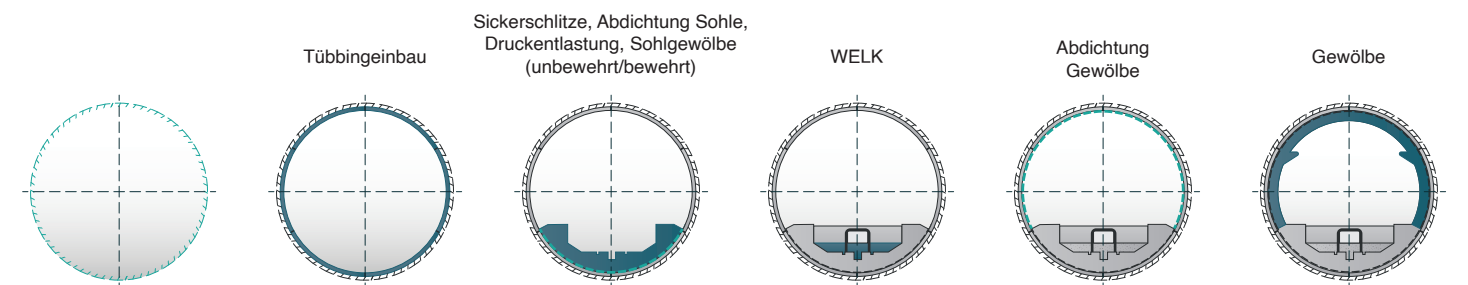
Die Innenschale besteht in der Regel aus dem Gewölbe und aus der Sohle, bei Stollen auch aus einem umlaufenden Ring.

Innenschalen werden in der Regel in mehreren Etappen betoniert (mindestens zwei, Sohle und Gewölbe). In Ausnahmefällen, v.a. bei Stollenbauten, wird die Innenschale in einem Stück geschalt und betoniert (Fullround-Schalung).

Beim Schildmaschinenvortrieb für einschaligen Ausbau stellt bereits der Tübbingausbau während des Vortriebs den definitiven Innengewölbeausbau dar. Diese Art, ein Innengewölbe einzubauen, wird in Kapitel 10.6 behandelt. Nachfolgend wird nur noch auf die in der Schweiz typische zweischalige Bauweise eingegangen.



Schrittweiser Aufbau des Innengewölbes in drei Etappen, Beispiel Gotthard-Basistunnel (Quelle: ATG)

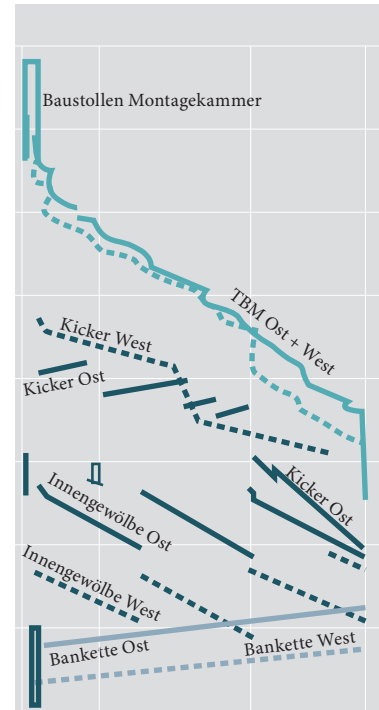


Aufbau des Innengewölbes am Beispiel eines Strassentunnels mit TBM-Vortrieb (Quelle: F. Chiaverio)

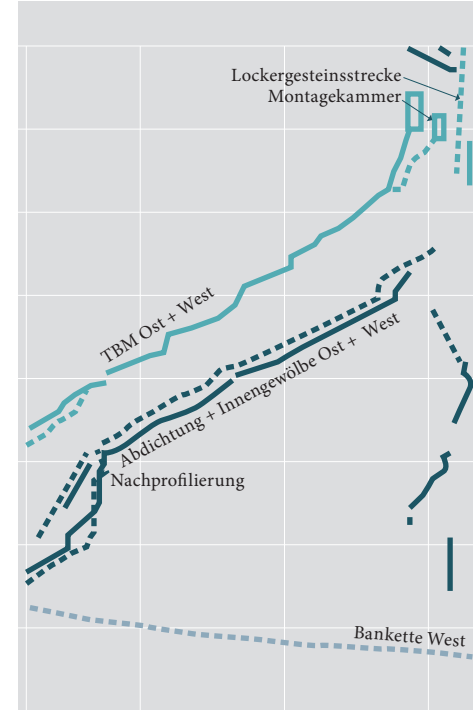


Innenschale, bestehend aus Sohle und Gewölbe (links, Bild: ATG), Schalwagen für Belchentunnel (rechts, Bild: Marti Gruppe)

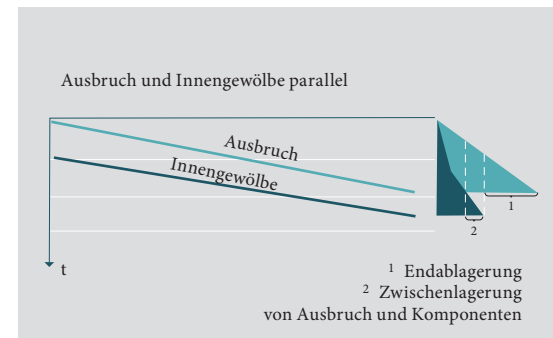
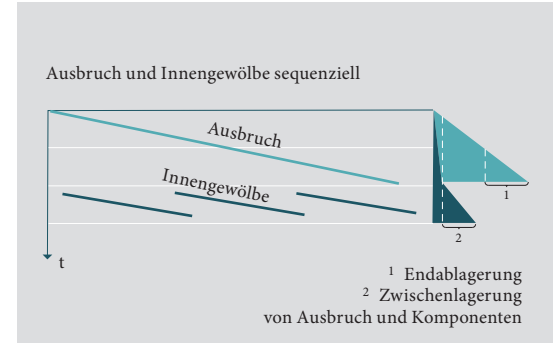
**Sequenzieller Einbau**



**Paralleler Einbau**



**Einfluss auf Materialbewirtschaftung**



Bauprogramm GBT der Teilabschnitte Amsteg (links, Gewölbeeinbau nach Vortriebsende) und Bodio (rechts, Gewölbeeinbau parallel zum Vortrieb) (Quelle: ATG)

Der Einbau der Innenschale ist im Tunnelbau eine anspruchsvolle (hohe Qualitätsanforderungen), zeit- und ressourcenintensive Tätigkeit. Dabei stehen im Rahmen der Ausgestaltung des Gesamtbauprogramms grundsätzlich zwei Varianten für den Einbau des Innengewölbes zur Auswahl (vgl. Grafik oben):

- a. parallel zum laufenden Vortrieb
- b. nach abgeschlossenem Vortrieb als unabhängige Tätigkeit (sequenziell)

Der Projektverfasser trifft bei der Ausarbeitung des Gesamtbauprogramms seine Annahmen über die Sequenz des Ausbaus. Der Unternehmer ermittelt in der Angebotsphase das für ihn optimale Konzept unter Berücksichtigung der Vorgaben des Bauherrn (massgebend in der Regel gemäss den Terminvorgaben des Bauherrn). Dabei kann er z.B. zum Schluss kommen, dass ein sequenzieller Ablauf von Vorteil wäre (z.B. ausgeglichener Personalbedarf). Der Bauherr ist gut beraten, in seinen Ausschreibungsbedingungen Handlungsspielräume offen zu lassen, damit der Unternehmer die wirtschaftlichste Bauweise anbieten kann.

Der Entscheid über die Einbausequenz ergibt sich somit oft aus dem Wettbewerb. Die in nebenstehender Tabelle dargestellten Vor- und Nachteile sind dabei gegeneinander abzuwägen.

Methode	Vorteile	Nachteile
Parallel zum Vortrieb	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kürzeres Gesamtbauprogramm</li> <li>- finaler Ausbauwiderstand steht frühzeitig zur Verfügung (z.B. in Fällen, wo das Widerstandsprinzip eingesetzt wird)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- komplexere Logistik (Transporte, Versorgung und Entsorgung müssen in der Regel durch Innengewölbebaustelle geführt werden, es sei denn, dass bei zweiröhriigen Vortrieben eine Umgehung möglich wäre [schräge Querschläge])</li> <li>- anspruchsvollere arbeitssicherheitstechnische Ausgestaltung der Bauprozesse</li> <li>- höhere Anzahl an parallelen Baustellen im Tunnel</li> <li>- Betonierleistung durch den Vortrieb limitiert</li> <li>- höherer Spitzenbedarf an Personal</li> </ul>
Nach Vortriebsende (sequenzieller Einbau)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- einfachere Logistik</li> <li>- arbeitssicherheitstechnische Aspekte einfacher lösbar</li> <li>- hohe Betonierleistungen werden ermöglicht</li> <li>- bessere Wirtschaftlichkeit für den Prozess «Einbau Innengewölbe»</li> <li>- ausgeglichener Personalbedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- grundsätzlich längeres Gesamtbauprogramm</li> </ul>

Vergleich des parallelen und des sequenziellen Gewölbeeinbaus

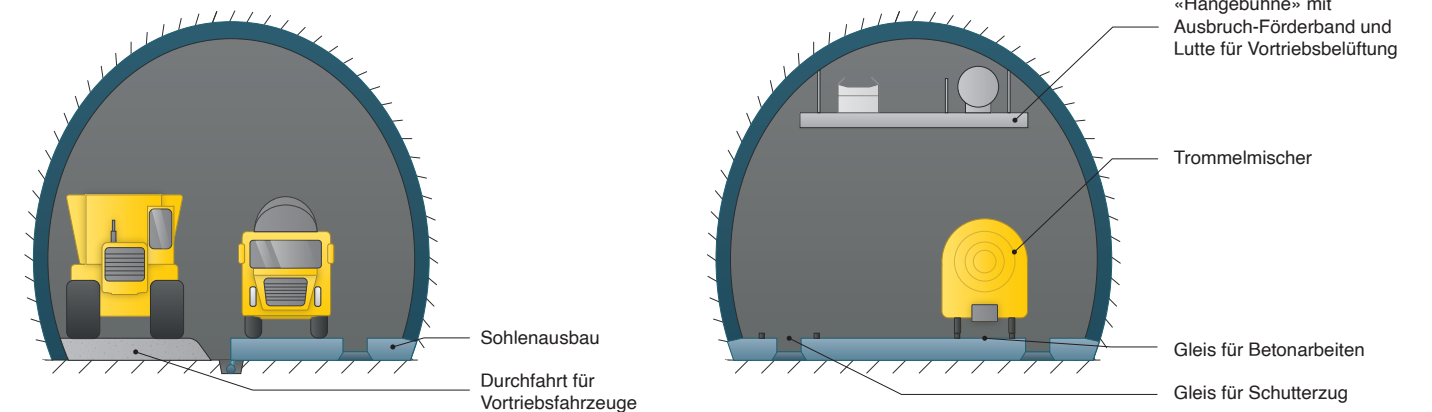
# 13.4 Einbau der Sohle

Meistens ist es bei einem Tunnelvortrieb notwendig, dass kurz hinter dem Vortrieb eine Sohle eingebracht wird, um die Vortriebsleistung nicht zu beschränken. Im konventionellen Vortrieb wird zwischen dem Vortriebsbereich und der Einbaustelle der Sohle im rückwärtigen Bereich jeweils eine provisorische Fahrbahn entweder aus geeignetem Ausbruchmaterial (in der Regel mit Kalk oder Zement stabilisiert) oder aus Magerbeton erstellt.

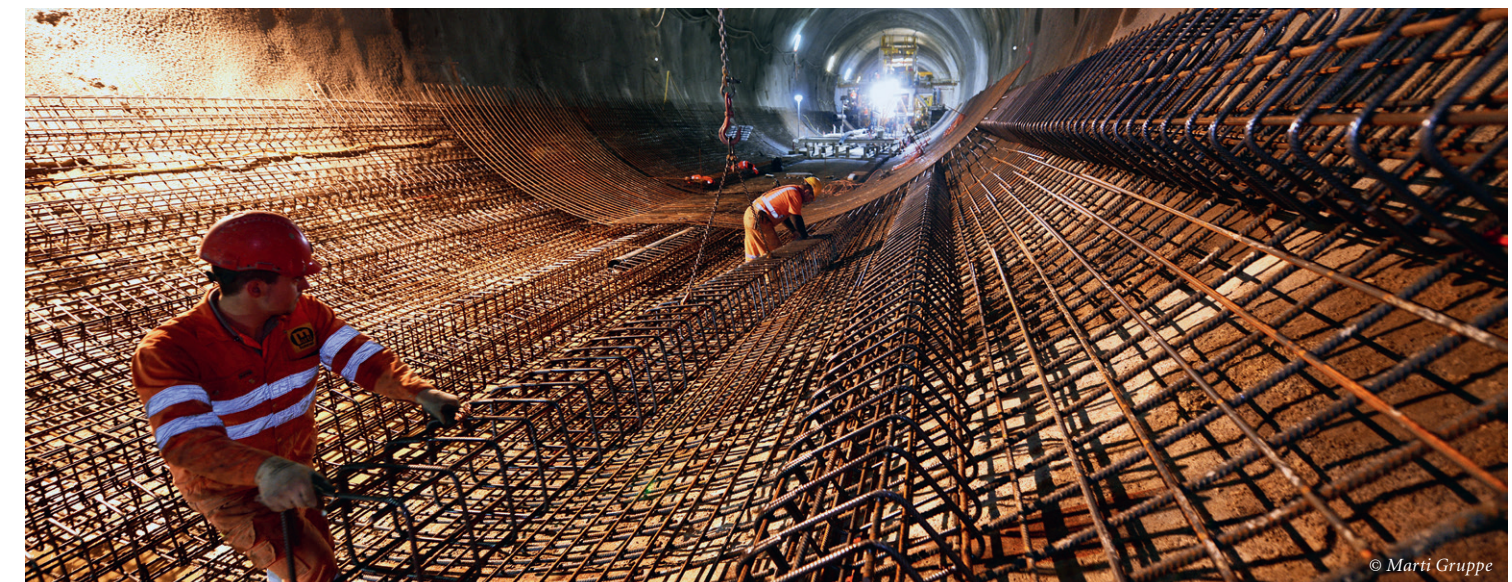
Die Sohlenbaustelle selbst stellt in allen Fällen eine erhebliche Behinderung dar, da sie meist einen Bruch in der Versorgungskette bedeutet. Abgesehen von jenen Fällen, wo der Querschnitt genügend breit ist, um mit einem halbseitigen Einbau der Sohle zu operieren (vgl. folgende Abbildung), ist es praktisch unmöglich, eine durchgehende Transportkette bis zum Vortrieb einzurichten, d.h., sämtliches Material für den Vortrieb muss von einem Transportgerät auf ein anderes umgeladen werden.

Um eine hohe Vortriebsleistung zu gewährleisten, muss die Sohlenbaustelle mit entsprechend leistungsfähigen Transportmitteln überbrückt werden, z.B. mit Hängekonstruktionen, Überfahrbrücken oder Verschiebeplattformen (vgl. Kap. 18).

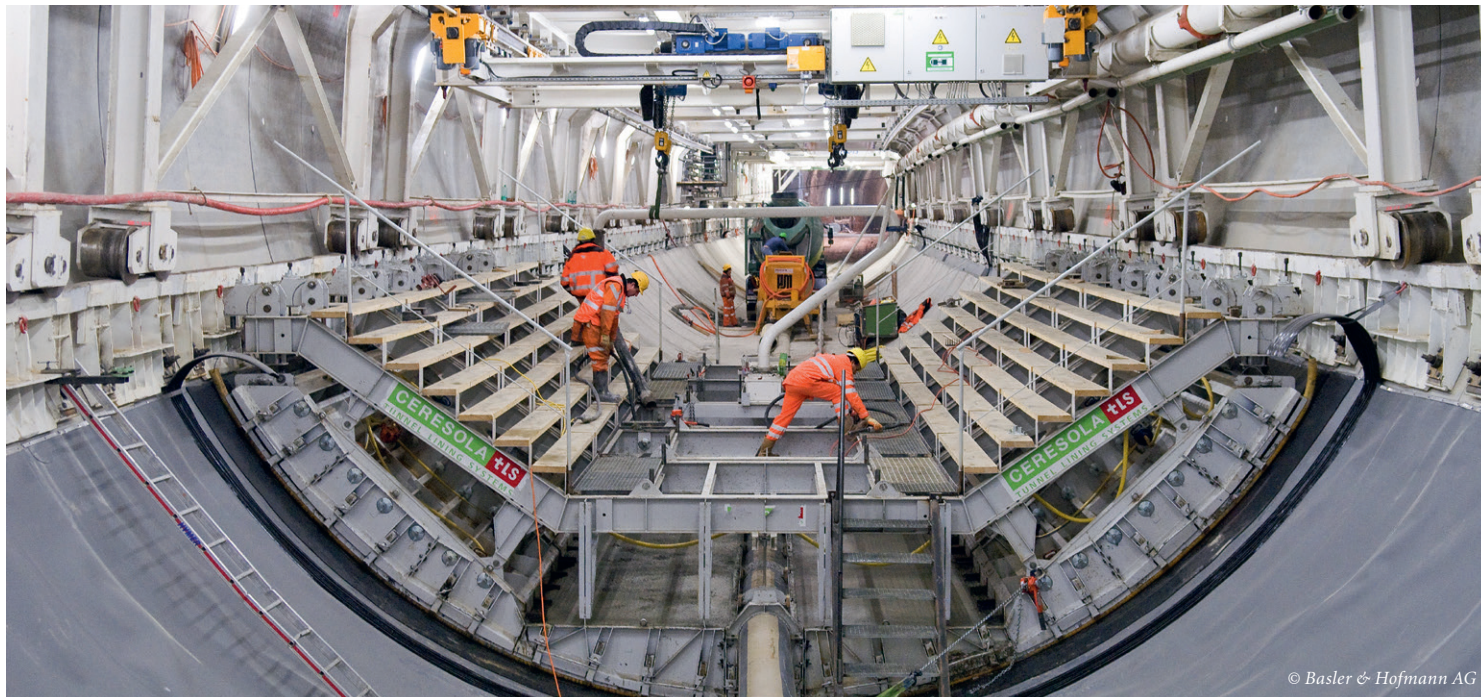
Je nach den im Projekt definierten Anforderungen ist die Sohle zu schalen, was den Regelfall darstellt. Nur in jenen Fällen, wo die Sohle z.B. mit einem Schotterbett überdeckt oder anderweitig aufgefüllt wird, braucht es keine Schalung.



Einbau der Sohle im Vereintunnel (ungeschalt) mit halbseitigem Einbau im Bereich der Doppelspurstrecke (links) und Überbrückung der Sohleneinbaustelle im Einspurbereich (rechts) (Quelle: RhB)



Bewehren der Sohle, Tunnel Court



Schalung für das Betonieren der Sohle

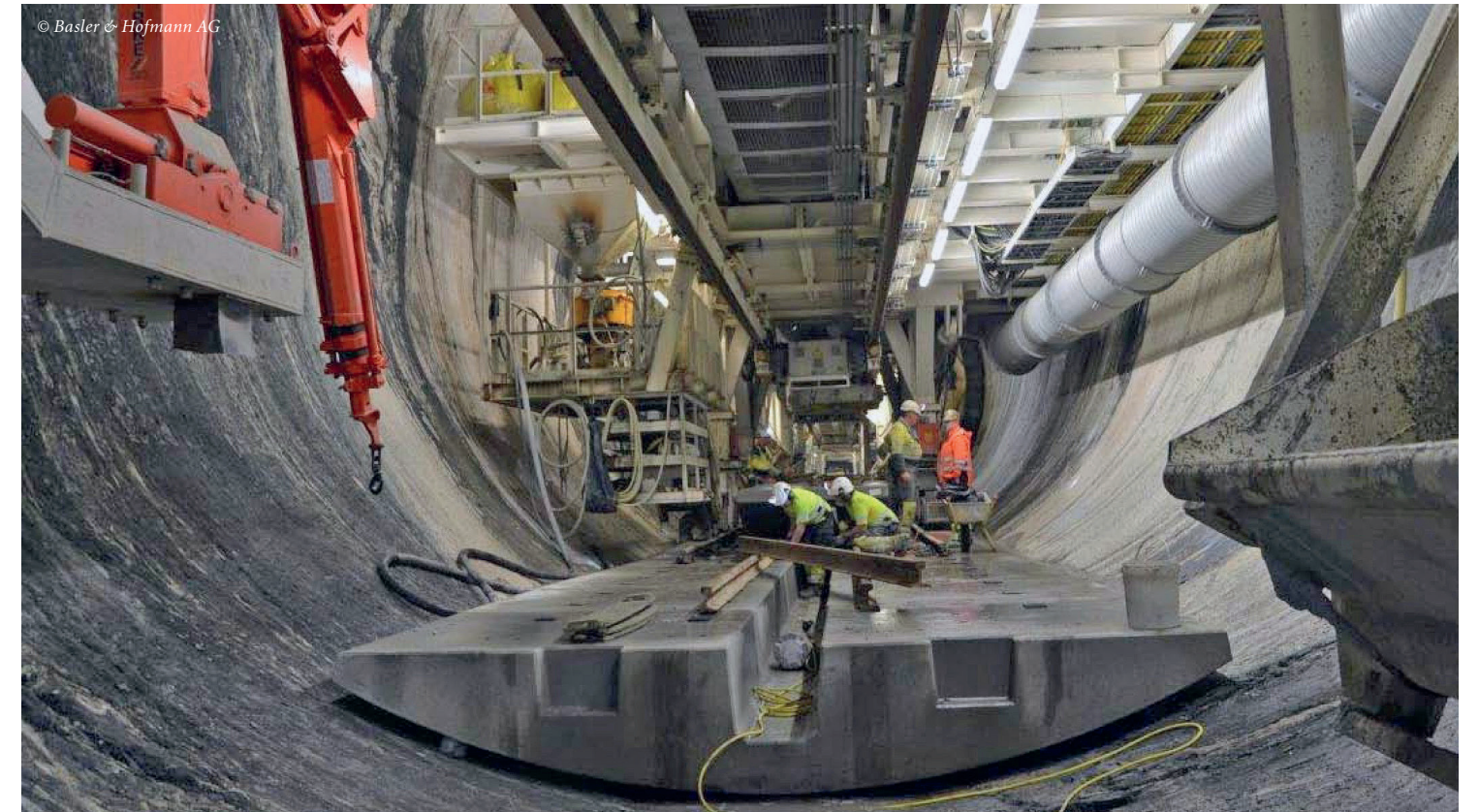
Aufgrund der verschiedenen Arbeitsstellen für den Bau einer Ortbetonsohle und wegen der dem Vortrieb folgenden Betonierleistung (10–20 m/Tag beim Vortrieb mit einer Gripper-TBM) sowie der Aushärtungszeit (bis die Sohle z.B. mit Stollenbahngleisen belastet werden kann) ergibt sich eine wesentliche Längenausdehnung der Sohlenbaustelle. Im Fall der Gripper-TBM-Vortriebe am Gotthard-Basistunnel ergab sich eine rund 90 m lange Überbrückungskonstruktion, was schliesslich zu einer gesamten Maschinenlänge (TBM plus Nachläufer) von über 400 m führte.

Dementsprechend ergeben sich auch im konventionellen Vortrieb Hängekonstruktionen von erheblicher Länge (mehrere hundert Meter), um die Sohlenbaustelle zu überbrücken.

Auch im konventionellen Vortrieb beträgt die Überbrückungslänge mehrere Dutzend Meter, wie das Beispiel aus dem Südvortrieb Sedrun des Gotthard-Basistunnels zeigt.

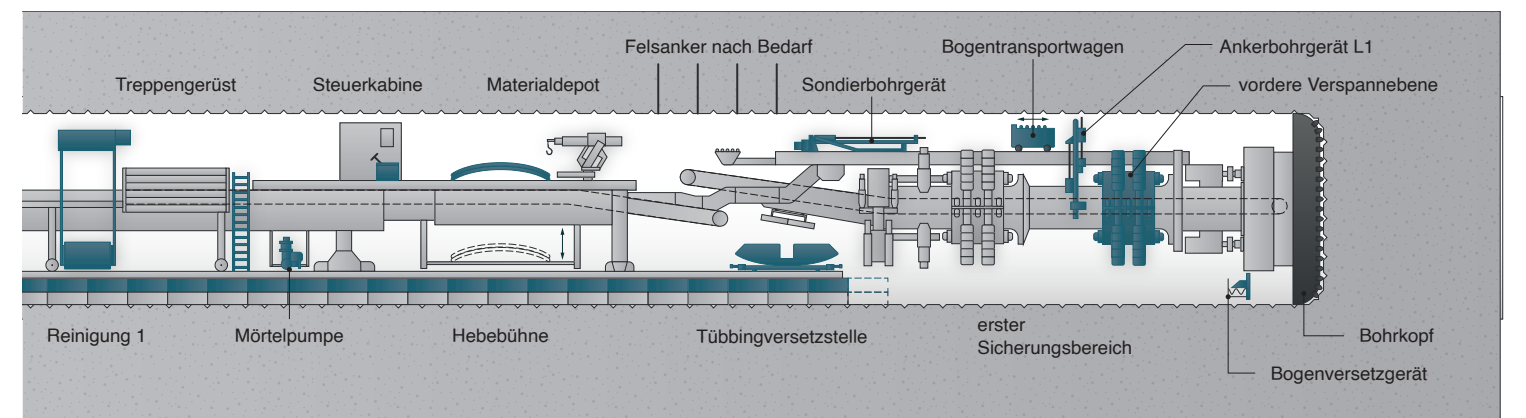


Erstellung Bankett, Tunnel Court



Versetzen von Sohlübbingen, Ulrikentunnel, Norwegen

Alternativ kann anstelle einer Ortbetonsohle auch ein Sohlübbing zum Aufbau der Sohle eingesetzt werden, sofern die Anforderungen an das fertige Bauwerk dies zulassen. Am Gotthard-Basistunnel waren z.B. die Anforderungen bezüglich Wasserzutritt aus der Sohle so niedrig, dass die Projektgenieure wegen der vielen Sohlfugen auf eine Tübbinglösung verzichteten. In vielen Fällen ist dies jedoch nicht möglich. Beim Einbau muss der Sohlübbing an das vorderste Ende des Nachläufers gebracht werden, wo er dann in die korrekte Lage gedreht und eingebaut wird (vgl. folgende Abbildung).



Tübbingversetzstelle am Beispiel Vereina Nord

Welche Bauweise sich optimal eignet, muss im Projekt unter Berücksichtigung der jeweiligen spezifischen Anforderungen geklärt werden.

Variante	Vorteile	Nachteile
Sohl-tübbing	<ul style="list-style-type: none"> <li>- früher Sohleneinbau, direkt hinter TBM möglich</li> <li>- industrielle Vorfabrikation der Tübbing (einheitliche Qualität)</li> <li>- unempfindlich gegenüber Wasserzutritten</li> <li>- einfachere Logistik und grosszügigere Platzverhältnisse</li> <li>- Vortriebsgeschwindigkeit kaum vom Sohleneinbau abhängig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- häufige Sohlfugen erleichtern Wasserzutritt unter die künftige Fahrbahn</li> <li>- ungeeignet bei hohen Verformungen des Gebirges</li> <li>- Leitungen können nicht integriert werden (zu viele Stösse)</li> </ul>
Ortbeton	<ul style="list-style-type: none"> <li>- weniger Sohlfugen (Etappen 10-12 m) führen tendenziell zu geringeren Wasserzutritten</li> <li>- anpassungsfähig bei Gebirgsverformungen</li> <li>- Leitungen können direkt einbetoniert werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sohleneinbau kann leistungsbestimmend für den Vortrieb werden</li> <li>- Sohle wesentlich weiter hinten befahrbar als bei Tübbing (Verlängerung der Nachläuferkonstruktion)</li> <li>- komplexere Logistik und beengte Platzverhältnisse</li> </ul>



Überbrückung Sohlbaustelle EST Sedrun Süd, Gotthard-Basistunnel

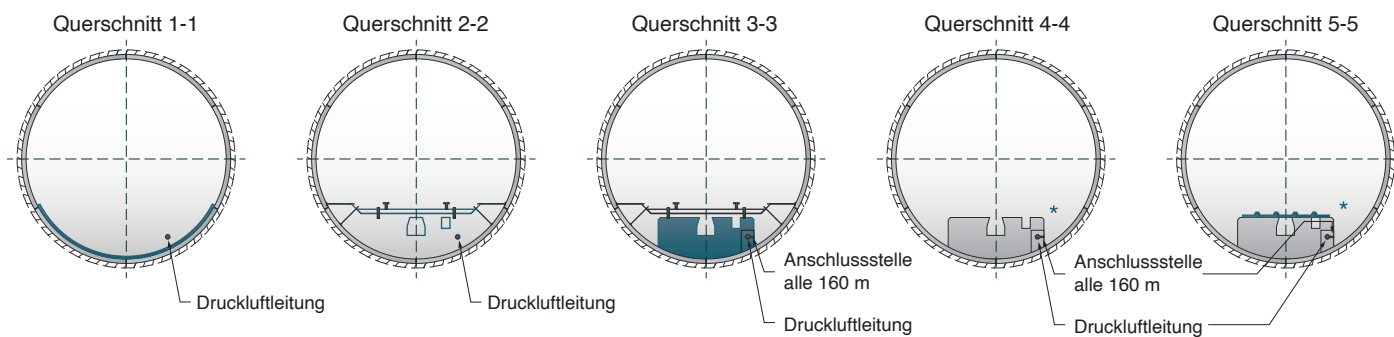
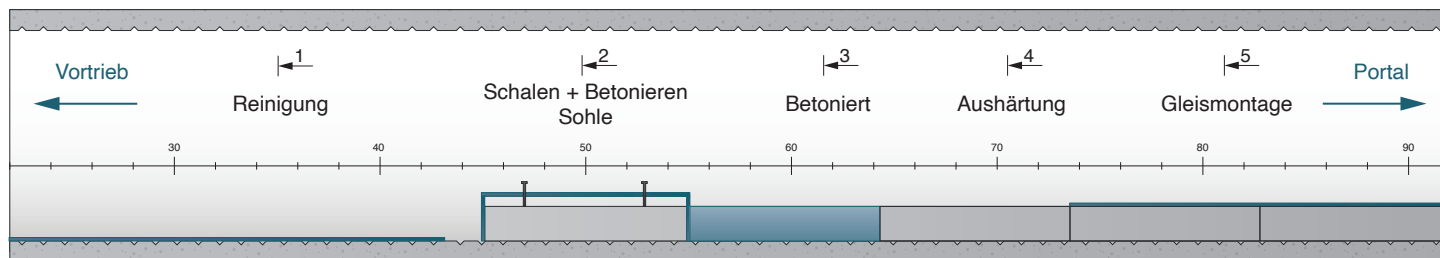
Vergleich Sohleneinbau mit Tübbing vs. Sohleneinbau mit Ortbeton

Ortbetonsohlen werden entsprechend folgendem Ablauf eingebaut:

1. Reinigen und, falls erforderlich, Nachprofilieren der Sohle und des Gewölbes
2. Verlegen von Schutzvlies, Isolierung und Schutzfolie sowie einer Drainageschicht und Abdichtung (falls erforderlich)
3. Einrichten der Sohlenschalung
4. Bewehrung einbauen, falls keine unbewehrte Sohle hergestellt wird
5. Einbau von Leitungen, sofern erforderlich

6. Betonieren der Sohle mittels Sohlenschalwagen
7. Ausschalen, Schalung umsetzen
8. Evtl. Nachbehandlung

Sohlenschalungen können relativ einfach sein. Bei runden Sohlen oder speziellen Anforderungen können diese aber auch sehr komplex ausfallen. Bei jeder Art der Sohlenschalung muss die Konstruktion die auftretenden Betonierdrücke und insbesondere die Auftriebskräfte beim Einbringen des flüssigen Betons aufnehmen können.



Arbeitssequenz zum Einbau einer Ortbetonsohle (Bild ARGE Transco Sedrun)



Bewehrung des Werkleitungskanals, Tunnel Court

© Marti Gruppe

# Mit bestem Dank

Wir möchten uns an dieser Stelle ganz herzlich bei unseren Sponsoren für die grosszügige Unterstützung bedanken. Sie haben uns sowohl in fachlicher als auch in finanzieller Hinsicht bei der Entstehung des Fachbuchs eng begleitet und damit dieses umfangreiche Werk überhaupt erst ermöglicht.

## Platinsponsoren / Unterstützung



### ACO AG

Entwässerungslösungen für die Umweltbedingungen von morgen. ACO ist Ihr Partner für die Verkehrsinfrastruktur. ACO. we care for water

[aco.ch](http://aco.ch)



### Herrenknecht AG

Maschinelle Tunnelvortriebs-technik für alle Geologien und in allen Durchmessern – von 0,10 bis 19 Metern. Jahrhundertbauwerke wie der Gotthard-Basistunnel sind unsere Referenz.

[herrenknecht.com](http://herrenknecht.com)



### Infra Suisse

Infra Suisse ist die nationale Branchenorganisation der Unternehmen, die im Infrastrukturbau tätig sind.

[infra-suisse.ch](http://infra-suisse.ch)



### Marti Technik AG

Fördertechnik, Logistik und Elektrotechnik für Tunnelbau und Industrie

[martitechnik.com](http://martitechnik.com)



### Marti Tunnel AG

Dank der Erfahrung unserer Spezialisten realisieren wir anspruchsvolle Bauvorhaben in der Schweiz und im Ausland sicher und effizient.

[martiag.ch](http://martiag.ch)



### Schweizerischer Baumeisterverband

Der SBV ist die gesamtschweizerische Berufs-, Wirtschafts- und Arbeitgeberorganisation der Unternehmungen des Bauhauptgewerbes.

[baumeister.ch](http://baumeister.ch)



### Sika Schweiz AG

Kompetenz im Tunnelbau – Erfahrung seit über 100 Jahren: Betonherstellung, Spritzbeton, Abdichtung, Betonsanierung, Brandschutz & Beschichtung.

[sika.ch](http://sika.ch)



### Simatec Maschinenbau AG

Stationäre und containermobile Wasser- und Aufbereitungsanlagen

[simatec.org](http://simatec.org)

## Goldensponsoren / Unterstützung



### Avesco AG

Ihr Profi für den Untertagebau Individuelle Lösungen | Kauf, Miete, Service | Bohren, Ankern, Rohrschirm | Sandvik, Cat, Schwing-Stetter

[avesco.ch](http://avesco.ch)



### Basler & Hofmann AG

Wir entwickeln wegweisende Lösungen für unseren intensiv genutzten Raum. Beratend, planend und projektierend.

[baslerhofmann.ch](http://baslerhofmann.ch)



### FGU

Die Fachgruppe für Untertagebau (FGU) vertritt als Verein die Interessen der Mitglieder zur Erstellung, zum Unterhalt und zur Erhaltung von Untertagebauten.

[swisstunnel.ch](http://swisstunnel.ch)



### Implenia Schweiz AG

Als führender Schweizer Bau- und Immobiliendienstleister entwickeln und realisieren wir Lebensräume, Arbeitswelten und Infrastruktur für künftige Generationen.

[implenia.com](http://implenia.com)



### OST Ostschweizer Fachhochschule

Am Campus in Rapperswil wird im Departement Architektur, Bau, Landschaft, Raum gelehrt und geforscht.

[ost.ch](http://ost.ch)



### Renesco AG

Erfahrung, Innovation und Kompetenz. Ihr Partner für Abdichtungs- und Injektionsarbeiten jeglicher Art – in der Schweiz und im Ausland.

[renesco.com](http://renesco.com)



### Rothpletz, Lienhard + Cie AG

Plant, baut und begleitet. Traditionsreiches Familienunternehmen mit Bauunternehmung und Ingenieurbüro unter einem Dach!

[rothpletz.ch](http://rothpletz.ch)

## Silbersponsoren / Unterstützung



### IST InfraStrukturTreff

[ist-ch.ch](http://ist-ch.ch)



### Pini Group SA

[pini.group](http://pini.group)



Schweizerische Vereinigung Beratender Ingenieurunternehmen  
Union Suisse des Sociétés d'Ingénieurs-Consultants  
Unione Svizzera degli Studi Consulenti d'Ingegneria  
Unión svizra dats biras d'ingegneria consultativa  
Swiss Association of Consulting Engineers

### suisse.ing

[suisse-ing.ch](http://suisse-ing.ch)