

Bundesanstalt für Straßenwesen

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

ZTV-ING

Teil 5 Tunnelbau

Abschnitt 1 Geschlossene Bauweise

Notifiziert gemäß der Richtlinie (EU) 2015/1535 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. September 2015 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. 241 vom 17.9.2015, S. 1.).

Inhalt	Seite		Seite	
1 Allgemeines	4	4.3.3	Bauzeiten- und Bauablaufplan	12
1.1 Grundsätzliches	4	4.3.4	Baustelleneinrichtungsplan.....	12
1.2 Geltungsbereich.....	4	4.4	Genehmigungen und Schutzmaßnahmen	12
1.3 Begriffsbestimmungen	4	5 Baubehelfe, Baustoffe und Bauteile .13		
1.4 Anforderungen an die Beteiligten	4	5.1	Baubehelfe	13
2 Geotechnische Untersuchungen	4	5.1.1	Schalung.....	13
2.1 Allgemeines	4	5.1.2	Traggerüste und Schalwagen	13
2.2 Untersuchungen in der Planungsphase	5	5.1.3	Nachbehandlungswagen.....	13
2.2.1 Allgemeines	5	5.2	Baustoffe und Bauteile	14
2.2.2 Untersuchungsschritte	5	5.2.1	Konstruktionsbeton	14
2.2.3 Geotechnischer / Tunnelbau- technischer Bericht	5	5.2.2	Spritzbeton	14
2.3 Baubegleitende Untersuchungen	6	5.2.3	Beton- und Baustahl	15
2.3.1 Geologische Kartierung	6	5.2.4	Anker	15
2.3.2 Geotechnische Messungen	6	5.2.5	Dränageröhre, Entwässerungsrohre und Schlitzrinnen	15
2.4 Untersuchungen nach Fertigstellung....	6	5.2.6	Befestigungsmittel (Rohbau)	15
3 Standsicherheitsnachweise	6	5.2.7	Leerrohre	16
3.1 Allgemeines	6	6 Ausbruch und Sicherung		
3.2 Einwirkungen	7	6.1	Allgemeines	16
3.2.1 Ständige Lasten	7	6.2	Bauverfahren	16
3.2.2 Veränderliche Lasten	7	6.3	Vortriebsklassen	16
3.2.3 Sonstige Lasten	8	6.4	Ausbruch.....	17
3.3 Nachweise und Bemessung	8	6.4.1	Allgemeines	17
3.3.1 Allgemeines	8	6.4.2	Maßabweichungen und Mehrausbruch	17
3.3.2 Mechanisches Gebirgsmodell und Berechnungsmodell	8	6.5	Sicherung.....	17
3.3.3 Grenzzustand der Tragfähigkeit	9	6.5.1	Allgemeines	17
3.3.4 Grenzzustand der Gebrauchs- tauglichkeit	10	6.5.2	Spritzbetonaußenschale.....	17
3.4 Messungen während der Bauausführung.....	10	6.5.3	Einbau von Betonstahlmatten	17
3.4.1 Messtechnische Überwachung.....	10	6.5.4	Einbau von Gebirgsankern.....	20
3.4.2 Überprüfung der Standsicherheits- nachweise	11	6.5.5	Spieße	20
4 Baubegleitende Maßnahmen	11	6.5.6	Einbau von Ausbaubögen	20
4.1 Allgemeines	11	6.5.7	Einbau von Dielen	20
4.2 Zustandserfassung und Beweissicherung.....	11	6.5.8	Einpressarbeiten.....	20
4.3 Ausführungsunterlagen.....	12	7 Innenschale		21
4.3.1 Allgemeines	12	7.1	Allgemeines	21
4.3.2 Tunnelbauspezifische Ausführungs- unterlagen	12	7.2	Anforderungen an die Konstruktion....	21
		7.2.1	Abmessungen und Maßtoleranzen	21
		7.2.2	Bewehrung	21

Inhalt	Seite	Seite			
7.2.3	Blocklängen	21	10.4.1	Allgemeines	27
7.2.4	Fugen.....	21	10.4.2	Fluchttüren und Verbindungstüren	27
7.3	Herstellen der Innenschale	21	10.4.3	Kabel und Leitungen	27
7.3.1	Betoniervorgang	21	10.4.4	Entwässerungsanlagen	27
7.3.2	Nachbehandlung.....	22	10.4.5	Tunnelausstattung	27
7.3.3	Verpressung im Blockfugenbereich	22	11 Innenausbau	28	
7.3.4	Prüfung der Innenschalendicke	22	11.1	Straßenaufbau und Sohlabdichtung.....	28
7.3.5	Firstspaltverpressung	22	11.2	Wandflächen und Deckenflächen.....	28
7.3.6	Prüfungen der Betondeckung	23	11.3	Lärmschutzbekleidungen	29
7.3.7	Rissverpressung	23	11.4	Zwischendecken und Trennwände.....	29
8 Schutzmaßnahmen gegen Wasser ...	23		11.5	Notgehwege, Leitungstrassen und Kabelzugschächte	29
8.1	Allgemeines	23	11.6	Zugänglichkeit der Konstruktion	29
8.2	Abdichtung mit KDB.....	23	12 Rettungsstollen und Querschläge... 29		
8.3	Innenschale als WUB-KO	23	12.1	Allgemeines	29
8.3.1	Allgemeines	23	12.2	1-schalige Konstruktion	30
8.3.2	Konstruktive Ausbildung	23	12.3	2-schalige Konstruktion	30
8.3.3	Zusätzliche Anforderungen für WUB-KO	24	12.4	Ausbau des Rettungsstollens.....	30
8.3.4	Fugen.....	24	13 Bauwerksunterlagen und Dokumentation	30	
9 Tunnelentwässerung	24		Anhang A	32	
9.1	Allgemeines	24		Richtlinie für die Anwendung der zerstörungsfreien Prüfung von Tunnelinnenschalen (RI-ZFP-TU)	32
9.2	Maßnahmen zur Wasserableitung während der Bauzeit.....	24	Anhang B	39	
9.3	Entwässerungsanlagen	25		Verwendung von PP-Faserbeton für den baulichen Brandschutz im Tunnelbau ..	39
9.3.1	Allgemeines	25			
9.3.2	Bemessung der Entwässerungsanlagen	25			
9.3.3	Bauliche Ausbildung des Bergwasserdränagesystems	25			
9.3.4	Bauliche Ausbildung der Längsentwässerungsleitungen	26			
9.3.5	Hebe- und Gewässerschutzanlagen	26			
10 Baulicher Brandschutz.....	26				
10.1	Allgemeines	26			
10.2	Thermische Einwirkungen	26			
10.3	Brandschutzmaßnahmen für die Konstruktion	26			
10.3.1	Allgemeines	26			
10.3.2	Konstruktive Maßnahmen.....	26			
10.4	Brandschutzmaßnahmen für den Innenausbau	27			

1 Allgemeines

1.1 Grundsätzliches

(1) Der Teil 5 Abschnitt 1 gilt nur in Verbindung mit dem Teil 1 Allgemeines.

(2) Für die Planung von Straßentunneln sind die Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln (RABT) zu beachten.

1.2 Geltungsbereich

(1) Dieser Abschnitt gilt für die bautechnische Ausführung neuer sowie für die Erhaltung bestehender Straßentunnel. Es werden Regelungen für Tunnel in geschlossener Bauweise behandelt, die in Spritzbetonbauweise erstellt werden.

(2) Für die Herstellung von kleinen Querschnitten sind die Regelungen sinngemäß anzuwenden.

1.3 Begriffsbestimmungen

(1) Unter einer wasserundurchlässigen Betonkonstruktion (WUB-KO) wird ein Tunnel- oder Trogbauwerk aus Beton mit hohem Wassereindringwiderstand verstanden, bei dem die Betonkonstruktion die lastabtragende Funktion und die Abdichtung übernimmt.

(2) Zusätzlich gelten die Begriffsbestimmungen aus den einschlägigen DIN-Normen. Ausführliche Begriffsbestimmungen enthalten die DIN 1076 und die ASB-ING.

1.4 Anforderungen an die Beteiligten

(1) Mit der Vorerkundung, Planung, Berechnung, Prüfung, Herstellung und Erhaltung dürfen nur solche Personen verantwortlich betraut werden, die umfassende Fachkenntnisse und praktische Erfahrung im Tunnelbau nachweisen können.

(2) Zur Bauleitung und Arbeitsaufsicht dürfen nur Führungskräfte eingesetzt werden, die bereits bei entsprechenden Tunnelbauarbeiten nachweislich tätig waren und umfassende Kenntnis für die ordnungsgemäße Ausführung derartiger Arbeiten besitzen. Beide haben durch nachprüfbar Referenzen nachzuweisen, dass sie in den letzten fünf Jahren umfangreiche Erfahrungen bei vergleichbaren Bauleistungen gesammelt haben.

2 Geotechnische Untersuchungen

2.1 Allgemeines

(1) Es gelten DIN EN 1997-1:2009-09, DIN EN 1997-2, DIN 1054 und DIN 4020.

(2) Die Gebirgserkundung umfasst das Beschaffen aller geologischen und geotechnischen Informationen und Kenntnisse über das Gebirge, in dem ein Tunnel geplant und gebaut wird.

(3) Tunnel sind in der Regel der geotechnischen Kategorie 3 nach DIN 1054 zuzuordnen. Darüber hinaus können ergänzende Untersuchungen erforderlich sein. Insbesondere bei Tunneln mit Bergwasserdränagesystemen sind chemische Wasseranalysen mit Einbeziehung versinterungsrelevanter Messgrößen nach den Vorgaben der Richtlinie für Bergwasserdränagesysteme von Straßentunneln (RI-BWD-TU) durchzuführen.

(4) Die Gebirgserkundung beginnt mit den allgemeinen regional-geologischen Informationen und führt schrittweise hin zu den speziellen Untersuchungen im unmittelbaren Baubereich des Tunnels. Die Ergebnisse der aktuellen Untersuchung dienen als Grundlage für die folgenden und für die fachliche Bestätigung oder Korrektur vorhergehender Untersuchungsschritte.

(5) Für die Abfolge der Untersuchungen ist nachstehende Vorgehensweise zweckmäßig:

- Zunächst sind die allgemeinen Informationen auszuwerten. Aus der Auswertung ergeben sich die geologischen und hydrogeologischen Rahmenbedingungen des Baubereiches als Grundlagen für die Festlegung der Aufschlussverfahren.
- Durch die direkten meist stichprobenhaften Aufschlussverfahren werden die Aussagen der allgemeinen Informationen überprüft und der geologische Aufbau im unmittelbaren Baubereich erkundet.
- Die indirekten Verfahren werden in die vorbeschriebenen Erkundungen eingefügt, um die Ergebnisse der direkten Verfahren zu ergänzen.

(6) Die geotechnischen Untersuchungen werden in der Regel wie folgt gegliedert:

- Untersuchungen in der Planungsphase,
- baubegleitende Untersuchungen und
- Untersuchungen nach Fertigstellung.

2.2 Untersuchungen in der Planungsphase

2.2.1 Allgemeines

Durch Voruntersuchungen ist zu prüfen, ob das geplante Bauvorhaben an dem vorgesehenen Standort unter Beachtung der geotechnischen und wirtschaftlichen Belange durchführbar ist. Durch weitere Untersuchungen sind anschließend die Gebirgsverhältnisse näher zu erkunden. Die Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen sind in einem geotechnischen Bericht nach DIN 4020 auszuwerten und zusammenzustellen. Darauf aufbauend ist der tunnelbautechnische Bericht zu erstellen.

2.2.2 Untersuchungsschritte

(1) Die Untersuchungen in der Planungsphase umfassen folgende Schritte:

- regional-geologische Untersuchungen,
- objektnahe Untersuchungen und
- Untersuchungen im Trassenbereich.

(2) Die regional-geologischen Untersuchungen geben einen übersichtlichen Einblick in die geologische und die geotechnische Situation des weiteren Baubereichs. Hierzu verhelfen die Auswertungen von geologischen Karten und deren Erläuterungen, von hydrologischen Karten, von Luftbildern sowie die morphologische Interpretation und die Auswertung von Erfahrungen über nahe gelegene und ähnliche Bauwerke.

(3) Die Empfehlungen zu Schutzmaßnahmen bei Tunnelvortrieben in asbestbelasteten Gesteinen des Deutschen Ausschusses für Unterirdisches Bauen (DAUB) sind zu beachten.

(4) Die objektnahen Untersuchungen sind Erkundungen in unmittelbarer Nähe des geplanten Bauwerks. Zu ihnen gehören die Aufnahme und Beurteilung aller im näheren Objektbereich zugänglichen geologischen und hydrogeologischen Aufschlüsse wie Einschnitte, Geländesprünge, Baugruben, Steinbrüche, Erosionsrinnen, Quellen, Wasserläufe, Sumpfstellen, Versickerungsbereiche, gegebenenfalls vorhandene Pegel und Karsterscheinungen.

(5) Die Untersuchungen im Trassenbereich des Tunnels erfolgen durch Kernbohrungen, orientierte Bohrungen und Bohrlochsondierungen, geophysikalische Untersuchungen sowie gebirgs- und gesteinsphysikalische Untersuchungen als Grundlage für Standsicherheitsnachweise. In Bereichen, in denen Grundwasser zu erwarten ist, sind Kernbohrungen frühzeitig zu Grundwassermessstellen für

die Erkundung der Bergwassersituation auszubauen. In Sonderfällen kann das Auffahren eines Probestollens zweckmäßig sein.

2.2.3 Geotechnischer / Tunnelbautechnischer Bericht

(1) Der geotechnische Bericht nach DIN 4020 in Verbindung mit dem tunnelbautechnischen Bericht bildet die Grundlage für die Planung, die Ausschreibung und die Bauausführung des Tunnels. In ihm werden die Untersuchungsergebnisse zusammengestellt und bewertet sowie Annahmen und Empfehlungen dargestellt. Über die gesamte Tunnellänge hinweg sind Bereiche gleichbleibender Gebirgscharakteristik festzulegen. Die hierfür gewählten geologischen Entscheidungskriterien sind zu erläutern.

(2) Der tunnelbautechnische Bericht bewertet den Baugrund in tunnelbautechnischer Hinsicht. Hierzu gehören im Wesentlichen Angaben zu möglichen Vortriebsverfahren, die Definition von Vortriebsklassen und mechanischen Gebirgsmodellen mit Bezug auf die Homogenbereiche, Hinweise auf zweckmäßige Berechnungsmodelle einschließlich entsprechender charakteristischer Baugrundkennwerte, und Angaben zu den hydrologischen Verhältnissen beim Vortrieb.

(3) Wegen der überwiegend stichprobenhaften geotechnischen Untersuchungen im Tunnelbau sind die für das ingenieurgeologische Gesamtbild vorgenommenen Extra- und Interpolationen, statistischen Ansätze, Korrelationen und Vereinfachungen zu erläutern und zu begründen. In der Regel ist die Angabe von wahrscheinlichen und möglichen Kenngrößen erforderlich. Zur Festlegung von Rechenwerten sind die charakteristischen Werte anzugeben.

(4) Die Streuung der Ergebnisse bei physikalischen Untersuchungen ist anzugeben. Werden Erfahrungswerte aus ähnlichen Baumaßnahmen übernommen, sind sie hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit zu prüfen und gegebenenfalls mit einem Sicherheitszuschlag zu versehen.

(5) Zur Festlegung der Bemessungswasserstände sind die charakteristischen Werte der Wasserstände und ggf. die zugehörigen Wasserstandsganglinien anzugeben. Auf vorhandene Grundwasserströmungen und auf mögliche Veränderungen des Grundwasserhaushalts und der Grundwasserströme während der Herstellung und der Nutzung des Tunnels ist hinzuweisen. Darüber hinaus ist die Beschaffenheit des Grundwassers anzugeben.

2.3 Baubegleitende Untersuchungen

2.3.1 Geologische Kartierung

(1) Der Tunnel wird während des Vortriebs vom Auftraggeber ingenieurgeologisch kartiert. Bei Bedarf kann der Auftragnehmer in die Ergebnisse der geologischen Kartierung Einsicht nehmen. Die Kartierung muss mindestens die geologische Beschreibung des durchörterten Gebirges, die Darstellung der Tektonik und die Aufnahme der hydrogeologischen Verhältnisse enthalten.

(2) Die Kartierung ist dem Baufortschritt anzupassen. Sie bildet die Grundlage der ingenieurgeologischen Dokumentation.

(3) Der Auftragnehmer hat die Kartierungsarbeiten im Rahmen des Bauablaufs zu dulden.

2.3.2 Geotechnische Messungen

(1) Neben der laufenden Bauvermessung des Tunnels sind bei der Bauausführung zusätzliche Messungen zur Kontrolle der Standsicherheit, zur Erfassung eventueller Geländeverformungen und zur Registrierung von Einwirkungen auf benachbarte Bauwerke und die Umwelt erforderlich (siehe Nr. 3.4).

(2) Zu den Messungen unter Tage zählen u.a.

- Konvergenzmessungen zur Feststellung von Abstandsänderungen zwischen Festpunkten durch Längenmessungen oder durch geodätische Vermessung von Festpunkten im Tunnelquerschnitt nach Lage und Höhe,
- Inklinometermessungen,
- Extensometermessungen und
- Messungen der Kontaktspannungen zwischen Ausbau und Gebirge sowie der tangentialen Spannungen im Ausbau und Ankerkraftmessungen.

(3) Messungen über Tage sind u.a. Extensometermessungen und geodätische Kontrollen zur Erfassung von Oberflächenveränderungen.

(4) In Sonderfällen können Ultraschallmessungen, seismische Messungen zur Feststellung von Auflockerungszonen, in situ-Spannungsmessungen, Messungen des Wasserdrucks im Gebirge und des Druckes zwischen Gebirge und Ausbau vorgenommen werden.

2.4 Untersuchungen nach Fertigstellung

Geotechnische Untersuchungen nach der Bauertigstellung können erforderlich werden, wenn nachträgliche Veränderungen der geologisch-

hydrologischen Verhältnisse oder der Interaktion von Gebirge und Ausbau zu erwarten sind; Pegel oder sonstige Messeinrichtungen sind dann so auszubilden, dass die Funktionsfähigkeit und Zugänglichkeit auf Dauer gewährleistet sind.

3 Standsicherheitsnachweise

3.1 Allgemeines

(1) Grundlagen für die Standsicherheitsnachweise sind die planerischen Randbedingungen und der geotechnische Bericht nach DIN 4020 in Verbindung mit dem tunnelbautechnischen Bericht. Die Standsicherheitsnachweise sind die Basis für die Festlegung der Tunnelkonstruktion und für die Wahl der Bauverfahren.

(2) Die Standsicherheitsnachweise umfassen die Festlegung der Einwirkungen des gebirgsmechanischen Modells, die Wahl der Berechnungsverfahren und die Nachweise mit Festlegung des Sicherheitskonzeptes. Durch Messungen und deren Interpretation während der Bauausführung müssen die Standsicherheitsnachweise gegebenenfalls ergänzt werden.

(3) Die Standsicherheitsnachweise müssen vollständige Angaben für die zu untersuchenden Bau- und Endzustände in übersichtlicher und prüfbarer Form enthalten, und zwar bezüglich der

- Geometrie des Bauwerks,
- Gebirgskenngrößen,
- Ansätze für den primären Spannungszustand,
- Einwirkungen,
- Vortriebsverfahren und Bauzustände,
- Berechnungsmodelle,
- Baustoffe / Baustoffkennwerte,
- Beanspruchung des Gebirges im hohlraumnahen Bereich,
- Beanspruchung aller tragenden Teile des Ausbaus mit Nachweis der ausreichenden Sicherheit,
- Verformungen des Ausbaus,
- Verformungen des Gebirges bis zur Geländeoberfläche, soweit diese für die Standsicherheit und Gebrauchsfähigkeit des Tunnels und der Bebauung an der Geländeoberfläche von Bedeutung sind und
- Einzelnachweise für alle tragenden Teile, Bauwerksfugen und konstruktiven Details.

3.2 Einwirkungen

3.2.1 Ständige Lasten

3.2.1.1 Eigenlasten

Als Eigenlast gilt das Eigengewicht des Ausbaus. Für den Bauzustand ist dies die Spritzbetonschale, für den Endzustand sind dies alle Bauteile ohne die Spritzbetonschale.

3.2.1.2 Wechselwirkungen zwischen Gebirge und Ausbau

Die Wechselwirkungen zwischen Gebirge und Ausbau, welche die Spannungs- und Verformungszustände von Gebirge und Ausbau beim Tunnelbau bestimmen, einschließlich der Einflüsse aus Quellen, Schwellen und Kriechen des Gebirges sowie Einwirkungen aus Erdfallschloten, Karsterscheinungen und Störungszonen, sind hinsichtlich Art und Größe nachvollziehbar herzuleiten und zu begründen.

3.2.1.3 Wasserdruck

(1) Als Wasserdruck sind die Lasten des ruhenden oder strömenden Bergwassers entsprechend dem höchsten zu erwartenden Bergwasserspiegel anzusetzen. Sind mehrere Bergwasserstockwerke vorhanden oder weist das Bergwasser infolge der Strömung ein Potentialgefälle auf, kann bei entsprechendem Nachweis mit einem geringeren Wasserdruck gerechnet werden.

(2) Bei zweischaligem Ausbau ist für die Innenschale auch der Fall zu untersuchen, dass neben dem Eigengewicht nur Wasserdruck wirkt.

(3) Der Bergwasserdruck darf nur dann unberücksichtigt bleiben, wenn Entspannungsmaßnahmen (Dränagen) durchgeführt werden, deren dauernde Wirksamkeit gewährleistet ist. Grundsätzlich ist auch der Lastfall „ohne Bergwasser“ zu untersuchen.

3.2.1.4 Lasten aus Vorspannmaßnahmen

Lasten aus vorgespannten Ankern, vorgespannten Verbindungen oder aus gegen das Gebirge vorgespanntem Ausbau sind zu berücksichtigen, soweit sie von wesentlichem Einfluss sind.

3.2.1.5 Einwirkungen aus Schwinden und Kriechen

Einwirkungen aus Schwinden und Kriechen des Ausbaues sind nach DIN EN 1992-2 zu berücksichtigen, wenn sie ungünstig wirken.

3.2.1.6 Dauernd wirkende Lasten auf der Geländeoberfläche

Dauernd wirkende Lasten auf der Geländeoberfläche sind zu berücksichtigen. Hierzu zählen auch dauernd wirkende Lasten aus vorhersehbaren Veränderungen an der Geländeoberfläche.

3.2.1.7 Einwirkungen aus benachbarten Hohlräumen

Einwirkungen aus benachbarten Hohlräumen sind sowohl für alle Bauzustände als auch für den Endzustand zu berücksichtigen. Hierzu zählen auch Einflüsse aus der beabsichtigten späteren Herstellung benachbarter Hohlräume und aus dem Bergbau.

3.2.2 Veränderliche Lasten

3.2.2.1 Verkehrslasten

(1) Als Verkehrslasten aus Verkehrswegen im und über dem Tunnel sind die Lastannahmen nach DIN EN 1991-2 anzusetzen.

(2) *Die Verkehrslasten durch zivile oder militärische Fahrzeuge auf der Geländeoberfläche außerhalb von Verkehrswegen sind in Abstimmung mit den zuständigen Stellen festzulegen und in der Leistungsbeschreibung anzugeben.*

(3) Für begehbare Teile von Tunneln wie z.B. Podeste und Treppen ist eine Verkehrslast von 5 kN/m^2 anzusetzen. Für Lüftungskanäle ist eine Verkehrslast von 1 kN/m^2 bzw. $P = 1 \text{ kN}$ (Mannlast) anzusetzen.

(4) *Es ist für jeden Einzelfall zu prüfen, ob höhere Lasten wie z.B. durch Betriebszustände auftreten können. Dies gilt insbesondere für technische Betriebsräume und Zwischendecken. Die höheren Verkehrslasten sind in der Leistungsbeschreibung anzugeben.*

(5) Ersatzlasten für den Anprall von Fahrzeugen sind nach DIN EN 1991-2 anzusetzen.

3.2.2.2 Temperatureinwirkungen

(1) Für die Innenschale von Straßentunneln sind den Berechnungen die Werte gemäß Bild 5.1.1 zugrunde zu legen.

(2) *Besondere Bauwerksverhältnisse oder Bauzustände können genauere Ansätze der Temperaturen erfordern. Diese sind in der Leistungsbeschreibung anzugeben.*

(3) Der Temperaturverlauf im Querschnitt ist linear anzunehmen. Es ist eine Temperaturdifferenz von 10 K rechnerisch anzusetzen.

3.2.3 Sonstige Lasten

(1) Zu den vorübergehenden Belastungen während der Bauzeit gehören die zeitweilig wirkenden Lasten aus Baugeräten, Rüstungen, Baustoffen und Bauwerksteilen sowie die Einpressdrücke bei Verpressungen.

(2) Für Tunnel mit einem lichten Querschnitt von 50 m² und mehr sind die Bekleidungen für die Einwirkungen aus Druck und Sog mit 0,5 kN/m² zu bemessen. Bei Tunneln mit geringerem Querschnitt erhöht sich der Sog. Bei einem lichten Querschnitt von 43 m² und weniger beträgt er 0,8 kN/m². Zwischenwerte sind linear zu interpolieren.

(3) Für Brandeinwirkungen gilt Nr. 10.

3.3 Nachweise und Bemessung

3.3.1 Allgemeines

(1) Für die Standsicherheitsnachweise werden Baugrund, Bauwerk und Bauvorhaben modellhaft vereinfacht, damit eine rechnerische Behandlung möglich wird. Es werden mechanische Gebirgsmodelle und Berechnungsmodelle festgelegt. Die Nachweise werden unter Berücksichtigung des Sicherheitskonzeptes durchgeführt.

(2) Beim Bau werden Messungen ausgeführt, die u.a. die Kontrolle der gewählten Ansätze ermöglichen.

(3) Die Standsicherheit ergibt sich aus der Wechselwirkung von Bauwerk und Baugrund und ist insbesondere beeinflusst durch die Bauverfahren. Die Zusammenhänge mit einer großen Anzahl von linear und nichtlinear wirkenden Einflussfaktoren sowie die Unsicherheiten in der Festlegung der Einflussgrößen führen dazu, dass bei Tunnelbauten iterativen Korrekturprozessen besondere Bedeutung zukommt.

(4) Für die Standsicherheitsnachweise ist die Untersuchung von Grenzzuständen der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit notwendig. Für die Bemessung und für die Nachweise von Bauteilen aus Stahlbeton gelten DIN EN 1992-2.

(5) Der endgültige Ausbau ist für die ständige Bemessungssituation (BS-P), die vorübergehende Bemessungssituation (BS-T) und für die außergewöhnliche Bemessungssituation (BS-A) zu bemessen.

(6) Die Spritzbetonaußenschale ist nur für die Bemessungssituationen BS-P und BS-T zu bemessen. Für kurz dauernde Bauzustände bis zu wenigen Tagen ist eine Bemessung ausschließlich für die Bemessungssituation BS-T zulässig.

3.3.2 Mechanisches Gebirgsmodell und Berechnungsmodell

(1) Aufgrund der geotechnischen Untersuchungen sind die mechanisch wirksamen Einflussgrößen herauszuarbeiten und modellhaft festzulegen. Das mechanische Gebirgsmodell muss bereits die Möglichkeiten zur Umsetzung in ein Berechnungsmodell berücksichtigen.

(2) Elemente des mechanischen Gebirgsmodells sind u.a.:

- struktureller Aufbau, Schichtung, Stratigraphie,
- Verformbarkeit und Festigkeit des Gebirges,
- Primärspannungen,
- Wasserstände und Durchlässigkeit des Gebirges,
- besondere Einwirkungen wie Quellen, unterirdische Erosion, Bergsenkungen und
- Einwirkungen aus Baugrundverbesserungen wie Injektionen, Gefrieren, Dränage.

(3) Die einzelnen Gebirgsmodelle sind jeweils nur für einen Bereich mit gleichbleibender Gebirgscharakteristik (Homogenbereich) gültig.

(4) Für die statische Bearbeitung sind in der Regel modellhafte Vereinfachungen erforderlich. Diese Vereinfachungen sind hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Standsicherheitsnachweise zu prüfen.

(5) Für den Standsicherheitsnachweis stehen verschiedene Berechnungsansätze zur Verfügung, die sich darin unterscheiden, wie im Verbundsystem das Tragverhalten des Gebirges und des Ausbaus idealisiert wird.

(6) Die Berechnungsmodelle müssen, angepasst an den jeweiligen Einzelfall,

- den primären Spannungszustand,
- das mechanische Gebirgsmodell,
- die eintretende Teilentspannung des Gebirges,
- die räumliche und zeitliche Abfolge der Ausbruchs- und Sicherungsphasen,
- die Wirkung der Ausbaumittel und
- die Art des Verbundes zwischen Ausbau und Gebirge

berücksichtigen.

(7) Es sind Berechnungsmodelle zu wählen, die dem tatsächlichen Tragverhalten des Verbundsystems aus Gebirge und Ausbau möglichst gut entsprechen. Das im Einzelfall angewandte Rechenmodell ist zu begründen und zu erläutern.

(8) Aufgrund der Erfahrungen und der Messungen, die während der Bauzeit durchgeführt wer-

den, sind das gewählte mechanische Gebirgsmodell und das Berechnungsmodell zu überprüfen und ggf. zu ändern.

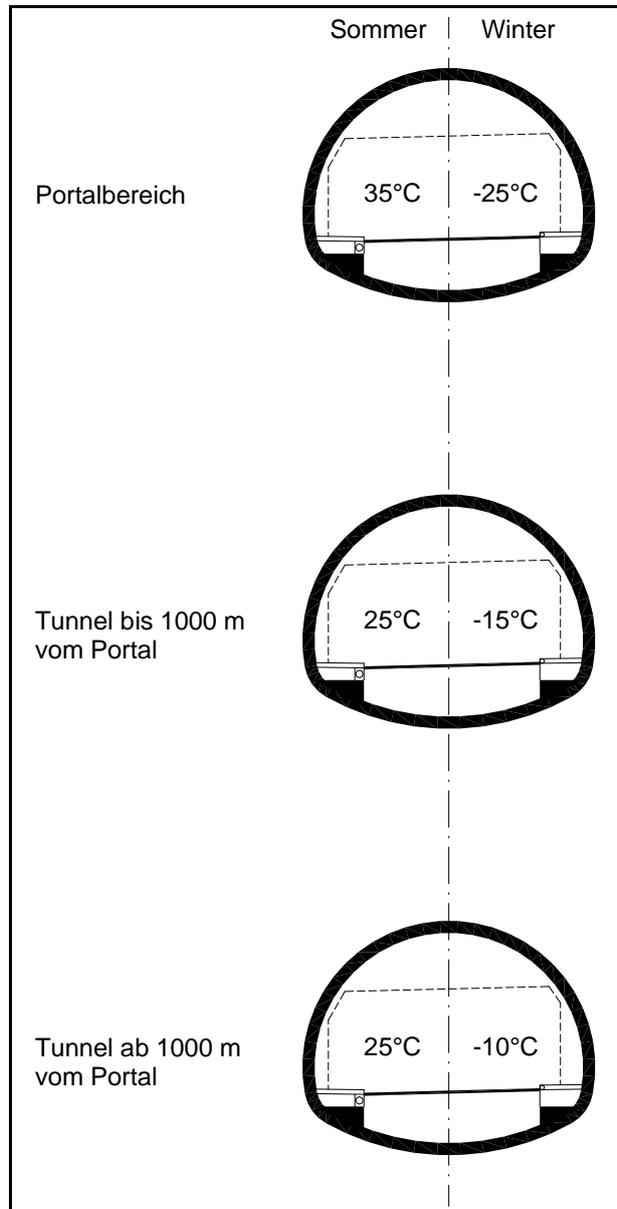


Bild 5.1.1: Temperaturen an den inneren Bauteiloberflächen bzw. Straßenoberflächen

(9) Für das mechanische Gebirgsmodell und das Berechnungsmodell sind Rahmenbedingungen in der Leistungsbeschreibung vorzugeben, die u.a.:

- die zulässige Näherung für die Stoffgesetze des Gebirges und des Ausbaus (lineares oder nicht-lineares Spannungs-Verformungs-Verhalten bis zum Bruch, Bruchkriterien, Fließregeln, Zeitabhängigkeit),
- die Näherung für die Berücksichtigung von Inhomogenitäten, Anisotropien, Störungen des Trennflächengefüges (quasi-homogenes Kontinuum, explizite Nachbildung),

- die zulässige Näherung für die Untersuchung der Ortsbrust sowie der Ausbruchs- und Ausbaustände (dreidimensionale oder ebene Modelle, Berücksichtigung der Ortsbrustentspannung, Differenzierung der Bauzustände) und
- die Berücksichtigung komplizierter Geometrien beinhalten.

3.3.3 Grenzzustand der Tragfähigkeit

(1) Die nichtlinearen Abhängigkeiten erfordern Nachweise, bei denen die Bandbreiten der in die Rechnung eingehenden Ansätze wie z.B. für den Primärzustand, die Gebirgskennwerte, die Einwirkungen und die Werkstofffestigkeiten von Anfang an zu berücksichtigen sind.

(2) Mit einer vorangehenden Parameteranalyse ist zu ermitteln, wie stark die Versagenskriterien auf Änderung der einzelnen Einflussgrößen reagieren. Zu den Einflussgrößen gehören auch das Berechnungsverfahren selbst und das mechanische Gebirgsmodell.

(3) Die Festlegung der maßgebenden Parameter erfolgt gemeinsam durch den Auftraggeber und Auftragnehmer.

(4) Die Ergebnisse der Berechnungen sind zu ergänzen durch gesamtheitliche Sicherheitsbetrachtungen, die mindestens

- die Güte und Dichte der ingenieurgeologischen und felsmechanischen Untersuchungen,
- die Realitätsnähe der angesetzten oder aus der Auswertung von Labor- und Feldmessungen bestimmten Stoffwerte des Gebirges,
- die Wahl des Berechnungsmodells, die Simulationsgenauigkeit der Ausbruchs- und Ausbauphasen,
- die im Berechnungsverfahren enthaltenen Annahmen,
- die Aussagekraft der Kriterien, auf die die rechnerische Sicherheit bezogen wird (z.B. Spannungen, Verformungen oder Bruchgrenzfälle),
- die Aussagekraft der messtechnischen Überwachung und
- eine kurzfristige Anpassungsfähigkeit der gewählten Bauverfahren berücksichtigen müssen.

(5) Zusätzlich zu dem Gesamtnachweis des Tragsystems Gebirge, Sicherung und Innenschale werden, von der jeweiligen Situation abhängig, unter anderem folgende Einzelnachweise erforderlich:

- Nachweis der Standsicherheit der Ortsbrust,

- Nachweis der freien Stützweite hinter der Ortsbrust,
- Nachweis der Schalenlängskraftaufnahme im Kalotten- und Strossenfußbereich,
- Nachweis der Ausbaubögen, auch in Verbindung mit Vorpfändlanzen, Verzugsdielen oder Rohrschirmen,
- Nachweis der Anker (Tragkraft, Länge, Anzahl),
- Grundbruchnachweise (Grundbruch zur Geländeoberfläche, Grundbruch am Kalottenfuß),
- Gleitkeilnachweise und
- Abschätzung der Verformung im Gebirge, ggf. an der Geländeoberfläche.

(6) Bei stärker verformbaren Tunnelwandungen sind die Verschiebungen in den Gleichgewichtsbedingungen zu berücksichtigen.

(7) Für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind ungünstige Einwirkungen aus Temperatur mit den Kombinationsbeiwerten nach DIN EN 1991-2 zu multiplizieren. Abweichend von DIN EN 1991-2 sind die Temperatureinwirkungen mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma = 1,0$ anzusetzen.

3.3.4 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

3.3.4.1 Allgemeines

(1) Die ständigen Lasten sind mit ihren charakteristischen Werten anzusetzen.

(2) Die veränderlichen Einwirkungen aus Verkehr sind für die häufige Kombination mit den Kombinationsbeiwerten gemäß DIN EN 1990 für den häufig wirkenden Lastanteil zu multiplizieren.

(3) *In Sonderfällen, in denen die Verkehrslast mit großer Wahrscheinlichkeit in voller Höhe auftritt, ist der Kombinationsbeiwert in der Leistungsbeschreibung festzulegen.*

(4) *Für die Einhaltung der zu ermittelnden rechnerischen Rissbreite ist der Einbau der errechneten Bewehrung nur eine Bedingung. Genauso wichtig sind konstruktive Maßnahmen wie z.B. die Vermeidung großer Querschnittsänderungen, beton-technologische Maßnahmen, z.B. Wahl des Zementes sowie der Betonrezeptur und bautechnische Maßnahmen wie z.B. der Betoneinbau einschließlich der Nachbehandlung.*

3.3.4.2 Rissverhalten infolge Einwirkungen aus Zwang

(1) Sofern für die Zwangsbeanspruchung aus Temperatureinwirkungen kein genauerer Nachweis geführt wird, ist

- bei der Berechnung mit Steifigkeiten im Zustand II mit $\psi_2 = 1,0$ oder

- bei der Berechnung mit Steifigkeiten im Zustand I mit $\psi_2 = 0,5$

zu rechnen.

(2) Sonderlasten wie z.B. Temperaturbeanspruchungen im Brandfall, Beanspruchungen aus kurzzeitigen unplanmäßigen Überflutungen sind für die Rissbreitenbeschränkung nicht zu berücksichtigen.

3.3.4.3 Stahlspannung im Rissquerschnitt

(1) Die Stahlspannung im Rissquerschnitt ist mit der häufigen Lastfallkombination gemäß DIN EN 1991-2 zu ermitteln.

(2) Bei nichtlinearen Berechnungen sind die Lasten aus den Einwirkungen zu überlagern und als Kombinationslastfall auf das statische System anzusetzen.

3.3.4.4 Nachweise der Rissbreite

(1) Der Rechenwert der Rissbreite ist nach DIN EN 1992-2 zu ermitteln.

(2) Der Rechenwert für die zulässige Rissbreite beträgt 0,20 mm.

(3) Bei WUB-KO beträgt der Rechenwert für die zulässige Rissbreite bergseits grundsätzlich 0,15 mm.

(4) Der Nachweis der Rissbreitenbeschränkung aus Lastfall Zwang infolge abschnittsweiser Herstellung und abfließender Hydratationswärme ist nach DIN EN 1992-2 zu führen.

3.4 Messungen während der Bauausführung

3.4.1 Messtechnische Überwachung

(1) Zur Kontrolle der Standsicherheit des Tunnels, benachbarter Bauwerke und der Verformungen an der Geländeoberfläche sind vortriebsbegleitende Messungen am Bauwerk und in dessen Umgebung durchzuführen. An benachbarten Bauwerken sind Erschütterungsmessungen und Setzungsmessungen durchzuführen.

(2) *Das zur Kontrolle der Standsicherheit erforderliche Messprogramm ist in der Leistungsbeschreibung vorzusehen. Die Planung des Messprogramms soll unter Beachtung der ingenieur-geologischen, boden- und felsmechanischen sowie tunnelbautechnischen und baubetrieblichen Bedingungen erfolgen.*

(3) *Zur Begrenzung unverträglicher Baugrund- und Bauwerksverformungen sind für das obertägi-*

ge Messprogramm Prognose-, Warn- und Alarmwerte in der Leistungsbeschreibung festzulegen.

(4) Beim Vortrieb sind mindestens die Vertikalverschiebungen im First und in den Fußpunkten sowie die absoluten oder relativen Horizontalverschiebungen der Fußpunkte regelmäßig zu messen und zu interpretieren.

(5) Beim Ausbruch von Teilquerschnitten sind die Fußpunktmessungen der Ausbruchgeometrie wie z.B. der Kalotte, der Strosse und der Sohle anzupassen.

(6) Zur Messung der Verschiebungen sind Messgeräte und Verfahren einzusetzen, die eine Messgenauigkeit von ± 1 mm erlauben.

(7) Bei zu erwartenden Sohlhebungen infolge Quellens oder Schwellens sind die Vertikalverschiebungen in der Sohle zusätzlich zu messen.

(8) Für Messeinrichtungen im Sohlbereich sind besondere Schutzeinrichtungen gegen Beschädigungen aus dem Baubetrieb vorzusehen.

(9) Der Einbau der Messeinrichtungen und die Durchführung der Nullmessung sind rechtzeitig mit dem Auftraggeber abzustimmen.

(10) Bei den vortriebsbegleitenden Verschiebungsmessungen an der Tunnelleibung sind die Messstellen unmittelbar hinter der Ortsbrust anzubringen. Die Nullmessung ist noch vor dem jeweils nächsten Abschlag durchzuführen.

(11) Die Messpunkte an der Geländeoberkante sind so rechtzeitig zu installieren, dass die Nullmessung noch keinen Einflüssen des Vortriebs unterliegt.

(12) Die im Messprogramm geplanten Abstände der Messquerschnitte in Tunnellängsrichtung und die Messintervalle sind den Erfahrungen beim Vortrieb anzupassen. Insbesondere ist bei ungünstigen Gebirgsverhältnissen sowie bei kritischen Unterfahrungen von bestehenden Bauwerken und Verkehrswegen der Abstand der Messquerschnitte zu verringern und die Anzahl der Messungen zu erhöhen.

(13) Die Messdaten sind unverzüglich auszuwerten und dem Auftraggeber vorzulegen.

(14) Die Messergebnisse sind auch graphisch darzustellen und auf die wichtigsten Daten zu beschränken.

(15) Messergebnisse von Verschiebungen an der Tunnelleibung sind auch in Abhängigkeit vom Ortsbrustabstand darzustellen.

3.4.2 Überprüfung der Standsicherheitsnachweise

(1) Die den Vortrieb begleitenden in situ-Messungen sind zu interpretieren und mit den Ergebnissen der Standsicherheitsnachweise zu vergleichen, um den Ausbruchvorgang und die Bemessung der Stützmaßnahmen laufend an die gegebenen Verhältnisse anpassen zu können. Bei der Interpretation der Messergebnisse sind der Zeitpunkt der Nullmessung und der Abstand des Messpunktes von der Ortsbrust bei der Nullmessung zu beachten.

(2) Weichen die Ergebnisse der in situ-Messungen erheblich von den prognostizierten Werten der Standsicherheitsnachweise ab, sind weitere felsmechanische Untersuchungen und Berechnungen durchzuführen und / oder das mechanische Gebirgsmodell bzw. das Berechnungsmodell anzupassen.

(3) Weisen große oder nicht abklingende Verformungen darauf hin, dass die Standsicherheit des vorläufigen Ausbaues gefährdet ist, sind unverzüglich zusätzliche Maßnahmen zur Erhaltung der Standsicherheit zu ergreifen.

4 Baubegleitende Maßnahmen

4.1 Allgemeines

An die Vorbereitung und den Betrieb einer Tunnelbaustelle sind die gleichen Anforderungen wie bei jeder anderen Baumaßnahme des Konstruktiven Ingenieurbaus zu stellen. Aufgrund der Bedingungen bei der Bauausführung (Bauen unter Tage) und des Ablaufes der Bauarbeiten (Wochen-, Dekaden- oder Durchlaufbetrieb) sind jedoch zusätzlich einige Besonderheiten zu beachten. Diese betreffen u.a. Vorkehrungen zur Vermeidung von Schäden an benachbarter Bebauung, Auflagen zur Reduzierung der Beeinträchtigungen von Anliegern und besondere Maßnahmen zum Schutz des auf der Baustelle eingesetzten Personals.

4.2 Zustandserfassung und Beweissicherung

(1) *Befinden sich Gebäude und sonstige Anlagen im Einflussbereich der Baumaßnahme, ist vor Beginn der Bauarbeiten eine Zustandserfassung und Beweissicherung durchzuführen. Art und Umfang sind in der Leistungsbeschreibung vorzusehen.*

(2) Ist der Auftragnehmer mit der Zustandserfassung und Beweissicherung beauftragt, hat er im Einvernehmen mit dem Auftraggeber einen unabhängigen Bausachverständigen für die Durchführung dieser Maßnahmen einzuschalten. Die Zustandserfassung und die Beweissicherung sind

durch Messungen, Planskizzen, Fotografien und Protokolle, die vom Auftraggeber anerkannt sein müssen, zu dokumentieren.

(3) Die Betroffenen sind vom Auftragnehmer in Abstimmung mit dem Auftraggeber rechtzeitig über die Durchführung der Maßnahmen zur Sicherung von Beweisen zu benachrichtigen. Nach Beendigung der Bauarbeiten ist eine gemeinsame Schlussbesichtigung durchzuführen und zu protokollieren.

4.3 Ausführungsunterlagen

4.3.1 Allgemeines

(1) Der vom Auftragnehmer für die statische und konstruktive Bearbeitung zu benennende Koordinator gemäß Teil 1 Abschnitt 2 Nr. 2.1 hat zusätzlich Erfahrungen im Tunnelbau in den letzten fünf Jahren nachzuweisen.

(2) *Die Ausführungsunterlagen sind zusätzlich in tunnelbautechnischer Hinsicht zu prüfen. Hierbei ist auch die geplante betriebstechnische Ausstattung zu berücksichtigen.*

4.3.2 Tunnelbauspezifische Ausführungsunterlagen

Es sind mindestens folgende tunnelbauspezifischen Ausführungsunterlagen zu liefern:

- Voreinschnitt- und Tunnelanschlagpläne,
- Pläne für Ausbruch und Sicherung,
- Pläne für die Blockeinteilung der Innenschale,
- Schalwagenplan mit Angabe der Arbeitsfugen,
- Pläne für Regel- und Sonderquerschnitte (z.B. unterirdische Betriebsräume, Haltebuchten und Portalbereiche),
- Pläne über bauliche Vorkehrungen für Betriebseinrichtungen,
- Abdichtungspläne mit Darstellung der Details für die Lage der Fügenähte in Arbeits- und Blockfugen, bei komplexen Geometrien, wie z.B. Nischen oder Querschlaganschlüssen mit Darstellung der Verschneidungsbereiche und der KDB-Nahtführung,
- Pläne für Injektions- / Nachverpresseinrichtungen (bei wasserdruckhaltender Abdichtung mit dreidimensionaler Darstellung) und
- das geotechnische Messprogramm.

4.3.3 Bauablaufplan

(1) Zusammen mit dem Angebot ist ein Bauablaufplan abzugeben. Dieser Plan muss mindestens

folgende Angaben enthalten:

- Art und zeitliche Reihenfolge der Bauarbeiten innerhalb der vom Auftraggeber gesetzten Fristen,
- Dauer der einzelnen Arbeitsschritte,
- Angaben über die Bauleistungen sowie den Ort der jeweiligen Leistung,
- mittlere kalkulierte Vortriebsleistung in den verschiedenen Vortriebsklassen,
- Anzahl der vorgesehenen Arbeitskräfte und Geräte bezogen auf die Leistungsphasen und
- Finanzbedarf im Verlauf der Bauzeit.

(2) Der Bauablaufplan ist gemäß dem aktuellen Bauablauf fortzuschreiben.

4.3.4 Baustelleneinrichtungsplan

Der Auftragnehmer hat dem Auftraggeber vor Baubeginn einen Baustelleneinrichtungsplan zur Zustimmung vorzulegen. In diesem Plan sind mindestens darzustellen:

- die gesamte Baustelleneinrichtung wie Lager, Werkstätten, Unterkünfte, sanitäre Anlagen,
- die Baustellenver- und entsorgungsanlagen einschließlich Absetzbecken und ggf. Neutralisationsanlage sowie Anlagen zur Wasserhaltung,
- Sprengstofflager bzw. Sprengstoffbunker,
- Zwischenlager für Ausbruchmaterial sowie ggf. Aufbereitungs- und / oder Betonmischanlage und
- Zuwegungen und Baustraßen innerhalb sowie außerhalb der Baustelle bis zum Anschluss an das bestehende Straßennetz.

4.4 Genehmigungen und Schutzmaßnahmen

(1) Der Auftragnehmer hat alle Genehmigungen, die aus seinem Baubetrieb resultieren, bei den zuständigen Fachbehörden einzuholen.

(2) Zur Einhaltung der zulässigen Grenzwerte sind besondere Schutzmaßnahmen gegen Lärm- und Staubeinwirkungen vorzusehen.

(3) Für Sprengungen im Einflussbereich bebauter Gebiete ist das Bohr- und Ladeschema unter Einschaltung eines vom Auftragnehmer beauftragten, vereidigten Sprengsachverständigen festzulegen.

(4) *Erforderliche Schutzmaßnahmen an Gebäuden und Anlagen wie z.B. Fundamentsicherung,*

Bodenstabilisierung sind in der Leistungsbeschreibung vorzusehen.

5 Baubehelfe, Baustoffe und Bauteile

5.1 Baubehelfe

5.1.1 Schalung

(1) Die Schalung ist so herzustellen, dass unter Berücksichtigung der Verformungen die vorgegebene Geometrie der Innenschale eingehalten wird.

(2) Die Schalung für die Innenschale kann entlang der Tunnelachse polygonzugartig, d.h. auf einer Blocklänge gerade, ausgebildet werden. Die Einhaltung des Lichtraums ist an jeder Stelle sicherzustellen.

(3) Die Stirnfläche ist glatt herzustellen, damit eine Verzahnung mit dem benachbarten Block vermieden wird.

(4) Weitere Anforderungen an die Schalung siehe Nr. 11.2.

5.1.2 Traggerüste und Schalwagen

(1) *Traggerüste und Schalwagen sind als gesonderte Positionen in der Leistungsbeschreibung vorzusehen.*

(2) Traggerüste und Schalwagen sind verformungsarm auszubilden. Schalwagen sind als Stahlkonstruktion auszuführen.

(3) Bei druckwasserhaltenden Tunneln mit KDB-Abdichtung sind für den Sohlbereich und den Gewölbebereich separate Schalwagen vorzusehen.

(4) Traggerüste und Schalwagen sind mit Spindeln oder hydraulischen Pressen auszurüsten. Für den Betoniervorgang müssen diese Vorrichtungen mechanisch blockierbar sein.

(5) Zur Kontrolle der Verformungen und Setzungen während des Betoniervorgangs sind leicht zugängliche Messpunkte in ausreichender Anzahl vorzusehen.

(6) Bei der Standsicherheitsberechnung von Traggerüsten und Schalwagen sind zusätzlich zu DIN EN 12812 folgende Belastungsannahmen zu berücksichtigen:

- Bei der Bestimmung des Frischbetondruckes gemäß Bild 1 der DIN 18218 ist, unabhängig von der vorgegebenen Konsistenz des Betons, von der oberen Linie (Fließbeton) auszugehen.
- Als rechnerische Betonspiegeldifferenz sind 1,50 m anzusetzen.

- Im Gewölbescheitel sowie bereichsweise dort, wo der Beton über Stützen drückend eingepumpt wird, ist der Lastansatz für den Betonierdruck zu erhöhen.

(7) Die Ausführungsunterlagen für die Schalwagen müssen mindestens folgende ergänzende Angaben enthalten:

- Ausbildung der Stirnschalung,
- Ausbildung, Anzahl und Anordnung der Betonierfenster bzw. Betonierstützenart, Anzahl, Anordnung und Leistung der Rüttler, Angabe des maximalen Pumpendruckes beim Scheitelschluss,
- Ausbildung und Anordnung der Nachverpress-einrichtungen,
- Betriebsanweisung zum Aufbau, Absenken, Verfahren und Betonieren,
- Anordnung der Messpunkte und
- Ausbildung und Anordnung einer Überdrucksicherung im Firstbereich, z.B. Klappe mit auf den zulässigen Betonierdruck einstellbarem Kontergewicht.

5.1.3 Nachbehandlungswagen

(1) *Der Nachbehandlungswagen ist als gesonderte Position in der Leistungsbeschreibung vorzusehen (siehe Nr. 7.3.2).*

(2) Der unmittelbar hinter dem Schalwagen nachzuführende klimatisierbare Nachbehandlungswagen ist in drei voneinander unabhängige Kammern, welche jeweils einer Blocklänge entsprechen, zu unterteilen. An den Blockfugen ist der Ringraum der einzelnen Kammern mittels Stirnelementen ausreichend gegen Wärme- und Feuchtigkeitsverlust abzudichten. Im Einzelnen werden folgende Anforderungen gestellt:

- selbsttragende Stahlkonstruktion mit profilgerechter Geometrie entsprechend dem Tunnelquerschnitt,
- Abstand zwischen Betonleibung und Dichtung im Mittel 10 cm, jedoch nicht mehr als 15 cm,
- wärmedämmende, stabile Dichtung, z.B. Schaumstoffplatten, die zusätzlich mit Folie abgedeckt werden,
- Temperatur- und Feuchtemesseinrichtungen an drei Stellen pro Kammer,
- Anordnung einer Wassersprüh- bzw. Bedampfanlage, die kammerweise steuerbar sein muss und

- Anordnung eines automatischen Messwertaufnehmers zur kontinuierlichen Dokumentation der Temperatur und Feuchte.

(1) Die Ergebnisse der Erstprüfungen sind dem Auftraggeber spätestens sechs Wochen vor Betonierbeginn vorzulegen.

5.2 Baustoffe und Bauteile

5.2.1 Konstruktionsbeton

5.2.1.1 Allgemeine Anforderungen

(1) Für die Herstellung, Verarbeitung und Überwachung des Betons gilt Teil 3 Abschnitte 1 und 2.

(2) Die Betonzusammensetzung ist insbesondere auf die Verarbeitbarkeit abzustimmen, die im Hinblick auf die Bauteilabmessungen, die Bewehrungsanordnung, das vorgesehene Betonierverfahren und die Erzielung eines dauerhaften Betons erforderlich ist.

(3) Alle für die Erstellung des Bauwerks vorgesehenen Betonzusammensetzungen sind dem Auftraggeber spätestens sechs Wochen vor Betonierbeginn vorzulegen.

(2) Die Druckfestigkeiten sind zum angestrebten Ausschalzeitpunkt, nach 12, 24 h, nach 3, 7 und 28 d an jeweils drei Betonwürfeln nachzuweisen.

(3) Die Betondruckfestigkeit nach 12 h im Bauwerk darf höchstens 3 N/mm² über der Mindestausschalfestigkeit liegen. Für unterschiedliche Frischbeton- und Umgebungstemperaturen ist daher eine entsprechende Serie geeigneter Betonrezepturen bereitzustellen.

(4) Die Betondruckfestigkeit zum angestrebten Ausschalzeitpunkt ist mit der niedrigsten beim Betonieren vorkommenden Frischbetontemperatur zu ermitteln. Die Ausschalfrieten und die für das Ausschalen erforderlichen Betondruckfestigkeiten sind durch statische Nachweise zu belegen und im Einvernehmen mit dem Auftraggeber festzulegen.

(5) In der Leistungsbeschreibung ist anzugeben, ob nach 56 d die Druckfestigkeit ebenfalls an drei Betonprobewürfeln nachzuweisen ist.

5.2.1.2 Beton für die Tunnelinnenschale

Ergänzend zu Nr. 5.2.1.1 gelten die folgenden Regelungen für die Tunnelröhre selbst, die dazugehörigen Betonbauteile z.B. Zwischendecken, die sonstigen unterirdischen Hohlräume und die in offener Bauweise nach Abschnitt 2 hergestellten Teile der Tunnelröhre einschließlich der Portale:

- Zur Verbesserung des baulichen Brandschutzes der Konstruktion sind das aufgehende Tunnelgewölbe und ggf. vorzusehende Zwischendecken mit Polypropylen-Faserbeton (PP-Faserbeton) entsprechend dem Anhang B auszuführen.
- Zur Verminderung der Zwangsbeanspruchungen ist die Betonzusammensetzung so zu wählen, dass die für das Ausschalen notwendige Frühfestigkeit (Ausschalfestigkeit) sicher erreicht, aber nicht wesentlich überschritten wird.
- Abhängig von der Jahreszeit sind den Witterungsbedingungen entsprechende Betonzusammensetzungen vorzuhalten. Die Betonzusammensetzungen sind so zu wählen, dass beim Abbindevorgang eine möglichst niedrige Temperaturerhöhung im Bauwerk unter Einhaltung der Mindestausschalfestigkeit erzielt wird.
- Die Betonzusammensetzung ist so zu wählen, dass sie ein Betonieren hinter einer Gewölbeschaltung gewährleistet. Dabei ist insbesondere auf Fließigenschaften und Blutungsneigung des Frischbetons zu achten.

5.2.1.4 Überwachung des Betonierens

(1) An den ersten fünf Betonierblöcken sowie nach jeder Änderung der Betonzusammensetzung ist der Temperaturverlauf in verschiedenen Bauteiltiefen während der ersten 36 h zu dokumentieren.

(2) Die Anzahl der Messpunkte und –querschnitte ist in der Leistungsbeschreibung festzulegen.

(3) Die für den Ausschalzeitpunkt festgelegte Mindestbetondruckfestigkeit ist vor jedem Ausschalen nachzuweisen.

(4) Das Ausschalen darf frühestens 12 h nach Einbringen des letzten Betons erfolgen.

5.2.2 Spritzbeton

5.2.2.1 Allgemeine Anforderungen

(1) Es gelten DIN EN 14487 und DIN 18551.

(2) Betonzusatzmittel müssen auf die verwendeten Zemente hinsichtlich der Abbindebeschleunigung und des Festigkeitsverlaufes abgestimmt werden.

(3) Der Alkaligehalt des Spritzbetons ist zu minimieren. Das Gesamt-Na₂O-Äquivalent muss unter 1,5 M.-% bezogen auf die Zementmasse liegen. Es dürfen nur alkalifreie Beschleuniger verwendet werden. Das bedeutet, dass das Na₂O-Äquivalent des Beschleunigers unter 1,0 M.-% bezogen auf den Beschleuniger liegen muss. Auf eine geringe Auslaugbarkeit des Spritzbetons ist zu achten.

5.2.1.3 Erstprüfungen

5.2.2.2 Erstprüfungen

- (1) Vor Beginn der Spritzbetonarbeiten sind Probestflächen unter Baustellenbedingungen anzulegen.
- (2) Die Ergebnisse der Erstprüfungen sind dem Auftraggeber spätestens sechs Wochen vor Beginn der Spritzbetonarbeiten vorzulegen.
- (3) Nachzuweisen ist die Druckfestigkeit des Spritzbetons nach 6, 12 und 24 h sowie nach 3, 7 und 28 d.

5.2.2.3 Überwachung der Spritzbetonarbeiten

- (1) Die Probekörper für die Prüfung der Druckfestigkeit sind am Bauwerk zu entnehmen.
- (2) Zum Nachweis der Frühfestigkeit hat der Auftragnehmer geeignete Prüfgeräte wie z.B. Schussbolzengerät oder Kaindl-Meyco-Gerät an der Baustelle bereitzuhalten.
- (3) Zur Bestimmung der Frühfestigkeit ist über die Forderungen der DIN 18551 hinaus mindestens an einer Serie je 100 m³ des eingebauten Spritzbetonvolumens, mindestens aber alle fünf Betoniertage die Festigkeit zu prüfen.

5.2.3 Beton- und Baustahl

- (1) Betonstahlmatten aus glatten Stäben sind nicht zugelassen. Für Innenschalen sind Betonstahlmatten vorzugsweise als Listmatten, für Außenschalen Lagermatten zu verwenden. Die Maschenweite der Matten darf 15 cm nicht überschreiten.
- (2) Für Baustahl gilt DIN EN 10025 in Verbindung mit DIN 21530.
- (3) Ausbaubögen für die Sicherung sind aus Walzprofilen, Rinnenprofilen, Gitterträgern, Bergbausonderprofilen oder zusammengesetzten Profilen zu fertigen.
- (4) Für Gitterbögen ist die Mindeststahlgüte der Bögen gemäß DIN EN 1992-2 mit B500B nach DIN 488 und die Mindeststahlgüte der Verbindungen mit S 235 JR gemäß DIN EN 10025 zu wählen.
- (5) Bleche und Stahlblechen müssen mindestens die Stahlgüte S 235 JR gemäß DIN EN 10025 aufweisen.
- (6) Stahlspieße mit Vollquerschnitt müssen mindestens die Stahlgüte B500B nach DIN 488 und einen Durchmesser von 25 mm aufweisen.

5.2.4 Anker

- (1) Für Gebirgsanker gilt DIN 21521-1 und -2. Für Verpressanker gilt DIN EN 1537.

- (2) Die Wahl des Ankertyps ist auf die jeweiligen Gebirgsverhältnisse abzustellen. Die Eignung der Anker ist in dem jeweiligen Gebirge durch mindestens drei Versuche nachzuweisen.

5.2.5 Dränagerohre, Entwässerungsrohre und Schlitzrinnen

- (1) Die Regelungen in den Absätzen 2 bis 6 gelten für Rohre einschließlich deren Verbindungsmittel.
- (2) Es dürfen nur Vollwand-Dränagerohre aus PVC-U nach DIN 8061, DIN 8062 bzw. DIN EN 1401-1, aus PE oder PE-HD nach DIN 8074, DIN 8075 bzw. DIN 19537 oder aus PP-R nach DIN 8077, DIN 8078 bzw. DIN EN 1852-1 als Vollsicker-, Teilsicker- und Mehrzweckrohre verwendet werden. Die Verwendung von Rohren aus Recyclingmaterial ist nicht zulässig.
- (3) Für Steinzeugrohre gilt DIN EN 295, für Betonrohre und Stahlbetonrohre gilt DIN V 1201, für Stahlrohre gilt DIN EN 1123 und für Gussrohre gilt DIN 19522.
- (4) Alle Rohre des Fahrbahntwässerungssystems müssen der Baustoffklasse A nach DIN 4102 entsprechen. Dies gilt auch für Schlitzrinnen und Schächte.
- (5) Rohre müssen so bemessen sein, dass sie einem Spüldruck von 12 MPa an der Düse standhalten.
- (6) Entwässerungsrohre im Einflussbereich von Verkehrslasten sind nach DIN EN 1991-2 zu bemessen.
- (7) Für Schlitzrinnen gilt DIN EN 1433 und DIN 19580. Sie sind den Expositionsclassen XF4 und XD3 gemäß dem DIN-Fachbericht „Beton“ zuzuordnen.
- (8) Es sind Schlitzrinnen aus Beton und Polymerbeton zugelassen.

5.2.6 Befestigungsmittel (Rohbau)

- (1) Ergänzend zu Teil 8 Abschnitt 6 gelten für Befestigungsmittel, die im Zuge des Rohbaus im Tunnel eingebaut werden, die nachfolgenden Regelungen.
- (2) Befestigungsmittel (Schrauben, Dübel) für Tunneleinbauten im Verkehrsraum müssen aus nicht rostendem Stahl mit der Werkstoff-Nr. 1.4529 oder 1.4547 nach DIN EN ISO 3506 sowie nach DIN EN 10088 bestehen. Dies gilt auch für Abhängungen von Zwischendecken und Ankerschienen.
- (3) Unterkonstruktionen von Lärmschutzelementen müssen mindestens aus nicht rostendem Stahl mit der Werkstoff-Nr. 1.4571 bestehen.

(4) Befestigungsmittel in Querschlägen und Rettungsstollen müssen aus nicht rostendem Stahl mit der Werkstoff-Nr. 1.4571 bestehen.

(5) Für die Verwendung von Dübeln ist eine allgemeine bauaufsichtliche oder eine europäische technische Zulassung bzw. Bewertung (ETA) für ruhende Belastung erforderlich für:

- Betonzwischendecken und Betonschallschutzelemente,
- leichte Schallschutzelemente aus Edelstahl oder Aluminium, wenn ein Herunterfallen durch konstruktive Maßnahmen ausgeschlossen werden kann und die entsprechenden Nachweise vorgelegt werden und
- Brandschutzplatten.

(6) Die maximale Ausnutzung der Dübel ist auf 75 % zu begrenzen.

(7) Für Dübel aller übrigen bautechnischen Einbauteile ist eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine europäisch technische Zulassung bzw. Bewertung (ETA) für nicht ruhende Belastung erforderlich.

(8) Die Eignung der Dübel zur Befestigung in der Zugzone des Betons ist nachzuweisen.

(9) Befestigungsmittel für Tunneleinbauten im Zuge der betriebstechnischen Ausstattung sind in Abschnitt 4 geregelt.

5.2.7 Leerrohre

(1) Es dürfen nur Leer- bzw. Kabelschutzrohre mit glatter Innenwand aus PE-Material nach DIN 8075 verwendet werden.

(2) Die Standfestigkeit der Rohre ist hinsichtlich des auftretenden Betonierdrucks unter Berücksichtigung der Hydratationswärmeentwicklung zu überprüfen.

(3) Leerrohre unterhalb der Notgehwege sind in Beton zu verlegen.

6 Ausbruch und Sicherung

6.1 Allgemeines

(1) Gebirgsverhalten, Bauverfahren, Art des Ausbruchs sowie Art, Umfang und Zeitpunkt des Einbaus der Sicherung bestimmen den unterirdischen Hohlraumbau.

(2) Die Erhaltung bzw. Nutzung der Tragfähigkeit des Gebirges wird durch die

- Wahl der Querschnittsform und –größe,
- Anwendung geeigneter Bauverfahren,

– Anwendung gebirgsschonender Ausbruchverfahren,

– Anwendung geeigneter Ausbau- und Sicherungsmittel und

– Zeitdauer der einzelnen Bauzustände

ermöglicht, unterstützt oder günstig beeinflusst.

(3) Während der Baudurchführung sind Verformungs- und Setzungsmessungen nach Nr. 3.4.1 vorzunehmen.

6.2 Bauverfahren

Das Bauverfahren und die Maßnahmen zur Ausführung sind in der Leistungsbeschreibung vorzusehen.

6.3 Vortriebsklassen

(1) Die Einstufung in Vortriebsklassen erfolgt nach DIN 18312.

(2) Darüber hinausgehende projektbezogene Untergliederungen sind in der Regel erforderlich. Wesentliche Gesichtspunkte für eine weitere Untergliederung sind u.a.

- die Wahl der einzelnen Sicherungsmittel und der Zeitpunkt für deren Einbau,
- der Einfluss aus Wasserzutritt und
- die Abschlagtiefe.

(3) Die bei den jeweiligen Vortriebsklassen erforderlichen Angaben für Ausbruch und Sicherung werden entsprechend dem Beispiel (siehe Bilder 5.1.2 und 5.1.3) beschrieben und zeichnerisch dargestellt. Darüber hinaus werden die Abfolge und der Sicherungsumfang in den einzelnen Arbeitsschritten beschrieben. Eine ausreichende Bandbreite für Ausbruch und Sicherung soll vorgeesehen werden.

(4) Die Angaben zu den Absätzen (1) bis (3) sind in der Leistungsbeschreibung anzugeben.

(5) Der Auftragnehmer schlägt die Vortriebsklasse vor.

(6) Die jeweils auszuführende Vortriebsklasse wird gemeinsam von Auftraggeber und Auftragnehmer festgelegt.

(7) Mit mehrfachem Wechsel der Vortriebsklassen, der projektbezogenen Untergliederungen, der darin vorgesehenen Abschlagtiefen sowie der Art und Menge der Sicherungsmittel ist zu rechnen. Für diese Wechsel erfolgt keine besondere Vergütung.

6.4 Ausbruch

6.4.1 Allgemeines

(1) Es gibt folgende Ausbruchverfahren:

- mechanischer Ausbruch,
- Sprengen und
- maschineller Ausbruch.

Kombinationen der einzelnen Verfahren sind möglich.

(2) Beim Ausbruch durch Sprengen hat der Auftragnehmer rechtzeitig vor Ausbruchbeginn dem Auftraggeber das vorgesehene Schussbild zur Kenntnis zu geben.

(3) Die Schießbücher sind dem Auftraggeber auf Anforderung vorzulegen.

(4) Die Sprengbefähigung der für den Vortrieb verantwortlichen Person ist dem Auftraggeber vorzulegen.

6.4.2 Maßabweichungen und Mehrausbruch

Die Ausbruchgenauigkeiten nach innen und außen sowie das maximale Maß für die Gebirgsverformungen sind in der Leistungsbeschreibung entsprechend DIN 18312 anzugeben.

6.5 Sicherung

6.5.1 Allgemeines

(1) Ob, wann und welche Maßnahmen zur Sicherung erforderlich sind, wird in den auszuschreibenden Vortriebsklassen geregelt.

(2) Es können u.a. folgende Sicherungselemente und Zusatzmaßnahmen wie

- Spritzbeton,
- Betonstahlmatten,
- Gebirgsanker,
- Spieße,
- Ausbaubögen,
- Dielen und
- Einpressarbeiten

zur Anwendung kommen.

6.5.2 Spritzbetonaußenschale

(1) Die Spritzbetonaußenschale ist mindestens in der Betonfestigkeitsklasse C 20/25 auszuführen.

(2) Bei größeren Wasserzutritten, mehr als tropfend, sind vor dem Spritzen geeignete Maßnahmen zur Ableitung des Gebirgswassers vorzuse-

hen wie z.B. Einbau von Noppenbahnstreifen oder Abschlauchungen. Die Bewehrung sowie stählerne Bauteile wie z.B. Ausbaubögen und Ankerköpfe müssen vollständig mit Spritzbeton umhüllt werden. Rückprall darf weder überspritzt noch wiederverwendet werden. Die in den Vortriebsklassen angegebenen Spritzbetondicken sind Minstdicken.

(3) Bezüglich der Einhaltung der planmäßigen Innenbegrenzung der Spritzbetonaußenschale gilt Nr. 6.4.2. Bezüglich der zulässigen Maßabweichungen für die Dicke der Tunnelinnenschale gilt Nr. 7.2.1.

(4) Grundsätzlich ist ein Abdichtungsträger als separate Schicht herzustellen und bei der Festlegung der Ausbruchgeometrie zu berücksichtigen. Der Abdichtungsträger wird statisch nicht auf die Spritzbetonaußenschale angerechnet.

(5) Für bewehrte Spritzbetonschalen ist eine Betondeckung von $c_{nom} = 3$ cm einzuhalten.

(6) Beim abschnittweisen Einbringen der Spritzbetonsicherung sind die Arbeitsfugen versetzt anzuordnen.

(7) Werden die Ausbrucharbeiten für längere Zeit unterbrochen, ist die Ortsbrust gegen Auflockerung und Nachbruch zu sichern. Eine Vergütung erfolgt nur, wenn die Unterbrechung vom Auftraggeber zu vertreten ist.

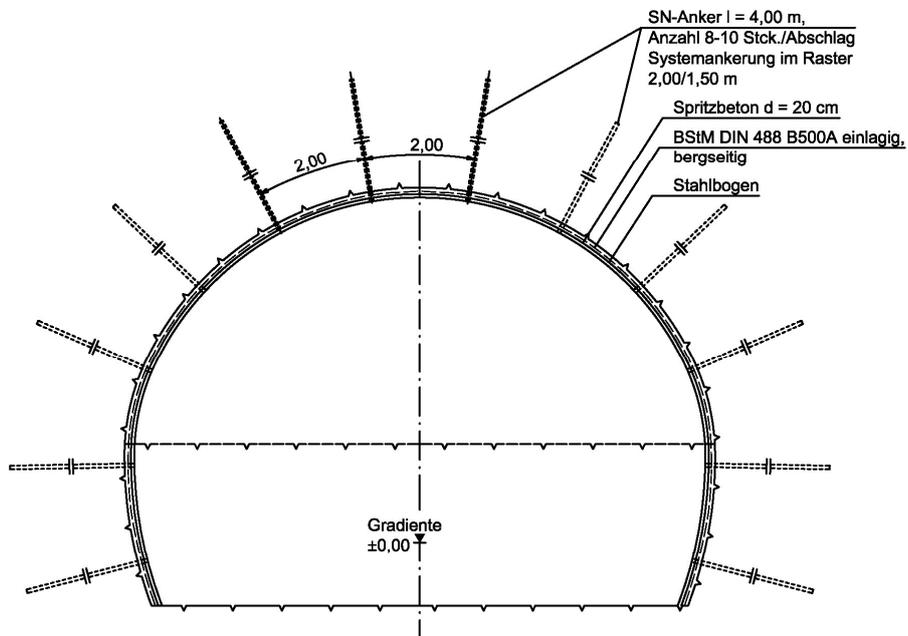
(8) Nach den Nachprofilierungsarbeiten und dem Auftragen des Abdichtungsträgers ist die Oberfläche der Spritzbetonaußenschale vermessungstechnisch in einem Messraster in Längsrichtung von $\leq 0,5$ m und in Ringrichtung von $\leq 0,05$ m aufzunehmen und auf Einhaltung der Maßtoleranzen nach Nr. 6.6 und 7.2.1 zu überprüfen, die Ergebnisse zu dokumentieren und dem Auftraggeber zu übergeben.

6.5.3 Einbau von Betonstahlmatten

(1) Betonstahlmatten sind je nach Aufbau der Sicherung ein- oder mehrlagig einzubauen. Die Mattenüberlappungen betragen in Tunnellängsrichtung mindestens eine Maschenweite und in Ringrichtung mindestens zwei Maschenweiten.

(2) Die zur Sicherung von Mehrausbrüchen oder Nachbrüchen eingebauten Betonstahlmatten werden nur dann vergütet, wenn der Mehrausbruch oder der Nachbruch als geologisch bedingt, unvorhersehbar und unvermeidbar anerkannt wurde.

(3) Alle Maßnahmen zur Befestigung der Matten sind Nebenleistungen.



Vkl X im Homogenbereich Y		
		Kalotte
Ausbruch	Verfahren	Sprengen
	Abschlagtiefen	1,50 m
	Bemerkungen	-
Sicherung	Voraussicherung	-
	Spritzbeton	$d = 20$ cm
	Bewehrung	einlagig BSStm DIN 488 B500A bergseitig
	Anker	SN-Anker $l = 4,00$ m Anzahl 8 - 10 Stück
	Bögen	Stahlbogen
	Kalottensohle	-
	Ortsbrust	$d = 3$ cm (im Bedarfsfall nur auf Teilflächen)
	Bemerkungen	-

Vkl X im Homogenbereich Y		
		Strosse / Bankett
Ausbruch	Verfahren	Sprengen
	Abschlagtiefen	3,00 m
	Bemerkungen	-
Sicherung	Voraussicherung	-
	Spritzbeton	$d = 20$ cm
	Bewehrung	einlagig BSStm DIN 488 B500A bergseitig
	Anker	SN-Anker $l = 4,00$ m Anzahl 4 Stück
	Bögen	Stahlbogen (jeden 2. Bogen verlängern)
	Sohle	-
	Bemerkungen	-

Bild 5.1.2: Darstellung der Vortriebsklassen und der erforderlichen Sicherung, Querschnitt (Beispiel)

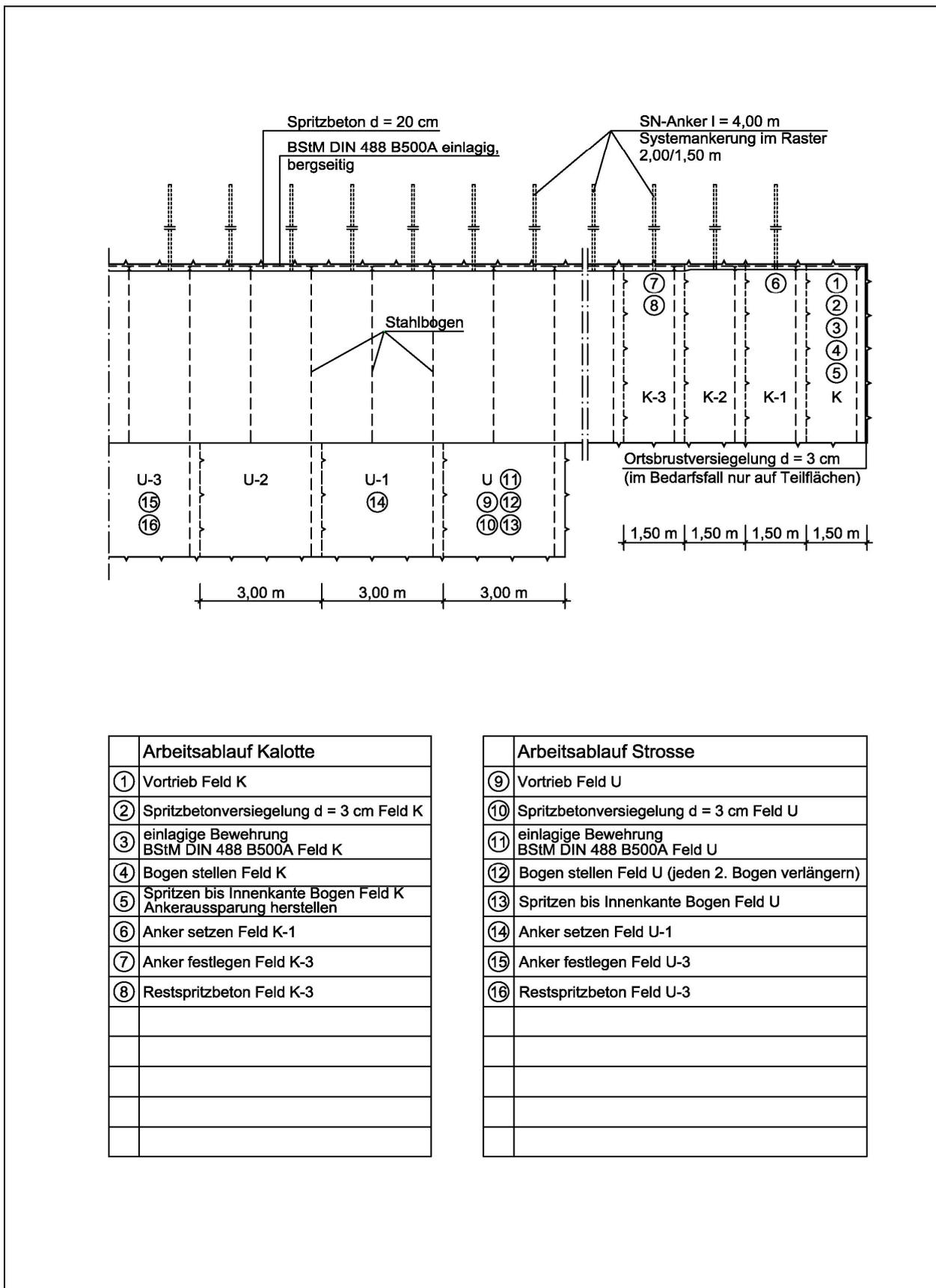


Bild 5.1.3: Darstellung der Vortriebsklassen und der erforderlichen Sicherung, Längsschnitt (Beispiel)

6.5.4 Einbau von Gebirgsankern

- (1) Die Anker sind in der Regel radial zu setzen. Die Ankerplatten sind kraftschlüssig einzubauen.
- (2) Die Bohrlöcher sind vor dem Einbauen der Anker zu reinigen.
- (3) Die Ankerköpfe sind so anzuordnen, dass sie nicht in den Querschnitt der Innenschale hineinragen.

6.5.5 Spieße

Spieße kommen als Voraussicherung hauptsächlich im Überkopfbereich als Selbstbohrspieße bzw. als Spieße, die über vorgebohrte, ggf. vermörtelte Löcher oder direkt ins Gebirge eingetrieben werden zum Einsatz.

6.5.6 Einbau von Ausbaubögen

- (1) Die Ausbaubögen sind flucht- und profilgerecht einzubringen. Die Stoßverbindungen der Ausbaubögen sind so zu dimensionieren und zu gestalten, dass die statische Wirkung des Querschnittes voll gewahrt bleibt. Hierzu ist vor Baubeginn ein statischer Nachweis vorzulegen.
- (2) Beim Einbau der Ausbaubögen verwendete Distanzhalter müssen aus Rundstahl sein.

6.5.7 Einbau von Dielen

- (1) Verzugsdielen sind auf Ausbaubögen aufzulegen und zu befestigen. Der Raum zwischen Gebirge und Dielen muss kraftschlüssig verfüllt werden.
- (2) Getriebedielen sind über den Ausbaubögen dachziegelartig in das Gebirge einzutreiben. Dabei sind Auflockerungen zu vermeiden.
- (3) Durch geeignete Maßnahmen ist zu verhindern, dass die Dielen beim Eintreiben ihre Neigung ändern.

6.5.8 Einpressarbeiten

- (1) Einpressarbeiten dürfen nur mit Zustimmung des Auftraggebers ausgeführt werden.
- (2) Der Zeitpunkt sowie die sonstigen technischen Einzelheiten von Einpressarbeiten werden entsprechend den angetroffenen örtlichen Verhältnissen gemeinsam festgelegt.
- (3) *Sind Einpressarbeiten in mehreren Etappen auszuführen und müssen einzelne oder ganze Strecken mehrmals nachverpresst werden, sind hierfür gesonderte Positionen in der Leistungsbeschreibung vorzusehen.*

6.6 Abdichtungsträger

- (1) Die Spritzbetonschale ist für das Aufbringen des Abdichtungsträgers vorzubereiten. Lose Bestandteile sowie vorstehende scharfkantige Teile sind, soweit sie nicht durch den Abdichtungsträger selbst überdeckt werden, zu entfernen. Wasserzutritte sind zu fassen und abzuleiten.
- (2) Der Abdichtungsträger ist eine separat aufzubringende Schicht. Er ist auch bei einer WUB-KO herzustellen.
- (3) Der Abdichtungsträger ist so herzustellen, dass ein möglichst vollflächiges Anliegen von Schutzschicht und Kunststoffdichtungsbahn (KDB) gewährleistet ist.
- (4) Zusammensetzung, Einbau und Rauigkeit des Abdichtungsträgers müssen den Anforderungen der Schutzschicht und der KDB genügen. Folgende Anforderungen sind einzuhalten:
 - Zuschlagstoffe aus Kies (Rundkorn) oder kubisch gebrochenem Material (Edelsplitt),
 - Dicke mindestens 3 cm,
 - Größtkorn maximal 8 mm bei Rundkorn, max. 4 mm bei gebrochenem Material,
 - Unebenheiten dürfen ein Maß von 1:20 (Tiefe zu Basis), das entspricht einer Neigung von 1:10, nicht überschreiten,
 - Mindestradius der Abrundungen von Unebenheiten und bei Nischen, Anschlüssen und Pannebuchten, 20 cm,
 - ausreichende Festigkeits- und Formbeständigkeit und
 - alle Wasserzutritte müssen in die Drainage eingeleitet werden.
- (5) Die Eigenschaften des Abdichtungsträgers müssen auf die vorgesehenen Befestigungsmittel der Abdichtung abgestimmt werden.
- (6) Vor Einbau der Abdichtung oder der Trennschicht bei WUB-KO ist die Einhaltung der Anforderungen gemäß Absatz (4) an die Oberfläche des Abdichtungsträgers als Ausgleichsschicht vom Auftragnehmer nachzuweisen. Hierüber ist ein Protokoll zu fertigen und dem Auftraggeber zu übergeben. Die Kontrolle kann auch abschnittsweise erfolgen. Der Auftraggeber ist spätestens vier Wochen vorher über den Termin für die Durchführung der Kontrolle zu unterrichten.
- (7) Werden Schottfugenbänder angeordnet, ist der Abdichtungsträger im Bereich der Blockfuge in Ringrichtung gleichsinnig gekrümmt und rechtwinklig dazu eben auszubilden. Hierzu ist ggf. eine zusätzliche Mörtelausgleichsschicht mit einem Größtkorn ≤ 4 mm vorzusehen.

(8) Wird im Bereich der Sohle eine Ausgleichsschicht aus Ortbeton ausgeführt und erfüllt diese die Ebenheitsanforderungen des Abdichtungsträgers, gilt diese als Abdichtungsträger.

7 Innenschale

7.1 Allgemeines

(1) Die Innenschale ist bewehrt vorzusehen. Für die Ausführung unbewehrter Innenschalen ist eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich.

(2) Für die Ausführung der Innenschale als WUB-KO gelten zusätzlich die Regelungen der Nr. 8.3.

7.2 Anforderungen an die Konstruktion

7.2.1 Abmessungen und Maßtoleranzen

(1) Die Mindestdicke der bewehrten Innenschale beträgt 35 cm.

(2) Die Dicke der Innenschale ist wie folgt zu begrenzen:

$$h_{\max} \leq h_{\text{soll}} + 30 \text{ cm bzw. } \leq 1,5 h_{\text{soll}}$$

Der kleinere Wert von h_{\max} ist maßgebend.

Es bedeuten:

h_{\max} maximale Dicke der Innenschale

h_{soll} Solldicke der Innenschale

(3) Überprofil ist zuvor mit Spritzbeton auszugleichen.

(4) Die Anforderungen gemäß Nr. 6.6 hinsichtlich Unebenheit und Mindestradius des Abdichtungsträgers sind zu beachten.

(5) Das vorgesehene Lichtraumprofil ist einzuhalten. Der Auftragnehmer hat das tatsächliche Profil jedes Innenschalenblockes vermessungstechnisch aufzunehmen und die Protokolle dem Auftraggeber vor der Abnahme vorzulegen. Es sind jeweils drei Messquerschnitte pro Block unmittelbar neben den Blockfugen sowie in Blockmitte aufzunehmen.

(6) Unebenheiten der Betonoberflächen bis ± 2 cm, bezogen auf 10 m Länge, sind zulässig.

(7) Versätze zwischen den Blöcken dürfen nicht mehr als 1 cm betragen.

7.2.2 Bewehrung

(1) Als Bewehrung sind vorgebogene, dem jeweiligen Radius angepasste Betonstabstähle und / oder Betonstahlmatten zu verwenden. Die Tragkörper der Bewehrung sind aus verschweißten Bewehrungskörben oder Gitterträgern herzu-

stellen und separat statisch nachzuweisen. Die Tragkörper einschließlich der Bewehrung sind insbesondere für den Betoniervorgang unverschieblich herzustellen.

(2) Als Bewehrung sind mindestens $3,9 \text{ cm}^2/\text{m}$ je Seite und Richtung einzulegen.

(3) Das Nennmaß der Betondeckung der Stahleinlagen der Innenschale beträgt zur Tunnelinnenseite $c_{\text{nom}} = 60 \text{ mm}$ und zur Bergseite $c_{\text{nom}} = 60 \text{ mm}$. Das Mindestmaß beträgt $c_{\text{min}} = 50 \text{ mm}$ bzw. 45 mm .

(4) Als Abstandhalter sind linienförmige, kippsichere Abstützungen aus Beton zu verwenden. Punktförmige Abstandhalter sind nicht zugelassen. Die Abstandhalter sind unverschieblich so anzuordnen, dass die Abdichtung weder im Bau- noch im Endzustand verletzt wird. Nahe der Abdichtung liegende Stabenden sind mit Schutzkappen zu versehen.

(5) Arbeiten, welche die Abdichtung beschädigen können wie z.B. Schweiß- und Trennarbeiten von Metall, sind nur unter entsprechenden Schutzvorkehrungen mit besonderer brandschutztechnischer Aufsicht und nur in Abstimmung mit dem Auftraggeber zulässig.

7.2.3 Blocklängen

Die Blocklängen sind abhängig vom Grundrissradius und von der Querschnittsgröße. Sie liegen in der Regel zwischen 7,50 m und 12,50 m. Bei Ausführung als WUB-KO dürfen sie 10 m nicht überschreiten.

7.2.4 Fugen

(1) Die Arbeitsfuge zwischen Sohle und aufgehendem Innengewölbe ist unterhalb der Oberkante der Notgehwege anzuordnen.

(2) Blockfugen sind in der Regel als Pressfugen mit luftseitiger trapezförmiger Nut bzw. gebrochener Kante auszubilden. Im Portalbereich sind in der Regel Raumbfugen vorzusehen.

(3) Die Stirnflächen von Pressfugen sind auf voller Breite eben auszubilden und mit einem 2-maligen bituminösen Trennanstrich zu versehen.

(4) Zu den Einzelheiten der Fugenabdichtung siehe Nr. 8 und Abschnitt 5.

7.3 Herstellen der Innenschale

7.3.1 Betoniervorgang

(1) Das Einbringen des Betons innerhalb eines Betonierabschnittes muss kontinuierlich und ohne Unterbrechung erfolgen. Der Beton darf aus dem Fördergerät nicht höher als 1 m frei fallend einge-

bracht werden. Die Schütthöhendifferenz darf auf einer Seite in Längsrichtung 0,70 m nicht übersteigen. Bei größeren Einbringhöhen sind Hosenrohre mit Einfülltrichtern zu verwenden. Das Einbringen des Betons von unten nach oben unter Druck ist zulässig. Die Verdichtung ist mit hochtourigen Innenrüttlern und / oder mit Außenschalungsrüttlern nach DIN 4235 durchzuführen. Die Solllage der Bewehrung ist beim Betoniervorgang laufend zu kontrollieren.

(2) Der obere Teil des Gewölbes wird über Stützen in der Firste betoniert. Zur Sicherstellung der vollständigen Füllung sind zum Abschluss des Betoniervorgangs die Betonierstützen in der Firste nacheinander, beginnend am tieferliegenden Blockende, mit Beton zu beaufschlagen und der Beton mit Außenschalungsrüttlern zu verdichten. Ausreichende Entlüftungsmöglichkeiten und Kontrollmöglichkeiten im Firstbereich sind vorzusehen. Hierzu können die Nachverpresseinrichtungen des Schalwagens dienen.

(3) Der Firstbereich ist nach Abschluss der Betonage und des Setzens des Betons frisch in frisch über in Abhängigkeit von der Blocklänge mindestens vier Nachverpresseinrichtungen des Schalwagens oder die Betonierstützen mit Zementmörtel zu verfüllen. Ausreichende Entlüftungsmöglichkeiten und Kontrollmöglichkeiten im Firstbereich sind vorzusehen. Die Nachverpress-einrichtungen des Schalwagens sind nach jeder Beaufschlagung freizuspülen.

(4) Bei fallender Betonage oder Lückenschluss zwischen zwei Vorläuferblöcken fehlen Entlüftungs- und direkte Beobachtungsmöglichkeiten an der Stirnschalung. Die vollständige Betonage des Blockes zum Nachbarblock ist nachzuweisen.

(5) Es ist die Frischbetontemperatur gemäß Teil 3 Abschnitt 1 einzuhalten.

7.3.2 Nachbehandlung

(1) Das Konzept über die Art und den Umfang der Nachbehandlung des Betons ist dem Auftraggeber mindestens sechs Wochen vor Beginn der Betonierarbeiten vorzulegen.

(2) Im Bereich des Regelquerschnittes der Hauptrohre ist zur Nachbehandlung des Betons hinter dem Schalwagen ein Nachbehandlungswagen mitzuziehen, der drei Blöcke abdeckt (siehe Nr. 5.1.3).

7.3.3 Verpressung im Blockfugenbereich

In der Blockfuge ist im Firstbereich zum Abschluss des Betoniervorgangs in jedem Fall eine planmäßige Nachverpressung mit Füllgütern gemäß Nr. 7.3.5 frisch in frisch zur vollständigen Einbin-

dung der Sperranker der außenliegenden Fugenbänder unter Verwendung der Entlüftungs- bzw. Nachverpressschläuche bzw. -rohre im Bereich der Blockfugen gemäß Abschnitt 5 durchzuführen. Der Verpressdruck darf 0,2 MPa nicht überschreiten.

7.3.4 Prüfung der Innenschalendicke

(1) Die Innenschalendicke ist vor der Firstspaltverpressung mittels eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens entsprechend der Richtlinie für Zerstörungsfreie Prüfverfahren von Tunnelinnenschalen (RI-ZFP-TU) zu überprüfen und in einem Messbericht zu dokumentieren (siehe Anhang A).

(2) Im Rahmen der Eigenüberwachung des Auftragnehmers sind folgende Leistungen zu erbringen:

- Durchführung zerstörungsfreier Messungen der Tunnelinnenschale nach dem Ultraschall- oder Impakt-Echo-Verfahren. Diese Leistung gilt für alle Querschnittstypen. Die Messergebnisse sind nach den Vorgaben des Anhangs A grafisch zu dokumentieren.
- Das Messraster ist entsprechend den Angaben in Anhang A vorzunehmen.
- Werden bei diesen Messungen Minderdicken gemäß Anhang A festgestellt, ist das Messraster weiter zu verdichten. Anschließend sind die festgestellten Hohlräume entsprechend 7.3.5 zu verfüllen bzw. zu verpressen. Der Erfolg der Verpressarbeiten ist durch Wiederholungsmessungen zu belegen.

(3) Zur Kalibrierung der zerstörungsfreien Messverfahren ist wie in Anhang A beschrieben vorzugehen.

(4) Die nach Absatz (1) ermittelten Innenschalendicken sind den vermessungstechnischen Aufnahmen der Spritzbetonaußenschale (vgl. Nr. 6.5.2) und des tatsächlichen Profils der Innenschale nach Nr. 7.2.1 vom Auftragnehmer gegenüberzustellen. Das Ergebnis ist zu dokumentieren.

7.3.5 Firstspaltverpressung

(1) Der nach dem Betonieren der Innenschale und der ggf. durchgeführten Verfüllung nach Absatz (3) verbleibende Hohlraum in der Firste ist frühestens 56 d nach dem Betonieren des betreffenden Blockes durch Kontaktinjektionen mit Zementmörtel oder -suspension mit maximal 0,3 MPa zu verpressen. Das vorgesehene Material ist mit dem Auftraggeber abzustimmen.

(2) Die Firstspaltverpressung ist vor dem Wiederanstieg des Bergwassers auszuführen.

(3) Werden nach Nr. 7.3.4 Hohlräume von mehr als 4 cm Tiefe festgestellt, sind diese vor der planmäßigen Firstspaltverpressung mit einem, schwindarmen Verpressmaterial gemäß Teil 3 Abschnitt 5 zu verfüllen.

(4) Der Abstand der Packer (Einfüllstutzen) in der Firstlinie darf 3 m nicht überschreiten, wobei die äußeren Packer 1 m von den Blockfugen entfernt anzubringen sind. Als Einfüllstutzen dienen die Öffnungen der Nachverpresseinrichtungen gemäß Nr. 7.3.1 (3). Art und Menge des verwendeten Füllgutes ist je Packer zu protokollieren.

(5) Verpressöffnungen sind zu verfüllen. Die Verfüllungen sind gegen Herabfallen zu sichern.

(6) Alle Aufwendungen für die Firstspaltverpressung werden nicht gesondert vergütet.

7.3.6 Prüfungen der Betondeckung

Im Rahmen der Eigenüberwachung des Auftragnehmers ist die Betondeckung der Innenschale unmittelbar nach Abschluss der Nachbehandlung für die ersten fünf Blöcke und bei Querschnittswechseln systematisch (Messraster 2 m in Längsrichtung und 1 m in Ringrichtung) aufzunehmen. Darüber hinaus ist jeder 5. Block an drei Querschnitten im Abstand von 1 m in Ringrichtung zu überprüfen. Hierbei sind sowohl Unterschreitungen als auch Überschreitungen zu erfassen und zu dokumentieren. Diese Messungen sind unverzüglich auszuwerten und dem Auftraggeber vorzulegen.

7.3.7 Rissverpressung

Alle Risse mit Rissbreiten von mehr als 0,20 mm sowie alle wasserführenden Risse sind nach Teil 3 Abschnitt 5 zu füllen. Diese Leistungen werden nicht gesondert vergütet.

8 Schutzmaßnahmen gegen Wasser

8.1 Allgemeines

(1) Für das Bauwerk im Endzustand können Schutzmaßnahmen gegen Bergwasser durch eine Abdichtung zwischen der Außenschale und der Innenschale (Regelbauweise) oder durch die Ausführung der Innenschale als WUB-KO getroffen werden.

(2) Hinsichtlich der Dichtigkeitsanforderungen sind die Dichtigkeitsklassen gemäß Abschnitt 5 Tabelle 5.5.1 zu beachten.

(3) Die Abdichtungssysteme sind in Abschnitt 5 Tabelle 5.5.3 geregelt.

8.2 Abdichtung mit KDB

Für die Abdichtung von Tunnelbauwerken mit KDB gilt Abschnitt 5.

8.3 Innenschale als WUB-KO

8.3.1 Allgemeines

(1) Bei Konstruktionen ohne Abdichtung gemäß Abschnitt 5 ist die Innenschale als WUB-KO herzustellen.

(2) Ist die Aggressivität des Grundwassers größer als „chemisch mäßig angreifend“ nach DIN 4030 ist eine Abdichtung gemäß Abschnitt 5 vorzusehen.

(3) Innenschalen als WUB-KO ohne zusätzliche Abdichtung sind nur anzuwenden, wenn der äußere Wasserdruck 25 m WS (0,25 MPa) nicht überschreitet.

8.3.2 Konstruktive Ausbildung

(1) Zur Vermeidung der Schwindbehinderung sind ein Abdichtungsträger gemäß Nr. 6.6 und eine Trennschicht aus Folie oder Vlies zwischen Spritzbeton und Innenschale vorzusehen.

(2) Die Mindestdicke der Innenschale als WUB-KO beträgt 40 cm.

(3) Das Nennmaß der Betondeckung der Stahleinlagen der Innenschale beträgt zur Tunnelinnenseite $c_{nom} = 60$ mm und zur Bergseite $c_{nom} = 60$ mm. Das Mindestmaß beträgt $c_{min} = 50$ mm bzw. 45 mm.

(4) Bei einer Innenschale als WUB-KO ist mindestens Dichtigkeitsklasse 2 (siehe Abschnitt 5 Tabelle 5.5.1) einzuhalten.

(5) Es darf kein Wasser über die Blockfugen austreten. Bei Wasserzutritten über die Blockfugen, ist die Dichtigkeitsklasse 2 nicht erreicht.

(6) Die Flächen, gegen die betoniert wird, müssen frei von Wasseransammlungen oder fließendem Wasser sein.

(7) Bei der Verlegung der Bewehrung für die Innenschale ist zu gewährleisten, dass kein Verbund zwischen Spritzbetonaußenschale und Innenschale entsteht.

8.3.3 Zusätzliche Anforderungen für WUB-KO

- (1) Die Zemente sind so auszuwählen, dass die Temperaturerhöhung des Betons im Bauwerk gering bleibt.
- (2) Die Wassereindringtiefe darf höchstens 30 mm betragen. Der Wassereindringwiderstand ist nach DIN EN 12390-8 zu bestimmen.
- (3) Das Größtkorn ist auf 16 mm zu begrenzen
- (4) Wasserabweisende Dichtungsmittel sind nicht zulässig.
- (5) Die Ausschallfrist und die für das Ausschalen der Innenschale erforderliche Betonfestigkeit sind vom Auftragnehmer entsprechend seinem vorgesehenen Bauablauf zu wählen und durch statische Nachweise vor dem Betonieren zu belegen.
- (6) In der Erstprüfung ist der Nachweis der Spaltzugfestigkeit nach 28 d an drei Zylindern ($d/h = 150/300$ [mm]) durchzuführen.
- (7) Bei der Probeentnahme sind Frischbetontemperatur, Ausbreitmaß und der Luftgehalt im Frischbeton zu bestimmen und zu protokollieren.

8.3.4 Fugen

- (1) Der Abstand der Blockfugen darf 10 m nicht überschreiten.
- (2) *Im Portalbereich empfiehlt sich eine Verkürzung der Blockfugenabstände.*
- (3) Die Fugenabdichtung der Blockfugen erfolgt mit innenliegenden Elastomerfugenbändern. Die Fugenbandbreite muss mindestens 350 mm betragen.
- (4) Das innenliegende Blockfugenband ist mit beidseitig anvulkanisierten Stahllaschen und Injektionsmöglichkeiten zu versehen. Die Injektionsstellen sind so anzuordnen, dass sie auch nach dem Innenausbau leicht zugänglich sind. Die Injektionsmöglichkeiten sind nur bei Undichtigkeiten zu verpressen. Das Injektionsmaterial und die Injektion werden nicht gesondert vergütet.
- (5) Bei Blockfugen sind die Baustellenstöße der Fugenbänder auf eine Mindestanzahl zu beschränken. Die Fugenbänder dürfen nur durch Vulkanisieren miteinander verbunden werden.

- (6) Arbeitsfugen sind mit mindestens 30 cm breiten ungefetteten Fugenblechen mit einer Mindestdicke von 2 mm auszuführen, die durchgehend zu verschweißen sind sowie der Materialgüte S 235 JR entsprechen. Diese Fugenbleche sind mit den Stahllaschen des innenliegenden Elastomerfugenbandes zu verschweißen.

9 Tunnelentwässerung

9.1 Allgemeines

- (1) *Es ist grundsätzlich zwischen der Wasserableitung während der Bauzeit und der Entwässerung nach Fertigstellung des Bauwerks zu unterscheiden.*

- (2) Alle anfallenden Wässer und andere Flüssigkeiten müssen gesammelt und vor Einleitung in einen Vorfluter je nach Verschmutzungsgrad in einem Absetzbecken, einem Leichtflüssigkeitsabscheider und / oder in einer Neutralisationsanlage entsprechend den wasserrechtlichen Vorgaben und Auflagen behandelt werden.

- (3) Für die Entsorgung der Wässer ist ein den örtlichen Randbedingungen entsprechendes Konzept durch den Auftragnehmer aufzustellen und dem Auftraggeber zusammen mit dem Baustelleneinrichtungsplan zu übergeben.

- (4) Für die Planung und Ausführung von Bergwasserdränagesystemen ist die Richtlinie für Bergwasserdränagesysteme von Straßentunneln (RI-BWD-TU) zu beachten.

9.2 Maßnahmen zur Wasserableitung während der Bauzeit

- (1) *Während der Bauzeit eines Tunnels können folgende Wässer anfallen:*

- *Bergwasser,*
- *Brauchwasser und*
- *Niederschlagswasser.*

- (2) Die unterschiedlichen Maßnahmen der Wasserableitung bei steigendem bzw. fallendem Vortrieb sind zu beachten.

- (3) *In der Leistungsbeschreibung ist aufgrund der hydrogeologischen Untersuchungen eine Grenzwassermenge für das voraussichtlich anfallende Bergwasser anzugeben.*

- (4) Während der Baudurchführung sind die Menge und die chemische Beschaffenheit des anfallenden Bergwassers zu ermitteln und zu protokollieren.

- (5) Örtlich stärker austretendes Bergwasser ist durch besondere Maßnahmen zu fassen und ab-

zuleiten wie z.B. durch Abschlauchen oder mit Drainmatten.

9.3 Entwässerungsanlagen

9.3.1 Allgemeines

(1) *Folgende Wässer und andere Flüssigkeiten, sind nach Herstellen des Tunnels über die Entwässerung abzuleiten:*

- *Bergwasser, soweit der Tunnel nicht druckwasserhaltend ausgebildet wird,*
- *Niederschlagswasser,*
- *Waschwasser,*
- *Löschwasser und*
- *andere Flüssigkeiten wie z.B. Mineralöle und Chemikalien, die aus dem Transportgut von Fahrzeugen stammen.*

(2) *In der Regel ist eine getrennte Ableitung des Berg- und Fahrbahnwassers vorzusehen. Vor Einleitung der Wässer und Flüssigkeiten in die Vorflut ist eine Rückhalteeinrichtung vorzusehen, die Schadflüssigkeiten auffängt.*

9.3.2 Bemessung der Entwässerungsanlagen

(1) *Gradiente, Querneigung und Fläche der Fahrbahn sowie die hydrogeologischen Verhältnisse im Tunnelbereich bestimmen maßgebend die Bemessung der Entwässerungsanlagen. Zusätzlich sind die in den RABT angegebenen Bemessungsgrößen zu berücksichtigen.*

(2) *Sämtliche Entwässerungsanlagen sind im Einzelnen aufgrund einer hydraulischen Berechnung zu dimensionieren.*

(3) *Die Bemessung der Gewässerschutzanlagen (Regenrückhaltebecken, Leichtflüssigkeitsabscheider usw.) erfolgt in Anlehnung an die Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten (RiStWag) in Verbindung mit dem vorgesehenen Entsorgungskonzept.*

9.3.3 Bauliche Ausbildung des Bergwasserdränagesystems

(1) *Die Dränageleitungen zur Ableitung des Bergwassers sind beiderseits des Tunnels am Ulmenfuß sowie außermittig im Sohlbereich anzuordnen. Die Leitungen sind mit glatter und ebener Innenfläche auszubilden und in einer versinterungsarmen Filterschicht aus Filterkies der Körnung 16/32 zu verlegen. Gesteinskörnungen aus Kalkstein und Dolomit sind nicht zulässig. Die Filterschicht ist gebunden mit 100 kg/m³ CEM III oder auch ungebunden herzustellen. Bei Verzicht auf ein Bindemittel*

sind die Einbaubarkeit und eine verstärkte Qualitätssicherung nachzuweisen. Zusätzlich sind bei Verzicht auf ein Bindemittel Elektroschweißmuffen für die Verbindung der Dränagerohre zu verwenden.

(2) *Geotextilien sind nicht zugelassen.*

(3) *Es ist ein Mindestdurchmesser der Leitungen von DN 200 vorzusehen. Die Dränagerohre müssen eine Mindeststringsteifigkeit von 8 kN/m² (SN 8) nach ISO 9969 im geschlitzten Zustand besitzen. Die Leitungen müssen eine Schlitzbreite von 5 mm oder 6 mm und eine Wassereintrittsfläche von mindestens 100 cm²/m Rohr, verteilt über 220° des Rohrumfangs, aufweisen. Das Material und das Einbauverfahren der Filterschicht sowie deren Stabilität sind auf die Größe der Zutrittsöffnungen abzustimmen.*

(4) *Die Verbindung der Rohre muss mit Doppelsteckmuffen oder alternativ mit Elektroschweißmuffen erfolgen. Die erforderliche Einstecktiefe sowie der Rohrscheitel der Dränagerohre sind deutlich und dauerhaft zu kennzeichnen.*

(5) *Zum Inspizieren und Spülen der Leitungen sind im Abstand von 70 m bis 100 m Revisions-schächte vorzusehen.*

(6) *Abdeckungen für die Revisions-schächte der Ulmendränagen sowie die zugehörigen Verschraubungen sind in nicht rostendem Stahl mit der Werkstoff-Nr. 1.4571 auszuführen. Die Schachtabdeckungen müssen verriegelbar und tagwasserdicht sein.*

(7) *Schachtabdeckungen sind in der Klasse B 125 auszuführen.*

(8) *Werden die Schachtabdeckungen planmäßig befahren, ist eine höhere Klasse in der Leistungsbeschreibung vorzusehen.*

(9) *Bei Tunnelquerschnitten mit geschlossener Sohle ist zur Ableitung eventuell anfallender Sickerwässer eine Dränageleitung im Tiefpunkt der Sohle vorzusehen (siehe Nr. 11.1).*

(10) *Nach Abschluss der Rohbauarbeiten sind im Rahmen einer Erstinspektion sämtliche Bergwasser-Dränageleitungen mit einer Kamera zu befahren und versinterungsrelevante Daten in den Revisions-schächten zu erfassen. Die Dokumentation und Auswertung der Kamerabefahrung und der Untersuchungen in den Revisions-schächten muss nach den Vorgaben der RI-BWD-TU erfolgen. Die Ergebnisse der Kamerabefahrung und der Untersuchungen in den Revisions-schächten sind zusammenzustellen und zu dokumentieren. Diese Leistungen werden nicht gesondert vergütet.*

9.3.4 Bauliche Ausbildung der Längsentwässerungsleitungen

(1) Die anfallenden Wässer und anderen Flüssigkeiten sind in der Haupttröhre in einer am tieferliegenden Fahrbahnrand angeordneten Schlitzrinne zu fassen. Diese ist im Abstand von höchstens 50 m über einen Siphon oder über einen Schacht mit Tauchwand an die Längsentwässerungsleitung anzuschließen. Im Bereich geringer Tunnellängsneigung muss der Abstand der Schächte reduziert werden. Die Schlitzrinne ist der Klasse D400 zuzuordnen.

(2) Aus Brandschutzgründen muss die Schlitzrinne hinter jeder Abzweigung zur Hauptleitung eine Abschottung erhalten. Das Mindestsohlgefälle der Schlitzrinne beträgt 0,5 %.

(3) Der Mindestdurchmesser der Längsentwässerungsleitung beträgt 300 mm, die Mindestlängsneigung 0,5 %.

(4) Die Schachtabdeckungen (Klasse D400) sind tagwasserdicht und verriegelbar auszuführen.

(5) Die Schachtöffnungen sind in Fahrstreifenmitte anzuordnen, um ein ständiges Überrollen zu verhindern.

9.3.5 Hebe- und Gewässerschutzanlagen

(1) Zur Abführung der in einem geeigneten Tiefpunkt des Tunnels gesammelten Wässer und anderen Flüssigkeiten gibt es die Möglichkeiten:

- des Absaugens der in einem Schacht gesammelten Wässer und anderen Flüssigkeiten durch einen Saugwagen mit anschließendem Transport zur Kläranlage und
- einer fest installierten Einrichtung (Hebeanlage mit Pumpen und Druckleitungen, Rückhaltebecken mit Leichtflüssigkeitsabscheider).

(2) Für Ausstattung und Betrieb der Hebe- und Gewässerschutzanlagen gilt Folgendes:

- Zugänge und Schachtöffnungen sind zur Vermeidung von Verkehrsbeschränkungen bei Wartungsarbeiten möglichst außerhalb der durchgehenden Fahrstreifen anzuordnen.
- Hohlräume sind bei Aufenthalt von Personen ständig zu belüften.
- Innenwände und Sohlflächen erhalten zum Schutz gegen aggressive Wässer und Flüssigkeiten eine Beschichtung.

10 Baulicher Brandschutz

10.1 Allgemeines

Die Auswirkungen eines Brandes werden durch die Brandbelastung, die Lüftungsverhältnisse sowie die Konstruktion des Tunnels bestimmt. Um einen ausreichenden baulichen Brandschutz zu erreichen, ist die Konstruktion so auszuführen, dass bei Brandeinwirkung:

- keine Schäden auftreten, die die Standsicherheit des Tunnels gefährden,
- keine bleibenden Verformungen der Konstruktion entstehen, die die Gebrauchstauglichkeit des Tunnels einschränken und
- die Dichtigkeit weitgehend gewährleistet bleibt.

10.2 Thermische Einwirkungen

(1) Für die brandschutztechnische Bemessung von Straßentunneln ist eine Brandbelastung mit dem in Bild 5.1.4 angegebenen Temperatur-Zeit-Verlauf zugrunde zu legen.

(2) Für Straßentunnel, bei denen ein lokales Versagen infolge Brand mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zu einem Verlust des Bauwerks bzw. zum Verlust der Tragfähigkeit eines angrenzenden Bauwerkes führen kann, sind die Anforderungen an den baulichen Brandschutz gesondert festzulegen. Hierzu gehören z.B. Tunnel mit geringer Überdeckung unter Gewässern. In der Regel ist hierbei die Vollbrandphase von 25 auf 55 min. zu verlängern.

10.3 Brandschutzmaßnahmen für die Konstruktion

10.3.1 Allgemeines

Der erforderliche bauliche Brandschutz ist durch konstruktive Maßnahmen gemäß den nachfolgenden Absätzen oder in Ausnahmefällen mit Hilfe rechnerischer Nachweisverfahren sicherzustellen.

10.3.2 Konstruktive Maßnahmen

(1) Die konstruktiven Maßnahmen sind darauf abzustellen, dass die tragende Bewehrung im Brandfall nicht über 300 °C erwärmt wird. Dies wird durch Einhaltung einer ausreichenden Betondeckung nach Nr. 7.2.2 oder Nr. 8.3.2 und Herstellung der Innenschale und Zwischendecken aus PP-Faserbeton gemäß Anhang B sichergestellt. Die Maßnahmen für den baulichen Brandschutz bei Instandsetzungsmaßnahmen sind im Einzelfall festzulegen.

(2) Für Zwischendecken ist ein Nennmaß der Betondeckung von beidseitig $c_{nom} = 60$ mm vorzusehen.

(3) Bei Ausbildung der Decken- und Wandfugen als Raumfugen sind Fugeneinlagen aus Baustoffen der Baustoffklasse A nach DIN 4102 zu verwenden.

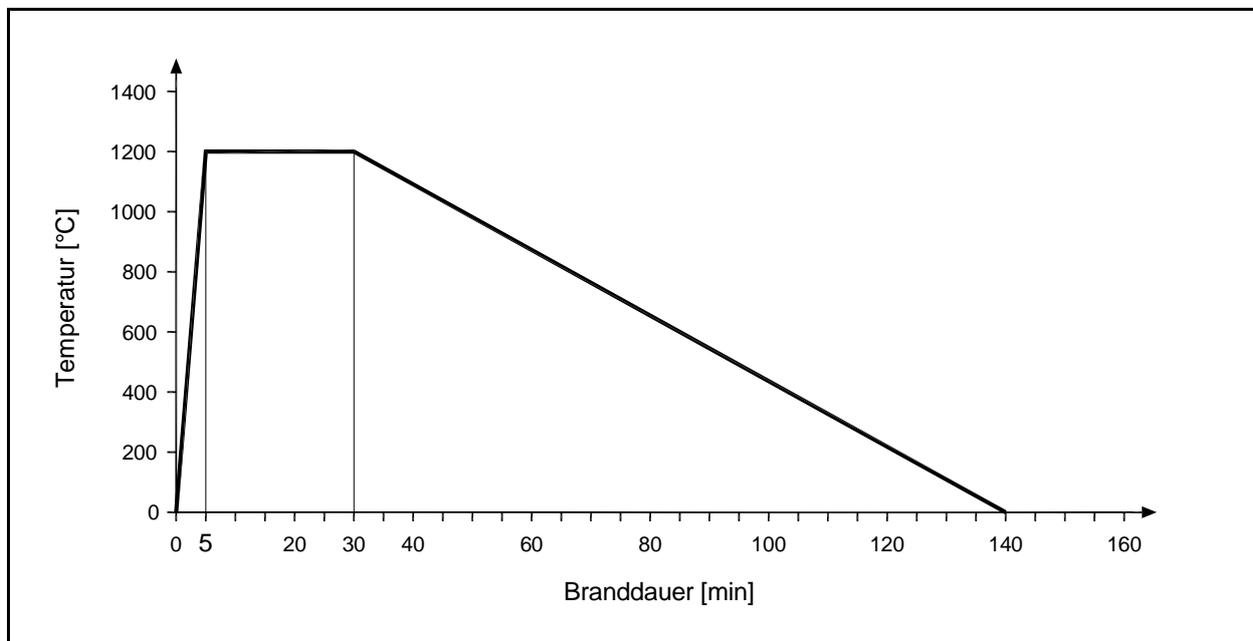


Bild 5.1.4: Temperatur-Zeit-Verlauf der Brandbelastung

10.4 Brandschutzmaßnahmen für den Innenausbau

10.4.1 Allgemeines

(1) Für den konstruktiven Innenausbau sind nur Baustoffe der Baustoffklasse A nach DIN 4102 zu verwenden. Die Baustoffklasse ist durch ein Prüfzeugnis einer anerkannten Materialprüfanstalt nachzuweisen.

(2) Bei der Verwendung von Bau- und Werkstoffen, die in der DIN 4102 nicht erfasst sind, ist die Gleichwertigkeit mit der Baustoffklasse A nachzuweisen oder sie sind durch zusätzliche Maßnahmen gegen Brandeinwirkungen zu schützen.

(3) Es dürfen keine Bau- oder Werkstoffe verwendet werden, die bei Brandeinwirkung bauwerks- oder personenschädigende Stoffe freisetzen.

10.4.2 Fluchttüren und Verbindungstüren

Fluchttüren und Verbindungstüren, die Brandabschnitte voneinander trennen, müssen den Technischen Lieferbedingungen und Technischen Prüfvorschriften für Türen und Tore in Straßentunneln (TL/TP TTT) entsprechen.

10.4.3 Kabel und Leitungen

Längsverkabelungen sind in Leerrohren zu verlegen. Kabelschlitze sind gegen Brandeinwirkungen abzudecken. Durchführungen von Kabeln und Leitungen durch feuerbeständige Bauteile, wie Decken und Wände, sind so abzudichten, dass ein Übergreifen des Brandes auf Nachbarräume ausgeschlossen ist (siehe Abschnitt 4). Die Kabel sind im Bereich der Schächte brandschutztechnisch zu schützen.

10.4.4 Entwässerungsanlagen

Für die brandschutztechnischen Anforderungen an die Entwässerungsanlagen gilt die Nr. 5.2.5.

10.4.5 Tunnelausstattung

Für die brandschutztechnischen Anforderungen an die Tunnelausstattung gilt Abschnitt 4.

11 Innenausbau

11.1 Straßenaufbau und Sohlabdichtung

(1) In der Regel wird der Straßenaufbau in der gleichen Bauweise und Bauklasse wie auf der anschließenden freien Strecke ausgeführt. Es gelten die Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (RStO). Es sind die Anforderungen der RABT zu berücksichtigen. Wird ausnahmsweise der Straßenaufbau der freien Strecke nicht durchgeführt, ist ein Fahrbahnbelag nach Anhang A zu Teil 7 Abschnitt 1 vorzusehen.

(2) Art und Aufbau der Abdichtung der Tunnelsohle sind von der Querschnittsbildung und der Bauweise abhängig. In konstruktiver Hinsicht unterscheidet man Tunnelquerschnitte mit offener Sohle, mit horizontaler (Sohlplatte) oder tiefliegender geschlossener Sohle (Sohlgewölbe) sowie mit tiefliegender geschlossener Sohle mit aufgeständerter Fahrbahn.

(3) Bei Gewölbequerschnitten mit tiefliegender oder horizontaler geschlossener Sohle ist bei Ausbildung des Straßenaufbaus wie auf der freien Strecke keine innenseitige Abdichtung der Sohle erforderlich.

(4) Zum Abführen des eventuell anfallenden Sickerwassers ist auf der geschlossenen Sohle eine mindestens 20 cm dicke ungebundene Tragschicht gemäß den Anforderungen der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau (ZTV SoB-StB) anzuordnen. Zuschläge aus Kalkstein und Dolomit sind nicht zugelassen. Die Durchlässigkeit des Materials der Tragschicht muss mindestens 10^{-5} m/s betragen. Am Tiefpunkt ist eine Drainageleitung mit einem Mindestdurchmesser von 150 mm vorzusehen. Diese Leitung ist in einem gebundenen Filterkörper zu verlegen.

(5) Der Querschnitt mit tiefliegender geschlossener Sohle und aufgeständerter Fahrbahn ist nur in Ausnahmefällen vorzusehen, z.B. wenn begehbare Leitungs- und Lüftungskanäle unter der Fahrbahn aus betrieblichen Gründen erforderlich sind.

(6) Als Fahrbahnbelag sind Beton- oder Asphaltbeläge zugelassen. Bei der Aufhellung des Fahrbahnbelages ist die RABT zu beachten.

(7) Bei der Ausschreibung von Walzasphalt in Tunnelbauwerken ist aus Gründen des Arbeitsschutzes temperaturabgesenkter Walzasphalt vorzusehen. Dabei ist die „Erfahrungssammlung über die Verwendung von Fertigprodukten und Zusätzen zur Temperaturabsenkung von Asphalt“ – Veröffentlicht durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (www.bast.de) und das „Merkblatt für Tempe-

raturabsenkung von Asphalt“ (M TA) der FGSV zu beachten

11.2 Wandflächen und Deckenflächen

(1) Wandflächen und Deckenflächen sind in einem Sichtbeton gemäß den Anforderungen der Sichtbetonklasse (SB) 2 des Merkblattes Sichtbeton des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins (DBV) herzustellen.

(2) Die Stützwände und Ansichtsflächen der Portale sind gemäß den Anforderungen der SB 3 herzustellen.

(3) Zur Aufhellung sind die Tunnelwände bis 3 m über FOK mit einer Beschichtung im Farbton RAL 9010 (reinweiß) zu versehen.

(4) Für die Beschichtung gelten die Anforderungen nach Teil 3 Abschnitt 4 für Oberflächenschutzsysteme (OS-B). Zusätzlich gelten folgende Anforderungen:

- Für die Nassabriebbeständigkeit sind die Anforderungen gemäß DIN EN ISO 11998 einzuhalten. Es ist eine Abriebbeständigkeit $< 5 \mu\text{m}$ bei 200 Scheuerzyklen nachzuweisen.
- Der Glanzwert des Anstriches nach DIN EN ISO 2813 muss zwischen 40 und 60 liegen. Der Nachweis ist mit einem Messwinkel von 60° und Auftrag der Beschichtung auf einer Faserzementplatte durchzuführen.
- Hinsichtlich der Entflammbarkeit des Anstriches ist mindestens die Klasse C-s3, d2 nach DIN EN 13501-1 bzw. Klasse B1 (schwerentflammbar) nach DIN 4102 einzuhalten.
- Die Reinigungsfähigkeit des Anstrichs ist nach folgendem Verfahren nachzuweisen: Auf sechs Probefolien nach DIN EN ISO 11998 wird nach Angaben des Herstellers der Anstrich aufgebracht. Drei Folien werden nach vollständiger Aushärtung des Anstrichs über einer Ölflamme gleichmäßig berußt, drei Folien verbleiben als Vergleichsproben ohne Verschmutzung. An den derart vorbereiteten Probefolien wird die Reinigungsfähigkeit nach DIN EN ISO 11998 überprüft.

(5) Die für den Tunnelbau geeigneten OS-B Produkte sind in der BAST-Liste gesondert gekennzeichnet.

(6) Es ist eine farbliche Türumrandung gemäß RABT vorzusehen.

(7) Wandbeläge und Wandbekleidungen sind nur in Ausnahmefällen zulässig. Keramische Wandbeläge sind nicht zugelassen.

11.3 Lärmschutzbekleidungen

(1) Ist ein besonderer Lärmschutz im Portalbereich erforderlich, reicht in der Regel eine schallabsorbierende Bekleidung der Wandflächen auf einer Länge, die der zweifachen Tunnelbreite entspricht, aus. Ggf. ist der erforderliche Umfang durch ein lärmtechnisches Gutachten festzulegen.

(2) Für die Anforderungen an Lärmschutzbekleidungen gilt Teil 9 Abschnitt 3.

(3) Die schallabsorbierende Bekleidung darf das erforderliche Lichtraumprofil nicht einschränken. Je nach gefordertem Absorbierungsgrad, Ausführung und Material ist eine Bauteildicke der Lärmschutzelemente bis zu 30 cm zu berücksichtigen. Die Übergänge zwischen bekleideten Bereichen und Sichtbetonflächen müssen die konstruktiven und gestalterischen Anforderungen erfüllen.

(4) Lärmschutzbekleidungen sind demontierbar auszubilden.

(6) Leitungen sind in der Regel in Leerrohren im Bereich der Notgehwege unterzubringen. Die Leerrohre werden einbetoniert.

(7) Bei Längsverkabelungen sind im Abstand von ca. 50 m Kabelzug- und -prüfschächte vorzusehen.

(8) Die Kabelzug- und -prüfschächte sind mit einem befahrbaren Schachtdeckel nach DIN EN 124 und DIN 1229 tagwasserdicht auszubilden. Die Abdeckungen müssen verschraubbar oder verriegelbar sein. Bei Verwendung von Schachtabdeckungen aus Stahl sind diese aus nicht rostendem Stahl der Werkstoff-Nr. 1.4571 auszuführen.

(9) Schachtabdeckungen sind in der Klasse B 125 auszuführen.

(10) Werden die Schachtabdeckungen planmäßig befahren, ist eine höhere Klasse in der Leistungsbeschreibung vorzusehen.

(11) Ist eine Löschwasserleitung vorgesehen, ist diese nicht im Konstruktionsbeton zu verlegen.

11.4 Zwischendecken und Trennwände

Zwischendecken sind als beidseitig gelenkig gelagerte Einfeldplatten auszuführen. Bis zu einer lichten Weite von 8 m müssen sie eine Mindestdicke von 25 cm aufweisen. Ab einer lichten Weite von 13 m ist eine Mindestdicke von 40 cm vorzusehen. Zwischenwerte sind zu interpolieren. Bei Fertigstellung des Bauwerkes ist ein planmäßiger Stich von 10 cm gegenüber den Auflagerpunkten zu gewährleisten. Trennwände sind mindestens 20 cm dick auszuführen. Die Zwischendecken und Trennwände sind denselben Expositionsklassen zuzuordnen wie die Innenschale.

11.6 Zugänglichkeit der Konstruktion

(1) Zur Überwachung, Prüfung und Erhaltung müssen tragende Bauteile zugänglich und prüfbar sein.

(2) Hohlräume in Tunneln, wie z.B. Rückhaltebecken, Pumpenräume und Lüftungskanäle müssen zugänglich und begehbar sein.

(3) Die Zugänge sind für den Transport von Geräten und Auswechsellteilen auszulegen.

(4) Zugängliche große Hohlräume sind mit einer Beleuchtungsanlage auszustatten und müssen ständig ausreichend belüftbar sein.

11.5 Notgehwege, Leitungstrassen und Kabelzugschächte

(1) Der Notgehweg ist von der Fahrbahn durchgängig mit einem Bordstein mit einer Höhe von 3 cm abzugrenzen.

(2) Schlitzrinnen im Bereich der Notausgänge und Notrufkabinen sind geschlossen zu führen.

(3) Die Linie zur Kennzeichnung des Fahrbandes ist als profilierte Markierung mit haptischer und akustischer Warnwirkung, sogenannte Rüttelstreifen, auszuführen.

(4) Im Notgehwegsbereich direkt vor und gegenüber den Notausgängen sind taktile Aufmerksamkeitsfelder anzuordnen.

(5) Kappen als Notgehwege sind in Ortbeton mit Bewehrung gemäß Teil 3 Abschnitt 1 herzustellen.

12 Rettungsstollen und Querschläge

12.1 Allgemeines

(1) Sofern nachfolgend keine abweichenden Regelungen getroffen werden, gelten die Nrn. 2 bis 9 sinngemäß.

(2) Die nachfolgenden Regelungen sind sinngemäß auch bei Querschlägen und Lüftungsstollen anzuwenden.

(3) Parallele Rettungsstollen sind bis zu einer Länge der Haupttröhre von 3.000 m begehbar mit einem Lichtraumprofil von 2,25 x 2,25 m herzustellen. Ab einer Länge von 3.000 m sind sie durchgängig und befahrbar mit einem Lichtraumprofil von 3,50 x 3,50 m auszubilden.

(4) Die Länge eines begehbaren Rettungsstollens mit nur einem Portal darf 1.500 m nicht überschreiten.

12.2 1-schalige Konstruktion

(1) Rettungsstollen können als 1-schalige Spritzbetonkonstruktion (Verbundkonstruktion) oder als 2-schalige Konstruktion mit einer Innenschale aus Ortbeton ausgeführt werden.

(2) Bei geeigneten Gebirgsverhältnissen sind 1-schalige Spritzbetonkonstruktionen als Regelbauweise vorzusehen, wenn die Aggressivität des Grundwassers maximal „chemisch mäßig angreifend“ nach DIN 4030 ist und kein drückendes Wasser ansteht.

(3) Die 1-schalige Spritzbetonkonstruktion besteht in der Regel aus dem Sicherungsspritzbeton gemäß Nr. 6.5.2 und einer zweiten Schicht aus mattenbewehrtem Spritzbeton oder Stahlfaserspritzbeton. Beim Einsatz von Stahlfasern ist das Merkblatt "Stahlfaserbeton" des Deutschen Beton- und Bau technikvereins (DBV) zu beachten.

(4) Die zweite Schicht muss eine Mindestdicke von 15 cm aufweisen und mindestens in der Festigkeitsklasse C25/30 ausgeführt werden.

(5) Für den Sicherungsspritzbeton von 1-schaligen Konstruktionen ist bergseitig eine Betondeckung von $c_{nom} = 45$ mm einzuhalten.

(6) Bei Einsatz einer Mattenbewehrung für die zweite Schicht gelten die Nr. 6.5.3 Absätze (1) und (3). Dabei ist luftseitig eine Betondeckung von $c_{nom} = 45$ mm einzuhalten.

(7) Bei 1-schaligen Spritzbetonkonstruktionen ist die Dichtigkeitsklasse 3 gemäß Abschnitt 5 Tabelle 5.5.1 einzuhalten.

(8) Der Sicherungsspritzbeton ist kurz vor dem Aufbringen der zweiten Schicht durch Hochdruckwasserstrahlen (max. 12 MPa an der Düse) zu reinigen und vorzunässen, so dass zum Zeitpunkt des Spritzbetonauftrags eine mattfeuchte Oberfläche vorliegt.

(9) Rückprall ist zu entfernen.

(10) Bei größeren Wasserzutritten, mehr als tropfend, sind vor dem Spritzen der zweiten Schicht geeignete Maßnahmen zur Ableitung des Gebirgswassers, wie z.B. der Einbau von Noppenbahnstreifen, vorzusehen.

(11) Beim Einbau der zweiten Schicht sind Fugen grundsätzlich zu vermeiden. Bei unvermeidbaren Arbeitsfugen sind vor dem Aufbringen des Spritzbetons lose Bestandteile zu entfernen. Es ist ein Fugenversatz zu den Fugen des Sicherungsspritzbetons von mindestens 0,5 m einzuhalten. Un-

ebenheiten der Innenflächen bis +/-5cm, bezogen auf 1m Länge, sind zugelassen.

(12) Im Zuge der Nachbehandlung der zweiten Schicht ist durch geeignete Maßnahmen ein vorzeitiges Austrocknen des Betons zu verhindern. Das Konzept über die Art und den Umfang der Nachbehandlung des Betons ist dem Auftraggeber mindestens 6 Wochen vor Beginn der Spritzarbeiten vorzulegen.

12.3 2-schalige Konstruktion

Für die Ortbeton-Innenschale ist eine Mindestdicke der Innenschale von 20 cm einzuhalten. Bei Mattenbewehrung ist beidseitig ein Nennmaß von $c_{nom} = 45$ mm einzuhalten.

12.4 Ausbau des Rettungsstollens

(1) Der Gehweg bzw. die Fahrbahn des Rettungsstollens ist mit einem Dachprofil mit 2 % Querneigung auszubilden.

(2) Der Gehweg bzw. die Fahrbahn ist konstruktiv bewehrt (Q188A) mit einer Mindestdicke von 15 cm und einer Mindestdruckfestigkeit C25/30 auszuführen.

(3) Im Sohlbereich und im Randbereich des Gehweges bzw. der Fahrbahn ist zur Entwässerung eine durchgängige gebundene Filterkiesschicht gemäß Nr. 9.3.3 mit einer Mindestdicke von 10 cm anzuordnen.

(4) Bei Rettungsstollen ist im Regelfall eine Sohl-*dränageleitung mit Spülschächten* vorzusehen. Der Abstand der Spülschächte soll 70 m bis 100 m betragen.

(5) Im Bereich der Querschläge sind Rohrdurchführungen für Löschleitungen in die Haupttröhre zu berücksichtigen.

(6) In Rettungsstollen können Kabel und Leitungen außerhalb des Lichtraumprofils im First- oder Wandbereich geführt werden.

13 Bauwerksunterlagen und Dokumentation

(1) Für jeden Tunnel sind Bauwerksunterlagen nach DIN 1076 aufzustellen. Hierzu gehören die Bauwerksdaten und das Bauwerksbuch.

(2) Es sind zusätzlich zu den in DIN 1076 genannten Unterlagen weitere tunnelbauspezifische Unterlagen in die Bauwerksakte aufzunehmen. Mit dem Aufstellen der Bauwerksdaten ist bereits während der Bauausführung zu beginnen.

(3) Im Bauwerksbuch sind die wichtigsten Daten des Tunnelbauwerks entsprechend der Anweisung

Straßeninformationsbank – Teilsystem Bauwerksdaten (ASB-ING) zusammenzustellen. Hierzu gehört auch eine Bauwerksskizze mit Darstellung des Tunnelbauwerks im Längsschnitt und Grundriss sowie der maßgebenden Tunnelquerschnitte.

(4) Es sind für die Bauwerksprüfung besondere Prüfungsanweisungen anzugeben und Hinweise über die nach Fertigstellung des Tunnels durchzuführenden Kontrollmessungen aufzunehmen.

(5) Das Bauwerksbuch ist zur ersten Hauptprüfung nach DIN 1076 vor Abnahme des Tunnelbauwerks vorzulegen.

Anhang A

Richtlinie für die Anwendung der zerstörungsfreien Prüfung von Tunnelinnenschalen (RI-ZFP-TU)

A 1 Einleitung

(1) Verkehrstunnel im Zuge von Bundesfernstraßen werden in der Regel in zweischaliger Bauweise ausgeführt. Ein wesentliches Qualitätsmerkmal dieser Bauweise stellt die Einhaltung der Solldicke der Innenschale und damit die Vermeidung von Minderdicken im Bereich der Firste und von Dickenprüngen im Bereich der Fugen zwischen einzelnen Blöcken dar, da hierdurch unmittelbar Schäden an der Kunststoffdichtungsbahn verursacht werden können.

(2) Im Rahmen der Qualitätssicherung neu erstellter Verkehrstunnel im Zuge von Bundesfernstraßen ist deshalb die Innenschale unter Verwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren flächig zu überprüfen, wobei insbesondere der Firstbereich sowie die Bereiche der Blockfugen zu untersuchen sind. Der Erfolg eventuell durchgeführter Mängelbeseitigungen ist durch Wiederholungsmessungen oder in Ausnahmefällen durch zerstörende Untersuchungen zu überprüfen.

(3) Diese Richtlinie dient der Qualitätssicherung und der Vereinheitlichung der Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren zur Dickenprüfung von Tunnelinnenschalen. Sie enthält Hinweise zu geeigneten Messverfahren (Nr. A 2) und zur Messdurchführung (Nr. A 3). Dokumentation, Auswertung und Darstellung werden in Nr. A 4 behandelt. Nr. A 5 enthält Hinweise zur Personalqualifikation und Nr. A 6 zur Anerkennung durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt).

A 2 Messverfahren

A 2.1 Allgemeines

(1) Für die zerstörungsfreie Prüfung der Dicke von Tunnelinnenschalen sind aufgrund der einseitigen Zugänglichkeit lediglich Echo-Verfahren einsetzbar. Grundsätzlich sind hierzu Ultraschall- und Impakt-Echo-Verfahren geeignet. Beide Verfahren haben ihre Leistungsfähigkeit bei der Dickenbestimmung einseitig zugänglicher Bauteile aus mineralischen Baustoffen unter Beweis gestellt [1, 2, 9, 10].

(2) Die Kalibrierung der Messverfahren erfolgt über die Ausbreitungsgeschwindigkeit neben den Nachverpressöffnungen für die Firstspaltverpressung. Die Betondicke der Innenschale wird in

den Nachverpressöffnungen mit einem Längenmessgerät bestimmt.

(3) Wenn vorhanden, kann die Kalibrierung auch an einem anderen Punkt mit bekannter Dicke und ebener Rückwand an der Tunnelinnenschale vorgenommen werden.

(4) Bei Änderung der Betonmischung ist eine erneute Kalibrierung nötig.

(5) Durch die üblicherweise vorhandene dichte Bewehrung in den Tunnelinnenschalen ist eine Dickenbestimmung mit Georadar in der Regel nicht möglich. [4, 9, 10]

(6) Weiterführende Angaben zu den Messverfahren werden im Internet durch das ZfPBau-Kompodium der BAM beschrieben [5] oder sind als Merkblätter der DGZFP erschienen [6].

A 2.2 Ultraschall-Echo-Verfahren

(1) Beim Einsatz des Ultraschall-Echo-Verfahrens wird mit einem auf der Oberfläche angeordneten Prüfkopf ein Ultraschallimpuls (Frequenz > 20 kHz) in das Bauteil (Tunnelinnenschale) eingeleitet. Der Anteil des an der Rückwand der Tunnelinnenschale reflektierten Impulses wird mit einem Empfangskopf, der ebenfalls auf der Oberfläche der Tunnelinnenschale positioniert ist, empfangen und anschließend ausgewertet. Sende- und Empfangsteil sind in den meisten Fällen in einem Gehäuse untergebracht. Bild A 5.1.1 zeigt das Messprinzip des Ultraschall-Echo-Verfahrens.

(2) Dieses Verfahren kann bei der Überprüfung der Solldicke von Tunnelinnenschalen mit einer Dicke bis zu 80 cm, in einzelnen Fällen auch bei größeren Dicken, angewendet werden.

(3) Eine spezielle Vorbereitung der Oberfläche ist bei den im Tunnelbau üblichen Oberflächenrauheiten (geschaltete Oberfläche) in der Regel nicht erforderlich.

(4) Bei bekannter oder durch Kalibrierung bestimmte Ausbreitungsgeschwindigkeit des Ultraschalls (c) kann aus der Laufzeit des Impulses (t) auf die Dicke der Innenschale (h) geschlossen werden $h = c \cdot t / 2$. Somit lassen sich Minderdicken lokalisieren. Eine Unterscheidung zwischen einer konstruktiv bedingten Trennschicht, z.B. Kunststoffdichtungsbahn und einer Ablösung bzw. Hohlstelle ist ohne zusätzliche Informationen und weitergehende Auswertungen nicht möglich. Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens enthält [3].

(5) Bild A 5.1.2 zeigt das Ergebnis einer Dickenmessung mit Ultraschall-Echo an einem Betonbauteil. Dargestellt ist das gleichgerichtete Empfangssignal über der Tiefe (A-Bild). Man erkennt das Rückwandecho an der deutlichen Amplitude bei

einer Tiefe von ca. 300 mm. Dies entspricht hier der Dicke des Bauteils.

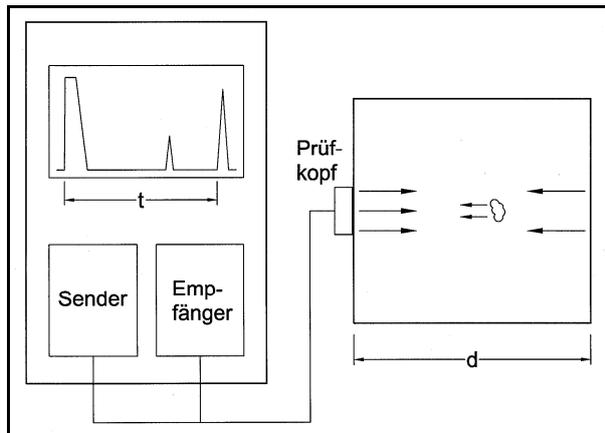


Bild A 5.1.1: Messprinzip Ultraschall-Echo [3, 9]

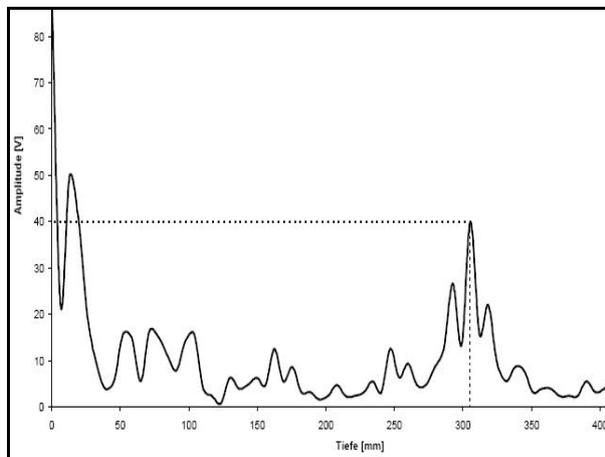


Bild A 5.1.2: Dickenbestimmung mit Ultraschall-Echo-Verfahren, aus [3, 9]

A 2.3 Impakt-Echo-Verfahren

(1) Ein weiteres Verfahren, welches sich zur Überprüfung der Dicke einseitig zugänglicher Bauteile eignet, ist das Impakt-Echo-Verfahren [7]. Bei diesem Verfahren werden durch mechanische Impulse, z.B. mit einer Stahlkugel, in das zu untersuchende Bauteil Schallwellen (Körperschall) eingeleitet. Deren Vielfachreflexionen zwischen der Oberfläche und den Grenzflächen (z.B. Rückwand oder Hohlstellen) werden mit einem breitbandigen Empfänger aufgenommen und einer Frequenzanalyse unterzogen. Aus den Ergebnissen der Frequenzanalyse lässt sich die Bauteildicke bestimmen. Das Messprinzip dieses Verfahrens ist in Bild A 5.1.3, ein Beispiel in Bild A 5.1.4 dargestellt.

(2) Bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit des Körperschalls (c) kann die Dicke der Innenschale (h) einer Frequenzanzeige (f) zugeordnet werden $h = c / 2 * f$. Somit lassen sich Minderdicken lokalisieren. Eine Unterscheidung zwischen

einer konstruktiv bedingten Trennschicht, z.B. Kunststoffdichtungsbahn und einer Ablösung bzw. Hohlstelle ist ohne zusätzliche Informationen und weiter gehender Auswertungen nicht möglich. Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens enthält [5, 7].

(3) Dieses Verfahren kann bei der Überprüfung der Solldicke von Tunnelinnenschalen mit einer Dicke bis zu 80 cm, in einzelnen Fällen auch bei größeren Dicken, angewendet werden [1,2,7].

(4) Die maximal erreichbare Bauteildicke steht in Abhängigkeit von der zu prüfenden Materialstruktur und des Frequenzbereichs des angeregten Körperschalls. Dieser lässt sich durch Auswahl eines für die jeweilige Prüfsituation geeigneten Impaktors (z.B. Kugelgröße) steuern.

(5) Eine spezielle Vorbereitung der Oberfläche ist bei den im Tunnelbau üblichen Oberflächenrauheiten (geschalte Oberfläche) in der Regel nicht erforderlich.

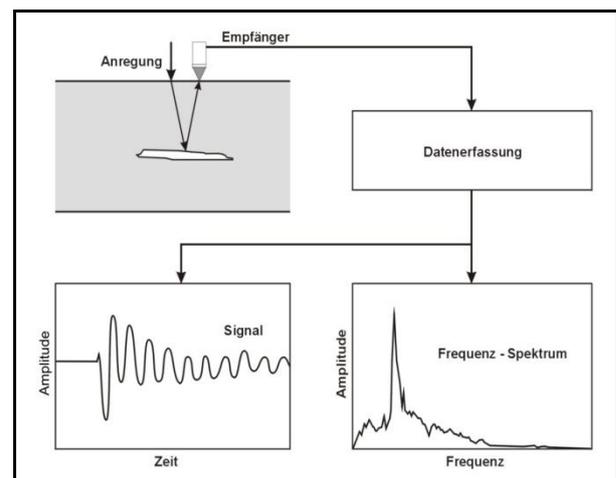


Bild A 5.1.3: Messprinzip Impakt-Echo (in Anlehnung an [7])

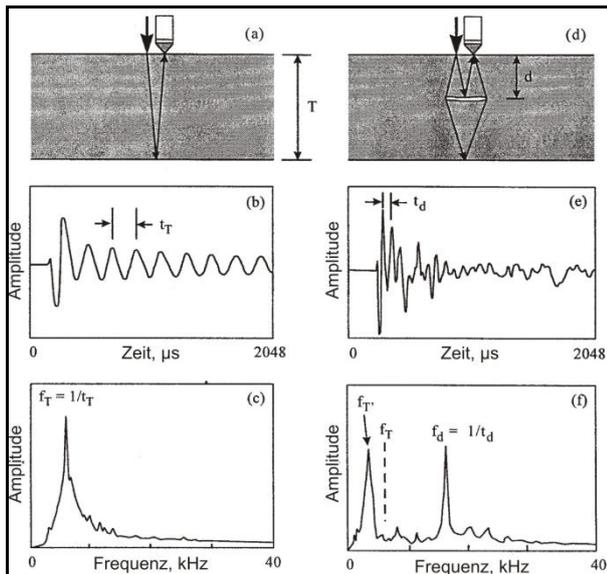


Bild A 5.1.4: Messung an einer Betonplatte: a-c zeigen Ergebnisse einer intakten Platte, d-f zeigen Ergebnisse einer Platte mit Fehlstelle (in Anlehnung an [7]).

A 3 Messdurchführung

A 3.1 Messraster

(1) Vor der Durchführung der Messungen ist für den zu untersuchenden Tunnel bzw. für den zu untersuchenden Block ein Messraster zu definieren und zu dokumentieren. Als zweckmäßig hat sich hierbei die blockweise Stationierung in Tunnelängsrichtung sowie eine Einteilung in Messlinien erwiesen. Bild A 5.1.5 zeigt exemplarisch eine schematische Darstellung.

(2) Das Messraster muss so eindeutig sein, dass z.B. für Wiederholungsmessungen oder Bohrkernentnahmen eine zweifelsfreie Identifizierung eines Messpunktes vorgenommen werden kann.

(3) Den Messungen ist grundsätzlich ein Messraster von 80 x 80 [cm] zugrunde zu legen, wobei in Bereichen mit Minderdicken oder sonstigen Anomalien eine Verdichtung des Rasters vorzunehmen ist (zum Beispiel 40 x 40 cm, in Sonderfällen 10 x 10 cm). Um den Aufwand für die Messungen zu begrenzen, empfiehlt es sich, die Messungen auf den Bereich der Firste und den Bereich der Blockfugen zu beschränken, siehe exemplarisch Bild A 5.1.5.

(4) Die Anzahl der Messlinien im Firstbereich sollen wie folgt festgelegt werden:

- Bei Tunnelröhren mit 2 Richtungsfahrbahnen sind 5 Messlinien anzuordnen (Bild A 5.1.5).
- Bei Tunnelröhren mit 3 Richtungsfahrbahnen sind 9 Messlinien anzuordnen.

- Bei kleinen Querschnitten, z.B. bei Querschlägen und Fluchtstollen, sind 3 Messlinien anzuordnen.
- Im Bereich von Pannenbuchten sind zusätzlich 4 Messlinien anzuordnen.

(5) Die Anzahl der Messlinien im Blockfugenbereich sollen wie folgt festgelegt werden. Entlang der Blockfugen sind je zwei Messlinien vor und nach jeder Blockfuge anzuordnen (0,20 m und 1,00 m) wie in Bild A 5.1.5 dargestellt. Um den Aufwand in vertretbaren Grenzen zu halten, sind Messpunkte von der Firste aus in Richtung Ulme bis 10:00 Uhr und bis 14:00 Uhr anzuordnen.

(6) Bei Minderdicken, die über das Messraster hinausgehen, muss der Messbereich schrittweise erweitert werden.

(7) Eine Minderdicke im Sinne dieser Richtlinie liegt vor, wenn die gemessene Tunnelinnenschalendicke unter Berücksichtigung der Messgenauigkeiten unterhalb der vorgegebenen Solldicke liegt, Tunnelinnenschalen-Blockfugenversatz vorliegt oder andere Fehlstellen, insbesondere unzureichende Einbettung der Stege des außenliegenden Fugenbandes, angetroffen werden.

A 3.2 Messungen

(1) Nach Festlegung und Markierung des Messrasters am Bauwerk kann mit den Messungen begonnen werden. Die Messungen sind vor der planmäßigen Firstspaltverpressung durchzuführen, um gegebenenfalls geeignete Instandsetzungsmaßnahmen ergreifen zu können. Es sollten bevorzugt Messsysteme eingesetzt werden, die bereits vor Ort Aussagen zu fehlerhaften Bereichen ermöglichen. Hierdurch wird eine eventuell erforderliche lokale Verdichtung des Messrasters mit vergleichsweise geringem Mehraufwand ermöglicht.

(2) Bei der Bewertung der Messungen, die im unmittelbaren Bereich von Blockfugen erfolgen, ist die durch die Fuge verursachte Diskontinuität (z.B. Fugenband, Randeinflüsse) in geeigneter Weise zu berücksichtigen.

(3) Die Messergebnisse sind für jeden Messpunkt einschließlich der Zuordnung zur Stationierung zu speichern und dem Auftraggeber für eventuell erforderliche nachträgliche Auswertungen in einem vorab zu vereinbarenden Format auf Datenträger zur Verfügung zu stellen.

A 3.3 Nachweisgrenzen

Obwohl für die oben genannten Verfahren bereits umfangreiche Erfahrungen aus Messungen an Bauwerken und Bauteilen vorliegen, kann ein erfolgreicher Einsatz nicht in allen Fällen garantiert werden. Nachfolgend sind deshalb einige Punkte

aufgeführt, die die Einsetzbarkeit der Echo-Verfahren bei der Bestimmung der Dicke von Tunnelinnenschalen erschweren können:

- Die Dicke der zu untersuchenden Innenschale muss bei Verwendung von Ultraschall-Echo wesentlich größer als die Wellenlänge (λ) sein. Für Impakt-Echo muss die Bauteildicke größer als $\lambda / 2$ sein. Diese Anforderung ist bei der hier beschriebenen Anwendung in der Regel eingehalten [5, 7].
- Bei Betonen mit einem Größtkorn größer 32 mm, bei Bauteildicken größer als 0,80 m sowie bei sehr dichter Bewehrung oder hohem Luftporengehalt des zu untersuchenden Bauteils sollten Vorversuche zur Klärung der Einsetzbarkeit durchgeführt werden.
- Der Einsatz von Echo-Verfahren ermöglicht die Bestimmung des Abstandes von der Oberfläche der Tunnelinnenschale bis zur ersten Grenzschicht. Diese Grenzschicht kann die Kunststoffdichtungsbahn, eine Ablösung oder eine sonstige Fehlstelle sein. Eine Interpretation der Signale im Hinblick auf spezifische Fehlstellenarten ist in der Regel nicht möglich. Dies trifft vor allem bei Messungen nach Injektion zu, wenn kein fester Verbund zwischen Injektionsmörtel und Tunnelinnenschale vorhanden ist. Hier könnte beispielsweise durch Vornässen des Untergrundes oder eine Änderung des Injektionsgutes der Verbund zur Tunnelinnenschale verbessert werden.
- Wie jede Messung ist auch die Bestimmung der Tunnelinnenschalendicke mit zerstörungsfreien Prüfverfahren mit Messunsicherheiten behaftet. Erfahrungsgemäß liegt die Gesamtunsicherheit bei 2 - 5 %. Zur genaueren Ermittlung der Messunsicherheit siehe [8].

A 4 Dokumentation

Auf festgestellte Minderdicken und sonstige Anomalien ist im Messbericht einzugehen, wobei auch Empfehlungen für das weitere Vorgehen und eventuell zusätzlich erforderliche Untersuchungen gegeben werden sollen. Die Auswertung der Messergebnisse soll anhand eines Beispiels verdeutlicht werden.

A 4.1 Auswertung und Darstellung

(1) Zu jedem Punkt des Messrasters aus der Messung ist die Dicke der Tunnelinnenschale zu ermitteln. Es ist eine graphische Darstellung für jeden Tunnelblock erforderlich, wie in Bild A 5.1.6 beispielhaft dargestellt. Bereiche in denen die Messwerte (ohne Berücksichtigung der Messgenauig-

keit) die Solldicke unterschreiten, sind deutlich hervorzuheben.

(2) Zu der üblichen grafischen Darstellung der Messergebnisse der Messverfahren in Form von Isolinien oder zusätzlichen B-Bildern, sind die gemessenen Dicken der Tunnelinnenschale je Messpunkt für jeden Block in tabellarischer Form darzustellen.

A 4.2 Messbericht und Bewertung

(1) In dem nach Abschluss der Messungen durch den Auftragnehmer vorzulegenden Messbericht ist zu bestätigen, dass die Messungen in Übereinstimmung mit der Richtlinie und den dort enthaltenen Empfehlungen / Vorgaben erfolgten. Auf Abweichungen ist dabei besonders einzugehen.

(2) Die Ausbreitungsgeschwindigkeit und die Art der Kalibrierung sind anzugeben.

(3) Der Messbericht sollte mindestens folgende Angaben enthalten:

- Datum, Ort, Temperatur im Untersuchungszeitraum (soweit für das verwendete Verfahren relevant).
- Kurzbeschreibung des Untersuchungsobjektes und des Untersuchungsziels.
- Relevante und verfügbare Informationen über den Aufbau und Zustand des untersuchten Objektes sollten in die Dokumentation aufgenommen werden, oder es sollte darauf hingewiesen werden, wo diese Informationen vorliegen. Hierzu zählen unter anderem Betonrezeptur, Größtkorn, Bauteiloberfläche, Bewehrung, Schichtaufbau, soweit diese Angaben für die Interpretation der Messergebnisse erforderlich sind.
- Übersichtspläne mit Angabe der Messpunkte, der Messspuren, des Messrasters einschließlich der Lage von Einbauten.
- Angaben zum Messgerät (Hersteller, Gerätetyp, Baujahr, Geräteeinstellungen, Frequenz, Samplingrate).
- Angabe der einzelnen Schritte zur Messdatenauswertung (Datenverarbeitungsschritte).
- Darstellung der Ergebnisse wie in Nr. A 4.1 beschrieben.
- Zusammenfassung der Ergebnisse mit Angabe der Bereiche mit Minderdicken bzw. sonstige Befunde; weiteres Vorgehen, eventuell notwendige zusätzliche Untersuchungen, Schlussfolgerungen.

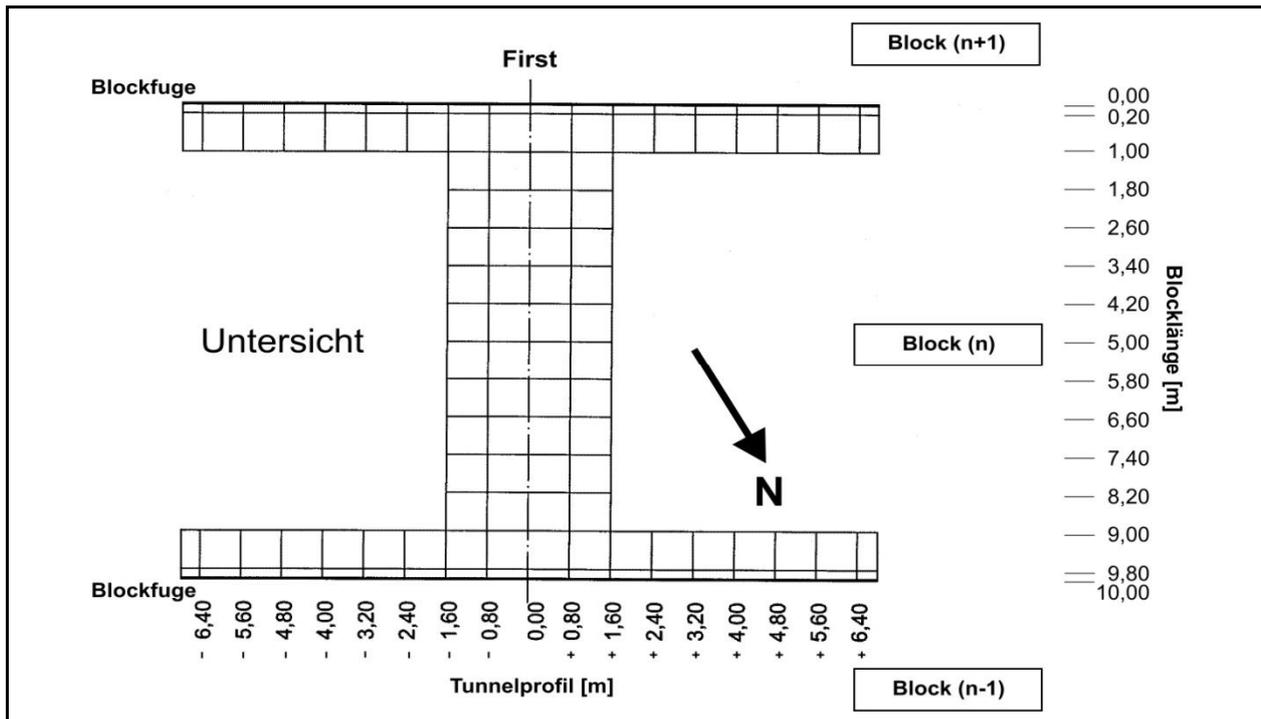


Bild A 5.1.5: Beispiel für ein Messraster einer Tunnelröhre mit zwei Richtungsfahrbahnen [9, 10]

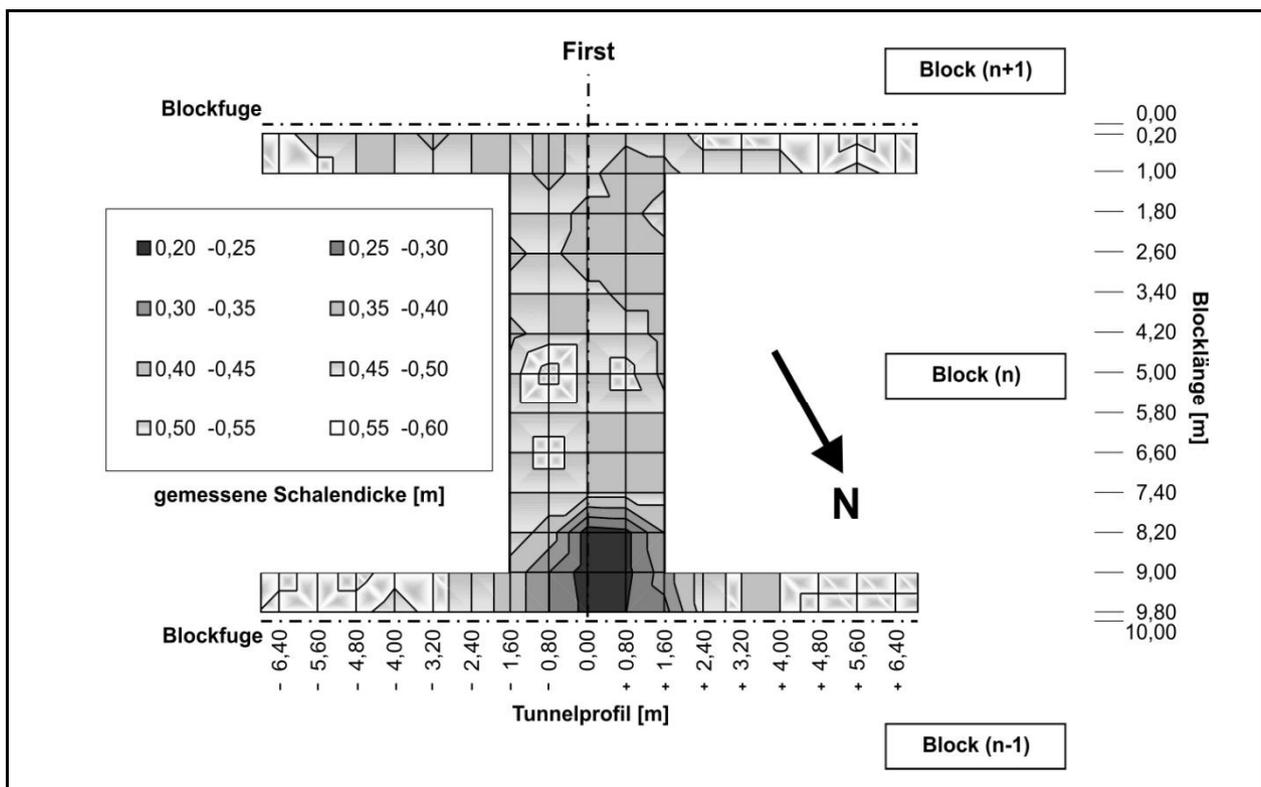


Bild A 5.1.6: Dickenbestimmung einer Tunnelinnenschale mit Impakt-Echo-Verfahren, Minderdicken im Firstbereich [9, 10]

A 5 Personalqualifikation

(1) Die Durchführung der Messungen hat unter Aufsicht eines Kolonnenführers durch Personal, welches im Umgang mit den eingesetzten Geräten im Detail vertraut ist, zu erfolgen.

(2) Hierzu ist die Qualifikation entsprechend Nr. A 6 nachzuweisen. Dieser Nachweis ist mit der Abgabe des Angebotes vorzulegen.

(3) Der Kolonnenführer muss während der Ausführung der Arbeiten ständig an der Baustelle anwesend sein, und er muss als Verantwortlicher den Messbericht mit unterschreiben.

(4) Der Kolonnenführer hat sich vor Beginn der Arbeiten bei der Bauüberwachung anzumelden und die entsprechenden Nachweise (Anerkennungsschreiben der BAST) vorzulegen. Die Kolonnenführer müssen im Anerkennungsschreiben namentlich aufgeführt sein.

A 6 Anerkennung

(1) Um die Qualität der Untersuchungsergebnisse sicherzustellen, dürfen mit der Durchführung der Messungen nur die durch die BAST anerkannten Firmen beauftragt werden. Die Anerkennung ist an die in ihr genannten Personen gebunden.

(2) Werden die Forderungen der RI-ZFP-TU nicht eingehalten, kann die Anerkennung durch die BAST wieder entzogen werden.

(3) Das Anerkennungsverfahren muss nach fünf Jahren wiederholt werden. Dies kann durch die Vorlage eines Prüfberichtes im Sinne der RI-ZFP-TU aus diesem Zeitraum oder durch eine erneute Prüfung gemäß Nr.: A 6.3 erfolgen.

A 6.1 Gerät

(1) Die Eignung der Messgeräte, die für die durchzuführende Messaufgabe eingesetzt werden, ist durch Vorlage detaillierter technischer Dokumentationen nachzuweisen.

(2) Wenn der Messgerätetyp sich ändert, muss die Anerkennung neu erworben werden.

A 6.2 Qualifikation des Kolonnenführers

(1) Der Kolonnenführer muss über Kenntnisse insbesondere des Tunnelbaues, des Bauwesens und der Baustoffkunde verfügen.

(2) Außerdem muss er vertiefte Kenntnisse mit dem Einsatz der Prüfverfahren und Messgeräte im Tunnelbau besitzen, um eine sachliche Beurteilung der Messsignale vornehmen zu können.

(3) Im Zuge des Anerkennungsverfahrens hat der Kolonnenführer seine Qualifikation durch den Abschluss eines einschlägigen Studiums (z.B Bauingenieurwesen, Elektrotechnik, Physik oder Geophysik) sowie geeignete Referenzen nachzuweisen.

A 6.3 Messungen an Probekörpern

Im Rahmen der Anerkennung sind Messungen an einem durch die Bundesanstalt für Straßenwesen bereitgestellten Probekörper durchzuführen. Durch die anschließende Auswertung und Dokumentation der Messergebnisse sind die Funktionsfähigkeit des einzusetzenden Gerätes, die Interpretation der Messergebnisse sowie die zur Auswertung erforderlichen Arbeitsschritte im Detail darzustellen.

A 7 Literatur

- [1] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT): Taschenbuch für den Tunnelbau 2003, 27. Jahrgang, Verlag: Verlag Glückauf Essen (VGE), ISBN 3-7739-1286-2; Baustoffe und Bauteile für den Tunnelbau. I. Qualitätssicherung der Tunnelinnenschale und der Tunneldrainage (Seite 353 – 382), Dipl.-Ing. Wolf-Dieter Friebel, BMVBW, Bonn; Dr.-Ing. Jürgen Krieger, BAST, Bergisch Gladbach
- [2] Krieger, J.; Krause, M.; Wiggenhauser, H.: Erprobung und Bewertung zerstörungsfreier Prüfmethode für Betonbrücken, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft B 18, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1998.
- [3] Merkblatt für Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung mineralischer Baustoffe und Bauteile, Merkblatt B4, DGZfP-Fachausschuss „Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen“, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V., Berlin, Ausgabe Mai 1999.
- [4] Merkblatt über das Radarverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen, Merkblatt B10, DGZfP-Fachausschuss „Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen“, DGZfP Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung e.V., Berlin, Ausgabe Februar 2008
- [5] Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin: Internetpräsenz ZfPBau-Kompendium. [<http://www.bam.de/zfpbau-kompendium.htm>]
- [6] Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZFP), Berlin, „DGZFP Merkblätter“, Internetpräsenz [<http://www.dgzfp.de>].
- [7] Merkblatt über die Anwendung des Impakt-Echo-Verfahrens zur zerstörungsfreien Prüfung von Betonbauteilen, Merkblatt B11, DGZfP-Fachausschuss „Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen“, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V., Berlin, Ausgabe März 2011.
- [8] Taffe, A.: Zur Validierung quantitativer zerstörungsfreier Prüfverfahren im Stahlbetonbau am Beispiel der Laufzeitmessung. In : Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 574, Beuth Verlag, Berlin (2008)
- [9] Rath, E.; Berthold, G; Lähner, H.: Nachweis des Erfolges von Injektionsmaßnahmen zur Mängelbeseitigung bei Minderdicken von Tunnelinnenschalen mit Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung (ZFP) gemäß der „Richtlinie für die Anwendung der zerstörungsfreien Prüfung von Tunnelinnenschalen (RI-ZFP-TU)“ -Tunnel-Burgholz im Zuge der L418 bei Wuppertal-, Mai 2005, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft B 54, Unterreihe-B (Brücken und Ingenieurbau)
- [10] Mähner, D.; Rath, E.; Lange, D.: Bestimmung der Tunnelinnenschalendicke mit zerstörungsfreien Prüfverfahren, „Beton- und Stahlbetonbau“ 101 (2006) Heft 8, Seite 606-613.

Anhang B

Verwendung von PP-Faserbeton für den baulichen Brandschutz im Tunnelbau

B 1 Allgemeines

B 1.1 Grundsätzliches

Der Beton wird unter Verwendung von monofilamentigen (Einzelfasern) Mikro-Polypropylenfasern (PP-Fasern) nach DIN EN 14889-2 hergestellt.

B 1.2 Begriffsbestimmungen

PP-Fasern

Polypropylenfasern gemäß DIN EN 14889-2 (Klasse I a, Monofilamente)

Monofilament

Einzelfaser, Durchmesser von 0,016 bis 0,020 mm

Mikro-PP-Fasern

Polypropylenfasern gemäß DIN EN 14889-2 mit den Maßen: Länge 6 mm, Durchmesser 0,016 bis 0,020 mm

PP-Faserbeton

Beton nach ZTV-ING mit 2,0 kg/m³ Mikro-PP-Fasern (Frischbeton)

B 2 Verwendung von PP-Fasern im Beton

(1) Es dürfen nur PP-Fasern verwendet werden, die sich gleichmäßig im Beton verteilen lassen.

(2) PP-Fasern nach DIN EN 14889-2 der Klasse Ia sind nur dann für den erhöhten baulichen Brandschutz geeignet, wenn ihre grundsätzliche Wirksamkeit zur Verbesserung des Brand- und Abplatzverhaltens durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (abZ) nachgewiesen wurde. Alternativ kann der Nachweis der Wirksamkeit der Mikropropylenfasern zur Verbesserung des Brandverhaltens - analog zur Vorgehensweise im Rahmen der abZ - anhand von kleinmaßstäblichen Probekörpern aus einem Beton der Festigkeitsklasse C50/60 mit einer Zugabemenge von 1 kg/m³ Beton unter Temperaturbeanspruchung in Anlehnung an die Einheits-Temperatur-Kurve (ETK) erfolgen. Die Durchführung und Beurteilung dieser Versuche hat an einer akkreditierten und unabhängigen Konformitätsbewertungsstelle (KBS) zu erfolgen. Die

Qualifizierung der KBS hat nach Teil 1 Abschnitt 1, Tabelle A 1.1.1, Zeile 1 zu erfolgen. Die Ergebnisse sind dem Auftraggeber spätestens sechs Wochen vor Betonierbeginn vorzulegen.

(3) Bei der Herstellung der PP-Fasern ist eine werkseigene Produktionskontrolle einzurichten. Die gemäß DIN EN 14889-2 für das ACVP-System „1“ dargelegten Maßnahmen sind durchzuführen. Die Ergebnisse sind zu protokollieren und für eine Zeit von 5 Jahren aufzubewahren. Die Ergebnisse sind der Fremdüberwachungsstelle vorzulegen.

(4) Durch eine Fremdüberwachung hat gemäß DIN EN 14889-2 für das ACVP-System „1“ eine Erstprüfung der PP-Faser sowie eine Erstinspektion des Werkes und der werkseigenen Produktionskontrolle zu erfolgen. Weiterhin muss die werkseigene Produktionskontrolle mindestens zweimal jährlich überwacht, beurteilt und anerkannt werden. Als Fremdüberwacher sind unabhängige KBS einzusetzen. Die Qualifizierung der KBS hat nach Teil 1 Abschnitt 1, Tabelle A 1.1.1, Zeile 1 zu erfolgen. Die Ergebnisse der Fremdüberwachung sind dem Auftraggeber vorzulegen.

(5) Die PP-Fasern können herstellungsbedingt einen Wassergehalt aufweisen. Der Wassergehalt ist mittels Trocknung (Trockenschrank bei 105 °C) zu bestimmen und bei der Zugabe der PP-Fasern im Frischbeton zu berücksichtigen.

B 3 Konstruktive Maßnahmen

(1) Wird bei der Herstellung von PP-Faserbeton von der Menge und Geometrie der PP-Fasern abgewichen, ist der Nachweis eines erhöhten Brandwiderstands des PP-Faserbetons durch Brandversuche an zwei Probekörpern zu führen. Die Wirksamkeit zur Verbesserung des Brand- und Abplatzverhaltens des zur Anwendung kommenden PP-Faserbetons ist durch einen statisch belasteten Brandversuch an einem großmaßstäblichen Probekörper gemäß Bild B 5.1.1 und Bild B 5.1.2 unter Berücksichtigung der Temperatur-Zeit-Kurve nach Bild 5.1.4 nachzuweisen. Vor der Brandprüfung muss der Probekörper mindestens 90 Tage trocken, frostfrei und ohne Wärmebehandlung gelagert werden. Die Versuchsdurchführung ist in Heft B73 Brand- und Abplatzverhalten von Faserbeton in Straßentunneln (Schriftenreihe der BAST) beschrieben.

(2) Die Durchführung der Brandversuche hat an einer akkreditierten und unabhängigen Konformitätsbewertungsstelle (KBS) zu erfolgen. Hinsichtlich der Bewertung der Ergebnisse der Brandversuche bedarf es einer gutachterlichen Begleitung durch eine vom Auftraggeber anerkannten Stelle. Die Bewehrungsführung und die mechanische Be-

anspruchung der Brandprüfkörper sind in Anlehnung an das spätere Bauwerk zu wählen.

B 4 Anforderungen an den Frischbeton mit PP-Fasern

(1) Bei der Verwendung von PP-Fasern ist die Bestimmung der Blutneigung mit dem Eimerverfahren gemäß dem Merkblatt Besondere Eigenschaften zur Prüfung von Frischbeton des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins (DBV) durchzuführen. Als Abnahmekriterien für die Blutwassermenge gelten die Angaben in Tabelle 1 des Merkblatts.

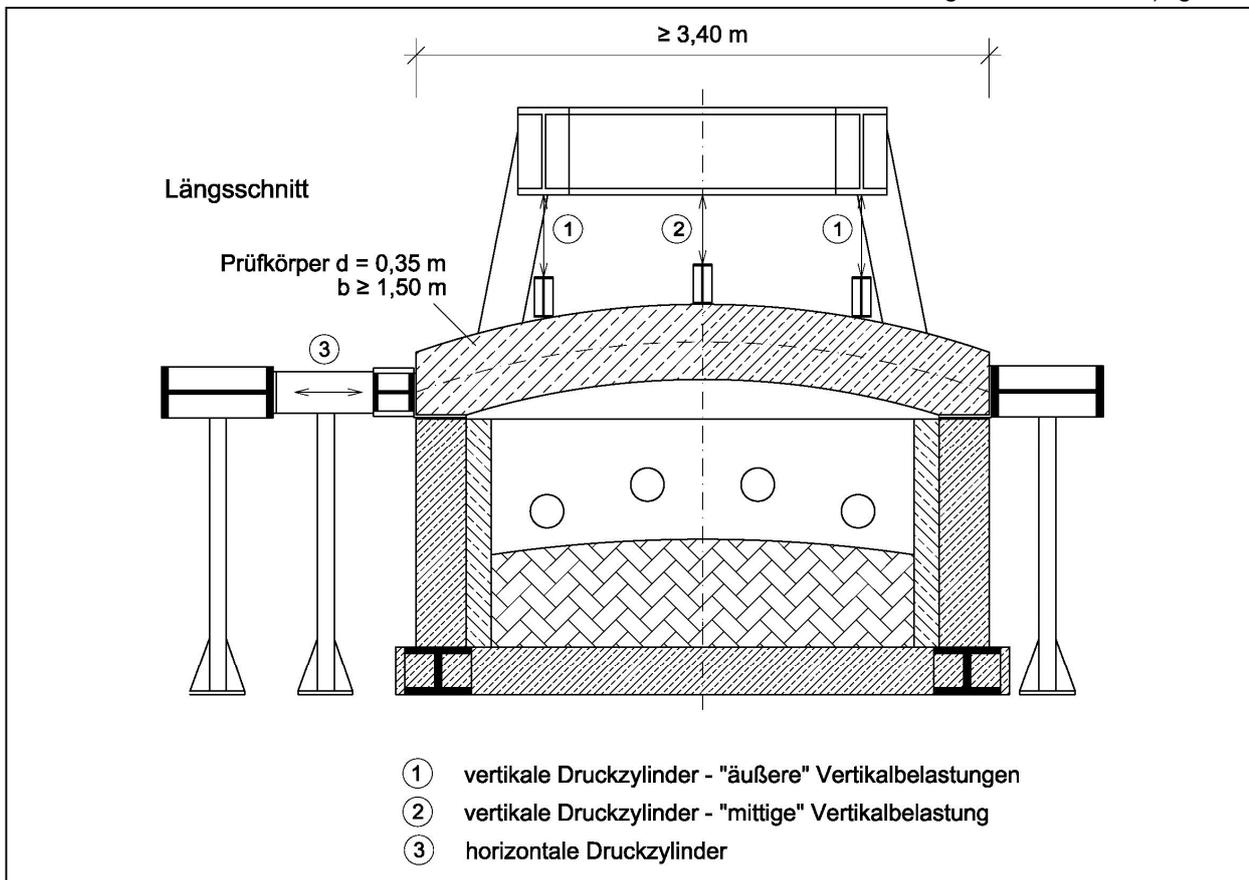
(2) Bei der Verwendung von PP-Fasern ist der Nachweis des tatsächlichen PP-Fasergehaltes im Frischbeton gemäß Nr. B 7 (3) zu führen.

(3) Für den Fall einer erforderlichen Nachdosierung von Fließmittel auf der Baustelle hat der Her-

hängige Nachdosierungstabelle bereitzustellen. Die darin gemachten Angaben sind anhand von Versuchen festzulegen. Die nachträgliche zugegebene Fließmittelmenge ist in Abhängigkeit der Chargengröße und Mischzeit anzugeben.

(4) Im Betonwerk ist die Konformität des tatsächlichen PP-Fasergehaltes im Frischbeton gemäß Nr. B 7 (3) nachzuweisen. Die Bewertung der Konformität für den tatsächlichen PP-Fasergehalt ist für jede verwendete PP-Faserbetonsorte mindestens je 200 m³ PP-Faserbeton oder zweimal pro Produktionswoche durchzuführen. Dabei ist diejenige Anforderung, welche die größte Anzahl an Proben ergibt, maßgebend.

(5) Wenn der Konformitätsnachweis des PP-Fasergehaltes am Frischbeton durch den Hersteller nicht geführt werden kann, ist die Bestimmung des PP-Faserrückgewinnungsgrads am Festbeton an einem separat hergestellten Probekörper (Würfel mit einer Kantenlänge von 150 mm) gemäß



steller des PP-Faserbetons eine temperaturab-

DIN EN 12390-2 nach Nr. B 7 (4) durchzuführen.

Bild B 5.1.1 Schematischer Versuchsaufbau des Brandversuchs für die geschlossene Bauweise

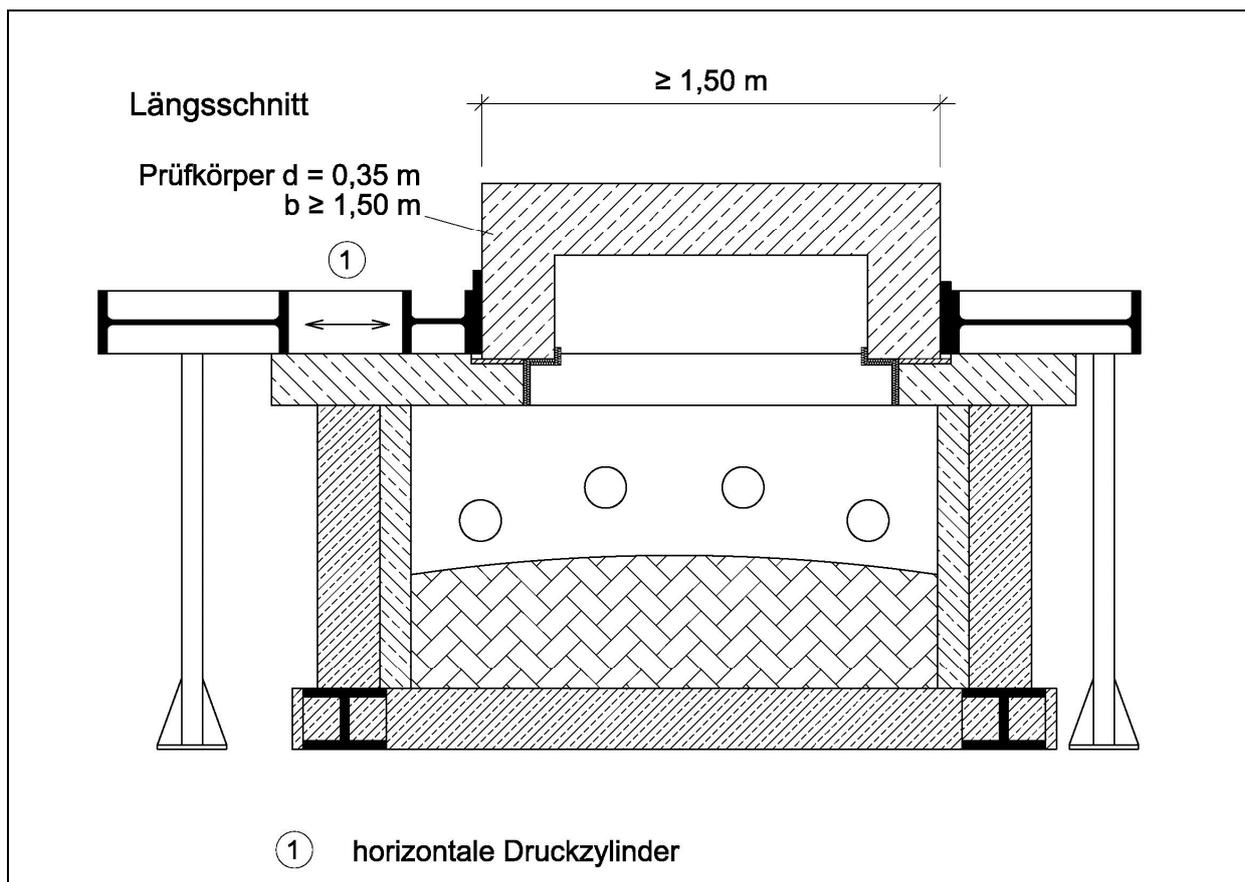


Bild B 5.1.2 Schematischer Versuchsaufbau des Brandversuchs für die offene Bauweise

B 5 Lieferung von Frischbeton

(1) Bei PP-Faserbeton für den baulichen Brandschutz sind die Herkunft und Art sowie die Einwaagemenge der PP-Fasern auf dem Lieferschein ausdruck für Transportbeton und für Fertigteile automatisch anzugeben.

(2) Über einen Wechsel des PP-Faserherstellers und/oder der PP-Faserart ist der Auftraggeber mindestens sechs Wochen vor Betonierbeginn schriftlich zu informieren.

(3) Auf der Baustelle ist für jede verwendete PP-Faserbetonsorte jeweils für höchstens 300 m^3 oder je drei Betoniertage der tatsächliche PP-Fasergehalt im Frischbeton mittels eines Faserauswaschversuchs gemäß Nr. B 7 (3), zu bestimmen. Dabei ist diejenige Anforderung maßgebend, welche die größte Anzahl von Proben ergibt. Die Übergabe der Ergebnisdokumentation hat zeitnah und fortlaufend an den Auftraggeber zu erfolgen.

B 6 Qualitätssicherung

(1) Für PP-Faserbeton ist gemeinsam mit dem Verarbeiter ein Qualitätssicherungsplan aufzustellen. Darin wird im Einzelnen festgelegt, was, wie, wie oft und durch wen zu überprüfen ist und welche Grenzwerte eingehalten werden müssen. Für

das Vorgehen bei Abweichungen vom Soll müssen die notwendigen Maßnahmen festgelegt und die Verantwortlichen benannt werden. Die Ergebnisse der Überprüfungen müssen von den Verantwortlichen dokumentiert werden. Aus dem Qualitätssicherungsplan müssen die verantwortlichen Personen klar hervorgehen. Die im Qualitätssicherungsplan festgelegten Maßnahmen und Werte sind im Verarbeitungsversuch nach Nr. B 6 (2) zu überprüfen und ggf. anzupassen. Die inhaltlichen Schwerpunkte für einen Qualitätssicherungsplan sind in dem Erfahrungsbericht für die Verwendung von PP-Faserbeton für den baulichen Brandschutz im Tunnelbau (abrufbar unter www.bast.de) beschrieben.

(2) Bei Verwendung von PP-Faserbeton ist eine erweiterte Erstprüfung mit einem großmaßstäblichen Verarbeitungsversuch durchzuführen. Hierbei ist ein großmaßstäblicher Probekörper mit der Geometrie und Bewehrungsführung des späteren Bauwerks herzustellen, der sich an der eigentlichen Baukonstruktion orientiert, wobei die Mindestmaße von Länge $4,5 \text{ m}$, Dicke $0,35 \text{ m}$ und Höhe $3,0 \text{ m}$ einzuhalten sind. Der PP-Faserbeton für die erweiterte Erstprüfung muss aus dem zur Anwendung vorgesehenen Betonwerk geliefert werden. Es sind mindestens folgende Untersuchungen zusätzlich erforderlich:

- Nachweis des tatsächlichen PP-Fasergehaltes im Frischbeton nach Nr. B 7 (3) und im Festbeton (mittels Bohrkernen an mindestens 6 Stellen des Versuchskörpers des großmaßstäblichen Verarbeitungsversuches) nach Nr. B 7 (4).
- Ermittlung des Luftgehaltes im PP-Faserbeton nach DIN EN 12350-7. Der Mindestluftgehalt darf den bei der Erstprüfung ermittelten Wert um max. 1,5 Vol.-% weder unterschreiten noch überschreiten. Bei der Prüfung ist der Einfluss des Pumpens auf den Luftporengehalt zu untersuchen.

(3) Die Ergebnisse des Verarbeitungsversuches sind mindestens eine Woche vor den Betonierarbeiten dem Auftraggeber zur Freigabe vorzulegen.

B 7 Prüfungen von Frisch- und Festbeton

(1) Die Prüfung des tatsächlichen PP-Fasergehaltes im Frisch- und im Festbeton darf nur bei einer für die erforderlichen Prüfungen akkreditierten und unabhängigen Konformitätsbewertungsstelle (KBS) durchgeführt werden. Die Qualifizierung der KBS hat nach ZTV-ING Teil 1 Abschnitt 1, Tabelle A 1.1.1, Zeile 4-2a zu erfolgen. Die KBS muss den Validierungsversuch nach dem Anhang 4 bzw. 5 der Richtlinie Erhöhter baulicher Brandschutz für unterirdische Verkehrsbauwerke aus Beton der Österreichischen Bautechnik Vereinigung (ÖBV) erfolgreich durchgeführt haben.

(2) Bei der Bestimmung des Wassergehalts durch Darren ist der PP-Fasergehalt des PP-Faserbetons von dem in der Prüfung bestimmten Masseverlust abzuziehen.

(3) Der Nachweis des tatsächlichen PP-Fasergehaltes im Frischbeton ist gemäß der Anlage 4 der Richtlinie Erhöhter baulicher Brandschutz für unterirdische Verkehrsbauwerke aus Beton (ÖBV) zu führen. Abweichend zu den Angaben in der Richtlinie darf der mittels des Faserauswaschversuchs bestimmte PP-Fasergehalt für den kleinsten Einzelwert um bis zu -10% und der kleinste Mittelwert um bis zu -5% gegenüber dem Sollwert abweichen.

(4) Der Nachweis des tatsächlichen PP-Fasergehaltes im Festbeton ist gemäß der Anlage 5 der Richtlinie Erhöhter baulicher Brandschutz für unterirdische Verkehrsbauwerke aus Beton der ÖBV zu führen. Bei den PP-Faserrückgewinnungsversuchen müssen $\geq 58\%$ (Einzelwert) und $\geq 65\%$ (Mittelwert) des Sollwertes für den PP-Fasergehalt [kg/m^3] wiedergefunden werden.

(5) Der PP-Faserrückgewinnungsgrad am Festbeton sollte frühestens sieben Tage nach Herstellung der dafür vorgesehenen Probekörper erfolgen.