

Umsetzung des Eurocode 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 103

The logo for 'bast' is written in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are closely spaced and have a slight shadow effect, giving it a three-dimensional appearance. The 'b' is particularly prominent with its thick stroke.

Umsetzung des Eurocode 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken

von

Silke Briebrecher
Axel Städing

Ingenieurbüro Prof. Duddeck und Partner GmbH

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 103

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M - Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv [ELBA](http://elba.bast.opus.hbz-nrw.de) zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 15.0530/2011/FRB:
Auswirkungen der nationalen Umsetzung des Eurocode 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken

Fachbetreuung:
Jürgen Blofeld
Ingo Kaundinya
Daniel Eickmeier

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9293
ISBN 978-3-95606-088-5

Bergisch Gladbach, Mai 2014

Kurzfassung – Abstract

Umsetzung des Eurocode 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken

Zur Erprobung der Umsetzung des Eurocode 7 und der weiteren neuen europäischen Normen im Grund- und Tunnelbau wurden Vergleichsberechnungen nach DIN EN 1997-1/DIN 1054 (2010) und nach bisher gültiger DIN 1054 (2005) durchgeführt. Als Beispiele wurden ein Spundwandverbau, eine Winkelstützwand, ein Tunnel in offener Bauweise, ein Tunnel in geschlossener Bauweise und eine Pfahlgründung berechnet. Die Untersuchungen haben im Wesentlichen die folgenden Ergebnisse gezeigt:

- Für den betrachteten Spundwandverbau und die untersuchte Winkelstützwand ergeben sich auf der Grundlage der neuen europäischen Vorschriften die gleichen Bauteilabmessungen und Querschnittsausnutzungen wie nach den bisherigen nationalen Normen.
- Für Tunnelbauwerke in offener und in geschlossener Bauweise ergeben sich aufgrund der gemäß DIN EN 1992-2 nun größer anzusetzenden Elastizitätsmoduln des Betons geringfügig höhere erforderliche Bewehrungsquerschnitte als bisher.
- Bei Pfahlbemessungen ergeben sich geringfügig abweichende Bemessungswiderstände der äußeren Tragfähigkeit der Pfähle.
- Durch die Einführung der neuen europäischen Vorschriften für Bauwerke des Grund- und Tunnelbaus ergeben sich insgesamt nur geringe technische Änderungen bei den zu führenden statischen Nachweisen und auch nur geringe Änderungen in den Bemessungsergebnissen gegenüber den bisherigen deutschen Normen. Die Umstellung auf die europäischen Normen beinhaltet im Grund- und Tunnelbau daher keine gravierenden Änderungen des Sicherheitsniveaus oder der Kosten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die ZTV-ING, Teil 2, Abschnitte 1, 2 und 4 sowie Teil 5, Abschnitte 1 und 2 und die zugehörigen fachspezifischen europäischen und deutschen Vorschriften für die hier untersuchten Bauwerke eine hinreichende Grundlage für die Umsetzung der Eurocodes im Grund- und Tunnelbau sind.

Implementation of Eurocode 7 for the design of foundations and tunnels

In order to study the implementation of Eurocode 7 and further new European standards for the design of foundations and tunnels comparative calculations with DIN EN 1997-1/DIN 1054 (2010) and previously valid DIN 1054 (2005) have been made. The following examples have been calculated: a sheet-pile retaining wall, an angular retaining wall, an cut-and-cover tunnel, a tunnel built with shotcrete method and a bore pile foundation. They have led to the following results:

- For the sheet-pile retaining wall and the angular retaining wall the new European regulations lead to the same dimensions for the structural parts and the optimum use of bearing cross sections as the previously valid national standards.
- DIN EN 1992-2 requires a higher elasticity modulus of the concrete. For tunnels this leads to a slight increase in the reinforcement areas.
- With regard to the dimensioning of piles the new regulations lead to a small difference of rated resistances of the outer load capacity of the piles.
- To sum up, we can say, that only small technical changes for the necessary static verifications and the subsequent results arise from the introduction of the new European regulations for the design of tunnels and foundations. Consequently, relevant changes in safety level and expenditures are not to be expected.

In all, we can say, that ZTV-ING, part 2, chapter 1, 2 and 4 as well as part 5, chapter 1 and 2 and the associated disciplinary European and German regulations are a sufficient basis for the application of the Eurocodes for the design of tunnels and foundations.

Inhalt

1	Aufgabe	7	5.1.5	Nachweis der Gleitsicherheit	15
2	Maßgebende neue technische Vorschriften	7	5.1.6	Nachweis der Kippsicherheit	15
3	Grenzzustände, Bemessungssituationen und Teilsicherheiten ..	9	5.1.7	Nachweis der Grundbruchsicherheit	16
4	Standsicherheitsnachweis für einen Spundwandverbau	10	5.1.8	Nachweis der Geländebruchsicherheit	16
4.1	Berechnung gemäß DIN EN 1997-1/ DIN 1054(2010)	10	5.1.9	Nachweis zur Begrenzung einer klaffenden Fuge	16
4.1.1	Beschreibung des untersuchten Musterbeispiels	10	5.1.10	Bemessung der Stahlbetonkonstruktion	16
4.1.2	Maßgebende Vorschriften	10	5.2	Vergleich mit der Berechnung nach DIN 1054(2005)	16
4.1.3	Berechnungsgrundlagen	10	6	Standsicherheitsnachweis für einen Tunnel in offener Bauweise	17
4.1.4	Berechnungsablauf	10	6.1	Berechnung gemäß DIN EN 1997-1/ DIN 1054(2010)	17
4.1.5	Ermittlung der Schnittgrößen und der Einbindelänge	11	6.1.1	Beschreibung des untersuchten Musterbeispiels	17
4.1.6	Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte	12	6.1.2	Maßgebende Vorschriften	17
4.1.7	Nachweis des Erdwiderlagers	12	6.1.3	Berechnungsgrundlagen	17
4.1.8	Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge	12	6.1.4	Berechnungsablauf	19
4.1.9	Nachweis der Geländebruchsicherheit	12	6.1.5	Auftriebssicherheitsnachweis	19
4.1.10	Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch	12	6.1.6	Lastfallkombinationen für die Stahlbetonbemessung	19
4.1.11	Bemessung der Bauteile	12	6.1.7	Schnittgrößenermittlung	20
4.2	Vergleich mit der Berechnung nach DIN 1054(2005)	13	6.1.8	Bemessung der Stahlbetonkonstruktion	20
5	Standsicherheitsnachweis für eine Winkelstützwand	13	6.2	Vergleich mit der Berechnung nach DIN 1054(2005)	20
5.1	Berechnung gemäß DIN EN 1997-1/ DIN 1054(2010)	13	7	Standsicherheitsnachweis für einen Tunnel in geschlossener Bauweise	21
5.1.1	Beschreibung des untersuchten Musterbeispiels	13	7.1	Berechnung gemäß DIN EN 1997-1/ DIN 1054(2010)	21
5.1.2	Maßgebende Vorschriften	13	7.1.1	Beschreibung des untersuchten Musterbeispiels	21
5.1.3	Berechnungsgrundlagen	14	7.1.2	Maßgebende Vorschriften	21
5.1.4	Berechnungsablauf	14			

7.1.3	Berechnungsgrundlagen	22	Anlagen
7.1.4	Berechnungsablauf.	22	Musterbeispiele für die nationale Umsetzung des EC 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken mit Vergleichsberechnung nach DIN 1054 (2005)
7.1.5	Schnittgrößenermittlung	23	
7.1.6	Bemessung der Stahlbetonkonstruktion	23	Anlage 1: Standsicherheitsnachweis für einen Spundwandverbau
7.2	Vergleich mit der Berechnung nach DIN 1054(2005)	23	Anlage 2: Standsicherheitsnachweis für eine Winkelstützwand
8	Standsicherheitsnachweis für eine Pfahlgründung	24	Anlage 3: Standsicherheitsnachweis für einen Tunnel in offener Bauweise
8.1	Berechnung gemäß DIN EN 1997-1/ DIN 1054(2010)	24	Anlage 4: Standsicherheitsnachweis für einen Tunnel in geschlossener Bauweise
8.1.1	Beschreibung des untersuchten Musterbeispiels.	24	Anlage 5: Standsicherheitsnachweis für eine Pfahlgründung
8.1.2	Maßgebende Vorschriften	25	
8.1.3	Berechnungsgrundlagen	25	
8.1.4	Berechnungsablauf.	26	Die Anlagen sind auf der beiliegenden CD als PDF-Datei gespeichert.
8.1.5	Charakteristische Widerstandsetzungslinie und Gruppenwirkung	27	
8.1.6	Ermittlung der Pfahlkräfte	27	
8.1.7	Bemessung der Pfähle	27	
8.1.8	Verformungsbegrenzung	27	
8.2	Vergleich mit der Berechnung nach DIN 1054(2005)	27	
9	Ergebnis und Empfehlungen.	28	

1 Aufgabe

Zum 1. Mai 2013 wird die Anwendung der Eurocodes für die Planung und Bemessung von Ingenieurbauwerken im Zuständigkeitsbereich des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung verbindlich. Gleichzeitig werden die bisher gültigen nationalen Normen zurückgezogen. Für den Entwurf und die Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken wird damit eine Reihe neuer Vorschriften maßgebend, mit deren Anwendung bisher keine Erfahrungen vorliegen.

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, hat aus diesem Grund das Ingenieurbüro Professor Duddeck und Partner GmbH beauftragt, die nationale Umsetzung der neuen europäischen Vorschriften im Grund- und Tunnelbau zu erproben.

Im Einzelnen hat die Untersuchung die folgenden Ziele:

- Erprobung der Anwendung der Eurocodes auf die Berechnung und Bemessung repräsentativer Grund- und Tunnelbauwerke,
- beispielhafte Darstellung der Anwendung der neuen europäischen Vorschriften zur Erleichterung der Einarbeitung,
- Überprüfung der Auswirkungen der neuen Eurocodes hinsichtlich Sicherheit und Wirtschaftlichkeit durch Vergleichsberechnungen nach den bisherigen nationalen Regelwerken,
- Ableitung von Empfehlungen für die Anwendung der neuen Vorschriften und für die Fortschreibung der eigenen technischen Regelwerke, insbesondere der ZTV-ING, Teil 2 „Grundbau“ und Teil 5 „Tunnelbau“.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber werden die folgenden wirklichkeitsnahen Bauwerksbeispiele berechnet:

- Musterbeispiel 1 – Spundwandverbau für eine Baugrube,
- Musterbeispiel 2 – Winkelstützwand für eine im Einschnitt liegende Straße,
- Musterbeispiel 3 – Tunnelbauwerk in offener Bauweise als zweizelliger Stahlbetonrahmen,
- Musterbeispiel 4 – Zweischaliger Tunnel in geschlossener Bauweise (Spritzbetonbauweise),

- Musterbeispiel 5 – Pfahlrost zur Gründung eines Brückenpfeilers.

In dem vorliegenden Bericht werden die Standsicherheitsnachweise der o. g. Musterbeispiele auf der Grundlage der europäischen Vorschriften erläutert, die Ergebnisse mit den Resultaten der bisher gültigen nationalen Vorschriften verglichen und Empfehlungen zur Anwendung der Eurocodes gegeben.

2 Maßgebende neue technische Vorschriften

Für Entwurf und Bemessung von Straßentunneln, Stützbauwerken, Baugruben und Gründungen sind als übergeordnete Vorschriften die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Teil 2 (Grundbau) und Teil 5 (Tunnelbau) maßgebend.

ZTV-ING Teil 2, Abschnitt 1 (Baugruben), Abschnitt 2 (Gründungen) und Abschnitt 4 (Stützkonstruktionen) sowie ZTV-ING Teil 5, Abschnitt 1 (Geschlossene Bauweise) und Abschnitt 2 (Offene Bauweise) liegen zum Zeitpunkt der Bearbeitung als Entwürfe aus dem Jahr 2012 mit Umstellung auf die europäischen Normen vor.

Für die Berechnungsansätze im Einzelnen, wie Einwirkungen, Widerstände, Einwirkungskombinationen und Teilsicherheiten sind die folgenden europäischen Normen maßgebend:

- DIN EN 1990 – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe 2010-12,
- DIN EN 1990/NA: Nationaler Anhang zu DIN EN 1990, Ausgabe 2010-12,
- DIN EN 1990/NA/A1: Nationaler Anhang zu DIN EN 1990, Änderung A1, 2012-08,
- DIN EN 1991-1-1 – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe 2010-12,
- DIN EN 1991-1-1/NA: Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-1-1, Ausgabe 2010-12,
- DIN EN 1991-2 – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken, Ausgabe 2010-12,
- DIN EN 1991-2/NA: Nationaler Anhang zu DIN EN 1991-2, Ausgabe 2012-08,

- DIN EN 1992-1-1 – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Ausgabe 2011-01,
- DIN EN 1992-1-1/NA: Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-1-1, Ausgabe 2011-01,
- DIN EN 1992-2 – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 2: Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln, Ausgabe 2010-12,
- DIN EN 1992-2/NA: Nationaler Anhang zu DIN EN 1992-2, Entwurf 2012-04,
- DIN EN 1993-1-1 – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Ausgabe 2010-12,
- DIN EN 1993-1-1/NA: Nationaler Anhang zu DIN EN 1993-1-1, Ausgabe 2010-12,
- DIN EN 1993-5 – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 5: Pfähle und Spundwände, Ausgabe 2010-12,
- DIN EN 1993-5/NA: Nationaler Anhang zu DIN EN 1993-5, Ausgabe 2010-12,
- DIN EN 1997-1 – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Ausgabe 2009-09,
- DIN EN 1997-1/NA: Nationaler Anhang zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12,
- DIN 1054 – Baugrund: Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Ausgabe 2010-12,
- DIN EN 1536: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau, Bohrpfähle, Ausgabe 2010-12,
- DIN EN 1537: Verpressanker, Ausgabe 2001-01,
- DIN EN 1537 Ber. 1: Verpressanker, Berichtigung 1, Ausgabe 2011-12,
- DIN EN 10248 – Teil 1: Warmgewalzte Spundbohlen aus unlegierten Stählen; Technische Lieferbedingungen, Ausgabe 8.95.

Die ergänzenden nationalen Festlegungen zu den europäischen Ausführungsnormen, wie z. B.

DIN SPEC 18140 und DIN SPEC 18537, liefern hier keine für die statischen Berechnungen der untersuchten Beispiele relevanten Angaben.

Weiterhin gültig bleiben u. a. die folgenden deutschen Normen im Grund- und Tunnelbau:

- DIN 488: Betonstahl, Teil 1, 2, 4, Ausgabe 2009-08,
- DIN 1055, Teil 2: Lastannahmen für Bauten, Bodenkenngößen, Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel, Ausgabe 1976-02,
- DIN 4017: Baugrund – Berechnung des Grundbruchwiderstandes von Flachgründungen, Ausgabe 2006-03,
- DIN 4084: Baugrund – Geländebruchberechnungen, Ausgabe 2009-01,
- DIN 4085: Baugrund – Berechnung des Erd-drucks, Ausgabe 2011-05.

Darüber hinaus sind die Empfehlungen der DGGT zu beachten:

- EA-Pfähle: Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., Verlag Ernst und Sohn, 2. Auflage 2012,
- EAB: Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., Verlag Ernst und Sohn, 5. Auflage, 2012.

Die folgenden entsprechenden nationalen Normen und Empfehlungen verlieren mit der Umstellung auf europäische Normen ihre Gültigkeit:

- DIN-Fachbericht 101: Einwirkungen auf Brücken, Ausgabe 2009-03,
- DIN-Fachbericht 102: Betonbrücken, Ausgabe 2009-03,
- DIN 1054: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Ausgabe 2005-01,
- DIN 1055 Teil 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Wichte und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen, Ausgabe 2002-06,
- DIN 18800-1: Stahlbauten, Bemessung und Konstruktion, Ausgabe 2008-11,
- EAB: Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., Verlag Ernst und Sohn, 4. Auflage, 2006,

- EA-Pfähle: Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., Verlag Ernst und Sohn, 2007.

3 Grenzzustände, Bemessungssituationen und Teilsicherheiten

Mit der Einführung der europäischen Normen werden neue Bezeichnungen für die Grenzzustände, Lastfälle und Teilsicherheitsbeiwerte eingeführt.

Die generelle Einteilung der zu führenden Nachweise in „Nachweise im Grenzzustand der Trag-

fähigkeit“ und „Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit“ bleibt bestehen. Die Bezeichnungen werden jedoch gemäß Tabelle 3.1 geändert.

Die Benennung der gemäß DIN EN 1997-1/ DIN 1054(2010) im Einzelnen zu untersuchenden Grenzzustände wird gemäß Tabelle 3.2 geändert.

Die gemäß alter DIN 1054(2005) abhängig von den Einwirkungskombinationen und Sicherheitsklassen vorgenommene Einteilung der Einwirkungen in Lastfälle wird in DIN EN 1997-1 und DIN 1054(2010) analog durch Bemessungssituationen ersetzt, siehe Tabelle 3.3.

	neue Bezeichnung	alte Bezeichnung
Grenzzustand der Tragfähigkeit	ULS (ultimate limit state)	GZT (GZ 1)
Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	SLS (serviceability limit state)	GZG (GZ 2)

Tab. 3.1: Allgemeine Grenzzustände

	neue Bezeichnung gemäß DIN EN 1997-1/ DIN 1054(2010)	alte Bezeichnung gemäß DIN 1054(2005)
Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch	HYD (hydraulic)	GZ 1A
Grenzzustand des Versagens durch Aufschwimmen	UPL (uplift)	GZ 1A
Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit	EQU (equilibrium)	-
Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen	STR (structural)	GZ 1B
Grenzzustand des Versagens von Baugrund	GEO-2	GZ 1B
Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstand-sicherheit	GEO-3	GZ 1C
Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	SLS	GZ 2

Tab. 3.2: Grenzzustände für Grund- und Tunnelbauwerke

	neue Bezeichnung gemäß DIN EN 1997-1/ DIN 1054(2010)	alte Bezeichnung gemäß DIN 1054(2005)
Ständige Bemessungssituation	BS-P (persistent)	LF 1
vorübergehende Bemessungssituation	BS-T (transient)	LF 2
außergewöhnliche Bemessungssituation	BS-A (accidental)	LF 3
Bemessungssituation infolge von Erdbeben	BS-E (earthquake)	LF 3

Tab. 3.3: Bemessungssituationen

Die Bezeichnungen der Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände wurden ebenfalls teilweise geändert (andere Indizes). Die Beiwerte selbst sind jedoch in ihrer Größe im Wesentlichen unverändert. Nähere Angaben hierzu sind der Erläuterung der einzelnen Berechnungsbeispiele zu entnehmen.

4 Standsicherheitsnachweis für einen Spundwandverbau

4.1 Berechnung gemäß DIN EN 1997-1/DIN 1054(2010)

4.1.1 Beschreibung des untersuchten Musterbeispiels

Das betrachtete Bauwerk ist ein Baugrubenverbau für die Herstellung eines Trogbauwerkes. Es ist eine Aushubtiefe von 9,55 Metern erforderlich, die durch eine geböschte Baugrube in Verbindung mit einem einfach verankerten Spundwandverbau gesichert wird. Bild 4.1 zeigt einen Querschnitt der Baugrube, aus dem der anstehende Baugrund, der Grundwasserstand und die Geometrie hervorgehen.

4.1.2 Maßgebende Vorschriften

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des Baubehelfes gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 1 (Grundbau, Baugruben).

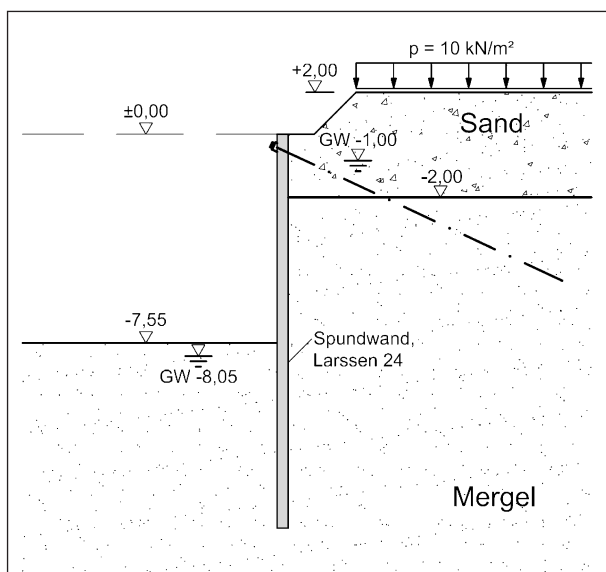


Bild 4.1: Spundwandverbau, Querschnitt

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise des Baugrubenverbau,
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser,
- DIN 4084: für die Böschungsbruchberechnung,
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung,
- DIN EN 1993-5: für die Bemessung und die Material-Teilsicherheitsbeiwerte der Spundwand,
- EAB: für Details der Nachweise.

4.1.3 Berechnungsgrundlagen

Als Grundlage der Berechnung sind zusammenzustellen:

- die charakteristischen Baugrundkennwerte und Grundwasserstände,
- die Materialkennwerte und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite,
- das statische System,
- die charakteristischen Werte der Einwirkungen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite.

Die charakteristischen Einwirkungen aus Erddruck infolge von Eigengewicht und Verkehrslasten (siehe DIN EN 1991-2 bzw. EAB) werden entsprechend dem Verweis in DIN 1054(2010) wie bisher nach DIN 4085 ermittelt.

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände nach europäischen und nach alten nationalen Vorschriften werden in Tabelle 4.1 gegenübergestellt. Sie sind gleich groß.

4.1.4 Berechnungsablauf

Der Baugrubenverbau ist auf der Grundlage der DIN EN 1997-1 und der DIN 1054 nachzuweisen. Diese fordern die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.

Teilsicherheitsbeiwert	gemäß DIN 1054(2010)	gemäß DIN 1054(2005)
ständige Einwirkungen (Eigengewicht, Erd- und Wasserdruck, Nutzlast $\leq 10 \text{ kN/m}^2$)	$\gamma_G = 1,20$ (STR, BS-T) $\gamma_G = 1,10$ (STR, BS-A)	$\gamma_G = 1,20$ (GZ1B, LF2) $\gamma_G = 1,10$ (GZ1B, LF3)
Erdwiderstand		
für die Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen	$\gamma_{R,e} = 1,30$ (GEO-2, BS-T)	$\gamma_{Ep} = 1,30$ (GZ1B, LF2)
für LF Ankerausfall	$\gamma_{R,e} = 1,20$ (GEO-2, BS-A)	$\gamma_{Ep} = 1,20$ (GZ1B, LF3)
tiefe Gleitfuge	$\gamma_{R,e} = 1,30$ (GEO-2, BS-T)	$\gamma_{Ep} = 1,30$ (GZ1B, LF2)
Gesamtstandsicherheit		
Reibungsbeiwert $\tan\varphi'$	$\gamma_{\varphi'} = 1,15$ (GEO-3, BS-T)	$\gamma_{\varphi} = 1,15$ (GZ1C, LF2)
Kohäsion c'	$\gamma_c = 1,15$ (GEO-3, BS-T)	$\gamma_c = 1,15$ (GZ1C, LF2)
Hydraulischer Grundbruch		
stabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stab} = 0,95$ (HYD, BS-T)	$\gamma_{G,stab} = 0,95$ (GZ1A, LF2)
Strömungskraft bei günstigem Untergrund	$\gamma_H = 1,30$ (HYD, BS-T)	$\gamma_H = 1,30$ (GZ1A, LF2)
Spundwand		
$f_{y,k} = 240 \text{ N/mm}^2$	$\gamma_{M0} = 1,0$	$\gamma_M = 1,0$
Litzenanker		
Stahlzugglied	$\gamma_M = 1,15$ (STR, BS-T)	$\gamma_M = 1,15$ (GZ1B, LF2)
Verpresskörper	$\gamma_A = 1,10$ (STR, BS-T)	$\gamma_A = 1,10$ (GZ1B, LF2)

Tab. 4.1: Gegenüberstellung der Teilsicherheitsbeiwerte für die Bemessung der Spundwand

Für den vorliegenden Baugrubenverbau sind die folgenden Nachweise erforderlich:

1. Grenzzustand HYD: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch
Für diesen Grenzzustand wird die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nachgewiesen.
2. Grenzzustand STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund
In diesem Grenzzustand werden die Bauteile Spundwand, Anker und Gurtung bemessen. Hierin enthalten ist auch der Nachweis in der tiefen Gleitfuge, der die Länge und Neigung der Anker bestimmt.
3. Grenzzustand GEO-3: Grenzzustand des Verlustes der Gesamtsicherheit
In diesem Grenzzustand wird die Geländebruchsicherheit nachgewiesen.

Die Nachweise für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (Verformungen, Dichtigkeit)

entfallen für den Spundwandverbau, da keine Verformungsbeschränkungen vorliegen, vgl. DIN 1054, 9.8.1.1, A(1a).

Alle Standsicherheitsnachweise erfolgen für die vorübergehende Bemessungssituation BS-T und zusätzlich auch für die Bemessungssituation BS-A (Ankerausfall).

4.1.5 Ermittlung der Schnittgrößen und der Einbindelänge

Die Ermittlung der Einbindelänge und der Schnittgrößen ist prinzipiell unter charakteristischen Einwirkungen und charakteristischen Bodenreaktionen durchzuführen. Bei linear-elastischen Systemen kann die erforderliche Einbindelänge der Spundwand jedoch auch direkt durch Ansatz der Bemessungswerte von Einwirkungen und Widerständen im Grenzzustand STR und GEO-2 ermittelt werden.

In den Berechnungen wird eine Volleinspannung der Baugrubenwand am Fuß angesetzt, da Spundwände i. Allg. ausreichend biegeweich sind, damit

sich bei dem hier vorliegenden steifen bindigen Boden eine volle bodenmechanische Einspannung ausbildet.

Da im ersten Berechnungslauf der Nachweis der Vertikalkomponente des Erdwiderstandes nicht erfüllt wird, wird die Neigung des passiven Erddruckes iterativ verringert und die Einbindelänge in einem zweiten Berechnungslauf ermittelt.

4.1.6 Nachweis des Gleichgewichts der Vertikalkräfte

Für die gewählte Einbindelänge ist der Nachweis der Vertikalkomponente des mobilisierten Erdwiderstandes zu führen. Dies geschieht unter Ansatz charakteristischer Lasten.

Dazu werden an einem Stabwerk die charakteristischen Auflagerkräfte des Ankers sowie des Spundwandfußes ermittelt. Es werden die charakteristischen Erddruckordinaten bei umgelagertem Erd- druck, die charakteristischen Wasserdrücke und die charakteristischen Erdwiderstandsordinaten an- gesetzt. Da der Nachweis im ersten Berechnungslauf nicht erfüllt wird, wird die Neigung des passiven Erd- druckes iterativ verringert und die Einbindelänge in einem zweiten Berechnungslauf ermittelt.

4.1.7 Nachweis des Erdwiderlagers

Es ist nachzuweisen, dass der resultierende, mo- bilisierte Erdwiderstand kleiner ist als der mögliche Erdwiderstand. Dieser Nachweis wird unter Ansatz der Bemessungswerte des mobilisierten und des möglichen Erdwiderstandes im Grenzzustand GEO-2 geführt. Für den Nachweis wird die cha- rakteristische Fußauflagerkraft aus der unter Kapi- tel 4.1.6 erläuterten Stabwerksrechnung mit den Teilsicherheitsbeiwerten des Grenzzustandes STR/GEO-2 multipliziert und der durch die Teil- sicherheit des Erdwiderstandes geteilten charak- teristischen Erdwiderstandsresultierenden gegen- übergestellt.

4.1.8 Nachweis des Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge

Bei verankerten Konstruktionen ist der Nachweis des Versagens in der tiefen Gleitfuge zu führen. Es wird nachgewiesen, dass der von der Verankerung erfasste Bodenkörper bei einer Drehung um einen tief gelegenen Punkt nicht auf einer tiefen Gleitfuge abrutschen kann. Der Standsicherheitsnachweis

für die tiefe Gleitfuge wird gemäß DIN 1054, A 9.7.9 und EAB EB 44 mit den charakteristischen Erd- drücken und Scherparametern geführt. Die Fest- legung der erforderlichen Ankerlänge erfolgt an- schließend mit den Teilsicherheiten des Grenz- zustandes GEO-2.

Der rechnerische Bodenkörper wird begrenzt durch den Schwerpunkt der Verpressstrecke des Ankers auf der Erdseite und durch den Querkraftnullpunkt der Verbauwand in der Tiefe. Die mögliche Anker- kraft wird zeichnerisch aus dem Kräfteck aller am Bruchkörper angreifenden Kräfte ermittelt.

4.1.9 Nachweis der Geländebruchsicherheit

Der Nachweis der Geländebruchsicherheit erfolgt auf der Grundlage der DIN 4084 im Grenzzustand GEO-3. Für diesen Nachweis gehen die ständigen Einwirkungen und die großflächige Verkehrslast von $p = 10 \text{ kN/m}^2$ mit einer Teilsicherheit $\gamma_G = 1,00$ in die Berechnung ein. Die Scherparameter (Wider- stände) gehen mit abgeminderten Kennwerten in die Gleitkreisberechnung ein. Der Nachweis erfolgt gemäß DIN 4084 mit dem Lamellenverfahren von Bishop.

4.1.10 Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch

Der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch erfolgt im Grenzzustand HYD gemäß DIN 1054, 10.3. Es kommt das Näherungsverfahren von TERZAGHI-PECK zur Anwendung.

Zum Nachweis wird das Kräftegleichgewicht zwi- schen Strömungskraft und Bodeneigengewicht an einem Bodenkörper auf der Baugrubenseite der Spundwand untersucht. Dabei wird zwischen güns- tig und ungünstig wirkenden Einwirkungen durch Ansatz der Teilsicherheiten des Grenzzustandes HYD unterschieden. Da die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch maßgeblich von den Wichten des Baugrundes abhängt, sind für den Nachweis die unteren charakteristischen Werte der Wichten anzusetzen.

4.1.11 Bemessung der Bauteile

Die Bemessung der Spundwand erfolgt gemäß DIN EN 1993-5 für den Grenzzustand STR. Dabei kommt gemäß DIN EN 1993-5 für das gewählte Klasse-2-Profil der Nachweis Elastisch-Plastisch zur Anwendung, bei dem die plastischen Wider-

stände der Spundwandbohlen ausgenutzt werden dürfen. Zur Berücksichtigung der verminderten Schubkraftübertragung in den nicht verschweißten Schlössern zwischen den Doppelbohlen (U-Bohlen) sind jedoch Abminderungsfaktoren der Biegetragfähigkeit zu berücksichtigen.

Die innere Tragfähigkeit der Anker wird gemäß DIN EN 1997-1/DIN 1054(2010) nachgewiesen. Für den als außergewöhnliche Bemessungssituation einzustufenden Lastfall „Ankerausfall“ wird hierbei eine erneute Baugrubenberechnung zur Ermittlung der Ankerkraft mit den Teilsicherheiten der Bemessungssituation BS-A erforderlich. Für die Bemessung der Anker ist dieser Lastfall maßgebend, da sich die entfallende Ankerkraft auf benachbarte Anker umlagern muss. Der Herauszieh Widerstand der Verpressanker ist durch Eignungs- und Abnahmeprüfungen nachzuweisen.

4.2 Vergleich mit der Berechnung nach DIN 1054(2005)

Für das betrachtete Baugrubenbeispiel unterscheiden sich die charakteristischen Einwirkungen, die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände sowie die Art der Nachweise nicht zwischen neuen europäischen und alten nationalen Normen.

Der einzige Unterschied ergibt sich bei der Bemessung der Spundwand, wenn der auch bisher gemäß DIN 18800-1 erlaubte, aber nun in DIN EN 1993-5 explizit für Spundwandprofile geregelte Nachweis Elastisch-Plastisch gewählt wird. Dieser Nachweis erlaubt die Ausnutzung der plastischen Querschnittswerte. Bei den im Beispiel vorliegenden U-Bohlen Larssen 24 ist dies eine Steigerung der Widerstandsmomente von 12 % ($W_{el} = 2.500 \text{ cm}^3/\text{m}$, $W_{pl} = 2.800 \text{ cm}^3/\text{m}$). Dieser Vorteil wird allerdings durch die gemäß DIN EN 1993-5 für U-Bohlen erforderlichen Abminderungsfaktoren zur Berücksichtigung der verminderten Schubkraftübertragung in den Schlössern (hier $\beta_B = 0,9$) wieder aufgezehrt, sodass sich im Beispiel gegenüber dem nach wie vor zulässigen Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch keine Tragfähigkeitssteigerung ergibt.

Bei Verwendung von Z-Bohlen oder bei mehrfach verankerten Baugrubenwänden in dichtem oder steifem Baugrund wäre jedoch durch die Anwendung des Nachweisverfahrens Elastisch-Plastisch

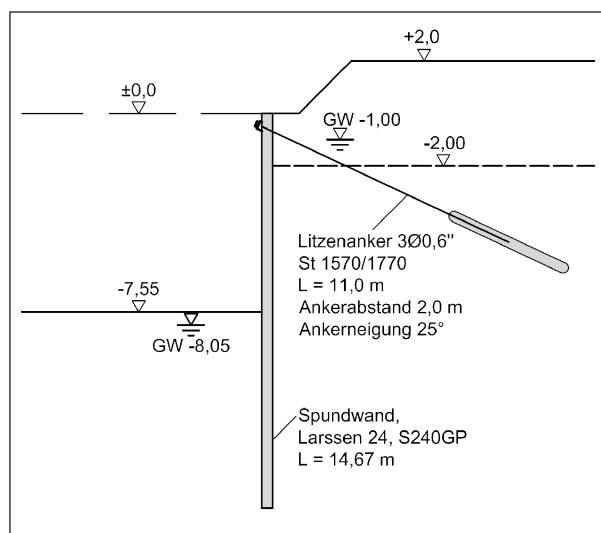


Bild 4.2: Bemessungsergebnis des Spundwandverbaus

generell eine höhere Ausnutzung der Profile möglich.

Im vorliegenden Beispiel sind die Bemessungsergebnisse für die Bauteile gleich, sodass sich keine Veränderung des Sicherheitsniveaus ergibt, vgl. Bild 4.2.

5 Standsicherheitsnachweis für eine Winkelstützwand

5.1 Berechnung gemäß DIN EN 1997-1/ DIN 1054(2010)

5.1.1 Beschreibung des untersuchten Musterbeispiels

Das betrachtete Bauwerk ist eine Winkelstützwand, die den Geländesprung neben einer im Einschnitt liegenden Straße sichert. Die Winkelstützwand weist eine Höhe von 7,0 m auf und wird als monolithisches Stahlbetontragwerk ausgeführt. Die Blocklänge beträgt 10 m. Oberhalb der Winkelstützwand steigt das Gelände mit einer Neigung von 10° an. Hier sind keine Bebauungslasten oder Verkehrsflächen zu berücksichtigen. Bild 5.1 zeigt die Geometrie und die Baugrundverhältnisse des Musterbeispiels.

5.1.2 Maßgebende Vorschriften

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise der Winkelstützwand gelten die Zusätzlichen Techni-

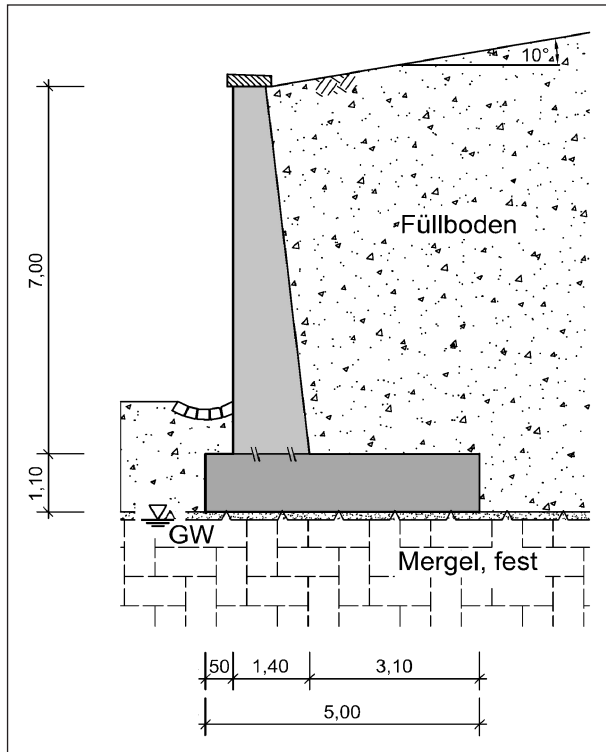


Bild 5.1: Winkelstützwand, Querschnitt

schen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 4 (Grundbau, Stützkonstruktionen). Die Stahlbetonkonstruktion wird zudem in Anlehnung an ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 (Tunnel in offener Bauweise) ausgebildet.

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise des Stützbauwerkes,
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser,
- DIN 4017: für die Berechnung des Grundbruchwiderstandes,
- DIN 4084: für die Geländebruchberechnung,
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung,
- DIN EN 1990: für die Einwirkungskombinationen,
- DIN-EN 1992-2: für die Bemessung und die Material-Teilsicherheitsbeiwerte der Stahlbetonkonstruktion.

5.1.3 Berechnungsgrundlagen

Als Grundlage der Berechnung sind zusammenzustellen:

- die charakteristischen Baugrundkennwerte und Grundwasserstände,
- die Materialkennwerte und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite,
- die charakteristischen Werte der Einwirkungen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite.

Die charakteristischen Einwirkungen aus Erddruck infolge von Eigengewicht und Verkehrslasten (siehe DIN EN 1991-2 bzw. EAB) werden entsprechend dem Verweis in DIN 1054(2010) wie bisher nach DIN 4085 ermittelt.

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände nach europäischen und nach alten nationalen Vorschriften werden in Tabelle 5.1 gegenübergestellt. Sie sind gleich groß.

DIN EN 1997-1 enthält allerdings einen neuen Grenzzustand EQU, der hier für den neuen Kippnachweis zugrunde zu legen ist.

5.1.4 Berechnungsablauf

Das Stützbauwerk ist auf der Grundlage der DIN EN 1997-1 und der DIN 1054 nachzuweisen. Diese fordern die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.

Für die vorliegende Winkelstützwand sind die folgenden Nachweise erforderlich:

1. Grenzzustand EQU: Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit
Für diesen Grenzzustand wird die Sicherheit gegen Kippen nachgewiesen.
2. Grenzzustand STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund
In diesem Grenzzustand wird die Winkelstützwand bemessen. Darüber hinaus werden der Gleit- und der Grundbruchnachweis geführt.
3. Grenzzustand GEO-3: Grenzzustand des Verlustes der Gesamtsicherheit
In diesem Grenzzustand wird die Geländebruchsicherheit nachgewiesen.

Teilsicherheitsbeiwert	gem. DIN 1054(2010) bzw. DIN EN 1992-2	gemäß DIN 1054(2005) bzw. DIN-Fb 102
für Kippsicherheit		
ungünstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst} = 1,10$ (EQU, BS-P)	-
günstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stab} = 0,90$ (EQU, BS-P)	-
für Standsicherheit		
ständige Einwirkungen (Eigengewicht, Erddruck, Nutzlast ≤ 10 kN/m ²)	$\gamma_G = 1,35$ (STR, BS-P)	$\gamma_G = 1,35$ (GZ1B, LF1)
ständige Einwirkungen aus Erdruehdruk	$\gamma_{G,E0} = 1,20$ (STR, BS-P)	$\gamma_{E0g} = 1,20$ (GZ1B, LF1)
Grundbruchwiderstand	$\gamma_{R,v} = 1,40$ (STR, BS-P)	$\gamma_{Gr} = 1,40$ (GZ1B, LF1)
Gleitwiderstand	$\gamma_{R,h} = 1,10$ (STR, BS-P)	$\gamma_{Gl} = 1,10$ (GZ1B, LF1)
für Gesamtstandsicherheit		
ständige Einwirkungen	$\gamma_G = 1,00$ (GEO-3, BS-P)	$\gamma_G = 1,00$ (GZ1C, LF1)
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$	$\gamma_{\varphi'} = 1,25$ (GEO-3, BS-P)	$\gamma_{\varphi} = 1,25$ (GZ1C, LF1)
Kohäsion c'	$\gamma_{c'} = 1,25$ (GEO-3, BS-P)	$\gamma_c = 1,25$ (GZ1C, LF1)
für Gebrauchstauglichkeit		
ständige Einwirkungen	$\gamma_G = 1,00$ (SLS, BS-P)	$\gamma_G = 1,00$ (GZ2, LF1)
Beton	$\gamma_c = 1,5$ (ULS, S+V) $\gamma_c = 1,0$ (SLS)	$\gamma_c = 1,5$ (GZT, S+V) $\gamma_c = 1,0$ (GZG)
Betonstahl	$\gamma_S = 1,15$ (ULS, S+V) $\gamma_S = 1,0$ (SLS)	$\gamma_S = 1,15$ (GZT, S+V) $\gamma_S = 1,0$ (GZG)

Tab. 5.1: Gegenüberstellung der Teilsicherheitsbeiwerte für die Bemessung der Winkelstützwand

4. Grenzzustand SLS: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweise für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit beschränkt sich im vorliegenden Beispiel auf die Rissbreitenbeschränkung der Stahlbetonkonstruktion. Ein Nachweis der Verformungen kann entfallen, da die Böschung hinter der Wand unbebaut ist und die Winkelstützwand auf festem Mergel mit ausreichend großer Tragfähigkeit gegründet ist.

Die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise erfolgen für die ständige Bemessungssituation BS-P.

5.1.5 Nachweis der Gleitsicherheit

Die Gleitsicherheit ist mit dem Nachweisverfahren STR/GEO-2 nachzuweisen. Der Nachweis erfolgt gemäß DIN 4085 an einem Ersatzkörper, der durch einen vertikalen Schnitt am Ende des erdseitigen Wandschenkels begrenzt wird. Die Eigenlast des Bodenkeils auf dem erdseitigen Wandschenkel wird berücksichtigt.

Für den Nachweis werden an dem betrachteten Ersatzkörper zunächst die charakteristischen antreibenden Horizontalkräfte ermittelt. Diese werden, vergrößert mit den zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten, dem Bemessungswert der in der Sohlfuge abhängig von der vertikalen Auflast aufnehmbaren Reibungskraft gegenübergestellt.

5.1.6 Nachweis der Kippsicherheit

Der Kippsicherheitsnachweis ist in DIN EN 1997-1 neu geregelt und wird im Grenzzustand EQU geführt. Es wird eine Vergleich der stabilisierenden und der destabilisierenden Einwirkungen (Momente) bezogen auf eine Kippkante des Fundamentes geführt (hier die Vorderkante des luftseitigen Spornes).

Dazu werden an dem betrachteten Ersatzkörper die charakteristischen Drehmomente der Einwirkungen ermittelt und abhängig von ihrer Wirkungsrichtung mit den Teilsicherheiten für stabilisierende bzw. destabilisierende Einwirkungen multipliziert. Das Verhältnis der Bemessungswerte

von stabilisierenden zu destabilisierenden Momenten muss größer oder gleich 1,0 sein.

5.1.7 Nachweis der Grundbruchsicherheit

Der Grundbruchnachweis wird mit dem Nachweisverfahren GEO-2 geführt. Der Nachweis erfolgt wiederum an einem Ersatzkörper, der durch einen vertikalen Schnitt am Ende des erdseitigen Wandchenkels begrenzt wird.

Der charakteristische Grundbruchwiderstand wird entsprechend dem Verweis in DIN 1054(2010) wie bisher gemäß DIN 4017 ermittelt. Der mit den Teilsicherheiten des Nachweisverfahrens GEO-2 abgeminderte Bemessungswert des Grundbruchwiderstandes wird anschließend dem Bemessungswert der Beanspruchungen senkrecht zur Fundamentsohlfläche gegenübergestellt.

5.1.8 Nachweis der Geländebruchsicherheit

Der Nachweis der Geländebruchsicherheit erfolgt auf der Grundlage der DIN 4084 im Grenzzustand GEO-3. Für diesen Nachweis gehen die ständigen Einwirkungen und die großflächige Verkehrslast von $p = 10 \text{ kN/m}^2$ mit einer Teilsicherheit $\gamma_G = 1,0$ in die Berechnung ein. Die Scherparameter (Widerstände) gehen mit abgeminderten Kennwerten in die Gleitkreisberechnung ein. Der Nachweis erfolgt gemäß DIN 4084 mit dem Lamellenverfahren von Bishop.

5.1.9 Nachweise zur Begrenzung einer klaffenden Fuge

Der bisher gemäß DIN 1054(2005) zum Nachweis der Sicherheit gegen Kippen im Grenzzustand der Tragfähigkeit geführte Nachweis der zulässigen Lastausmitte in der Sohlfläche unter ständigen und veränderlichen Lasten ist in DIN EN 1997-1/ DIN 1054(2010) nun den Nachweisen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zugeordnet.

Ebenso wie der Nachweis der zulässigen Lastausmitte unter ständigen Lasten wird dieser Nachweis unter charakteristischen Einwirkungen geführt. Es ist nachzuweisen, dass die Lastausmitte unter ständigen Lasten kleiner oder gleich einem Sechstel der Fundamentbreite und unter ständigen und veränderlichen Lasten kleiner oder gleich einem Drittel der Fundamentbreite ist.

5.1.10 Bemessung der Stahlbetonkonstruktion

Die Stahlbetonkonstruktion wird gemäß DIN EN 1992-2 für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Rissbreitenbeschränkung) bemessen. Die zulässigen rechnerischen Rissbreiten werden gemäß ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 gewählt und für die häufige Einwirkungskombination nachgewiesen.

5.2 Vergleich mit der Berechnung nach DIN 1054(2005)

Für die betrachtete Winkelstützwand unterscheiden sich die charakteristischen Einwirkungen, die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände sowie die Art der Nachweise – mit Ausnahme des Kippnachweises – nicht zwischen neuen europäischen und alten nationalen Normen.

Der in DIN EN 1997-1 neu geregelte Kippnachweis wird hier für die äußeren Abmessungen der Winkelstützwand nicht maßgebend.

Die Stahlbetonbemessung gemäß DIN EN 1992-2 liefert die gleichen Ergebnisse wie die Bemessung gemäß DIN-Fachbericht 102, sodass sowohl die äußeren Abmessungen der Winkelstützwand als auch die erforderlichen Bewehrungsquerschnitte identisch sind.

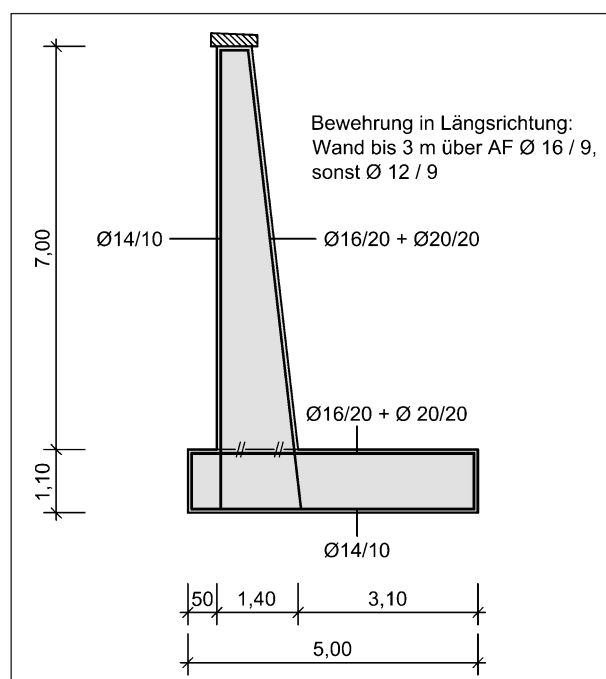


Bild 5.2: Bemessungsergebnis der Winkelstützwand

6 Standsicherheitsnachweis für einen Tunnel in offener Bauweise

6.1 Berechnung gemäß DIN EN 1997-1/ DIN 1054(2010)

6.1.1 Beschreibung des untersuchten Musterbeispiels

Das betrachtete Tunnelbauwerk dient zur Unterführung einer vierspurigen Straße mit einem Regelquerschnitt RQ 31T. Es wird in offener Bauweise als Stahlbetonrahmen hergestellt. Aus dem Lichtraumprofil RQ 31T ergeben sich die lichten Innenmaße des 2-zelligen Rahmens von jeweils 12,0 m Breite und 6,0 m Höhe. Die Sohloberkante des Rahmens liegt 11,1 m unter OK Gelände. Die Konstruktionsdicken werden auf der Grundlage einer Vorbemessung zu 1,2 m für die Sohle, 1,1 m für die Tunneldecke, 1,0 m für die Außenwände und 0,80 m für die Innenwand gewählt. Die Blocklänge beträgt 10,0 m. Das Bauwerk wird als wasserundurchlässige Betonkonstruktion geplant. Bild 6.1 zeigt die Geometrie, die Baugrund- und die Grundwasserhältnisse des Musterbeispiels.

6.1.2 Maßgebende Vorschriften

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des Tunnelbauwerkes gelten die Zusätzlichen Techni-

schen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 (Tunnel in offener Bauweise).

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Erddruckansätze, Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1990: für die Einwirkungskombinationen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für Eigen- und Verkehrslasten,
- DIN-EN 1991-2: für den Ansatz von Verkehrslasten,
- DIN-EN 1992-2: für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen und die Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften,
- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise des Tunnelbauwerkes,
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser,
- DIN 4085: für die Erddruckberechnung.

6.1.3 Berechnungsgrundlagen

Als Grundlage der Berechnung sind zusammenzustellen:

- die charakteristischen Baugrundkennwerte und Grundwasserstände,

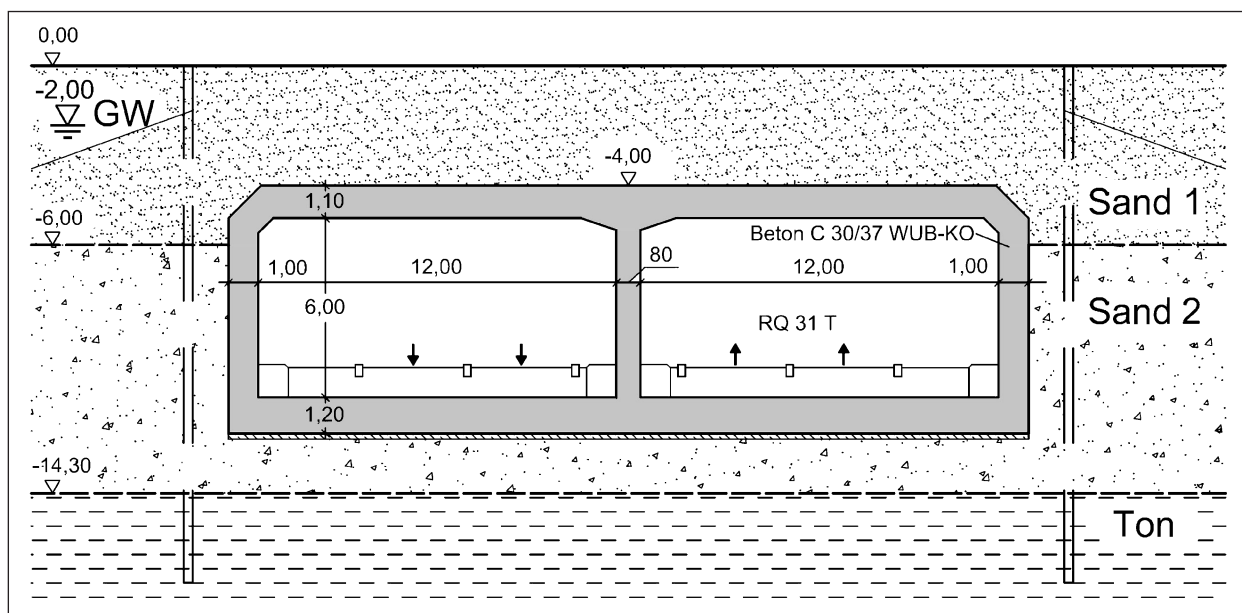


Bild 6.1: Tunnel in offener Bauweise, Querschnitt Endzustand

- die Materialkennwerte und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite,
- das statische System,
- die charakteristischen Werte der Einwirkungen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite.

Der Tunnelrahmen wird als biegesteifer Stabzug mit gebetteter Sohle abgebildet.

Die charakteristischen Einwirkungen aus Erddruck infolge von Eigengewicht und Verkehrslasten (siehe DIN EN 1991-2 bzw. EAB) werden entsprechend dem Verweis in DIN 1054(2010) wie bisher nach DIN 4085 ermittelt. Die Temperaturlasten

werden gemäß ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 angesetzt.

Geändert haben sich die Verkehrslasten im Tunnel (LM1 gemäß DIN EN 1991-2), die wegen geänderter Anpassungsfaktoren jetzt deutlich größer sind. Für die Bemessung des Tunnelbauwerks spielen die Verkehrslasten im Tunnel jedoch eine untergeordnete Rolle. Darüber hinaus sind die Anpralllasten, die wegen der geringen Wandstärke auf die Mittelwand anzusetzen sind, gemäß DIN EN 1991-7 50 % größer als bisher nach DIN-Fachbericht 101.

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände nach europäischen und nach alten nationalen Vorschriften werden in Tabelle 6.1 gegen-

Teilsicherheitsbeiwert	gem. DIN 1054(2010) bzw. DIN EN 1992-2	gemäß DIN 1054(2005) bzw. DIN-Fb 102
Einwirkungen		
ständige Einwirkungen (Konstruktionseigengewicht)	$\gamma_G = 1,35$ (STR, BS-P) $\gamma_G = 1,0$ (STR, BS-A) $\gamma_G = 1,0$ (SLS, BS-P)	$\gamma_G = 1,35$ (GZ1B, LF1) $\gamma_G = 1,0$ (GZ1B, LF3) $\gamma_G = 1,0$ (GZ2, LF1)
(Überschüttung, Wasserdruck, aktiver Erddruck, Verkehrslast ≤ 10 kN/m ²)	$\gamma_G = 1,35$ (STR, BS-P) $\gamma_G = 1,10$ (STR, BS-A) $\gamma_G = 1,0$ (SLS, BS-P)	$\gamma_G = 1,35$ (GZ1B, LF1) $\gamma_G = 1,10$ (GZ1B, LF3) $\gamma_G = 1,0$ (GZ2, LF1)
ständige Einwirkungen aus Erdruchdruck	$\gamma_{G,E0} = 1,20$ (STR, BS-P) $\gamma_{G,E0} = 1,0$ (STR, BS-A) $\gamma_{G,E0} = 1,0$ (SLS, BS-P)	$\gamma_{E0g} = 1,20$ (GZ1B, LF1) $\gamma_{E0g} = 1,0$ (GZ1B, LF3) $\gamma_{E0g} = 1,0$ (GZ2, LF1)
Verkehrslasten im Tunnel TS UDL	$\gamma_Q = 1,35$ (BS-P) $\gamma_Q = 1,0$ (BS-A) $\psi_0 = \psi_1 = 0,75, \psi_2 = 0,0$ $\psi_0 = \psi_1 = 0,40, \psi_2 = 0,0$	$\gamma_Q = 1,50$ (LF1) $\gamma_Q = 1,0$ (LF3) $\psi_0 = \psi_1 = 0,75, \psi_2 = 0,2$ $\psi_0 = \psi_1 = 0,40, \psi_2 = 0,2$
Temperaturlasten	$\gamma_T = 1,0$ $\psi_0 = \psi_1 = 0,60, \psi_2 = 0,5$	$\gamma_T = 1,0$ $\psi_0 = \psi_1 = 0,60, \psi_2 = 0,5$
Anpralllasten	$\gamma_A = 1,0$	$\gamma_A = 1,0$
Brandlasten	$\gamma_A = 1,0$	$\gamma_A = 1,0$
Auftriebssicherheit		
stabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stab} = 0,95$ (UPL, BS-P) $\gamma_{G,stab} = 0,95$ (UPL, BS-A)	$\gamma_{G,stab} = 0,95$ (GZ1A, LF1) $\gamma_{G,stab} = 0,95$ (GZ1A, LF3)
destabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst} = 1,05$ (UPL, BS-P) $\gamma_{G,dst} = 1,00$ (UPL, BS-A)	$\gamma_{G,dst} = 1,05$ (GZ1A, LF1) $\gamma_{G,dst} = 1,00$ (GZ1A, LF3)
Widerstände		
Beton	$\gamma_c = 1,5$ (ULS, S+V) $\gamma_c = 1,3$ (ULS, A) $\gamma_c = 1,0$ (SLS)	$\gamma_c = 1,5$ (GZT, S+V) $\gamma_c = 1,3$ (GZT, A) $\gamma_c = 1,0$ (GZG)
Betonstahl	$\gamma_s = 1,15$ (ULS, S+V) $\gamma_s = 1,0$ (ULS, A) $\gamma_s = 1,0$ (SLS)	$\gamma_s = 1,15$ (GZT, S+V) $\gamma_s = 1,0$ (GZT, A) $\gamma_s = 1,0$ (GZG)

Tab. 6.1: Gegenüberstellung der Teilsicherheitsbeiwerte für die Bemessung des Tunnels in offener Bauweise

übergestellt. Sie sind im Wesentlichen gleich groß. Geändert haben sich mit DIN EN 1990 lediglich die Teilsicherheit und der Kombinationsbeiwert ψ_2 für die neuen Straßenverkehrslasten gemäß DIN EN 1991-2.

Mit der Änderung des nationalen Anhangs zu DIN EN 1990 wurde zwischenzeitlich der Kombinationswert ψ_2 wieder auf 0,2 angehoben, während in der Musterrechnung der Wert $\psi_2 = 0,0$ gemäß DIN EN 1990 berücksichtigt wurde. Da die Straßenverkehrslasten auf der Tunnelsohle günstig wirken, würde sich bei nachträglicher Anpassung des Wertes keine Veränderung des Bemessungsergebnisses ergeben.

6.1.4 Berechnungsablauf

Das Tunnelbauwerk ist auf der Grundlage der DIN EN 1997-1 und der DIN 1054 nachzuweisen. Diese fordern die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.

Für den vorliegenden Tunnelrahmen sind die folgenden Nachweise erforderlich:

1. Grenzzustand UPL: Grenzzustand des Versagens durch Aufschwimmen
Für diesen Grenzzustand wird die Auftriebssicherheit nachgewiesen.
2. Grenzzustand STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund
In diesem Grenzzustand wird die Stahlbetonkonstruktion im Grenzzustand der Tragfähigkeit bemessen.
3. Grenzzustand SLS: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird die Rissbreitenbeschränkung der Stahlbetonkonstruktion nachgewiesen. Setzungsnachweise sind für das Tunnelbauwerk nicht erforderlich, da aufgrund der Aushubentlastung keine Zusatzbeanspruchungen des Baugrundes in der Gründungsebene entstehen.

Die Standsicherheitsnachweise erfolgen für die ständige Bemessungssituation BS-P und für die außergewöhnliche Bemessungssituation BS-A (Brand, Fahrzeuganprall), die Gebrauchstauglichkeitsnachweise für die ständige Bemessungssituation BS-P.

6.1.5 Auftriebssicherheitsnachweis

Die Auftriebssicherheit ist im Grenzzustand UPL nachzuweisen. Da die Auftriebssicherheit maßgeblich von den Wichten des Baugrundes und des Bauwerkes abhängt, sind für den Auftriebssicherheitsnachweis die unteren charakteristischen Werte der Wichten anzusetzen.

6.1.6 Lastfallkombinationen für die Stahlbetonbemessung

Die maßgebenden Einwirkungskombinationen sind in DIN EN 1990 festgelegt. Es sind die Einwirkungen für ständige und vorübergehende Situationen (S+V) und für außergewöhnliche Situationen (A) anzusetzen. Für die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist gemäß ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 die häufige Einwirkungskombination zu berücksichtigen, siehe auch DIN EN 1992-2/NA, Tabelle 7.101DE.

Die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für die Einwirkungen sind dabei für Eigengewicht (= ständige Einwirkung) und Verkehr nach DIN EN 1990, Anhang A2 anzusetzen. Die Teilsicherheitsbeiwerte für vertikale und horizontale Erddrücke sowie Wasserdruck sind aus der für den Erd- und Grundbau maßgebenden DIN 1054 zu entnehmen. Der Teilsicherheitsbeiwert für die Temperaturlasten ist ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 zu entnehmen.

Die gemäß DIN EN 1990 vorgesehene alternative Berücksichtigung des Konstruktionseigengewichtes mit dem unteren Wert $\gamma_{G,inf} = 1,0$ ($< \gamma_G = 1,35$) erfolgt hier nicht, da dies im Fall eines überschütteten Tunnels zu keiner maßgebenden Vergrößerung der Bemessungsergebnisse führt, jedoch eine Verdopplung der zu untersuchenden Lastfallkombinationen zur Folge hätte. Für den Fahrbahnaufbau, der in jedem Fall günstig wirkt, wird dagegen $\gamma_{G,inf} = 1,0$ berücksichtigt.

Für die ständigen Lasten aus Überschüttung und Erddruck wird bei der statischen Berechnung und Bemessung des Bauwerkes ebenfalls der untere Wert $\gamma_{G,inf} = 1,0$ nicht berücksichtigt. Dieser Wert ist in DIN 1054(2010) nur für den Sonderfall vorgesehen. Über die Erddruckvariation (hier zwischen 0,5-fachem aktivem Erddruck und Erdruhedruck) gemäß ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 ist im Tunnelbau die günstige bzw. ungünstige Wirkung der Erddrucklasten ausreichend abgedeckt. Darüber

hinaus wird für die Biegebemessung hier generell der Nachweis der Rissbreitenbeschränkung maßgebend, in den alle ständigen Lasten mit ihren charakteristischen Werten eingehen.

6.1.7 Schnittgrößenermittlung

Die Schnittgrößenermittlung erfolgt für die maßgebenden Lastfallkombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit sowohl für die ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen (Bau- und Endzustand) als auch für die außergewöhnlichen Bemessungssituationen (Anprall, Brand). Zusätzlich werden die Schnittgrößen für die maßgebenden Lastfallkombinationen in der häufigen Einwirkungskombination (Gebrauchstauglichkeitsnachweise) ermittelt.

6.1.8 Bemessung der Stahlbetonkonstruktion

Die Biege- und Schubbemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit sowie die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit erfolgen gemäß DIN EN 1992-2. Die zulässigen rechnerischen Rissbreiten sind ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 zu entnehmen.

Der Nachweis der Begrenzung der Betondruckspannung auf $0,6 f_{ck}$ gemäß DIN EN 1992-2, 7.2 (102) ist bei Tunnelbauwerken nicht zu führen, da durch die vergrößerte Betondeckung von 6 cm und die außen liegende Längsbewehrung die Entstehung von Quersugrissen verhindert wird.

6.2 Vergleich mit der Berechnung nach DIN 1054(2005)

Für den betrachteten Tunnelrahmen unterscheiden sich die charakteristischen Einwirkungen und die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen aus Erd- und Wasserdruck sowie Temperatur, die Materialwiderstände sowie die Art der Nachweise nicht zwischen neuen europäischen und alten nationalen Normen.

Eine allgemeine geringfügige Erhöhung der in der Berechnung nach DIN EN 1997-1 und DIN EN 1992-2 ermittelten erforderlichen Bewehrung resultiert daraus, dass der gemäß DIN EN 1992-2 anzusetzende rechnerische E-Modul des Betons größer ist als der nach DIN-Fachbericht 102 vorher zu berücksichtigende E-Modul (für den vor-

liegenden C30/37 $E_{cm} = 32.800 \text{ MN/m}^2 > E_{cm} = 28.300 \text{ MN/m}^2$, Faktor 1,16). Hieraus resultieren größere Schnittgrößen infolge Zwangbeanspruchungen (Temperatur), die sich hier insgesamt mit einer Erhöhung der erforderlichen Bewehrung um bis zu 5 % auswirken. Die in der äußeren Rahmenecke ermittelte Bewehrungserhöhung ist prozentual höher, jedoch ist die absolute Abweichung aufgrund der kleinen Bewehrungsquerschnitte gering und wird bei der Wahl der Bewehrungsquerschnitte zu keinem Unterschied führen.

Die Bemessungsformeln zur Biege- und Schubbemessung selbst sowie die Rissbreitennachweise gemäß DIN EN 1992-2 und DIN-Fachbericht 102 sind – abgesehen vom rechnerischen E-Modul, der in die Nachweise der Rissbreiten einght – gleich, sodass hieraus keine Bemessungsunterschiede resultieren.

Die Vergrößerung der Straßenverkehrslasten gemäß DIN EN 1991-2 und die veränderten Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für Straßenverkehrslasten gemäß DIN EN 1990 führen im vorliegenden Fall eines eingeschütteten Tunnelrahmens zu keiner Veränderung des Bemessungsergebnisses, da die Verkehrslasten auf der Tunnelsohle den Bettungskräften und dem Wasserdruck auf der Sohlunterkante entgegen wirken, damit günstig wirken und deshalb in der Bemessung nicht berücksichtigt werden.

Die vergrößerte Anpralllast führt zu einer Vergrößerung der statisch erforderlichen Biege- und Schubbewehrung der Mittelwand. Da die Biege- und Längsbewehrung der Mittelwand im Anprallbereich gemäß Anhang NA.VV.109 der DIN EN 1992-2 ebenso wie bisher gemäß DIN-Fachbericht 102 konstruktiv zweilagig auszubilden ist, wird die Vergrößerung der erforderlichen Biegebewehrung durch die ohnehin einzulegende konstruktive Bewehrung bereits abgedeckt. Auch die nun statisch erforderliche Schubbewehrung wirkt sich durch die bisher konstruktiv gewählte Schubbewehrung der Mittelwand nur gering erhöhend auf die erforderliche Bewehrungsmenge aus.

Bild 6.2 zeigt die Gegenüberstellung der erforderlichen Bewehrungsquerschnitte. Die Abweichungen sind gering, sodass sie sich bei der Wahl der einzulegenden Bewehrung kaum auswirken.

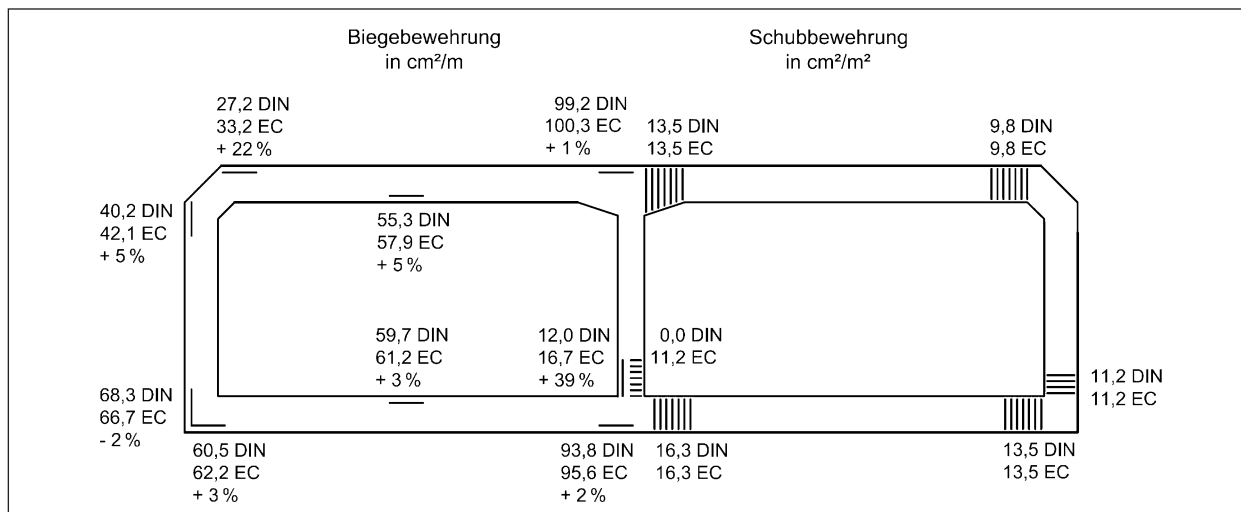


Bild 6.2: Gegenüberstellung der Bemessungsergebnisse gemäß DIN EN 1997-1/DIN 1992-2 (EC) und DIN 1054(2005)/DIN-Fachbericht 102 (DIN)

7 Standsicherheitsnachweis für einen Tunnel in geschlossener Bauweise

7.1 Berechnung gemäß DIN EN 1997-1/DIN 1054(2010)

7.1.1 Beschreibung des untersuchten Musterbeispiels

Der betrachtete Straßentunnel wird für einen zwei-spurigen Regelquerschnitt RQ 10,5T ausgelegt. Hieraus resultiert eine lichte Breite des Tunnels in Höhe der Fahrbahnoberkante von 9,50 m und eine lichte Höhe in Tunnelachse von ca. 7 m über Fahrbahnoberkante. Im betrachteten Bereich wird der Tunnel in Spritzbetonbauweise aufgeföhrt und besteht demzufolge aus einer Spritzbetonaußenschale und einer Schalbetoninnenschale. Aufgrund der Gebirgsverhältnisse erhält das Bauwerk sowohl für den Bau- als auch für den Endzustand ein Stahlbetonsohlgewölbe und wird als wasserundurchlässige Betonkonstruktion (WUB-KO) ausgeführt. Die Konstruktionsdicken werden auf der Grundlage einer Vorbemessung zu 0,25 m für die Spritzbetonschale und zu 0,40 m für die Innenschale gewählt. Die Blocklänge beträgt 10,0 m. Bild 7.1 zeigt die Geometrie und die Baugrundverhältnisse des Musterbeispiels, die charakteristischen Gebirgskennwerte sind in der Anlage 4 zusammengestellt.

7.1.2 Maßgebende Vorschriften

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise des in

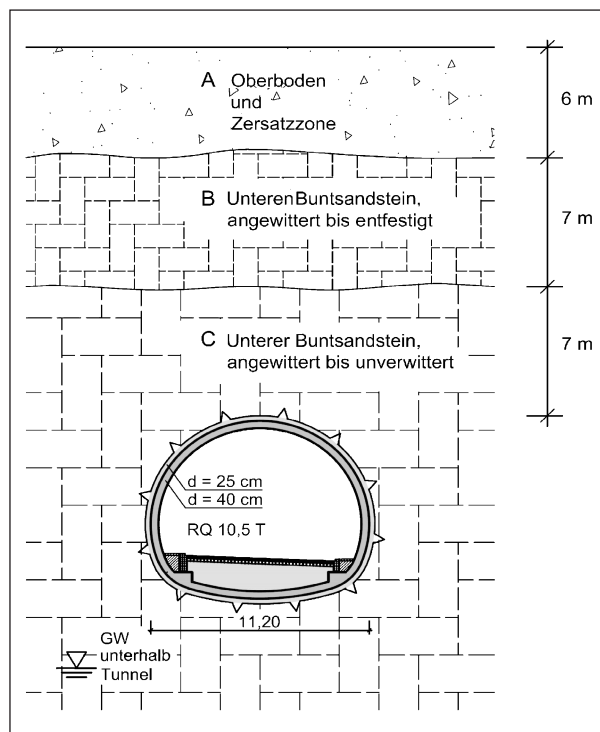


Bild: 7.1 Tunnel in bergmännischer Bauweise, Querschnitt Endzustand

geschlossener Bauweise herzustellenden Tunnelbauwerks gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 1 (Tunnelbau, geschlossene Bauweise).

Für die Ansätze zur Bemessung im Einzelnen gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1990: für die Einwirkungskombinationen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für Eigen- und Verkehrslasten,

- DIN-EN 1991-2: für den Ansatz von Verkehrslasten,
- DIN-EN 1992-2: für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen und die Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften,
- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise des Tunnelbauwerkes,
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser.

7.1.3 Berechnungsgrundlagen

Als Grundlage der Berechnung sind zusammenzustellen:

- die charakteristischen Baugrundkennwerte und Grundwasserstände,
- die Materialkennwerte und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite,
- das statische System,
- die charakteristischen Werte der Einwirkungen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite.

Die statische Berechnung des bergmännischen Tunnels erfolgt mit einem zweidimensionalen FE-Modell, in dem der Baugrund als Kontinuum im ebenen Dehnungszustand abgebildet wird. Die Außen- und die Innenschale des Tunnels werden als biegesteife Stabzüge abgebildet. Die Kopplung zwischen den Knoten der Außen- und Innenschale erfolgt über Einzelfedern, deren Kraftübertragung

ausschließlich in radialer Richtung zum Tunnel geschieht. Eine Zugkraftübertragung wird ausgeschlossen. Diese Kopplung erfasst die Wirkungsweise der Trennfolie zwischen Außen- und Innenschale, die eine Übertragung von Scherkräften verhindert.

Der Primärspannungszustand im Gebirge wird vom Programm aus der Gebirgswichte, der jeweiligen Überlagerungshöhe und der Querdehnzahl errechnet. Die Temperaturlasten werden gemäß ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 1 angesetzt. Verkehrslasten im Tunnel werden bei der Bemessung vernachlässigt, da sie zu keinen maßgebenden Beanspruchungen führen.

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände nach europäischen und nach alten nationalen Vorschriften werden in Tabelle 7.1 gegenübergestellt. Sie sind gleich.

7.1.4 Berechnungsablauf

Das Tunnelbauwerk ist auf der Grundlage der DIN EN 1997-1 und der DIN 1054 nachzuweisen. Diese fordern die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.

Für den vorliegenden Tunnelrahmen sind die folgenden Nachweise erforderlich:

1. Grenzzustand STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund
In diesem Grenzzustand wird die Stahlbetonkonstruktion im Grenzzustand der Tragfähigkeit bemessen.

Teilsicherheitsbeiwert	gemäß DIN 1054(2010) bzw. DIN EN 1992-2	gemäß DIN 1054(2005) bzw. DIN-Fb 102
Einwirkungen		
ständige Einwirkungen (Eigengewicht)	$\gamma_G = 1,35$ (STR, BS-P) $\gamma_G = 1,0$ (SLS, BS-P)	$\gamma_G = 1,35$ (GZ1B, LF1) $\gamma_G = 1,0$ (GZ2, LF1)
Temperaturlasten	$\gamma_T = 1,0$ $\psi_0 = \psi_1 = 0,60, \psi_2 = 0,5$	$\gamma_T = 1,0$ $\psi_0 = \psi_1 = 0,60, \psi_2 = 0,5$
Widerstände		
Beton	$\gamma_c = 1,5$ (ULS, S+V) $\gamma_c = 1,0$ (SLS)	$\gamma_c = 1,5$ (GZT, S+V) $\gamma_c = 1,0$ (GZG)
Betonstahl	$\gamma_s = 1,15$ (ULS, S+V) $\gamma_s = 1,0$ (SLS)	$\gamma_s = 1,15$ (GZT, S+V) $\gamma_s = 1,0$ (GZG)

Tab. 7.1: Gegenüberstellung der Teilsicherheitsbeiwerte für die Bemessung des Tunnels in bergmännischer Bauweise

2. Grenzzustand SLS: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wird die Rissbreitenbeschränkung der Stahlbetonkonstruktion nachgewiesen.

Die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise erfolgen für die ständige Bemessungssituation BS-P.

7.1.5 Schnittgrößenermittlung

Die Berechnung erfolgt sukzessive und berücksichtigt die einzelnen Ausbruchphasen und Einbaustände.

Aufbauend auf dem Primärspannungszustand werden für den Kalotten-, Strossen- und Sohlbruch schrittweise die Steifigkeit und die Primärspannungen des Bodens in den späteren Ausbruchquerschnitten über einen Faktor reduziert, um eine Vorentspannung des Gebirges infolge Annäherung des Vortriebs zu simulieren. Hierbei erfolgt eine Spannungsumlagerung im Bereich des Ausbruchquerschnittes. Die Vorentspannung wird dabei so kalibriert, dass die vom tunnelbautechnischen Gutachter angegebene effektive Belastung der Außenschale erreicht wird. Die Kontinuumselemente in den einzelnen Ausbruchquerschnitten werden anschließend deaktiviert und die Stabelemente der Außenschale für die Kalotte, Strosse bzw. Sohle aktiviert. Für die Außenschale wird zur pauschalen Erfassung von Kriecheffekten bei frühzeitiger Belastung der rechnerische E-Modul des Spritzbetons mit 50 % des Nennwertes angesetzt.

Nach Erreichen des Vollausbruchzustandes werden die Stabelemente der Innenschale und die Koppelfedern zwischen Außen- und Innenschale aktiviert. Die Innenschale wird durch ihr Eigengewicht und die Temperaturlasten beansprucht. Es werden sowohl Lastfälle untersucht, in denen die Außenschale noch intakt ist, als auch Lastfälle, in denen die Außenschale ihre Tragfähigkeit verloren hat und die Gebirgslasten über die Koppelfedern auf die Innenschale umgelagert werden.

Die Einwirkungen Eigengewicht und Gebirgsdruck werden in allen Berechnungsschritten mit ihren charakteristischen Werten auf das System angesetzt. Die Temperatureinwirkungen werden für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) mit dem Faktor $1/\gamma_G$ multipliziert auf das System gebracht, um bei Multiplikation der Schnittgrößen

mit den Teilsicherheitsbeiwerten in Anlehnung an die ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 eine Teilsicherheit von 1,0 für die Temperatur zu berücksichtigen. Bei der Ermittlung der Schnittgrößen für den Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) werden die Temperatureinwirkungen gemäß ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 1 mit einem Kombinationswert $\psi_2 = 0,5$ angesetzt.

7.1.6 Bemessung der Stahlbetonkonstruktion

Für die Bemessung werden die charakteristischen Schnittgrößen mit den Teilsicherheiten für ständige Einwirkungen multipliziert. Aufgrund der langen Standzeit der Außenschale erfolgt deren Bemessung ebenso wie die Bemessung der Innenschale mit den Teilsicherheiten der Bemessungssituation BS-P.

Für die Außenschale erfolgt die Biege- und Schubbemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit gemäß DIN EN 1992-2. Für die Innenschale werden sowohl die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit als auch die Nachweise der Rissbreitenbeschränkung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit gemäß DIN EN 1992-2 geführt. Die zulässigen rechnerischen Rissbreiten der Innenschale sind ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 zu entnehmen.

Der Nachweis der Begrenzung der Betondruckspannung auf $0,6 f_{ck}$ gemäß DIN EN 1992 2, 7.2 (102) ist bei Tunnelbauwerken nicht zu führen, da durch die vergrößerte Betondeckung von 6 cm und die außen liegende Längsbewehrung die Entstehung von Querspannungen verhindert wird.

7.2 Vergleich mit der Berechnung nach DIN 1054(2005)

Für den betrachteten bergmännischen Tunnel unterscheiden sich die charakteristischen Einwirkungen und die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen aus Erddruck und Temperatur, die Materialwiderstände sowie die Art der Nachweise nicht zwischen neuen europäischen und alten nationalen Normen.

Die gemäß DIN EN 1992-2 anzusetzenden rechnerischen E-Moduln des Betons sind größer als die bisher nach DIN-Fachbericht 102 zu berücksichtigenden E-Moduln (für die Außenschale C20/25: $E_{cm} = 30.000 \text{ MN/m}^2 > E_{cm} = 24.900 \text{ MN/m}^2$,

Faktor 1,20; für die Innenschale $C30/37$ $E_{cm} = 32.800 \text{ MN/m}^2 > E_{cm} = 28.300 \text{ MN/m}^2$, Faktor 1,16). Daraus resultiert ein anderes Steifigkeitsverhältnis zwischen Gebirge und Konstruktionsbeton, welches sowohl bei der Schnittgrößenermittlung der Außenschale als auch bei der Schnittgrößenermittlung der Innenschale zu einer verstärkten Lastumlagerung auf die Tunnelauskleidung und damit zu höheren Schnittgrößen führt.

Die Bemessungsformeln zur Biege- und Schubbemessung selbst sowie die Rissbreitennachweise gemäß DIN EN 1992-2 und DIN-Fachbericht 102 sind – abgesehen vom rechnerischen E-Modul, der in die Nachweise der Rissbreiten eingeht – gleich, sodass hieraus keine Bemessungsunterschiede resultieren.

Die Außenschale benötigt rechnerisch sowohl gemäß DIN EN 1997-1/DIN EN 1992-2 als auch gemäß DIN 1054(2005)/DIN-Fachbericht 102 keine Bewehrung und wird konstruktiv mit einer zweilagigen Mattenbewehrung ausgeführt. Schubbewehrung wird weder in der Außen- noch in der Innenschale erforderlich.

Bei der Innenschale ergibt sich aufgrund der höheren Steifigkeit der Schale gemäß DIN EN 1997-1/DIN EN 1992-2 eine Vergrößerung der erforderlichen Biegebewehrung, die jedoch größtenteils durch die Mindestbewehrung abgedeckt ist. In der Firste, in der die erforderliche Bewehrung größer als die Mindestbewehrung ist, ergibt sich gemäß

DIN EN 1997-1/DIN EN 1992-2 gegenüber der Berechnung nach DIN 1054(2005)/DIN-Fachbericht 102 eine Erhöhung der erforderlichen Bewehrung um 13 %. Da es sich hierbei um große Differenzen kleiner Zahlen handelt, wirkt sich diese Erhöhung bei der Wahl der einzulegenden Bewehrung nicht aus.

8 Standsicherheitsnachweis für eine Pfahlgründung

8.1 Berechnung gemäß DIN EN 1997-1/DIN 1054(2010)

8.1.1 Beschreibung des untersuchten Musterbeispiels

Zur Gründung eines Pfeilers für ein mehrfeldriges Brückenbauwerk wird zur Abtragung der Vertikal- und Horizontallasten eine Pfahlrost-Konstruktion mit starrer Pfahlkopfplatte hergestellt. Die 8 geneigt ausgeführten Pfähle haben einen Durchmesser von 60 cm und werden als Bohrpfähle geplant. Sie überbrücken die unterhalb einer Auffüllung anstehende ca. 8 m mächtige Tonschicht und gründen 6 m tief in tragfähigem Fels.

Bild 8.1 und Bild 8.2 zeigen die Geometrie und die Baugrundverhältnisse des Musterbeispiels. Die charakteristischen Baugrundkennwerte sind in Anlage 5 zusammengestellt.

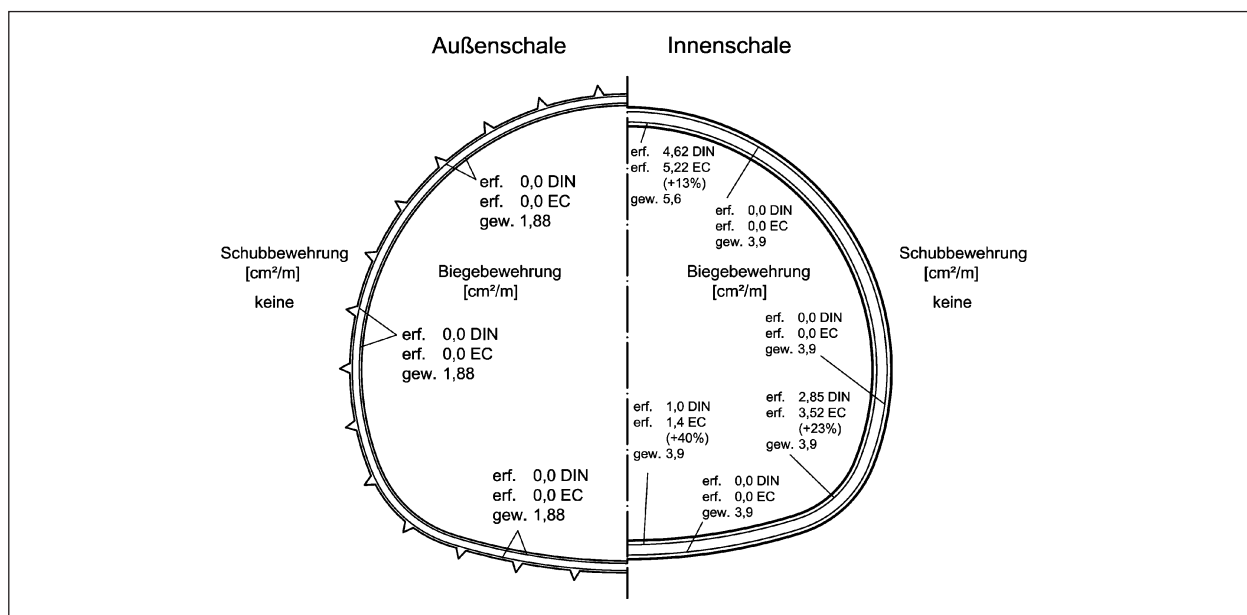


Bild 7.2: Gegenüberstellung der Bemessungsergebnisse gemäß DIN EN 1997-1/DIN 1992-2 (EC) und DIN 1054(2005)/DIN-Fachbericht 102 (DIN)

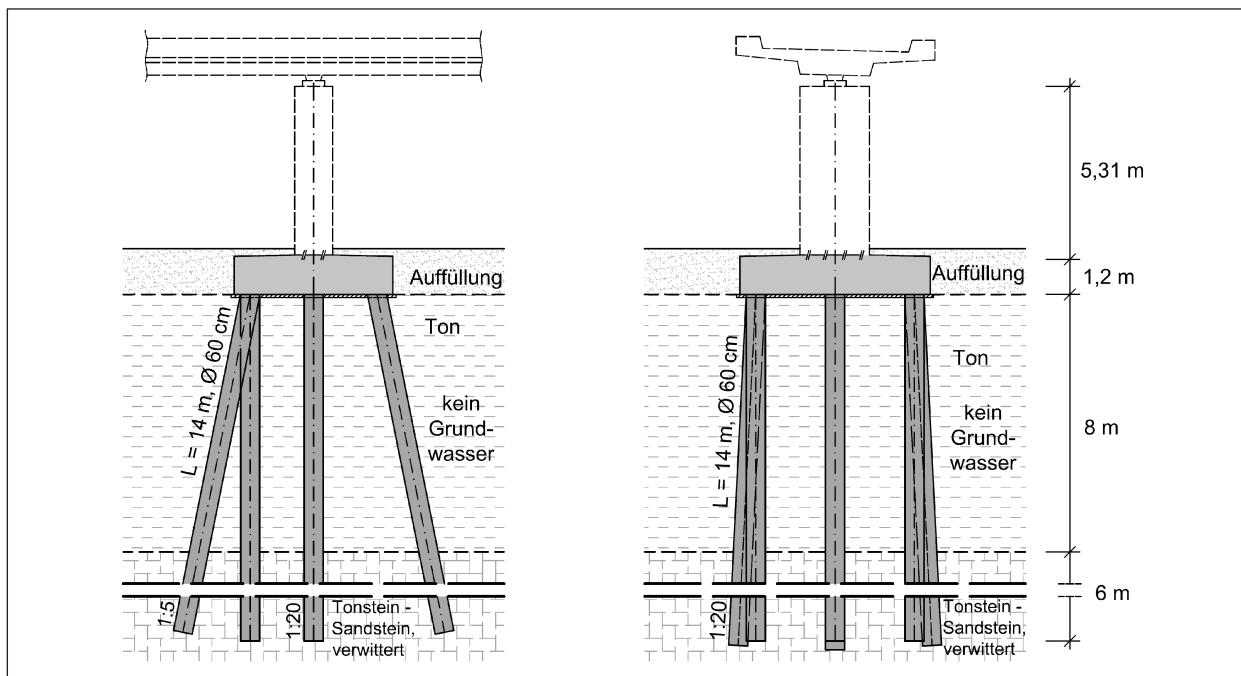


Bild 8.1: Pfahlgründung, Längs- und Querschnitt

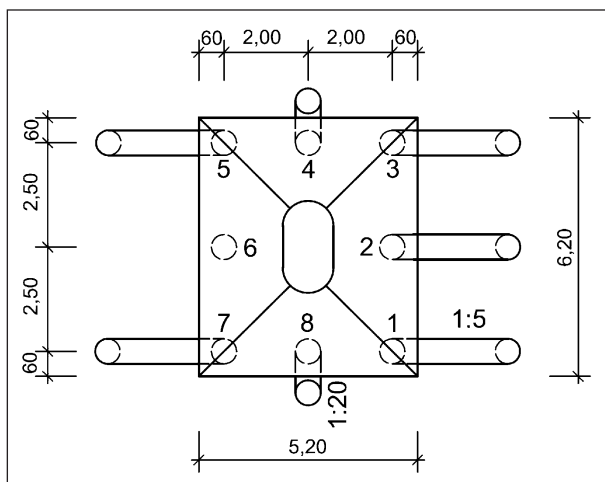


Bild 8.2: Pfahlgründung, Draufsicht auf Pfahlkopfplatte

8.1.2 Maßgebende Vorschriften

Als übergeordnete Vorschrift für die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise der Pfahlgründung gelten die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 2 (Grundbau, Gründungen).

Für die Ansätze im Einzelnen wie Einwirkungen, Teilsicherheiten und Bemessung gelten die entsprechenden fachspezifischen Vorschriften. Dies sind im Wesentlichen:

- DIN EN 1990: für die Einwirkungskombinationen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte für Eigen- und Verkehrslasten,

- DIN-EN 1991-2: für den Ansatz von Verkehrslasten,
- DIN-EN 1992-2: für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen und die Teilsicherheitsbeiwerte für die Baustoffeigenschaften,
- DIN EN 1997-1: für die Sicherheitsnachweise der Pfahlgründung,
- DIN 1054: für die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände aus Baugrund und Grundwasser.

Darüber hinaus sind die EA-Pfähle zu beachten.

8.1.3 Berechnungsgrundlagen

Als Grundlage der Berechnung sind zusammenzustellen:

- die charakteristischen Baugrundkennwerte und Grundwasserstände,
- die Materialkennwerte und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite,
- das statische System,
- die charakteristischen Werte der Einwirkungen und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite.

Der Pfahlrost mit seinen 8 Gründungspfählen wird als dreidimensionales System abgebildet. Dabei

Teilsicherheitsbeiwert	gem. DIN 1054(2010) bzw. DIN EN 1992-2	gemäß DIN 1054(2005) bzw. DIN-Fb 102
Einwirkungen		
ständige Einwirkungen (Eigengewicht)	$\gamma_G = 1,35$ (STR, BS-P) $\gamma_G = 1,0$ (SLS, BS-P)	$\gamma_G = 1,35$ (GZ1B, LF1) $\gamma_G = 1,0$ (GZ2, LF1)
allgemeine Verkehrslasten	$\gamma_Q = 1,5$ (STR, BS-P) $\gamma_Q = 1,0$ (SLS, BS-P)	$\gamma_Q = 1,5$ (GZ1B, LF1) $\gamma_Q = 1,0$ (GZ2, LF1)
Widerstände		
Pfahldruckwiderstand bei Probelastung	$\gamma_t = 1,10$ (GEO-2)	$\gamma_{P,c} = 1,20$ (GZ1B)
Pfahlwiderstand auf Zug aufgrund von Erfahrungswerten	$\gamma_{S,t} = 1,50$ (GEO-2)	$\gamma_P = 1,40$ (GZ1B)
Beton	$\gamma_c = 1,5$ (ULS, S+V) $\gamma_c = 1,0$ (SLS)	$\gamma_c = 1,5$ (GZT, S+V) $\gamma_c = 1,0$ (GZG)
Betonstahl	$\gamma_s = 1,15$ (ULS, S+V) $\gamma_s = 1,0$ (SLS)	$\gamma_s = 1,15$ (GZT, S+V) $\gamma_s = 1,0$ (GZG)

Tab. 8.1: Gegenüberstellung der Teilsicherheitsbeiwerte für die Bemessung der Pfahlgründung

werden die Pfähle als Pendelstützen mit gelenkiger Lagerung am Kopf und am Fuß modelliert. Die Pfahlkopfplatte wird als biegesteife Stahlbetonplatte mit ihrer tatsächlichen Steifigkeit abgebildet. Zur Ermittlung der Eigengewichts-Lasten des Pfeilers und zur Berücksichtigung der zutreffenden Hebelarme der Brückenaufasten wird auch der Pfeiler mit abgebildet.

Gemäß DIN 1054 ist die Nichtlinearität der Widerstands-Setzungslinie der Pfähle bei den Stand-sicherheitsnachweisen zu beachten. Daher werden an den Füßen der als starr abgebildeten Pfähle elastische Federn angeordnet, deren Federsteifigkeiten iterativ an die jeweiligen Pfahllasten der einzelnen Pfähle angepasst werden können. Die Federsteifigkeiten werden dabei als Sekanten aus der charakteristischen Widerstands-Setzungslinie ermittelt.

Der Pfahlrost wird durch die Gründungslasten des Brückenbauwerkes beansprucht. Die Einwirkungen setzen sich zusammen aus den Eigengewichtslasten der Brücke und des Pfeilers gemäß DIN EN 1991-1-1 sowie den Brückenverkehrslasten gemäß DIN EN 1991-2.

Bedingt durch die veränderten Straßenverkehrs-lasten und die veränderten Teilsicherheitsbeiwerte für Straßenverkehrslasten würden sich im Berechnungsbeispiel auf der Grundlage der alten nationalen und der neuen europäischen Vorschriften abweichende Gründungslasten ergeben. Das

Maß der Abweichung hängt dabei von der Spannweite und Breite der Brücke ab. Zur Vergleichbarkeit der Berechnungsergebnisse für die Pfahlgründung werden hier vereinfachte fiktive charakteristische Einwirkungen angesetzt, die mit den gleichen, allgemeinen Teilsicherheitsbeiwerten ($\gamma_G = 1,35$ und $\gamma_Q = 1,50$) gemäß DIN 1054 beaufschlagt werden.

Zum Nachweis der Pfahltragfähigkeit wurden in dem anstehenden Baugrund drei statische Pfahlprobelastungen (Druckpfähle) durchgeführt. Für die Zugpfähle kann auf einen Erfahrungswert der Mantelreibung zurückgegriffen werden.

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände nach europäischen und nach alten nationalen Vorschriften werden in Tabelle 8.1 gegenübergestellt. Die Teilsicherheiten für die Pfahlwiderstände unterscheiden sich zwischen DIN 1054 (2010) und DIN 1054(2005). Die übrigen Teilsicherheiten sind unverändert.

8.1.4 Berechnungsablauf

Die Pfahlgründung ist auf der Grundlage der DIN EN 1997-1 und der DIN 1054 nachzuweisen. Diese fordern die Nachweise in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.

Für den vorliegenden Pfahlrost sind die folgenden Nachweise erforderlich:

1. Grenzzustand STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund
In diesem Grenzzustand wird die innere und äußere Standsicherheit der Pfähle nachgewiesen.
2. Grenzzustand SLS: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit werden im Wesentlichen die Verformungen der Gründung untersucht.

Die Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise erfolgen für die ständige Bemessungssituation BS-P.

8.1.5 Charakteristische Widerstands-Setzungslinie und Gruppenwirkung

Es liegen die Ergebnisse von drei statischen Pfahlprobelastungen vor. Aus diesen Probelastungen wird gemäß DIN EN 1997-1 eine charakteristische Widerstands-Setzungslinie ermittelt.

Bei dem hier vorliegenden Pfahlrost kann aufgrund des geringen Pfahlabstandes (2,5 m) und der großen Pfahlänge (6 m in tragfähigem Baugrund) eine gegenseitige Beeinflussung der Pfähle nicht ohne weiteres ausgeschlossen werden. Das gegenüber Einzelpfählen weichere Tragverhalten und die geringere Tragfähigkeit des Pfahlrostes werden in Anlehnung an die Nomogramme der EA-Pfähle abgeschätzt. Es wird für die Eckpfähle ein Faktor von 90 % und für die übrigen Pfähle, die alle als Randpfähle zu betrachten sind, ein Faktor von 80 % der Steifigkeit eines Einzelpfahles angesetzt. Die charakteristischen Widerstands-Setzungslinien der Pfähle werden mit diesen Faktoren abgemindert.

8.1.6 Ermittlung der Pfahlkräfte

Die Pfahlkräfte werden aufgrund der nichtlinearen Widerstands-Setzungslinie unter charakteristischen Einwirkungen ermittelt. Es werden die zwei Lastfallkombinationen „ständige Lasten“ und „ständige und veränderliche Lasten“ getrennt untersucht. Die charakteristischen Pfahlkräfte unter veränderlichen Lasten ergeben sich aus der Differenz der Pfahlkräfte aus den beiden Lastfallkombinationen.

Die Federn an den Pfahlfüßen werden bei Bedarf iterativ an die Pfahlkräfte angepasst, sodass im Ergebnis alle Pfähle mit einer Steifigkeit abgebildet sind, die ihrer Lage in der Widerstands-Setzungslinie entspricht.

8.1.7 Bemessung der Pfähle

Der Nachweis der Tragfähigkeit der Pfähle erfolgt mit dem Nachweisverfahren STR/GEO-2. Für die Pfähle wird die äußere Tragfähigkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit nachgewiesen, indem die charakteristischen Pfahlkräfte mit den Teilsicherheiten des Grenzzustandes GEO-2 multipliziert werden. Sie werden dann den Bemessungswerten der Pfahltragfähigkeit gegenübergestellt, die für die Druckpfähle aus den charakteristischen Widerstands-Setzungslinien durch Abminderung mit der entsprechenden Teilsicherheit abgeleitet werden. Für die Zugpfähle wird im Beispiel der charakteristische Wert der Pfahltragfähigkeit aus Erfahrungswerten der Mantelreibung ermittelt. Die hierfür auf der Widerstandsseite anzusetzende Teilsicherheit ist größer, als wenn die Pfahltragfähigkeit durch Versuche nachgewiesen wird.

Die innere Tragfähigkeit der Bohrpfähle wird durch eine Stahlbetonbemessung gemäß DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-2 nachgewiesen. Die Mindestbewehrung der Pfähle ist auf der Grundlage der DIN EN 1536 zu wählen. Mit der gewählten Mindestbewehrung ist hier auch eine Rissbreitenbeschränkung sichergestellt. Ein Knicknachweis ist wegen der ausreichenden Steifigkeit des Tones nicht erforderlich.

8.1.8 Verformungsbegrenzung

Die Pfahlsetzungen im Gebrauchszustand werden unter Berücksichtigung der nichtlinearen Widerstands-Setzungslinien abhängig vom Ausnutzungsgrad der einzelnen Pfähle und unter Berücksichtigung der Gruppenwirkung ermittelt. Zur Bewertung der Pfahlsetzungen und der Bewegungen des Pfeilerkopfes werden die Setzungen der Pfahlkopfplatte und die Verformungen des Pfeilers ebenfalls ausgewertet.

8.2 Vergleich mit der Berechnung nach DIN 1054(2005)

Die charakteristischen Einwirkungen auf die Pfahlgründung und die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen wurden im vorliegenden Beispiel zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse für beide Berechnungsnormen einheitlich gewählt.

Die Auswertung der Pfahlversuche unterscheidet sich zwischen DIN EN 1997-1 und DIN 1054(2005)

Pfahl	Berechnung nach DIN EN 1997-1			Berechnung nach DIN 1054(2005)		
	$F_{c;d}$ [kN]	$R_{c;d}$ [kN]	Ausnutzungsgrad [%]	E_d [kN]	R_d [kN]	Ausnutzungsgrad [%]
1	-1.038,6	-1.335	78	-1.039,6	-1.283	81
2	-943,3	-1.187	79	-944,8	-1.138	83
3	-1.038,6	-1.335	78	-1.039,6	-1.283	81
4	-493,4	-1.187	42	-490,1	-1.138	43
5	204,8	753	27	203,1	808	25
6	-960,0	-1.187	81	-960,0	-1.138	84
7	204,8	753	27	203,1	808	25
8	-493,4	-1.187	42	-490,1	-1.138	43

Tab. 8.2: Gegenüberstellung der Bemessungsergebnisse

u. a. durch andere Streuungsfaktoren. Die ermittelte charakteristische Widerstands-Setzungslinie der Druckpfähle nach DIN EN 1997-1 ist etwas weicher als nach DIN 1054(2005), was jedoch durch eine geringere Teilsicherheit auf der Widerstandsseite wieder nahezu ausgeglichen wird. Im hier gewählten Beispiel sind die Bemessungswerte der Pfahltragfähigkeit nach DIN EN 1997-1 ca. 4 % größer als nach DIN 1054(2005).

Für die Zugpfähle, die im Beispiel auf der Grundlage von Erfahrungswerten der Mantelreibung bemessen werden, gibt DIN EN 1997-1/DIN 1054(2010) einen größeren Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandsseite vor ($\gamma_{S,t} = 1,50$ anstelle $\gamma_P = 1,40$), so dass die Bemessungswerte der Pfahltragfähigkeit auf Zug nach DIN EN 1997-1 im Beispiel ca. 7 % kleiner sind als nach DIN 1054(2005).

Tabelle 8.2 stellt die Bemessungswerte der Pfahltragfähigkeit und die Ausnutzungsgrade der Pfähle gegenüber. Zu den Pfahlnummern siehe Bild 8.2.

Die errechneten charakteristischen Setzungen der Pfähle und des Pfeilers sind aufgrund der etwas weicheren Widerstands-Setzungslinie der Pfähle gemäß DIN 1997-1 geringfügig größer als nach DIN 1054(2005). Die Zahlenwerte der Verformungen sind Anlage 5 zu entnehmen.

Die konstruktive Ausbildung der Pfähle und die erforderliche Bewehrung sind im Berechnungsbeispiel gleich, da die Bemessung gemäß DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-2 identisch ist mit der Bemessung gemäß DIN-Fachbericht 102 und für die konstruktive Ausbildung und Mindestbewehrung in beiden Fällen DIN EN 1536 maßgebend ist.

9 Ergebnisse und Empfehlungen

Das Ergebnis der Erprobung der Anwendung der Eurocodes auf die Berechnung und Bemessung repräsentativer Grund- und Tunnelbauwerke mit Vergleichsberechnungen nach alten nationalen Vorschriften lässt sich wie folgt zusammenfassen:

(1) Spundwandverbau

- (1.1) Die erforderlichen Nachweise für Baugrubenwände sind in DIN EN 1997-1, DIN 1054(2010), DIN 4084, DIN 4085, in der EAB, 5. Auflage, sowie in ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 1, eindeutig geregelt.
- (1.2) Die Berechnungsschritte für die Bemessung der Bauteile und die Bemessungsergebnisse für die Profillänge, die Ankerlänge sowie die erforderlichen Spundwandprofile und Anker sind identisch mit den Berechnungen und Ergebnissen nach den bisherigen nationalen Vorschriften.
- (1.3) Für Spundwandprofile ist in DIN EN 1993-5 jetzt das Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch mit Ausnutzung der plastischen Querschnittswerte explizit geregelt. Für unverankerte oder einfach verankerte U-Bohlen wie im Beispiel resultiert hieraus jedoch keine Tragfähigkeitserhöhung, da die höhere Querschnittsausnutzung durch erforderliche Abminderungsfaktoren für die verminderte Schubkraftübertragung in den Spundwandschlössern wieder aufgezehrt wird. Bei

Z-Bohlen allgemein und bei mehrfach verankerten U-Bohlen in dichtem oder steifem Baugrund wäre jedoch durch die Anwendung des Nachweisverfahrens Elastisch-Plastisch generell eine höhere Ausnutzung der Profile möglich. Das gemäß DIN EN 1993-5 für bestimmte Profile ebenfalls mögliche Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch wird in der EAB, 5. Auflage nicht zur Anwendung empfohlen.

- (1.4) Bei der Anwendung der neuen europäischen Normen auf Baugruben, die im Wesentlichen dem untersuchten Beispiel entsprechen, sind keine Änderungen des Sicherheitsniveaus und der Kosten zu erwarten.

(2) Winkelstützwand

- (2.1) Die erforderlichen Nachweise für Stützwände sind in DIN EN 1997-1, DIN 1054(2010), DIN 4017, DIN 4084 und DIN 4085 eindeutig geregelt.
- (2.2) Der neu eingeführte Kippnachweis in DIN EN 1997-1 ist im vorliegenden Beispiel nicht bemessungsrelevant. Die erforderlichen äußeren Abmessungen der Winkelstützwand sind identisch mit den nach alten nationalen Normen errechneten.
- (2.3) Die Stahlbetonbemessung gemäß DIN EN 1992-2 liefert gleiche Ergebnisse wie die Bemessung nach DIN-Fachbericht 102. Die erforderliche Bewehrung und die Mindestbewehrung in Anlehnung an ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2, sind identisch.
- (2.4) Bei der Anwendung der neuen europäischen Normen auf Stützwände, die im Wesentlichen dem untersuchten Beispiel entsprechen, sind keine Änderungen des Sicherheitsniveaus und der Kosten zu erwarten.

(3) Tunnel in offener Bauweise

- (3.1) Die erforderlichen Nachweise für Tunnel in offener Bauweise sind in DIN EN 1997-1, DIN 1054(2010), DIN 4085 und ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 eindeutig geregelt.
- (3.2) Die Vergrößerung der Straßenverkehrslasten gemäß DIN EN 1991-2 und der veränderte Teilsicherheitsbeiwert für Straßenverkehrslasten gemäß DIN EN 1990 führen im vorliegenden Fall eines eingeschütteten Tunnelrah-

mens zu keiner Veränderung des Bemessungsergebnisses.

- (3.3) Aus dem gemäß DIN EN 1992-2 anzusetzenden größeren rechnerischen E-Modul des Betons resultieren größere Schnittgrößen infolge Zwangsbeanspruchungen (Temperatur), die sich hier insgesamt mit einer Erhöhung der erforderlichen Bewehrung um bis zu 5 % auswirken. Die Bemessungsformeln zur Biege- und Schubbemessung selbst sowie die Rissbreitennachweise nach DIN EN 1992-2 und nach DIN-Fachbericht 102 sind gleich, sodass hieraus keine Bemessungsunterschiede resultieren.
- (3.4) Die vergrößerte Anpralllast führt zu einer Vergrößerung der statisch erforderlichen Biege- und Schubbewehrung der Mittelwand. Die Biegebewehrung wird jedoch im Wesentlichen durch die konstruktiv erforderliche zweilagige Mindestbewehrung abgedeckt.
- (3.5) Bei der Anwendung der neuen europäischen Normen auf Tunnelbauwerke in offener Bauweise sind aufgrund der nun etwas größer anzusetzenden Betonsteifigkeiten geringfügig höhere erforderliche Bewehrungsquerschnitte möglich. Relevante Steigerungen des Sicherheitsniveaus und der Kosten sind jedoch nicht zu erwarten.

(4) Tunnel in geschlossener Bauweise

- (4.1) Die erforderlichen Nachweise für Tunnel in geschlossener Bauweise sind in DIN EN 1997-1, DIN 1054(2010) und ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 1 im Wesentlichen eindeutig geregelt.
- (4.2) Im Hinblick auf die Unsicherheiten bei der Abschätzung der auf die Spritzbetonschale wirkenden Gebirgsdrücke und die oft lange Standzeit der vorläufigen Sicherung im bergmännischen Tunnelbau wird vorgeschlagen, die Tragfähigkeitsnachweise der Außenschale in die ständige Bemessungssituation einzustufen und einen entsprechenden Hinweis in Abschnitt 1 der ZTV-ING, Teil 5 aufzunehmen.
- (4.3) Für den Tragsicherheitsnachweis wird empfohlen, die Temperaturlasten in Anlehnung an ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 2 auch bei Tunneln in geschlossener Bauweise mit einer Teilsicherheit von 1,0 zu berücksichtigen und

einen entsprechenden Hinweis in Abschnitt 1 der ZTV-ING, Teil 5 aufzunehmen.

- (4.4) Aus den gemäß DIN EN 1992-2 anzusetzenden größeren rechnerischen E-Moduln des Betons resultiert in der Kontinuumsberechnung ein anderes Steifigkeitsverhältnis zwischen Gebirge und Konstruktionsbeton, welches sowohl bei der Schnittgrößenermittlung der Außenschale als auch bei der Schnittgrößenermittlung der Innenschale zu einer verstärkten Lastumlagerung auf die Tunnelauskleidung und damit zu höheren Schnittgrößen führt.
- (4.5) Bei der Innenschale ergibt sich aufgrund der höheren Steifigkeit der Schale gemäß DIN EN 1992-2 eine Vergrößerung der erforderlichen Biegebewehrung, die im Beispiel jedoch größtenteils durch die Mindestbewehrung abgedeckt ist. Die absoluten Abweichungen bezogen auf die Bewehrungsquerschnitte sind so gering, dass sich diese Erhöhung bei der Wahl der einzulegenden Bewehrung im Beispiel nicht auswirkt.
- (4.6) Bei der Anwendung der neuen europäischen Normen auf Tunnelbauwerke in geschlossener Bauweise sind aufgrund der nun etwas größer anzusetzenden Betonsteifigkeiten geringfügig höhere erforderliche Bewehrungsquerschnitte möglich. Relevante Steigerungen des Sicherheitsniveaus und der Kosten sind jedoch nicht zu erwarten.

(5) Bohrpfahlgründung

- (5.1) Die erforderlichen Nachweise für Pfahlgründungen sind in DIN EN 1997-1, DIN 1054(2010), den EA-Pfähle und der ZTV-ING, Teil 2, Abschnitt 2 im Wesentlichen eindeutig geregelt.
- (5.2) Für Pfahlroste, deren Pfähle nicht ausreichend weit auseinander stehen, um eine gegenseitige Beeinflussung auszuschließen, lassen sich die in den EA-Pfähle angegebenen Nomogramme zur Gruppenwirkung von Pfählen nur bedingt anwenden.
- (5.3) Die gemäß DIN EN 1997-1 ermittelte charakteristische Widerstands-Setzungslinie der Druckpfähle ist etwas weicher als nach DIN 1054(2005), was jedoch im Beispiel durch eine geringere Teilsicherheit auf der Wider-

standsseite wieder nahezu ausgeglichen wird.

- (5.4) Für Zugpfähle, die auf der Grundlage von Erfahrungswerten der Mantelreibung bemessen werden, gibt DIN EN 1997-1/DIN 1054(2010) gegenüber DIN 1054(2005) einen größeren Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandsseite vor, sodass die Bemessungswerte der Pfahltragfähigkeit auf Zug nach DIN EN 1997-1 ca. 7 % kleiner sind als nach DIN 1054(2005).
- (5.5) Die sowohl gemäß DIN EN 1997-1 als auch gemäß DIN 1054(2005) vorgeschriebene Berücksichtigung der Nichtlinearität in der Widerstands-Setzungslinie bei der Ermittlung der Pfahlkräfte führt bei hohem Aufwand der Iteration gegenüber der Berechnung mit einheitlichen Federsteifigkeiten für alle Pfähle nur zu sehr geringen Unterschieden in den errechneten Pfahlkräften. Solange sich die Gebrauchslasten der Pfähle im annähernd linearen, flachen Anfangsbereich der Widerstands-Setzungslinie befinden, sollte u. E. eine lineare Berechnung zugelassen werden.
- (5.6) Bei der Anwendung der neuen europäischen Normen auf Pfahlgründungen, die im Wesentlichen dem untersuchten Beispiel entsprechen, sind keine relevanten Änderungen des Sicherheitsniveaus und der Kosten zu erwarten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich durch die Einführung der neuen europäischen Vorschriften für Bauwerke des Grund- und Tunnelbaus nur geringe technische Änderungen bei den zu führenden statischen Nachweisen und auch nur geringe Änderungen in den Bemessungsergebnissen gegenüber den derzeitigen deutschen Normen ergeben. Dies liegt zum großen Teil daran, dass u. a. mit den Normen DIN 1045-1, DIN-Fachbericht 101, DIN-Fachbericht 102 und DIN 1054(2005) das Teilsicherheitskonzept und die Nachweisformen der europäischen Normung für Deutschland schon vorweg eingeführt worden sind. Die Umstellung auf die europäischen Normen beinhaltet im Grund- und Tunnelbau daher keine wesentlichen Änderungen.

Kritisch ist allerdings anzumerken, dass sich der Umfang der zu beachtenden Normen – sowohl was die Anzahl der Vorschriften inklusive der nationalen Anhänge als auch was den textlichen Umfang betrifft – erheblich vergrößert hat. Die für die Ermitt-

lung der Einwirkungen, der Teilsicherheiten und der Kombinationsvorschriften sowie für die eigentlichen statischen Nachweise und die Bauteilbemessung zu beachtenden Regelungen finden sich weit verstreut über diverse Normen und Anwendungsdokumente. Dies bedeutet einen hohen Aufwand für das Zusammensuchen aller wichtigen Grundlagen und birgt darüber hinaus das Risiko, dass für das konkrete Bauwerk eventuell einzuhaltende Regelungen übersehen werden. Hier wäre eine Straffung und Zusammenfassung der Regelwerke zu praxisgerechten Handbüchern wünschenswert.

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2007

B 55: Überprüfung des Georadarverfahrens in Kombination mit magnetischen Verfahren zur Zustandsbewertung von Brückenfahrbahnplatten aus Beton mit Belagsaufbau

Krause, Rath, Sawade, Dumat

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 14,50

B 56: Entwicklung eines Prüfverfahrens für Beton in der Expositionsklasse XF2

Setzer, Keck, Palecki, Schießl, Brandes

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 19,50

B 57: Brandversuche in Straßentunneln – Vereinheitlichung der Durchführung und Auswertung

Steinauer, Mayer, Kündig

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 26,50

B 58: Quantitative Risikoanalysen für Straßentunnel

Sistenich

€ 14,50

2008

B 59: Bandverzinkte Schutzplankenholme

Schröder

€ 12,50

B 60: Instandhaltung des Korrosionsschutzes durch Teilerneuerung – Bewehrung

Schröder

€ 13,50

B 61: Untersuchung von Korrosion an Fußplatten von Schutzplankenpfosten

Schröder, Staack

€ 13,00

B 62: Bewährungsnachweis von Fugenfüllungen ohne Unterfüllstoff

Eilers

€ 12,00

B 63: Selbstverdichtender Beton (SVB) im Straßentunnelbau

Heunisch, Hoepfner, Pierson (†), Dehn, Orgass, Sint

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 17,50

B 64: Tiefenabhängige Feuchte- und Temperaturmessung an einer Brückenkappe der Expositionsklasse XF4

Bramshuber, Spörel, Warkus

€ 12,50

2009

B 65: Zerstörungsfreie Untersuchungen am Brückenbauwerk A1 Hagen/Schwerte

Friese, Taffe, Wöstmann, Zoega

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 14,50

B 66: Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln

Zulauf, Locher, Steinauer, Mayer, Zimmermann,

Baltzer, Riepe, Kündig

€ 14,00

B 67: Brandkurven für den baulichen Brandschutz von Straßentunneln

Blosfeld

€ 17,50

B 68: Auswirkungen des Schwerlastverkehrs auf die Brücken der Bundesfernstraßen – Teile 1-4

Kaschner, Buschmeyer, Schnellenbach-Held, Lubasch, Grünberg, Hansen, Liebig, Geißler

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 29,50

B 69: Berücksichtigung der Belange behinderter Personen bei Ausstattung und Betrieb von Straßentunneln

Wagener, Grossmann, Hintzke, Sieger

€ 18,50

B 70: Frost-Tausalz-Widerstand von Beton in Brücken und Ingenieurbauwerken an Bundesfernstraßen

Tauscher

€ 14,50

2010

B 71: Empfehlungen für geschweißte KK-Knoten im Straßenbrückenbau

Kuhlmann, Euler

€ 22,50

B 72: Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von permanenten Anti-Graffiti-Systemen

Weschpennig, Kropf, von Witzhausen

€ 13,50

B 73: Brand- und Abplatzverhalten von Faserbeton in Straßentunneln

Dehn, Nause, Juknat, Orgass, König

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 21,00

B 74: Verwendung von Anti-Graffiti-Systemen auf Mauerwerk

Müller

€ 14,00

B 75: Sachstand Verstärkungsverfahren – Verstärken von Betonbrücken im Bestand

Schnellenbach-Held, Peeters, Scherbaum

€ 13,50

2011

B 76: Instandsetzung und Verstärkung von Stahlbrücken unter Berücksichtigung des Belagssystems

Sedlacek, Paschen, Feldmann, Geßler, Möller,

Steinauer, Scharnigg

€ 17,00

B 77: Anpassung von DIN-Fachberichten „Brücken“ an Eurocodes

Teil 1: DIN-FB 101 „Einwirkung auf Brücken“

Teil 2: DIN-FB 102 „Betonbrücken“

Teil 3: DIN-FB 103 „Stahlbrücken“

Teil 4: DIN-FB 104 „Verbundbrücken“

Freundt, Böning, Maurer, Arnold, Gedwien, Müller,

Schrick, Tappe, Kuhlmann, Rasche, Froschmeier,

Euler, Hanswille, Brauer, Bergmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 29,50

B 78: Bemessung von Wellstahlbauwerken – Vergleich nach den bisherigen und den neuen Richtlinien

Kuhlmann, Günther, Krauss

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 18,50

B 79: Untersuchungen zur Querkraftbemessung von Spannbetonbalken mit girlandenförmiger Spanngliedführung

Maurer, Kiziltan, Zilch, Dunkelberg, Fitik

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,50

B 80: Lautsprecheranlagen und akustische Signalisierung in Straßentunneln

Mayer, Reimann, Löwer, Brettschneider, Los

€ 16,00

B 81: Quantifizierung der Lebensdauer von Betonbrücken mit den Methoden der Systemanalyse

Müller, Vogel, Neumann

€ 14,50

B 82: Verkehrslastmodelle für die Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand
Freundt, Böning € 16,00

B 83: Konzeption zur Nachrechnung bestehender Straßenbrücken
Maurer, Kolodziejczyk, Zilch, Dunkelberg € 16,00

B 84: Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Beton mit dem modifizierten CDF-Verfahren (XF2)
Gehlen, Lowke, Milachowski € 15,00

B 85: Entwicklung von Verfahren einer zuverlässigkeitsbasierten Bauwerksprüfung
Zilch, Straub, Dier, Fischer € 19,50

B 86: Untersuchungen an Bauwerken aus hochfesten Beton
Nguyen, Freitag € 13,50

2012

B 87: Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie
Feldmann, Döring, Hellberg, Kuhnhenne, Pak, Mangerig, Beucher, Hess, Steinauer, Kemper, Scharnigg € 17,00

B 88: Anpralllasten an Schutzeinrichtungen auf Brücken – Anpassung der DIN-Fachberichte „Stahlbrücken“ und „Verbundbrücken“ an endgültige Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsrechnungen
Kuhlmann, Zizza, Günther € 15,50

B 89: Nachrechnung von Betonbrücken zur Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Bauwerke
Maurer, Heeke, Kiziltan, Kolodziejczyk, Zilch, Dunkelberg, Fitik € 19,50

B 90: Fugenbewegung an der Ruhrtalbrücke Mintard
Eilers, Quaas, Staeck € 14,00

2013

B 91: Priorisierung und Nachrechnung von Brücken im Bereich der Bundesfernstraßen – Einfluss der Einwirkungen aus Verkehr unter besonderer Berücksichtigung von Restnutzungsdauer und Verkehrsentwicklung
Freundt, Böning € 15,00

B 92: Kriterien für die Anwendung von unbewehrten Innenschalen für Straßentunnel
Kaundinya € 14,00

B 93: Querkrafttragfähigkeit von Fahrbahnplatten – Anpassung des DIN-Fachberichtes „Betonbrücken“ an die endgültige Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsrechnungen
Hegger, Reiß € 17,50

B 94: Baulicher Brandschutz für Tunnel in offener Bauweise – Rechnerischer Nachweis
Peter, Knief, Schreyer, Piazzola
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 95: Erfahrungen mit selbstverdichtendem und hochfestem Beton im Brücken- und Ingenieurbau an Bundesfernstraßen
Tauscher € 17,00

B 96: Geothermischen Anlagen bei Grund- und Tunnelbauwerken
Adam € 17,00

B 97: Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungsmaßnahmen auf die Bauwerksbeanspruchungen
Freundt, Böning € 15,00

2014

B 98: Brückenseile – Gegenüberstellung von vollverschlossenen Seilen und Litzenbündelseilen
Friedrich
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 99: Intelligente Brücke – Zuverlässigkeitsbasierte Bewertung von Brückenbauwerken unter Berücksichtigung von Inspektions- und Überwachungsergebnissen
Fischer, Schneider, Thöns, Rücker, Straub
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 100: Roadtraffic Management System (RTMS)
Freundt, Vogt, Böning, Pierson, Ehrle in Vorbereitung

B 101: Adaptive Spannbetonstruktur mit lernfähigem Fuzzy-Regelungssystem
Schnellenbach-Held, Fakhouri, Steiner, Kühn in Vorbereitung

B 102: Adaptive ‚Tube-in-Tube‘-Brücken
Empelmann, Busse, Hamm, Zedler, Girmscheid in Vorbereitung

B 103: Umsetzung des Eurocode 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken
Briebrecher, Städing € 14,00

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.