

DWA- Regelwerk

Arbeitsblatt DWA-A 143-2

Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden

Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit Lining- und Montageverfahren

Juli 2015

VORSCHAU

VORSCHAU

DWA- Regelwerk

Arbeitsblatt DWA-A 143-2

**Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb
von Gebäuden**

**Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von
Abwasserleitungen und -kanälen mit Lining-
und Montageverfahren**

Juli 2015



Herausgabe und Vertrieb:
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de · Internet: www.dwa.de

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasser- und Abfallwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information sowohl der Fachleute als auch der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Impressum

Deutsche Vereinigung für
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de
Internet: www.dwa.de

Satz:
DWA
Druck:
Druckhaus Köthen GmbH & Co KG
ISBN:
978-3-88721-208-7 (Print)
978-3-88721-791-4 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA, 2. Auflage, korrigierte Fassung: September 2020, Hennef 2024

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Arbeitsblattes darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Das vorliegende Arbeitsblatt DWA-A 143-2 ersetzt das Merkblatt ATV-M 127-2 aus dem Jahr 2000. Da eine Dimensionierung von Linern mit Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 „Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen nicht vorgesehen und zulässig ist, wurden dem Anwender mit Veröffentlichung des Merkblattes ATV-M 127-2 im Januar 2000 erstmalig Dimensionierungshilfen für Liner an die Hand gegeben, durch die seitdem Planungssicherheit hergestellt und wirtschaftliche Lösungen ermöglicht werden.

Die Berechnungen im früheren Merkblatt ATV-M 127-2 bzw. neu vorliegenden Arbeitsblatt DWA-A 143-2 werden für Standardfälle durch Beiwerttafeln unterstützt, sodass – wie im Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 gewohnt – weiterhin Handrechnungen möglich sind. Für Sonderfälle, wie nicht untersuchte Wertebereiche z. B. des E-Moduls und der Wanddicke, Partliner und andere nicht durch das Arbeitsblatt DWA-A 143-2 erfasste Bauweisen, sind gesonderte Untersuchungen erforderlich, die an die im Arbeitsblatt DWA-A 143-2 formulierten Regeln angelehnt werden können.

Folgende Besonderheiten der Linerstatik, die nicht Gegenstand des Arbeitsblattes ATV-DVWK-A 127 sind, wurden im Vorgängerdokument Merkblatt ATV-M 127-2 bereits berücksichtigt und werden in das Arbeitsblatt DWA-A 143-2 überführt:

- Imperfektionen bei der Bettung des Liners im Altrrohr,
- Langzeit-Spannungsnachweise für Kunststoffliner, da der äußere Wasserdruck langfristig einwirkt,
- Kontaktdruckproblem zwischen Altrrohr und Liner,
- Erforderliche nichtlineare Berechnung, da in der Regel Liner mit geringen Wanddicken und kleinen E-Moduln zur Anwendung kommen und infolge Wasserdruck hohe Längskräfte in der Linerwand auftreten,
- Schnittgrößenbeiwerte für Liner bei Altrrohrzustand III.

Die Bemessungsregeln des früheren Merkblattes ATV-M 127-2 und neuen Arbeitsblattes DWA-A 143-2 gelten für die Bau- und Betriebszustände. Es werden nur Altrrohr-Bodensysteme mit einer Standsicherheit > 1 behandelt.

Die für die Berechnungen erforderlichen Angaben sind vom Auftraggeber zur Verfügung zu stellen, siehe auch 4.1 und Anhang G des vorliegenden Arbeitsblattes DWA-A 143-2.

Die Überarbeitung des Merkblattes ATV-M 127-2 und Überführung in eine allgemein anerkannte Regel der Technik wurde insbesondere aufgrund des Konzepts mit Teilsicherheitsfaktoren für die Einwirkungen (Lasten) und die Widerstände (Festigkeiten und Verformungskennwerte) erforderlich, das mit dem Eurocode 1 eingeführt wurde. Ein weiterer Grund war die für den Brückenbau gültige neue Regelung für den Schwerlastverkehr – neue Bezeichnung für das Schwerlastfahrzeug: Tandemsystem (Abkürzung TS) bzw. Lastmodell 1 (LM 1), siehe die Diagramme 1 bis 6 in 7.4.3.3.

Änderungen

Gegenüber Merkblatt ATV-M 127-2 wurden folgende praxisbezogene Erweiterungen und Präzisierungen in das Arbeitsblatt DWA-A 143-2 aufgenommen:

- Erweiterung der Tabelle für die Werkstoffkennwerte und Aktualisierung (siehe Tabelle 3);
- Tabellen 18 und 19 mit Teilsicherheitsbeiwerten γ_F und γ_M sowie Tabelle 20 mit Kombinationsbeiwerten ψ (bei Einhaltung des bisherigen Sicherheitsstandards mit dem globalen Sicherheitsbeiwert $\gamma \cong 2,0$ für den Lastfall Wasserdruck bzw. 1,5 für die Lastkombination Erd- und Verkehrslasten);
- deutliche Unterscheidung zwischen charakteristischen Werten (Index k) und Bemessungswerten (Index d);
- Definition von unterschiedlichen Ersatzkreisen bei Eiprofilen für den Stabilitätsnachweis bei Altrrohrzustand I und II sowie für den Spannungsnachweis bei Altrrohrzustand III (siehe 7.8.1);
- Hinweise auf Beanspruchungen in Längsrichtung des Liners (siehe 7.5.4.2);
- Hinweise zur Anwendung von eingeführten Berechnungsmethoden wie die Finite-Elemente-Methode (siehe 7.10);
- erweiterte Angaben zum Ansatz von Imperfektionen (siehe 7.3);

- genauere Angaben zur Wahl der Exzentrizität der angenommenen Altrohrgelenke (siehe 7.5.4.3 und Tabelle 14);
- Liner für Druckrohre (siehe 7.4.2.4 und 7.6.4.3);
- Ergänzung von Beiwerten für UP-GF-Liner (siehe Anhang D und E);
- Ergänzung von Beiwerten für Eiquerschnitte (siehe Anhang D);
- untypisches Altrohr-Bruchbild (z. B. erhebliche Scherbenbildung), deutliche Korrosion, stark reduzierte Festigkeit des Altrohrs, sehr große Verformungen: Altrohrzustand IIIa (Altrohr als Kies betrachtet, Anhang K).

Aktualisierungen der Werkstoffkennwerte für im Werk hergestellte Rohre werden im vorgesehenen Arbeitsblatt DWA-A 127-10 veröffentlicht.

Die DWA-Arbeitsgruppe ES 8-16 „Statische Berechnung von Entwässerungsanlagen – Sanierungsverfahren“ bittet die Anwender des vorliegenden Arbeitsblattes um Mitteilung der Erfahrungen bei der Anwendung, da die Technik der Rohrleitungssanierung noch nicht abgeschlossen ist und neue Anwendungsbereiche, Verfahren und Werkstoffe auch neue Berechnungsverfahren bedingen können.

Frühere Ausgaben

Merkblatt ATV-M 127-2 (01/2000)

Folgende Arbeits- und Merkblätter befassen sich mit der Zustandserfassung und -beurteilung sowie Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden:

Merkblatt-Nr.	Titel	Ausgabedatum
DWA-A 143-1	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 1: Planung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen	Februar 2015
Gemeinschaftspublikation DIN EN 14654-2/ DWA-A 143-1	Gemeinschaftspublikation DIN EN 14654-2 „Management und Überwachung von betrieblichen Maßnahmen in Abwasserleitungen und -kanälen – Teil 2: Sanierung“ und DWA-A 143-1 „Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 1: Planung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen“	Februar 2015
DWA-A 143-2	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit Lining- und Montageverfahren	Juli 2015
DWA-A 143-3	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Vor Ort härtende Schlauchliner	Mai 2014
ATV-DVWK-M 143-4	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 4: Montageverfahren für begehbare Abwasserleitungen und -kanäle und Bauwerke	August 2004 (in Überarbeitung)
DWA-M 143-5	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 5: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Innenmanschetten	Februar 2014
ATV-M 143-6	Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen – Teil 6: Dichtheitsprüfungen bestehender erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck	Juni 1998 (in Überarbeitung zum Merkblatt DWA-M 149-6)
ATV-DVWK-M 143-7	Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen – Teil 7: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Kurzliner und Innenmanschetten	April 2003 (in Überarbeitung)
ATV-DVWK-M 143-8	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 8: Injektionsverfahren zur Abdichtung von Abwasserleitungen und -kanälen	August 2004 (in Überarbeitung)

Merkblatt-Nr.	Titel	Ausgabedatum
ATV-DVWK-M 143-9	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 9: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen durch Wickelrohrverfahren	August 2004 (in Überarbeitung)
DWA-M 143-10	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 10: Noppenschlauchverfahren für Abwasserleitungen und -kanäle	Dezember 2006
ATV-DVWK-M 143-11	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 11: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren ohne Ringraum (Close-Fit-Lining)	August 2004 (in Überarbeitung)
DWA-M 143-12	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 12: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren mit und ohne Ringraumverfüllung – Einzelrohrverfahren	August 2008
DWA-M 143-13	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 13: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren mit und ohne Ringraumverfüllung – Rohrstrangverfahren	November 2011
DWA-M 143-14	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 14: Sanierungsstrategien	November 2005 (in Überarbeitung)
DWA-M 143-15	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 15: Erneuerung von Abwasserleitungen und -kanälen durch Berstverfahren	November 2005 (in Überarbeitung)
DWA-M 143-16	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 16: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Roboterverfahren	Dezember 2006 (in Überarbeitung)
DWA-M 143-17	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 17: Beschichtung von Abwasserleitungen, -kanälen und Schächten mit zementgebundenen mineralischen Mörteln	Dezember 2006 (in Überarbeitung)
DWA-M 143-18	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 18: Sanierung durch Systemwechsel zur Druck- oder Unterdruckentwässerung	April 2015
DWA-M 143-19	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 19: Statische Berechnung von sanierten Bauwerken	In Bearbeitung
DWA-M 143-20	Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 20: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Flutungsverfahren	In Bearbeitung
DWA-M 144-1	Zusätzliche technische Vertragsbedingungen (ZTV) für die Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 1: Allgemeine Anforderungen	In Bearbeitung
DWA-M 144-3	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) für die Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Renovierung mit Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserkanäle	November 2012 aktualisierte Fassung: Juli 2015
DWA-M 149-1	Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 1: Grundlagen	In Bearbeitung
DWA-M 149-2	Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion	Dezember 2013

Merkblatt-Nr.	Titel	Ausgabedatum
Gemeinschaftspublikation DIN EN 13508-2/ DWA-M 149-2	Gemeinschaftspublikation DIN EN 13508-2 „Untersuchung und Beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion“ und DWA-M 149-2 „Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion“	Juli 2014
DWA-M 149-3	Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Beurteilung nach optischer Inspektion	April 2015
DWA-M 149-4	Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 4: Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen mittels geophysikalischer Verfahren	Juli 2008
DWA-M 149-5	Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 5: Optische Inspektion	Dezember 2010
DWA-M 149-6 Entwurf	Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 6: Prüfung bestehender Entwässerungssysteme mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck	Juli 2015
DWA-M 149-7 Entwurf	Zustandserfassung und Bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 7: Beurteilung der Umweltrelevanz des baulich/betrieblichen Zustands	Dezember 2014
DWA-M 149-8	Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 8: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) – Optische Inspektion	September 2014

Verfasser

Das Arbeitsblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe ES-8.16 „Statische Berechnung von Entwässerungsanlagen – Sanierungsverfahren“ im DWA-Fachausschuss ES-8 „Zustandserfassung und Sanierung“ erstellt, der folgende Mitglieder angehören:

BECKMANN, Dietmar	Dr.-Ing., Bochum
DAVID, Frank	Dipl.-Ing., Dortmund
FALTER, Bernhard	Prof. Dr.-Ing., Münster (Sprecher)
GOLL, Jens	M. Eng., Dipl.-Ing., Rohrbach
HOCH, Albert	Prof. Dr.-Ing., Nürnberg
KRAHL, Jürgen	Dipl.-Ing., Elisabethfehn (bis 2010)
MALETZ, Markus	Dipl.-Ing., Nürnberg
RÖTHIG, Mike	Dipl.-Ing., Leipzig
WACKER, Roland	Dipl.-Ing., Auenwald
WAGNER, Volker	Prof. Dr.-Ing., Berlin
WALLMANN, Ulrich	Dipl.-Ing., Bottrop

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

BERGER, Christian	Dipl.-Ing., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
-------------------	--

Inhalt

Vorwort	3
Verfasser	6
Bilderverzeichnis	11
Diagrammverzeichnis	12
Tabellenverzeichnis	14
Benutzerhinweis	15
1 Anwendungsbereich	15
2 Verweisungen	15
3 Begriffe	17
3.1 Definitionen	17
3.2 Symbole und Abkürzungen	17
4 Technische Angaben	22
4.1 Zustand der Altleitung, allgemein	22
4.2 Zustand der Altleitung aus statischer Sicht	22
4.2.1 Unsanierete Altleitung	22
4.2.2 Sanierete Altleitung	23
4.3 Zustand der Schächte aus statischer Sicht	24
4.4 Werkstoffkennwerte.....	24
4.4.1 Linerwerkstoffe	24
4.4.2 Werkstoffe zum Verfüllen des Ringraums	26
4.5 Bodenkennwerte	26
5 Bauausführung	27
5.1 Vorarbeiten	27
5.2 Einbauverfahren.....	27
5.2.1 Allgemeines	27
5.2.2 Verfahren mit Ringraumverfüllung	27
5.2.3 Verfahren ohne Ringraumverfüllung.....	27
5.2.4 Montageverfahren (Rohrsegment-Lining)	27
6 Nachweise für Bauzustände	28
6.1 Einziehen des Rohrstrangs	28
6.1.1 Werkstoffkennwerte, Beulgrenzwerte	28
6.1.2 Fall 1: Zwangsführung	28
6.1.2.1 Schnittgrößen	28
6.1.2.2 Spannungen	30
6.1.2.3 Dehnungsnachweise.....	30
6.1.3 Fall 2: Freie Auflagerung am Grubenrand	30
6.2 Verfüllen des Ringraums	31
6.2.1 Vorbemerkungen.....	31
6.2.2 Schnittgrößen und Spannungsnachweise.....	32
6.2.3 Verformungen.....	33

6.2.4	Stabilitätsnachweis	34
6.2.5	Abstandhalter/innere Abstützungen	35
6.2.6	Einfluss des Rohreinzugs in abgewinkelte Trassen	35
6.2.7	Abschätzung des Altrohrs gegen Verfülldruck	35
7	Nachweise für Betriebszustände	36
7.1	Abgrenzung für Fälle, in denen der statische Nachweis entfallen kann	36
7.2	Standicherheit des Altrohr-Bodensystems (Altrohrzustand II und III)	36
7.3	Vorverformungen (Imperfektionen)	37
7.3.1	Allgemeines, Geometrie	37
7.3.2	Größe und Verteilung der Imperfektionen	39
7.3.2.1	Allgemeine Festlegungen	39
7.3.2.2	Schlauchverfahren, Close-Fit-Verfahren, Rohrstrang-Lining, Einzelrohr-Lining, Wickelrohr-Lining ohne Ringraumverfüllung	39
7.3.2.3	Wickelrohr-Verfahren (Lining mit fest verankerter Kunststoffauskleidung)	40
7.3.2.4	Noppenbahnverfahren (Lining mit fest verankerter Kunststoffauskleidung)	41
7.3.3	Imperfektionen beim normalen Eiquerschnitt mit $B:H = 2:3$	42
7.3.4	Imperfektionen bei sonstigen Querschnitten	42
7.3.5	Imperfektionen bei Querversatz (Faltenbildung)	44
7.3.6	Imperfektionen bei horizontaler Verschiebung von Querschnittsteilen	44
7.4	Berechnungsmodelle und Belastungen (Einwirkungen)	44
7.4.1	Abgrenzungen	44
7.4.2	Altrohrzustand I und II	45
7.4.2.1	Belastungen (Einwirkungen, Einwirkungskombinationen)	45
7.4.2.2	Berechnungsmodelle	45
7.4.2.3	Biegeweiche Altrohre	47
7.4.2.4	Berechnungsmodelle für den Lastfall Innendruck	47
7.4.3	Altrohrzustand III	48
7.4.3.1	Belastungen (Einwirkungen)	48
7.4.3.2	Berechnungsmodelle	49
7.4.3.3	Druckverteilung am Rohrumfang	51
7.4.3.3.1	Erdlasten	51
7.4.3.3.2	Straßenverkehrslasten	51
7.4.3.3.3	Eisenbahnverkehrslasten	56
7.4.3.3.4	Flugbetriebslasten	58
7.4.3.3.5	Gesamtlast, Bemessungswerte	59
7.4.3.4	Altrohrzustand III bei geringen Überdeckungen	60
7.4.3.5	Altrohrzustand III bei hohen Überdeckungen ($h > 5$ m)	60
7.5	Schnittkräfte, Spannungen, Verformungen	60
7.5.1	Allgemeines	60
7.5.2	Schnittkräfte bei Vorliegen von Altrohrzustand I und II	60
7.5.3	Schnittkräfte bei Vorliegen von Altrohrzustand III	61
7.5.4	Spannungen	61
7.5.4.1	Linerspannungen bei Altrohrzustand I bis III	61
7.5.4.2	Linerspannungen in Längsrichtung (Sonderfall)	62
7.5.4.3	Altrohrspannungen bei Altrohrzustand II und III	63
7.5.5	Dehnungen	63
7.5.6	Verformungen (Gebrauchstauglichkeitsnachweis)	63
7.6	Bemessung	64

7.6.1	Allgemeines zum Nachweisformat mit Teilsicherheitsbeiwerten	64
7.6.2	Tragsicherheitsnachweis (Langzeit, ggf. auch Kurzzeit)	64
7.6.3	Verformungsnachweis (Langzeit)	65
7.6.4	Stabilitätsnachweis (Langzeit)	65
7.6.4.1	Allgemeines	65
7.6.4.2	Äußerer Wasserdruck p_a , innerer Unterdruck p_i	65
7.6.4.3	Innendruck p_i , Druckstoß	68
7.6.4.4	Temperaturänderung $\Delta \vartheta$	69
7.6.4.5	Eigenlasten	69
7.6.4.6	Erd- und Verkehrslasten	70
7.6.4.7	Interaktion	71
7.6.5	Ermüdungsnachweis	71
7.7	Fälle, für die keine Beiwerte vorliegen	72
7.8	Anmerkungen zu Eiquerschnitten und anderen Querschnitten	73
7.8.1	Ersatzkreis beim normalen Eiquerschnitt ($B:H = 2:3$)	73
7.8.2	Andere Profile	73
7.9	Sonderprobleme	74
7.10	Nachweise mit Stabwerkmodellen und der Finite-Elemente-Methode	74
7.11	Nachweise für Montageverfahren (Rohrsegment-Lining)	74
8	Sicherheitskonzept	74
Anhang A (normativ) Ermittlung der Baugrubenlänge und der Auflagerkräfte beim Einziehen/Einschieben des Rohrstrangs (Fall 2)		
76		
A.1	Erläuterungen	76
A.1.1	Rechenmodell	76
A.1.2	Parameter	76
A.1.3	Interpolation	76
A.2	Diagramme zur Ermittlung der Baugrubenlänge und der Auflagerkräfte	77
Anhang B (normativ) Biegemomenten- und Normalkraftbeiwerte m und n für die Beanspruchungen bei der Ringraumverfüllung		
81		
Anhang C (normativ) Übersichten		
82		
C.1	Nachweise des Betriebszustands	82
C.2	Erläuterungen zu den Altrohrzuständen	83
Anhang D (normativ) Biegemomenten- und Normalkraftbeiwerte m_{pa}, n_{pa} für Liner unter Wasseraußendruck p_a (Altrohrzustand I bis III)		
84		
D.1	Erläuterungen für Kreisprofile	84
D.1.1	Rechenmodell des Liner-Altrohrsystems	84
D.1.2	Parameter für Kreisprofile	84
D.1.3	Interpolation von Beiwerten	84
D.1.4	Ablesung	85
D.1.5	Diagramm für UP-SF-Liner	85
D.1.6	Diagramm für UP-GF-Liner	86
D.2	Erläuterungen für Eiprofile	86
D.2.1	Rechenmodell des Liner-Altrohrsystems	86
D.2.2	Parameter	87
D.2.3	Interpolation von Beiwerten	87
D.2.4	Ablesung	87

D.2.5	Diagramme für UP-SF-Liner mit Eiprofil	88
D.2.6	Diagramme für UP-GF-Liner mit Eiprofil	89
Anhang E (normativ) Biegemomenten- und Normalkraftbeiwerte n_q, m_q und elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für Liner unter Erd- und Verkehrslasten q_v und q_h (Altrohrzustand III)		90
E.1	Erläuterungen zu Altrohrzustand III (Anhang E.2.1 und E.2.2).....	90
E.1.1	Rechenmodell des Liner-Altrohr-Bodensystems.....	90
E.1.2	Parameter	90
E.1.3	Interpolation von Beiwerten.....	91
E.2	Diagramme	92
E.2.1	Diagramme für UP-SF-Liner (Altrohrzustand III)	92
E.2.2	Diagramme für UP-GF-Liner (Altrohrzustand III)	95
Anhang F (normativ) Last-Verschiebungskurven $q_{v,d}/E_2$ und kritische Vertikallasten $q_{v,d}$ des Altrohr-Bodensystems		98
F.1	Erläuterungen	98
F.2	Diagramme	100
Anhang G (normativ) Mindestangaben für die statische Berechnung		103
Anhang H (informativ) Berechnungsbeispiele für den Bauzustand Einziehen des Rohrstrangs		104
H.1	Beispiel 1 (Fall 1): Ein Liner DN 300 aus PE 80, SDR 17 (SN 8) wird am Grubenrand im Querschnitt reduziert und in ein Steinzeugrohr eingezogen.....	104
H.1.1	Gegeben: Höhendifferenz $h_G = 1,8$ m, Baugrubenlänge $l_G = 10$ m	104
H.1.2	Werkstoffkennwerte, Beulgrenzwerte	104
H.1.3	Biegemomente	104
H.1.4	Auflagerkräfte	105
H.1.5	Zugkräfte	105
H.1.6	Spannungen Zugkopf.....	105
H.1.7	Spannungen am Altrohr (siehe Bild 4, Position (1))	105
H.1.8	Dehnungsnachweise am Altrohr (siehe Bild 4, Position (1))	105
H.1.9	Dehnungsnachweise am Baugrubenrand (siehe Bild 4, Position (2))	106
H.2	Beispiel 2 (Fall 2): Ein Liner DN 300 aus PE 80, SDR 17 (SN 8) wird in ein Betonrohr DN 400 über einen Stützbock am Grubenrand eingezogen	107
H.2.1	Gegeben: Gesamtlänge des Rohrstrangs $L = 100$ m.....	107
H.2.2	Spiel zwischen Altrohr und Liner	107
H.2.3	Mindestlänge der Baugrube	107
H.2.4	Auflagerkräfte	107
Anhang I (informativ) Berechnungsbeispiel für den Bauzustand Verfüllen des Ringraums		108
I.1	Gegeben: Ringspalt zwischen Altrohr und Liner 25 mm.....	108
I.2	Spannungsnachweis.....	108
I.3	Querschnittswerte	109
I.4	Spannungen.....	109
I.5	Verformungen	109
I.6	Stabilitätsnachweis	110
Anhang J (informativ) Berechnungsbeispiele für den Betriebszustand		111
Anhang K (informativ) Altrohrzustand IIIa		120
K.1	Erläuterungen	120
K.2	Rechenmodell des Liner-Bodensystems	120
K.3	Parameter	121
K.4	Interpolation von Beiwerten, Schnittgrößen, Spannungen, Nachweise	121
K.5	Bodenkennwerte	122

K.6	Diagramme	123
K.6.1	Diagramme für UP-SF-Liner (Altrohrzustand IIIa).....	123
K.6.2	Diagramme für UP-GF-Liner (Altrohrzustand IIIa)	125
Quellen und Literaturhinweise.....		127

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Altrohrzustand I.....	23
Bild 2:	Altrohrzustand II.....	23
Bild 3:	Altrohrzustand III.....	23
Bild 4:	Einziehvorgang über Startbaugrube, Fall 1 (Zwangsführung).....	29
Bild 5:	Einziehvorgang über Startbaugrube, Fall 2 (freie Lagerung am Grubenrand, Spiel Δh zwischen Liner und Altrohr).....	31
Bild 6:	Belastungssituation beim Verfüllen des Ringspalts, dargestellt ist der Fall A (Absinken) und der Lagerungsfall I (Linienlager).....	33
Bild 7:	Ringspaltgröße bei Ansatz einer Stützung des Liners durch das Altrohr.....	34
Bild 8:	Beulform zwischen vier Abstandhaltern in diagonaler Richtung.....	35
Bild 9:	Außen und innen gestützter Liner mit Maulprofil	35
Bild 10:	Beispiel für 3D-Modell bei singularer Stützung (Verformungen überhöht dargestellt)	35
Bild 11:	System und Belastung des Altrohr-Bodensystem aus Erd- und Verkehrslasten	36
Bild 12:	Verformter Kanalquerschnitt (Scheitelriss klaffend, Kämpferrisse innen geschlossen)	37
Bild 13:	a) örtliche Vorverformung w_v ; b) Gelenkringvorverformung $w_{GR,v}$; c) Spaltbildung w_s	38
Bild 14:	Rechteckquerschnitte: a) + b) FE-Simulation, c) Stabwerksimulation	38
Bild 15:	Nichtbegehbarer Betonkanal (Eiquerschnitt) mit großen Verformungen.....	39
Bild 16:	Normaler Eiquerschnitt z. B. nach DIN 4263 mit Vorverformung am rechten Kämpfer.....	42
Bild 17:	Normaler Maulquerschnitt $B:H = 2:1,5$ mit symmetrischer und unsymmetrischer Vorverformung in der Sohle.....	43
Bild 18:	Horizontale Verschiebung von Querschnittsteilen	44
Bild 19:	Altrohr mit Liner	46
Bild 20:	Klassifizierung von Linern in Druckleitungen und Zusammenhang zwischen den Technikfamilien innerhalb des Anwendungsbereichs der Norm DIN EN ISO 11295.....	47
Bild 21:	Modelle mit voller Bettung des Kreisrings.....	50
Bild 22:	Lastbild nach DIN EN 1991-2:2010-12.....	51
Bild 23:	Geringe Überdeckung.....	55
Bild 24:	Ausreichende Überdeckung.....	55
Bild 25:	Ausbreitung der vertikalen Lasten aus Eisenbahnverkehr; Definition Druckbereich und Einflussbereich..	56
Bild 26:	Bodenspannung p infolge von Eisenbahnverkehrslasten	57
Bild 27:	Lastbilder der Bemessungsflugzeuge (BFZ).....	58
Bild 28:	Bodenspannung p_T infolge von Flugzeugverkehrslasten	59
Bild 29:	Parabelförmige Spannungsverteilung in der Kontaktzone der Kämpferlängsrisse.....	63
Bild 30:	Gleichzeitig wirkende Erd-/Verkehrslasten und Wasseraußendruck	72
Bild 31:	Sohle eines Maulprofils, Geometrie, Belastung durch Wasseraußendruck, symmetrische Vorverformung (links) und unsymmetrische Vorverformung (rechts).....	73
Bild D.1:	Beispiel für die nichtlineare Interpolation der Beiwerte m_{pa}	84
Bild D.2:	Beispiel für die nichtlineare Interpolation der Beiwerte m_{pa}	87
Bild E.1:	Beispiel für die nichtlineare Interpolation von m_q -Beiwerten:	91
Bild F.1:	Fallbeispiele	98
Bild F.2:	Ermittlung von δ_0 und krit ($q_{v,d}/E_2$) bei gegebenen Werten für $q_{v,d}/E_2 (= 0,020)$ und $\omega_{GR,v} (= 8 \%)$	99
Bild K.1:	Altrohrzustand IIIa (erhebliche Scherbenbildung, Betongüte z. B. $\leq C8/10$, aus Bohrkernen ermittelt, Mauerwerksfestigkeit II oder schlechter und/oder ungünstige Bodenparameter)	120

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1:	Vertikale Bodenspannungen bei Rohrlängen $L_R \leq 2$ m, Überdeckung $h < 1$ m	52
Diagramm 2:	Vertikale Bodenspannungen bei Rohrlängen $L_R > 2$ m und ≤ 3 m, Überdeckung $h < 1$ m	52
Diagramm 3:	Vertikale Bodenspannungen p_T in kN/m^2 für $L_R \geq 4$ m, Überdeckung $h < 1$ m	53
Diagramm 4:	Vertikale Bodenspannungen p_T in kN/m^2 für $L_R = 2$ m bis 4 m, Überdeckung $h = 1$ m bis 10 m ...	53
Diagramm 5:	Horizontale Bodenspannungen, Überdeckung $h \leq 4,5$ m, $K_2 = 0,4$	54
Diagramm 6:	Vertikale Bodenspannungen dyn p_T für den Ermüdungsnachweis unter Straßenverkehrslasten, gültig für alle Rohrlängen	55
Diagramm 7:	Abminderungsfaktor $\kappa_{v,s}$ für verschiedene Werte der Gelenkringvorverformung (Ovalisierung) bei 2 % örtlicher Vorverformung und 0,5 % Ringspalt	66
Diagramm 8:	Abminderungsfaktor κ_v für örtliche Vorverformung	67
Diagramm 9:	Abminderungsfaktor $\kappa_{GR,v}$ für Gelenkringvorverformung (Ovalisierung)	67
Diagramm 10:	Abminderungsfaktor κ_s für Spaltbildung	68
Diagramm 11:	Kritische vertikale Belastung krit $q_{v,d}$ für UP-SF-Liner, DN 300, $e_G = 0,25 \cdot t$	70
Diagramm 12:	Kritische vertikale Belastung krit $q_{v,d}$ für UP-GF-Liner, DN 300, $e_G = 0,25 \cdot t$	71
Diagramm A.1:	Erforderliche Baugrubenlänge l_G für PE-Rohre SDR 33 (SN 2) beim Einziehen in ein Altrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)	77
Diagramm A.2:	Auflagerkräfte von PE-Rohren SDR 33 (SN 2) am Altrohr (A_1) und am Baugrubenrand (A_2) beim Einziehen in ein Altrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)	77
Diagramm A.3:	Erforderliche Baugrubenlänge l_G für PE-Rohre SDR 26 (SN 4) beim Einziehen in ein Altrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)	78
Diagramm A.4:	Auflagerkräfte von PE-Rohren SDR 26 (SN 4) am Altrohr (A_1) und am Baugrubenrand (A_2) beim Einziehen in ein Altrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)	78
Diagramm A.5:	Erforderliche Baugrubenlänge l_G für PE-Rohre SDR 21 (SN 8) beim Einziehen in ein Altrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)	79
Diagramm A.6:	Auflagerkräfte von PE-Rohren SDR 21 (SN 8) am Altrohr (A_1) und am Baugrubenrand (A_2) beim Einziehen in ein Altrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)	79
Diagramm A.7:	Erforderliche Baugrubenlänge l_G für PE-Rohre SDR 17 (SN 16) beim Einziehen in ein Altrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)	80
Diagramm A.8:	Auflagerkräfte von PE-Rohren SDR 17 (SN 16) am Altrohr (A_1) und am Baugrubenrand (A_2) beim Einziehen in ein Altrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)	80
Diagramm D.1:	Biegemomentenbeiwerte m_{pa} für UP-SF-Liner DN 300	85
Diagramm D.2:	Biegemomentenbeiwerte m_{pa} für UP-GF-Liner DN 300	86
Diagramm D.3:	Biegemomentenbeiwerte m_{pa} für UP-SF-Liner $B:H = 600:900$ in mm	88
Diagramm D.4:	Normalkraftbeiwerte n_{pa} für UP-SF-Liner $B:H = 600:900$ in mm	88
Diagramm D.5:	Biegemomentenbeiwerte m_{pa} für UP-GF-Liner $B:H = 600:900$ in mm	89
Diagramm D.6:	Normalkraftbeiwerte n_{pa} für UP-GF-Liner $B:H = 600:900$ in mm	89
Diagramm E.1:	Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 1400 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 3 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 2,4 \text{ N/mm}^2$)	92
Diagramm E.2:	Normalkraftbeiwerte n_q für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 1400 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 3 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 2,4 \text{ N/mm}^2$)	92
Diagramm E.3:	Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 1400 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 3 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 2,4 \text{ N/mm}^2$)	93
Diagramm E.4:	Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 1400 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)	93
Diagramm E.5:	Normalkraftbeiwerte n_q für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 1400 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)	94
Diagramm E.6:	Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 1400 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)	94
Diagramm E.7:	Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 6000 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 3 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 2,4 \text{ N/mm}^2$)	95

Diagramm E.8:	Normalkraftbeiwerte n_q für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 6000 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 3 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 2,4 \text{ N/mm}^2$)	95
Diagramm E.9:	Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 6000 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 3 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 2,4 \text{ N/mm}^2$)	96
Diagramm E.10:	Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 6000 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)	96
Diagramm E.11:	Normalkraftbeiwerte n_q für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 6000 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)	97
Diagramm E.12:	Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 6000 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)	97
Diagramm F.1:	Last-Verschiebungskurven des Viergelenkrings für Vertikallasten $q_{v,d}$, Bodengruppe G1, $K_2 = 0,4$	100
Diagramm F.2:	Kritische Vertikallasten des Viergelenkrings, Bodengruppe G1, $K_2 = 0,4$; Maximalwerte aus Diagramm F.1 mit $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$	100
Diagramm F.3:	Last-Verschiebungskurven des Viergelenkrings für Vertikallasten $q_{v,d}$, Bodengruppe G2, $K_2 = 0,3$	101
Diagramm F.4:	Kritische Vertikallasten des Viergelenkrings, Bodengruppe G2, $K_2 = 0,3$; Maximalwerte aus Diagramm F.3 mit $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$	101
Diagramm F.5:	Last-Verschiebungskurven des Viergelenkrings für Vertikallasten $q_{v,d}$, Bodengruppe G3, $K_2 = 0,2$; im plastischen Bereich gültig für $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$	102
Diagramm F.6:	Kritische Vertikallasten des Viergelenkrings, Bodengruppe G3, $K_2 = 0,2$; Maximalwerte aus Diagramm F.5 mit $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$	102
Diagramm K.1:	Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 1000 \text{ N/mm}^2$; Boden + Altrohr $E_2 = 5 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 4,0 \text{ N/mm}^2$)	123
Diagramm K.2:	Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 1000 \text{ N/mm}^2$; Boden + Altrohr $E_2 = 5 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 4,0 \text{ N/mm}^2$)	123
Diagramm K.3:	Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 1000 \text{ N/mm}^2$; Boden + Altrohr $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)	124
Diagramm K.4:	Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 1000 \text{ N/mm}^2$; Boden + Altrohr $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)	124
Diagramm K.5:	Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 4400 \text{ N/mm}^2$; Boden + Altrohr $E_2 = 5 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 4,0 \text{ N/mm}^2$)	125
Diagramm K.6:	Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 4400 \text{ N/mm}^2$; Boden + Altrohr $E_2 = 5 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 4,0 \text{ N/mm}^2$)	125
Diagramm K.7:	Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 4400 \text{ N/mm}^2$; Boden + Altrohr $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)	126
Diagramm K.8:	Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 4400 \text{ N/mm}^2$; Boden + Altrohr $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)	126

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Definition der Altrohrzustände I bis IIIa	24
Tabelle 2:	Auftretende Lastfälle	24
Tabelle 3:	Werkstoffkennwerte von Linern, charakteristische Werte	25
Tabelle 4:	Grensradien, maximale Dehnungen, maximale Spannungen, spannungsabhängige E-Moduln und Temperaturbeiwerte für PE-Liner (gültig für $\vartheta = 20 \text{ °C}$ und PE mit $E_{\sigma=3} = 970 \text{ N/mm}^2$).....	29
Tabelle 5:	Imperfektionen für Kreisquerschnitte in % der Linerradien	40
Tabelle 6:	Imperfektionen für Kreisquerschnitte in % des Linerradius beim Wickelrohrverfahren	40
Tabelle 7:	Imperfektionen für Kreisquerschnitte in % des Linerradius beim Noppenbahnverfahren.....	41
Tabelle 8:	Lage und Verteilung der Imperfektionen ω_v beim normalen Eiquerschnitt	43
Tabelle 9:	Lage und Verteilung der Imperfektionen ω_v bei sonstigen Querschnitten	43
Tabelle 10:	Maximale zulässige Oberflächenunregelmäßigkeiten gemäß DIN EN ISO 11296-4:2011-07.....	44
Tabelle 11:	Kriterien zur Abgrenzung der Altrohrzustände II und III	44
Tabelle 12:	Last-/Einwirkungskombinationen (LK) für die Altrohrzustände I und II.....	46
Tabelle 13:	Last-/Einwirkungskombinationen (LK) für Altrohrzustand III	48
Tabelle 14:	Wahl der Gelenkexzentrizität e_G in Abhängigkeit von der Altrohrdruckzone	50
Tabelle 15:	Funktionen für die Programmierung von p_T für Überdeckungen $h = 1 \text{ m}$ bis 10 m	54
Tabelle 16:	Bodenspannungen p infolge von Eisenbahnverkehrslasten.....	57
Tabelle 17:	Abminderungsfaktor α_T	72
Tabelle 18:	Teilsicherheitsbeiwerte γ_F der Einwirkungen (Lasten)	75
Tabelle 19:	Teilsicherheitsbeiwerte γ_M der Widerstände (Werkstoff, E-Modul beim Beulnachweis)	75
Tabelle 20:	Kombinationsbeiwerte ψ	75
Tabelle J.1:	Eingabedaten	111
Tabelle J.2:	Berechnungsgang	114

Benutzerhinweis

Dieses Arbeitsblatt ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher/wirtschaftlicher Gemeinschaftsarbeit, das nach den hierfür geltenden Grundsätzen (Satzung, Geschäftsordnung der DWA und dem Arbeitsblatt DWA-A 400) zustande gekommen ist. Für dieses besteht nach der Rechtsprechung eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig sowie allgemein anerkannt ist.

Jedermann steht die Anwendung des Arbeitsblattes frei. Eine Pflicht zur Anwendung kann sich aber aus Rechts- oder Verwaltungsvorschriften, Vertrag oder sonstigem Rechtsgrund ergeben.

Dieses Arbeitsblatt ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für fachgerechte Lösungen. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall; dies gilt insbesondere für den sachgerechten Umgang mit den im Arbeitsblatt aufgezeigten Spielräumen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Arbeitsblatt gilt für die statische Berechnung von Linern und Montageverfahren mit beliebigen Querschnitten. Hinweis: Die Beiwerttafeln im Anhang sind auf Kreis- und Eiprofile beschränkt.

Linerrohre, die innerhalb von Sanierungsstrecken in offener Bauweise eingebaut werden, werden mit dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 berechnet. Für Altröhre, die durch Spritzbeton oder andere Verfahren ertüchtigt werden, sind weitere Vorschriften wie z. B. das Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 (u. a. für Lastannahmen) sowie spezielle Bemessungsvorschriften (z. B. DIN EN 1992-1-1) hinzuzuziehen.

2 Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Arbeitsblatt teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Arbeitsblattes erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN EN ISO 11295, Klassifizierung von Kunststoff-Rohrleitungssystemen für die Renovierung und Informationen zur Planung

DIN EN ISO 11296-1, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 1: Allgemeines

DIN EN ISO 11296-3, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 3: Close-Fit-Lining

DIN EN ISO 11296-4, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining

DIN EN ISO 11296-7, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 7: Wickelrohr-Lining

DIN EN ISO 14130, Faserverstärkte Kunststoffe – Bestimmung der scheinbaren interlaminaren Scherfestigkeit nach dem Dreipunktverfahren mit kurzem Balken

DIN EN 476, Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserleitungen und -kanäle

DIN EN 752, Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden

DIN EN 1991-1 Eurocode 1, Einwirkungen auf Tragwerke; alle Teile

DIN EN 1991-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; alle Teile

DIN EN 1991-2 Eurocode 1, Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken

DIN EN 1991-2/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken

DIN EN 1991-3 Eurocode 1, Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen

DIN EN 1991-3/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen

DIN EN 1992-1 Eurocode 2, Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken; alle Teile

- DIN EN 1992-1/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken; alle Teile
- DIN EN 1993-1-6 Eurocode 3, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen
- DIN EN 1993-1-6/NA, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen
- DIN EN 14364, Kunststoff-Rohrleitungssysteme für Abwasserleitungen und -kanäle mit oder ohne Druck – Glasfaserverstärkte duroplastische Kunststoffe (GFK) auf der Basis von ungesättigtem Polyesterharz (UP) – Festlegungen für Rohre, Formstücke und Verbindungen
- DIN EN 15885, Klassifizierung und Eigenschaften von Techniken für die Renovierung und Reparatur von Abwasserkanälen und -leitungen
- DIN 18306, VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Entwässerungskanalarbeiten
- DIN 18326, VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Renovierungsarbeiten an Entwässerungskanälen
- DVS 2205-1, Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten – Kennwerte
- DVS 2205-1 Beiblatt 2, Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten – Kennwerte der Werkstoffgruppe Polypropylen
- DVS 2205-1 Beiblatt 3, Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten – Kennwerte der Werkstoffgruppe Polyvinylchlorid
- DVS 2205-1 Beiblatt 6, Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten – Kennwerte der Werkstoffgruppe Polyethylen
- DVS 2205-2, Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten – Stehende runde, drucklose Behälter
- DWA-A 125, Rohrvortrieb und verwandte Verfahren. Arbeitsblatt
- ATV-DVWK-A 127, Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen. Arbeitsblatt
- DWA-A 143-1, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 1: Planung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen. Arbeitsblatt
- DWA-A 143-3, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Vor Ort härtende Schlauchliner. Arbeitsblatt
- DWA-A 161, Statische Berechnung von Vortriebsrohren. Arbeitsblatt
- DWA-A 127-10 (in Bearbeitung), Statische Berechnung von Abwasserleitungen und -kanälen – Teil 10: Kennwerte der Rohrwerkstoffe zur statischen Berechnung von Abwasserleitungen und -kanälen. Arbeitsblatt
- ATV-DVWK-M 143-4, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 4: Montageverfahren für begehbare Abwasserleitungen und -kanäle und Bauwerke. Merkblatt
- DWA-M 143-5, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 5: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Innenmanschetten. Merkblatt
- ATV-DVWK-M 143-7, Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen – Teil 7: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Kurzliner und Innenmanschetten. Merkblatt
- ATV-DVWK-M 143-8, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 8: Injektionsverfahren zur Abdichtung von Abwasserleitungen und -kanälen. Merkblatt
- ATV-DVWK-M 143-9, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 9: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen durch Wickelrohrverfahren. Merkblatt
- DWA-M 143-10, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 10: Noppenschlauchverfahren für Abwasserleitungen und -kanäle. Merkblatt
- ATV-DVWK-M 143-11, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 11: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren ohne Ringraum (Close-Fit-Lining). Merkblatt
- DWA-M 143-12, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 12: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren mit und ohne Ringraumverfüllung – Einzelrohrverfahren. Merkblatt
- DWA-M 143-13, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 13: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren mit und ohne Ringraumverfüllung – Rohrstrangverfahren. Merkblatt
- DWA-M 144-3, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) für die Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Renovierung mit Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserkanäle. Merkblatt
- Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6, Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen

BÜV-Empfehlung:2014, Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen (TKB) – Entwurf, Bemessung und Konstruktion. Bau-Überwachungsverein (BÜV e. V.), Berlin

3 Begriffe

3.1 Definitionen

Sanierungsverfahren sind nach DIN EN 752 wie folgt unterteilt und definiert:

- Reparaturverfahren,
- Renovierungsverfahren,
- Erneuerungsverfahren.

Im vorliegenden Arbeitsblatt mit zugehörigen Anhängen werden die zu den Renovierungsverfahren (nach DIN EN 15885) gehörenden Lining- und Montageverfahren behandelt.

Das durch Lining im Altrohr eingebaute Neurohr wird im Folgenden **Liner** genannt. Als Lining sind zurzeit die folgenden Renovierungsverfahren bekannt:

- Schlauchverfahren (Schlauch-Lining),
- Einzelrohrverfahren (Einzelrohr-Lining),
- Rohrstrangverfahren (Rohrstrang-Lining),
- Close-Fit-Verfahren (Close-Fit-Lining),
- Wickelrohrverfahren (Wickelrohr-Lining),
- Verfahren mit fest verankerter Kunststoffauskleidung (Lining mit fest verankerter Kunststoffauskleidung, z. B. Noppenbahnverfahren, Wickelrohrverfahren als Korrosionsschutz),
- Montageverfahren (Rohrsegment-Lining).

3.2 Symbole und Abkürzungen

Größe	Einheit	Benennung
Einziehen (Rohrstrang-Lining)		
A_1, \bar{A}_1	kN	Auflagerkräfte am Altrohrende
A_2, \bar{A}_2	kN	Auflagerkräfte am Baugrubenrand
A_Q	m ²	Fläche des Linerquerschnitts (Kreisring)
$A_{Q,n}$	m ²	Nettofläche des Linerquerschnitts
a_1, a_2	m	Hebelarm der Einspannungen am Altrohr und ggf. Baugrubenrand
$d_{L,a}, d_{L,i}$	mm	Außen-/Innendurchmesser des Liners
$E_{\sigma=3}$	N/mm ²	E-Modul eines PE-Liners bei $\sigma = 3 \text{ N/mm}^2$
$E_{\sigma=15}$	N/mm ²	E-Modul eines PE-Liners bei $\sigma = 15 \text{ N/mm}^2$
E_m	N/mm ²	wirksamer E-Modul des Liners
\bar{g}_L, \bar{g}_L	kN/m	Eigenlasten des Liners (auf 1 m Rohrlänge bezogen)
h_G	m	Tiefe der Baugrube
I_Q	m ⁴	Flächenmoment 2. Grads des Linerquerschnitts (Kreisring)
k_ϑ	–	Faktor zur Berücksichtigung der Temperatur beim Einziehen
l_G	m	erforderliche Länge der Baugrube
$l_{G,\vartheta}$	m	korrigierte Länge der Baugrube für von 20 °C abweichende Temperatur
l_3	m	Abstand des zusätzlichen Stützbocks vom Baugrubenrand
$M_{1,g}, M_{2,g}$	kNm	Biegemomente am Altrohr und am Baugrubenrand infolge von Eigenlast g
$M_{1,h}, M_{2,h}$	kNm	Biegemomente am Altrohr und am Baugrubenrand durch Anheben um die Baugrubentiefe h_G
$\max R_K$	m	maximaler Krümmungsradius beim Einziehen
$\max \varepsilon$	%	zu $\max \sigma$ gehörende Dehnung
$\max \varepsilon_K$	%	zu $\max R_K$ gehörende Dehnung
$\max \sigma_K$	N/mm ²	zu $\max R_K$ gehörende Spannung

Größe	Einheit	Benennung
W_Q	m^3	Widerstandsmoment des Linerquerschnitts
Z_g	kN	Einzugskraft infolge von Reibung des Rohrstrangs (Altrohr, Gelände)
Z_M	kN	Einzugskraft infolge von Umlenkung am Altrohr und Baugrubenrand
Z_β	kN	Einzugskraft infolge von Abwinklungen im Altrohr
α_w	–	Schweißfaktor
Δh	mm	Spiel des Liners im Altrohr
Δh_3	mm	zusätzliches Anhebemaß in der Nähe des Grubenrands
$\varepsilon_z, \varepsilon_d$	%	Dehnungen in der Linerwand (x-Richtung)
ϑ	°C	Temperatur beim Einziehen
μ_G	–	Reibungsbeiwert des Rohrstrangs im Altrohr, auf dem Gelände
μ_R	–	Beiwert für Reibungswiderstand an Umlenkrollen
φ_G, φ_{AR}	°	Neigung des Geländes, Neigung des Altrohrs
σ_z, σ_d	N/mm ²	Zug-/Druckspannungen in der Linerwandung (x-Richtung)
Verfüllen des Ringraums		
E_D	N/mm ²	E-Modul des Verfüllmaterials
F_D	kN/m	resultierende Belastung aus Verfüllmaterialgewicht
F_g	kN/m	resultierende Belastung aus Rohreigengewicht
F_W	kN/m	resultierende Belastung aus Wasserfüllung
g_L	kN/m ²	Eigenlast der Linerwand
h_D	m	Höhe des flüssigen Verfüllmaterials über Linersohle
M_g, M_D, M_W	kNm/m	Biegemomente aus Eigenlast, Verfüllmaterial, Wasserfüllung
m_g, m_D, m_W	–	Biegemomentenbeiwerte für Eigenlast, Verfüllmaterial, Wasserfüllung

Größe	Einheit	Benennung
N_g, N_D, N_o, N_W	kN/m	Normalkraft aus Eigenlast, Verfüllmaterial, Überdruck, Wasserfüllung
n_g, n_D, n_o, n_W	–	Normalkraftbeiwerte für Eigenlast, Verfüllmaterial, Überdruck, Wasserfüllung
t_A	h	Abbindezeit des Verfüllmaterials
α_A	°	Winkel zwischen Abstandhaltern beim Verfüllen
α_B	°	Bettungswinkel des Liners im Altrohr beim Verfüllen
Δd_v	mm	Durchmesseränderung
δ_v	%	relative vertikale Durchmesseränderung
γ_D	kN/m ³	Wichte des Verfüllmaterials
γ_L	kN/m ³	Wichte des Liners
γ_W	kN/m ³	Wichte der Wasserfüllung
Betriebszustand		
A	mm ² /mm	Querschnittsfläche der Linerwand
A_{1E}	–	Zeit-Abminderungsfaktor für E-Modul
$A_{1\sigma}$	–	Zeit-Abminderungsfaktor für Festigkeit
A_{Steg}	mm ² /mm	Stegfläche bei profilierter Linerwand
B	mm	Querschnittsbreite
BFZ		Betriebsflugzeug
b_D	mm	Druckzonenbreite im Altrohrkämpfer
DN	–	Nennweite des Altrohrs
d_i/d_a	mm	Innen-/Außendurchmesser des Altrohrs
d_m	mm	mittlerer Durchmesser des Altrohrs
dyn M_{pT}	kNm/m	dynamisches Biegemoment aus Verkehr (Ermüdungsnachweis)
dyn N_{pT}	kN/m	dynamische Normalkraft aus Verkehr (Ermüdungsnachweis)
dyn p_T	kN/m ²	dynamische vertikale Bodenspannung aus Verkehr (Ermüdungsnachweis)

Größe	Einheit	Benennung
dyn $p_{T,h}$	kN/m ²	dynamische horizontale Bodenspannung aus Verkehrslasten (Ermüdungsnachweis)
dyn σ_{pT}	N/mm ²	dynamische Rohrspannung aus Verkehrslasten (Ermüdungsnachweis)
E_2	N/mm ²	Verformungsmodul des Bodens der Leitungszone
E_2'	N/mm ²	Verformungsmodul des Bodens der Leitungszone und des Altrohrs
E_{AR}	N/mm ²	Ersatz-Verformungsmodul des kiesförmigen Altrohrs
E_L	N/mm ²	E-Modul des Liners
$E_{L,ST}$	N/mm ²	Kurzzeit-E-Modul des Liners (<i>Short-Term</i>)
$E_{L,LT}$	N/mm ²	Langzeit-E-Modul des Liners (<i>Long-Term</i>)
e_G	mm	Exzentrizität der angenommenen Altrohrgelenke
$(EI)_L$	Nmm ²	Biegesteifigkeit des Liners
F_1	kN	Radlast des Tandemsystems (Lastmodell 1)
g_L	kN/m ²	Eigenlast der Linerwand
krit g_L	kN/m ²	kritische Eigenlast des Liners
krit p_3	kN/m ²	kritischer Kontaktdruck bei Erwärmung des Liners
krit q_v	kN/m ²	kritische vertikale Gesamtlast
H	mm	Querschnittshöhe
h	m	Überdeckungshöhe über Rohrscheitel
max $h_{w,so}$	m	Höhe des Wasserspiegels über der Sohle des Liners
h_w	m	Höhe des Wasserspiegels über dem Scheitel des Altrohrs
I	mm ⁴ /mm	Flächenmoment 2. Grads der Linerwand
I_x	mm ⁴	Flächenmoment 2. Grads des Kreisringquerschnitts (Liner)
k^*	–	Parameter beim Beulnachweis für <i>profilierte</i> Rohre (statt r_L/t_L zu verwenden)
K_2	–	Erddruckverhältnis in der Bodenzone 2 (Leitungszone)

Größe	Einheit	Benennung
K_2'	–	rechnerisches Erddruckverhältnis in der Bodenzone 2 (Altrohrzustand III)
K_p	–	Beiwert für den passiven Erddruck
k_{sr}	N/mm ³	Bettungsmodul
l_m	m	mitwirkende Länge zur Berechnung von p_T
LM 1	–	Lastmodell 1 nach DIN EN 1991-2
L_R	m	Länge des Altrohrs
M_{pa}, M_q	kNm/m	Biegemoment aus äußerem Wasserdruck, vertikaler Gesamtlast
M_v	kNm/m	Biegemoment aus horizontaler Verschiebung von Querschnittsteilen
m_{pa}, m_q, m_{pT}	–	Biegemomentenbeiwerte für äußeren Wasserdruck, vertikale Gesamtlast, Verkehrslast
N_{pa}, N_q	kN/m	Normalkraft aus äußerem Wasserdruck, vertikaler Gesamtlast
n_{pa}, n_q, n_{pT}	–	Normalkraftbeiwerte für äußeren Wasserdruck, vertikale Gesamtlast, Verkehrslast
n_q	–	Grad der Ertüchtigung des Gesamtsystems durch den Liner
p_0	kN/m ²	Oberflächenlast
p	kN/m ²	vertikale Bodenspannungen aus Verkehrslasten, ohne Stoßbeiwert (Altrohrzustand III + IIIa)
p_a	kN/m ²	äußerer Wasserdruck
p_E	kN/m ²	Bodenspannungen infolge Erdlast und Flächenlast (Altrohrzustand III + IIIa)
$p_{E,A}$	kN/m ²	Bodenspannungen infolge von Erdlast und Flächenlast bei Auftrieb
p_K	kN/m ²	konzentrierte Flächenlast, auf den Rohrscheitel bezogen
p_T	kN/m ²	vertikale Bodenspannungen aus Verkehrslasten, mit Stoßbeiwert (Altrohrzustand III + IIIa)
$p_{T,K}$	kN/m ²	vertikale Bodenspannungen am Rohrkämpfer aus Verkehrslasten
p_{Th}	kN/m ²	horizontale Bodenspannungen am Rohrkämpfer aus Verkehrslasten

Größe	Einheit	Benennung
p_{ϑ}	kN/m ²	Kontaktdruck zwischen Liner und Altrohr infolge von Erwärmung des Liners
krit p_{ϑ}	kN/m ²	kritischer Kontaktdruck bei Erwärmung des Liners
q_h	kN/m ²	horizontale Bodenspannung am Rohr (Altrohrzustand III + IIIa)
q_h^*	kN/m ²	horizontaler Bettungsreaktionsdruck (Altrohrzustand III + IIIa)
$q_{h,A}$	kN/m ²	horizontale Bodenspannungen am Rohrkämpfer bei Auftrieb
q_v	kN/m ²	vertikale Bodenspannung am Rohr (Altrohrzustand III + IIIa)
$q_{v,A}$	kN/m ²	vertikale Bodenspannung am Rohr bei Auftrieb
krit q_v	kN/m ²	kritische vertikale Gesamtlast
r_E	mm	Radius des Ersatzkreises beim normalen Eiquerschnitt
r_K	mm	Radius des flachen Bereichs beim normalen Eiquerschnitt
r_L	mm	mittlerer Radius des Liners
$r_{L,a}$	mm	Außenradius des Liners
$r_{L,E}$	mm	Ersatzradius des Liners beim Eiprofil
r_m	mm	mittlerer Radius des Altrohrs
r_s	mm	Radius des Scheitels beim normalen Eiquerschnitt
S_0	N/mm ²	Steifigkeit des biegeweichen Altrohrs
S_{Bh}	N/mm ²	horizontale Bettungssteifigkeit des Bodens
S_L	N/mm ²	Rohrsteifigkeit des Liners
TS	–	Doppelachse nach DIN EN 1991-2 („Tandemsystem“)
t	mm	Wanddicke des Altrohrs
t_M	mm	Dicke des Verfüllmaterials
t_L	mm	Wanddicke des Liners (entspricht e_m nach DIN EN ISO 178, siehe 4.3)
t_{Steg}	mm	Stegdicke bei profilierten Linern
V_{pa}	kN/m	Querkraft aus äußerem Wasserdruck

Größe	Einheit	Benennung
V_q	kN/m	Querkraft aus vertikaler Gesamtlast
V_{RB}	–	Systemsteifigkeit
V_v	kN/m	Querkraft aus horizontaler Verschiebung von Querschnittsteilen
v	mm	horizontale Verschiebung von Querschnittsteilen
W	mm ³ /mm	Widerstandsmoment der glattwandigen Linerwand
W_i, W_a	mm ³ /mm	Widerstandsmoment der profilierten Linerwand
$w_{GR,v}$	mm	Gelenkringvorverformung (Ovalisierung) des Altrohrs (Altrohrzustand II und III)
w_s	mm	Spaltweite zwischen Liner und Altrohr (Ringspalt)
w_v	mm	Tiefe der örtlichen Vorverformung
α_D	–	Durchschlagbeiwert für Wasseraußendruck
α_{ki}, α_{ka}	–	Korrekturfaktor für die Krümmung der Linerwand (innen, außen)
α_{qv}	–	Durchschlagbeiwert für Erd- und Verkehrslasten
α_T	–	Abminderungsfaktor für den Ermüdungsnachweis
α_t	1/K	Temperaturdehnzahl
γ_B	kN/m ³	Wichte des Bodens
γ_B'	kN/m ³	Wichte des Bodens unter Wasser
γ_F	–	Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen (Lasten)
γ_L	kN/m ³	Wichte des Liners
γ_M	–	Teilsicherheitsbeiwerte der Widerstände (Werkstoff)
γ_w	kN/m ³	Wichte des (Grund-)Wassers
Δw_s	mm	durch Gelenkringaufweitung verursachte Spaltweite zwischen Liner und Altrohr (nur Altrohrzustand III)
$\Delta \vartheta$	K	Temperaturänderung
δ_0	%	auf d_i bezogene Anfangsverformung (z. B. infolge von Bodenauflockerung)

Größe	Einheit	Benennung
δ_v	%	auf d_i bezogene vertikale Durchmesseränderung
$\delta_{v,el}$	%	auf d_i bezogene elastische vertikale Durchmesseränderung
ε_R	%	Randfasergrenzdehnung, Rechenwert
$\kappa_{GR,v}$	–	Abminderungsfaktor für Gelenkringvorverformung $w_{GR,v}$ (Ovalisierung)
κ_s	–	Abminderungsfaktor für Spaltweite w_s
κ_v	–	Abminderungsfaktor für örtliche Vorverformung w_v
$\kappa_{v,s}$	–	gemeinsamer Abminderungsfaktor für Vorverformungen w_v (örtlich) und $w_{GR,v}$ (Ovalisierung) sowie Spaltweite w_s
λ_B	–	Konzentrationsfaktor der Bodenspannungen neben dem Rohr
λ_R	–	Konzentrationsfaktor der Bodenspannungen über dem Rohr
μ	–	Querkontraktionszahl
σ_a	N/mm ²	Spannung auf der Außenseite des Liners
σ_{bz}	N/mm ²	Biegezugfestigkeit des Liners, Rechenwert (entspricht σ_{ib} nach DIN EN ISO 178)
$\sigma_{bz,ST}$	N/mm ²	Kurzzeit-Biegezugfestigkeit des Liners (<i>Short-Term</i>)
$\sigma_{bz,LT}$	N/mm ²	Langzeit-Biegezugfestigkeit des Liners (<i>Long-Term</i>)
σ_D	N/mm ²	Druckfestigkeit des Liners
$\sigma_{D,AR}$	N/mm ²	Druckfestigkeit des Altrohrs
$\sigma_{D,ST}$	N/mm ²	Kurzzeit-Druckfestigkeit des Liners (<i>Short-Term</i>)
$\sigma_{D,LT}$	N/mm ²	Langzeit-Druckfestigkeit des Liners (<i>Long-Term</i>)
σ_i	N/mm ²	Spannung auf der Innenseite des Liners
σ_x	N/mm ²	Spannungen in Längsrichtung des Liners
τ_u	N/mm ²	Schubfestigkeit des Liners

Größe	Einheit	Benennung
φ, Φ_1, Φ_2	–	Stoßbeiwert
φ_v	°	Lage der örtlichen Vorverformung
$2\varphi_1$	°	Breite der örtlichen Vorverformung
ω_M	%	auf den Linerradius bezogenes Schrumpfmaß des Verfüllmaterials
$\omega_v, \omega_{GR,v}, \omega_s$	%	auf den Linerradius bezogene Vorverformungen $w_v, w_{GR,v}$ und w_s

Indizes	Erläuterung
A	Erdlastanteil unter Auftrieb
a	außen
AR	Altrohr
d	Bemessungswert („Designwert“)
E	aus Erdlasten
F	Einwirkungen („Forces“)
G	aus ständigen Lasten
h	horizontal
i	innen
k	charakteristischer Wert
L	Liner
LT	Langzeit („Long-Term“)
K	Kämpfer
M	Widerstände („Material“); Verfüllmaterial
pa	aus äußerem Wasserdruck
Q	aus veränderlichen Lasten
q	aus Erd- und Verkehrslasten
ST	Kurzzeit („Short-Term“)
T	aus Verkehrslasten („Traffic“)
v	vertikal
w	Schweißnaht („weld“)
x	Längsrichtung des Rohrs/Liners

4 Technische Angaben

4.1 Zustand der Altleitung, allgemein

Der Altrohrzustand muss vom Planer oder Betreiber basierend auf der Zustandserfassung und -bewertung festgelegt werden. In Abhängigkeit vom Altrohrzustand sind u. a. folgende Informationen zur Altleitung erforderlich:

- Rohrwerkstoff und -wanddicken (z. B. Bohrkerne),
- Bodenverhältnisse (z. B. Bodenart, Überdeckung, max/min Grundwasser, Rammsondierung, Verformungsmodul),
- Schadensbild, siehe Merkblatt DWA-M 149-2, insbesondere Verformungen.

Folgende Informationen zur Altleitung sollten vorhanden sein:

- statische Berechnung,
- Rohraufleger,
- Rohrverbindungen und Dichtung (Lageabweichungen usw.).

Mindestangaben für die statische Berechnung enthält Anhang G. Der Tragwerksplaner (Aufsteller der Statik) muss die statischen Angaben des Planers oder Betreibers im Anhang G auf Plausibilität überprüfen.

Bei gemauerten Kanälen sind zusätzliche Informationen erforderlich:

- Wanddicken (gegebenenfalls veränderlich über den Umfang),
- Mörtel- und Steinfestigkeiten (auch über die Wanddicke verteilt),
- Sohlausbildung (Formstein oder Ähnliches),
- Zustand der Fugen.

4.2 Zustand der Altleitung aus statischer Sicht

4.2.1 Unsanierete Altleitung

Altrohrzustand I:

Altrohr mit ausreichender Biegezugfestigkeit, d. h. im Boden allein tragfähig, bei biegeweichen Rohren mit ausreichender Steifigkeit, Undichtheiten in Rohrverbindung, Wandung; keine Risse, ausgenommen Haarrisse.

Altrohrzustand II:

Altrohr-Bodensystem allein tragfähig (z. B. Längsrisse mit geringer Rohrverformung $\delta_v < 6\%$) bei überprüfter funktionsfähiger seitlicher Bettung. Bestätigt z. B. durch Langzeitbeobachtung und/oder Rammsondierung), siehe auch Tabelle 11.

Altrohrzustand III:

Rohr-Bodensystem langfristig allein nicht mehr tragfähig (z. B. Längsrisse mit deutlichen Rohrverformungen $\delta_v \geq 6\%$); gegenüber Altrohrzustand II wird der Liner auch durch Erd- und Verkehrslasten beansprucht, siehe auch Tabelle 11.

Weitere Erläuterungen zu den Altrohrzuständen siehe Bilder 1 bis 3, Tabelle 1 und Anhang C.2.

Sonderfälle, für die gegebenenfalls besondere statische Überlegungen anzustellen sind:

- **breite Ringrisse oder breite Muffenspalte:** bei einer Breite $> d_i/10$ oder $> 10 \cdot t_L$ ist eine Berechnung nach der Schalentheorie durchzuführen;
- **fehlende Rohrabschnitte:** z. B. bei fehlenden Rohrteilen mit einer Kantenlänge $> d_i/2$ oder bei der Überbrückung von auseinander gezogenen Muffen mit maximaler Spaltweite $> d_i/2$ ist eine Berechnung nach der Schalentheorie durchzuführen;
- **Muffenversatz quer und längs¹⁾:** Versätze sind ggf. durch Fräsen anzugleichen;
- **Scherbenbildung und Löcher in der Rohrwand:** hierfür ist gegebenenfalls eine örtliche Stabilisierung (z. B. Kurzliner, Manschette) erforderlich, ehe ein Liner installiert wird;
- schadhafte Zuläufe und Schachtanschlüsse.

1) Nach derzeitigem Kenntnisstand haben Muffenversätze keinen traglastmindernden Einfluss, sofern sie nicht durch Rohrbruch verursacht sind, siehe ALBERDING (1997).

4.2.2 Sanierte Altleitung

Altrohrzustand III:

Altrohr-Bodensystem nicht mehr allein tragfähig; Annahme einer Rissbildung für einen Zeitpunkt nach der Sanierung (z. B. nachträgliche Baumaßnahmen in der Nähe des Kanals).

Liegt bei der Sanierung der Altrohrzustand I vor, muss jedoch mit einer Rissbildung nach der Sanierung gerechnet werden, z. B. durch zukünftige Lasterhöhung, so ist ein Konzentrationsfaktor $\lambda_r > 1$ möglich, siehe 7.4.3.3.1. Bei kleinen Verformungen und standsicherem Altrohr-Bodensystem, jedoch höherem Verkehrslasteinfluss ist der Liner nach Altrohrzustand III zu dimensionieren, siehe 7.4.3.4 und Tabelle 11.

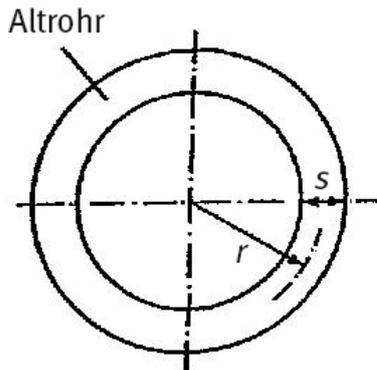


Bild 1: Altrohrzustand I

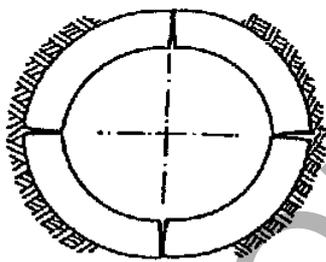
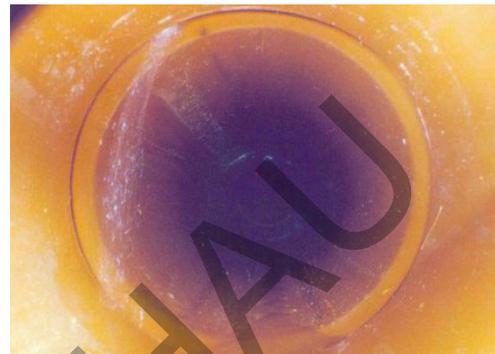


Bild 2: Altrohrzustand II

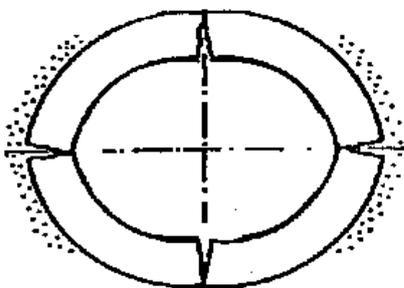
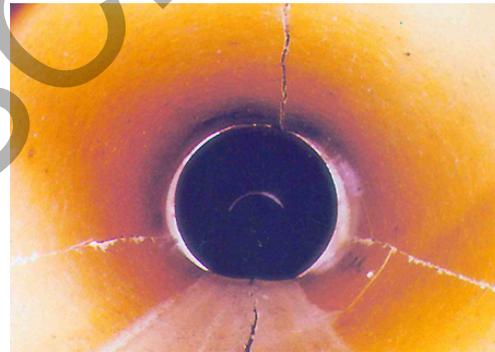


Bild 3: Altrohrzustand III



Tabelle 1: Definition der Altrohrzustände I bis IIIa

Altrohr	Altrohrzustand			
	I	II	III	IIIa (informativ in Anhang K)
Ausreichende ¹⁾ Biegezugfestigkeit $\sigma_{bZ,AR}$	+	-	-	-
Altrohr-Bodensystem in Ruhe und starr	+	+	-	-
Ausreichende ¹⁾ Druckfestigkeit $\sigma_{D,AR}$	+	+	+	-
ANMERKUNG ¹⁾ Ausreichend im Sinne von Tabelle 18 und 19, Nachweis mit Teilsicherheitsbeiwerten.				

Tabelle 2: Auftretende Lastfälle

Altrohrzustand	I	II	III
Zeitpunkt der Bildung von Längsrissen	-	Vor der Sanierung	Vor der Sanierung
Lastfall			
Eigenlasten Liner	x	x	x
Temperaturänderungen	x	x	x
Äußerer Wasserdruck p_a	x	x	x
Innendruck p_i	x	x	x
Erdlasten p_E	-	-	x
Konzentrationsfaktor λ_R	-	-	< 1 ¹⁾
Verkehrslasten p_T	-	-	x
ANMERKUNG ¹⁾ Siehe 7.4.3.3.1.			

4.3 Zustand der Schächte aus statischer Sicht

Bei Schächten gilt sinngemäß das unter 4.2.1 für Altrohrzustand I und gegebenenfalls II Gesagte.

4.4 Werkstoffkennwerte

4.4.1 Linerwerkstoffe

Die Werkstoffkennwerte nach Tabelle 3 sind gegebenenfalls für bauverfahrenstechnisch bedingte Einflüsse abzumindern. Die Größe der Abminderung ist im Einzelfall

durch anerkannte oder akkreditierte Prüfstellen nachzuweisen.

Solche Abminderungen der Werkstoffeigenschaften können z. B. bei

- großen Dehnungen während des Einbaus,
 - Nähten in Gewebesschläuchen,
 - Liner mit Noppen,
 - Kerbwirkungen (Kerbspannungen)
- auftreten.

Ist der Wert der Schubfestigkeit von GFK-Linern nicht durch Prüfzeugnisse nachgewiesen, so ist maximal

$\tau_{u,d} = 8/\gamma_M = 5,9 \text{ N/mm}^2$ anzunehmen, siehe BÜV-Empfehlung. Bei glattwandigen Kreis- und Eiprofilen aus GFK kann der Nachweis der Schubfestigkeit entfallen, siehe 7.5.4.1.

Bei günstigem Ansatz der Querkontraktionszahl μ ist diese durch ein Prüfzeugnis zu belegen.

Aktualisierungen der Werkstoffe und der Werkstoffkennwerte für im Werk hergestellte Rohre werden im vorgesehenen Arbeitsblatt DWA-A 127-10 veröffentlicht.

Die Materialeigenschaften von modifizierten Werkstoffen, wie z. B. Wickelrohrverfahren, sind gesondert nachzuweisen.

Für den Ermüdungsnachweis nach 7.6.5 sind die zulässigen Schwingbreiten der Linerwerkstoffe anzugeben.

Werkstoffe, bei denen E-Modul und Festigkeit mit der Zeit zunehmen (z. B. Mörtel), müssen bis zum Auftreten der Belastung, wie z. B. Wasserdruck, ausreichend hohe Kennwerte aufweisen.

Tabelle 3: Werkstoffkennwerte von Linern, charakteristische Werte

Material	Rechenwerte des Elastizitätsmoduls ^{1) 4)}		Wichte	Biegezug-/Druckfestigkeit, Rechenwert ^{2) 4)}	
	E_L			γ_L	σ_{bz}/σ_D
	Kurzzeit	Langzeit	Kurzzeit		Langzeit
	N/mm ²	N/mm ²	kN/m ³	N/mm ²	N/mm ²
Im Werk hergestellte Rohre: (Mindestwerte nach Arbeitsblatt DWA-A 161, Anhang A)					
Polyvinylchlorid (PVC-U)	3.000 ³⁾	1.500 ^{3) 5)}	14 ⁶⁾	90 ^{4) 7) 8)}	50 ^{4) 8)}
Polypropylen (PP) ⁹⁾ PP-B und PP-H ¹⁰⁾ PP-R11)	1.250 ³⁾	312 ^{4) 12)}	9 ¹³⁾	39 ^{4) 7) 8)}	17 ^{4) 7) 8)}

Mit Erscheinen des Arbeitsblatts DWA-A 127-10 (09/2020) „Statische Berechnung von Entwässerungsanlagen – Teil 10: Werkstoffkennwerte“ ist die Tabelle 3 „Werkstoffkennwerte von Linern, charakteristische Werte“ im Unterabschnitt 4.4.1 „Linerwerkstoffe“ des Arbeitsblatts DWA-A 143-2 (07/2015) „Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit Lining- und Montageverfahren“ nicht mehr gültig.

Die Werkstoffkennwerte werden mit Erscheinen des Arbeitsblatts DWA-A 127-10:2020-09 „Statische Berechnung von Entwässerungsanlagen – Teil 10: Werkstoffkennwerte“ in einem eigenständigen Arbeitsblatt geregelt.

synthesefaserverstärkt (UP-SF)	2.000	1.000		28	14
Vinylesterharz, synthesefaserverstärkt (VE-SF)	2.000 ¹⁹⁾	1.000 ^{17) 19)}	20)	28 ^{18) 19)}	14 ^{18) 19)}
Epoxidharz, synthesefaserverstärkt (EP-SF)	2.000 ¹⁹⁾	1.000 ^{17) 19)}	20)	28 ^{18) 19)}	14 ^{18) 19)}
Sonstige					
Stahl (nichtrostend)	170.000		78,5	22)	

Tabelle 3 (Ende)

ANMERKUNGEN
1) Die Zahlenangaben sind Rechenwerte, die aus Verformungsmessungen an Linern ermittelt sind.
2) Insbesondere bei dünnwandigen Linern kann auch die Druckspannung maßgebend sein.
3) Geprüft nach DIN 54852 (4-Punkt-Zeitstandbiegeversuch) (s. a. auch DIN EN ISO 899-2), Prüfanzordnung nach DIN 53457 (s. a. DIN EN ISO 178, DIN EN ISO 527-1/-2, DIN EN ISO 604); Probekörperherstellung nach DIN 16776-2 (s. a. DIN EN ISO 1872-2).
4) Höhere Rechenwerte können zur Berechnung herangezogen werden, wenn diese für den eingesetzten Werkstoff nachgewiesen sind. Liegen ungünstigere Werkstoffkennwerte vor, so müssen diese verwendet werden.
5) Ermittelt aus dem Kurzzeitwert und dem Kriechverhältnis (2,0) nach DIN EN 1401-1 und DIN EN ISO 9967 mit Kennwerten für 2 Jahre zur Beschreibung des Langzeitverhaltens. Die abgedruckten Mindestwerte sind auch für den Langzeitnachweis für 50 Jahre zulässig.
6) Nach DIN EN 1401-1.
7) Für Kunststoffe wird die Biegezugfestigkeit als Biegefestigkeit bezeichnet und angegeben.
8) Kleinstwerte (untere 95%-Fraktile) entsprechend <i>Round Robin Test</i> der Rohstoffhersteller sowie in Anlehnung an Prüfbericht Nr. 36893/98-II des SKZ Süddeutsches Kunststoffzentrum Würzburg.
9) PP-B = Block-Copolymer; PP-H = Homopolymer; PP-R = Random-Copolymer.
10) DIN EN 1852-1.
11) DIN EN 1852 und DVS 2205-1, Beiblatt 3.
12) Ermittelt aus dem Kurzzeitwert und dem Kriechverhältnis (4,0) nach DIN EN 1852-1 und DIN EN ISO 9967 mit Kennwerten für 2 Jahre zur Beschreibung des Langzeitverhaltens. Die abgedruckten Mindestwerte sind auch für den Langzeitnachweis für 50 Jahre zulässig.
13) Nach DIN EN 1852-1.
14) PE-HD als PE 63, PE 80 oder PE 100 entsprechend DIN EN ISO 12162.
15) Ermittelt aus dem Kurzzeitwert und dem Kriechverhältnis (5,0) nach DIN EN 12666-1 und DIN EN ISO 9967 mit Kennwerten für 2 Jahre zur Beschreibung des Langzeitverhaltens. Die abgedruckten Mindestwerte sind auch für den Langzeitnachweis für 50 Jahre zulässig.
16) Nach DIN EN 12666-1.
17) Ermittelt aus dem Kurzzeitwert und dem Kriechverhältnis nach DIN EN 761 mit Kennwerten für 10.000 Stunden zur Beschreibung des Langzeitverhaltens. Die Prüfungen erfolgen nach DIN EN 1228.
18) Bis zum Vorliegen von Abminderungsfaktoren $A_{T\sigma}$ für die Biegezugfestigkeit Ermittlung aus dem Kurzzeitwert und dem Kriechverhältnis nach DIN EN 761 mit Kennwerten für 10.000 Stunden zur Beschreibung des Langzeitverhaltens. Die Prüfungen erfolgen nach DIN EN ISO 178.
19) Gemäß DIN EN ISO 11296-4 bzw. in Anlehnung an DIN EN 14364.
20) Ermittelt gemäß DIN EN ISO 1183-1.
21) DIN EN 588; die Ringbiegezugfestigkeiten werden aus den Mindestwerten der Scheiteldruckkräfte (95%-Fraktile; AQL 4 %) berechnet.
22) Mithilfe der Streckgrenze erfolgt eine Zuordnung zu S235/S 355, Näheres siehe Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6 „Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen“.
23) Es handelt sich lediglich um Orientierungswerte für Vordimensionierungen. Günstigere Werte sind vor Verwendung nachzuweisen.

4.4.2 Werkstoffe zum Verfüllen des Ringraums

Bei Verwendung von Verfüllmaterialien im Ringraum müssen die folgenden Kennwerte bekannt sein:

- Quellmaß/Schwindmaß,
- E-Modul,
- Wichte (insbesondere im flüssigen Zustand),
- Festigkeiten und ihre zeitabhängige Entwicklung,
- bei Ansatz von Verbundwirkung: Scherfestigkeit.

Die Werkstoffkennwerte sind gegebenenfalls für bauverfahrenstechnisch bedingte Einflüsse abzumindern. Die Größe der Abminderung ist im Einzelfall nachzuweisen

(z. B. Entmischung, ungleichmäßige Aushärtung, Luft-einschlüsse).

Bei nur Kontaktdruck übertragenden Verfüllmaterialien ist eine dauerhafte Abstützung des Liners zu gewährleisten.

4.5 Bodenkennwerte

Die Bodenkennwerte in der Leitungszone des Altkanals sollten z. B. durch Ramm(kern)sondierungen ermittelt und nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127:2000-08, Tabelle 1 eingruppiert werden. Wird in der Leitungszone ein konsolidierter bindiger Boden (G3 oder G4) festgestellt, so darf der Erddruckbeiwert (K_2) nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127, Tabelle 9, Spalte 3 um 0,1 erhöht werden.

Im Zweifelsfall, ob Altrohrzustand II oder III vorliegt, sowie für Nachweise nach Altrohrzustand III müssen die Bodenkennwerte durch eine geotechnische Untersuchung belegt werden.

5 Bauausführung

5.1 Vorarbeiten

Vor der Ausschreibung der Sanierungsmaßnahme ist eine statische Berechnung der Bau- und Betriebszustände nach den Abschnitten 6 und 7 durchzuführen, in der die örtlichen Bedingungen berücksichtigt werden.

Die Leitung ist trockenulegen und zu reinigen. Ablagerungen und Hindernisse (z. B. einragende Anschlüsse) sind zu beseitigen. Größere Störungen der Rohrgeometrie (z. B. Sohlauswaschungen, Übergänge, auseinander gezogene Rohrverbindungen, Löcher, einragende/fehlende Scherben, Versätze) sind mit geeigneten Verfahren und Materialien (siehe DIN EN 752) zu beseitigen.

Es muss vermieden werden, dass vor dem endgültigen Aushärten des Liners zwischen Altrohr und Liner Wassereinsparungen entstehen. Hierzu sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, z. B. Abdichtung gegen Fremdwasserzufluss.

Die Rohrdurchmesser und Verformungen der Altleitung sind mit angemessener Genauigkeit zu ermitteln. Die Genauigkeit der Kalibermessungen ist auf das verwendete Sanierungsverfahren und die Annahmen in der statischen Berechnung abzustimmen, z. B. bei der Sanierung von Kanälen mit Rohrversätzen, Deformationen oder größeren Toleranzen des Rohrdurchmessers, wenn Liner mit geringer Dehnfähigkeit verwendet werden.

Werden bei den Vorarbeiten Änderungen der statischen Voraussetzungen erkannt, so ist eine erneute statische Berechnung anzufertigen.

5.2 Einbauverfahren

5.2.1 Allgemeines

Unterschieden werden Einzieh-, Einschub- und Einkrempelverfahren (Inversionsverfahren).

Für den Einbau sind Maßnahmen zur Verminderung der Reibung (ausreichender Ringraum, Gleitmittel) und zur Vermeidung von Beschädigungen der Lineroberfläche vorzusehen. Auf die Einhaltung von maximalen Krümmungsradien ist zu achten, siehe $\max R_k$ in Tabelle 4.

Die statischen Ansätze gelten für alle in den Abschnitten 5.2.2 und 5.2.3 genannten Verfahren.

5.2.2 Verfahren mit Ringraumverfüllung

Zurzeit werden folgende Verfahren mit Ringraumverfüllung angewendet:

- Einzelrohrverfahren (Einzelrohr-Lining),
- Rohrstrangverfahren ohne Rückverformung (Rohrstrang-Lining),
- Wickelrohrverfahren,
- Verfahren mit fest verankerter Kunststoffauskleidung (z. B. Noppenbahnverfahren, Wickelrohrverfahren),
- Montageverfahren (Rohrsegment-Lining).

Bei der erforderlichen Ringraumverfüllung ist u. a. Folgendes zu beachten:

- Ausführung mit/ohne Abstandhalter,
- Überprüfung der erreichten Verfüllung (z. B. durch Volumenvergleich),
- gegebenenfalls Planung einer abschnittswisen Verfüllung,
- Überprüfung der erreichten Festigkeiten,
- Vermeidung von Entmischungen,
- Begrenzung des Verpressdrucks in Abhängigkeit von der Rohrsteifigkeit des Liners (siehe 6.2).

5.2.3 Verfahren ohne Ringraumverfüllung

Zurzeit werden folgende Verfahren ohne Ringraumverfüllung angewendet:

- Schlauchverfahren,
- Rohrstrangverfahren mit Rückverformung (Rohrstrang-Lining),
- Wickelrohrverfahren.

Der Spalt zwischen Altrohr und Liner ist klein zu halten (rechnerische Mindestwerte siehe 7.3.2 bis 7.3.4).

5.2.4 Montageverfahren (Rohrsegment-Lining)

Zurzeit werden folgende Verfahren angewendet:

- Vollauskleidungen mit Montagefugen,

- Teilauskleidungen (Sohle, Gasraum),
- Schachtauskleidungen.

Die Montageverfahren können mit und ohne Ringraumverfüllung ausgeführt werden.

Bei Rohrsegmenten ohne Ringraumverfüllung und verdübelten Teil- und Schachtauskleidungen ist der verbleibende Spalt unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit eventueller Befestigungen auf der sicheren Seite abzuschätzen.

6 Nachweise für Bauzustände

6.1 Einziehen des Rohrstrangs

6.1.1 Werkstoffkennwerte, Beulgrenzwerte

Hinweis: Im Folgenden werden die Nachweisgleichungen für das Rohrstrang-Lining mit PE-Rohren angegeben. Bei anderen Werkstoffen ist sinngemäß zu verfahren.

Beim Einziehen eines Rohrstrangs aus PE ohne Beulgefahr der Rohrwand gilt nach Tabelle 3 die Grenzspannung $\sigma_{bz} = 21 \text{ N/mm}^2$ und bei Ansatz der Sicherheit für Montagezustände $\max \sigma \approx 15 \text{ N/mm}^2$. Zu dieser Spannung gehört der Kurzzeitmodul $E_{\sigma=15} = 500 \text{ N/mm}^2$ und die Dehnung $\max \varepsilon = 3 \%$ nach DVS-Richtlinie 2205-2.

Bei Beulgefahr der Rohrwand ist der Krümmungsradius des Rohrstrangs beim Einziehen auf:

$$\max R_K = 1,34 \cdot \frac{(d_{L,a} - t_L)^2}{t_L} \quad (1)$$

zu begrenzen (gültig bei 1,5-facher Beulsicherheit). Hierzu gehört die Dehnung:

$$\max \varepsilon_K = \frac{d_{L,a}}{2 \cdot \max R_K} \cdot 100 \% \leq 3 \% \quad (2)$$

Aufgrund der Beulgefahr ist die Spannung $\max \sigma_K$ entsprechend zu reduzieren, siehe Tabelle 4. Der zugehörige E-Modul kann näherungsweise interpoliert werden:

$$E_\sigma = E_{\sigma=3} + \frac{E_{\sigma=3} - E_{\sigma=15}}{3 - 15} \cdot (\sigma - 3) \quad (3)$$

mit

$$E_{\sigma=3} = \text{E-Modul bei } \sigma = 3 \text{ N/mm}^2$$

Die spannungsabhängigen E-Moduln für Thermoplaste sind der DVS-Richtlinie 2205-1 zu entnehmen und analog zu Gl. (3) zu interpolieren.

Zusätzlich wird die Veränderlichkeit der Spannungen und damit des E-Moduls über die Baugrubenlänge und den Rohrdurchmesser wie folgt berücksichtigt:

$$E_m = \frac{E_{\sigma=3}}{3} \cdot \frac{a^3}{a^2 / 2 - a + \ln(1 + a)} \quad (4)$$

mit

$$a = \frac{E_\sigma - E_{\sigma=3}}{E_{\sigma=3}}$$

Erfolgt der Einzug bei von 20 °C abweichenden Temperaturen, so kann die nach den folgenden Abschnitten ermittelte Baugrubenlänge wie folgt korrigiert werden:

$$l_{G,9} = l_G \cdot (1 - k_9 \cdot \Delta\vartheta) \quad (5)$$

mit $\Delta\vartheta > 0$ bei Erwärmung und k_9 nach Tabelle 4.

6.1.2 Fall 1: Zwangsführung

6.1.2.1 Schnittgrößen

Beim Einzug eines Rohrstrangs nach Bild 4 mit Zwangsführung am Altrohr (Spiel ≈ 0) und am Grubenrand (z. B. durch eine Reduziermaschine) entstehen im Liner Biegemomente und Zugkräfte.

Die **Biegemomente** folgen aus der Einzugsgeometrie zu

$$M_{1,h} = 6 \cdot E_m \cdot I_Q \cdot \frac{h_G}{l_G^2}, \quad (6)$$

$$M_{2,h} = -M_{1,h}$$

mit dem Flächenmoment 2. Grads des Rohrquerschnitts

$$I_Q = \frac{\pi}{64} \cdot (d_{L,a}^4 - d_{L,i}^4) \quad (7)$$

und aus der Eigenlast \bar{g}_L des Liners in Längsrichtung zu

$$M_{1,g} = M_{2,g} = -\frac{\bar{g}_L' \cdot l_G^2}{12} \quad (8)$$

mit

$$\bar{g}_L' = \bar{g}_L \cdot \frac{\sqrt{l_G^2 + h_G^2}}{l_G} \quad (9)$$

$$\bar{g}_L = A_Q \cdot \gamma_L \quad (10)$$

und

$$A_Q = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{L,a}^2 - d_{L,i}^2) \quad (11)$$

Tabelle 4: Grensradien, maximale Dehnungen, maximale Spannungen, spannungsabhängige E-Moduln und Temperaturbeiwerte für PE-Liner (gültig für $\vartheta = 20\text{ °C}$ und PE mit $E_{\sigma=3} = 970\text{ N/mm}^2$)

SDR = $d_{L,a}/t_L$	max $R_K/d_{L,a}$	max ε_K , max ε	max σ_K , max σ	$E_{\max\sigma K}$	k_3
–	–	%	N/mm ²	N/mm ²	–
32	40,5	1,23	9,1	737	0,022
26	32,2	1,55	10,5	679	0,027
17,6	21,1	2,37	13,4	564	0,033
11	12,2	3,00	15,0	500	0,037

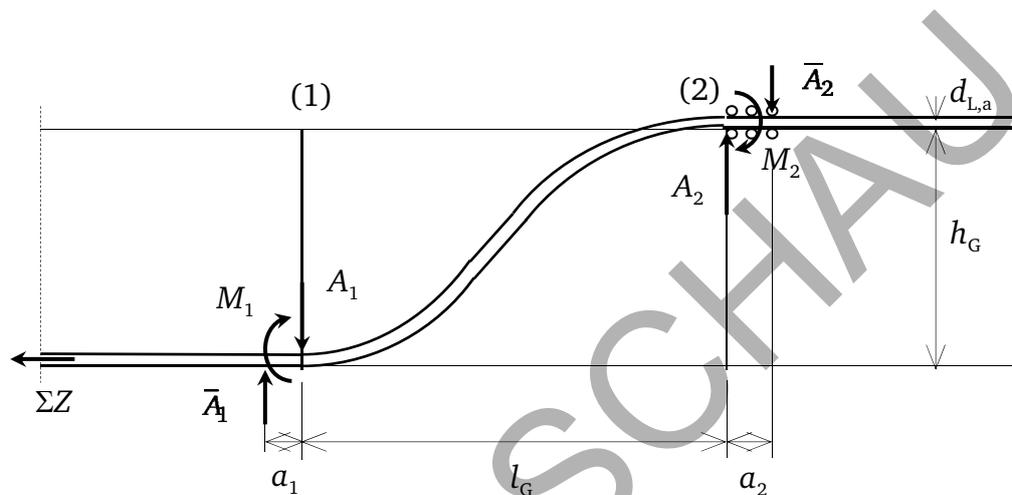


Bild 4: Einziehvorgang über Startbaugrube, Fall 1 (Zwangsführung)

Für die Ermittlung der Zugkräfte und die Dimensionierung der Befestigungsstrukturen werden die Auflagerkräfte des Liners im Bereich der Umlenkungen benötigt. Mit der Einspannlänge a_1 des Liners im Altrrohr beträgt die Auflagerkraft \bar{A}_1 :

$$\bar{A}_1 = \frac{M_{1,h}}{a_1} \quad (12)$$

Die Einspannlänge kann mit $a_1 \approx 2 \cdot d_{L,a}$ abgeschätzt werden.

Für die Auflagerkraft A_1 gilt

$$A_1 = \bar{A}_1 - \bar{g}'_L \cdot \frac{l_G}{2} + 12 \cdot E_m \cdot I_Q \cdot \frac{h_G}{l_G^3} \quad (13)$$

Bei einem Spiel $\Delta h > 0$ des Liners im Altrrohr können für A_1 auch näherungsweise die Diagramme in Anhang A.2 verwendet werden.

Mit dem inneren Hebelarm a_2 der Reduziermaschine beträgt die Auflagerkraft \bar{A}_2 :

$$\bar{A}_2 = \frac{|M_{2,h}|}{a_2} \quad (14)$$

Damit folgt die Auflagerkraft am Grubenrand:

$$A_2 = \bar{A}_2 + \bar{g}'_L \cdot \frac{l_G}{2} + 12 \cdot E_m \cdot I_Q \cdot \frac{h_G}{l_G^3} \quad (15)$$

Für die Anteile der Einzugskraft gilt nun:

- aus Reibung des Liners im Altrrohr und auf dem Gelände (Beiwert μ_G)

$$Z_g \approx \bar{g}'_L \cdot L \cdot (\mu_G \cdot \cos \varphi_G \pm \sin \varphi_G) \quad (16)$$

+ bei Einzug gegen Gefälle

– bei Einzug mit Gefälle

L Länge der Rohrstrangs

- aus Reibung an Umlenkrollen und der Reduziermaschine (rollende Reibung, Beiwert μ_R)

$$Z_M = (\bar{A}_1 + A_1 + A_2 + \bar{A}_2) \cdot \mu_R \quad (17)$$

- bei Abwinklung der Haltung mit dem eingeschlossenen Winkel β

$$Z_\beta = Z \cdot e^{\mu_G \cdot \beta} \quad (18)$$

mit

Z Zugkraft bis zur Abwinklung

und die resultierende Zugkraft

$$\Sigma Z = Z_g + Z_M + Z_\beta \quad (19)$$

6.1.2.2 Spannungen

Am Zugkopf tritt die maximale Zugkraft, jedoch kein Biegemoment auf. Mit dem Schweißfaktor α_w , dem Nettoquerschnitt $A_{Q,n}$ (nach Abzug von Schraubenlöchern) und $E_z \geq E_d$ folgt die rechnerische Spannung:

$$\sigma_z = \frac{\Sigma Z}{A_{Q,n} \cdot \alpha_w} \quad (20)$$

Am Altröhr (Stelle (1) in Bild 4) werden die Zugspannungen des Liners

$$\sigma_z = \frac{\Sigma Z}{A_Q} + \frac{M_{1,h} + M_{1,g}}{W_Q} \quad (21)$$

mit

$$W_Q = \frac{2 \cdot I_Q}{d_{L,a}} \quad (22)$$

I_Q nach Gl. (7), und

A_Q nach Gl. (11)

und die Druckspannungen ermittelt.

$$\sigma_d = -\frac{M_{1,h} + M_{1,g}}{W_Q} \quad (\text{ohne } \sigma \text{ aus } Z) \quad (23)$$

Zur Berechnung der Spannungen am **Baugrubenrand** (Stelle (2) in Bild 4) dürfen die Zugkräfte infolge von Reibung aus A_1 und \bar{A}_1 abgezogen werden. Damit gelten die Gln. (21,22,23) sinngemäß, wenn der Index 1 durch 2 ersetzt wird.

6.1.2.3 Dehnungsnachweise

Mit den Zugspannungen aus Gl. (20) und (21) folgen die Dehnungen:

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E_z} \cdot 100 \% \leq \max \varepsilon \quad (24)$$

und den Druckspannungen aus Gl. (23) die Stauchungen:

$$\varepsilon_d = \frac{\sigma_d}{E_d} \cdot 100 \% \leq \max \varepsilon_K \quad (25)$$

Für PE gilt bei Dehnungen $\max \varepsilon = 3 \%$, bei Stauchungen wegen der Beulgefahr $\max \varepsilon_K$ nach Tabelle 4.

6.1.3 Fall 2: Freie Auflagerung am Grubenrand

Der Rohrstrang wird über einen Stützbock am Baugrubenrand in das Altröhr mit Spiel eingezogen, siehe Bild 5. Zur Verringerung der Biegemomente M_2 am Baugrubenrand und zur Verkürzung der Baugrube kann eine zusätzliche Unterstützung im Abstand l_3 vorgenommen werden.

Für PE-Rohre SDR 33, 26, 21 und 17 ohne zusätzliche Unterstützung ($l_3 = 0$) und $\varphi_{AR} = \varphi_G = 0$ sind die auf $d_{L,a}$ bezogenen Mindestlängen der Baugrube und die auf \bar{g}_L bezogenen Auflagerkräfte A_1 und A_2 im Anhang A.2 tabelliert.

Damit folgt die Mindestlänge der Einziehgrube ohne weiteren Dehnungsnachweis:

$$\min l_G = \min \left(\frac{l_G}{d_{L,a}} \right) \cdot d_{L,a} \quad (26)$$

$\min l_G/d_{L,a}$ ist dem Anhang A.2 zu entnehmen.

Für die Auflagerkräfte A_1 und A_2 gilt

$$A_{1,2} = \left(\frac{A_{1,2}}{\bar{g}_L} \right) \cdot \bar{g}_L \quad (27)$$

A_1/g_L und A_2/g_L sind dem Anhang A.2 zu entnehmen.

Für die Ermittlung der Zugkräfte Z_g , Z_M und Z_β gelten die Gln. (16,17,18,19) entsprechend. In den Diagrammen für $\min l_G$ im Anhang A.2 sind die Anteile Z_g und Z_M enthalten. Die Auswirkungen von Abwinklungen und hieraus resultierenden Kräften Z_β müssen gegebenenfalls getrennt ermittelt werden.

6.2.2 Schnittgrößen und Spannungsnachweise

Nach Bild 6 sind beim Verfüllen des Ringspalts in einem Vorgang vier Lastfälle zu überlagern:

1. Eigenlast $g_L = \gamma_L \cdot t_L$ der Linerwandung in Umfangsrichtung
2. Außendruck $p_a = \gamma_D \cdot d_{L,a}$ durch flüssiges Verfüllmaterial
3. Überdruck $p_0 = \gamma_D \cdot (h_D - d_{L,a})$ durch flüssiges Verfüllmaterial bei Längsneigung der Haltung
4. Innendruck $p_i = \gamma_w \cdot d_{L,i}$ durch Wasserfüllung des Liners

Ein Absinken (Fall A) mit Lagerung in der Sohle ergibt sich bei:

$$\begin{aligned} \Sigma F &= F_g + F_w - F_D = \\ \gamma_L \cdot t_L \cdot 2r_L \cdot \pi + (\gamma_w \cdot d_{L,i}^2 - \gamma_D \cdot d_{L,a}^2) \cdot \frac{\pi}{4} &> 0 \quad (28) \end{aligned}$$

Bei $\Sigma F < 0$ erfolgt ein **Aufschwimmen** zum Scheitel (Fall B)²⁾.

Die Biegemomenten- und Normalkraftbeiwerte m und n können für Standardfälle aus Anhang B entnommen werden. Da die maximalen Beanspruchungen im Kämpfer nicht immer bei $\varphi = 90^\circ$ auftreten, sind in Anhang B auch Beiwerte für $\varphi = 75^\circ$ und 105° aufgenommen.

Es werden die folgenden Lagerungsfälle unterschieden:

- I Linienlager, bei biegesteifen Linern ($\alpha_B = 0$);
- II/90° stufenförmiger, über $2\alpha_B = 90^\circ$ verteilter Auflagerdruck (bei biegeweichen Linern);
- III/60° durch zwei Abstandhalter gegebene Linienlager im Abstand $2\alpha_A = 60^\circ$ (bei biegesteifen und biegeweichen Linern).

Mit den Beiwerten m und n werden die Schnittgrößen nach den folgenden Gleichungen ermittelt:

- Eigenlasten:

$$M_{g,d} = \gamma_F \cdot m_g \cdot \gamma_L \cdot t_L \cdot r_L^2 \quad (29)$$

$$N_{g,d} = \gamma_F \cdot n_g \cdot \gamma_L \cdot t_L \cdot r_L \quad (30)$$

- veränderlicher Außendruck (Verfüllmaterial):

$$M_{D,d} = \gamma_F \cdot m_D \cdot \gamma_D' \cdot r_L^3 \quad (31)$$

$$N_{D,d} = \gamma_F \cdot n_D \cdot \gamma_D' \cdot r_L^2 \quad (32)$$

mit

$$\gamma_D' = \gamma_D \cdot \left(\frac{d_{L,a}}{2r_L} \right)^2 \quad (33)$$

zur Berücksichtigung der Differenz zwischen dem Außendurchmesser $d_{L,a}$ und dem Durchmesser der Mittel-linie $2r_L$ des Liners.

Bei entlastender Wirkung entfällt M_D .

- Konstanter Außendruck (Verfüllmaterialüberdruck):

$$M_{0,d} = 0 \quad (34)$$

$$N_{0,d} = -\gamma_F \cdot p_0 \cdot r_{L,a} \quad (35)$$

- Wasserfüllung:

$$M_{w,d} = \gamma_F \cdot m_w \cdot \gamma_w' \cdot r_L^3 \quad (36)$$

$$N_{w,d} = \gamma_F \cdot n_w \cdot \gamma_w' \cdot r_L^2 \quad (37)$$

mit

$$\gamma_w' = \gamma_w \cdot \left(\frac{d_{L,i}}{2r_L} \right)^2 \quad (38)$$

zur Berücksichtigung der Differenz zwischen dem Innendurchmesser $d_{L,i}$ und dem Durchmesser der Mittel-linie $2r_L$ des Liners.

2) Dieser Fall ist gemäß Arbeitsblatt DWA-A 143-3:2014-05 aus betrieblichen Gründen nicht vorgesehen.

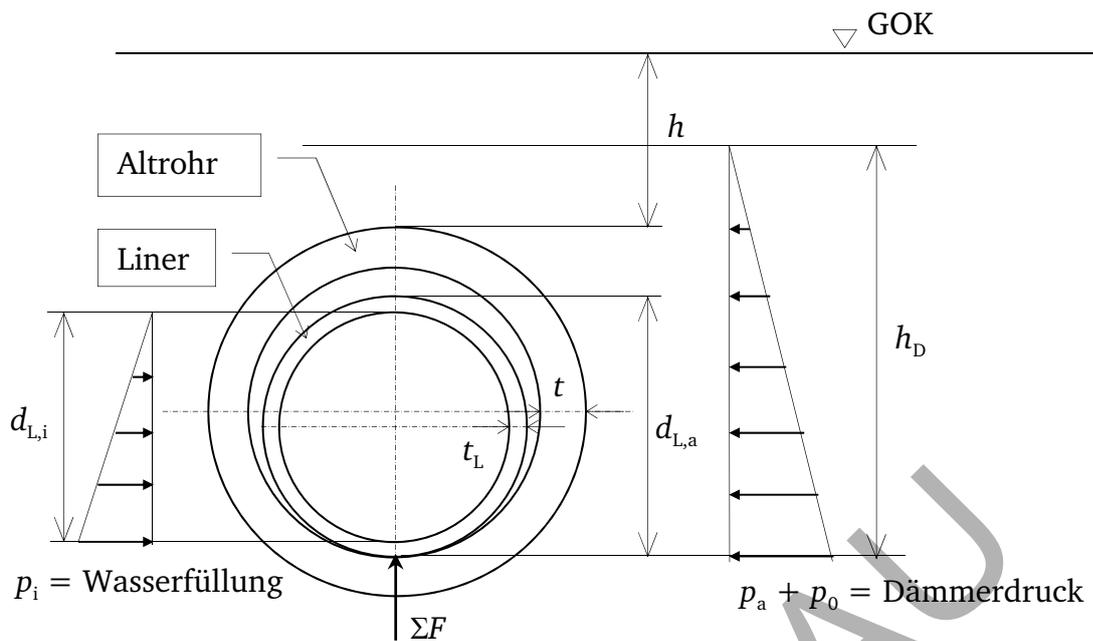


Bild 6: Belastungssituation beim Verfüllen des Ringspalts, dargestellt ist der Fall A (Absinken) und der Lagerungsfall I (Linienlager)

Bei nicht eindeutig biegeweichen Linern ist der Auflagerwinkel $2\alpha_b$ auf der sicheren Seite gleich Null anzunehmen.

Alternativ kann eine genaue Berechnung aller Zustandsgrößen z. B. mit einem Stabwerkprogramm durchgeführt werden. Für eine solche Berechnung wird der E-Modul $E(\vartheta, t_A)^3$ des Liners benötigt, der von der Abbindezeit ϑ und der Abbindezeit t_A bis zur Frühfestigkeit des Verfüllmaterials abhängt.

Nach Überlagerung der Schnittgrößen aus den Lastfällen g , D , θ und w folgen die Spannungen mit den Gln. (39,40).

$$\sigma_{i,d} = \frac{\sum N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{\sum M_d}{W_i} \quad (39)$$

$$\sigma_{a,d} = \frac{\sum N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{\sum M_d}{W_a} \quad (40)$$

mit den Korrekturfaktoren

$$\alpha_{ki} = 1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{t_L}{r_L} \quad \text{und} \quad (41)$$

$$\alpha_{ka} = 1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{t_L}{r_L} \quad (42)$$

Die Tragsicherheitsnachweise werden wie folgt geführt:

$$\frac{\max \sigma_{i,d}}{\sigma_{bZ,d}} \leq 1 \quad \text{für Zugspannungen} \quad (43)$$

$$\frac{|\min \sigma_{a,d}|}{\sigma_{D,d}} \leq 1 \quad \text{für Druckspannungen} \quad (44)$$

6.2.3 Verformungen

Die beim Verfüllen entstehenden Verformungen können näherungsweise unter Annahme einer Linienbelastung im Scheitel und der Sohle des Liners ermittelt werden:

$$\Delta d_v \cong 0,1488 \cdot \frac{\sum F \cdot r_L^3}{E(t, \vartheta) \cdot I} = 0,1488 \cdot \frac{12 \cdot \sum F}{E(t, \vartheta)} \cdot \left(\frac{r_L}{t_L} \right)^3 \quad (45)$$

$$\delta_v = \frac{\Delta d_v}{2 \cdot r_L} \cdot 100 \% \quad (46)$$

Berechnungen mit der genauen Größe des Bettungswinkels $2\alpha_b$ sind mithilfe eines Stabwerkmodells möglich.

3) Zu $E(\vartheta, t_A)$ siehe DVS-Richtlinie 2205-1.

6.2.4 Stabilitätsnachweis

Wegen des großen Ringraums zum Altrohr beim Verfüllen des Ringraums ist der Ansatz einer Umfangsbettung des Liners in der Regel nicht zulässig. Es ist die Beulgleichung des ungebetteten Rohrs unter Außendruck anzuwenden:

$$p_{a,d}^{\text{krit}} = 3,0 \cdot S_{L,d} \quad (47)$$

mit

$$S_{L,d} = \frac{1}{\gamma_M} \cdot \frac{E(\vartheta, t_A) \cdot I}{r_L^3}$$

$E(\vartheta, t_A)$ temperatur- und zeitabhängiger E-Modul
und

$$I = \frac{t_L^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)}$$

bei glattwandigen Langrohren mit homogenem Wandaufbau. Bei Kurzrohren und profilierten Rohren gilt $\mu = 0$

Vorverformungen brauchen beim ungebetteten Rohr nicht berücksichtigt zu werden, da sie hier nur einen geringen abmindernden Einfluss haben.

Der Nachweis gegen Beulen des Liners beim Verfüllen des Ringspalts lautet:

$$\frac{p_{a,d}}{p_{a,d}^{\text{krit}}} \leq 1 \quad (48)$$

mit

$$p_{a,d} = \frac{\Sigma N_d}{r_L}$$

Nur bei korrekter Berücksichtigung des Ringspalts ist der Ansatz einer Umfangsbettung des Liners durch das Altrrohr zulässig.

Der anzunehmende Ringspalt ist gleich der Hälfte der Differenz zwischen dem maximalen (in der Regel dem horizontalen) Innendurchmesser des Altrrohrs und dem Außendurchmesser des Liners. Dadurch wird bei Altrrohrzustand II oder III auch die Verformung des Altrrohrs berücksichtigt, die der Beulfigur des ungebetteten Liners entspricht, Bild 7.

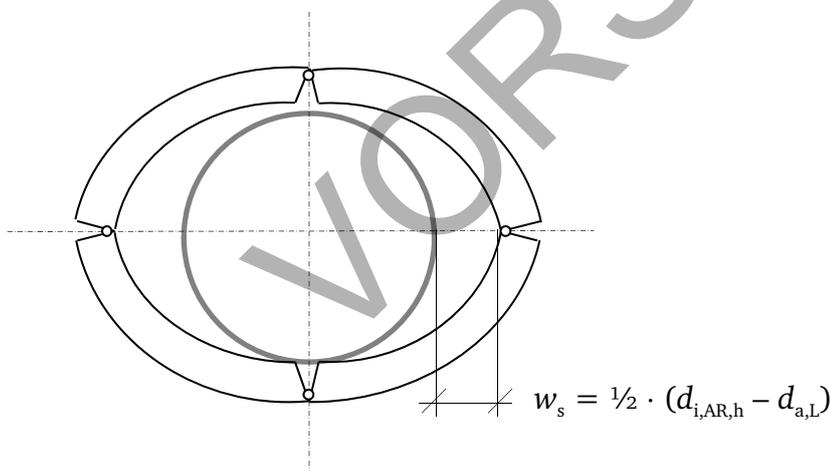


Bild 7: Ringspaltgröße bei Ansatz einer Stützung des Liners durch das Altrrohr

6.2.5 Abstandhalter/innere Abstützungen

Bei der Verwendung von Abstandhaltern ist darauf zu achten, dass sich der Liner nicht verschieben oder verdrehen kann. Bei Abstandhaltern in den $\frac{1}{4}$ -Punkten des Liners ist auch die Möglichkeit zu betrachten, dass zwischen den Abstandhaltern eine Beulform in diagonaler Richtung entsteht, siehe Bild 8.

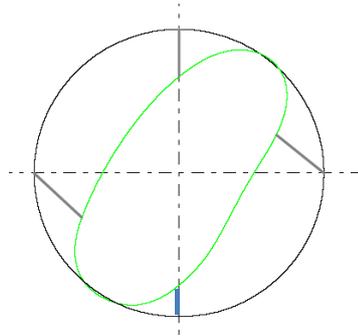


Bild 8: Beulform zwischen vier Abstandhaltern in diagonaler Richtung

Falls beim Stabilitätsnachweis die Stützung durch Abstandhalter in Ansatz gebracht wird, ist auch die Möglichkeit einer unsymmetrischen Beulform zu untersuchen, siehe Bild 8.

Die Schnittkräfte und die kritischen Lasten können mit einem Stabwerkmodell oder der Finite-Elemente-Methode ermittelt werden, siehe 7.10. Bei punktförmiger Halterung oder Verkeilen ist abhängig von der Nennweite und der Rohrlänge gegebenenfalls ein genaueres 3D-Modell zu verwenden, siehe Bild 10.

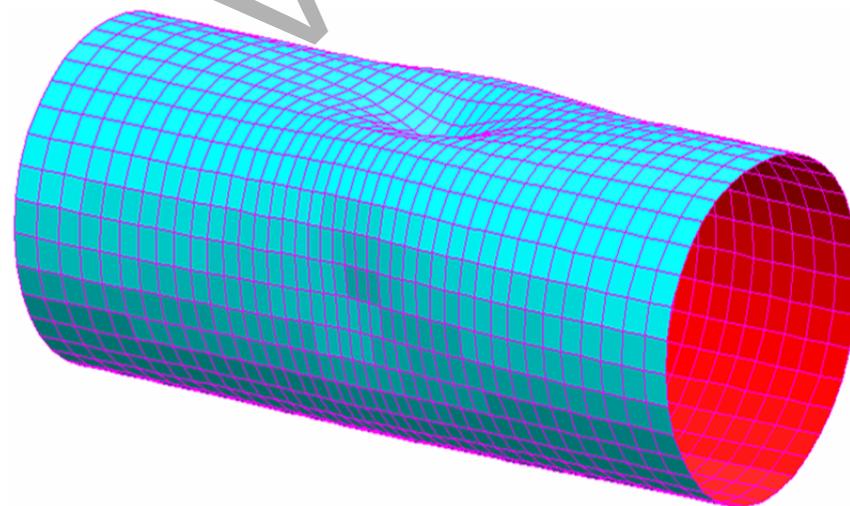


Bild 10: Beispiel für 3D-Modell bei singularer Stützung (Verformungen überhöht dargestellt)

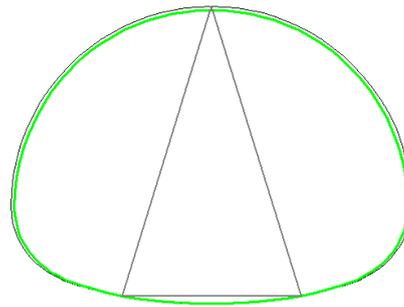


Bild 9: Außen und innen gestützter Liner mit Maulprofil

6.2.6 Einfluss des Rohreinzugs in abgewinkelte Trassen

Durch den Einzug des Rohrstrangs in eine geknickte Altleitung (Gefällewechsel, Trassenführung) entstehen auf der Innenseite der Krümmung Druckspannungen, die zum Beulen führen können (siehe hierzu die Grenzzugspannungen nach Tabelle 4). Die hieraus entstehenden Druck- und Zugspannungen müssen mit den Spannungen beim Verfüllen überlagert werden.

6.2.7 Abschätzung des Altrohrs gegen Verfülldruck

Die Belastung des Altrohrs infolge des Verfülldrucks ist abzuschätzen. Dies gilt insbesondere bei Altrohren mit geringer oder nicht vorhandener Ringzugfestigkeit, z. B. Mauerwerk, Altrohre mit Längsrissen und Querschnitte, die von der Kreisform abweichen. Gegebenenfalls ist eine Sicherung gegen Überdehnung anzuwenden.

7 Nachweise für Betriebszustände

7.1 Abgrenzung für Fälle, in denen der statische Nachweis entfallen kann

Ein statischer Nachweis darf bei Linern bis DN 250 mit Werkstoffen nach Tabelle 3 entfallen, wenn die folgenden Bedingungen **gleichzeitig** vorliegen:

- kein Grundwasser ($p_a = 0$),
- kein innerer Unterdruck,
- Altrohrzustand I,
- keine Gefahr des Austretens von Wasser an den Schächten.

7.2 Standsicherheit des Altrohr-Bodensystems (Altrohrzustand II und III)

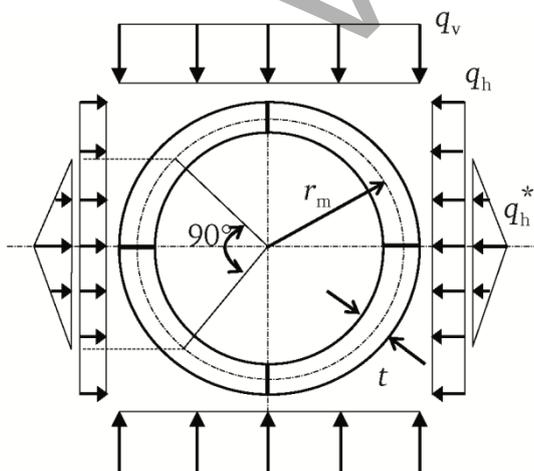
Der Nachweis der Standsicherheit des Altrohr-Bodensystems für die Altrohrzustände II und III nach Bild 2 und 3 ist mithilfe der Last-Verschiebungskurven des Viergelenktringes nach Bild 11 möglich. Dabei sind folgende Bedingungen zu beachten:

- Die Verformung δ_v besteht aus den Anteilen δ_0 und $w_{GR,v}$ mit δ_0 = Anfangsverformung des Rohr-Bodensystems (z. B. infolge von Hohlraumbildung oder Bodenauflockerungen).
- Die Beziehungen zwischen Belastung q_v und Scheiteldurchsenkung δ_v als Bezugsverformung sind am **verformten** System herzuleiten.
- Die Verteilung der Bettungsreaktionsspannungen q_h^* ist – abweichend vom Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 – **dreieckförmig und über 90°** verteilt anzunehmen, siehe Bild 11.
- Die Summe aus dem seitlichen Erddruck q_h und den Reaktionsspannungen q_h^* ist ohne genaueren Nachweis durch 75 % des *passiven Erddrucks* zu begrenzen.

Der Maximalwert der Last-Verschiebungskurven ist die **gesuchte**, auf den Verformungsmodul des Bodens E_2 bezogene kritische Belastung des Systems. Die kritische Vertikallast $q_{v,d}$ kann mithilfe der bezogenen Maximallasten in den Diagrammen im Anhang F und Gl. (49) ermittelt werden.

Im Anhang F werden die Gelenkexzentrizitäten $e_G = 0,25 t$, $0,35 t$ und $0,45 t$ berücksichtigt, siehe 7.4.3.2: Tabelle 14. Die Maximalwerte $q_{v,d}$ der Kurven sind im Anhang F zusätzlich angegeben.

a) unverformtes System



b) verformtes System

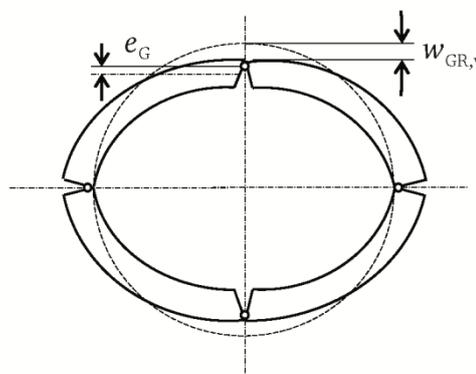


Bild 11: System und Belastung des Altrohr-Bodensystems aus Erd- und Verkehrslasten

Für überwiegenden Erddruck q_v sowie Verkehrslast mit stützendem Seitendruck gilt:

$$\text{krit } q_{v,d} = \max \left(\frac{q_{v,d}}{E_2} \right) \cdot E_2 \quad (49)$$

Der Nachweis lautet:

$$\frac{q_{v,d}}{\text{krit } q_{v,d}} \leq 1 \quad (50)$$

mit

$q_{v,d}$ nach Gl. (73,74) und $q_{v,d}/E_2$ sowie krit $q_{v,d}$ nach Anhang F

Bei der Anwendung des Berechnungsverfahrens sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Der Verformungsmodul des Bodens in der Leitungszone E_2 ist bekannt (z. B. Rammsondierung in Verbindung mit Rammkernbohrungen). Damit folgt nach Ablesung bei $q_{v,d}/E_2$ und $\omega_{GR,v}$ die Anfangsverformung δ_0 im Nulldurchgang der Kurve und die kritische vertikale Last krit $q_{v,d}$ als Maximum derselben Kurve, siehe Bild F.2.
2. Der Verformungsmodul E_2 ist nicht bekannt. In diesem Fall muss δ_0 geschätzt werden, um krit $q_{v,d}$ als Maximum der Kurve ablesen zu können. Kann δ_0 nicht angegeben werden, so ist mindestens $\delta_0 = \omega_{GR,v}/2 \leq 3\%$ anzunehmen.

Wird die Gl. (50) erfüllt, so liegt der Altrohrzustand II vor. Für Ergebnisse > 1 ist Altrohrzustand III anzunehmen.



Bild 12: Verformter Kanalquerschnitt (Scheitelriss klaffend, Kämpferisse innen geschlossen)

7.3 Vorverformungen (Imperfektionen)

7.3.1 Allgemeines, Geometrie

Imperfektionen sind grundsätzlich anzusetzen, da Liner in der Regel schlanke Konstruktionen sind und bei äußerem Wasserdruck durch hohe Druckspannungen beansprucht werden. Dies bewirkt eine hohe Sensibilität hinsichtlich des Stabilitätsverhaltens und/oder zusätzlicher Biegespannungen infolge von Vorverformungen (Abweichungen z. B. von der Kreisform).

Bei der Berechnung sind örtliche Vorverformungen, Gelenkringvorverformungen (Ovalisierung) und Spaltbildung zwischen Liner und Altrohr zu berücksichtigen.

a) Die anzusetzenden **örtlichen Imperfektionen** nach Bild 13a haben die folgenden Aufgaben:

1. Sie sollen die Verformungen im Kanal und die während des Linereinbaus auftretenden Abweichungen von der Sollform wiedergeben,
2. sie repräsentieren strukturelle Imperfektionen (örtliche Unterschreitung des E-Moduls und/oder der Wanddicke) und
3. sie sind bei der Berechnung (z. B. nach Theorie II. Ordnung) erforderlich, um den maßgebenden Stabilitätsfall auszulösen.

Die Form der örtlichen Vorverformung $w_v(\varphi)$ kann z. B. als Biegelinie des beidseitig eingespannten Balkens unter Gleichlast oder als \cos^2 -Funktion angenommen werden.

Bei beulgefährdeten Linern muss die örtliche Imperfektion ähnlich zur maßgebenden Beulfigur angenommen werden. Diese ist bei Kreisprofilen bekannt, bei anderen Profilen jedoch in der Regel nicht. Bei Eiprofilen ist eine einseitige örtliche Vorverformung im flachen Bereich anzunehmen – wird hiervon abgewichen, so können Ergebnisse höherer Eigenwerte des Problems resultieren. In der Regel lassen sich jedoch falsche Ergebnisse leicht anhand der Biege- und der Biegemomentenlinie identifizieren.

Bei sehr schlanken Konstruktionen mit ca. $r_1/t_L > 50$ wird eine Sensibilitätsstudie zur Eingrenzung der Gefahr einer unzutreffenden Vorverformung empfohlen. Ist die maßgebende Beulform und damit die Lage der maßgebenden örtlichen Vorverformung nicht bekannt, so sind mehrere Vorverformungen anzuwenden, siehe Bild 14 (Kastenprofil: Seite, Sohle und gegebenenfalls auch Scheitel).

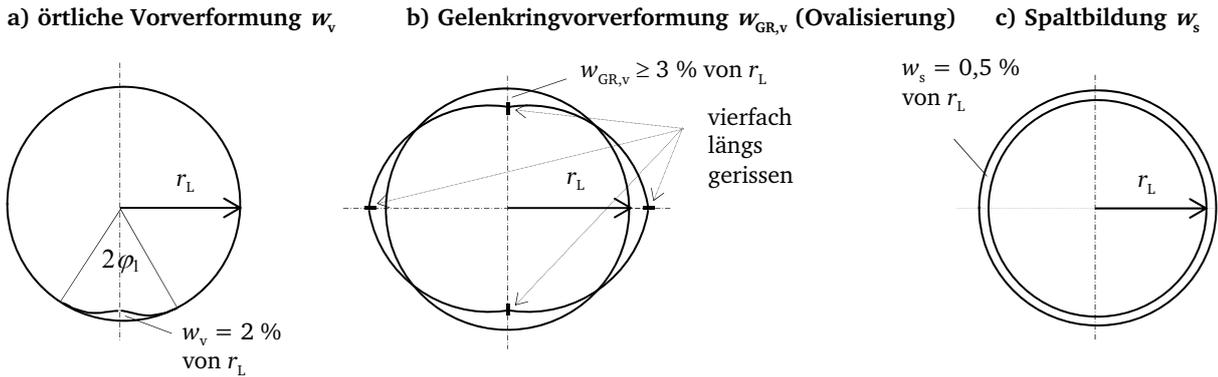


Bild 13: a) örtliche Vorverformung w_v ; b) Gelenkringvorverformung $w_{GR,v}$; c) Spaltbildung w_s (Darstellungen überhöht)

b) Eine **Gelenkringvorverformung** $w_{GR,v}$ nach Bild 13b ist die Form, die das Alrohr nach dem Auftreten von vier Längsrissen im Boden annimmt.

Liegen Videoaufzeichnungen vor, so ist eine Bestimmung der Größe von $w_{GR,v}$ durch Vergleich der Viertelkreise der beiden Scheitelscherben nach Bild 15 möglich.

Methode A: Verzerrungsfreie Auswertungen durch Laserscannen oder Kalibrierung.

Methode B: Eine verzerrungsfreie Auswertung erfolgt in den Schritten:

- Kreis 1 an Rohrscherbe oben links anpassen,
- Kreis 2 mit gleichem Radius an Rohrscherbe oben rechts anpassen,
- Durchmesser a messen,
- horizontalen Gesamtdurchmesser a' messen,
- bezogene Gelenkringvorverformung (Ovalisierung):

$$w_{GR,v} = \frac{a' - a}{a} \cdot 100 \% \quad (51)$$

a) FE-Simulation

b) FE-Simulation

c) Stabwerksimulation

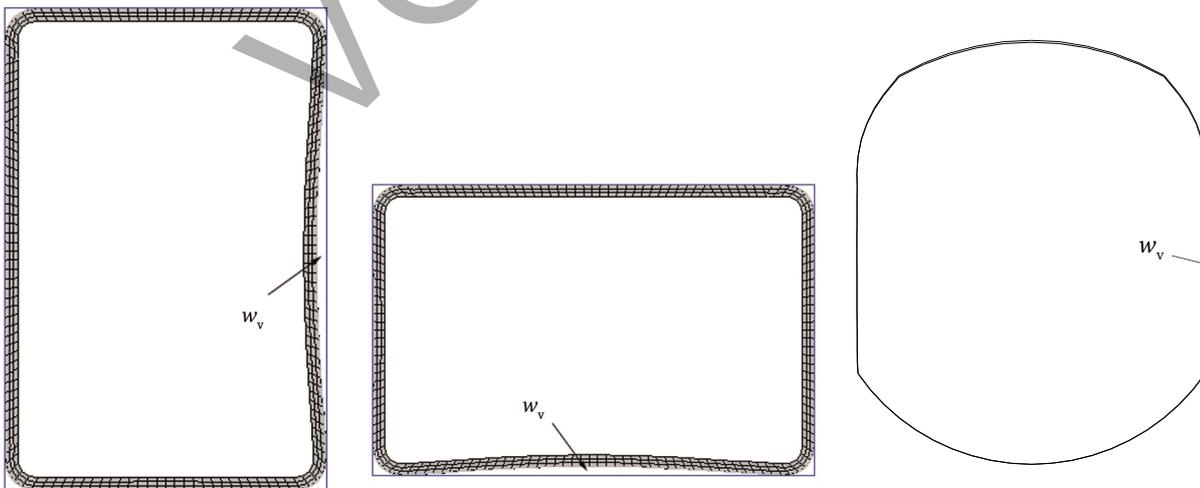


Bild 14: Rechteckquerschnitte: a) + b) FE-Simulation, c) Stabwerksimulation (Anhaltswert für $w_v = 0,8\%$ von H bzw. B)

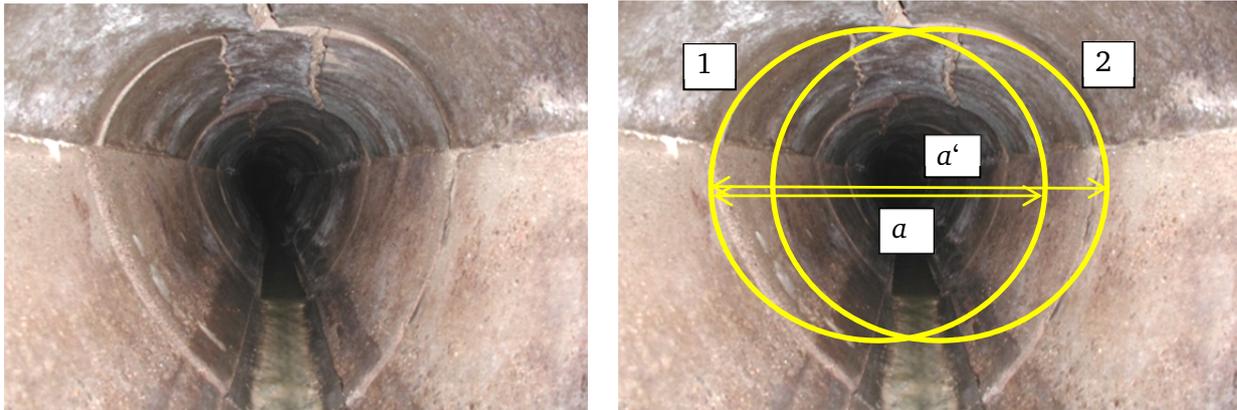


Bild 15: Nichtbegehrbarer Betonkanal (Eiquerschnitt) mit großen Verformungen (gilt sinngemäß auch für Kreisprofile)

Methode C: Wird näherungsweise und nicht verzerungsfrei eine Ellipse mit den Hauptachsen a und b angepasst, so beträgt die bezogene Gelenkringverformung (Ovalisierung):

$$\omega_{GR,v} \cong \frac{a-b}{a+b} \cdot 100 \% \quad (52)$$

- c) Eine **Spaltbildung** w_s nach Bild 13c tritt durch Schwinden des Harzanteils im Liner, wechselnde Profilinnenmaße, bei Montageverfahren z. B. durch Schwinden des Verfüllmaterials und Montagegenauigkeiten, auf. Diese Imperfektion kann die Beullast des Linersystems ebenfalls erheblich reduzieren.

Für **Kreisprofile** sind die Imperfektionen nach Bild 13a bis 13c anzuwenden, die Größe der Vorverformungen sind den Tabellen 5 bis 7 zu entnehmen.

Abweichende Imperfektionsformen sind durch teilweise Korrosion des Gasraums oder des benetzten Umfangs möglich.

Bei einem **Muffenversatz** erfolgt eine Einengung des Querschnitts, die zu einer in Längsrichtung begrenzten Falte führen kann. Bei ausreichender Dehnfähigkeit des Liners wird durch Kalibrierung des Liners mit dem reduzierten Umfang und anschließende Dehnung des Liners zur Altrohrwand ein Linerrohr ohne Falten erzielt.

Eine in Längsrichtung ausgedehnte **Faltenbildung** des Liners mit mehr als 1,5-DN Länge kann als Imperfektion mit in der Regel kleinem Öffnungswinkel berücksichtigt werden. Hierdurch wird die Beullast nur wenig, der Spannungsnachweis dagegen erheblich beeinflusst, siehe 7.3.5.

Bei einer Längenausdehnung der Falte $\leq 1,5$ -DN ist kein gesonderter Nachweis erforderlich, siehe MUNLV NRW (2005). Zur Faltenhöhe siehe Tabelle 10.

7.3.2 Größe und Verteilung der Imperfektionen

7.3.2.1 Allgemeine Festlegungen

Die Größe und die Verteilung des geometrischen Anteils der örtlichen Vorverformung hängen stark vom Bauverfahren bzw. vom Typ des Liners ab und werden in den folgenden Abschnitten verfahrensabhängig festgelegt.

Für dabei nicht erfasste Linertypen müssen analoge, auf der sicheren Seite liegende Ansätze entwickelt werden. Für diese Linertypen bzw. Mörtelquerschnitte kann in begründeten Fällen daher eine modifizierte Regelstatik zugelassen werden.

7.3.2.2 Schlauchverfahren, Close-Fit-Verfahren, Rohrstrang-Lining, Einzelrohr-Lining, Wickelrohr-Lining ohne Ringraumverfüllung

Die örtliche Vorverformung $\geq 2\%$ in Tabelle 5 besteht aus den beiden Anteilen:

- strukturelle Imperfektion $\geq 0,5\%$ und
- geometrische Imperfektion $\geq 1,5\%$.

Bei Veranlassung von genauen Messungen der Geometrie durch den Auftraggeber oder Planer darf der geometrische Anteil von $\geq 1,5\%$ bei Nennweiten ab DN 800 auf $\geq 0,5\%$ reduziert werden (Summe $\geq 1\%$). Die allgemeinen Bemerkungen zu Vorverformungen in 7.3.1 sind zu beachten.

Bei Kreisprofilen sind die örtlichen Vorverformungen in der Sohle mit einem Öffnungswinkel von 40° anzuordnen, siehe Bild 13a.

Tabelle 5: Imperfektionen für Kreisquerschnitte in % der Linerradien

Imperfektion nach Bild 13		Altrohrzustand	Schlauchverfahren	Vorverformte und rückverformte Liner	Einzelrohr-Lining	Wickelrohrverfahren ohne Ringraum und ohne Verfüllung
a) Örtliche Vorverformung, an der ungünstigsten Stelle (in der Regel in der Sohle)	ω_v	I + II ¹⁾	≥ 2 %	≥ 2 %	≥ 1 % ⁴⁾	≥ 1,5 %
b) Gelenkringvorverformung (Ovalisierung)	$\omega_{GR,v}$	nur II + III	≥ 3 %	≥ 3 %	0	≥ 3 %
c) Spaltbildung	ω_s	I + II ²⁾	≥ 0,5 %	≥ 2 %	≥ 1 – 2 mm ³⁾	≥ 2 %

ANMERKUNGEN

- Bei Altrohrzustand III und Lastfall Erd- + Verkehrslasten gilt die örtliche Vorverformung $\omega_v = 0$.
- Bei Altrohrzustand III und Lastfall Wasseraußendruck gilt für die Spaltweite $\omega_s \geq 0,5 \%$, bei Erd- und Verkehrslasten ist die Spaltweite $\omega_s = 0$ anzunehmen. Zur Regelung der Interaktion von Wasserdruck und Erdlasten siehe Tabellen 12 und 13 sowie 7.6.4.7.
- In Sonderfällen: gemessene Durchmesserdifférenz $(d_{i,AR} - d_{a,L})/2$.
- Oder Verformung aus dem Lastfall Ringraumverfüllung. Der größere Wert ist maßgebend.

7.3.2.3 Wickelrohr-Verfahren (Lining mit fest verankerter Kunststoffauskleidung)

Ausführung A mit Ringraumverfüllung bei einem tragenden Wickelrohr:

Beim Wickelrohrverfahren mit Ringraumverfüllung sind die Imperfektionen nach Tabelle 6 anzusetzen.

Die aus dem Wickeln des Rohrs resultierende Vorspannung ist bei den Nachweisen zu berücksichtigen. Bei Kunststoffen darf eine Spannungsrelaxation angenommen werden, wenn die Höhe der Relaxation nachgewiesen ist.

Zu den Besonderheiten der Profilierung wird auf Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127:2000-08: Unterabschnitt 9.6 verwiesen. Die Sicherheit der Flansche gegen Ausziehen infolge äußeren Wasserdrucks ist durch Versuche nachzuweisen.

Ausführung B mit Ringraumverfüllung bei einem nicht-tragenden Wickelrohr (Mörtel als tragende Schicht):

Es gelten die örtliche Vorverformung und die Gelenkringvorverformung (Ovalisierung) nach Tabelle 6. Bis nachgewiesene Werte für den Ringspalt vorliegen, ist bei Bemessungen vorerst von einer Mindestspaltweite von $w_s = 1 \text{ mm}$ auszugehen.

Die entsprechenden Normen und Regeln für Betonquerschnitte sind zu beachten (z. B. DIN EN 1992-1).

Tabelle 6: Imperfektionen für Kreisquerschnitte in % des Linerradius beim Wickelrohrverfahren

Imperfektion nach Bild 13		Altrohrzustand	Imperfektion
a) Örtliche Imperfektion an der ungünstigsten Stelle	ω_v	I und II ¹⁾	≥ 1 % Öffnungswinkel 40°
b) Gelenkringvorverformung (Ovalisierung)	$\omega_{GR,v}$	II und III	0 ²⁾
c) Spaltbildung	ω_s	I und II	Schrumpfmaß des Verfüllmaterials ³⁾

ANMERKUNGEN

- Bei Altrohrzustand III und Lastfall Erd- + Verkehrslasten gilt die örtliche Vorverformung $\omega_v = 0$.
- Voraussetzung: $t_M > w_{GR,v}$ (t_M Dicke des Verfüllmaterials), anderenfalls: $w_{GR,v} = \omega_{GR,v} \cdot r_a - t_M$
Zusätzlich ist eine Vorverformung aus der Berechnung des Einbauzustands (insbesondere infolge von Verfülldruck) anzunehmen. Wenn kein genauer Nachweis erfolgt, beträgt der Mindestwert der örtlichen Vorverformung 0,5 % mit 90° Öffnungswinkel.
- $\omega_s = \omega_M > 0,1 \%$ (ω_M Schrumpfmaß des Verfüllmaterials).
Wenn kein genauer Nachweis (z. B. Prüfung des Quellmaßes) erfolgt, beträgt der Mindestwert $\omega_s = 0,25 \%$ jedoch $1 \text{ mm} \leq w_s \leq 2 \text{ mm}$.

7.3.2.4 Noppenbahnverfahren (Lining mit fest verankerter Kunststoffauskleidung)

Beim Noppenbahnverfahren sind die Imperfektionen nach Tabelle 7 anzusetzen. Die Sicherheit der Verankerungen gegen Ausziehen und Abreißen infolge äußeren Wasserdrucks ist durch Versuche nachzuweisen.

Fall a) Bei der Verwendung eines Preliners ist die Größe des Ringspalts rechnerisch nachzuweisen. Bei Kreisprofilen dürfen dazu die Gln. (53,54) mit den nachfolgenden, auf der sicheren Seite liegenden Annahmen verwendet werden:

- Berücksichtigung des Untermaßes ω_{sU} (in %) des Preliners inkl. Fertigungstoleranz,
- Ansatz des Kurzzeit-Elastizitätsmoduls $E_{ST,Pre}$ für den Werkstoff des Preliners,
- Berücksichtigung des Schrumpfmaßes ω_M des Injektionsmörtels. Bei nachweislich quellendem Injektionsmörtel (Regelfall) muss $\omega_M = 0\%$ gesetzt werden.

Größe des Ringspalts ω_s bei Kreisprofilen:

$$\omega_s = \omega_{sU} + \omega_M - (p_{i,Inj} \cdot r_{i,Pre} - p_{aB,d} \cdot r_{L,a}) / (E_{ST,Pre} \cdot t_{Pre}) \geq w_{s,min} / r_{L,a} \quad (53)$$

mit

$p_{i,Inj}$ Injektionsdruck im Ringraum zwischen Preliner und Noppenbahn in der Bauphase (mit $\gamma_F = 1$ ermittelt, da günstige Wirkung)

- $p_{aB,d}$ Außenwasserdruck auf den Preliner in der Bauphase (Bemessungswert im Scheitel, nur zur Berechnung des Ringspalts zulässig)
- $r_{i,Pre}$ Innenradius des Preliners
- t_{Pre} Dicke des Preliners
- $\omega_{s,min}$ 0,12 % = Mindeststringspalt

Liegen keine Nachweise vor, so muss der Mindeststringspalt mit $w_{s,min} = 1$ mm angesetzt werden.

Darüber hinaus sind die Zugspannungen $\sigma_{Pre,d}$ im Preliner infolge Stützdrucks nachzuweisen:

$$\sigma_{Pre,d} / \sigma_{Z,d} \leq 1 \quad (54)$$

zuzüglich Umfangsvergrößerung aus der Gelenkringaufweitung Gl. (121).

mit

$$\sigma_{Pre,d} = (p_{i,Inj} \cdot r_{i,Pre} - p_{aB,d} \cdot r_{L,a}) / t_{Pre} \leq \omega_{sU} \cdot E_{ST,Pre}$$

Fall b) Wird kein Preliner verwendet (Injektionsmörtel im direkten Kontakt mit dem Altrohr), entspricht der anzusetzende Ringspalt dem Schrumpfmaß des Injektionsmörtels:

$$\omega_s = \omega_M \geq 0,12\%$$

ω_M Schrumpfmaß des Injektionsmörtels

Für von der Kreisform abweichende Profile ist eine analoge Berechnung des Ringspalts (gegebenenfalls mit einem Stabwerkprogramm) durchzuführen.

Tabelle 7: Imperfektionen für Kreisquerschnitte in % des Linerradius beim Noppenbahnverfahren

Imperfektion nach Bild 13		Altrohrzustand	Imperfektion
a) Örtliche Imperfektion an der ungünstigsten Stelle	ω_v	I und II	$\geq 2\%$ ¹⁾ Öffnungswinkel 40°
b) Gelenkringvorverformung (Ovalisierung)	$\omega_{GR,v}$	II	$\geq 3\%$
c) Spaltbildung	ω_s	I und II	Berechnung, beim Kreisprofil siehe Gln. (53,54) $\geq 0,12\%$ ²⁾
ANMERKUNGEN			
1) Darf für den Spannungsnachweis auf 1 % reduziert werden, wenn die erforderliche Sicherheit gegen Beulen mit $\omega_v = 2\%$ nachgewiesen ist.			
2) Kleinere Werte dürfen verwendet werden, wenn sie durch eine ausreichende Zahl von Messungen an ausgeführten Projekten nachgewiesen sind.			

7.3.3 Imperfektionen beim normalen Eiquerschnitt mit $B:H = 2:3$

Für den Lastfall Wasseraußendruck (Altrohrzustand I bis III) ist beim Nachweis von Eiprofilen die örtlich begrenzte Vorverformung in der Mitte des flachen Bereichs einseitig nach innen anzuordnen. Die Mindesttiefe dieser Vorverformung ist mit 0,5 % von $r_k^{(4)}$ anzusetzen (r_k Krümmungsradius im flachen Bereich, siehe Bild 16 und Tabelle 8).

Bei Close-fit-Verfahren ist im Altrohrzustand II und III eine zusätzliche Gelenkringvorverformung (Ovalisierung) des Scheitels nach innen anzunehmen. Es sind 3 % des Scheitelradius anzunehmen, wenn durch Inspektion nachgewiesen werden kann, dass keine größeren Werte vorliegen.

Die Größe einer Spaltbildung bei Altrohrzustand I und II ist durch Messungen festzulegen; bei Schlauchlinern gilt ein über den Umfang konstantes Schrumpfmaß $\varepsilon = 0,4\%$ – dies entspricht einem Ringspalt von 0,4 % im Kämpfer und 0,6 % in Scheitel und Sohle. Bei den Nachweisen für Erd- und Verkehrslasten (Altrohrzustand III) ist dagegen auf der sicheren Seite eine Spaltbildung zu vernachlässigen.

Ist bei Eiprofilen die Gelenkringvorverformung im Kämpfer (flacher Bereich) nach innen gerichtet, so ist die Beulgefahr infolge von Wasseraußendruck deutlich erhöht. Die Vorverformungen sind in diesem Fall zu vermessen und ungünstig auf einer Seite des Profils als zusätzliche örtliche Vorverformung ω_v anzusetzen.

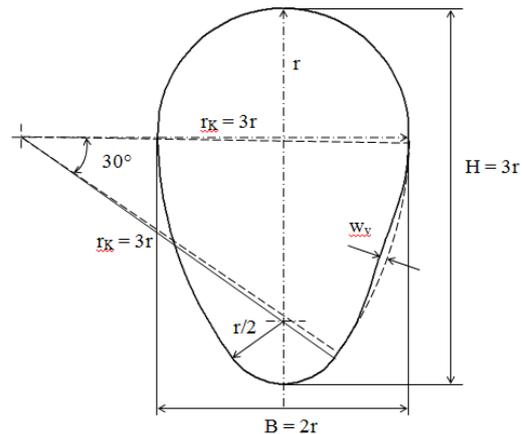


Bild 16: Normaler Eiquerschnitt z. B. nach DIN 4263 mit Vorverformung am rechten Kämpfer

7.3.4 Imperfektionen bei sonstigen Querschnitten

Falls Wasseraußendruck ansteht, gelten bei nicht kreisrunden Profilen und Eiprofilen mit $B:H \neq 2:3$ für alle Altrohrzustände die örtlichen Imperfektionen entsprechend der Tabelle 9.

Im Altrohrzustand II und III ist bei Close-fit-Linern eine zusätzliche Gelenkringvorverformung (Ovalisierung) des Scheitels nach innen mit den Mindestwerten der Verformungstiefen $\omega_{GR,v}$ entsprechend 7.3.2 anzunehmen.

Die Größe einer Spaltbildung (Ringspalt) bei Altrohrzustand I und II ist durch Messungen am ausgeführten Projekt zu überprüfen. Es sind die im 7.3.2 genannten Werte für ω_s (bei Eiprofilen auf den Scheitelradius bezogen) zu verwenden. Bei den Nachweisen für Erd- und Verkehrslasten (Altrohrzustand III) ist dagegen eine Spaltbildung auf der sicheren Seite zu vernachlässigen.

4) Die örtlich begrenzte Vorverformung mit der Tiefe w_v (Annahme: 0,5 % von r_k) ist die Ersatzimperfection zur Erfassung von *geometrischen Vorverformungen* (Annahme: 0,3 % von r_k) und *weiteren Störungen im Liner und im Altrohr* (Annahme: 0,2 % von r_k). Die geometrische Vorverformung nach Bild 16 und 17 ist der zur niedrigsten Beullast gehörenden unsymmetrischen Verformungsfigur angepasst. Bei Veranlassung von genauen Messungen des Altkanalprofils durch den Auftraggeber oder Planer kann die geometrische Vorverformung von 0,3 % auf den Messwert, jedoch nicht weniger als 0,1 %, reduziert werden. Damit beträgt die gesamte örtliche Mindestvorverformung 0,3 % von r_k . Bei der Berechnung ist darauf zu achten, dass mit diesem Ansatz keine unsicheren symmetrischen Zustände berechnet werden, siehe FALTER (1999).

Tabelle 8: Lage und Verteilung der Imperfektionen ω_v beim normalen Eiquerschnitt

Profil	Lage φ_v	Symmetrie zur vertikalen Achse	Größe ω_v (%)	Öffnungswinkel $2\varphi_1$
Normales Eiprofil mit $B:H = 2:3$	Mitte des flachen Bereichs, einseitig	nein	AZ I: $\geq 0,5$ % von r_k AZ II: zzgl. $\omega_{GR,v}/10$	30°
Gemauerte Kanäle mit $B:H = 2:3$	Mitte des flachen Bereichs, einseitig	nein	AZ I: ≥ 1 % von r_k AZ II: zzgl. $\omega_{GR,v}/10$	30°

ANMERKUNG
AZ Altrohrzustand

Tabelle 9: Lage und Verteilung der Imperfektionen ω_v bei sonstigen Querschnitten

Profil	Lage φ_v	Symmetrie zur vertikalen Achse	Größe ω_v (%)	Öffnungswinkel $2\varphi_1$	Bemerkungen
Nicht normales Eiprofil $B:H \neq 2:3$	Mitte des flachen Bereichs, einseitig	nein	0,5 % von H	Größe des flachen Bereichs	-
Maulprofil	180° (Sohle)	symmetrisch + unsymmetrisch siehe Bild 17	$\geq 0,5$ % vom Sohlradius, aber ≤ 10 mm	Größe des Sohlbereichs	auch einseitige (unsymmetrische) Lage untersuchen siehe Bild 17
Sonstige Großprofile B bzw. $H > 1,5$ m	1)	ggf.	10 mm bis 20 mm	1)	ggf. mehrere Lagen und Größen untersuchen

ANMERKUNG
1) Ingenieurmäßig an der ungünstigsten Stelle festzulegen.

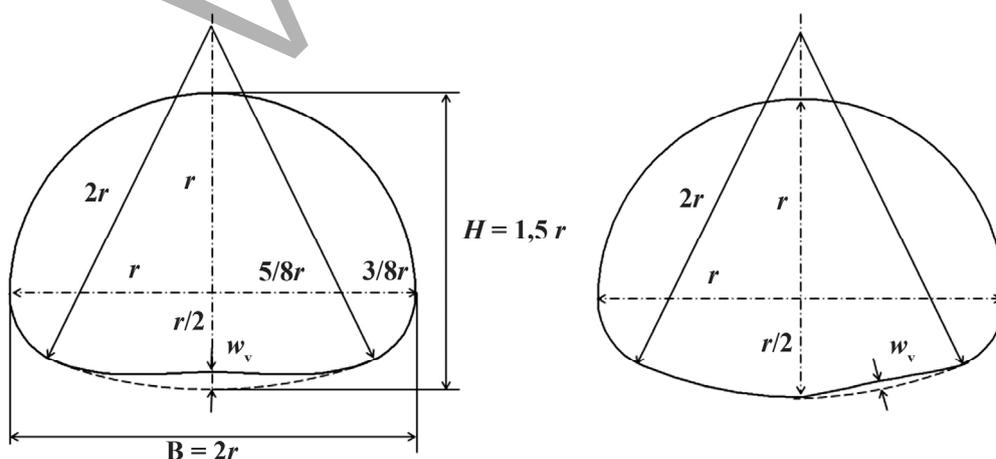


Bild 17: Normaler Maulquerschnitt $B:H = 2:1,5$ mit symmetrischer und unsymmetrischer Vorverformung in der Sohle

7.3.5 Imperfektionen bei Querversatz (Faltenbildung)

Bei einem Querversatz im Bereich der Rohrverbindung erfolgt eine Einengung des Kanalquerschnitts, die zu einer in Längsrichtung begrenzten Falte des Liners führen kann. Die Größe von Oberflächenunregelmäßigkeiten wird in DIN EN ISO 11296-4:2011-07: siehe 8.2 geregelt: In geraden Rohrlängen mit konstantem Innendurchmesser darf der Liner keine zusätzlichen Oberflächenunregelmäßigkeiten verursachen, die 2 % des Nenndurchmessers bzw. 6 mm überschreiten (der größere Wert ist maßgebend), siehe Tabelle 10.

Tabelle 10: Maximale zulässige Oberflächenunregelmäßigkeiten gemäß DIN EN ISO 11296-4:2011-07: siehe 8.2

Nennweite DN in mm	Faltenhöhe in mm
150 – 300	6
≥ 350	0,02 · DN

Eine harzgefüllte Falte z. B. in der inneren Lage eines Liners (im Rahmen der in Tabelle 10 vorgegebenen zulässigen Werte) stellt statisch keine zu berücksichtigende Imperfektion dar, wenn im Bereich der Falte keine Reduktion der Wanddicke festzustellen ist (homogener Querschnitt).

7.3.6 Imperfektionen bei horizontaler Verschiebung von Querschnittsteilen

Liegt im Bereich des Querschnitts eine gegenseitige Verschiebung (Querschnittsänderung z. B. nach Bild 18 vor, so ist dieser vor der Sanierung zu glätten.

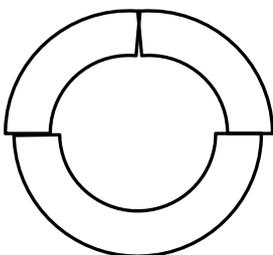


Bild 18: Horizontale Verschiebung von Querschnittsteilen

Ist eine Glättung nicht möglich, so ist die horizontale Verschiebung als Vorverformung v in der Berechnung zu berücksichtigen. In diesem Fall erzeugt die Umlenkung

der Normalkraft zusätzliche Schnittgrößen, die wie folgt abgeschätzt werden können:

$$M_v \leq N \cdot v \tag{55}$$

$$V_v \cong N \tag{56}$$

Für die Querkraft V_v ist zusätzlich ein Schubspannungsnachweis zu führen, siehe 7.6.2.

7.4 Berechnungsmodelle und Belastungen (Einwirkungen)

7.4.1 Abgrenzungen

Die Belastungen (Einwirkungen) sind abhängig vom vorliegenden Zustand des Altrohrs bzw. weiteren Zuständen, die während des Betriebs auftreten können. Die Kriterien nach Tabelle 11 gelten für Altrohrzustand III einzeln oder in Kombination, z. B. ist eine Gelenkringvorverformung $\omega_{GR,v} > 6\%$ stets als Altrohrzustand III einzustufen.

Tabelle 11: Kriterien zur Abgrenzung der Altrohrzustände II und III

Altrohrzustand (AZ)			
	Anhaltspunkt	II	III
1	Gelenkringvorverformung $\omega_{GR,v}$ (Ovalisierung)	≤ ca. 6 %	> ca. 6 %
2	Überdeckung h	groß	gering ¹⁾
3	Verkehrslasteinfluss	gering	groß ¹⁾
4	Laständerung (z. B. Erhöhung der Auflast)	nein	ja
5	Gipsmarken öffnen sich	nein	ja
6	Nachweis $q_{v,d}/krit\ q_{v,d}$ (z. B. nach Anhang F)	≤ 1	> 1
7	Hohlraumbildung im Boden durch Infiltration	nein	ja
8	Altrohr-Bodensystem mit Liner unter Wasseraußendruck unverschieblich	ja	nein

ANMERKUNG
 1) Überdeckung
 $h < 1\text{ m}$ und $h < d_a$ bei Straßenverkehrslasten,
 $h < 1,5\text{ m}$ unter Eisenbahnverkehrslasten

7.4.2 Altrohrzustand I und II⁵⁾

7.4.2.1 Belastungen (Einwirkungen, Einwirkungskombinationen)

Gemäß den Definitionen nach 4.2 und nach Bild 19 sind bei Vorliegen des Altrohrzustands I und II folgende Lastfälle möglich:

- Wasseraußendruck, auf die Lineroberfläche wirkend,
- Innendruck (Unterdruck, Überdruck ggf. bis Oberkante Gelände),
- Eigenlasten,
- Wärmeeinwirkungen (Abkühlung oder Erwärmung),
- verfahrensbedingte Eigenspannungen⁶⁾.

Besondere Belastungsbedingungen durch Wasseraußendruck infolge von Rückstau- und Hochwasserereignissen sind durch geeignete Lastansätze und den Teilsicherheitsfaktor nach Tabelle 18 zu erfassen. Die Nachweise für Kunststoffliner sind mit Langzeitkennwerten zu führen, die vorübergehende Einwirkungsdauer wird durch einen verringerten Sicherheitsbeiwert berücksichtigt, siehe Tabelle 18 in Abschnitt 8.

Zur Sicherstellung einer ausreichenden Mindeststeifigkeit des Liners ist unabhängig vom Grundwasserstand ein Ersatzwasserdruck von $h_{w,so} = d_a + 0,1$ m, mindestens jedoch $h_{w,so} = 1,5$ m, anzunehmen; hierfür sind die Nachweise mit den Langzeitkennwerten des Linerwerkstoffs zu führen.

Die zu untersuchenden Einwirkungskombinationen ergeben sich aus Tabelle 12.

7.4.2.2 Berechnungsmodelle

Zur Berechnungsvereinfachung darf die dreidimensionale Struktur (Schale) auf eine zweidimensionale Struktur (ebener Verzerrungszustand, Scheibe) reduziert werden. Als weitere Vereinfachung kann der Liner als Stabwerk berechnet werden, das im Fall von Altrohrzustand I und II auf der Außenseite starr gebettet ist, siehe Bild 19a,b.

Bei Verfüllmaterial mit $E_D < 10.000$ N/mm² ist anstelle der starren eine elastische Bettung anzusetzen.

Entsprechend der Bettung des Liners im Altrohr bei gleichzeitigem Vorhandensein unvermeidbarer Vorverformungen und eventueller Spaltbildung führen die äußeren Lasten zu hohen Druckkräften N und Biegemomenten M . Daher sind eine geometrisch nichtlineare Berechnung (Berücksichtigung der Verformungen in den Gleichgewichtsbeziehungen) und die iterative Verbesserung der Größe des Kontaktbereichs zwischen Liner und Altrohr erforderlich.

Den Modellen nach Altrohrzustand I, II und III liegt zugrunde, dass das Altrohr den Liner stützt. Im Falle von Altrohren mit sehr geringer Druckfestigkeit oder bei ausgeprägter Scherbenbildung ist für den Liner das Modell des elastisch gebetteten Rohrs zugrunde zu legen. Die Altrohrwand kann in diesem Fall als verdichteter Kies angenommen werden, siehe Altrohrzustand IIIa nach Anhang K, Bild K.1.

5) Gegebenenfalls auch Altrohrzustand III bei Vorliegen von Wasseraußendruck.

6) Der die Traglast mindernde Einfluss von Eigenspannungen bei vorverformten und rückverformten Linern kann zurzeit noch nicht quantifiziert werden, erste Ansätze können CHUNDURU et al. (1996) entnommen werden.

Tabelle 12: Last-/Einwirkungskombinationen (LK) für die Altrohrzustände I und II

Einwirkung		Eigenlast g	Wasserdruck p_a	Erd-/Verkehrslast q_v	Erwärmung g^+	Abkühlung g^-	Wasserfüllung W	Innen- druck p_i
Altrohrzustand	LK							
I, II	1a	x	x	-	-	(x)	-	-
I, II	1b	x	x	-	(x) ¹⁾	-	-	-
I, II	2	x	-	-	-	-	x ²⁾	x ³⁾

ANMERKUNGEN

- 1) Mit für Erwärmung reduziertem Wert für E_t .
- 2) Dieser Lastfall kann bei Eiprofilen maßgebend werden, wenn der Lastfall Wasserfüllung im Zusammenhang mit größeren Spaltweiten untersucht werden muss.
- 3) Eiprofile: auch bei $p_i < 0,5$ bar erforderlichenfalls überprüfen.

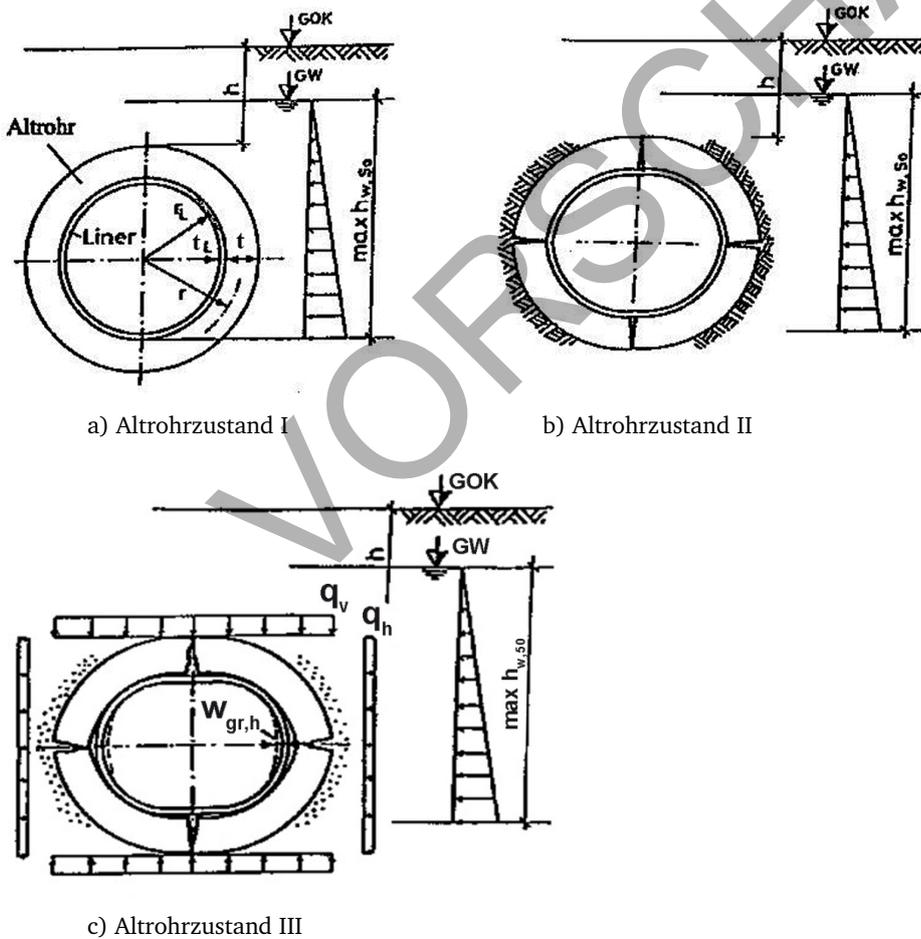


Bild 19: Altrohr mit Liner

7.4.2.3 Biegeweiche Altrohre

Beim Nachweis von Linern für biegeeweiche Altrohre für den Lastfall Wasseraußendruck (Altrohrzustand I und II) spielen die Bodenkennwerte wie bei Altrohrzustand III eine wichtige Rolle. Daher ist die Nachgiebigkeit des Altrohr-Bodensystems auf geeignete Weise zu berücksichtigen. Für die Systemsteifigkeit V_{RB} gilt nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127:2000-08:

$$V_{RB} = 8S_0/S_{Bh}$$

mit

S_0 Rohrsteifigkeit des biegeweichen Altrohrs

V_{RB} Systemsteifigkeit

und

S_{Bh} horizontale Bettungssteifigkeit nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127:2000-08

7.4.2.4 Berechnungsmodelle für den Lastfall Innendruck

Nach DIN EN ISO 11295 werden Liner für die Sanierung von Druckleitungen wie folgt eingeteilt (siehe Bild 20):

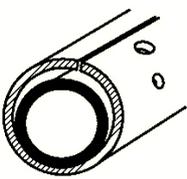
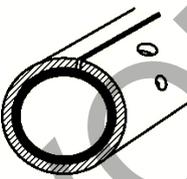
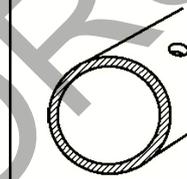
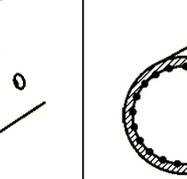
- unabhängiger Druckleitungs-Liner der Klasse A,
- interaktiver Druckleitungs-Liner der Klassen B und C.

Es werden die Lastfälle I und II unterschieden:

Lastfall I: Das Altrohr trägt mit: Die Überbrückung eines definierten Lochdurchmessers, eines Muffenspalts und einer Imperfektion in Längsrichtung durch den Liner ist nachzuweisen.

Lastfall II: Das Altrohr trägt auf Dauer nicht mehr mit: siehe Regelung im 7.6.4.3.

Im Fall verklebter Liner ist ein unverklebter Bereich der Größe $2d_L$ (d_L Lochdurchmesser infolge von Korrosion) anzunehmen. Als genähertes Berechnungsmodell kann die Kreisplatte gewählt werden. Zudem ist bei verklebten Linern und Altrohrzustand II oder III die Gefahr einer Rissaufweitung gegeben, verbunden mit hohen örtlichen Dehnungen des Liners.

Klasse A		Klasse B		Klasse C	Klasse D
					
locker sitzend		eng anliegend		eigene Ringsteifigkeit	beruht auf einer Klebeverbindung
unabhängig		interaktiv			
voll statisch belastbar		semi-statisch belastbar			nicht statisch belastbar
Rohrstrang-Lining					Diese Internationale Norm ist nicht anwendbar
	Close-Fit-Lining				
	Vor Ort härtendes Schlauch-Lining		Schlauch-Lining mit Klebebeschichtung		

ANMERKUNG Die Punkte in den Abbildungen der Klassen C und D stellen die Klebeverbindung dar.

Bild 20: Klassifizierung von Linern in Druckleitungen und Zusammenhang zwischen den Technikfamilien innerhalb des Anwendungsbereichs der Norm DIN EN ISO 11295 (Quelle: DIN EN ISO 11295:2010-08; wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für das Anwenden der DIN-Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist)

7.4.3 Altrohrzustand III

7.4.3.1 Belastungen (Einwirkungen)

Bei gerissenen Altröhren und zusätzlicher Inanspruchnahme der Tragwirkung des Bodens gelten die folgenden Einwirkungen:

- Erd- und Verkehrslasten, auf die Altröhroberfläche wirkend,
- Wasseraußendruck, auf die Lineroberfläche wirkend,
- Innendruck (Unterdruck, Einstau gegebenenfalls bis Oberkante Gelände),
- Eigenlasten,
- Wärmeeinwirkungen (Abkühlung oder Erwärmung).

Die zu untersuchenden Einwirkungskombinationen in Verbindung mit dem maßgebenden Ringspalt ergeben sich aus Tabelle 13.

Anmerkungen:

Die Einwirkungskombinationen nach Tabelle 13 sind insbesondere dann zu untersuchen, wenn hoher Wasserdruck und hohe Erdlasten gemeinsam auftreten, z. B. bei hohem Grundwasserstand oder Hochwasser. Außerdem sind die Einzellastfälle zu untersuchen, gegebenenfalls mit Gelenkringaufweitung durch Erd- und Verkehrslasteinfluss nach Gl. (121).

Da beim Lastfall Wasserdruck ein großer Spalt maßgebend wird, beim Lastfall Erd-/Verkehrslasten dagegen der Spalt Null, ist bei der Lastkombination nicht von vornherein zu erkennen, mit welcher Spaltgröße diese zu berechnen ist: mit 0 oder > 0 nach Tabellen 5, 6 oder 7. Daher werden beide Möglichkeiten eines Ringspalts in Form der Lastkombinationen 3a und 3b betrachtet.

Der Einzellastfall Wasserdruck ist nach Altrohrzustand II zu berechnen, siehe Tabelle 12.

Tabelle 13: Last-/Einwirkungskombinationen (LK) für Altrohrzustand III

Einwirkung		Ringspalt	Eigenlast	Wasserdruck	Erd-/Verkehrslast	Erwärmung	Abkühlung	Wasserfüllung	Innendruck
Altrohrzustand	LK	ω_s	g	p_a	q_v	g^+	g^-	W	p_i
III	2	0	x	–	x	–	–	–	–
III, Interaktion	3a	$\geq 0,5$	x	x	x	(x) ¹⁾	–	–	–
III, Interaktion	3b	0	x	x	x	(x) ¹⁾	–	–	–
III	4	$\geq 0,5$	x	–	–	–	–	x ²⁾	x ³⁾

ANMERKUNGEN

- 1) Mit für Erwärmung reduziertem Wert für E_L .
- 2) Dieser Lastfall kann bei Eiprofilen maßgebend werden, für die Wasserfüllung im Zusammenhang mit größeren Spaltweiten untersucht werden soll.
- 3) Eiprofile: auch bei $p_i < 0,5$ bar erforderlichenfalls überprüfen.

7.4.3.2 Berechnungsmodelle

Zur Berechnung der Beanspruchungen des Liners sind die folgenden beiden Berechnungsmodelle möglich:

- Teilbettungsmodell oder Teilkontinuumsmodell,
- Vollbettungsmodell oder Vollkontinuumsmodell.

Bei Teilbettungs- und Teilkontinuumsmodellen bleibt ein Teil des Umfangs (z. B. ein 90°-Bereich im Scheitel) ungebettet. Die Teilbettungs- oder Teilkontinuumsmodelle liefern größere Beanspruchungen des Liners und sollten bei kleineren Erdüberdeckungen angewandt werden, und zwar bei

$$h < \text{ca. } 3 \cdot d_a \text{ oder } h < \text{ca. } 1,0 \text{ m} \quad (57)$$

Bei der Auswahl der Modelle insbesondere für geringe Überdeckungen ist ein geotechnisches Gutachten einzuholen.

Den Tafeln für die Schnittgrößenbeiwerte m_q und n_q und den Verformungen δ_v im Anhang E liegt das ungünstigere Teilbettungsmodell zugrunde.

Für größere Überdeckungen dürfen auch Vollbettungsmodelle nach Bild 21 verwendet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass im Scheitelbereich des Altrohrs die Gesamtbodenspannungen den folgenden Grenzwert nicht unterschreiten:

$$q_v \geq \lambda_R \cdot p_E \quad (58)$$

(Genauerer siehe 7.4.3.4, λ_R nach Gl. (63))

mit

$$p_E = \gamma_B \cdot h \quad (59)$$

Die Gln. (58) und (59) zeigen beispielhaft den Grenzwert für Boden ohne Grundwasser.

Beim Altrohrzustand III ist der Liner in einem vierfach längs gerissenen Altrohr gebettet, siehe Bild 19c. Die Längsrisse werden im theoretischen Modell als Momentengelenke mit der Exzentrizität e_G idealisiert. e_G wird als Bruchteil der Altrohrwanddicke t angesetzt.

Die Größe e_G ist vom Zustand der Druckzonen im Kämpferbereich der Altrohre abhängig, siehe Tabelle 14. Bei gemauerten Kanälen darf e_G/t nicht größer als 0,35 gewählt werden.

Kann eine doppelte Symmetrie des Modells nach Bild 21a oder 21b angenommen werden, so ist in der Regel ein Nachweis am $1/4$ -Kreis möglich. Bei Altrohrzustand III muss eine Gleichgewichtsgruppe aus $q_{v,d}$ = Scheitelbelastung und Bodenspannung in der Sohle angenommen werden.

In der Regel ist ein Berechnungssystem auf der sicheren Seite zu wählen, da die Auflagerbedingungen/Rohrbettung am Altrohr meist unbekannt sind. Werden Baugrunduntersuchungen zur Rohrbettung hierzu durchgeführt (z. B. Sondierungen in der Rohrsohle), so kann ein günstigeres System zugrunde gelegt werden.

Bei geringen Bodensteifigkeiten und hohem Wasserauflendruck ist beim Altrohrzustand II zu überprüfen, ob die Annahme eines unverschieblichen Altrohr-Bodensystems noch gegeben und der Liner starr gebettet ist. Ist dies nicht der Fall, so ist ein nachgiebiges Altrohr-Bodensystem zugrunde zu legen. Das anzuwendende Berechnungsmodell entspricht dem Altrohrzustand III mit der Lastkombination Wasserdruck sowie Erd- und Verkehrslasten.

Wie bei erdüberschütteten Rohren wird die Bettung des Altrohrs als *konstante radiale Bettung* angenommen. Die Berechnung der horizontalen Bettungssteifigkeit S_{Bh} erfolgt aus dem Verformungsmodul E_2 der Leitungszone:

$$S_{Bh} = 0,8 \cdot E_2^{7)} \quad (60)$$

E_2 ist mit geeigneten geotechnischen Untersuchungen zu ermitteln (z. B. Rammkernsondierung, Georadar, MAC-Verfahren⁸⁾). Zur Absicherung des Wertes für E_2 können die abgeklungenen Verformungen des längs gerissenen Altrohrs verwendet werden, siehe Anhang F.

Der Summe aus dem seitlichen Erddruck und dem Bettungsreaktionsdruck $q_h + q_h^*$ darf ohne genauen Nachweis den folgenden Grenzwert nicht überschreiten:

$$\max q_h = 0,75 \cdot K_p \cdot \lambda_B \cdot p_E \quad (61)$$

mit

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \varphi'/2) \text{ und} \quad (62)$$

$$\lambda_B \text{ nach Gl. (64)}$$

Diese Beschränkung wird dann maßgebend, wenn hohe seitliche Bettungskräfte zur Stabilisierung des Gesamtsystems in Anspruch genommen werden. In Gl. (61) berücksichtigt der Faktor 0,75 die zunehmenden Bodenverformungen vor dem Erreichen des passiven Erddrucks.

Im Falle der Überschreitung des Grenzwerts nach Gln. (61,62) sind die Bettungsreaktionsspannungen durch $\max q_h$ zu begrenzen (plastisches Bodenverhalten).

7) Zur Berücksichtigung des Winkels 90° des Bettungsreaktionsdrucks nach Bild 11 (ATV-DVWK-A 127:2000-08: 120°), Herleitung siehe NETZER et al. (1993).

8) Von THÉPOT (2012) wird eine kontinuierliche Messung des Bettungsreaktionsdrucks aus dem Rohrrinneren beschrieben.

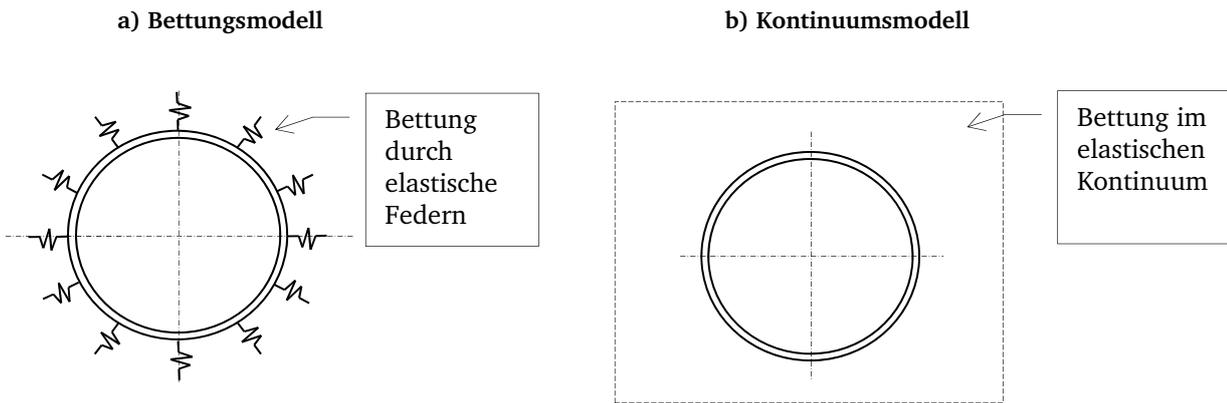


Bild 21: Modelle mit voller Bettung des Kreisrings

Tabelle 14: Wahl der Gelenkexzentrizität e_G in Abhängigkeit von der Altrohrdruckzone

Zustand der Altrohrdruckzone im Kämpfer	Bezogene Gelenkexzentrizität e_G/t	Zugehörige bezogene Druckzonenbreite b_D/t siehe Gl. (101)	Beispiel
Starke Schädigung <ul style="list-style-type: none"> sichtbare Abplatzungen geringe Druckfestigkeit erhebliche Korrosion 	$\leq 0,25$	$\geq 0,67$	
Normaler Zustand <ul style="list-style-type: none"> keine oder nur geringe Abplatzungen höhere Druckfestigkeit geringe Korrosion = Regelfall	0,35	0,40	
Guter Zustand: <ul style="list-style-type: none"> keine Abplatzungen hohe Druckfestigkeit keine Korrosion neuwertiges Rohr 	$\leq 0,45$	$\geq 0,13$	

7.4.3.3 Druckverteilung am Rohrumfang

7.4.3.3.1 Erdlasten

Der Spannungszustand über den Rohrumfang ist durch die Größen q_v und q_h bestimmt – die Bodenspannungen dürfen beim Altrohrzustand III (Altrohre vor der Sanierung vierfach längs gerissen oder erheblich korrodiert) wie folgt pauschal abgemindert werden:

$$\lambda_R = 0,75 \text{ und } \lambda_B = 1,08 \quad (63)$$

Ist der Fall nachzuweisen, dass das Altrohr erst nach der Sanierung vierfach längs reißt, so können die folgenden pauschalen Konzentrationsfaktoren angenommen werden, falls durch eine statische Berechnung des Altrohrs keine anderen Konzentrationsfaktoren begründet werden:

$$\lambda_R = 1,5 \text{ und } \lambda_B = 0,83 \quad (64)$$

Hinweis: Der Fall Gl. (64) darf mit den Kurzzeitkennwerten des Liners nachgewiesen werden. Zusätzlich ist in diesem Fall mit λ_R und λ_B nach Gl. (63) ein Langzeitnachweis zu führen.

7.4.3.3.2 Straßenverkehrslasten

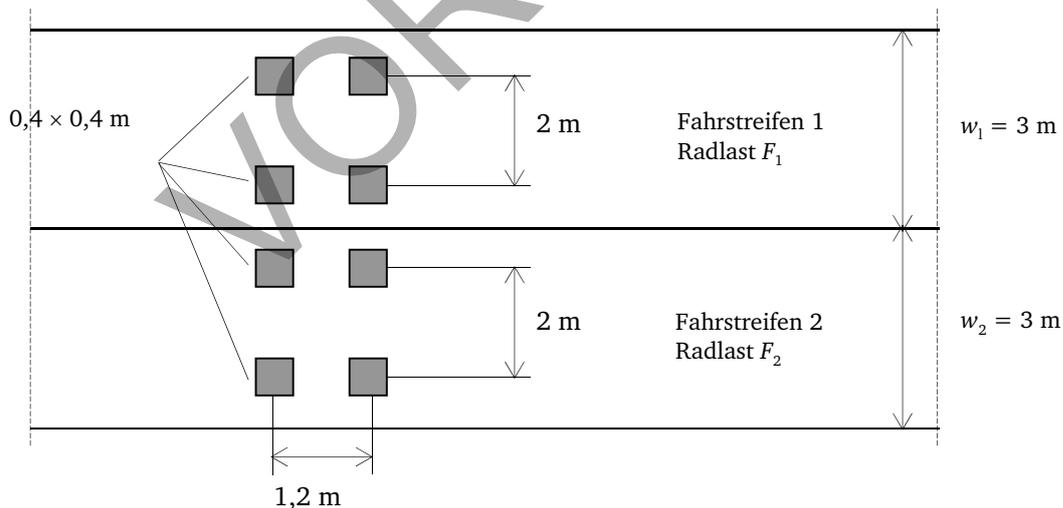
Die vertikalen Bodenspannungen p_T aus Straßenverkehrslasten sind nach den Diagrammen 1 bis 5 zu ermitteln. Der Stoßbeiwert ist in p_T enthalten. Aufgrund der Festlegung von $\alpha_Q = 1,0$ (statt 0,8 im DIN-Fachbericht 101) in DIN EN 1991-2 sind die Bodenspannungen p_T mit 1,25 zu multiplizieren.

Für Grünflächen und andere nicht durch das Tandemsystem in Bild 22 befahrene Bereiche kann die Bodenspannung p_T nach den Diagrammen 1 bis 4 mit dem Faktor 0,5 abgemindert werden.

Das Modell zur Ermittlung von p_T geht von einer mittragenden Länge des Rohrs durch Lastausbreitung unter 1:1,5 bis zur Rohrmittellinie aus. Diese Annahme ist bei Querrissen und Scherbenbildung nicht gültig. In diesen Fällen ist p_T in den Diagrammen 1 bis 4 für die Rohrlänge $L_R = 2 \text{ m}$ abzulesen.

Als Rohrlänge L_R ist für den Liner die Länge des Altrohrs maßgebend.

Bei Nachweisen für die Altrohre ohne Liner ist L_R die Länge des kürzesten Rohrs ($\geq 2 \text{ m}$) bzw. bei quer gerissenen Rohren der Abstand der Querrisse ($\geq 2 \text{ m}$).



mit $F_1 = 120 \text{ kN}$, $F_2 = 80 \text{ kN}$ bei $\alpha_Q = 0,8$

und $F_1 = 150 \text{ kN}$, $F_2 = 100 \text{ kN}$ bei $\alpha_Q = 1,0$

Bild 22: Lastbild nach DIN EN 1991-2:2010-12 (Lastmodell 1)

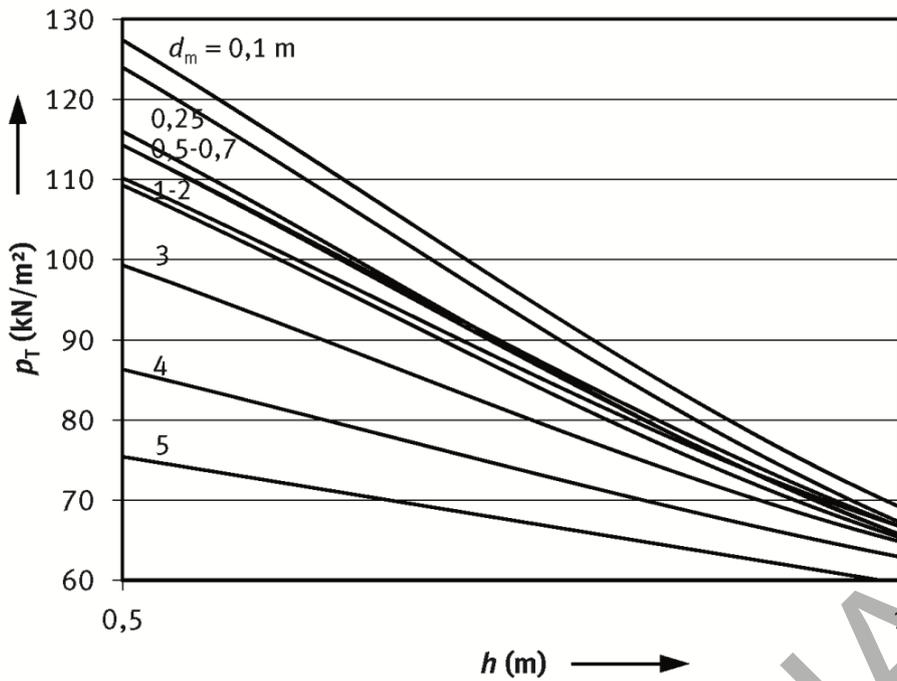


Diagramm 1: Vertikale Bodenspannungen bei Rohrlängen $L_R \leq 2$ m, Überdeckung $h < 1$ m

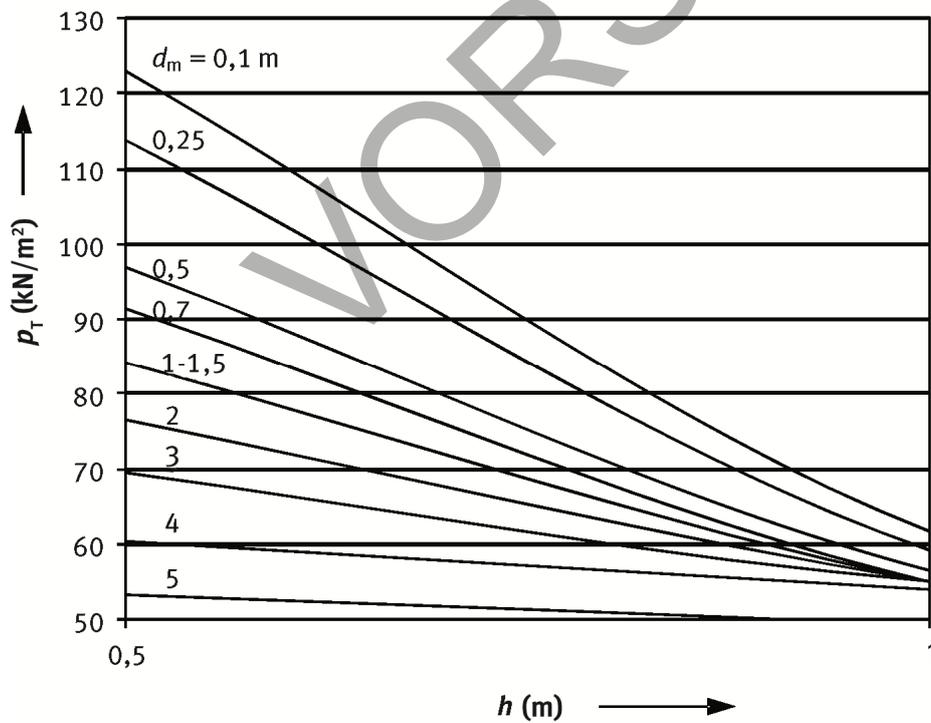


Diagramm 2: Vertikale Bodenspannungen bei Rohrlängen $L_R > 2$ m und ≤ 3 m, Überdeckung $h < 1$ m

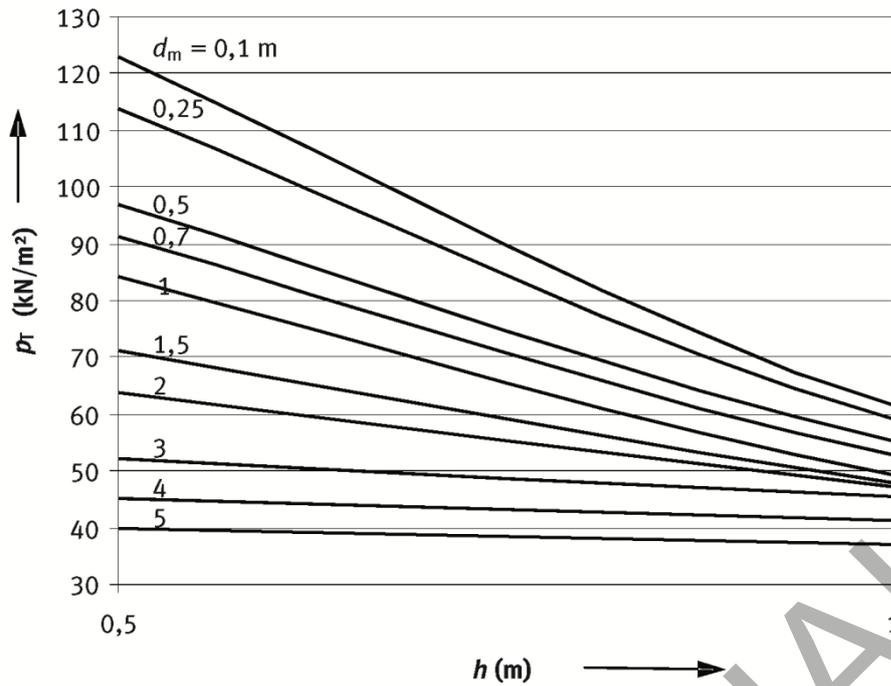


Diagramm 3: Vertikale Bodenspannungen p_T in kN/m^2 für $L_R \geq 4$ m, Überdeckung $h < 1$ m

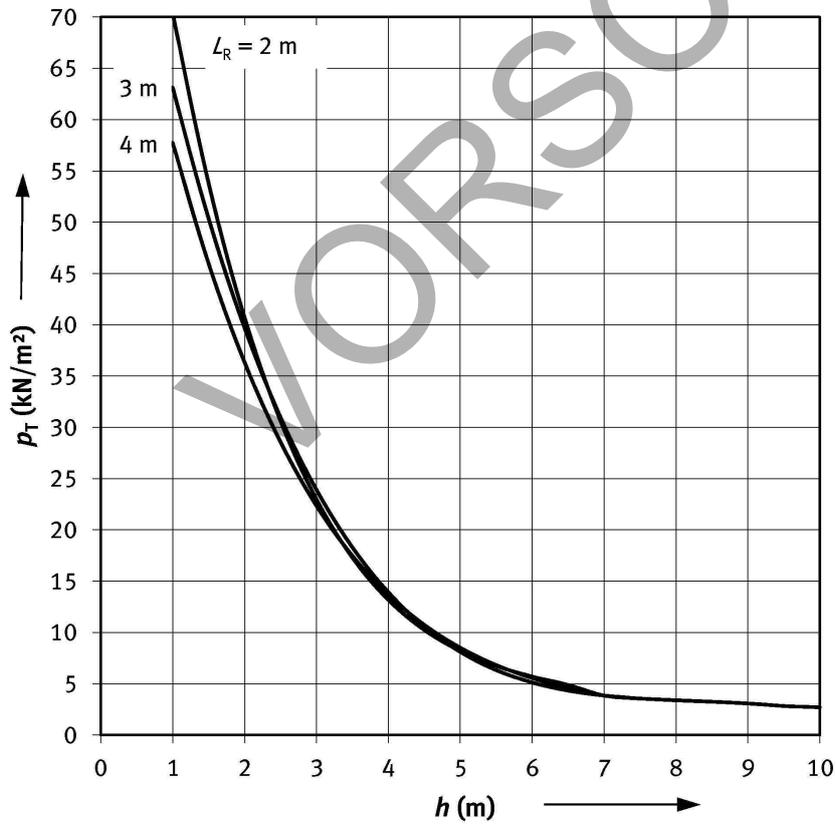


Diagramm 4: Vertikale Bodenspannungen p_T in kN/m^2 für $L_R = 2$ m bis 4 m, Überdeckung $h = 1$ m bis 10 m

Die folgenden Funktionen sind für die Programmierung der Bodenspannungen p_T nach Diagramm 4 geeignet:

Tabelle 15: Funktionen für die Programmierung von p_T für Überdeckungen $h = 1$ m bis 10 m

Rohrlänge	Vertikale Bodenspannung	Überdeckungshöhe
$L_R \leq 2$ m	$p_T = 0.0339 \times h^4 - 0.9964 \times h^3 + 11.073 \times h^2 - 56.371 \times h + 116.59$	$h = 1$ m bis 10 m
$L_R = 3$ m	$p_T = 0.0098 \times h^4 - 0.4036 \times h^3 + 5.9892 \times h^2 - 38.706 \times h + 96.232$	$h = 1$ m bis 10 m
$L_R \geq 4$ m	$p_T = 0.0161 \times h^4 - 0.5152 \times h^3 + 6.3943 \times h^2 - 37.212 \times h + 89.052$	$h = 1$ m bis 10 m

ANMERKUNG
Zwischenwerte können linear interpoliert werden. Bei Überdeckungen größer 10 m muss der 10-m-Wert angesetzt werden.

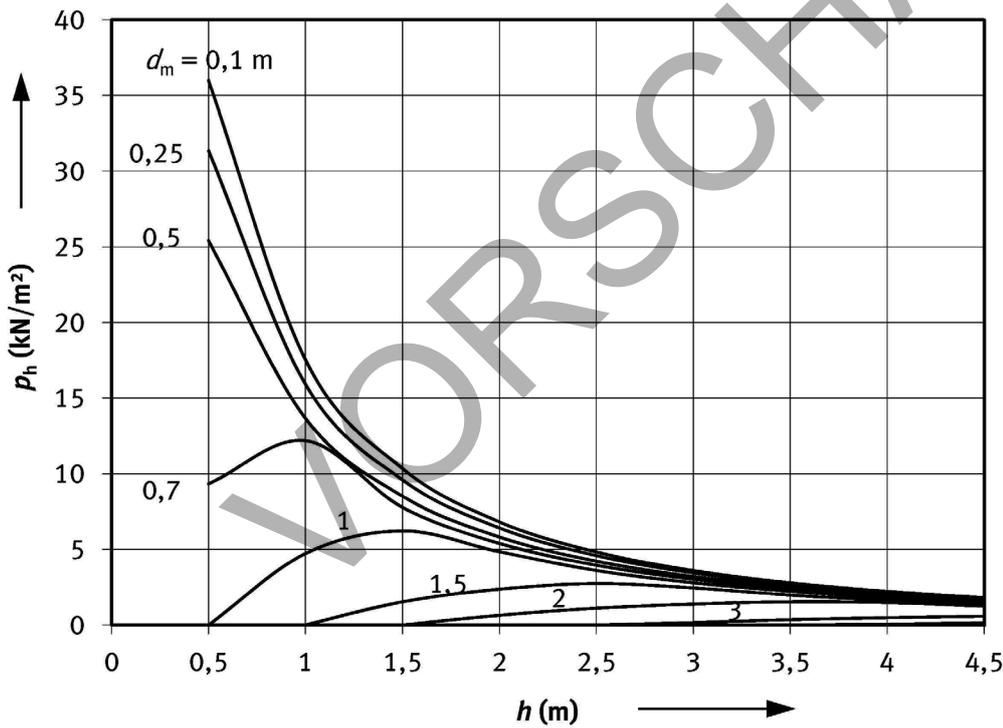


Diagramm 5: Horizontale Bodenspannungen, Überdeckung $h \leq 4,5$ m, $K_2 = 0,4$

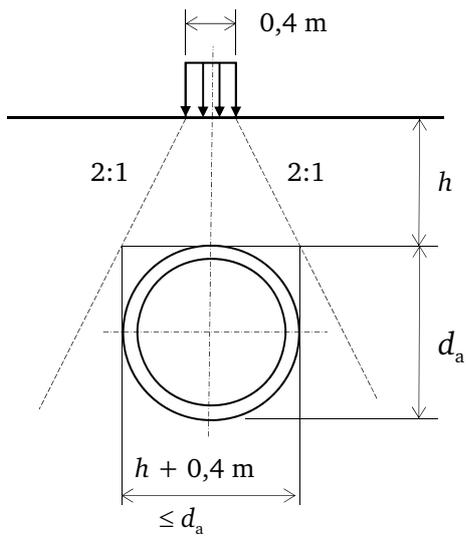


Bild 23: Geringe Überdeckung

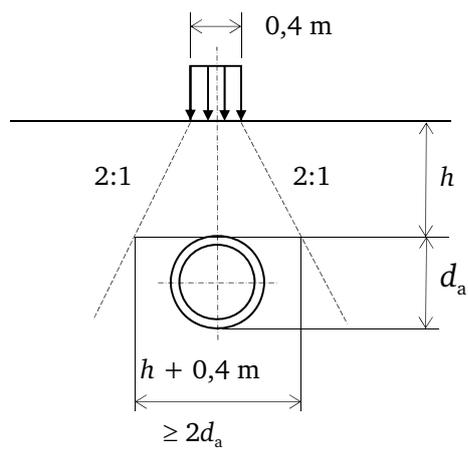


Bild 24: Ausreichende Überdeckung

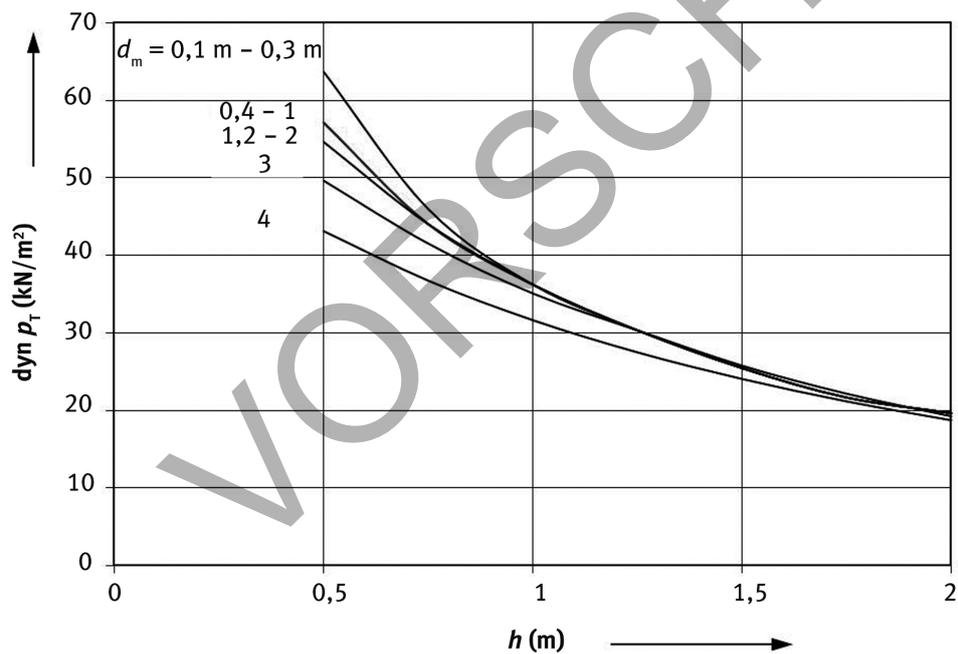


Diagramm 6: Vertikale Bodenspannungen $\text{dyn } p_T$ für den Ermüdungsnachweis unter Straßenverkehrslasten, gültig für alle Rohrlängen

Für den Ansatz **horizontaler Bodenspannungen** aus Verkehrslasten mit entlastender Wirkung gelten die folgenden Kriterien:

Fall 1: $(h + 0,4)/d_a \leq 1 \rightarrow p_{Th} = 0$ (65)
siehe Bild 23

Fall 2: $(h + 0,4)/d_a \geq 2 \rightarrow p_{Th} = K_2 \cdot p_{T,K} / \varphi$ (66)
siehe Bild 24

mit $\varphi = 1,2$ und der vertikalen Bodenspannung aus Verkehrslasten neben den Rohrkämpfern:

$$p_{T,K} = \frac{F_1}{(h + 0,4 + d_a / 2)^2}$$

mit

F_1 Radlast des Tandemsystems (Lastmodell 1),
siehe Bild 22

h, d_a in m

Zwischenwerte zwischen Fall 1 und Fall 2 werden linear interpoliert:

$$p_{Th} = K_2 \cdot p_{T,K} / \varphi \cdot (h + 0,4 - d_a) / d_a$$
 (67)

Der Grenzfall nach Gl. (65) wird dadurch definiert, dass die Ausstrahlung der Radlast auf einer quadratischen Aufstandsfläche mit den Seitenlängen 0,4 m im Rohrscheitel den Rohraußendurchmesser erreicht, siehe Bild 23.

Der Ermüdungsnachweis ist mit den Lasten nach Diagramm 6 zu führen, siehe 7.6.5.

7.4.3.3 Eisenbahnverkehrslasten

Bei der Ermittlung der vertikalen Spannungen im Boden infolge von Eisenbahnverkehrslasten wird die lastverteilende Wirkung von Schienen und Schwellen berücksichtigt (siehe Bild 25). Gerechnet wird nach Ril 836.2001 in Verbindung mit DIN EN 1991-2 mit einer vertikalen Bodenspannung p in Rohrscheitelebene in Abhängigkeit von der Überdeckung $h_{\ddot{u}}$ bis Oberkante Schwelle.

Das Lastmodell 71 (LM 71) entspricht dem früheren UIC 71.

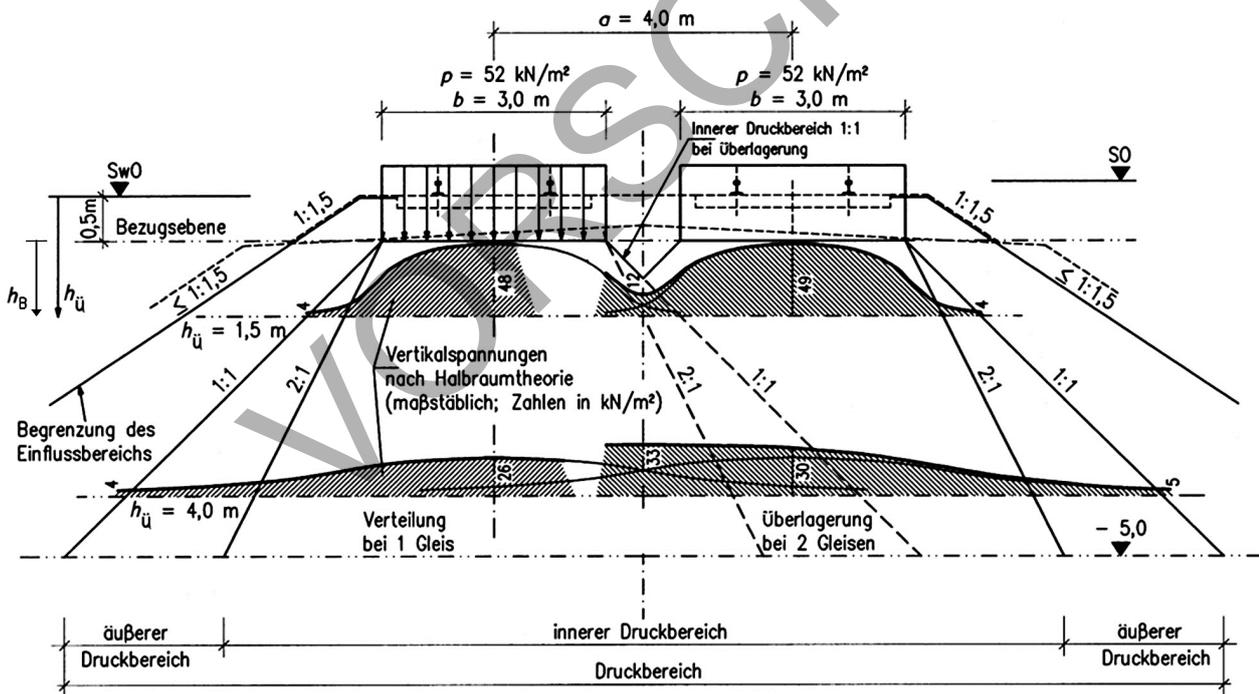
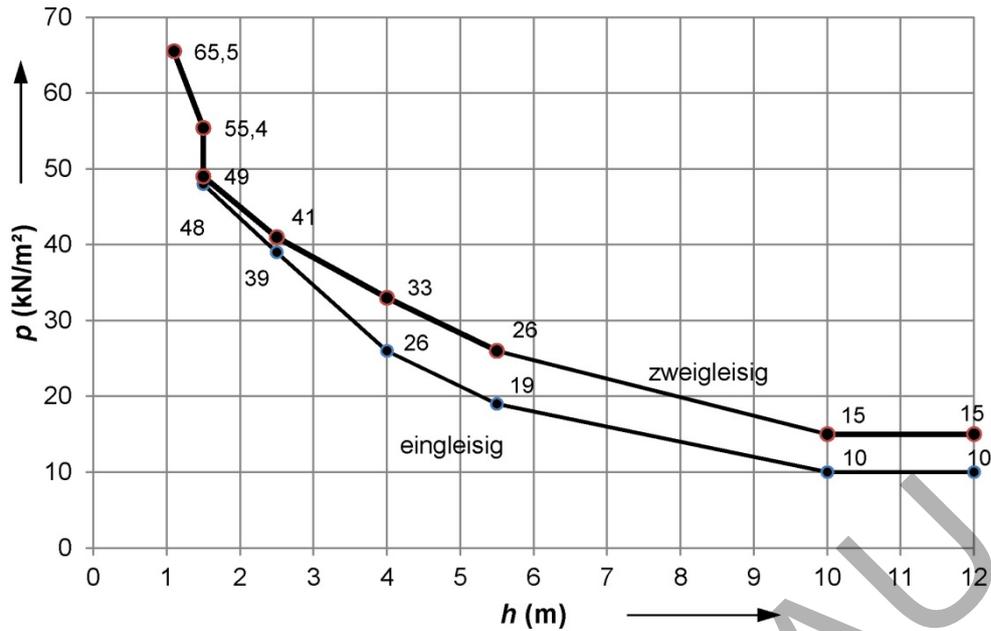


Bild 25: Ausbreitung der vertikalen Lasten aus Eisenbahnverkehr; Definition Druckbereich und Einflussbereich ($h_{\ddot{u}}$ entspricht h im Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127:2000-08)

Bild 26: Bodenspannung p infolge von EisenbahnverkehrslastenTabelle 16: Bodenspannungen p infolge von Eisenbahnverkehrslasten

Überdeckungshöhe (ab Schwellenoberkante) (m)	Spannung infolge von Belastung nach LM 71 (kN/m ²)	
	eingleisig	mehrgleisig
1,10	65,5	65,5
1,499	55,4	55,4
1,50	48	49
2,50	39	41
4,00	26	33
5,50	19	26
≥ 10,00	10	15

ANMERKUNG
Zwischen den angegebenen Werten darf linear interpoliert werden. Eine Extrapolation der Tabellenwerte für Überdeckungshöhen unter 1,1 m ist nicht zulässig.

Die Bodenspannung p in Höhe des Rohrscheitels kann Tabelle 16 bzw. Bild 26 entnommen werden.

Für Rohre unter Gleisen beträgt der Stoßbeiwert:

$$\phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82 \quad (68)$$

mit

$$1,0 \leq \phi_2 \leq 1,67$$

Für L_Φ ist die lichte Weite (Innendurchmesser) des Rohrs in Meter anzusetzen. Der reduzierte Stoßbeiwert bei Berücksichtigung der Überdeckung beträgt:

$$\text{red } \phi_2 = \phi_2 - 0,1 \cdot (h_{\ddot{u}} - 1,0) \geq 1,0 \quad (69)$$

$h_{\ddot{u}}$ muss in Meter eingesetzt werden.

Bei Überdeckungen von $h_{\ddot{u}} < 1,5$ m muss $\phi_2 = 1,67$ angesetzt werden.

Bei Rohren mit einem Innendurchmesser ≥ 2000 mm darf unabhängig von der Überdeckung nach DIN EN 1991-2 angewendet werden:

$$\phi_2 = \text{red } \phi_2 = 1,10 \quad (70)$$

Die vertikale Bodenspannung aus Verkehrslasten ergibt sich zu:

$$p_T = \text{red } \phi_2 \cdot p \quad (71)$$

mit

p aus Bild 26 und Tabelle 16

Der seitliche Erddruck aus Eisenbahnverkehrslasten darf berücksichtigt werden. Hierfür ist der vertikale Erddruck $p_{T,K}$ aus Verkehrslast in Höhe des Kämpfers zu ermitteln. Der horizontale Erddruck p_{Th} ergibt sich zu:

$$p_{Th} = (0,5 \cdot (\text{red } \phi_2 - 1) + 1) \cdot K_2 \cdot p_{T,K} \quad (72)$$

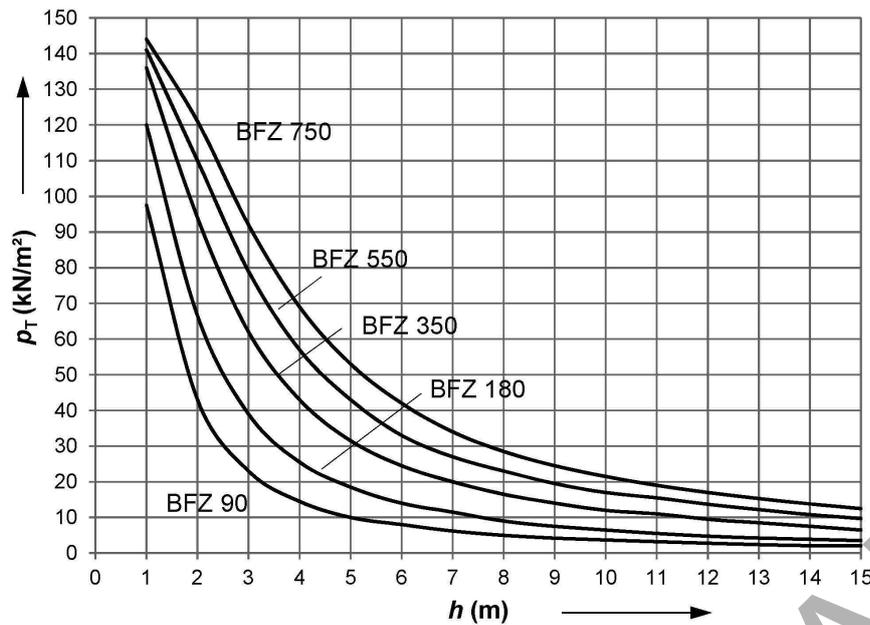
7.4.3.3.4 Flugbetriebslasten

Maßgebend sind die Angaben der jeweiligen Flughafenverwaltung. Soweit nicht andere Lasten vorgegeben werden, können der Berechnung die in Bild 27 dargestellten Lastbilder der Bemessungsflugzeuge zugrunde gelegt werden. Die Ziffer der BFZ-Angabe entspricht der Masse in Tonnen des maximalen Startgewichts. Die Bodenspannung p_T in Höhe des Rohrscheitels kann Bild 28 entnommen werden. Für Flugzeuglasten beträgt der maximale Stoßfaktor der maßgeblichen Hauptfahrwerke $\varphi = 1,5$. In der Bodenspannung p_T nach Bild 28 ist der Stoßbeiwert bereits eingeschlossen.

Der seitliche Erddruck aus Flugzeugverkehrslasten darf unter Berücksichtigung von K_2 angesetzt werden. Hierfür ist $p_{T,K}$ aus p_T in Höhe des Kämpfers ohne Stoßbeiwert zu ermitteln, d. h. die Bodenspannung aus Bild 28 ist durch den Stoßbeiwert 1,5 zu dividieren.

Bemessungsflugzeug	Aufstandsfläche der Hauptfahrwerke	Lastspannung
t	m	kN/m ²
BFZ 90		150
BFZ 180		150
BFZ 350		150
BFZ 550		150
BFZ 750		150

Bild 27: Lastbilder der Bemessungsflugzeuge (BFZ)

Bild 28: Bodenspannung p_T infolge von Flugzeugverkehrslasten

7.4.3.3.5 Gesamtlast, Bemessungswerte

Damit gilt für den Bemessungswert der vertikalen Auflast in Rohrscheitelebene:

$$q_{v,d} = \gamma_{F,G} \cdot \lambda_R (p_E + p_0) + \gamma_{F,Q} \cdot p_T \quad (73)$$

mit

p_E nach Gl. (59)

$\gamma_{F,G}$ Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen nach Tabelle 18 (siehe Abschnitt 8)

und

$\gamma_{F,Q}$ Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen nach Tabelle 18 (siehe Abschnitt 8)

Bei dauerhaftem Vorhandensein von Grundwasser wird die vertikale Auflast in Rohrscheitelebene mit der Wichte γ'_B des Bodens unter Wasser nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127:2000-08, Tabelle 1 ermittelt:

$$q_{v,A,d} = \gamma_{F,G} \cdot \lambda_R [\gamma'_B \cdot (h - h'_w) + \gamma'_B \cdot h'_w] + \gamma_{F,Q} \cdot p_T \quad (74)$$

mit

$h'_w = h_{w,so} - d_a$ Grundwasserhöhe über Rohrscheitel (dauerhaft)

Für den horizontalen Erddruck im Kämpfer gilt:

$$q_{h,d} = \gamma_{F,G} \cdot K_2 \cdot \gamma_B \cdot h + \gamma_B \cdot d_a / 2 + \gamma_{F,Q} \cdot p_{Th} \quad (75)$$

mit K_2 nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127:2000-08, Tabelle 9 und p_{Th} nach Gl. (67),

und bei dauerhaftem Vorhandensein von Grundwasser:

$$q_{h,A,d} = \gamma_{F,G} \cdot K_2 \cdot [\lambda_B \cdot \gamma'_B \cdot (h - h'_w) + \gamma'_B \cdot (h'_w + d_a/2)] + \gamma_{F,Q} \cdot p_{Th} \quad (76)$$

Mit $q_{v,d}$ und $q_{h,d}$ wird der rechnerische seitliche Erddruckbeiwert ermittelt:

$$K'_2 = \frac{q_{h,d}}{q_{v,d}} \quad (77)$$

Für den Bemessungswert des äußeren Wasserdrucks gilt:

$$p_{a,d} = \gamma_F \cdot \gamma_w \cdot \max h_{w,so} \quad (78)$$

mit

$\max h_{w,so}$ = Wasserhöhe über der Linersohle

Für

γ_F ist $\gamma_{F,Q}$ nach Tabelle 18 einzusetzen.

Bei Berechnungen z. B. mit der Finite-Element-Methode muss der Auftriebsanteil berücksichtigt werden.

7.4.3.4 Altrohrzustand III bei geringen Überdeckungen

In zunehmendem Maße werden auch flach überdeckte Rohrleitungen durch Liner saniert. Solche Fälle sind bei Vorhandensein von Längsrissen auch bei Gelenkringverformungen (Ovalisierungen) $\omega_{GR,v} < 6\%$ nach Altrohrzustand III nachzuweisen, siehe Tabelle 11. Ein Nachweis des Liners unter hohen Verkehrslasten aus dem Tandemsystem nach DIN EN 1991-2 kann im Vergleich mit höheren Überdeckungen zu deutlich erhöhten Linerwanddicken führen.

Vor der Wahl eines Sanierungsverfahrens muss eine sorgfältige Analyse der Rohrschäden und der Bodenkennwerte durchgeführt werden. Falls vertretbar, führen die folgenden Parameter in den meisten Fällen zu akzeptablen Wanddicken:

- Ansatz des Seitendrucks aus Verkehrslasten $q_h(p_T)$,
- Überprüfung der Bodenkennwerte, ob in der Nähe des Straßenplanums höhere Werte für E_2 und K_2 vertretbar sind,
- Ermittlung der Wanddicke t des Altrohrs, historische Rohrtabellen oder Annahme auf der sicheren Seite,
- Wahl der Gelenkexzentrizität e_G der Druckkraftübertragung gemäß Tabelle 14.

In jedem Fall ist bei Überschreiten des passiven Erddrucks neben den Kämpfern ein plastisches Bodengesetz entsprechend Gln. (61,62) zu verwenden.

Außerdem wird auf den zu führenden Ermüdungsnachweis im 7.6.5 hingewiesen.

7.4.3.5 Altrohrzustand III bei hohen Überdeckungen ($h > 5\text{ m}$)

Das Gesamtsystem mit gerissenen Altröhren verhält sich biegeweich. Der Konzentrationsfaktor wird pauschal $\lambda_R = 0,75$ angenommen, es wird keine Silowirkung angenommen, also $\kappa = 1,0$ gesetzt. Bei großen Verhältnissen h/d_a ist nach Arbeitsblatt DWA-A 161 eine geringere rechnerische Auflast möglich. In solchen Fällen kann die Erdlast bei Vorliegen eines geotechnischen Gutachtens nach Arbeitsblatt DWA-A 161 mit einem Faktor $\kappa < 1$ (aber $\lambda_R = 1$) berechnet werden.

Der zugehörige Wert K_1 kann aus dem Arbeitsblatt DWA-A 161:2014-04, Tabellen 3 und 4 entnommen werden oder er ist aus der durch Rammkernsondierung ermittelten Bodengruppe zu bestimmen.

7.5 Schnittkräfte, Spannungen, Verformungen

7.5.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die Schnittkräfte, Spannungen und Verformungen nur in Umfangsrichtung untersucht – in Richtung der Rohrachse werden die Belastungsverteilung sowie die Geometrie als konstant angenommen.

Bei Abweichungen hiervon sind gegebenenfalls Sonderuntersuchungen erforderlich. In vielen Fällen kann jedoch von einer Näherung auf der sicheren Seite ausgegangen werden, da mit dem zugrunde liegenden ebenen Tragmodell die Last verteilende Wirkung des Schalentragerwerks vernachlässigt wird.

Nicht auf der sicheren Seite liegen dagegen Schwächungen der Linerwand durch Auffräsen der seitlichen Anschlüsse ohne Verstärkung (siehe auch 7.9). In Längsrichtung orientierte Schwächungen sind gegebenenfalls durch Längsgelenke zu berücksichtigen.

Bei Linern mit einer tragenden hydraulisch abbindenden Ringraumverfüllung ist die Tragfähigkeit von Arbeitsfugen bei lagenweiser Verfüllung nachzuweisen. In Rissen dürfen nur Kontaktdruckspannungen, aber keine Zugspannungen angesetzt werden.

Eine eventuell vorhandene Verbundtragwirkung zwischen dem Kunststoff und dem Mörtel ist nur bei ausreichenden Druckspannungen in der Verbundfuge oder bei ausreichender Verdübelung möglich und in diesen Fällen über Bauteilversuche nachzuweisen. Eine Schwächung des tragenden Querschnitts durch Rippen bzw. Noppen ist unter Beachtung der Kerbwirkung nachzuweisen oder über Bauteilversuche festzulegen.

Eine umlaufend nicht gleichmäßige Dicke der als tragend angenommenen Hinterfüllung ist rechnerisch zu berücksichtigen.

7.5.2 Schnittkräfte bei Vorliegen von Altrohrzustand I und II

Die Rechenmodelle und -verfahren nach 7.4.2.2 führen zu nichtlinearen Beziehungen zwischen Belastung p_a und Biegemoment (sowie Verformung). Damit folgt, dass die m - und δ_v -Beiwerte von der Last und der Geometrie abhängig sind.

Die **Biegemomentenbeiwerte** m_{da} in Anhang D gelten für den **Altrohrzustand I** (siehe Bild 19a), für kreisförmige Liner und Liner mit normalem Eiquerschnitt mit über den Umfang konstanter Wanddicke, für Wasserau-

ßendruck p_a und für örtliche Vorverformungen und Ringspalte nach Tabellen 5 und 8; siehe Erläuterungen in Anhang D.1.

Für die **Biegemomentenbeiwerte** m_{pa} im Anhang D für den **Altrohrzustand II** (siehe Bild 19b) wird eine zusätzliche Gelenkringvorverformung (Ovalisierung) angesetzt; Näheres siehe Erläuterungen in Anhang D.1.

Für den **Normalkraftbeiwert** kann auf der sicheren Seite gesetzt werden:

$$n_{pa} = -1,5 \quad \text{beim Nachweis der Druckspannungen} \quad (79)$$

und

$$n_{pa} = -0,8 \quad \text{beim Nachweis der Zugspannungen} \quad (80)$$

Für Überschlagsrechnungen ist

$$n_{pa} = -1,0 \quad (81)$$

ausreichend.

Bei abweichenden Größen (andere Werte für DN, E_L , ω_v , $2\varphi_1$, $\omega_{GR,v}$, ω_s) und bei über den Umfang veränderlicher Wanddicke und Trägheitsmoment sowie bei von der Kreisform abweichenden Querschnitten (Maulprofil usw.) gelten andere Schnittkraftbeiwerte. Sie sind als nichtlineares Kontaktdruckproblem neu zu ermitteln.

Zwischenwerte, z. B. bei anderen Wanddicken t_L des Liners, dürfen mithilfe der Diagramme in Anhang D, wie in Anhang D.1 beschrieben, interpoliert werden.

Mit den Beiwerten m_{pa} und n_{pa} werden die Schnittkräfte infolge von Wasseraußendruck p_a für den Altrohrzustand I und II wie folgt ermittelt:

$$M_{pa,d} = m_{pa} \cdot p_{a,d} \cdot r_L^2 \quad (82)$$

$$N_{pa,d} = n_{pa} \cdot p_{a,d} \cdot r_L \quad (83)$$

Bei Innendruck $p_i > 0$ gilt

$$N_{pi,d} = + p_{i,d} \cdot r_L \quad (84)$$

Die Erd- und Verkehrslasten werden dem intakten Altrohr bzw. Altrohr-Bodensystem zugewiesen. Bei Korrosionsabtrag des Altrohrs (Verringerung der Wanddicke um Δt) ist dessen Standsicherheit zusätzlich nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 zu überprüfen.

7.5.3 Schnittkräfte bei Vorliegen von Altrohrzustand III

Abweichend vom Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127:2000-08 werden gemeinsame Schnittkraftbeiwerte m_q und n_q für die Bodenspannungen q_v , q_h und q_h^* angegeben, da aufgrund der notwendigen nichtlinearen Berechnung das Superpositionsprinzip nicht mehr gilt. Die Beiwerte sind von der Auflast $q_{v,d}$ abhängig – ein Abbruch der Berechnung bei steigender Belastung zeigt in der Regel ein Stabilitätsversagen an.

Die **Biegemomentenbeiwerte** m_q und **Normalkraftbeiwerte** n_q in Anhang E gelten für den Altrohrzustand III, für kreisförmige Liner und Liner mit normalem Eiquerschnitt (= Scheitelkreis des Eiquerschnitts) mit über den Umfang konstanter Wanddicke, für Erd- und Verkehrslasten q_v bei $K_2 = 0,20$, für $e_G = 0,25 t$ und für Gelenkringvorverformungen von 3 %, 6 % und 9 % des Linerradius (Ovalisierung), nähere Erläuterungen in Anhang E.1.

Die Schnittkräfte aus vertikaler Gesamtbelastung q_v bei gleichzeitiger Wirkung von q_h und q_h^* werden mit den folgenden Gleichungen berechnet:

$$M_{q,d} = m_q \cdot q_{v,d} \cdot r_L^2 \quad (85)$$

$$N_{q,d} = n_q \cdot q_{v,d} \cdot r_L \quad (86)$$

Bei Innendruck $p_{i,d} > 0$ gilt Gl. (84).

7.5.4 Spannungen

7.5.4.1 Linerspannungen bei Altrohrzustand I bis III

Mit den in 7.5.2 und 7.5.3 ermittelten Schnittkräften $M_{pa,d}$, $N_{pa,d}$ bzw. $M_{q,d}$, $N_{q,d}$ werden die Spannungen in der Innen- und Außenrandfaser des Liners berechnet zu:

$$\sigma_{i,d} = \frac{N_d}{A} + \alpha_{ki} \cdot \frac{M_d}{W_i} \quad (87)$$

$$\sigma_{a,d} = \frac{N_d}{A} - \alpha_{ka} \cdot \frac{M_d}{W_a} \quad (88)$$

mit den Korrekturfaktoren

$$\alpha_{ki} = 1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{t_L}{r_L} \quad (89)$$

9) Die Normalkraftbeiwerte n_q nach Anhang E gelten nur für den Fall, dass Längsrisse im Altrohr nicht durch Montageinnendrucke geöffnet werden, d. h. der Kontakt der Altrohrteile in den Längsrissen muss erhalten bleiben. Andernfalls entstehen höhere Beiwerte n_q als im Anhang E ermittelt.

und

$$\alpha_{ka} = 1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{t_L}{r_L} \quad (90)$$

zur Berücksichtigung der Krümmung der Linerwandung. Bei Eiprofilen und anderen vom Kreis abweichenden Profilen ist für den jeweiligen Bereich der zugehörige Radius r_L einzusetzen.

Die Gln. (87,88) und näherungsweise auch Gln. (89,90) gelten für glattwandige und profilierte Liner. Bei glattwandigen Linern lauten die Querschnittswerte

$$A = 1 \cdot t_L \text{ (mm}^2\text{/mm)} \quad (91)$$

$$W = W_i = W_a = \frac{1 \cdot t_L^2}{6} \text{ (mm}^3\text{/mm)} \quad (92)$$

A und W sind auf 1 mm Rohrlänge bezogen. Entsprechendes gilt für die in Gl. (87,88) einzusetzenden Schnittkräfte N_d und M_d .

Für die maximalen Schubspannungen in glattwandigen Linern gilt:

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} \text{ mit } A \text{ nach Gl. (91)} \quad (93)$$

Bei profilierten Linern gilt:

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S}{I \cdot t_{\text{Steg}}} \quad (94)$$

mit

S Flächenmoment 1. Grads und
 t_{Steg} Stegdicke

und bei geringen Stegflächen ($A_{\text{Steg}} < 0,45 A$) die folgende Näherung:

$$\tau_d = \frac{V_d}{A_{\text{Steg}}} \quad (95)$$

mit

A_{Steg} Fläche der Stege des Linerquerschnitts

Bei glattwandigen Linern mit Kreis- oder Eiprofil ist in der Regel kein Nachweis der Schubspannungen erforderlich. Bei sonstigen Querschnitten oder Profilen mit Störungen der Geometrie (z. B. Kabel, Berme) muss der Nachweis geführt werden.

7.5.4.2 Linerspannungen in Längsrichtung (Sonderfall)

Spannungen σ_x in Längsrichtung des Liners in einem Altrohr mit Muffenverbindungen (Gelenkkette) können u. a. in den folgenden Fällen auftreten:

- beim Abkühlen nach dem Aushärten,
- infolge von Setzungsunterschieden (Änderungen des Grundwasserstands, Aufschüttungen über der Rohrtrasse usw.),
- bei der Überbrückung von Fehlstellen in den Altrohren (siehe hierzu 4.2.1),
- bei geringen Überdeckungen und hohen Verkehrslasten,
- durch Abgrabungen bei Baumaßnahmen in der Nähe der Rohrtrasse,
- bei Linern in Druckleitungen ($\sigma_x = \frac{1}{2} \sigma_\phi$).

Für die Berechnung des Biegemomentes M_x und der Spannungen σ_x kann näherungsweise das Modell des elastisch gebetteten Balkens verwendet werden. Für diesen gilt die Biegesteifigkeit:

$$(EI)_x = E_x \cdot (\pi/64) \cdot (d_{L,a}^4 - d_{L,i}^4) \quad (96)$$

mit

E_x E-Modul des Liners in Längsrichtung
 I_x Flächenmoment 2. Grads des Kreisringquerschnitts (Liner)

Für die Bettungsziffer k des elastisch gebetteten Balkens kann gesetzt werden:

$$k = (S_{bh}/r_a) \cdot d_a = 1,2 \cdot E_B \quad (97)$$

mit

E_B Verformungsmodul des Bodens unter und gegebenenfalls über dem Rohr

Die Rohrspannungen werden wie folgt berechnet:

$$\sigma_x = M_x/W_x \quad (98)$$

mit

$$W_x = I_x/r_{L,a} \quad (99)$$

7.5.4.3 Altrohrspannungen bei Altrohrzustand II und III

Bei Altrohrzustand II kann und bei Altrohrzustand III muss die Übertragung der Kämpferdruckkräfte in den Druckzonen des Altrohrs nachgewiesen werden. Wird ein parabelförmiger Spannungsverlauf über einen Teil b_D der Wanddicke t nach Bild 29 angenommen, so gilt:

$$\sigma_d = 1,5 \cdot N_{k,d} / b_D \quad (100)$$

mit

$$N_{k,d} \cong -q_{v,d} (1 + \delta_h) \cdot d_a / 2 = \text{Druckkraft im Kämpfer}$$

und

$$\delta_h \cong \omega_{GR,v}$$

Nach Wahl der Gelenkexzentrizität gemäß Tabelle 14 folgt für die parabelförmige Verteilung der Druckspannungen die Druckzonenbreite b_D

$$b_D = 8 t / 3 \cdot (0,5 - e_G / t) \quad (101)$$

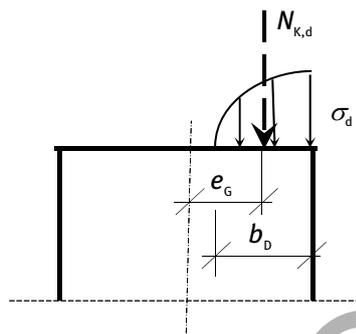


Bild 29: Parabelförmige Spannungsverteilung in der Kontaktzone der Kämpferlängsrisse

Bei begehbaren Kanälen ist die charakteristische Druckfestigkeit $\sigma_{D,AR,k}$ in der Regel durch Kernbohrungen zu ermitteln. Bei nicht begehbaren Profilen ist $\sigma_{D,AR,k}$ zu schätzen, z. B. mit 50 % eines neuwertigen Rohrs.

Der Nachweis für die Altrohrdruckspannungen lautet:

$$\frac{\sigma_d}{\sigma_{D,AR,d}} \leq 1 \quad (102)$$

Wird der Nachweis nicht erfüllt, so ist der Liner nach dem informativen Anhang K zu dimensionieren.

7.5.5 Dehnungen

Bei Rohrmaterialien, für die Bruchdehnungen ε_R angegeben sind, werden die Langzeit-Randfaserdehnungen aus den Spannungen nach Gl. (87,88) wie folgt ermittelt:

$$\varepsilon_d = \frac{\sigma_{d,LT}}{E_{L,LT}} \quad (103)$$

mit

$\sigma_{d,LT}$ Langzeit-Biegezugfestigkeit nach Tabelle 3 und

$E_{L,LT}$ Langzeit-E-Modul des Liners nach Tabelle 3

7.5.6 Verformungen (Gebrauchstauglichkeitsnachweis)

Die elastischen Verformungen $\delta_{v,el}$ für Altrohrzustand I und II sind in der Regel gering und daher nicht in den Anhang D aufgenommen.

Für Altrohrzustand III gelten die elastischen Verformungen nach Anhang E, Diagramme E.3 + E.6 und E.9 + E.12.

Die folgenden Größen sind zu den elastischen Verformungen $\delta_{v,el}$ zu addieren: Die spannungslose Vorverformung ω_v zu 50 %, da sie nur in der Sohle auftritt, und bei Altrohrzustand II und III die Gelenkringvorverformung $\omega_{GR,v}$ (Ovalisierung) zu 100 %.

$$\delta_v = \delta_{v,el} + \frac{\omega_v}{2} + \omega_{GR,v} \quad (104)$$

$\delta_{v,el}$ ist die elastische Durchmesseränderung. Beim Eiprofil ist die beidseitige Verformung der flachen Bereiche auf die Profilbreite B zu beziehen, $\omega_{GR,v}$ wird dabei nicht einbezogen.

Eine eventuelle Spaltbildung (konstanter Ringspalt w_s) ist in der Gl. (104) nicht zu berücksichtigen. Die Größe w_s ist jedoch für die hydraulische Bemessung von Bedeutung. Die Verringerung des Rohrquerschnitts aus w_s beträgt

$$\Delta A(\omega_s) = 2 \cdot \omega_s \quad (105)$$

Hinzu kommen noch Abzüge für die Linerwanddicke t_L und die Dicke einer eventuellen Verfüllmaterialschicht.

7.6 Bemessung

7.6.1 Allgemeines zum Nachweisformat mit Teilsicherheitsbeiwerten

Die Nachweisformate lauten allgemein:

$$\frac{S_d}{R_d} \leq 1 \quad (106)$$

mit

S_d Bemessungswert der Einwirkungen
= Einwirkungen \times Teilsicherheitsbeiwert γ_F der Einwirkungen nach Tabelle 18

und

R_d Bemessungswert der Widerstände
= Festigkeit/Teilsicherheitsbeiwert γ_M der Widerstände nach Tabelle 19

7.6.2 Tragsicherheitsnachweis (Langzeit, ggf. auch Kurzzeit)

Die nach 7.5 ermittelten Spannungen bzw. Randfaserdehnungen im Bemessungszustand sind mit den Rechenwerten $\sigma_{bZ,d}$, $\sigma_{D,d}$ und $\varepsilon_{R,d}$ für Langzeitbedingungen aus Tabelle 3 zu vergleichen. Bei Annahme einer Rissbildung nach dem Lining können die höheren Kurzzeitbiegefestigkeiten angenommen werden. Aus dem Verhältnis der Biegezug-, der Druckspannungen und der Dehnungen folgt der Tragsicherheitsnachweis:

- für Zugspannungen/-dehnungen

$$\frac{\max \sigma_d}{\sigma_{bZ,d}} \text{ bzw. } \frac{\max \varepsilon_d}{\varepsilon_{R,d}} \leq 1 \quad (107)$$

- für Druckspannungen/-dehnungen

$$\frac{|\min \sigma_d|}{\sigma_{D,d}} \text{ bzw. } \frac{|\min \varepsilon_d|}{\varepsilon_{R,d}} \leq 1 \quad (108)$$

Bei Altrohrzustand III (Erdlasten p_E und Verkehrslasten p_T) kann mit gewichteten Festigkeiten wie folgt nachgewiesen werden:

$$\frac{\max \sigma_d}{\bar{\sigma}_d} \leq 1 \text{ und } \frac{|\min \sigma_d|}{\bar{\sigma}_d} \leq 1 \quad (109)$$

mit

$$\bar{\sigma}_d = \frac{\sigma_{d,LT} \cdot \lambda_R \cdot p_{E,d} + \sigma_{d,ST} \cdot p_{T,d}}{\lambda_R \cdot p_{E,d} + p_{T,d}} \quad (110)$$

Damit wird die Verkehrsbelastung als Kurzzeitbelastung berücksichtigt. Bei längeren Standzeiten des Schwerlastverkehrs (z. B. Parkplätze) ist statt $\sigma_{bZ,ST}$ eine zeitabhängige Festigkeit $\sigma_{bZ}(t)$ anzusetzen, z. B. $t = 30$ Tage. Diese Regelung gilt sinngemäß auch für die Druck- und Schubfestigkeit des Linerwerkstoffs.

Tritt auch Wasserdruck auf, so ist dieser der Langzeiteinwirkung Erdlasten zuzuschlagen:

$$\bar{\sigma}_d = \frac{\sigma_{d,LT} \cdot (\lambda_R \cdot p_{E,d} + p_{a,d}) + \sigma_{d,ST} \cdot p_{T,d}}{\lambda_R \cdot p_{E,d} + p_{a,d} + p_{T,d}} \quad (111)$$

Bei überwiegenden Zugspannungen (hoher Innendruck) und Wegfall der Stützwirkung des Altrohrs (großer Spalt, Altrohrzustand II oder III) ist anstelle der Biegezugfestigkeit $\sigma_{bZ,d}$ in Gl. (107) die Zugfestigkeit $\sigma_{Z,d}$ zu verwenden.

$$\frac{\max \sigma_{Z,d}}{\sigma_{Z,d}} \leq 1 \quad (112)$$

Bei profilierten Linern und bei UP-GF-Schlauchlinern (Sonderfall) kann der Schubnachweis maßgebend werden:

$$\frac{\max \tau_d}{\tau_{u,d}} \leq 1 \quad (113)$$

Für $\tau_{u,d}$ darf die scheinbare interlaminae Scherfestigkeit nach DIN EN ISO 14130 verwendet werden.

Treten bei Vorliegen des Altrohrzustands III gleichzeitig Erd- und Verkehrslasten q_v sowie äußerer Wasserdruck p_a auf, so dürfen die Spannungen wie folgt überlagert werden¹⁰⁾:

$$\left(\frac{\max \sigma_d(q_v)}{\sigma_{bZ,d}} \right)^{2,0} + \left(\frac{\max \sigma_d(p_a)}{\sigma_{bZ,d}} \right)^{1,0} \leq 1 \quad (114)$$

$$\left(\frac{|\min \sigma_d(q_v)|}{\sigma_{D,d}} \right)^{2,0} + \left(\frac{|\min \sigma_d(p_a)|}{\sigma_{D,d}} \right)^{1,0} \leq 1 \quad (115)$$

Der Interaktionsnachweis nach Gln. (114,115) ist im Fall eines für beide Einwirkungen q_v und p_a einheitlichen Modells nicht erforderlich, da dort die Lastkombinationen bereits nach Tabelle 13 durchgeführt werden.

10) Mit der Interaktionsgleichung wird näherungsweise berücksichtigt, dass bei einer Umfangsverkürzung des Liners durch Wasseraußendruck die Beanspruchungen aus Erd- und Verkehrslasten verringert werden.

7.6.3 Verformungsnachweis (Langzeit)

Es ist die vertikale Durchmesseränderung nach 7.5.6 ohne Berücksichtigung eines eventuellen konstanten Ringspalts mit dem zulässigen Wert zu vergleichen. Für den Langzeitnachweis gilt für die Verformungen des Altrohrs und des Liners gemeinsam als Anhaltswert:

$$\delta_v \leq 10 \%$$

Die elastischen Verformungen (ohne Vorverformungen) sind wie folgt zu begrenzen:

- Lastfall Wasserdruck:

$$\delta_{v,el} \leq 3 \%$$

- Lastfall Erd- und Verkehrslasten:

$$\delta_{v,el} \leq 6 \%$$

Im Bereich von Gleisen der DB AG generell:

$$\delta_{v,el} \leq 2 \% \text{ bzw. } w_{el} \leq 10 \text{ mm}$$

Bei vom Kreis abweichenden Querschnitten muss die Gesamtverformung auf den Mittelwert von Höhe und Breite, also auf $(B+H)/2$ bezogen werden.

7.6.4 Stabilitätsnachweis (Langzeit)

7.6.4.1 Allgemeines

Der Stabilitätsnachweis dient zur Ermittlung des Sicherheitsabstands zwischen der elastischen Durchschlaglast des Liners und der vorhandenen Belastung. Beim **Altrohrzustand I und II** ist der Nachweis für solche Einwirkungen erforderlich, die erhebliche Druckkräfte in der Linerwand erzeugen, z. B.:

- Wasseraußendruck,
- gegebenenfalls Temperaturänderung,
- Eigenlasten (bei größeren Nennweiten).

Beim Altrohrzustand III kommen hinzu:

- Erd- und Verkehrslasten.

7.6.4.2 Äußerer Wasserdruck p_a , innerer Unterdruck p_i

Bei alleinigem äußerem Wasserdruck p_a und/oder innerem Unterdruck p_i gilt für Liner mit Kreisquerschnitt

$$\text{krit } p_{a,d} = \kappa_{v,s} \cdot \alpha_D \cdot S_{L,d} \quad (116)$$

mit dem Durchschlagbeiwert

$$\alpha_D = 2,62 \cdot \left(\frac{r_L}{t_L} \right)^{0,8} \quad (117)$$

Für den Bemessungswert der Langzeit-Rohrsteifigkeit des Liners gilt für glattwandige Liner mit homogenem Wandaufbau und ausreichender Länge:

$$S_{L,d} = \frac{E_{L,d}}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{t_L}{r_L} \right)^3 = \frac{1}{\gamma_M} \cdot \frac{E_{L,k}}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{t_L}{r_L} \right)^3 \quad (118)$$

mit dem charakteristischen Langzeit-E-Modul $E_{L,k}$ in Umfangsrichtung nach Tabelle 3.

Bei orthogonal anisotropen Werkstoffen muss in Gl. (118) μ ersetzt werden durch:

$$\mu = \sqrt{\mu_x \cdot \mu_\varphi}$$

mit

μ_x Querkontraktionszahl in Längsrichtung bei Belastung in Umfangsrichtung

μ_φ Querkontraktionszahl in Umfangsrichtung bei Belastung in Längsrichtung

Für profilierte Liner gilt:

$$S_{L,d} = \frac{(EI)_{L,d}}{r_L^3} = \frac{1}{\gamma_M} \cdot \frac{(EI)_{L,k}}{r_L^3} \quad (119)$$

Hinweise: Ist kein Wert für μ nachgewiesen, so gilt in Gl. (118) $\mu = 0$. Bei profilierten Linern gilt stets $\mu = 0$. Bei dicht ($\leq DN/10$) hintereinanderliegenden Querfalten muss eine erneute Rechnung mit $\mu = 0$ durchgeführt werden.

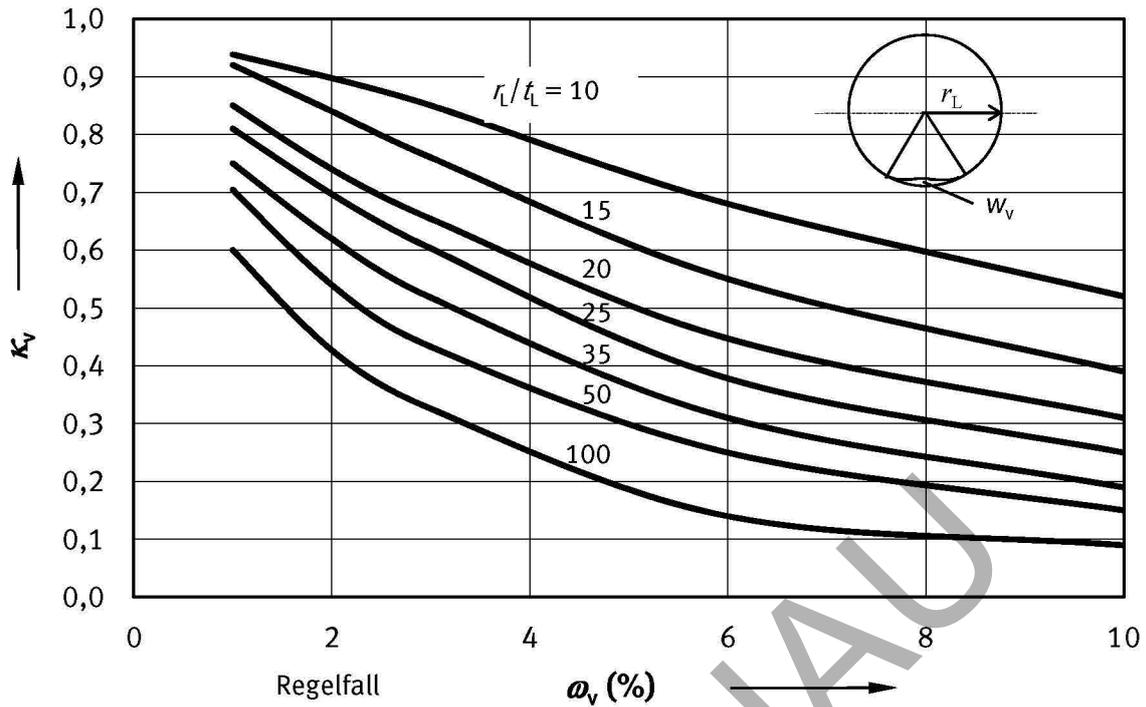


Diagramm 8: Abminderungsfaktor κ_v für örtliche Vorverformung

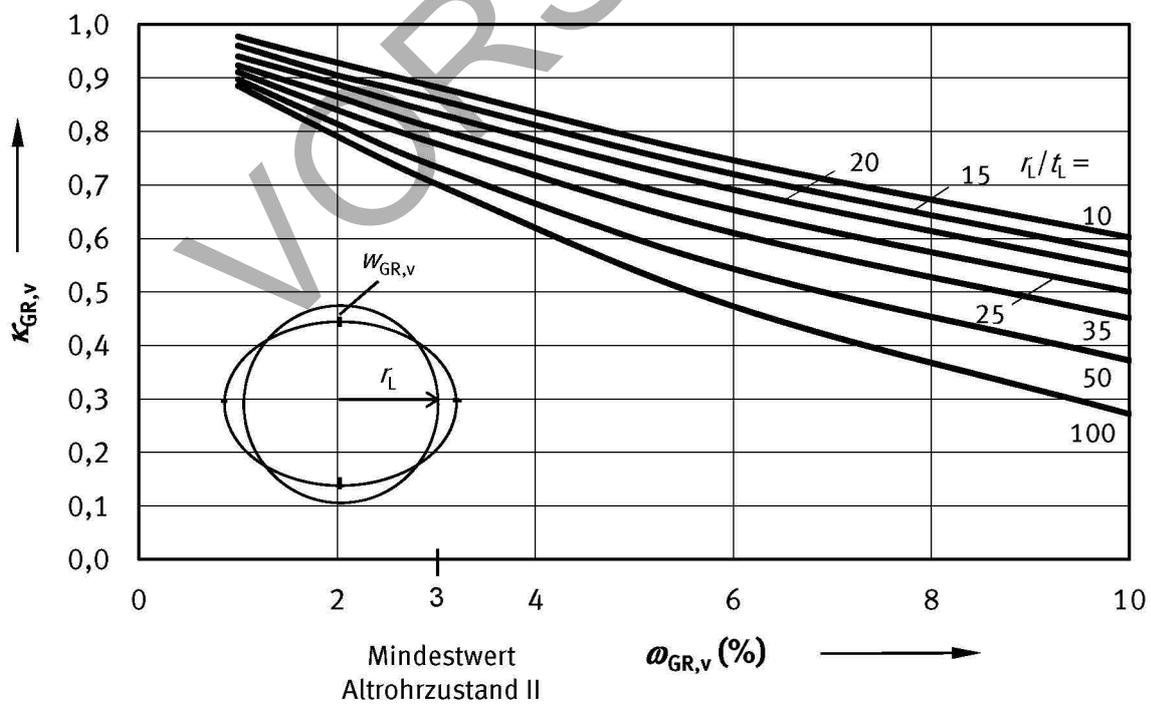


Diagramm 9: Abminderungsfaktor $\kappa_{GR,v}$ für Gelenkringvorverformung (Ovalisierung)

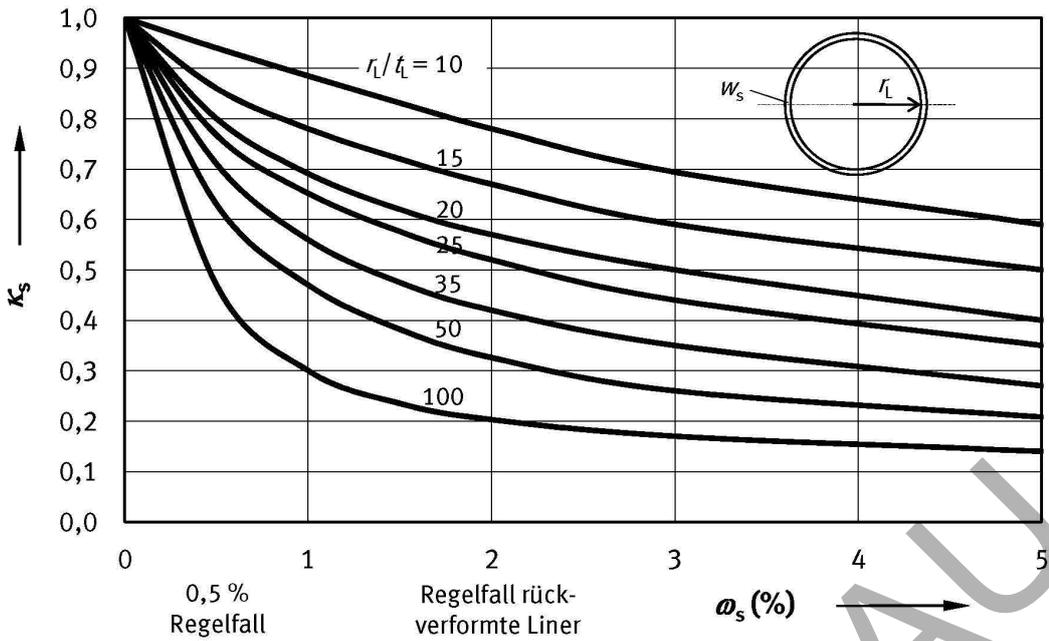


Diagramm 10: Abminderungsfaktor κ_s für Spaltbildung

Bei Altrohrzustand III ist für den Nachweis des Lastfalles Wasseraußendruck der nach 7.3.2 anzunehmende Ringspalt w_s um den Anteil Δw_s aus der Gelenkringaufweitung aus Lastkombination 3a nach Tabelle 13 zu erhöhen. Hierfür gilt:

$$\Delta w_s = \frac{2}{\pi} \cdot \left(\frac{t}{2} + e_G \right) \cdot \delta_{v,el} \quad (121)$$

Die Vergrößerung des Ringspalts Δw_s darf vernachlässigt werden, wenn sie weniger als 10 % des planmäßigen Ringspalts beträgt.

Sie muss nur im Falle von bleibenden zusätzlichen Lasten angesetzt werden (z. B. bei nachträglichen Aufschüttungen).

Die Gelenkexzentrizität e_G ist mit Tabelle 14 zu bestimmen, der elastische Verformungsanteil $\delta_{v,el}$ wird nach 7.5.6 ermittelt.

Bei profilierten Linerrohren ist r_L/t_L in Gl. (117) und in den Diagrammen 7 bis 10 durch den Parameter

$$k^* = r_L \cdot \sqrt{\frac{A_L}{12 \cdot I_L}} \quad (122)$$

zu ersetzen.

Die Gln. (116) bis (120) gelten nicht für vom Kreisquerschnitt abweichende Profile – hierfür ist eine gesonderte Berechnung durchzuführen. Ein Nachweis der Stabilität als Spannungsnachweis II. Ordnung mit γ_f -fachen Las-

ten, durch γ_M dividiertem E-Modul $E_{L,k}$ und Ansatz von Imperfektionen in Anlehnung an die Bilder 13a bis 13b ist zulässig. Dabei müssen bei nicht kreisförmigen Querschnitten die örtlichen Vorverformungen stets so angesetzt werden, dass sie dem ersten Eigenwert des zugehörigen Knickproblems ähnlich sind.

Der äußere Wasserdruck $p_{a,d}$ ist der auf die Linersohle bezogene hydrostatische Bemessungsdruck nach Gl. (78). Damit folgt der Nachweis gegen Durchschlagen:

$$\frac{p_{a,d}}{p_{a,d,krit}} \leq 1 \quad (123)$$

Bei innerem Unterdruck (z. B. Unterdruck bei Druckstößen in Druckrohren) ist der Zähler der Gl. (123) durch $p_{i,d}$ zu ersetzen. Gegebenenfalls sind $p_{a,d}$ und $p_{i,d}$ gemeinsam zu berücksichtigen.

7.6.4.3 Innendruck p_i , Druckstoß

Die Normalkraft aus innerem Überdruck $p_{i,d} > 0$ wird mit Gl. (84) berechnet. Das Biegemoment aus alleinigem Überdruck darf gleich Null gesetzt werden.

Bei den Nachweisen ist zwischen kurzzeitigem Prüfdruck und langfristig wirkendem Betriebsdruck zu unterscheiden. Bei Annahme des Altrohrzustands II oder III sind die Nachweise mit der Zugfestigkeit σ_z des Linerwerkstoffs zu führen.

Äußerer Wasserdruck $p_{a,d}$ (langzeitig wirkendes Grundwasser) und innerer Unterdruck $p_{i,d} < 0$ (kurzzeitiger innerer Unterdruck nach Druckstoß) sind ungünstig zu überlagern. Die Berechnung erfolgt mit gewichteten Werkstoffkennwerten:

$$\bar{E} = (p_{i,d} \cdot E_{ST} + p_{a,d} \cdot E_{LT}) / (p_{i,d} + p_{a,d}) \quad (124)$$

$$\bar{\sigma} = (p_{i,d} \cdot \sigma_{ST} + p_{a,d} \cdot \sigma_{LT}) / (p_{i,d} + p_{a,d}) \quad (125)$$

mit

$p_{a,d}$ nach Gl. (78)

Index ST Kurzzeitwert

Index LT Langzeitwert

Für $p_{i,d} < 0$ ist der Betrag einzusetzen.

7.6.4.4 Temperaturänderung $\Delta\vartheta$

Bei der Einwirkung **Abkühlung des Liners** ist der entstehende Spalt zwischen Liner und Altrohr:

$$\alpha_s(\Delta\vartheta < 0) = \varepsilon(\Delta\vartheta < 0) = \alpha_t \cdot |\Delta\vartheta| \quad (126)$$

zu berechnen und beim Nachweis für Außen-/innerer Unterdruck zu einem gegebenenfalls schon vorhandenen Spalt zu addieren, siehe Gl. (121).

Bei **Erwärmung des Liners** beträgt der kritische Kontaktdruck zwischen Liner und Altrohr:

$$\text{krit } p_{\vartheta,d} = \alpha_{\vartheta,\min} \cdot S_{L,d} \quad (127)$$

mit dem Durchschlagbeiwert (Minimum der Last-Verschiebungskurve):

$$\alpha_{\vartheta,\min} = 6,72 \cdot \left(\frac{r_L}{t_L} \right)^{0,8} \quad (128)$$

und der Rohrsteifigkeit $S_{L,d}$ des Liners nach Gln. (118,119).

Der durch die Erwärmung $\Delta\vartheta$ erzeugte Kontaktdruck beträgt:

$$p_{\vartheta,d} = \gamma_F \cdot \alpha_t \cdot \Delta\vartheta \cdot E_L(\vartheta) \cdot \frac{t_L}{r_L} \quad (129)$$

Bei Linerwerkstoffen mit von der Temperatur ϑ abhängigen Eigenschaften ist der E-Modul $E_L(\vartheta)$ einzusetzen. Abminderungsfaktoren A_2 für Temperaturerhöhungen bei Thermoplasten können der Richtlinie DVS 2205-2 und für UP-GF der BÜV-Empfehlung entnommen werden.

Damit folgt der Nachweis gegen Durchschlagen:

$$\frac{p_{\vartheta,d}}{\text{krit } p_{\vartheta,d}} \leq 1 \quad (130)$$

7.6.4.5 Eigenlasten

Das Durchschlagen von Linern unter Eigenlast ist nur bei größeren Nennweiten von Bedeutung. Die Anwendungsgrenze ist gegebenenfalls durch Vergleichsrechnungen festzulegen.

Für nicht verankerte Systeme gilt bei **spaltfreiem** Einbau

$$\text{krit } g_{L,d} \cong \kappa_v \cdot \alpha_D \cdot S_{L,d} \quad (131)$$

mit dem Durchschlagbeiwert:

$$\alpha_D \cong 2,03 \cdot \left(\frac{r_L}{t_L} \right)^{0,8} \quad (132)$$

dem Abminderungsfaktor κ_v für Vorverformungen nach den Diagrammen 7 und 8 und der Rohrsteifigkeit des Liners nach Gln. (118,119).

Damit folgt der Nachweis gegen Durchschlagen des Scheitels:

$$\frac{g_{L,d}}{\text{krit } g_{L,d}} \leq 1 \quad (133)$$

In der Sohle ist die Druckkraft maximal, daher ist gegebenenfalls auch ein Nachweis für die maximale Druckkraft in der Sohle zu führen.

Bei verankerten Systemen und bei nicht spaltfreiem Einbau sind die Nachweise nach Theorie II. Ordnung zu führen. Dabei muss der Einfluss von Vorverformungen an den folgenden Stellen berücksichtigt werden:

- **im Scheitel** = Stelle mit kleinerer Druckkraft, aber maximaler Spaltweite infolge der Umfangsverkürzung des Liners;
- **in der Sohle** = Stelle mit maximaler Druckkraft, jedoch ohne Spaltbildung vor dem Durchschlagen;
- **bei Eiprofilen** in den Seiten mit geringer Krümmung.

Bei Teilauskleidung des Gasraums, die im Sohlbereich verankert wird, ist der Schlupf und/oder die Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel, die in Gl. (131) **nicht** enthalten sind, zu berücksichtigen.

7.6.4.6 Erd- und Verkehrslasten

Beim **Altrohrzustand III** ist auch die Stabilität für den Lastfall Erd- und Verkehrslasten zu überprüfen. Es gilt eine zweiachsige Symmetrie, siehe Bild 3.

Als kritische Lasten in den Diagrammen 11 und 12 werden die Grenzwerte definiert, für die bei Ermittlung der Beiwerte m_q und n_q keine Konvergenz erzielt werden konnte.

Damit folgt der Nachweis gegen Erreichen der Stabilitätsgrenze des Gesamtsystems:

$$\frac{q_{v,d}}{\text{krit } q_{v,d}} \leq 1 \tag{134}$$

Die kritische vertikale Belastung $q_{v,d}$ in den Diagrammen 11 und 12 ist gültig für $t/r_i = 0,167$ (siehe z. B. Altrohr DN 300, $t = 25$ mm) und $K_2' = 0,2$.

Die kritischen vertikalen Belastungen $q_{v,d}$ der Diagramme 11 und 12 für DN 300 sind auch für andere Nennweiten näherungsweise gültig, wenn die Linerwanddicken in den Diagrammen wie folgt angepasst werden:

$$t_{L, DN300} = t_{L, DN} \cdot 300 / DN$$

Für von den Parametern in Diagramm 11 und Diagramm 12 abweichende Fälle ist es zulässig, den Stabilitätsnachweis als Spannungsnachweis mit γ -fachen Lasten nach Theorie II. Ordnung zu führen. Es gelten die Tragsicherheitsnachweise für:

- Zugspannungen/Dehnungen

$$\frac{\sigma_d}{\sigma_{bZ,d}} \text{ bzw. } \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_{R,d}} \leq 1 \tag{135}$$

und für

- Druckspannungen/Stauchungen

$$\left| \frac{\sigma_d}{\sigma_{D,d}} \right| \text{ bzw. } \left| \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_{R,d}} \right| \leq 1 \tag{136}$$

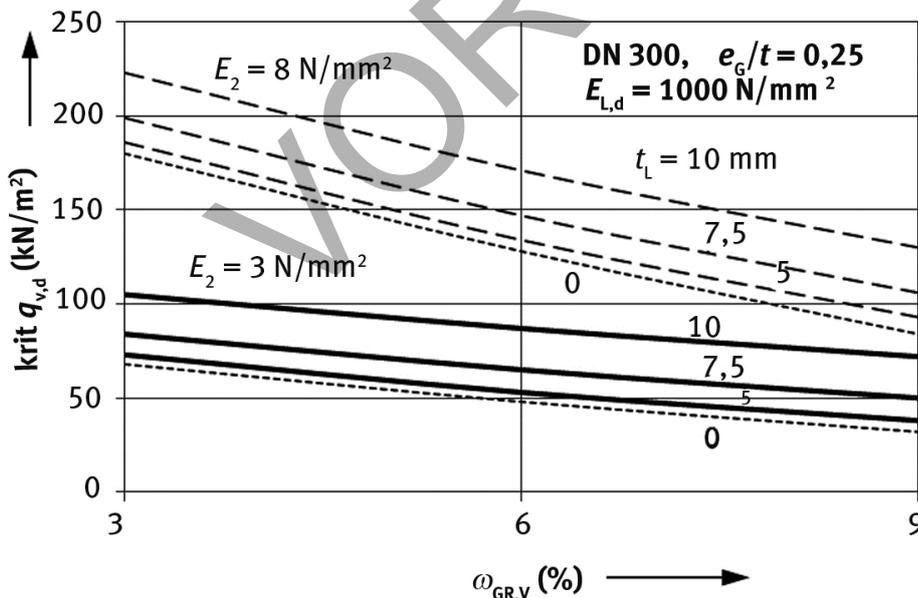


Diagramm 11: Kritische vertikale Belastung $q_{v,d}$ für UP-SF-Liner, DN 300, $e_G = 0,25 \cdot t$

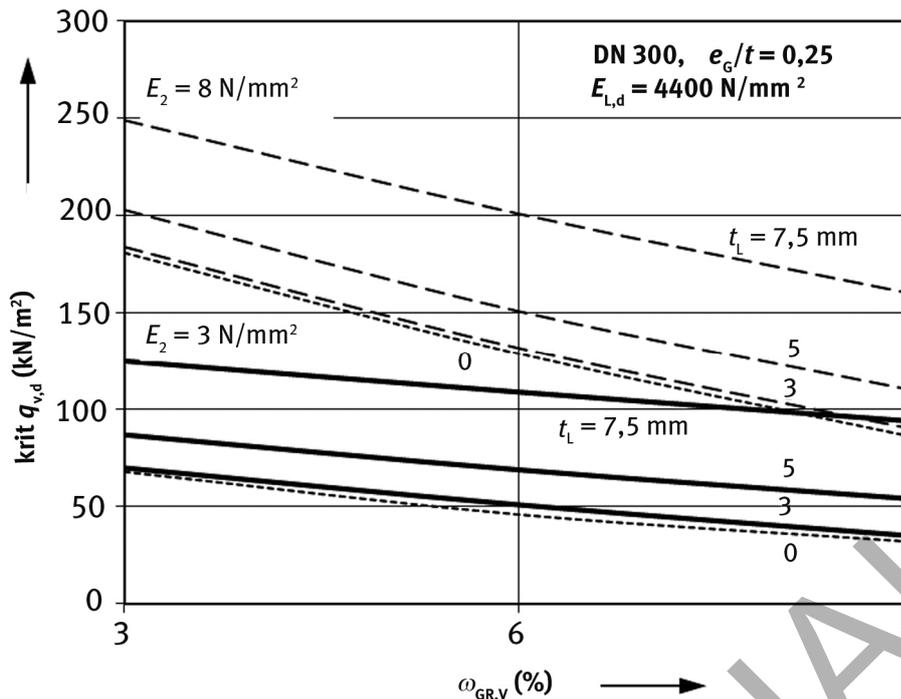


Diagramm 12: Kritische vertikale Belastung krit $q_{v,d}$ für UP-GF-Liner, DN 300, $e_G = 0,25 \cdot t$

7.6.4.7 Interaktion

Treten bei Vorliegen des Altrohrzustands III Erd- und Verkehrslasten q_v sowie äußerer Wasserdruck p_a gleichzeitig auf, so kann näherungsweise die folgende Interaktionsbeziehung verwendet werden¹¹⁾:

$$\left(\frac{q_{v,A,d}}{\text{krit } q_{v,d}} \right)^{2,0} + \left(\frac{p_{a,d}}{\text{krit } p_{a,d}} \right)^{1,0} \leq 1 \quad (137)$$

Beim Interaktionsnachweis darf der Erdlastanteil $p_{E,A}$ unter Auftrieb berechnet werden, damit folgt $q_{v,A,d}$. Die kritischen Lasten in Gl. (137) werden nach 7.6.4.6 sowie mit Gleichung (116) ermittelt. Dabei darf krit $p_{a,d}$ ohne Ansatz eines Ringspalts (w_s nach Bild 13c) berechnet werden.

Alternativ kann der Interaktionsnachweis am Gesamtsystem geführt werden. Es ist keine vertikale Symmetrieachse mehr vorhanden, siehe Bild 30a, b.

Zum Ansatz des Ringspalts ω_s beim Interaktionsnachweis am Gesamtsystem nach Bild 30 wird auf Tabelle 13 verwiesen.

7.6.5 Ermüdungsnachweis

Sind Verkehrslasten im Nachweis des Liners zu berücksichtigen, so ist ein Nachweis gegen Ermüden der Linerkonstruktion unter dem Gleiskörper von Eisenbahnen sowie unter Flugbetriebsflächen zu führen. Für Straßenverkehrslasten ist der Ermüdungsnachweis nur bei einer Erdüberdeckung $h < 1,5$ m erforderlich, wobei nur ein Fahrzeug angesetzt werden muss (siehe LM 3 nach DIN EN 1991-2). Die zu LM 3 gehörenden Bodenspannungen p_T sind Diagramm 6 zu entnehmen.

Das Eisenbahnbundesamt (EBA) hat im Rahmen individueller Einzelzulassungen für Werkstoffe (PE, PP-B, PRC und falls beantragt UP-GF) bestimmt, dass für die Festlegung der zulässigen Schwingbreite Lastwechselzahlen von 10^8 zugrunde zu legen sind. Diese sind dann beim Ermüdungsnachweis anzusetzen.

Bei Querungen in untergeordneten Nebengleisen, Anschluss-Gleisen oder Gleisen mit artreinem P-Verkehr wie S-Bahn darf bei Zustimmung des Infrastrukturbetreibers aufgrund kleinerer Radlasten und/oder geringeren Betriebszahlen von der Verkehrszusammensetzung, Standardmischverkehr und Schwerverkehr abgewichen werden und anstelle der dort genannten Lasttonnenansätze von 25 Mio. Lt/a $\cong 10^8$ Lastwechsel für die gesamte Nutzungsdauer mit reduzierten Lasttonnenansätzen (d. h. Lastwechsel $< 10^8$) gerechnet werden. Der Mindeststandard UIC-Kodex 774-1 von $5 \cdot 10^6$ Lastwechsel darf dabei nicht unterschritten werden.

11) Siehe Fußnote 10.

Zur Berechnung der Schwingbreite sind die Beanspruchungen aus den Verkehrsregellasten (TS, LM, BFZ) einschließlich Stoßbeiwert unter Abminderung mit dem Faktor α_T zu berechnen. Für Lasten von Schienenfahrzeugen gilt $\alpha_T = 1,0$, sofern der Schienenverkehrsträger keine besonderen Regelungen trifft.

Bei einer nachzuweisenden Sicherheit gegen Versagen bei nicht vorwiegend ruhender Belastung (Eisenbahnverkehrslasten) dürfen nur Liner eingesetzt werden, deren Schwingbreite genormt ist oder von einem amtlich anerkannten Prüfinstitut ermittelt wurde und durch Güteüberwachung gesichert ist. Diese Liner müssen für den Einsatz im Druckbereich von Eisenbahnverkehrslasten nach Bild 25 zugelassen sein.

Tabelle 17: Abminderungsfaktor α_T

Verkehrslast	Abminderungsfaktor α_T
LM 3	0,6
BFZ	0,6
LM 71	1,0

Für die dynamischen Last- und Schnittgrößenanteile gilt:

$$\text{dyn } p_T = \alpha_T \cdot p_T \tag{138}$$

$$\text{dyn } p_{T,h} = \alpha_T \cdot p_{T,h} / \varphi \tag{139}$$

mit $\varphi = 1,2$ für Straßenverkehrslast

$$\text{dyn } N_{p,T} = n_{p,T} \cdot \text{dyn } p_T \cdot r_L \tag{140}$$

$$\text{dyn } M_{p,T} = m_{p,T} \cdot \text{dyn } p_T \cdot r_L^2 \tag{141}$$

Die Beiwerte $n_{p,T}$ und $m_{p,T}$ können näherungsweise dem Anhang E bzw. Anhang K entnommen werden, wobei die Ablesung bei n_q und m_q erfolgt. In den Beiwerten ist die stützende Wirkung des Bettungsreaktionsdrucks enthalten.

Der dynamische Spannungsanteil errechnet sich zu

$$\text{dyn } \sigma_{p,T} = \frac{\text{dyn } N_{p,T}}{A} + \frac{\text{dyn } M_{p,T}}{W} \cdot \alpha_{ki} \tag{142}$$

mit

$$\alpha_{ki} \text{ nach Gl. (89)}$$

7.7 Fälle, für die keine Beiwerte vorliegen

Fälle, in denen keine Beiwerte für die Biegemomente, Normalkräfte, Verformungen und kritischen Belastungen $q_{v,d}$ vorliegen, sind durch eine gesonderte Berechnung als Kontaktdruckproblem zu untersuchen.

Dabei gelten die Angaben in 7.4.2.2 für die möglichen Berechnungsmodelle und Belastungen. Im Fall des gleichzeitigen Auftretens von Erd- und Verkehrslasten sowie Wasseraußendruck ist bei Altrohrzustand III die Auftriebswirkung des äußeren Wasserdrucks im gemeinsamen Tragmodell zu berücksichtigen. Das System ist daher zur horizontalen Achse unsymmetrisch, siehe Bild 30.

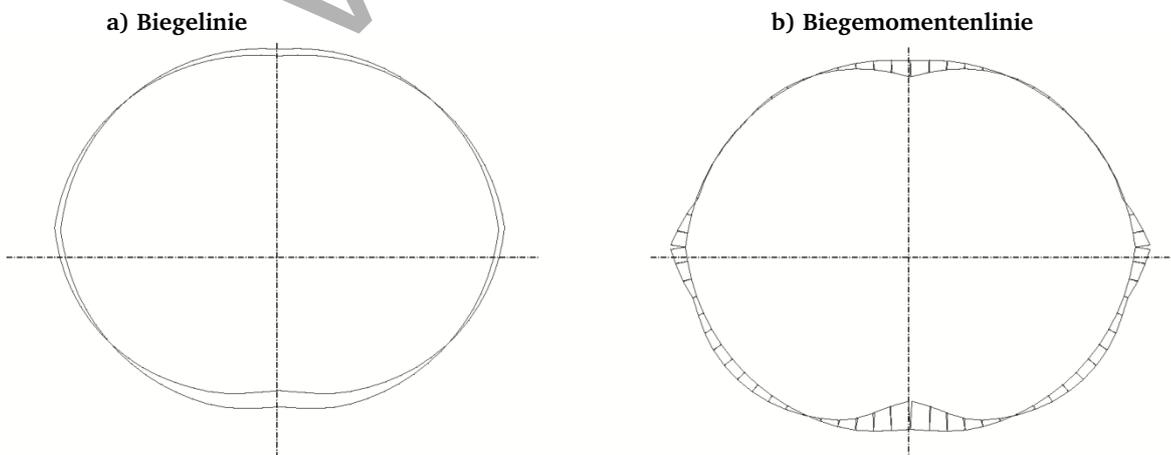


Bild 30: Gleichzeitig wirkende Erd-/Verkehrslasten und Wasseraußendruck

7.8 Anmerkungen zu Eiquerschnitten und anderen Querschnitten

7.8.1 Ersatzkreis beim normalen Eiquerschnitt ($B:H=2:3$)

Beim normalen Eiprofil kann für Berechnungen nach Altrohrzustand III ein Ersatzkreis mit dem Radius des Scheitelkreises zugrunde gelegt werden:

$$r_E = r_s \quad (= \text{Scheitelkreisradius}) \quad (143)$$

Für einen genäherten Beulnachweis des eiförmigen Liners unter Wasseraußendruck im Altrohrzustand I bis III kann der Ersatzradius:

$$r_E = 0,6 \cdot H - t_L/2 \quad (144)$$

verwendet werden.

Als Imperfektionen am Ersatzkreis für Eiprofile sind die Standardimperfektionen für Kreisprofile aus den Tabellen 5, 6 oder 7 anzusetzen.

Ein Interaktionsnachweis ist nicht erforderlich, da die für die Nachweise maßgebenden Stellen voneinander getrennt sind (Beulen infolge Wasseraußendrucks im flachen Bereich, Versagen infolge von Erd- und Verkehrslasten im Scheitelbereich).

7.8.2 Andere Profile

Bei vom Kreis- und vom normalen Eiprofil abweichenden Querschnitten sind für die durch Imperfektionen verursachten Abminderungen rechnerische Untersuchungen zu den Abminderungsfaktoren im Zusammenhang mit Messungen der Imperfektionen im Altkanal durchzuführen.

Bei Maulprofilen können in der flachen Sohle symmetrische oder unsymmetrische Vorverformungen maßgebend werden, siehe Bild 31. Daher sind mit beiden Vorverformungen getrennte Berechnungen durchzuführen.

Für die Horizontalkraft H (= Bogenschub) gilt:

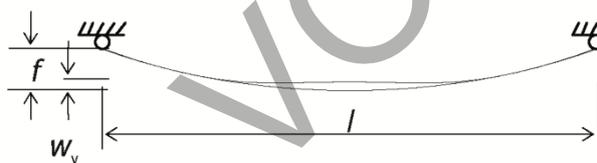
$$H = p_a \cdot l^2/8f \quad (145)$$

mit

f Bogenstich

Es ist nachzuweisen, dass die Horizontalkräfte von der Verfüllmaterialschicht und gegebenenfalls vom Altrohr aufgenommen werden können.

a) Symmetrische Vorverformung



b) Unsymmetrische Vorverformung (rechts)

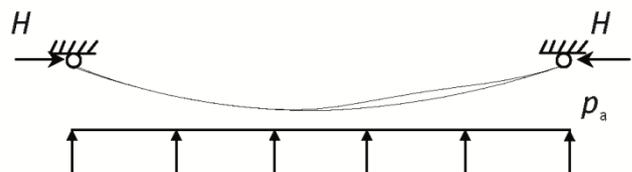


Bild 31: Sohle eines Maulprofils, Geometrie, Belastung durch Wasseraußendruck, symmetrische Vorverformung (links) und unsymmetrische Vorverformung (rechts)

7.9 Sonderprobleme

Bei anstehendem Grundwasserdruck wird der Liner im Bereich von Seitenanschlüssen geschwächt. Diese Schwächung ist durch eine entsprechende Ausführung des eingeklebten Hutprofils zu kompensieren. Bei geringen Nennweitenunterschieden (z. B. DN 250 an DN 300) ist eine dreidimensionale Berechnung des Anschlusses durchzuführen.

7.10 Nachweise mit Stabwerkmodellen und der Finite-Elemente-Methode

Abweichend von den Nachweisen nach 7.6 kann der Stabilitätsnachweis bei Beachtung der Grenzzustände im Boden auch mit einem nichtlinearen Stabwerkmodell oder mit der Finite-Elemente-Methode geführt werden.

Dabei sind:

- die Lastansätze nach 7.4 ohne q_h^* zu verwenden,
- die Auflockerungszone über dem Rohrscheitel zu berücksichtigen,
- γ_F -fache Lasten anzusetzen (γ_F nach Tabelle 18),
- die Widerstände (in der Regel der E-Modul) durch γ_M zu dividieren (γ_M nach Tabelle 19),
- Zugkräfte und Schub zwischen Altrohr und Liner sind im Rechenmodell auszuschließen,
- Lastkombinationen nach Tabellen 12 und 13 durchzuführen,
- die Federwerte aus S_{Bh} als diskrete Federn in engem Abstand ($\leq 5^\circ$) oder als konstante radiale Bettung mit dem Bettungsmodul $k_{sr} = S_{Bh}/r_m$ anzunehmen,
- die Imperfektionen nach 7.3 anzusetzen,
- begründete Annahmen über gegebenenfalls nichtlineares Materialverhalten des Linerwerkstoffs zu treffen.

Treten Auftriebslasten auf, so darf im Scheitelpbereich eine Bettung mit geringer Steifigkeit angenommen werden.

Bei Durchschlagphänomenen wie im Lastfall Wasseraußendruck ist die begrenzte Gültigkeit von Theorien kleiner Verformungen, also auch der Theorie II. Ordnung, zu beachten. Stabwerkprogramme nach Theorie II. Ordnung dürfen daher nicht ohne Abschätzung ihrer Gültigkeitsgrenzen verwendet werden.

7.11 Nachweise für Montageverfahren (Rohrsegment-Lining)

Die Nachweise der Abschnitte 7.4 bis 7.6 gelten sinngemäß auch für Schachtauskleidungen. Für Vollauskleidungen mit horizontalen Montagefugen sowie Teilauskleidungen (Sohle, Gasraum) müssen Verankerungen und Fugen berücksichtigt werden.

Die Festigkeiten der geklebten Verbindungen von Montagesegmenten müssen den Festigkeiten des Grundwerkstoffs entsprechen. Anderenfalls müssen die Tragsicherheitsnachweise unter Berücksichtigung der Schwächung in den Verbindungen geführt werden.

8 Sicherheitskonzept

Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen und Widerstände sind den Tabellen 18 bis 19 zu entnehmen.

Die Wahl der Sicherheitsbeiwerte erfolgte u. a. unter der Maßgabe, das Sicherheitsniveau der Vorgängervorschrift nicht zu unterschreiten und die damit verbundenen Erfahrungen weiter zu nutzen.

Für Gebrauchstauglichkeitsnachweise (Verformungsnachweis) kann $\gamma_F = \gamma_M = 1,0$ gesetzt werden.

Die Beiwerte gegen Versagen durch Instabilität gelten nur bei Berücksichtigung von Imperfektionen nach Bild 13 bis Bild 18.

Bei der Kombination von Einwirkungen nach Tabelle 12 und 13 können gegebenenfalls Kombinationsbeiwerte $\psi < 1$ nach Tabelle 20 verwendet werden.

Tabelle 18: Teilsicherheitsbeiwerte γ_F der Einwirkungen (Lasten)

Einwirkung	γ_F
Ständige Lasten (G) (Erdlasten, Eigenlast, ggf. Oberflächenlast, konzentrierte Flächenlast)	1,35
Veränderliche Lasten (Q) (Verkehrslasten außer Straßenverkehrslasten, Grundwasser usw.)	1,50
Straßenverkehrslasten	1,35
Kurzzeitiges Hochwasser	1,10 ¹⁾
Innendruck (inkl. Druckstoß)	1,50
Prüfdruck	1,20
Temperaturänderungen	1,10
Zwangsverformungen	1,10
ANMERKUNG	
1) Gilt nur bei Ansatz des Langzeit-E-Moduls, siehe 7.4.2.1.	

Tabelle 19: Teilsicherheitsbeiwerte γ_M der Widerstände (Werkstoff, E-Modul beim Beulnachweis)

Rohrwerkstoff	γ_M
Kunststoffliner, im Kanal ausgehärtet	1,35
Kunststoffliner, im Werk gefertigt (Extrusion und andere Verfahren)	1,25
Mörtelliner (bei Berücksichtigung von evtl. Kerbwirkungen in der Werkstoffprüfung)	1,50
Nichtrostender Stahl	1,15
Widerstand, günstig wirkend (z. B. Zwangsverformung des Liners bei Altrohrzustand III)	1,0
Altrohre aus Beton und Steinzeug für Nachweise der Altrohrdruckzonen nach Gl. (102)	1,50

Tabelle 20: Kombinationsbeiwerte ψ

Einwirkung in Kombination mit	ψ
Temperaturänderungen in Kombination mit Wasseraußendruck	0,7
Vorhandener Wasseraußendruck in Kombination mit Erd- und Verkehrslasten	0,9
Ersatzlast für Wasseraußendruck in Kombination mit Erd- und Verkehrslasten	0,7

Anhang A (normativ) Ermittlung der Baugrubenlänge und der Auflagerkräfte beim Einziehen/Einschieben des Rohrstrangs (Fall 2)

A.1 Erläuterungen

A.1.1 Rechenmodell

Es wird die erforderliche Einziehgrubenlänge l_G für den Fall 2 (Bild 5) ermittelt:

- freie Lagerung am oberen Baugrubenrand
- Einzug mit Spiel zwischen Altrohr und Liner

l_G ergibt sich aus den folgenden Bedingungen:

- vorgegebene Höhendifferenz h_G = Altrohrsohle bis Umlenkrolle am Baugrubenrand (abzüglich Spiel)
- maximal 3 % Dehnung bzw. Stauchung im Liner
- Einhaltung einer Beulsicherheit von 1,5 für die gedrückten Bereiche des Liners

A.1.2 Parameter

- PE-Linerrohre SN 2, SN 4, SN 8 und SN 16 nach DIN EN 12666-1/A1
- d_a = 160 mm bis 1000 mm
- spannungsabhängige E-Moduln: $E_{\sigma=3} = 970 \text{ N/mm}^2$ und $E_{\sigma=15} = 500 \text{ N/mm}^2$
- mittlere Temperatur $\vartheta = +20 \text{ °C}$
- ebenes Gelände ($\varphi_G = 0$) und vernachlässigbare Altrohrneigung ($\varphi_R = 0$)
- Spiel des Liners im Altrohr $\Delta h = d_i - d_{L,a} = 0$ bis $0,5 \cdot d_{L,a}$
- keine zusätzliche Unterstützung

A.1.3 Interpolation

Zwischen den Kurven darf interpoliert werden.

A.2 Diagramme zur Ermittlung der Baugrubenlänge und der Auflagerkräfte

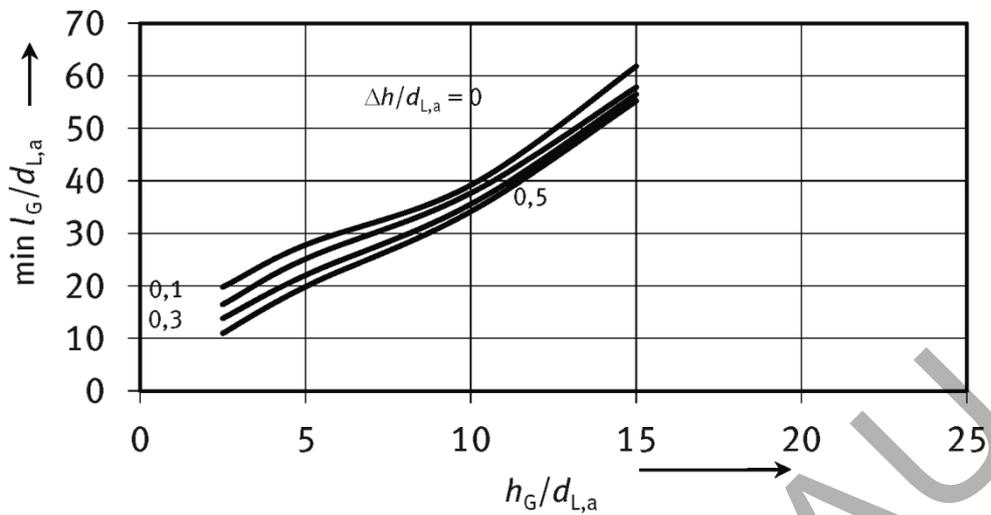


Diagramm A.1: Erforderliche Baugrubenlänge l_G für PE-Rohre SDR 33 (SN 2) beim Einziehen in ein Altrrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)

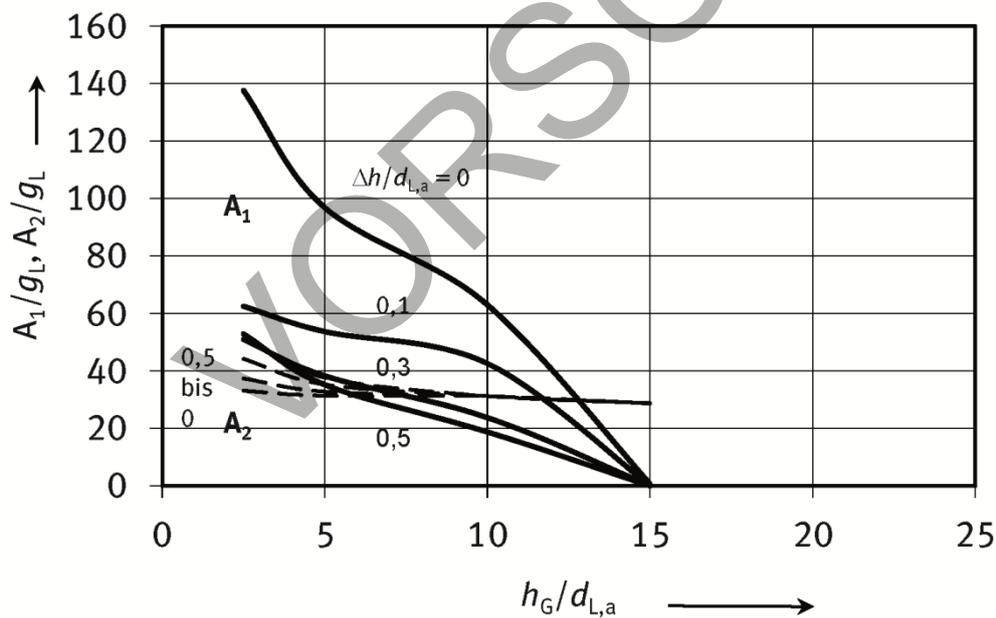


Diagramm A.2: Auflagerkräfte von PE-Rohren SDR 33 (SN 2) am Altrrohr (A_1) und am Baugrubenrand (A_2) beim Einziehen in ein Altrrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)

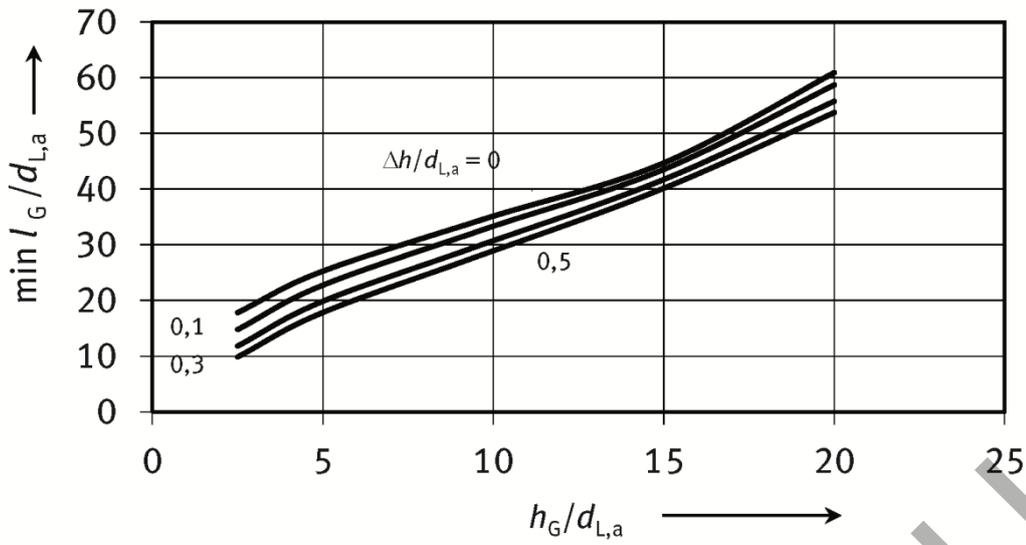


Diagramm A.3: Erforderliche Baugrubenlänge l_G für PE-Rohre SDR 26 (SN 4) beim Einziehen in ein Altrrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)

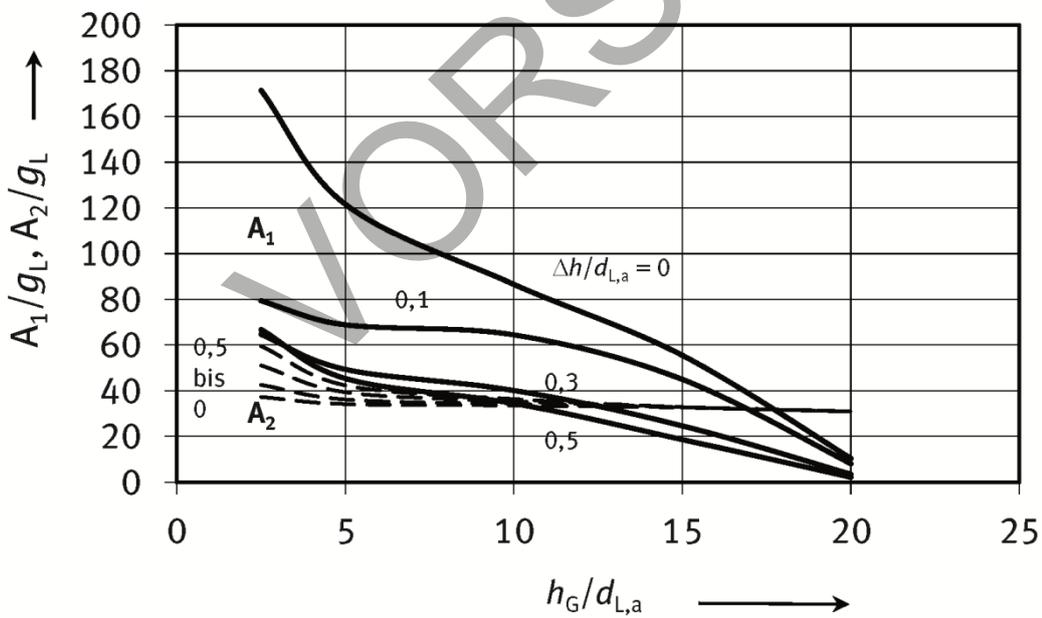


Diagramm A.4: Auflagerkräfte von PE-Rohren SDR 26 (SN 4) am Altrrohr (A_1) und am Baugrubenrand (A_2) beim Einziehen in ein Altrrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)

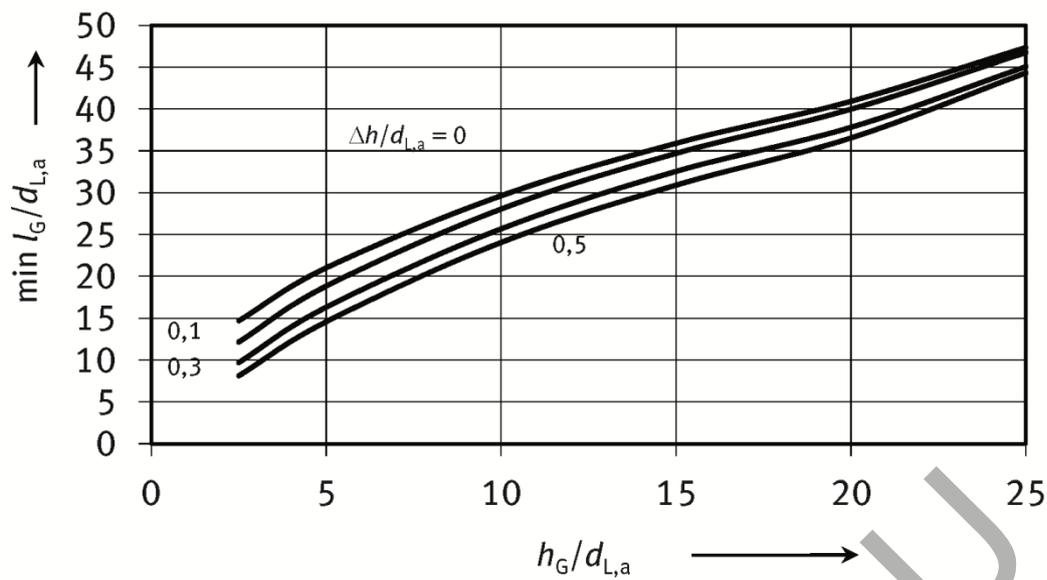


Diagramm A.5: Erforderliche Baugrubenlänge l_G für PE-Rohre SDR 21 (SN 8) beim Einziehen in ein Altrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)

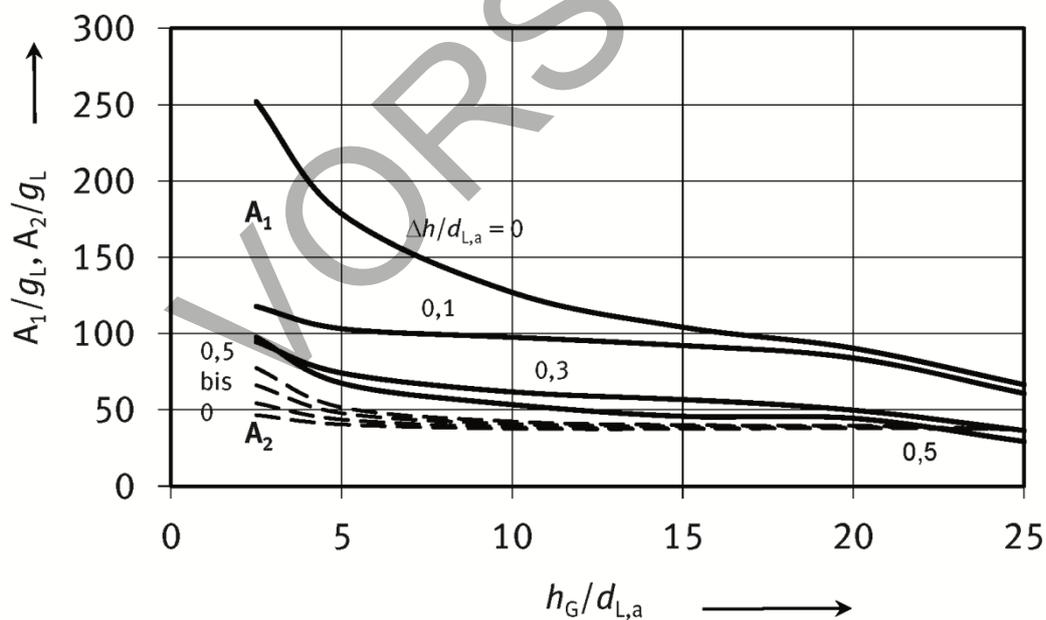


Diagramm A.6: Auflagerkräfte von PE-Rohren SDR 21 (SN 8) am Altrohr (A_1) und am Baugrubenrand (A_2) beim Einziehen in ein Altrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)

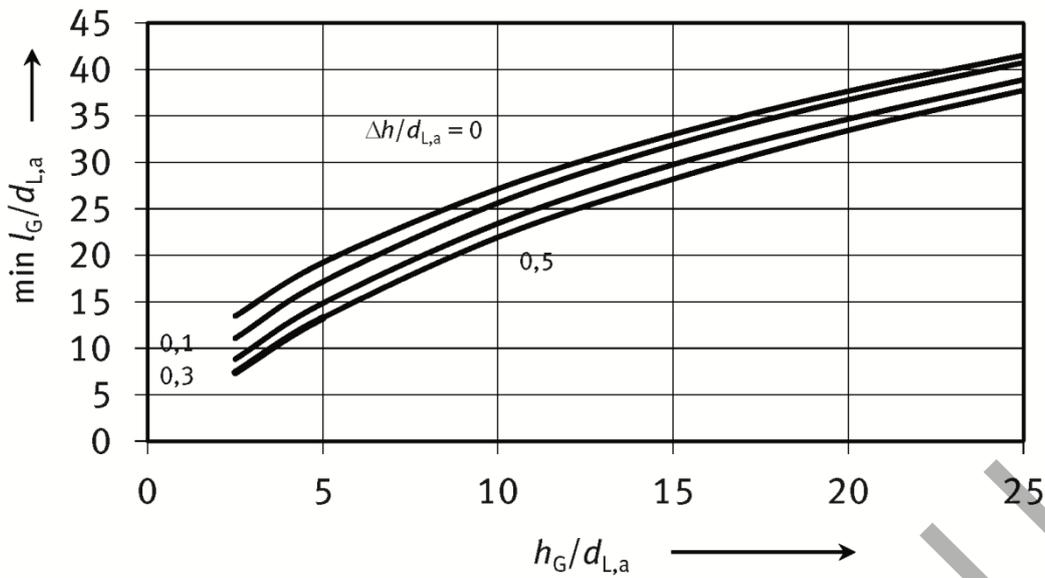


Diagramm A.7: Erforderliche Baugrubenlänge l_G für PE-Rohre SDR 17 (SN 16) beim Einziehen in ein Altrrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)

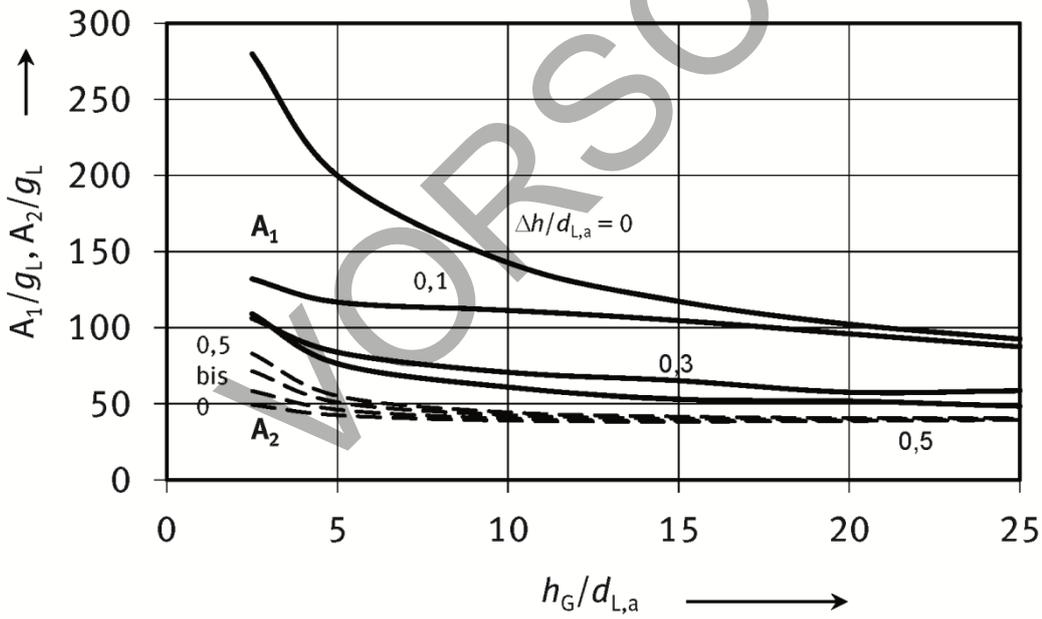


Diagramm A.8: Auflagerkräfte von PE-Rohren SDR 17 (SN 16) am Altrrohr (A_1) und am Baugrubenrand (A_2) beim Einziehen in ein Altrrohr (Spiel $\Delta h/d_{L,a}$)

Anhang B (normativ)

Biegemomenten- und Normalkraftbeiwerte m und n für die Beanspruchungen bei der Ringraumverfüllung

Lagerungsfall	Biegemomentenbeiwerte m				Normalkraftbeiwerte n			
	Fall A		Fall B		Fall A		Fall B	
	$m_w^{1)}$	m_g	$m_D^{2)}$	m'_g	$n_w^{1)}$	n_g	$n_D^{2)}$	n'_g
I (biegesteife Liner)					Skizzen siehe m			
Scheitel $\varphi = 0^\circ$	0,250	0,500	0,750	-1,500	0,750	0,500	-0,750	0,500
Kämpfer 75°	-0,197	-0,394	<u>-0,320</u>	<u>0,641</u>	<u>0,303</u>	-1,135	<u>-1,820</u>	<u>1,900</u>
90°	-0,285	-0,571	-0,285	0,571	0,215	-1,571	-1,785	1,571
105°	<u>-0,320</u>	<u>-0,641</u>	-0,197	0,394	0,180	<u>-1,900</u>	-1,697	1,135
Sohle 180°	0,750	1,500	0,250	-0,500	1,250	-0,500	-1,250	-0,500
II/ 90° (biegeweiche Liner)					Skizzen siehe m			
Scheitel $\varphi = 0^\circ$	0,184	0,367	0,182	-0,365	0,613	0,225	-1,389	1,777
Kämpfer 75°	-0,161	-0,323	-0,214	0,427	<u>0,268</u>	-1,206	-1,785	<u>1,828</u>
90°	<u>-0,214</u>	<u>-0,429</u>	<u>-0,214</u>	<u>0,429</u>	0,215	-1,571	<u>-1,785</u>	1,571
105°	-0,214	-0,427	-0,161	0,323	0,215	<u>-1,828</u>	-1,732	1,206
Sohle 180°	0,182	0,365	0,184	-0,367	0,611	-1,777	-1,387	-0,225
III/ 60° (Abstandhalter, $2\alpha_A = 2 \cdot 30^\circ$)					Skizzen siehe m			
Scheitel $\varphi = 0^\circ$	0,176	0,352	0,072	-0,143	0,599	0,198	-1,506	2,011
Kämpfer 75°	-0,159	-0,317	-0,204	0,408	<u>0,264</u>	-1,213	-1,781	<u>1,821</u>
90°	<u>-0,208</u>	<u>-0,416</u>	<u>-0,208</u>	<u>0,416</u>	0,215	-1,571	<u>-1,785</u>	1,571
105°	-0,204	-0,408	-0,159	0,317	0,219	<u>-1,821</u>	-1,736	1,213
Sohle 180°	0,072	0,143	0,176	-0,352	0,494	-2,011	-1,401	-0,198
ANMERKUNGEN								
1) $m_D = -m_w$; $n_D = -n_w$ Fall A: Absinken des Liners								
2) $m_w = -m_D$; $n_w = -n_D$ Fall B: Aufschwimmen des Liners								

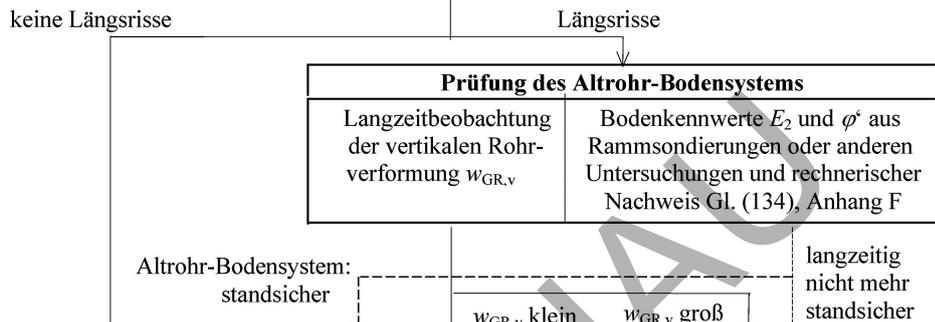
Anhang C (normativ) Übersichten

C.1 Nachweise des Betriebszustands

1. vorausgehende Untersuchungen

- Ergebnisse der Kanalinspektion (vgl. Objektfragebogen, Anhang G)
- Längsrisse
- Imperfektionen: örtliche Vorverformungen w_v (i.d.R. 2 % von r_L)
Gelenkringvorverformung $w_{GR,v}$ (Ovalisierung)
Spaltbildung w_s (abhängig vom Liningverfahren)
- sonstige Schäden (Sohlauswaschungen, Muffenspalt, -versatz, Fehlstellen usw.)

2. zusätzliche Prüfungen



3. statisches System



4. Einwirkungen (Lasten usw.)

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Wasseraußendruck p_a min $h_{w,sc}=1,5m$ bzw. $d_a+0,1m$ - Innendruck p_i - Temperaturänderung $\Delta \theta$ - Eigenlasten g_L - usw. | <ul style="list-style-type: none"> - wie Altrrohrzustand I | <ul style="list-style-type: none"> - Erdlasten p_E - Verkehrslasten p_T ggf. zusätzlich p_a - wie Altrrohrzustand I |
|---|---|---|

5. Imperfektionen

- | | | |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - örtl. Vorverformung w_v - Spaltbildung w_s | <ul style="list-style-type: none"> - wie Altrrohrzustand I, zusätzlich Gelenkringvorverformung $w_{GR,v}$ | <ul style="list-style-type: none"> - Gelenkringvorverf. $w_{GR,v}$ falls p_a vorhanden: zusätzl. - örtl. Vorverformung w_v - Spaltbildung w_s |
|---|---|--|

6. Nachweise Liner: Spannungen + Verformungen

- | | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Berücksichtigung w_v, w_s: - m/n-Beiwerte für $p_{a,d}$ in Anhang D + Gln. (82,83) - $\sigma_d = N_d/A + \alpha_k \cdot M_d/W$ (87,88) - δ_v nach Gl. (104) - oder Theorie II. Ordnung | <ul style="list-style-type: none"> - wie Altrrohrzustand I, - zusätzlich: Berücksichtigung von $w_{GR,v}$ - Beiwerte in Anhang D - oder Theorie II. Ordnung | <ul style="list-style-type: none"> - Berücksichtigung $w_{GR,v}$: - $m/n/\delta_v$-Beiwerte für $q_{v,d}$ in Anhang E + Gln. (85,86) bei $p_{a,d}$: m/n-Beiwerte in Anhang D + Interaktion - oder Theorie II. Ordnung |
|--|--|---|

Stabilität

- | | | |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - krit $p_{a,d} = \kappa_{v,s} \cdot \alpha_D \cdot S_{L,d}$ Gl. (116) mit $\kappa_{v,s}$ nach Diagramm 7 - oder Theorie II. Ordnung | <ul style="list-style-type: none"> - wie Zustand I, Näherung: $\kappa_{v,s}$ nach Diagramm 7 - oder Theorie II. Ordnung | <ul style="list-style-type: none"> - krit $q_{v,d} =$ nach Diagramm 11 oder 12 - bei p_a: Interaktion Gl. (137) - oder Theorie II. Ordnung |
|---|--|---|

7. ggf. Nachweise Altrrohr

- | | | |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - bei Korrosionsabtrag: Spannungsnachweis mit verminderter Wanddicke t | <ul style="list-style-type: none"> - Druckspannungen σ_d in den Altrrohrgelenken Nachweis Gl. (102) nicht erfüllt: AZ III oder IIIa (Anhang K) | <ul style="list-style-type: none"> - Druckspannungen σ_d in den Altrrohrgelenken Nachweis Gl. (102) nicht erfüllt: AZ IIIa (Anhang K) |
|---|---|--|

C.2 Erläuterungen zu den Altrohrzuständen

Altrohrzustand	I		II		III	
	Längsrisse	–		x		x
Visuelle Unterscheidung zwischen Altrohrzustand II und III	–		geringe Gelenkringvorverformung des Querschnitts (Ovalisierung) $\omega_{GR,v} < 3\% - 6\%$		größere Gelenkringvorverformung des Querschnitts (Ovalisierung) $\omega_{GR,v} > 3\% - 6\%$ (siehe auch Anhang F)	
Rechnerische Unterscheidung zwischen Altrohrzustand II und III, Gl. (50) und Anhang F	–		$\frac{q_{v,d}}{\text{krit } q_{v,d}} \leq 1$		$\frac{q_{v,d}}{\text{krit } q_{v,d}} > 1$	
Wesentliche Belastungen des Liners	p_a		p_a		$p_E + p_T$	$(p_E + p_T)$ und p_a
Belastung wirkt auf	Liner im Kraftschluss			Liner-/Altrohr-/Bodensystem überwiegend im Formschluss im Kraft- und Formschluss		
Ersatzbelastung bei $p_a = 0$ (7.4.2.1)				$h_{W,So} = d_a + 0,1 \text{ m}$, mind. $h_{W,So} = 1,5 \text{ m}$		
Teilsicherheitsbeiwert γ_F (Tabelle 18)	1,5		1,5		1,35	1,5/1,35
Bodenkennwerte	–		–		E_2, ϕ', K_2	E_2, ϕ', K_2
Konzentrationsfaktor des Bodens über dem Rohr λ_R (7.4.3.3)	–		–		0,75 (Risse vor Sanierung), 1,5 (Risse nach Sanierung)	
Vorverformungen für Kreisquerschnitte (Tabellen 5 bis 7):						
Örtliche Vorverformung ω_v	$\geq 2\%$		$\geq 2\%$		0 ¹⁾	$\geq 2\%$ bei p_a
Spaltbildung ω_s	$\geq 0,5\%$		$\geq 0,5\%$		0	0
Ovalisierung $\omega_{GR,v}$	–		$\geq 3\%$		$\geq 3\%$	$\geq 3\%$
ANMERKUNG						
1) Da bei formschlüssiger Belastung die Biege- gegenüber der Normalkraftbeanspruchung dominiert, ist ein Ansatz örtlicher Vorverformungen nicht erforderlich.						

Anhang D (normativ) **Biegemomenten- und Normalkraftbeiwerte m_{pa} , n_{pa} für Liner unter Wasseraußendruck p_a (Altrohrzustand I bis III)**

D.1 Erläuterungen für Kreisprofile

D.1.1 Rechenmodell des Liner-Altrohrsystems

- starr gebetteter 360°-Kreisring (ebenes Stabwerk) mit Vorverformungen und Ringspalt
- Ausschluss von Zug- und Tangentialkräften zwischen Liner und Altrohr (reibungsfreier Kontakt)
- normalentreue Belastung durch Wasseraußendruck p_a (Wichte $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$)
- Berücksichtigung der Linereigenlasten
- Iteration des nichtlinearen Druckbiegungs- und Kontaktproblems
- maßgebend ist die Linersohle

D.1.2 Parameter für Kreisprofile

- Elastizitätsmodul $E_{L,d} = E_L/\gamma_M$ mit γ_M nach Tabelle 19
Für größere Werte von $E_{L,d}$ liegen die Beiwerte auf der sicheren Seite,
- lokale Vorverformung $w_v = 2 \%$ des Linerradius, Ausdehnung 40° in der Sohle
- Ringspalt $w_s = 0,5 \%$ des Linerradius
- Altrohrzustand II: Gelenkringvorverformungen $w_{GR,v} = 3 \%$ und 6% des Linerradius (Ovalisierung)

D.1.3 Interpolation von Beiwerten

- Für die Normalkraftbeiwerte n_{pa} ist keine Interpolation erforderlich, da diese näherungsweise konstant sind. Es gilt:
 $n_{pa} = -0,8$ beim Nachweis von Zugspannungen, Gl. (80)
 $n_{pa} = -1,5$ beim Nachweis von Druckspannungen, Gl. (79)
- Biegemomentenbeiwerte m_{pa} :
 - In Bereichen ungefähr paralleler Kurven ist eine lineare Interpolation zulässig.
 - Im Bereich starker Krümmungen ist nichtlinear zu interpolieren.

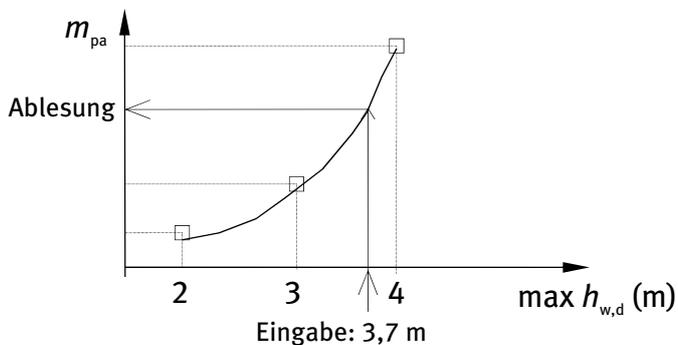


Bild D.1: Beispiel für die nichtlineare Interpolation der Beiwerte m_{pa}

D.1.4 Ablesung

- Die Ablesung hat für den Bemessungswert $h_{w,d}$ des Grundwasserstands zu erfolgen. Hierzu ist der angegebene Grundwasserstand über Linersohle mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_F zu multiplizieren:

$$h_{w,d} = \gamma_F \cdot h_w$$

D.1.5 Diagramm für UP-SF-Liner

- Elastizitätsmodul $E_{L,d} = E_L / \gamma_M = 1400 / 1,35 \cong 1000 \text{ N/mm}^2$
Für $E_{L,d} > 1000 \text{ N/mm}^2$ liegen die Beiwerte auf der sicheren Seite,
für $700 \text{ N/mm}^2 \leq E_{L,d} \leq 1500 \text{ N/mm}^2$ beträgt die Abweichung bei m_{pa} weniger als 10 %.
- Querkontraktionszahl $\mu = 0,35$

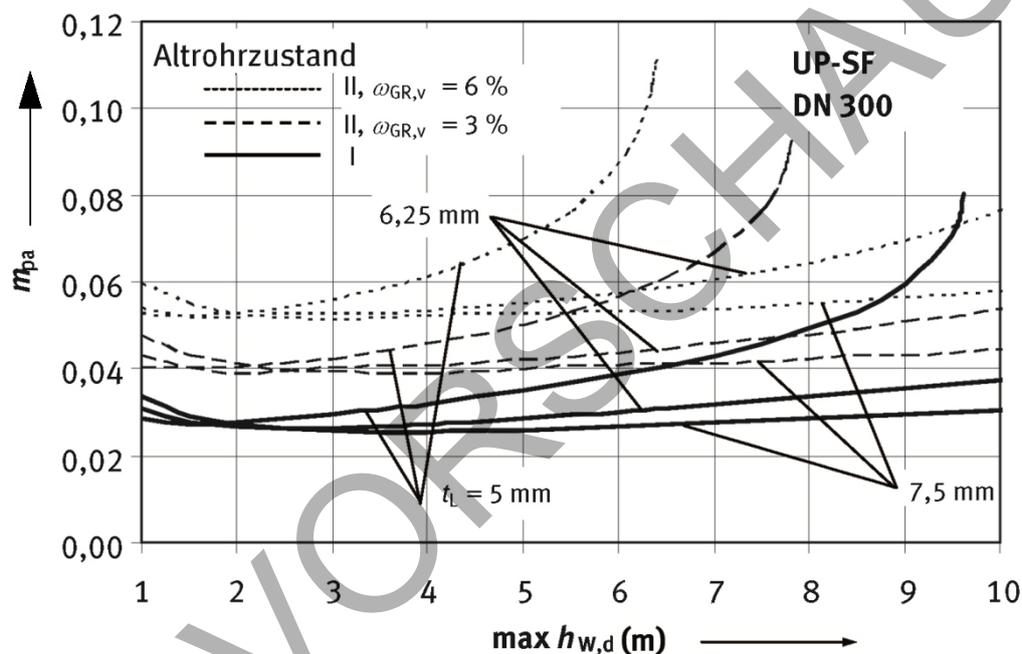


Diagramm D.1: Biegemomentenbeiwerte m_{pa} für UP-SF-Liner DN 300

Die Beiwerte m_{pa} nach Diagramm D.1 für DN 300 sind auch für andere Nennweiten näherungsweise gültig, wenn die Wanddicken im Diagramm wie folgt angepasst werden:

$$t_{L, DN300} = t_{L, DN} \cdot 300 / DN$$

Beispiel: Für DN 600 ist der Beiwert m_{pa} bei der halben Wanddicke abzulesen.

D.1.6 Diagramm für UP-GF-Liner

- Elastizitätsmodul für UP-GF-Liner $E_{L,d} = E_L/\gamma_M = 6000/1,35 \cong 4400 \text{ N/mm}^2$
Für $E_{L,d} > 4400 \text{ N/mm}^2$ liegen die Beiwerte auf der sicheren Seite,
für $4000 \text{ N/mm}^2 \leq E_{L,d} \leq 5000 \text{ N/mm}^2$ beträgt die Abweichung bei m_{pa} weniger als 10 %.
- Querkontraktionszahl $\mu = 0,25$

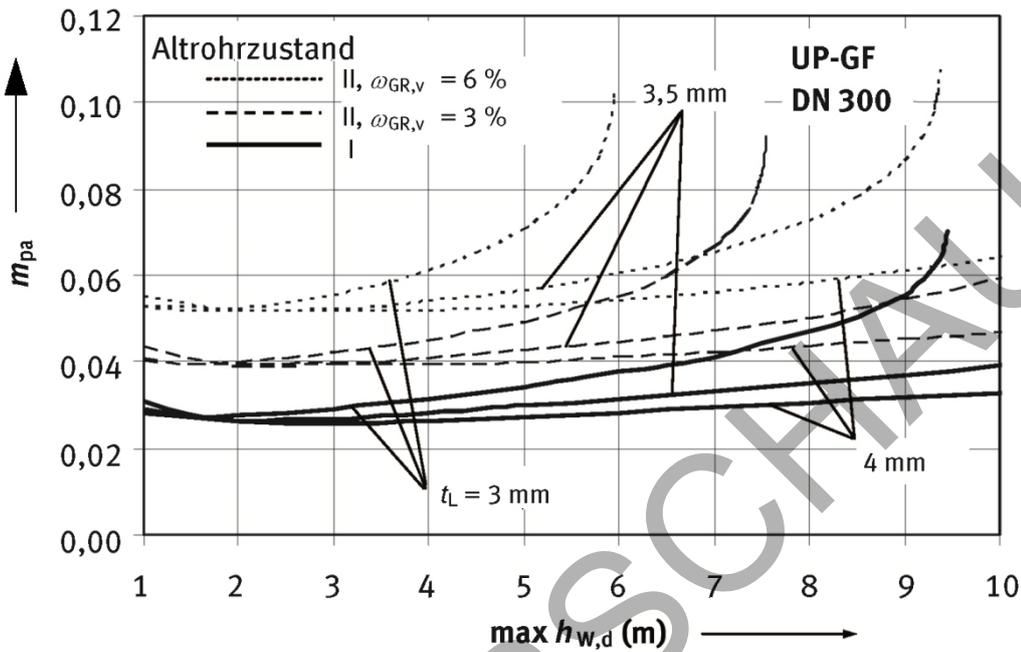


Diagramm D.2: Biegemomentenbeiwerte m_{pa} für UP-GF-Liner DN 300

Die Beiwerte m_{pa} nach Diagramm D.2 für DN 300 sind auch für andere Nennweiten näherungsweise gültig, wenn die Wanddicken im Diagramm wie folgt angepasst werden:

$$t_{L,DN300} = t_{L,DN} \cdot 300/DN$$

Beispiel: Für DN 600 ist der Beiwert m_{pa} bei der halben Wanddicke abzulesen.

D.2 Erläuterungen für Eipprofile

D.2.1 Rechenmodell des Liner-Altrohrsystems

- starr gebettetes normales Eiprofil (ebenes Stabwerk) mit Vorverformungen und Ringspalt
- Ausschluss von Zug- und Tangentialkräften zwischen Liner und Altrohr (reibungsfreier Kontakt)
- normalentreue Belastung durch Wasseraußendruck p_a (Wichte $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$)
- Berücksichtigung der Linereigenlasten
- Iteration des nichtlinearen Druckbiegungs- und Kontaktproblems
- maßgebend ist der flache Linerbereich mit Vorverformung (Kämpfer)

D.2.2 Parameter

- Elastizitätsmodul $E_{L,d} = E_L / \gamma_M$ mit γ_M nach Tabelle 19
Für größere Werte von $E_{L,d}$ liegen die Beiwerte auf der sicheren Seite,
 $0,8 E_{L,d} < E_{L,d} < 1,2 E_{L,d}$ beträgt die Abweichung bei m_{pa} weniger als 10 %.
- Querkontraktionszahl $\mu = 0,35$ (UP-SF) und 0,25 (UP-GF)
- lokale Vorverformung $w_v = 0,5$ % des Kämpferradius, Ausdehnung 30° , Lage im flachen Bereich der rechten Seite
- Ringspalt $w_s = 0,5$ % des Scheitelradius
- Altrohrzustand II:
Gelenkringvorverformungen $w_{GR,v} = 3$ % und 6 % des Linerradius (Ovalisierung), berücksichtigt als 10 % Zuschlag zur lokalen Vorverformung: $w_v = 0,8$ % und 1,1 % des Kämpferradius

D.2.3 Interpolation von Beiwerten

- Normalkraftbeiwerte n_{pa} siehe Diagramme
- Biegemomentenbeiwerte m_{pa} :
 - In Bereichen ungefähr paralleler Kurven ist eine lineare Interpolation zulässig.
 - Im Bereich starker Krümmungen ist nichtlinear zu interpolieren.

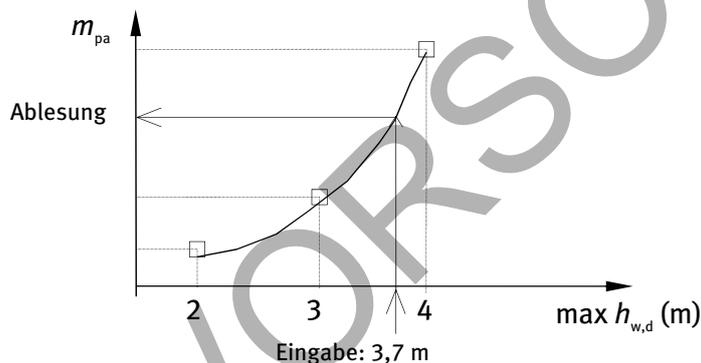


Bild D.2: Beispiel für die nichtlineare Interpolation der Beiwerte m_{pa}

D.2.4 Ableitung

Die Ableitung hat für den Bemessungswert $h_{w,d}$ des Grundwasserstands zu erfolgen. Hierzu ist der angegebene Grundwasserstand über Linersohle mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_F zu multiplizieren:

$$h_{w,d} = \gamma_F \cdot h_w$$

D.2.5 Diagramme für UP-SF-Liner mit Eiprofil

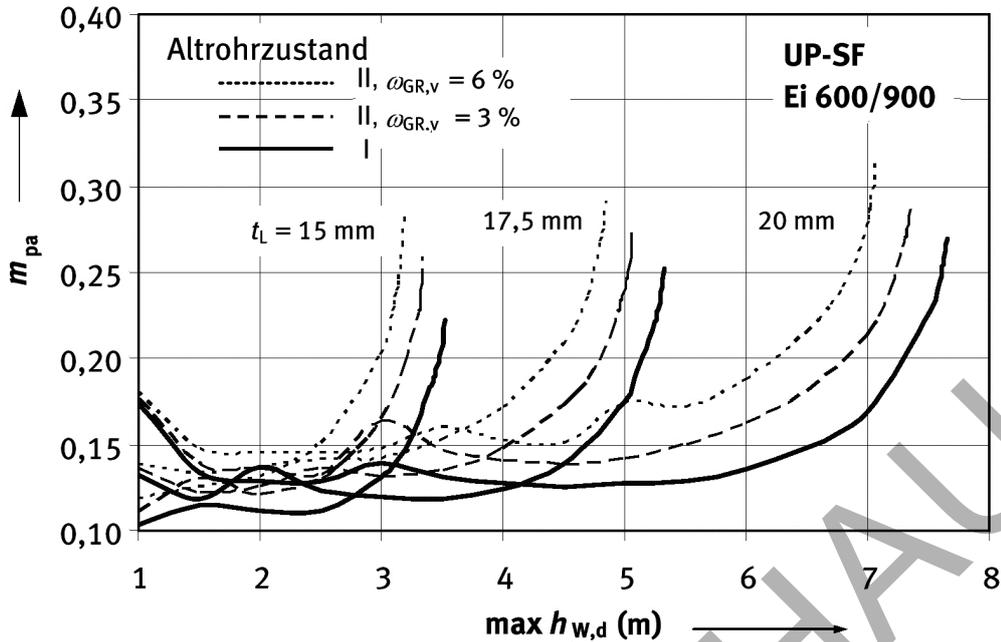


Diagramm D.3: Biegemomentenbeiwerte m_{pa} für UP-SF-Liner $B:H = 600:900$ in mm

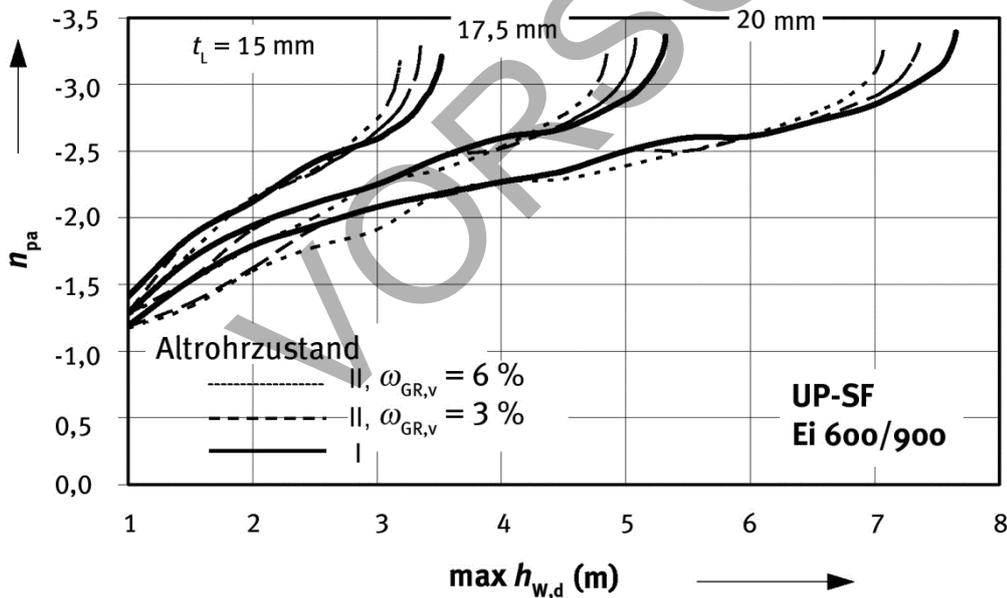


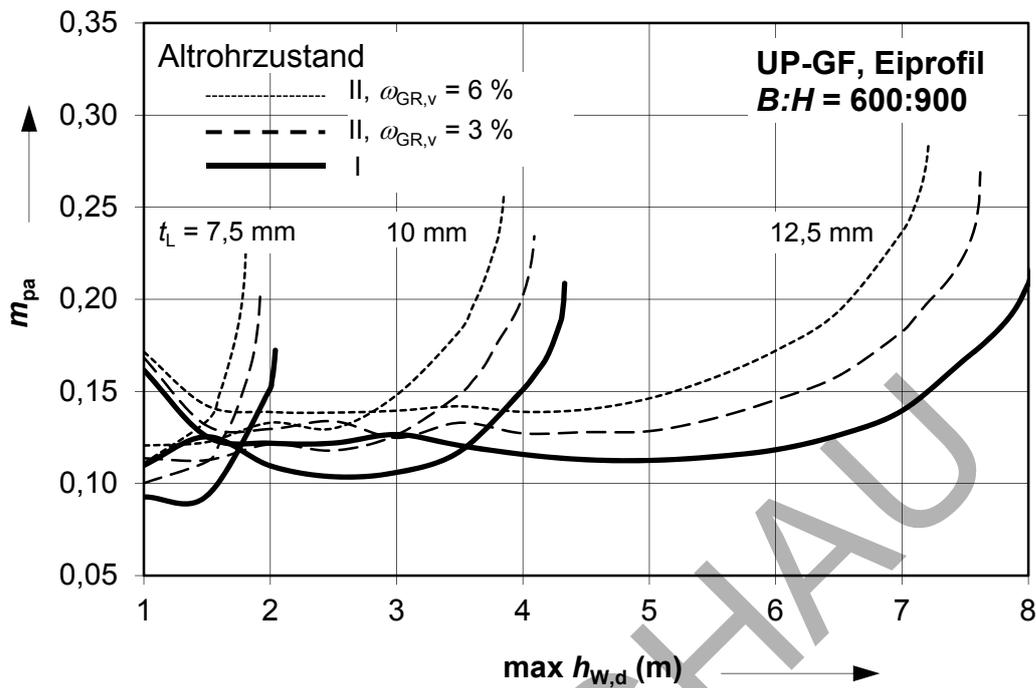
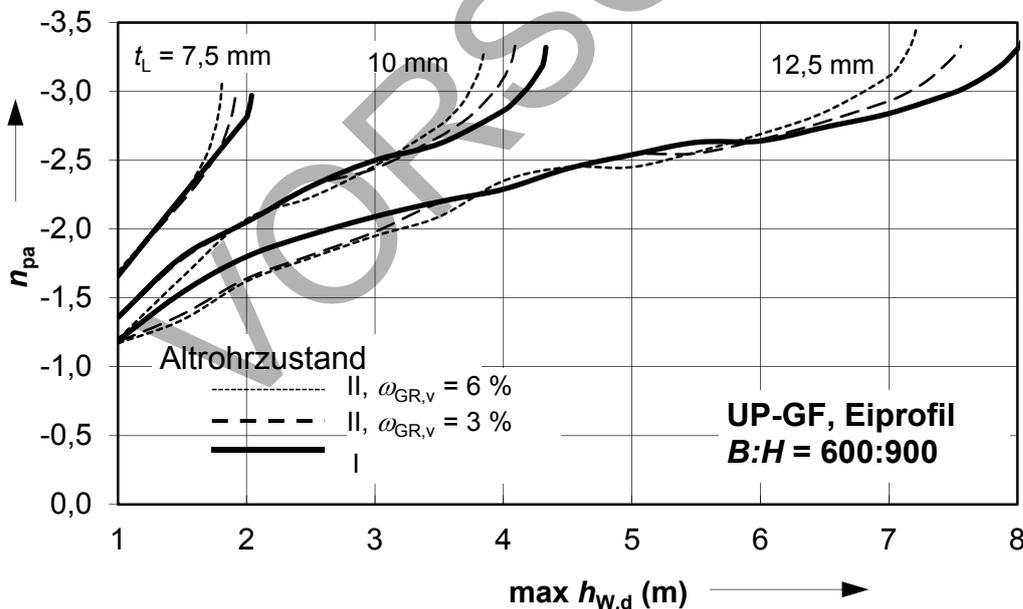
Diagramm D.4: Normalkraftbeiwerte n_{pa} für UP-SF-Liner $B:H = 600:900$ in mm

Die Beiwerte m_{pa} und n_{pa} nach den Diagrammen D.3 und D.4 für $B:H = 600:900$ in mm sind auch für andere Eiprofile näherungsweise gültig, wenn die Wanddicken im Diagramm wie folgt angepasst werden:

$$t_{L,B600} = t_{L,B} \cdot 600/B$$

Beispiel: Für $B:H = 1200:1800$ in mm ist der Beiwert m_{pa} bei der halben Wanddicke abzulesen.

D.2.6 Diagramme für UP-GF-Liner mit Eiprofil

Diagramm D.5: Biegemomentenbeiwerte m_{pa} für UP-GF-Liner $B:H = 600:900$ in mmDiagramm D.6: Normalkraftbeiwerte n_{pa} für UP-GF-Liner $B:H = 600:900$ in mm

Die Beiwerte m_{pa} und n_{pa} nach den Diagrammen D.5 und D.6 für $B:H = 600:900$ (in mm) sind auch für andere Eiprofile näherungsweise gültig, wenn die Wanddicken im Diagramm wie folgt angepasst werden:

$$t_{L,B600} = t_{L,B} \cdot 600/B$$

Beispiel: Für $B:H = 1200:1800$ in mm ist der Beiwert m_{pa} bei der halben Wanddicke abzulesen.

Anhang E (normativ) Biegemomenten- und Normalkraftbeiwerte n_q , m_q und elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für Liner unter Erd- und Verkehrslasten q_v und q_h (Altrohrzustand III)

E.1 Erläuterungen zu Altrohrzustand III (Anhang E.2.1 und E.2.2)

E.1.1 Rechenmodell des Liner-Altrohr-Bodensystems

- doppelsymmetrische Belastung durch Erd- und Verkehrslasten $q_{v,d}$ und $q_{h,d}$ (konstant, richtungstreu)
- Wasseraußendruck: Behandlung wie Zustand II, siehe Anhang D
- Eigenlasten des Liners: vernachlässigt
- 90°-Stabwerkmodell, ebener Verzerrungszustand
- Ausschluss von Zug- und Tangentialkräften zwischen Liner und Altrohr (reibungsfreier Kontakt)
- Iteration des nichtlinearen Druckbiegungs- und Kontaktproblems
- Linerscheitel bzw. -sohle maßgebend (Beiwerte sind gleich groß)

E.1.2 Parameter

- Elastizitätsmodul des Liners (Bemessungswert): $E_{L,d} = E_L / \gamma_M$ mit γ_M nach Tabelle 19 ($\gamma_M = 1,0$)
 - Für größere Werte von $E_{L,d}$ liegen die Beiwerte m_q in der Regel auf der sicheren Seite.
 - Bei $0,8 E_{L,d} < E_{L,d} < 1,2 E_{L,d}$ beträgt die Abweichung bei m_{pa} weniger als 10 %.
- Die Beiwerte m_q und n_q sind für UP-SF und UP-GF mit $\mu = 0,35$ berechnet.
- Verformungsmodul des Bodens neben dem Altrohr $E_2 = 3 \text{ N/mm}^2$ und 8 N/mm^2 (hieraus folgt die horizontale Bodensteifigkeit $S_{bh} = 0,8 \cdot E_2$)
- Rechnerischer Erddruckbeiwert $q_{h,d}/q_{v,d} = K'_2 = 0,2$ mit $q_{v,d}$ nach Gln. (73,74), $q_{h,d}$ nach Gln. (75,76);
 - Bei $K'_2 > 0,2$ resultieren kleinere Beanspruchungen, für $K'_2 < 0,2$ sind die Diagramme des Anhangs E ungültig.
- Die Beiwerte m_q und n_q gelten für $t/r_i = 0,167$ (siehe z. B. Steinzeugrohr DN 300, $t = 25 \text{ mm}$, für Betonrohre liegen die Beiwerte in der Regel auf der sicheren Seite):
 - Für $t/r_i > 0,167$ liegen die Beiwerte m_q auf der sicheren Seite.
 - Für $t/r_i < 0,167$ resultieren größere Beiwerte m_q und damit höhere Beanspruchungen.
- Gelenkexzentrizitäten: Scheitel $e_G = +0,25 \cdot t$ (nach außen), Kämpfer $e_G = -0,25 \cdot t$ (nach innen), größere Exzentrizitäten führen zu kleineren Linerbeanspruchungen.
- Örtliche Vorverformungen des Liners haben bei Erd- und Verkehrslasten nur einen geringen Einfluss und werden daher vernachlässigt. Es gilt also $\omega_s = 0$.
- Gelenkringvorverformungen $\omega_{GR,v} = 3 \%$, 6% und 9% des Linerradius (Ovalisierung).
- Ringspalt $\omega_s = 0$
Größere Ringspalte würden bei den Belastungen q_v und q_h zu kleineren Beanspruchungen führen und sind daher zu vernachlässigen (im Gegensatz zum Lastfall Wasseraußendruck p_a , siehe Anhang D).

E.1.3 Interpolation von Beiwerten

- Normalkraftbeiwerte n_q :
Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden
- Biegemomentenbeiwerte m_q :
nichtlineare Interpolation (siehe Beispiel)

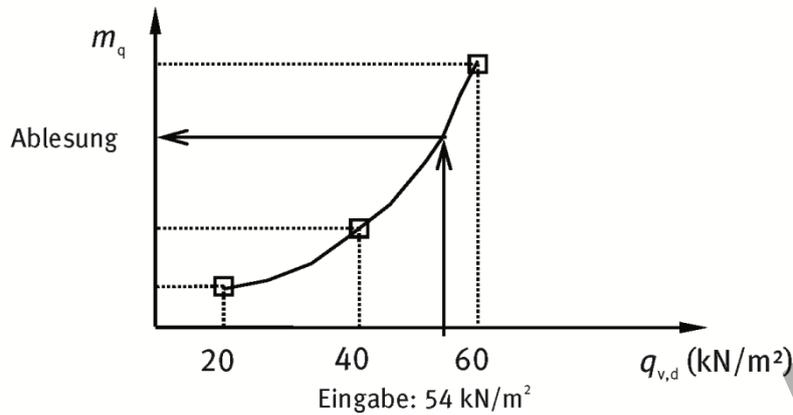


Bild E.1: Beispiel für die nichtlineare Interpolation von m_q -Beiwerten:

Die Beiwerte m_q der Diagramme in E.2.1 und E.2.2 für DN 300 sind auch bei anderen Nennweiten näherungsweise gültig, wenn die Linerwanddicken in den Diagrammen wie folgt angepasst werden:

$$t_{L, DN300} = t_{L, DN} \cdot 300/DN$$

Beispiel: Für DN 600 ist der Beiwert m_q bei der halben Wanddicke abzulesen.

E.2 Diagramme

E.2.1 Diagramme für UP-SF-Liner (Altrohrzustand III)

Elastizitätsmodul $E_{L,d} = E_L/\gamma_M = 1400/1,0 = 1400 \text{ N/mm}^2$

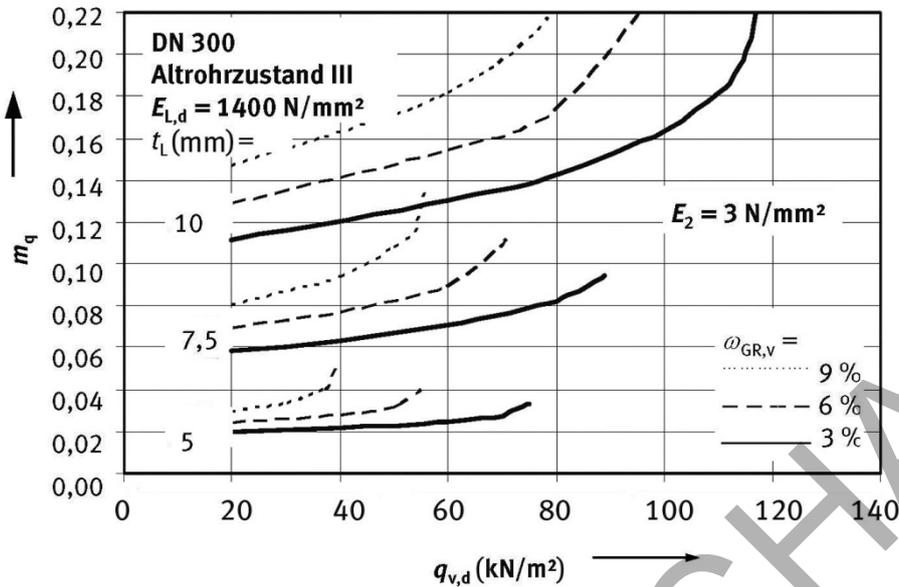


Diagramm E.1: Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 1400 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 3 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 2,4 \text{ N/mm}^2$)

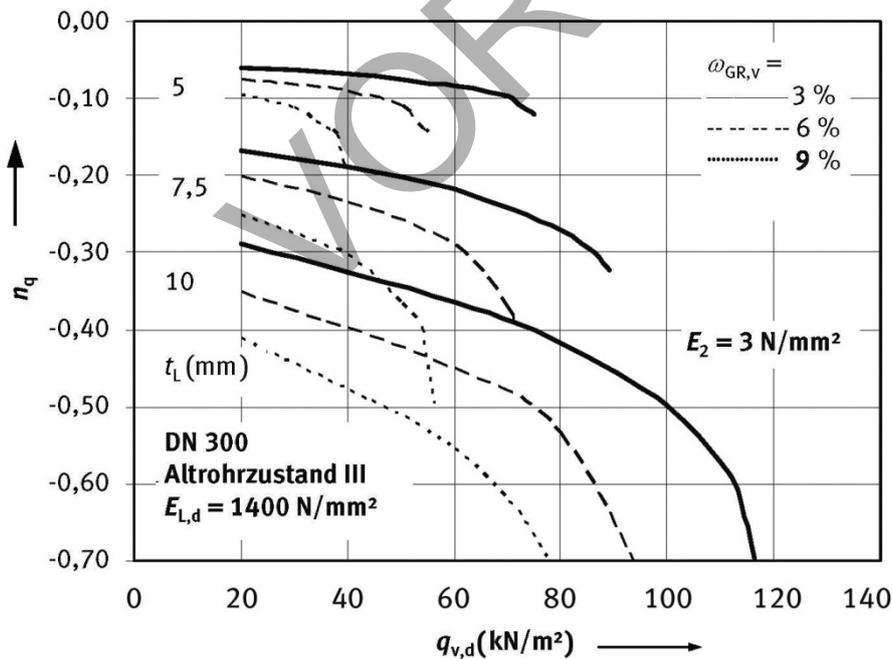


Diagramm E.2: Normalkraftbeiwerte n_q für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 1400 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 3 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 2,4 \text{ N/mm}^2$)

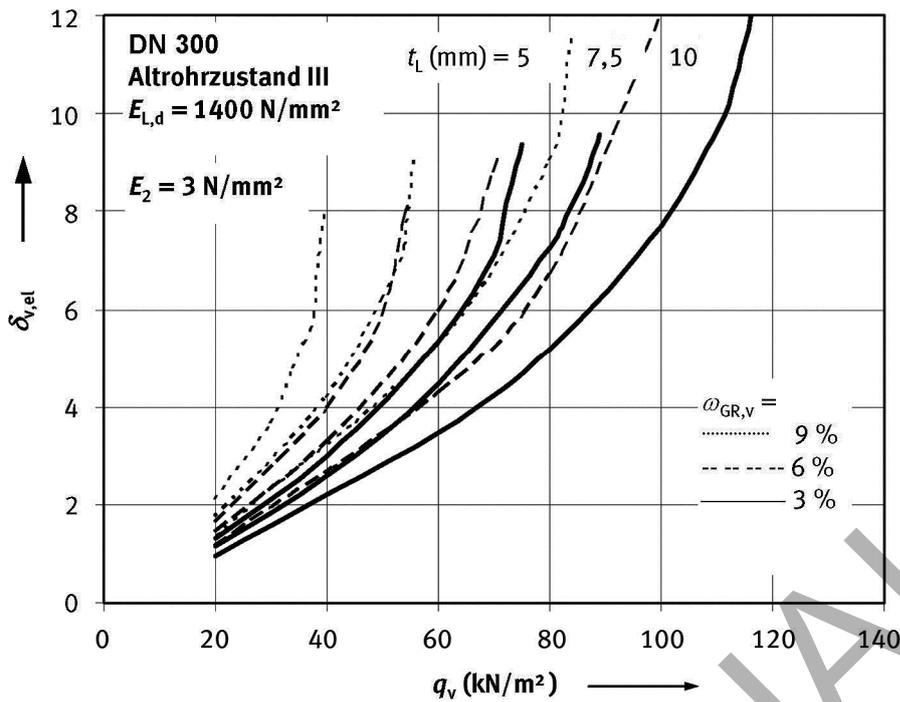


Diagramm E.3: Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 1400 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 3 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 2,4 \text{ N/mm}^2$)

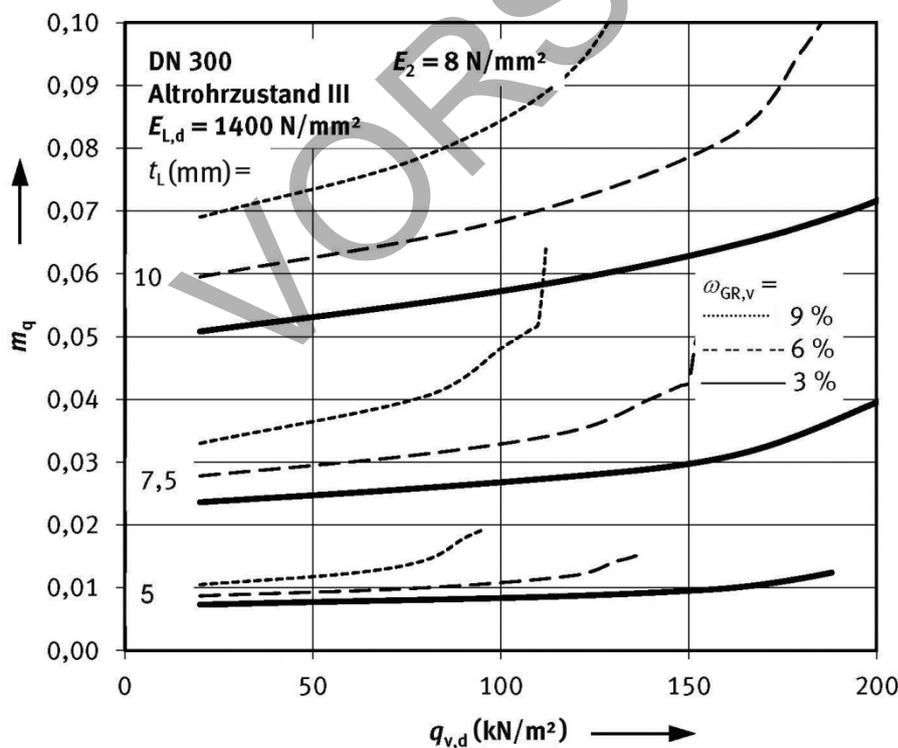


Diagramm E.4: Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 1400 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)

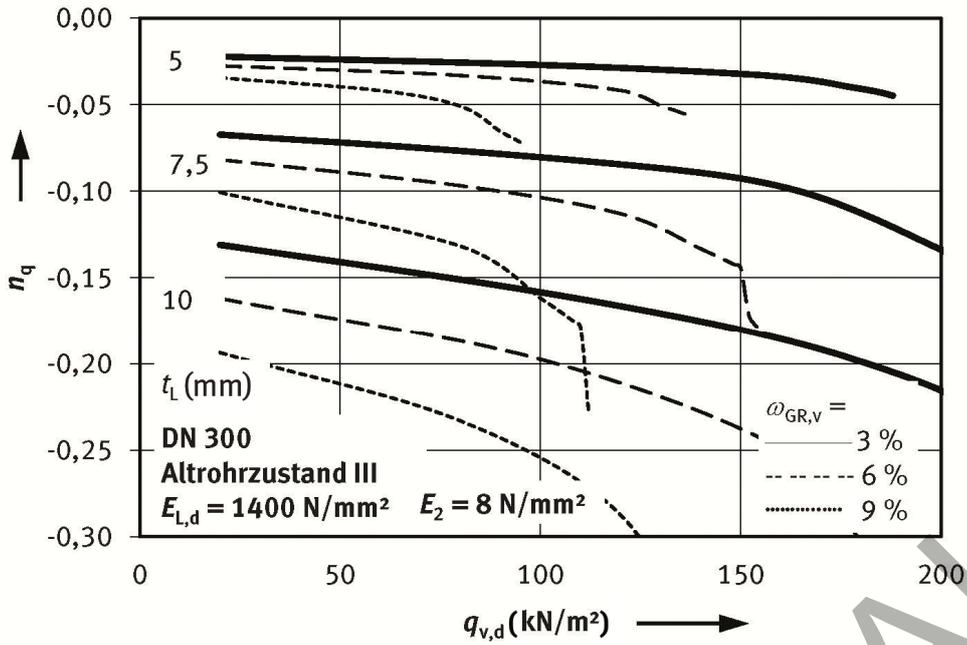


Diagramm E.5: Normalkraftbeiwerte n_q für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 1400 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)

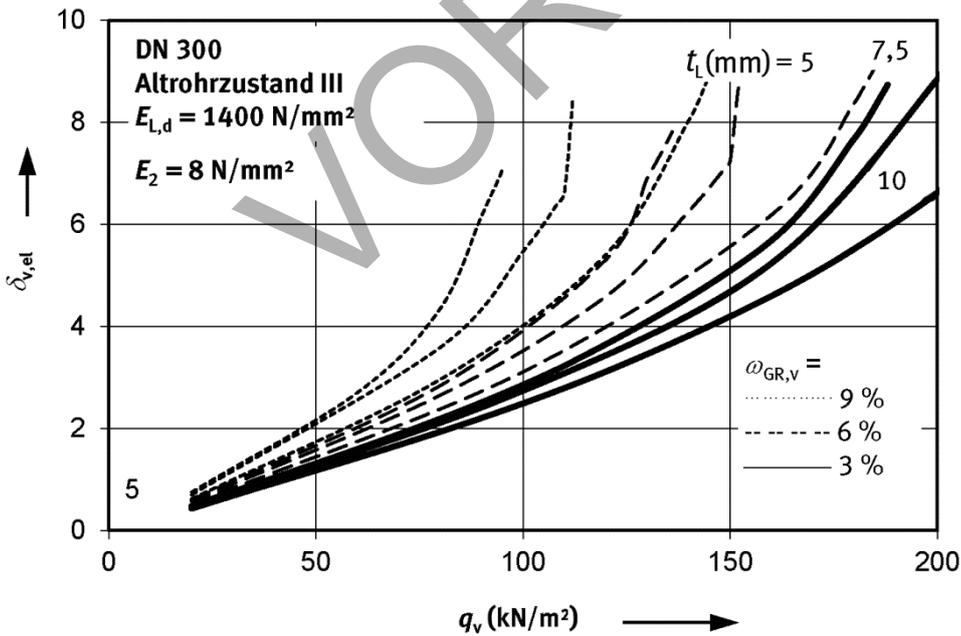


Diagramm E.6: Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 1400 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)

E.2.2 Diagramme für UP-GF-Liner (Altrohrzustand III)

Elastizitätsmodul $E_{L,d} = E_L/\gamma_M = 6000/1,0 = 6000 \text{ N/mm}^2$

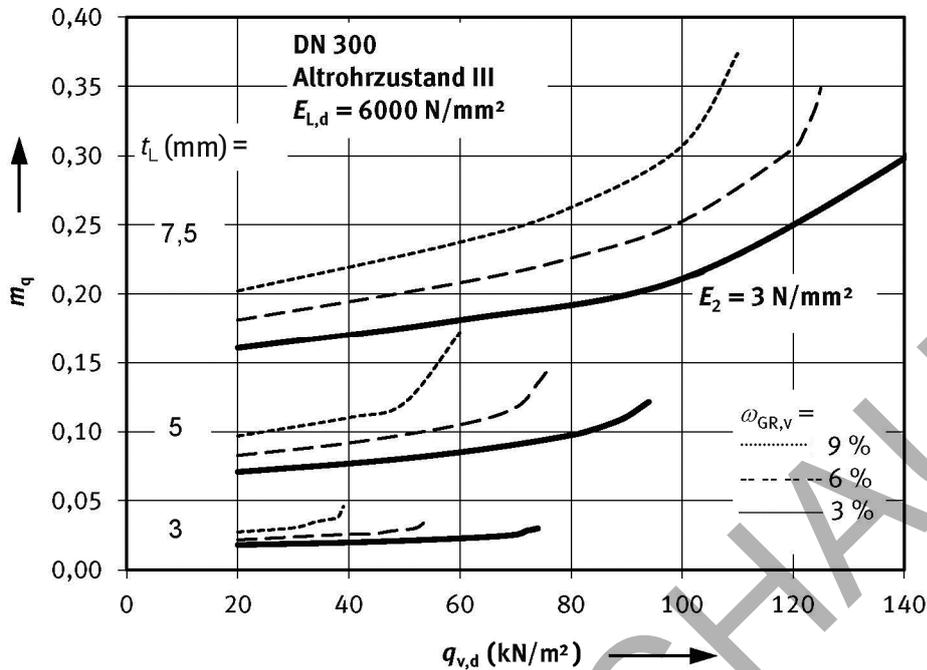


Diagramm E.7: Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 6000 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 3 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 2,4 \text{ N/mm}^2$)

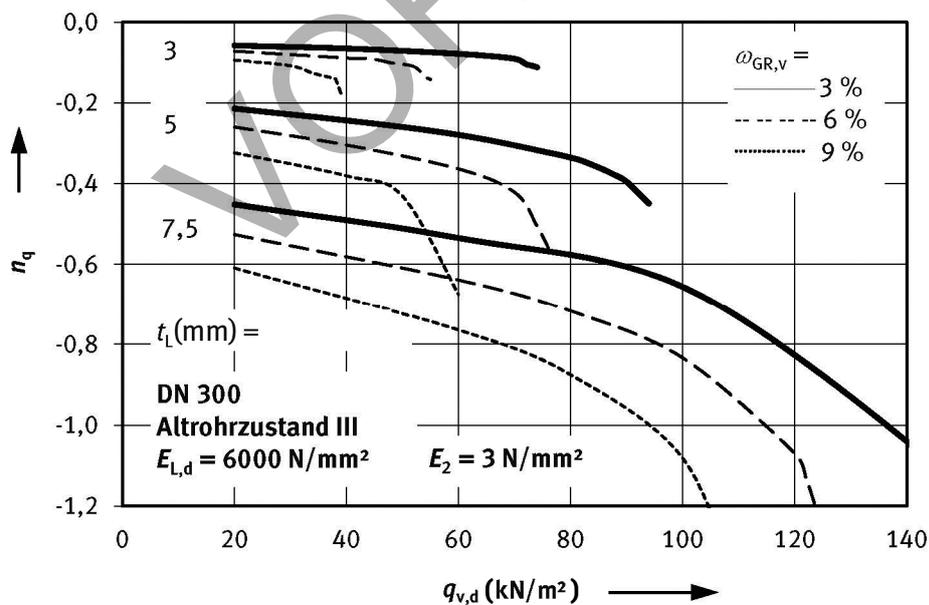


Diagramm E.8: Normalkraftbeiwerte n_q für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 6000 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 3 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 2,4 \text{ N/mm}^2$)

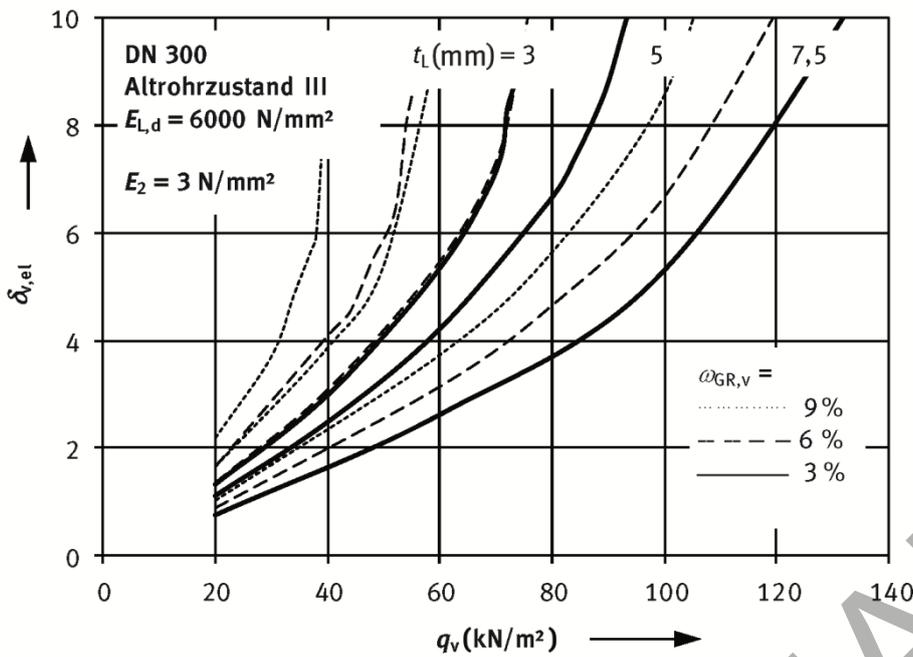


Diagramm E.9: Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 6000 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 3 \text{ N/mm}^2$ ($S_{bh} = 2,4 \text{ N/mm}^2$)

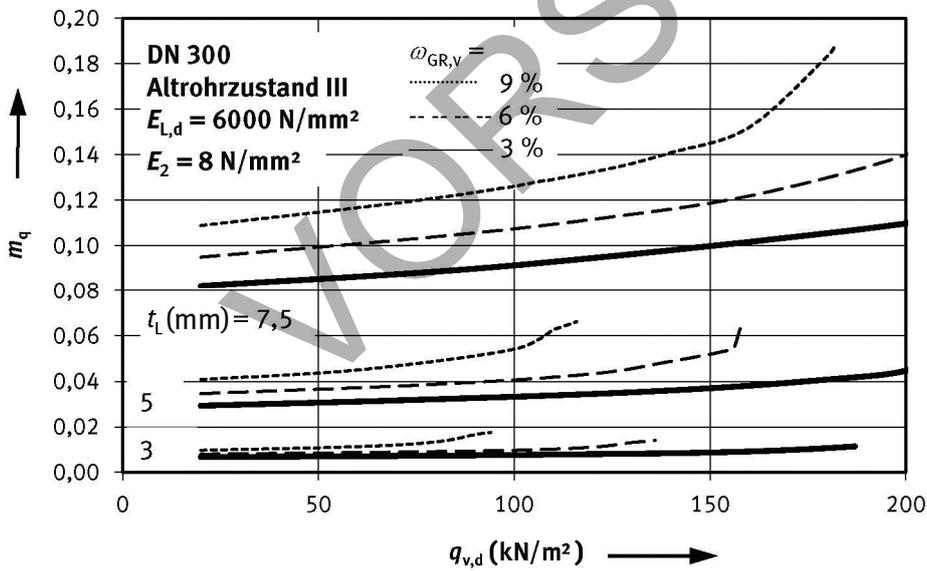


Diagramm E.10: Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 6000 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)

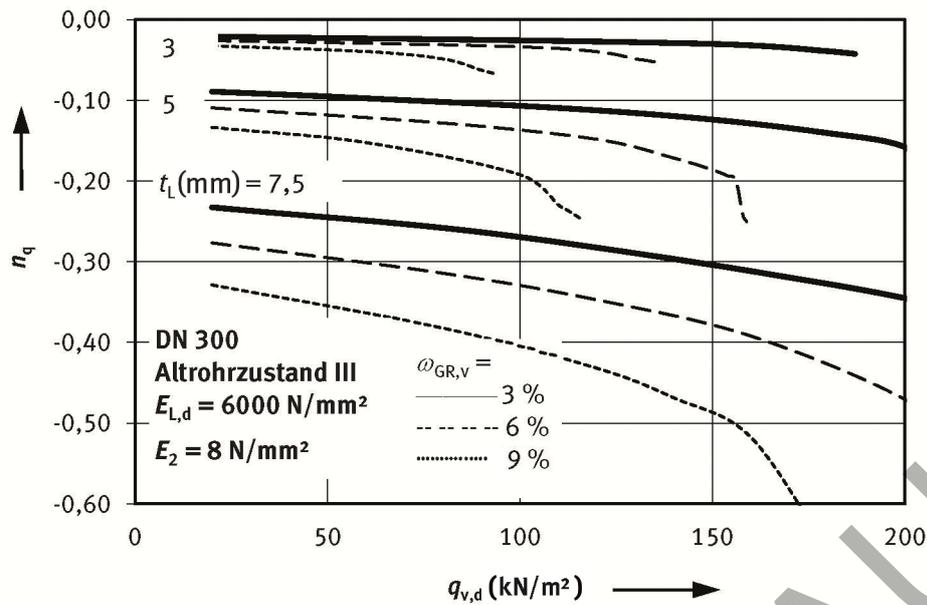


Diagramm E.11: Normalkraftbeiwerte n_q für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 6000 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)

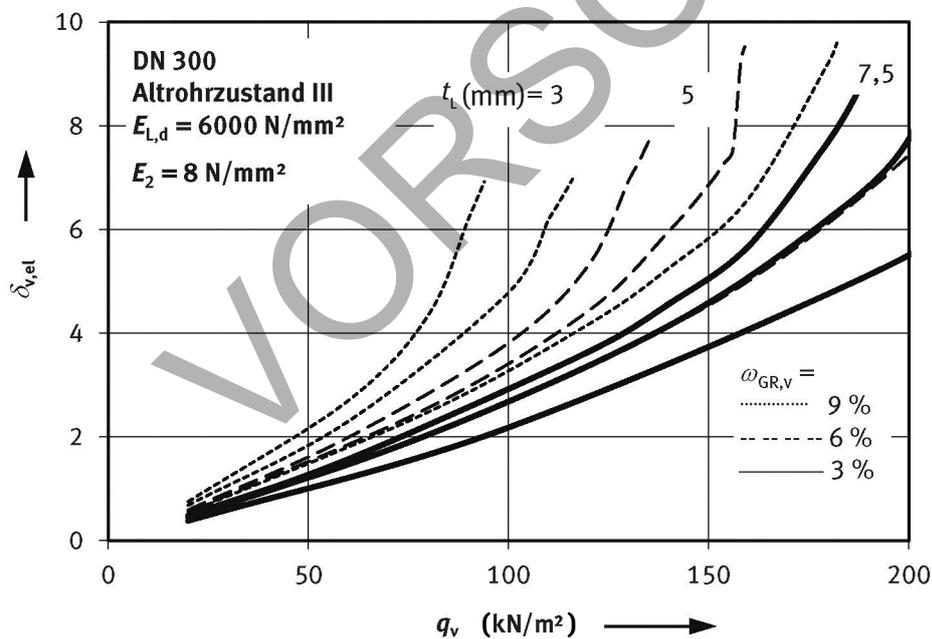


Diagramm E.12: Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand III; Liner $E_{L,d} = 6000 \text{ N/mm}^2$; Boden $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)

Anhang F (normativ)

Last-Verschiebungskurven $q_{v,d}/E_2$ und kritische Vertikallasten $q_{v,d}$ des Altrohr-Bodensystems

F.1 Erläuterungen

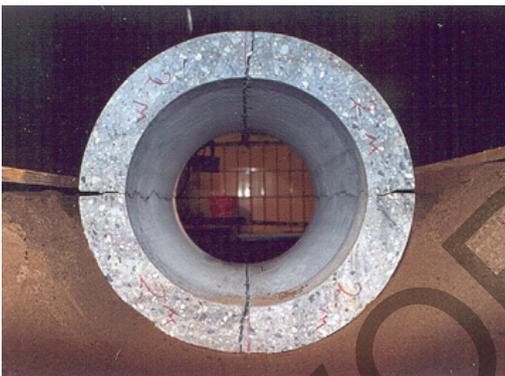
Mithilfe von Last-Verschiebungskurven des Viergelenksystems ist es möglich,

- die auf den Verformungsmodul E_2 der Leitungszone bezogenen Durchschlaglasten $q_{v,d}$ des Systems abzulesen und
- bei gegebenen Belastungen $q_{v,d}$ und Verformungen $\omega_{GR,v}$ eines Altrohrs im Zustand III sowie Annahme einer Anfangsverformung δ_0 den Verformungsmodul E_2 des Altrohr-Bodensystems abzuschätzen.

Die Diagramme sind für folgende Fälle angegeben, siehe Beispiele 1 bis 3:

- Standardfall mit Gelenkexzentrizitäten von $e_G = 0,35 \cdot t$ (dicke Linien in F.1 bis F.6),
- außenliegende Gelenke $e_G = 0,45 \cdot t$ (dünne Linien) bei gutem Zustand der Altrohrkämpfer (neues Rohr, ausreichende Druckfestigkeit nachgewiesen),
- weiter innenliegende Gelenke $e_G = 0,25 \cdot t$ (gestrichelte Linien) bei stark geschädigten Altrohrkämpfern (Korrosion, Abplatzungen usw.).

In Beispiel 4 ist der Fall zentrischer Gelenken mit $e_G = 0$ dargestellt – hierbei ist der Fugenmörtel zu ergänzen.



Beispiel 1: Neues Rohr: $e_G \leq 0,45 \cdot t$



Beispiel 2: Abplatzungen: $e_G = 0,35 \cdot t$



Beispiel 3: Korrosion: $e_G = 0,25 \cdot t$



Beispiel 4: Fehlendes Fugenmaterial: $e_G = 0$

Bild F.1: Fallbeispiele

Für $q_v = 0$ ist der Kurvenparameter δ_0 als Auflockerung der Seitenverfüllung oder Hohraumbildung zu verstehen.

Allen Diagrammen liegt das Wanddicken-/Radiusverhältnis $t/r_i = 0,15$ zugrunde.

- Für $t/r_i > 0,15$ liegen die kritischen Lasten $q_{v,d}$ auf der sicheren Seite.
- Für $t/r_i < 0,15$ resultieren kleinere kritische Lasten $q_{v,d}$.

Kann bei Verkehrslasten ein horizontaler Erddruck aus p_T angesetzt werden (siehe Bild 23), so ist p_T in den Kurven F.1, F.3 und F.5 enthalten. Die Verkehrslast p_T kann näherungsweise zur Erdlast p_E addiert werden:

$$q_{v,d} = \gamma_{FG} \cdot 0,75 \cdot p_E + \gamma_{FQ} \cdot p_T \quad (\text{F.1})$$

mit

γ_{FG} Teilsicherheitsbeiwert nach Tabelle 18 für ständige Lasten

und

γ_{FQ} Teilsicherheitsbeiwert nach Tabelle 18 für veränderliche Lasten.

Zwischenwerte mit geringen Abweichungen von den angegebenen Annahmen dürfen interpoliert werden.

Die Maxima $q_{v,d}$ der Last-Verschiebungskurven F.1, F.3 und F.5 sind in die Diagramme F.2, F.4 und F.6 eingetragen. Hiermit kann der Nachweis der Standsicherheit des Systems „längs gerissenes Altrohr/Boden“ nach 7.2 geführt werden.

Annahme:

Alle Kurven sind bei elastischem Bodenverhalten unabhängig von E_2 . Bei plastischem Bodenverhalten der Bodengruppe G3 (steil abfallender Kurvenverlauf im Diagramm F.5) liegt dem Diagramm $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ zugrunde.

- Diagramme F.1, F.2: Bodengruppe G1 mit $K_2 = 0,4$ und $\varphi' = 35^\circ$
- Diagramm F.3, F.4: Bodengruppe G2 mit $K_2 = 0,3$ und $\varphi' = 30^\circ$
- Diagramm F.5, F.6: Bodengruppe G3 mit $K_2 = 0,2$ und $\varphi' = 25^\circ$

Sind keine plastischen Abminderungen erforderlich, so gelten die Maximalwerte $q_{v,d}$ der Kurven in Diagramm F.1, F.3 und F.5 auch für von $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ abweichende Werte.

Kann die Anfangsverformung δ_0 nicht näher bestimmt werden, so ist mindestens $\delta_0 = \omega_{GR,v}/2 \leq 3 \%$ anzunehmen.

Sind die Größen $q_{v,d}$, E_2 und $\omega_{GR,v}$ bekannt, so lassen sich die Größen δ_0 und ($\text{krit } q_{v,d} / E_2$) in den Diagrammen F.1, F.3 und F.5 wie dargestellt ablesen (siehe Bild F.2):

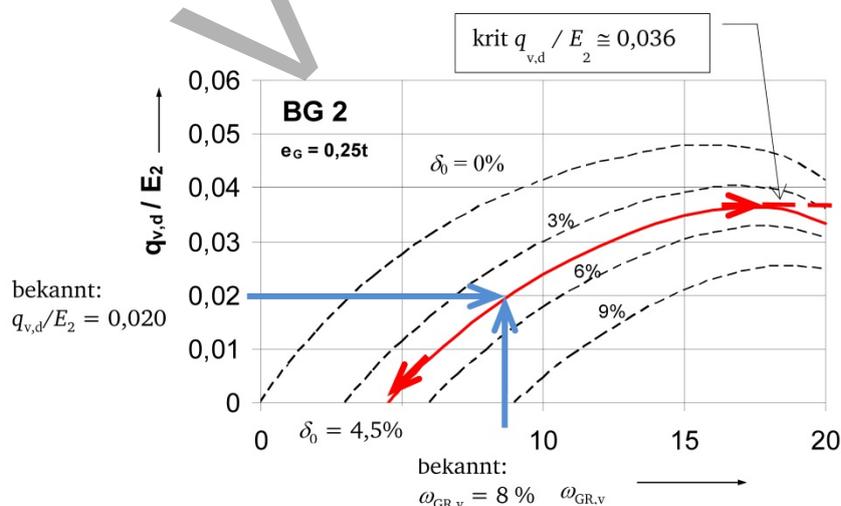


Bild F.2: Ermittlung von δ_0 und $\text{krit } (q_{v,d}/E_2)$ bei gegebenen Werten für $q_{v,d}/E_2 (= 0,020)$ und $\omega_{GR,v} (= 8 \%)$

F.2 Diagramme

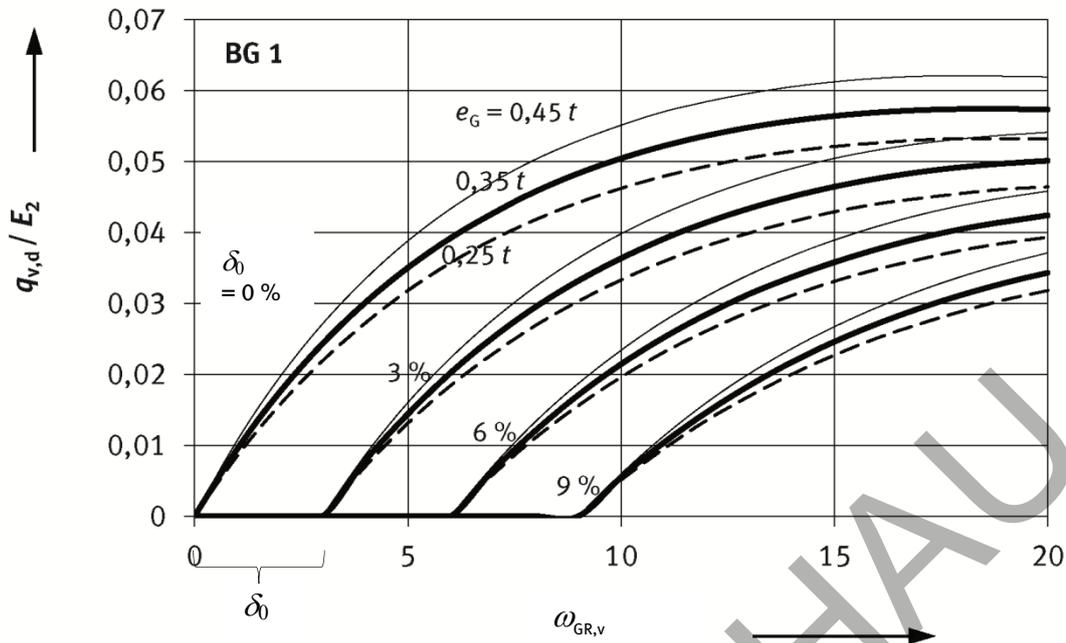


Diagramm F.1: Last-Verschiebungskurven des Viergelenkrings für Vertikallasten $q_{v,d}$, Bodengruppe G1, $K_2 = 0,4$

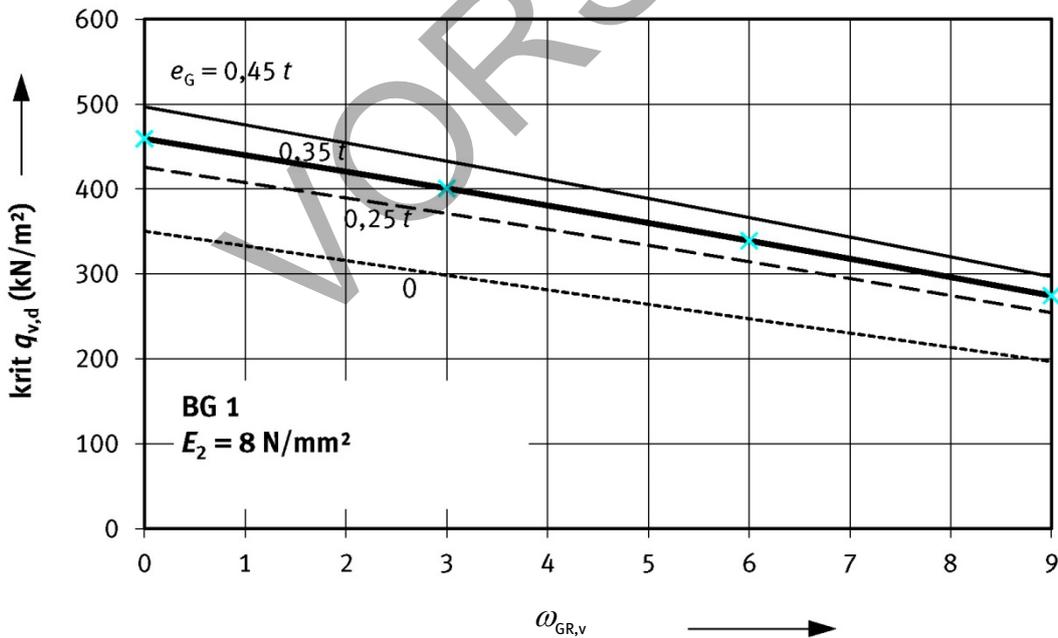


Diagramm F.2: Kritische Vertikallasten des Viergelenkrings, Bodengruppe G1, $K_2 = 0,4$; Maximalwerte aus Diagramm F.1 mit $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$

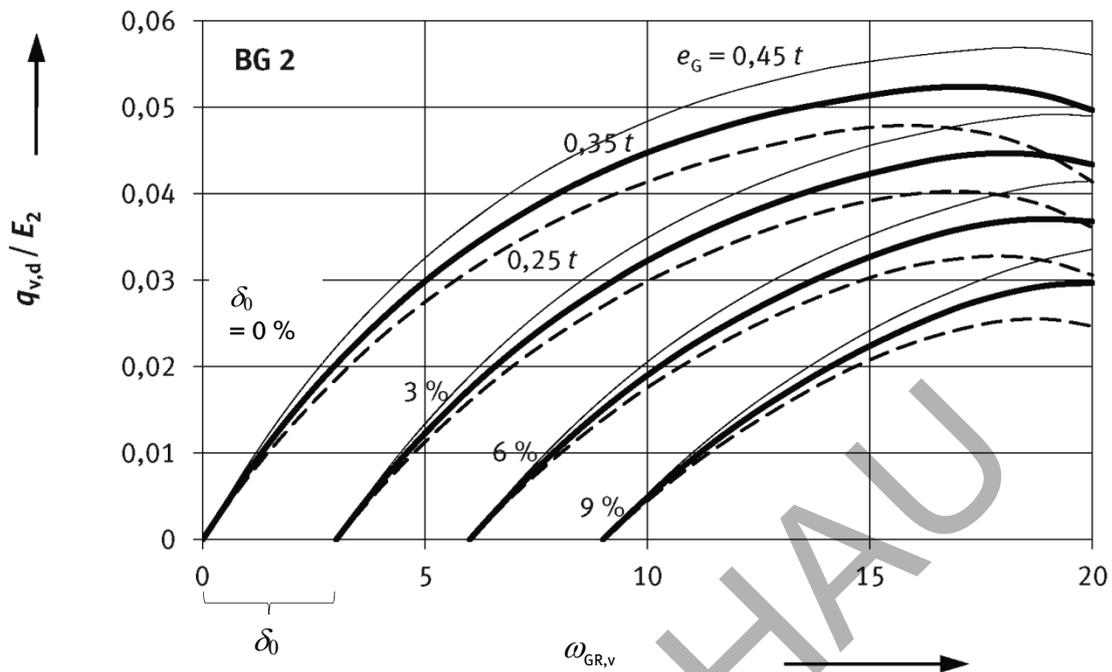


Diagramm F.3: Last-Verschiebungskurven des Viergelenkrings für Vertikallasten $q_{v,d}$, Bodengruppe G2, $K_2 = 0,3$

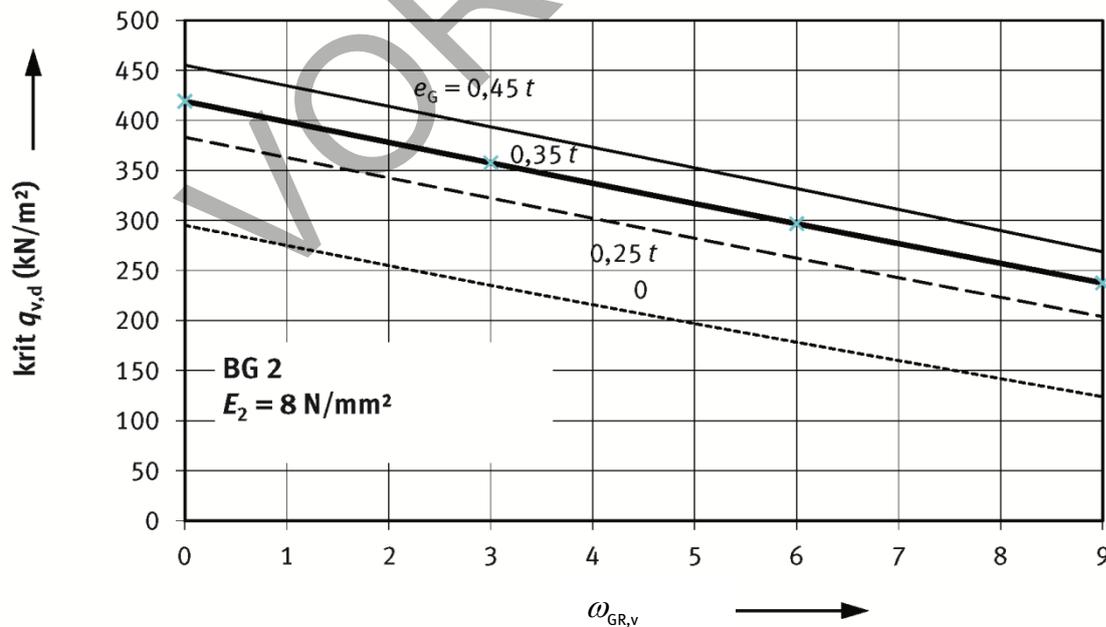


Diagramm F.4: Kritische Vertikallasten des Viergelenkrings, Bodengruppe G2, $K_2 = 0,3$; Maximalwerte aus Diagramm F.3 mit $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$

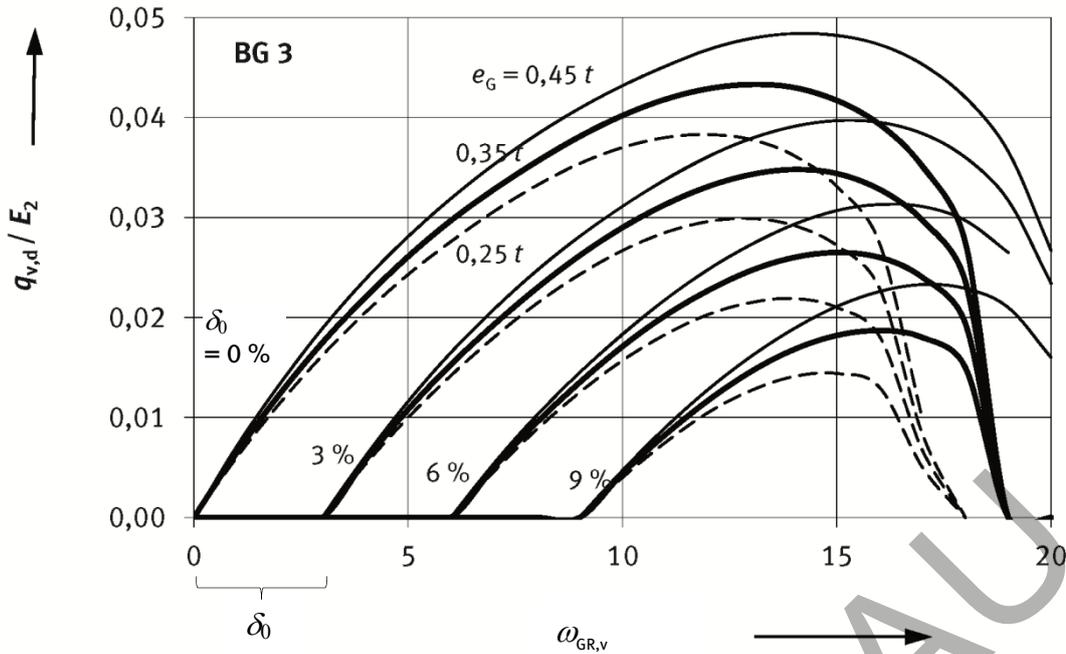


Diagramm F.5: Last-Verschiebungskurven des Viergelenkrings für Vertikallasten $q_{v,d}$, Bodengruppe G3, $K_2 = 0,2$; im plastischen Bereich gültig für $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$

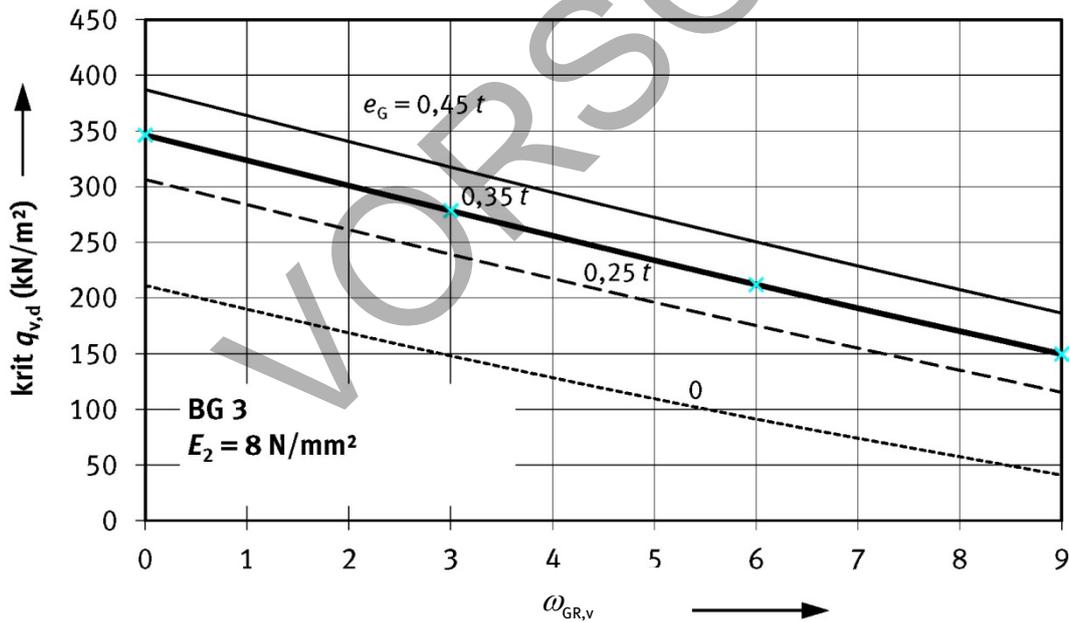


Diagramm F.6: Kritische Vertikallasten des Viergelenkrings, Bodengruppe G3, $K_2 = 0,2$; Maximalwerte aus Diagramm F.5 mit $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$

Anhang G (normativ) Mindestangaben für die statische Berechnung

--	--

1. Altrohr

Werkstoff _____
 Geometrie:
 Kreisprofil Nennweite DN _____ mm
 Eiprofil Breite/Höhe B/H _____ mm
 Anderes Profil genaue Maße und Radien
 siehe getrenntes Blatt
 Wanddicke $t =$ _____ mm

Allgemeine Schadensbeschreibung (siehe DWA-A 143-1):

Sohlauswaschungen _____
 Scheitellängsrisse _____
 Querrisse _____
 Scherbenbildung _____
 Rohrfehlstellen _____
 Maximale Ausdehnung: _____ mm
 Sonstige Schäden: _____

Einschätzung der Tragfähigkeit (Zutreffendes ankreuzen):

Altrohrzustand I: Altrohr allein tragfähig
 Altrohrzustand II: Altrohr-Bodensystem
 allein tragfähig
 Altrohrzustand III: Altrohr-Bodensystem
 langfristig allein nicht mehr tragfähig
 Altrohrzustand IIIa: Altrohrfragmente \equiv Kies
 allgemeine Beschreibung von ggf. vorhandenen
 Altrohrverformungen: _____

Anfangsverformung des Altrohr-Bodensystems $\delta_0^{12)}$ _____

2. Sanierungsverfahren (Bezeichnungen siehe DWA-A 143-3)

Besonderheiten: _____
 (Nahtlage, Schwächungen durch Noppen etc.)

3. Geometrie Liner

bei Kreisprofilen: mittlerer Radius r_L _____ mm
 bei Eiprofilen: mittl. Scheitelradius _____ mm
 Mindestwanddicke t_L _____ mm

4. Werkstoffkennwerte Liner (charakt. Werte)

Linerwerkstoff _____
 Elastizitätsmodul des Liners:
 Kurzzeit _____ N/mm²
 Langzeit _____ N/mm²
 ggf. Zugfestigkeit σ_z , Langzeit _____ N/mm²
 Biegezugfestigkeit σ_{bz} , Langzeit _____ N/mm²
 Druckfestigkeit σ_D , Langzeit _____ N/mm²
 ggf. Bruchdehnung ϵ_R , Langzeit _____ %

12) In der Regel 3 % des Radius.

5. Lasten, Bodenkennwerte

(nur bei Altrohrzustand III und IIIa sowie ggf. zur
 Abgrenzung zwischen den Altrohrzuständen II und III)

Verkehrslast _____

Überdeckung über Rohrscheitel

max $h =$ _____ m
 min $h =$ _____ m

Boden in der Leitungszone:

Bodengruppe _____
 Verformungsmodul $E_2 =$ _____ N/mm²
 Winkel der inneren Reibung $\varphi' =$ _____ °

6. Einwirkungen

Grundwasser über Rohrsohle

max $h_{w,so} =$ _____ m
 (mind. 1,5 m oder $H + 0,1$ m)

Örtlich begrenzte Vorverformung

– Kreisprofile nach Bild 13a,
 Tiefe: $\varphi_v =$ _____ %¹³⁾
 Ausbreitung: $2\varphi_1 =$ _____ °
 (i. d. R. 40°)
 Lage φ_v (Rohrsohle = 180°) _____ °
 (i. d. R. 180°)

– Eiprofile nach Bild 16,

Tiefe: $w_v/r_{LK} \cdot 100 \% =$ _____ %¹⁴⁾
 Ausbreitung: $2\varphi_1 =$ _____ °
 (i. d. R. 30°)
 Lage: $\varphi_v =$ _____ °
 (i. d. R. $\approx 18^\circ$)¹⁵⁾

Gelenkringvorverformung („Ovalisierung“
 nach Bild 13b, nur Altrohrzustand II od. III)

$\omega_{GR,v} =$ _____ %

Spaltweite nach Bild 13c:

$\omega_s =$ _____ %

Wärmeeinwirkungen:

Abkühlung $\Delta\vartheta < 0$ _____ K

Erwärmung $\Delta\vartheta > 0$ _____ K

Innendruck: $p_i =$ _____ bar

ggf. Wanddickenstreuungen:

$\Delta t_L/t_L \cdot 100 \% =$ _____ %

Datum, Unterschrift

Anlagen

Bodengutachten: _____

Kanalinspektion: _____

Werkstoffgutachten Liner: _____

Beprobung Altrohr: _____

Sonstige: _____

13) Ohne genauere Messungen i. d. R. ≥ 2 %.

14) In der Regel 0,5 % des Kämpferradius.

15) In der Regel in der Mitte des flachen Bereichs.

Anhang H (informativ) Berechnungsbeispiele für den Bauzustand Einziehen des Rohrstrangs

H.1 Beispiel 1 (Fall 1): Ein Liner DN 300 aus PE 80, SDR 17 (SN 8) wird am Grubenrand im Querschnitt reduziert und in ein Steinzeugrohr eingezogen

H.1.1 Gegeben: Höhendifferenz $h_g = 1,8$ m, Baugrubenlänge $l_g = 10$ m

Gesamtlänge des Rohrstrangs:	$L = 100$ m
Reibungsbeiwerte:	$\mu_R \cong 0,1$ (rollende Reibung, ggf. im Versuch bestätigt)
Neigung Altrrohr:	$\varphi_R \cong 0^\circ$, Gelände $\varphi_G \cong 0^\circ$
Spiel zwischen Altrrohr und Liner:	$\Delta h \cong 0$
Liner:	$\gamma_L = 9,4$ kN/m ³ ; $d_{L,a} = 355$ mm; $d_{L,i} = 314,8$ mm; $s_L = 20,1$ mm
spannungsabhängige Kurzzeit-E-Moduln:	$\sigma = 3$ N/mm ² ; $E_{\sigma=3} = 970$ N/mm ² ; $\sigma = 15$ N/mm ² ; $E_{\sigma=15} = 500$ N/mm ²
Hebelarm für Einspannung in der Reduziermaschine:	$a_2 \cong 1$ m

H.1.2 Werkstoffkennwerte, Beulgrenzwerte

$$\max R_K = 1,34 \cdot \frac{(355 - 20,1)^2}{20,1} = 7477 \text{ mm} \quad (1)$$

$$\max \varepsilon_K = \frac{355}{2 \cdot 7477} \cdot 100 \% = 2,37 \% < 3 \% \quad (2), \text{ Tabelle 4}$$

$$\max \sigma_K = 13,4 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Tabelle 4}$$

$$E_\sigma = 970 + \frac{970 - 500}{3 - 15} \cdot (13,4 - 3) = 563 \text{ N/mm}^2 \quad (3)$$

$$a = \frac{564 - 970}{970} = -0,4186 \quad (4)$$

$$E_m = \frac{970}{3} \cdot \frac{-0,4186^3}{0,4186^2 / 2 + 0,4186 + \ln(1 - 0,4186)} = 657 \text{ N/mm}^2 \quad (4)$$

H.1.3 Biegemomente

$$I_Q = \frac{\pi}{64} \cdot (0,355^4 - 0,3148^4) = 2,97 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \quad (7)$$

$$M_{1,h} = 6 \cdot 657 \cdot 10^3 \cdot 2,976 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1,8}{10^2} = 21,1 \text{ kNm} \quad (6)$$

$$M_{2,h} = -21,1 \text{ kNm} \quad (6)$$

$$A_Q = \frac{\pi}{4} \cdot (0,355^2 - 0,3148^2) = 0,0211 \text{ m}^2 \quad (11)$$

$$\bar{g}_L = 0,0211 \cdot 9,4 = 0,199 \text{ kN/m} \quad (10)$$

$$\bar{g}'_L = 0,199 \cdot \frac{\sqrt{10^2 + 1,8^2}}{10} = 0,202 \text{ kN/m} \quad (9)$$

$$M_{1,g} = M_{2,g} = -\frac{0,202 \cdot 10^2}{12} = -1,68 \text{ kNm} \quad (8)$$

H.1.4 Auflagerkräfte

$$\bar{A}_1 \cong \frac{21,1}{2 \cdot 0,355} = 29,7 \text{ kN} \quad (12)$$

$$A_1 = 29,7 - 0,202 \cdot \frac{10}{2} + 12 \cdot 657 \cdot 10^3 \cdot 2,97 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1,8}{10^3} = 32,9 \text{ kN} \quad (13)$$

$$\bar{A}_2 \cong \frac{21,1}{1,0} = 21,1 \text{ kN} \quad (14)$$

$$A_2 = 21,1 + 0,202 \cdot \frac{10}{2} + 12 \cdot 657 \cdot 10^3 \cdot 2,97 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1,8}{10^3} = 26,3 \text{ kN} \quad (15)$$

H.1.5 Zugkräfte

$$Z_g \cong 0,199 \cdot 100 \cdot 0,10 = 1,99 \text{ kN} \quad (16)$$

$$Z_M \cong (29,7 + 32,8 + 21,1 + 26,4) \cdot 0,10 = 11,0 \text{ kN} \quad (17)$$

$$Z_\beta = 0 \quad (18)$$

$$\Sigma Z \cong 1,99 + 11,0 + 0 = 13,0 \text{ kN} \quad (19)$$

H.1.6 Spannungen Zugkopf

$$\text{Schweißfaktor} \quad \alpha_w = 1,0$$

$$\text{Nettoquerschnitt} \quad A_{Q,n} = 0,80 \cdot A_Q = 0,0168 \text{ m}^2$$

$$\sigma_z = \frac{13,0}{0,0168 \cdot 1,0} = 774 \text{ kN/m}^2 = 0,774 \text{ N/mm}^2 \quad (20)$$

H.1.7 Spannungen am Altrohr (siehe Bild 4, Position (1))

$$W_Q = \frac{2 \cdot 2,97 \cdot 10^{-4}}{0,355} = 1,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \quad (22)$$

$$\sigma_z = \frac{13,0}{0,0211} + \frac{21,1 - 1,68}{1,68 \cdot 10^{-3}} = 616 + 11565 = 12181 \text{ kN/m}^2 = 12,18 \text{ N/mm}^2 \quad (21)$$

$$\sigma_d = -11,56 \text{ N/mm}^2 \text{ (ohne N-Anteil)} \quad (23)$$

H.1.8 Dehnungsnachweise am Altrohr (siehe Bild 4, Position (1))

$$\varepsilon_z = \frac{12,18}{500} \cdot 100 \% = 2,44 \% < 3 \% = \max \varepsilon \quad (24)$$

$$\varepsilon_d = \frac{11,56}{564} \cdot 100 \% = 2,05 \% < 2,37 \% = \max \varepsilon_k \quad (25)$$

H.1.9 Dehnungsnachweise am Baugrubenrand (siehe Bild 4, Position (2))

$$Z_2 = \Sigma Z - (A_1 + \bar{A}_1) \cdot \mu_R \cong 13,0 - (29,7 + 32,8) \cdot 0,10 = 6,75 \text{ kN}$$

$$\sigma_z = \frac{6,75}{0,0211} + \frac{|-21,1 - 1,68|}{1,68 \cdot 10^{-3}} = 320 + 13560 = 1388 \text{ kN/m}^2 = 13,88 \text{ N/mm}^2 \quad (21)$$

$$\varepsilon_z = \frac{13,88}{500} \cdot 100 \% = 2,78 \% < 3 \% = \max \varepsilon$$

$$\sigma_d = -13,55 \text{ N/mm}^2 \text{ (ohne N-Anteil)}$$

$$\varepsilon_d = -\frac{13,55}{564} \cdot 100 \% = 2,40 \% \cong 2,37 \% = \max \varepsilon_k$$

VORSCHAU

H.2 Beispiel 2 (Fall 2): Ein Liner DN 300 aus PE 80, SDR 17 (SN 8) wird in ein Betonrohr DN 400 über einen Stützbock am Grubenrand eingezogen

H.2.1 Gegeben: Gesamtlänge des Rohrstrangs $L = 100$ m

Reibungsbeiwerte: $\mu = 0,1$ (rollende Reibung, ggf. im Versuch bestätigt)

Höhendifferenz: $h_G = 1,8$ m

Neigung Altrohr: φ_R vernachlässigbar, Gelände $\varphi_G \cong 0^\circ$

Liner: $\gamma_L = 9,4$ kN/m³;

$d_{L,a} = 355$ mm;

$d_{L,i} = 314,8$ mm;

$s_L = 20,1$ mm

Altrohr: $d_i \cong 400$ mm

H.2.2 Spiel zwischen Altrohr und Liner

$$\Delta h \cong 400 - 355 = 45 \text{ mm}$$

$$\Delta h/d_{L,a} = 0,045/0,355 = 0,127$$

$$h_G/d_{L,a} = 1,8/0,355 = 5,07$$

H.2.3 Mindestlänge der Baugrube

$$\min \left(\frac{l_G}{d_{L,a}} \right) = 19$$

$$\min l_G = 19 \cdot 0,355 = 6,75 \text{ m}$$

Diagramm A.5

(26)

H.2.4 Auflagerkräfte

$$\frac{A_1}{\bar{g}_L} = 90$$

Diagramm A.6

$$\bar{g}_L = 0,199 \text{ kN/m}$$

siehe H.1 Beispiel 1

$$A_1 = 90 \cdot 0,199 = 17,9 \text{ kN}$$

(27)

$$\frac{A_2}{\bar{g}_L} = 50$$

Diagramm A.6

$$A_2 = 50 \cdot 0,199 = 10,0 \text{ kN}$$

(27)

Anhang I (informativ) Berechnungsbeispiel für den Bauzustand Verfüllen des Ringraums

In einem Betonrohr DN 500 soll ein Liner DN 400 aus PE 80, SDR 17 (SN 8) verfüllt werden. Durch Wasserfüllung und Einstellung der Wichte des Verfüllmaterials wird erreicht, dass der Liner auf die Sohle des Altrohrs absinkt (Fall A).

I.1 Gegeben: Ringspalt zwischen Altrrohr und Liner 25 mm

Wasserfüllung: $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$

Wichte des Verfüllmaterials: $\gamma_D = 8 \text{ kN/m}^3$

Druckhöhe aus Neigung des Altrohrs: 0,25 m
+ zusätzlicher Überdruck beim Injizieren des Verfüllmaterials: 0,25 bar

Liner: $\gamma_L = 9,4 \text{ kN/m}^3$;
 $d_{L,a} = 450 \text{ mm}$;
 $d_{L,i} = 399 \text{ mm}$;
 $t_L = 25,5 \text{ mm}$
 $\rightarrow r_L = 250 - 25 - t_L/2 = 212,25 \text{ mm}$

Kriterium für Absinken, Gl. (28):

$$\begin{aligned} \Sigma F &= 9,4 \cdot 0,0255 \cdot 2 \cdot 0,2122 \cdot \pi + (10 \cdot 0,399^2 - 8 \cdot 0,450^2) \cdot \frac{\pi}{4} \\ &= 0,319 + 1,250 - 1,272 = 0,297 \text{ kN/m} > 0 \rightarrow \text{Fall A} \end{aligned} \quad (28)$$

I.2 Spannungsnachweis

$$\gamma_D' = 8 \cdot \left(\frac{450}{424,5} \right)^2 = 8,99 \text{ kN/m}^3 \quad (33)$$

$$\gamma_w' = 10 \cdot \left(\frac{399}{424,5} \right)^2 = 8,83 \text{ kN/m}^3 \quad (38)$$

Für den Spannungsnachweis ist die Lastkombination Eigenlast (g) + Wasserfüllung (W) maßgebend. Annahme: biege-steifer Liner (= Lagerungsfall I)

Maßgebende Biegemomente in der Sohle, siehe Anhang B:

$$M_{g,d} = +1,35 \cdot 1,500 \cdot 9,4 \cdot 0,0255 \cdot 0,2122^2 = +0,0219 \text{ kNm/m} \quad (29)$$

$$M_{w,d} = +1,35 \cdot 0,750 \cdot 8,83 \cdot 0,2122^3 = +0,0854 \text{ kNm/m} \quad (36)$$

$$\Sigma M_d = +0,1073 \text{ kNm/m}$$

Kombinationen mit dem Lastfall Verdämmen (D) sind hier nicht maßgebend, da M_D das Biegemoment aus $g + W$ vermindert:

$$M_{D,d} = -1,35 \cdot 0,750 \cdot 8,99 \cdot 0,2122^3 = -0,0869 \text{ kNm/m} \quad (31)$$

Normalkräfte in der Sohle:

$$N_{g,d} = -1,35 \cdot 0,500 \cdot 9,4 \cdot 0,0255 \cdot 0,2122 = -0,034 \text{ kN/m} \quad (30)$$

$$N_{w,d} = +1,35 \cdot 1,250 \cdot 8,83 \cdot 0,2122^2 = +0,671 \text{ kN/m} \quad (37)$$

$$\Sigma N_d = +0,705 \text{ kN/m}$$

I.3 Querschnittswerte

$$A = 25,5 \text{ mm}^2/\text{mm} \quad (91)$$

$$W = 25,5^2/6 = 108,4 \text{ mm}^3/\text{mm} \quad (92)$$

$$\alpha_{ki} = 1 + 25,5/(3 \cdot 212,2) = 1,04; \alpha_{ka} = 0,96 \quad (41,42)$$

I.4 Spannungen

$$\max \sigma_{i,d} = + \frac{0,705}{25,5} + 1,04 \frac{107,3}{108,4} = +0,028 + 1,030 = +1,058 \text{ N/mm}^2 \quad (39)$$

Kurzzeit-Biegezugfestigkeit von PE: $\sigma_{bZ,ST} = 21 \text{ N/mm}^2$ Tabelle 3

Es folgt der Tragsicherheitsnachweis:

$$\frac{\max \sigma_d}{\sigma_{bZ,d}} = \frac{1,058}{21/1,25} = 0,07 < 1 \quad (43)$$

Der Nachweis ausreichender Tragsicherheit ist erbracht.

I.5 Verformungen

Aushärtungszeit des Verfüllmaterials: $t \cong 10 \text{ h}$

mittlere Aushärtungstemperatur: $\vartheta \cong 40 \text{ }^\circ\text{C}$

mittlere Werkstoffspannung: $\sigma = 2 \text{ N/mm}^2$

→ Kriechmodul des Linerwerkstoffs: $E_t(10 \text{ h}, 40 \text{ }^\circ\text{C}) = 300 \text{ N/mm}^2$

(siehe Kriechkurven des eingesetzten Werkstoffs)

$$\Delta d_v \cong 0,1488 \cdot \frac{12 \cdot 0,297}{300} \cdot \left(\frac{212,2}{25,5} \right)^3 = -1,02 \text{ mm} \quad (45)$$

$$\delta_v = \frac{1,02}{2 \cdot 212,2} \cdot 100 \% = 0,24 \% \quad (46)$$

Die Verformungen sind beim Nachweis des Betriebszustands als *Vorverformungen* zu berücksichtigen.

I.6 Stabilitätsnachweis

Maßgebende Lastfallkombination $g + D + W + p_0$ ($= 0,25 \text{ bar} = 25 \text{ kN/m}^2$):

$$N_{g,d} = -1,35 \cdot 0,500 \cdot 9,4 \cdot 0,0255 \cdot 0,2122 = -0,034 \text{ kN/m} \quad (30)$$

$$N_{D,d} = -1,35 \cdot 1,250 \cdot 8,99 \cdot 0,2122^2 = -0,683 \text{ kN/m} \quad (32)$$

$$N_{0,d} \cong -1,35 \cdot (8 \cdot 0,25 + 25) \cdot 0,225 = -8,201 \text{ kN/m} \quad (35)$$

$$N_{W,d} = +1,35 \cdot 1,250 \cdot 8,83 \cdot 0,2122^2 = \underline{+0,671 \text{ kN/m}} \quad (37)$$

$$\Sigma N_d = -8,247 \text{ kN/m}$$

$$p_{a,d} = \frac{\Sigma N_d}{r_L} = \frac{8,247}{0,2122} = 38,9 \text{ kN/m}^2 \quad (48)$$

$$\text{krit } p_{a,d} (10 \text{ h}, 40 \text{ °C}) = \frac{1}{1,25} \cdot 3,0 \cdot \frac{300}{12 \cdot (1 - 0,35^2)} \cdot \left(\frac{25,5}{212,25} \right)^3 = 0,118 \text{ N/mm}^2 \quad (47)$$

$$\frac{p_{a,d}}{\text{krit } p_{a,d}} = \frac{38,9}{118} = 0,33 < 1 \quad (48)$$

Der Nachweis ausreichender Beulsicherheit ist erbracht.

VORSCHAU

Anhang J (informativ) Berechnungsbeispiele für den Betriebszustand

Im Folgenden wird der Berechnungsgang für einen PE-80-Liner SDR 17,6, drei Schlauchliner aus UP-SF und UP-GF zur Sanierung von Sammlern DN 500 aus Beton und Steinzeug sowie eines Eiprofils $B:H = 600 \text{ mm} : 900 \text{ mm}$ aus Beton gezeigt.

Die Sammler sind zuvor sorgfältig inspiziert worden, sodass quantitative Aussagen über Schäden und Verformungen vorliegen. Die Standsicherheitsnachweise für die Schlauchliner werden zu Vergleichszwecken für die Altrohrzustände I, II und III wiedergegeben. Durch den Verweis auf Formeln, Tabellen, Diagramme und Abschnittsnummern kann der Berechnungsgang mit dem Arbeitsblatt verglichen werden.

Tabelle J.1: Eingabedaten

Eingabedaten	Größe	Einheit	Rohrlining		Schlauchverfahren		
			AZ I	AZ I	AZ II	AZ III	
Geometrie			Kreis	Kreis	Eiprofil	Kreis	
Werkstoff Liner			PE 80	UP-SF	UP-GF	UP-SF	UP-GF
Altrohr							
Werkstoff	–	–	Beton	Beton	Beton	Stz	Stz
Nennweite	DN	mm	500	500	600/900	500	500
Innendurchmesser	d_i	mm	500	500	600/900	500	500
Außendurchmesser	d_a	mm	600	600	–	581	581
Wanddicke	t	mm	50	50	60	40,5	40,5
Korrosionsabtrag	Δt	mm	5	0	0	0	0
Biegezugfestigkeit	σ_R	N/mm ²	6	6	≈ 3	≈ 10	≈ 10
Druckfestigkeit	σ_D	N/mm ²	> 20	> 20	> 20	> 50	> 50
Exzentrizität der Altrohrgelenke	e_c/t	–	–	–	0,25	0,25	0,25
Liner							
Werkstoff	–	–	PE 80	UP-SF ³⁾	UP-GF ⁴⁾	UP-SF ³⁾	UP-GF ⁴⁾
Radius (außen)	$r_{L,a}$	mm	225	250	300 ⁵⁾	250	250
Wanddicke	t_L	mm	25,5	9,0	10,0	9,0	5,0
E-Modul, charakteristischer Wert							
Kurzzeit (Index ST)	$E_{SL,ST,k}$	N/mm ²	800	2.800 ³⁾	10.000 ⁴⁾	2.800 ³⁾	10.000 ⁴⁾
Langzeit (Index LT)	$E_{L,LT,k}$	N/mm ²	110 ¹⁾	1.400 ³⁾	6.000 ⁴⁾	1.400 ³⁾	6.000 ⁴⁾

Tabelle J.1 (fortgesetzt)

Eingabedaten	Größe	Einheit	Rohrlining		Schlauchverfahren		
			AZ I	AZ I	AZ II	AZ III	
Geometrie			Kreis	Kreis	Eiprofil	Kreis	
Werkstoff Liner			PE 80	UP-SF	UP-GF	UP-SF	UP-GF
Biegezugfestigkeit, charakteristischer Wert							
Kurzzeit (Index ST)	$\sigma_{bZ,ST,k}$	N/mm ²	21 ²⁾	36 ³⁾	120 ⁴⁾	36 ³⁾	120 ⁴⁾
Langzeit (Index LT)	$\sigma_{bZ,LT,k}$	N/mm ²	14 ²⁾	18 ³⁾	60 ⁴⁾	18 ³⁾	60 ⁴⁾
Druckfestigkeit, charakteristischer Wert							
Kurzzeit (Index ST)	$\sigma_{D,ST,k}$	N/mm ²	35,1 ²⁾	50 ³⁾	120 ⁴⁾	50 ³⁾	120 ⁴⁾
Langzeit (Index LT)	$\sigma_{D,LT,k}$	N/mm ²	23,4 ²⁾	25 ³⁾	60 ⁴⁾	25 ³⁾	60 ⁴⁾
Teilsicherheitsbeiwert Material (Tabelle 19) ungünstig wirkend	γ_M	–	1,25	1,35	1,35	1,35	1,35
günstig wirkend	γ_M	–	–	–	–	1,0	1,0
Teilsicherheitsbeiwert Einwirkungen (Tabelle 18)	γ_F	–	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Wärmedehnzahl	α_T	1/K	–	–	–	–	–
Querkontraktionszahl	μ	–	0,38	0,35 ³⁾	0,25 ⁴⁾	0,35 ³⁾	0,25 ⁴⁾
Imperfektionen							
Vorverformung Altrrohr und/oder Liner	ω_v	%	1,0	2,0	0,8	2,0 ⁷⁾	2,0 ⁷⁾
Lage	φ_v	°	180	180	108,4	180 ⁷⁾	180 ⁷⁾
Öffnungswinkel	$2\varphi_1$	°	40	40	30	40 ⁷⁾	40 ⁷⁾
Spaltweite zwischen Altrrohr und Liner	ω_s	%	~0,5 ⁸⁾	0,5	0,4	0,5	0,5
Gelenkringvorverformung (Ovalisierung)	$\omega_{GR,v}$	%	–	–	3,0	6,0	6,0
Boden							
Bodengruppe	G	–	–	–	3	3	3
Verformungsmodul des Bodens der Leitungszone	E_2	N/mm ²	–	–	8 ⁶⁾	8 ⁶⁾	8 ⁶⁾
Erdruckbeiwert (siehe ATV-DVWK- A 127:2000-08: Tabelle 9)	K_2	–	–	–	0,2	0,2	0,2
innerer Reibungswinkel	ϕ'	°	–	–	25	25	25

Tabelle J.1 (Ende)

Eingabedaten	Größe	Einheit	Rohrlining	Schlauchverfahren			
			AZ I	AZ I	AZ II	AZ III	
Geometrie			Kreis	Kreis	Eiprofil	Kreis	
Werkstoff Liner			PE 80	UP-SF	UP-GF	UP-SF	UP-GF
Einwirkungen							
Maximale Grundwasserhöhe über Rohrsohle	$\max h_w$	m	4,5	4,5	2,0	2,0	2,0
Wichte des Grundwassers	γ_w	kN/m ³	10	10	10	10	10
Wichte des Liners	γ_L	kN/m ³	9,4	13,5 ³⁾	17,5 ⁴⁾	13,5 ³⁾	17,5 ⁴⁾
Temperaturänderung	$\Delta\vartheta$	K	–	–	–	–	–
Altrohrzustand II + III							
Überdeckungshöhe	h	m	–	–	(4,0)	4,0	4,0
Verkehrslast	–	–	–	–	(TS) ⁹⁾	TS ⁹⁾	TS ⁹⁾
Nationaler Anpassungsfaktor	α_Q	–	–	–	1,0	1,0	1,0
Flächenlast GOK	p_0	kN/m ²	–	–	–	–	–
Konzentrierte Flächenlast auf Rohrscheitel	p_K	kN/m ²	–	–	–	–	–
ANMERKUNGEN							
1) Kriechmodul für 2000 h (siehe Tabelle 3), für 50 Jahre extrapoliert.							
2) Siehe Tabelle 3 und Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127.							
3) Ungesättigtes Polyesterharz, synthefaserverstärkt (UP-SF); angenommene Rechenwerte.							
4) Ungesättigtes Polyesterharz, glasfaserverstärkt (UP-GF), angenommene Rechenwerte.							
5) Scheitelradius, außen.							
6) Für das Berechnungsbeispiel sei angenommen, dass der Verformungsmodul in der Leitungszone $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ aus einem Bodengutachten entnommen wurde.							
7) Die Altleitung ist vor der Sanierung gerissen, der Ansatz von ω_v ist nur für den Lastfall Wasseraußendruck erforderlich.							
8) Für die Spaltweite $w_s = 1 \text{ mm}$ nach Tabelle 5 folgt die bezogene Spaltweite $\omega_s = w_s / r_L \cdot 100 \% = 1,0 / 212,3 \cdot 100 \% \cong 0,5 \%$							
9) Tandemsystem (Doppelachse) nach DIN EN 1991-2.							
AZ Altrohrzustand							

Tabelle J.2: Berechnungsgang

Abschnitt (Gl.-Nr.) Tab.-Nr. Diagr.-Nr.	Berechnungsgang	Einheit	Rohrlining	Schlauchverfahren				
			AZ I	AZ I	AZ II	AZ III		
			Kreis	Kreis	Eiprofil	Kreis		
			PE 80	UP-SF	UP-GF	UP-SF	UP-GF	
Liner								
	Mittlerer Radius r_L	mm	212,3	245,5	–	245,5	247,5	
Anhang	Bei Eiprofilen: Linerradien							
	Scheitel $r_{L,S}$	mm	–	–	295	–	–	
	Kämpfer $r_{L,K}$	mm	–	–	895	–	–	
	Sohle $r_{L,So}$	mm	–	–	145	–	–	
(144)	Ersatzkreis $r_{L,E}$	mm	–	–	535	–	–	
	Verhältnis r_L/t_L bzw. $r_{L,E}/t_L$	–	8,33	27,28	53,5	27,28	49,5	
	Örtliche Vorverformung w_v	mm	2,1	4,9	7,2	4,9	4,95	
	Gelenkringvorverformung (Ovalisierung) $w_{GR,v}$	mm	–	–	8,9	~15	~15	
	Spaltweite w_s	mm	1,0	1,2	1,2	(1,2)	(1,2)	
	E-Modul, Bemessungswert							
	Langzeit $E_{L,LT,d}$	N/mm ²	88	1037	4440	1037	4440	
	Biegezugfestigkeit, Bemessungswert							
	Langzeit $\sigma_{bz,LT,d}$	N/mm ²	11,2	13,3	44,4	13,3	44,4	
	Druckfestigkeit, Bemessungswert							
	Langzeit $\sigma_{D,LT,d}$	N/mm ²	18,7	18,5	44,4	18,5	44,4	
Einwirkungen								
	Wasseraußendruck über Linersohle $p_{a,k}$	kN/m ²	45,0	45,0	20,0	20,0	20,0	
ATV-DVWK- A 127: 2000-08	Wichte des Bodens γ_B	kN/m ³	–	–	20	20	20	
ATV-DVWK- A 127: 2000-08	unter Auftrieb γ'_B	kN/m ³	–	–	–	10	10	

Tabelle J.2 (fortgesetzt)

Abschnitt (Gl.-Nr.) Tab.-Nr. Diagr.- Nr.	Berechnungsgang	Einheit	Rohrlining	Schlauchverfahren			
			AZ I	AZ I	AZ II	AZ III	
			Kreis	Kreis	Eiprofil	Kreis	
			PE 80	UP-SF	UP-GF	UP-SF	UP-GF
(59)	Erdlast, charakteristischer Wert $p_{E,k}$	kN/m ²	–	–	80,0	80,0	80,0
Diagr. 4	Verkehrslast für $\alpha_Q = 0,8$, charakteristischer Wert (inkl. Stoßbeiwert) $p_{T,k}$	kN/m ²	–	–	13,0	13,0	13,0
7.4.3.3b)	Nationaler Anpassungsfaktor α_Q	–	–	–	1,0	1,0	1,0
7.4.3.3b)	Verkehrslast für $\alpha_Q = 1,0$ (inkl. Stoßbeiwert) $p_{T,k}$	kN/m ²	–	–	16,2	16,2	16,2
Lastaufteilung							
(60)	Horizontale Bettungs- steifigkeit S_{Bh}	N/mm ²	–	–	6,4	6,4	6,4
ATV-DVWK- A 127: 2000-08: Tab. 9	Erddruckbeiwert für BG 3 K_2	–	–	–	0,2	0,2	0,2
(63)	Konzentrationsfaktor λ_R	–	–	–	0,75	0,75	0,75
(63)	neben dem Rohr λ_B	–	–	–	1,08	1,08	1,08
(73)	vertikale Bodenspannung $q_{v,d}$	kN/m ²	–	–	102,9	102,9	102,9
Diagr. 5	horizontale Bodenspan- nung aus Verkehr (ermit- telt für $K_2 = 0,2$) $p_{Th,d}$	kN/m ²	–	–	1,35	1,35	1,35
(75,76)	gesamte horizontale Bodenspannung $q_{h,d}$	kN/m ²	–	–	26,3	26,3	26,3
(77)	rechnerischer Erddruck- beiwert K_2'	–	–	–	0,26 > 0,2	0,26 > 0,2	0,26 > 0,2
Nachweis des Altrohr-Boden-Systems							
Tab. 14	bezog. Exzentrizität e_C/t	–	–	–	0,25	0,25	0,25
Diagr. 11, Diagr. 12	krit $q_{v,d}$ (bei $t_L = 0$ ablesen)	kN/m ²	–	–	175	125	125
(50)	Nachweis $q_{v,d}/\text{krit } q_{v,d} \leq 1$	–	–	–	0,58 < 1,0	0,82 < 1,0	0,82 < 1,0
Schnittkräfte aus $p_{a,d}$							
D.1.4	maximale Grundwasser- höhe über Rohrsohle, Bemessungswert $\max h_{W,d}$	m	6,75	6,75	3,00	3,00	3,00
(78)	Wasseraußendruck, Bemessungswert $p_{a,d}$	N/mm ²	0,0675	0,0675	0,030	0,030	0,030
D.1.5	M- und N-Beiwerte ablesen bei $t_{L, DN300}$ bzw. $t_{L, B600}$	mm	–	5,4	10,0	5,4	3,0

Tabelle J.2 (fortgesetzt)

Abschnitt (Gl.-Nr.) Tab.-Nr. Diagr.- Nr.	Berechnungsgang	Einheit	Rohrlining	Schlauchverfahren				
			AZ I	AZ I	AZ II	AZ III		
			Kreis	Kreis	Eiprofil	Kreis		
			PE 80	UP-SF	UP-GF	UP-SF	UP-GF	
D.1 bis D.4b E.1 bis E.12	Sohle m_{pa}	–	0,0215 ¹⁾	0,036 ²⁾	0,125	0,055 ²⁾	0,055 ⁵⁾	
	Normalkraftbeiwert oder: n_{pa}	–	–0,960 ¹⁾	–	–2,5	–	–	
(79)	untere Schranke $\min n_{pa}$	–	–	–1,5	–	–1,5	–1,5	
(80)	obere Schranke $\max n_{pa}$	–	–	–0,8	–	–0,8	–0,8	
(82)	Biegemoment $M_{pa,d}$	Nmm/mm	65,4 ¹⁾	146,5	326,3	99,4	101,1	
(83)	Normalkraft oder: $N_{pa,d}$	N/mm	–13,8 ¹⁾	–	–22,1	–	–	
(82)	Abschätzung $\min N_{pa,d}$	N/mm	–	–24,9	–	–11,0	–11,1	
(83)	Abschätzung $\max N_{pa,d}$	N/mm	–	–13,3	–	–5,9	–5,9	
Querschnittswerte des Liners								
(91)	Fläche A	mm ² /mm	25,5	9,0	10,0	9,0	5,0	
(92)	Widerstandsmoment W	mm ³ /mm	108,4	13,5	16,67	13,5	4,17	
Krümmungsbeiwerte								
(89)	innen α_{ki}	–	1,04	1,01	≈ 1,01	1,01	1,007	
(90)	außen α_{ka}	–	0,96	0,99	≈ 0,99	0,99	0,993	
Spannungen aus $p_{a,d}$								
(87)	Sohle, innen $\sigma_{i,d}$ (max σ)	N/mm ²	0,09	9,5	17,56	6,82	23,2	
(88)	Sohle, außen $\sigma_{a,d}$ (min σ) (Eiprofil: flacher Bereich)	N/mm ²	–1,12	–13,5	–21,59	–8,52	–26,3	
Tragsicherheitsnachweis für $p_{a,d}$								
(107)	Nachweis $\sigma_{i,d}/\sigma_{bz,d} \leq 1$	–	0,01 < 1,0	0,71 < 1,0	0,40 < 1,0	0,51 < 1,0	0,52 < 1,0	
(108)	Nachweis $\sigma_{a,d}/\sigma_{D,d} \leq 1$	–	0,06 < 1,0	0,73 < 1,0	0,49 < 1,0	0,46 < 1,0	0,59 < 1,0	
Schnittkräfte aus $q_{v,d}$								
(73)	vertikale Gesamtlast, Bemessungswert $q_{v,d}$	N/mm ²	–	–	–	0,1029	0,1029	
E.1.3	M- und N-Beiwerte ablesen bei $t_{L,DN300}$	mm	–	–	–	5,4	3,0	

Tabelle J.2 (fortgesetzt)

Abschnitt (Gl.-Nr.) Tab.-Nr. Diagr.- Nr.	Berechnungsgang	Einheit	Rohrlining	Schlauchverfahren				
			AZ I	AZ I	AZ II	AZ III		
			Kreis	Kreis	Eiprofil	Kreis		
			PE 80	UP-SF	UP-GF	UP-SF	UP-GF	
Diag. E.4 Diag. E.10	Biegemomentenbeiwert Scheitel, Sohle	m_q	-	-	-	-	0,014	~0,01
Diag. E.5 Diag. E.11	Normalkraftbeiwert Scheitel, Sohle	n_q	-	-	-	-	-0,05	-0,02
(85)	Biegemoment Scheitel, Sohle	$M_{q,d}$	Nmm/mm	-	-	-	86,8	63,0
(86)	Normalkraft Scheitel, Sohle	$N_{q,d}$	N/mm	-	-	-	-1,26	-0,50
Spannungen aus $q_{v,d}$								
(87)	Scheitel, Sohle, innen	$\sigma_{i,d}$	N/mm ²	-	-	-	6,35	15,1
(88)	außen	$\sigma_{a,d}$	N/mm ²	-	-	-	-6,50	-15,1
Tragsicherheitsnachweis für $q_{v,d}$								
(107)	Nachweis	$\sigma_{i,d}/\sigma_{bZ,d} \leq 1$	-	-	-	-	0,48 < 1,0	0,34 < 1,0
(108)	Nachweis	$\sigma_{a,d}/\sigma_{D,d} \leq 1$	-	-	-	-	0,34 < 1,0	0,34 < 1,0
Tragsicherheitsnachweis bei Interaktion von $p_{a,d}$ und $q_{v,d}$								
(114)	Nachweis für Biegezug	-	-	-	-	-	0,74 < 1,0	0,64 < 1,0
(115)	Nachweis für Druck	-	-	-	-	-	0,58 < 1,0	0,71 < 1,0
Verformungen								
	vertikale Gesamtlast, Gebrauchslast	$q_{v,k}$	kN/m ²	-	-	-	76,2	76,2
	$\delta_{v,el}$ ablesen bei	$t_{L,DN300}$	mm	- ¹⁾	-	-	5,4	3,0
Diag. E.6 Diag. E.12	bezogene elastische Verformung	$\delta_{v,el}$	%	1,24 ¹⁾	1,39	1,54 ³⁾	2,8	2,6
	elastische Verformung	$\Delta d_{v,el}$	mm	5,60 ¹⁾	6,82	9,24 ¹⁾	7,0	6,5
7.5.6	örtliche Vorverf.	$\frac{1}{2}\omega_v$	%	0,5	1,0	0,4	-	-
	Gelenkringvorverformung (Ovalisierung)	$\omega_{GR,v}$	%	0	0	(3,0)	6,0	6,0
(104)	Gesamtverformung	δ_v	%	1,74	2,39	1,94	8,8	8,6
Verformungsnachweis								
7.6.3	zulässige elastische Verformung	zul $\delta_{v,el}$	%	1,24 < 3,0	1,39 < 3,0	1,54 < 3,0	2,8 < 6,0	2,6 < 6,0
7.6.3	zulässige Gesamtverfor- mung (Anhaltswert) zul	δ_v	%	1,74 < 10	2,39 < 10	1,94 < 10	8,8 < 10	8,6 < 10

Tabelle J.2 (fortgesetzt)

Abschnitt (Gl.-Nr.) Tab.-Nr. Diagr.- Nr.	Berechnungsgang	Einheit	Rohrlining	Schlauchverfahren				
			AZ I	AZ I	AZ II	AZ III		
			Kreis	Kreis	Eiprofil	Kreis		
			PE 80	UP-SF	UP-GF	UP-SF	UP-GF	
Stabilitätsnachweise für äußeren Wasserdruck $p_{a,d}$								
(78)	Wasseraußendruck, Bemessungswert $p_{a,d}$	N/mm ²	0,0675	0,0675	0,03	0,03	0,03	
(144)	Verhältnis r_L/t_L bzw. $r_{L,E}/t_L$	–	8,33	27,28	53,5 ⁴⁾	27,28	49,5	
	Abminderungsfaktor für Imperfektionen 1) Standardfall: ($\omega_v = 2,0$ und $\omega_s = 0,5$)							
Tab. 5	örtl. Vorverformung ω_v	%	–	2,0	2,0 ⁷⁾	2,0	2,0	
Tab. 5	Spaltweite ω_s	%	–	0,5	0,5 ⁷⁾	0,5	0,5	
Tab. 5	Gelenkringvorverformung (Ovalisierung) $\omega_{GR,v}$	%	–	0	3,0 ⁷⁾	6,0	6,0	
Diagr. 7	→ Abminderungsfaktor $\kappa_{v,s}$	–	–	0,61 ⁶⁾	0,34 ⁶⁾	0,40 ⁶⁾	0,28 ⁶⁾	
	2) kein Standardfall: ($\omega_v \neq 2,0$ oder $\omega_s \neq 0,5$)							
Tab. 5	örtl. Vorverformung ω_v	%	1,0					
Diagr. 8	→ Abminderung κ_v	–	0,94					
Tab. 5	Spaltweite ω_s	%	~0,5					
Diagr. 10	→ Abminderung κ_s	–	0,95					
Tab. 5	Gelenkringvorverformung (Ovalisierung) $\omega_{GR,v}$	%	0					
Diagr. 9	→ Abminderung $\kappa_{GR,v}$	–	1,0					
(120)	→ Abminderungsfaktor $\kappa_{v,s} \cong \kappa_v \cdot \kappa_s \cdot \kappa_{GR,v}$	–	0,89					
(117)	Durchschlagbeiwert α_D	–	14,3	36,9	63,2	36,9	59,4	
(118)	Langzeit-Rohrsteifigkeit, Bemessungswert $S_{L,d}$	N/mm ²	0,0148	0,00485	0,00258	0,00485	0,00325	
Stabilitätsnachweis für $p_{a,d}$								
(116)	kritischer Wasseraußen- druck $p_{a,d}^{krit}$	N/mm ²	0,188	0,1092	0,0544	0,0716	0,0541	
(123)	Nachweis $p_{a,d}/krit p_{a,d} \leq 1$	–	0,36 < 1	0,62 < 1,0	0,54 < 1,0	0,42 < 1,0	0,55 < 1,0	

Tabelle J.2 (Ende)

Abschnitt (Gl.-Nr.) Tab.-Nr. Diagr.- Nr.	Berechnungsgang	Einheit	Rohrlining	Schlauchverfahren				
			AZ I	AZ I	AZ II	AZ III		
			Kreis	Kreis	Eiprofil	Kreis		
			PE 80	UP-SF	UP-GF	UP-SF	UP-GF	
Stabilitätsnachweis für Erd- und Verkehrslasten $q_{v,d}$								
siehe oben	vertikale Gesamtlast $q_{v,d}$	N/mm ²	–	–	–	0,1029	0,1029	
7.6.4.6	krit $q_{v,d}$ ablesen bei $t_{L, DN300}$	mm	–	–	–	5,4	3,0	
Diagr. 11, Diagr. 12	kritische vertikale Belastung krit $q_{v,d}$	N/mm ²	–	–	–	0,135	0,130	
(134)	Nachweis $q_{v,d}/\text{krit } q_{v,d} \leq 1$	–	–	–	–	0,76 < 1,0	0,79 < 1,0	
Stabilitätsnachweis für Wärmeeinwirkungen $\Delta\vartheta$ in K								
Tab. 18	Teilsicherheitsbeiwert γ_F	–	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
(129)	$p_{\vartheta,d}$	N/mm ²	–	–	–	–	–	
(127)	krit $p_{\vartheta,d}$	N/mm ²	–	–	–	–	–	
(130)	Nachweis $p_{\vartheta,d}/\text{krit } p_{\vartheta,d} \leq 1$	–	–	–	–	–	–	
Stabilitätsnachweis für Eigenlasten $g_{L,d}$								
	$g_{L,d}$	N/mm ²	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0	
(132)	Durchschlagbeiwert α_D	–	–	–	–	–	–	
(131)	krit $g_{L,d}$	N/mm ²	–	–	–	–	–	
(133)	Nachweis $g_{L,d}/\text{krit } g_{L,d} \leq 1$	–	–	–	–	–	–	
Stabilitätsnachweis bei Interaktion von $q_{v,A,d}$ und $p_{a,d}$								
(74)	vertikale Bodenspannung unter Auftrieb $q_{v,A,d}$	N/mm ²	–	–	–	0,0885	0,0885	
siehe oben	$p_{a,d}$	N/mm ²	–	–	–	0,03	0,03	
siehe oben	kritische vertikale Belastung krit $q_{v,d}$	N/mm ²	–	–	–	0,135	0,130	
siehe oben	kritischer Wasser- außendruck krit $p_{a,d}$	N/mm ²	–	–	–	0,0716	0,0541	
(137)	Interaktionsnachweis ≤ 1	–	–	–	–	0,85 < 1,0	1,02 ≈ 1,0	
ANMERKUNGEN								
1) Aus elektronischer Berechnung – die Verformungen dürfen mit Gebrauchslasten berechnet werden.								
2) Ablesung bei $t_{L, DN300} = t_L \cdot 300/500 = 9 \cdot 0,6 = 5,4$ mm und $h_{w,d} = 6,75$ m im Diagramm für DN 300, UP-SF.								
3) Auf die Profilbreite B bezogen.								
4) Unter Verwendung des Ersatzkreisradius $r_{L,E}$.								
5) Ablesung bei $t_{L, DN300} = t_L \cdot 300/500 = 5 \cdot 0,6 = 3$ mm und $h_{w,d} = 3,0$ m im Diagramm für DN 300, UP-GF.								
6) Für den Standardfall $\omega_v = 2\%$ und $\omega_s = 0,5\%$ wird $\kappa_{v,s}$ aus Diagramm 7 direkt abgelesen.								
7) Der Stabilitätsnachweis für Eiprofile wird am Ersatzkreis mit dem Radius $r_{L,E}$ nach Gl. (144) durchgeführt, siehe Abschnitt 7.8.1.								
AZ Altrohrzustand								

Anhang K (informativ) Altrohrzustand IIIa

K.1 Erläuterungen

Es gibt Altrohre im Zustand III, die zusätzlich zu den bereits bekannten Merkmalen dieses Zustands noch eine geringe Materialqualität (z. B. Betongüte $\leq C8/10$ oder Mauerwerk $\leq MG II$) besitzen. Diese Rohre weisen eine geringe Druckfestigkeit in den Druckzonen der Rissbereiche auf. Wird beim Nachweis der Druckzonen des Altrohrs der Nachweis (102) im Abschnitt 7.5.4.3 nicht erfüllt, so ist in den Altrohrkämpfern keine Kraftübertragung mehr möglich.

In begehbaren Profilen können die Festigkeitswerte durch Entnahme und Prüfung von Bohrkernen festgestellt werden – im nicht begehbaren Bereich müssen sie abgeschätzt werden (Rohralter, Medium, TV-Untersuchung).

Für diese Ausnahmefälle sind gesonderte Untersuchungen erforderlich, falls eine Neuverlegung der Leitung nicht möglich ist. Die Berechnung von Linern in solchen Leitungen ist mit dem Modell des teilweise elastisch gebetteten Kreisringes (siehe ATV-DVWK-A 127:2000-08: 9.5.4) möglich, siehe die Schnittgrößenbeiwerte in den nachfolgenden Diagrammen.

Wichtig: Sämtliche Arbeitsschutzmaßnahmen sind zu beachten und einzuhalten - besonders bei der Renovation von begehbaren Großprofilen wird empfohlen, die Resttragfähigkeit durch einen Gutachter feststellen zu lassen!

Die Stabilitätsnachweise des Liners für Altrohrzustand IIIa sind nach Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 zu führen.



Bild K.1: Altrohrzustand IIIa (erhebliche Scherbenbildung, Betongüte z. B. $\leq C8/10$, aus Bohrkernen ermittelt, Mauerwerksfestigkeit II oder schlechter und/oder ungünstige Bodenparameter)

K.2 Rechenmodell des Liner-Bodensystems

- Einfach symmetrische Belastung durch Erd- und Verkehrslasten $q_{v,d}$ und $q_{h,d}$ (konstant, richtungstreu)
- Wasseraußendruck: Addition des Wasserdrucks zu q_v : $q_{v,w} = q_v + p_a$ (sichere Seite)
- Eigenlasten des Liners: vernachlässigt
- 360° Stabwerkmodell, ebener Verzerrungszustand
- Bettung durch Altrohr (Kies) und Boden, Verformungsmodul E'_2 für Altrohr und Boden
- Ausschluss von Zug- und Tangentialkräften zwischen Liner und Boden (reibungsfreier Kontakt)
- Iteration des nichtlinearen Druckbiegungs- und Kontaktproblems
- Beanspruchung bei hohem Verkehrslasteinfluss im Linerscheitel, bei hohem Grundwassereinfluss in der Linersohle maßgebend

K.3 Parameter

- Elastizitätsmodul des Liners (Bemessungswert): $E_{L,d} = E_L / \gamma_M$ mit γ_M nach Tabelle 19
Bei $0,8 E_{L,d} < E_{L,d} < 1,2 E_{L,d}$ beträgt die Abweichung bei m_q weniger als 10 %.
- Verformungsmodul neben dem Liner $E'_2 = 5 \text{ N/mm}^2$ und 8 N/mm^2 nach Gl. (K.1)
(hieraus folgt die horizontale Bodensteifigkeit $S_{Bh} = 0,8 \cdot E'_2$, siehe Gl. (K.2)).
- Rechnerischer Erddruckbeiwert $q_{h,d}/q_{v,d} = K'_2 = 0,2$ mit $q_{v,d}$ nach Gl. (73,74), $q_{h,d}$ nach Gl. (75,76)
Bei $K'_2 > 0,2$ resultieren kleinere Beanspruchungen,
für $K'_2 < 0,2$ sind die Diagramme des Anhangs K ungültig.
- Örtliche Vorverformungen des Liners haben bei Erd- und Verkehrslasten nur einen geringen Einfluss und werden daher vernachlässigt. Es gilt also $\omega_s = 0$.
- Gelenkringvorverformungen $\omega_{GR,v} = 3 \%$, 6% und 9% des Linerradius (Ovalisierung)
- Ringspalt $\omega_s = 0$
Es wird angenommen, dass zwischen korrodiertem Altrohr (Kies) und Liner kein Spalt vorhanden ist.

K.4 Interpolation von Beiwerten, Schnittgrößen, Spannungen, Nachweise

- Normalkraftbeiwerte n_q :
Für n_q werden keine Diagramme angegeben, es gilt $-0,8 \leq n_q \leq -1,5$ (siehe 7.5.2)
- Biegemomentenbeiwerte m_q :
nichtlineare Interpolation (siehe Erläuterungen zu Altrohrzustand III)

Die Beiwerte m_q der Diagramme K.1 bis K.8 für DN 300 sind auch bei anderen Nennweiten näherungsweise gültig, wenn die Linerwanddicken in den Diagrammen wie folgt angepasst werden:

$$t_{L,DN300} = t_{L,DN} \cdot 300/DN$$

Beispiel: Für DN 600 ist der Beiwert m_q bei der halben Wanddicke abzulesen.

Für den Normalkraftbeiwert n_q gelten hierbei die Festlegungen in den Gleichungen (79,80,81).

Die Schnittgrößen werden nach 7.5.3, die Spannungen nach 7.5.4.1 berechnet. Für die Nachweise gilt 7.6.2.

K.5 Bodenkennwerte

Der Verformungsmodul E_2' des Bodens der Leitungszone unter Berücksichtigung des Verformungsmoduls des kiesförmigen Altrohrs E_{AR} wird wie folgt ermittelt:

$$E_2' = \zeta \cdot E_{AR} \quad (\text{K.1})$$

mit

$$\zeta = \frac{1,667}{\Delta f + (1,667 - \Delta f) \cdot \frac{E_{AR}}{E_2}}$$

und

$$\Delta f = \frac{2 \cdot t / d_a}{0,982 + 0,283 \cdot 2 \cdot t / d_a} \leq 1,667$$

Liegen keine Untersuchungen vor, so kann für $E_{AR} = 40 \text{ N/mm}^2$ gesetzt werden.

Für die horizontale Bettungssteifigkeit gilt Gleichung (K.2):

$$S_{Bh} = 0,8 \cdot E_2' \quad (\text{K.2})$$

VORSCHAU

K.6 Diagramme

K.6.1 Diagramme für UP-SF-Liner (Altrohrzustand IIIa)

Elastizitätsmodul $E_{L,d} = E_L / \gamma_M = 1400 / 1,35 \cong 1000 \text{ N/mm}^2$

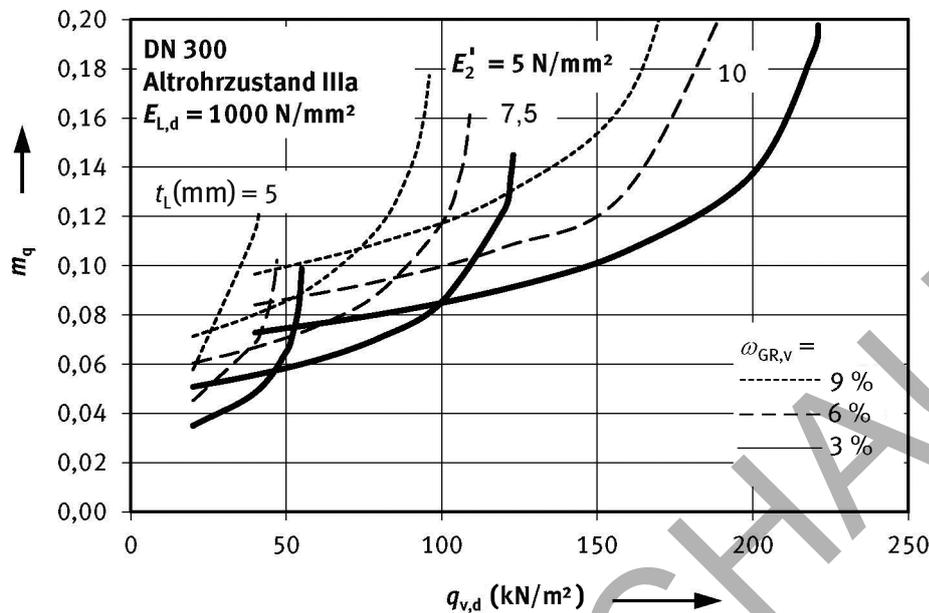


Diagramm K.1: Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 1000 \text{ N/mm}^2$; Boden + Altrohr $E'_2 = 5 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 4,0 \text{ N/mm}^2$)

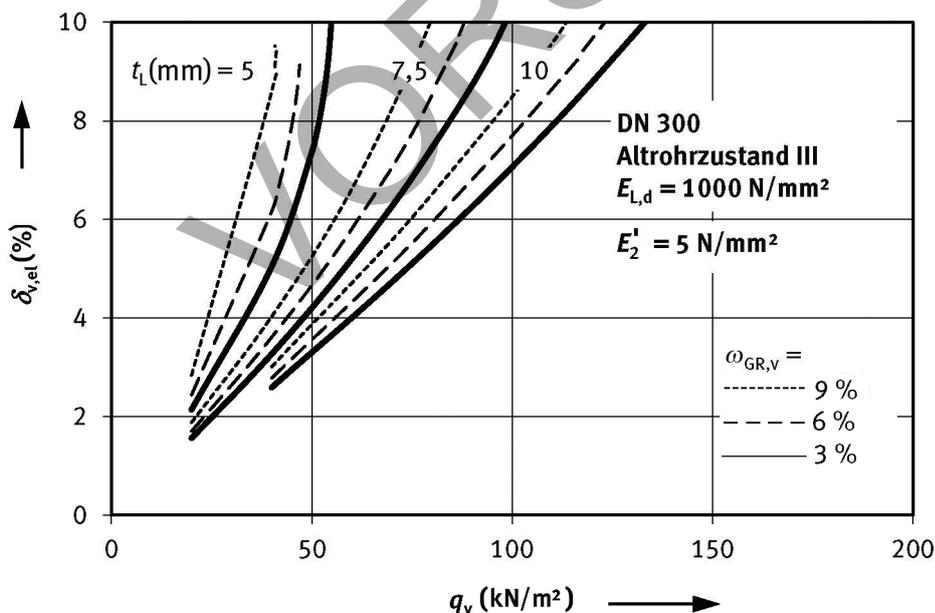


Diagramm K.2: Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 1000 \text{ N/mm}^2$; Boden + Altrohr $E'_2 = 5 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 4,0 \text{ N/mm}^2$)

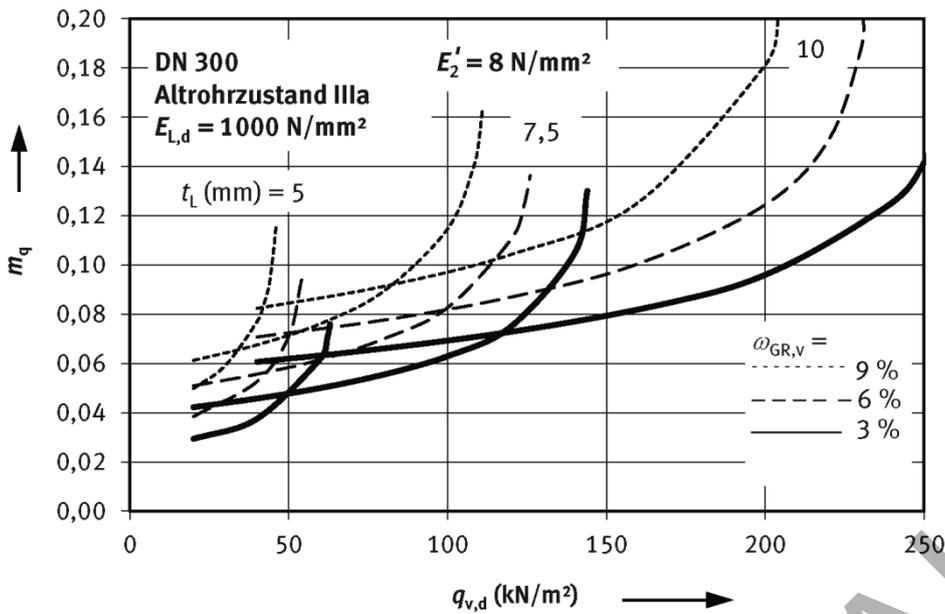


Diagramm K.3: Biegemomenteinwerte m_q für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 1000 \text{ N/mm}^2$; Boden + Altrohr $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)

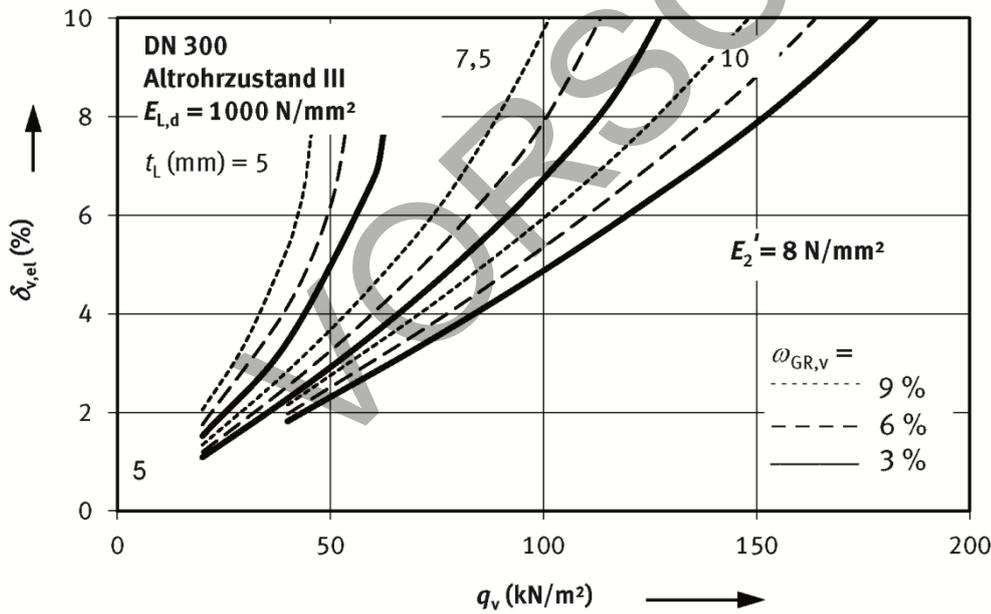


Diagramm K.4: Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-SF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 1000 \text{ N/mm}^2$; Boden + Altrohr $E_2 = 8 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 6,4 \text{ N/mm}^2$)

K.6.2 Diagramme für UP-GF-Liner (Altrohrzustand IIIa)

Elastizitätsmodul $E_{L,d} = E_L/\gamma_M = 6000/1,35 \cong 4400 \text{ N/mm}^2$

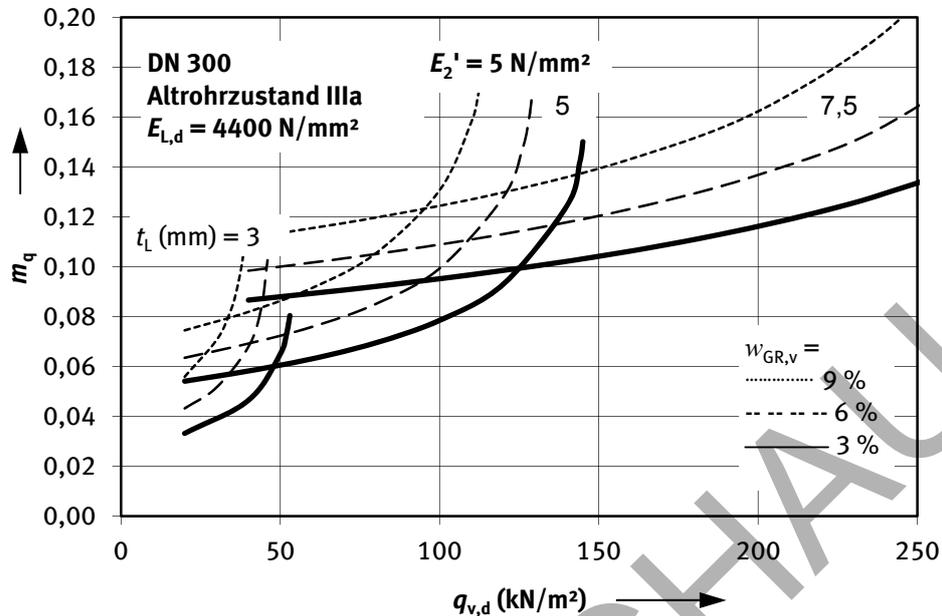


Diagramm K.5: Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 4400 \text{ N/mm}^2$; Boden + Altrohr $E'_2 = 5 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 4,0 \text{ N/mm}^2$)

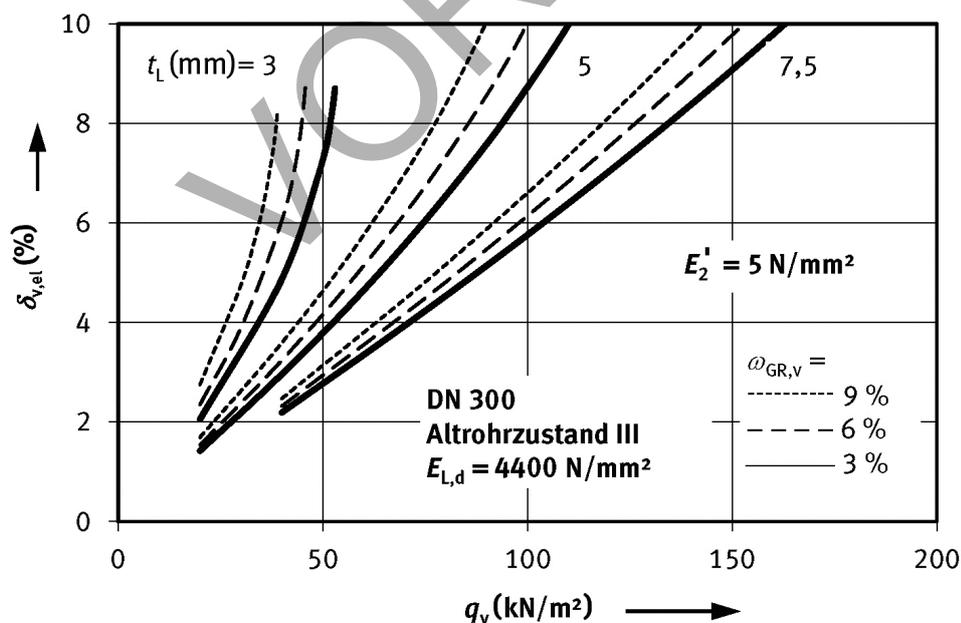


Diagramm K.6: Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 4400 \text{ N/mm}^2$; Boden + Altrohr $E'_2 = 5 \text{ N/mm}^2$ ($S_{Bh} = 4,0 \text{ N/mm}^2$)

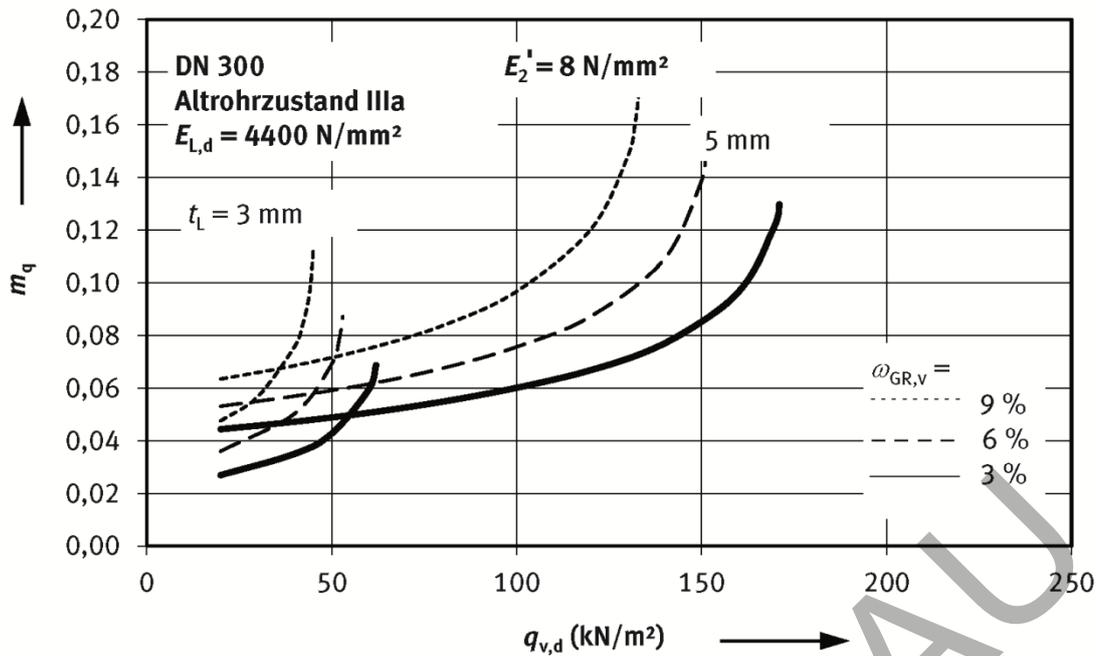


Diagramm K.7: Biegemomentenbeiwerte m_q für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 4400$ N/mm²; Boden + Altrohr $E_2' = 8$ N/mm² ($S_{Bh} = 6,4$ N/mm²)

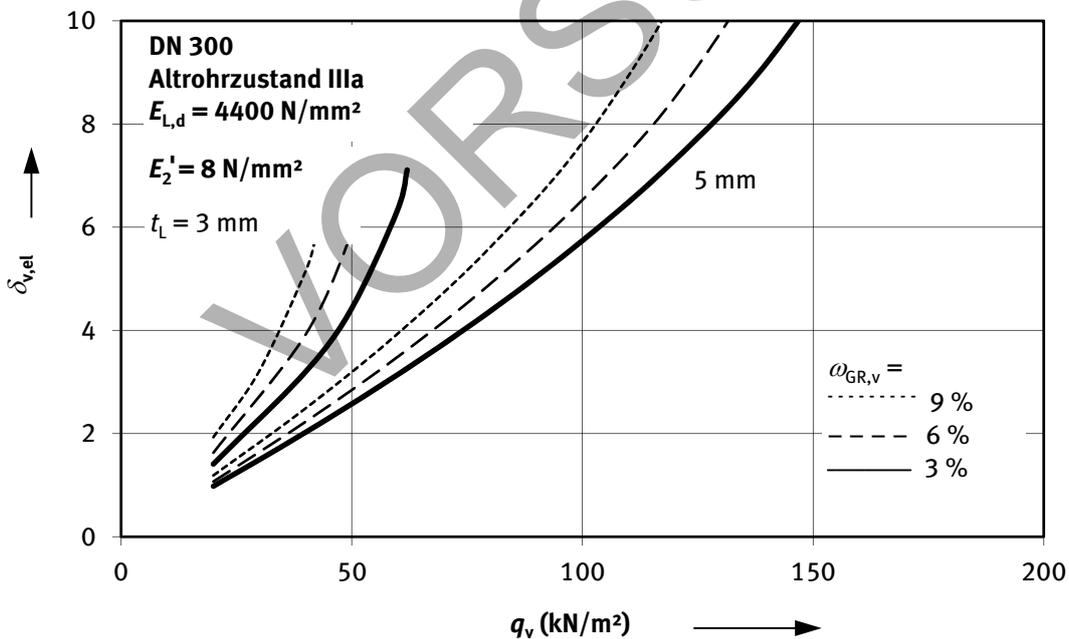


Diagramm K.8: Elastische Verformungen $\delta_{v,el}$ für UP-GF-Liner, Erd- und Verkehrslasten, Altrohr DN 300, Zustand IIIa; Liner $E_{L,d} = 4400$ N/mm²; Boden + Altrohr $E_2' = 8$ N/mm² ($S_{Bh} = 6,4$ N/mm²)

Quellen und Literaturhinweise

Technische Regeln

DIN-Normen

- DIN 4263 (Juni 2011): Kennzahlen von Abwasserkanälen und -leitungen für die hydraulische Berechnung im Wasserwesen
- DIN 16776-2 (April 1988): Kunststoff-Formmassen; Polyethylen (PE)-Formmassen; Herstellung von Probekörpern und Bestimmung von Eigenschaften
- DIN 18306 (September 2009): VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Entwässerungskanalarbeiten
- DIN 18326 (September 2009): VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Renovierungsarbeiten an Entwässerungskanälen
- DIN 53457 (Oktober 1987): Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung des Elastizitätsmoduls im Zug-, Druck- und Biegeversuch
- DIN 53769-3 (November 1988): Prüfung von Rohrleitungen aus glasfaserverstärkten Kunststoffen – Teil 3: Kurzzeit- und Langzeit-Scheiteldruckversuch an Rohren
- DIN 54852 (September 1986): Prüfung von Kunststoffen; Zeitstand-Biegeversuch bei Dreipunkt- und Vierpunktbelastung
- DIN EN 476 (April 2011): Allgemeine Anforderungen an Bauteile für Abwasserleitungen und -kanäle. Deutsche Fassung EN 476:2011
- DIN EN 588-1 (November 1996): Faserzementrohre für Abwasserleitungen und -kanäle – Teil 1: Rohre, Rohrverbindungen und Formstücke für Freispiegelleitungen. Deutsche Fassung EN 588-1:1996
- DIN EN 752 (April 2008): Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Deutsche Fassung EN 752:2008
- DIN EN 761 (August 1994): Kunststoff-Rohrleitungssysteme – Rohre aus glasfaserverstärkten duroplastischen Kunststoffen (GFK) – Bestimmung des Kriechfaktors im trockenen Zustand. Deutsche Fassung EN 761:1994
- DIN EN 1228 (August 1996): Kunststoff-Rohrleitungssysteme – Rohre aus glasfaserverstärkten duroplastischen Kunststoffen (GFK) – Ermittlung der spezifischen Anfangs-Ringsteifigkeit. Deutsche Fassung EN 1228:1996
- DIN EN 1401-1 (Juli 2009): Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem. Deutsche Fassung EN 1401-1:2009
- DIN EN 1852-1 (Juli 2009): Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und -leitungen – Polypropylen (PP) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem
- DIN EN 1991-1 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; alle Teile
- DIN EN 1991-1/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; alle Teile
- DIN EN 1991-2 (Dezember 2010): Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken. Deutsche Fassung EN 1991-2:2003 + AC:2010
- DIN EN 1991-2/NA (August 2012): Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken
- DIN EN 1991-3 (Dezember 2010): Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen. Deutsche Fassung EN 1991-3:2006
- DIN EN 1991-3/NA (Dezember 2010): Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 3: Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen
- DIN EN 1992-1 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; alle Teile
- DIN EN 1992-1/NA: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken; alle Teile
- DIN EN 1993-1-6 (Dezember 2010): Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen. Deutsche Fassung EN 1993-1-6:2007 + AC:2009
- DIN EN 1993-1-6/NA (Dezember 2010): Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen
- DIN EN 14364 (Mai 2013): Kunststoff-Rohrleitungssysteme für Abwasserleitungen und -kanäle mit oder ohne Druck – Glasfaserverstärkte duroplastische Kunststoffe (GFK) auf der Basis von ungesättigtem Polyesterharz (UP) – Festlegungen für Rohre, Formstücke und Verbindungen. Deutsche Fassung EN 14364:2013
- DIN EN 15885 (März 2011): Klassifizierung und Eigenschaften von Techniken für die Renovierung und Reparatur von Abwasserkanälen und -leitungen. Deutsche Fassung EN 15885:2010
- DIN EN ISO 178 (April 2011): Kunststoffe – Bestimmung der Biegeeigenschaften (ISO 178:2010)
- DIN EN ISO 527-1 (Juni 2012): Kunststoffe – Bestimmung der Zugeigenschaften – Teil 1: Allgemeine Grundsätze (ISO 527-1:2012)
- DIN EN ISO 527-2 (Juni 2012): Kunststoffe – Bestimmung der Zugeigenschaften – Teil 2: Prüfbedingungen für Form- und Extrusionsmassen (ISO 527-2:2012)
- DIN EN ISO 604 (Dezember 2003): Kunststoffe – Bestimmung von Druckeigenschaften (ISO 604:2002)

DIN EN ISO 899-2 (Oktober 2003): Kunststoffe – Bestimmung des Kriechverhaltens – Teil 2: Zeitstand-Biegeversuch bei Dreipunkt-Belastung (ISO 899-2:2003)

DIN EN ISO 1183-1 (Mai 2004): Kunststoffe – Verfahren zur Bestimmung der Dichte von nicht verschäumten Kunststoffen – Teil 1: Eintauchverfahren, Verfahren mit Flüssigkeitspyknometer und Titrationsverfahren (ISO 1183-1:2004)

DIN EN ISO 1872-2 (Mai 2007): Kunststoffe – Polyethylen (PE)-Formmassen – Teil 2: Herstellung von Probekörpern und Bestimmung von Eigenschaften (ISO 1872-2:2007)

DIN EN ISO 9967 (Februar 2008): Thermoplastische Rohre – Bestimmung des Verformungsverhaltens (ISO 9967:2007)

DIN EN ISO 11295 (August 2010): Klassifizierung von Kunststoff-Rohrleitungssystemen für die Renovierung und Informationen zur Planung (ISO 11295:2010). Deutsche Fassung EN ISO 11295:2010

DIN EN ISO 11296-1 (Juli 2011): Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 1: Allgemeines (ISO 11296-1:2009). Deutsche Fassung EN ISO 11296-1:2011

DIN EN ISO 11296-3 (Juli 2011): Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 3: Close-Fit-Lining (ISO 11296-3:2009+Cor.1:2011). Deutsche Fassung EN ISO 11296-3:2011

DIN EN ISO 11296-4 (Juli 2011): Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 4: Vor Ort härten des Schlauch-Lining. (ISO 11296-4:2009, korrigierte Fassung 2010-06-01). Deutsche Fassung EN ISO 11296-4:2011

DIN EN ISO 11296-7 (Mai 2013): Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungsnetzen (Freispiegelleitungen) – Teil 7: Wickelrohr-Lining (ISO 11296-7:2011). Deutsche Fassung EN ISO 11296-7:2013

DIN EN ISO 12162 (April 2010): Thermoplastische Werkstoffe für Rohre und Formstücke für Anwendungen unter Druck – Klassifizierung, Werkstoffkennzeichnung und Gesamtbetriebs-(berechnungs-)Koeffizient (ISO 12162:2009)

DIN EN 12666-1 (November 2011): Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen – Polyethylen (PE) – Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem

DIN EN ISO 14130 (Februar 1998): Faserverstärkte Kunststoffe – Bestimmung der scheinbaren interlaminalen Scherfestigkeit nach dem Dreipunktverfahren mit kurzem Balken (ISO 14130:1997). Deutsche Fassung EN ISO 14130:1997

DWA-Regelwerk

DWA-A 125 (Dezember 2008): Rohrvortrieb und verwandte Verfahren. Arbeitsblatt

ATV-DVWK-A 127 (August 2000): Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen. Korrigierter Nachdruck April 2008. Arbeitsblatt

DWA-A 143-1 (November 2014): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 1: Planung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen. Arbeitsblatt

DWA-A 143-3 (Mai 2014): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Vor Ort härtende Schlauchliner. Arbeitsblatt

DWA-A 161 (März 2014): Statische Berechnung von Vortriebsrohren. Arbeitsblatt

DWA-A 127-10 (in Bearbeitung), Statische Berechnung von Abwasserleitungen und -kanälen – Teil 10: Kennwerte der Rohrwerkstoffe zur statischen Berechnung von Abwasserleitungen und -kanälen. Arbeitsblatt

DWA-A 400 (Januar 2008): Grundsätze für die Erarbeitung des DWA-Regelwerkes. Arbeitsblatt

ATV-DVWK-M 143-4 (August 2004): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 4: Montageverfahren für begehbare Abwasserleitungen und -kanäle und Bauwerke. Merkblatt

DWA-M 143-5 (Februar 2014): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 5: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Innenmanschetten. Merkblatt

ATV-DVWK-M 143-7 (April 2003): Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen – Teil 7: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Kurzliner und Innenmanschetten. Merkblatt

ATV-DVWK-M 143-8 (August 2004): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 8: Injektionsverfahren zur Abdichtung von Abwasserleitungen und -kanälen. Merkblatt

ATV-DVWK-M 143-9 (August 2004): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 9: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen durch Wickelrohrverfahren. Merkblatt

DWA-M 143-10 (Dezember 2006): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 10: Noppenschlauchverfahren für Abwasserleitungen und -kanäle. Merkblatt

ATV-DVWK-M 143-11 (August 2004): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 11: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren ohne Ringraum (Close-Fit-Lining). Merkblatt

DWA-M 143-12 (August 2008): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 12: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren mit und ohne Ringraumverfüllung – Einzelrohrverfahren. Merkblatt

DWA-M 143-13 (November 2011): Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 13: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren mit und ohne Ringraumverfüllung – Rohrstrangverfahren. Merkblatt

DWA-M 144-3 (Juli 2015): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) für die Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Renovierung mit Schlauchliniungsverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserkanäle. Merkblatt

Sonstige technische Regeln

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.3-6, Erzeugnisse, Verbindungsmittel und Bauteile aus nichtrostenden Stählen

BÜV-Empfehlung (2014): Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen (TKB) – Entwurf, Bemessung und Konstruktion. Bau-Überwachungsverein (BÜV e. V.). Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden

DVS 2205-1 (Januar 2015): Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten – Kennwerte. Beuth Verlag, Berlin

DVS 2205-1 Beiblatt 2 (September 2013): Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten – Kennwerte der Werkstoffgruppe Polypropylen. Beuth Verlag, Berlin

DVS 2205-1 Beiblatt 3 (September 2013): Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten – Kennwerte der Werkstoffgruppe Polyvinylchlorid. Beuth Verlag, Berlin

DVS 2205-1 Beiblatt 6 (Februar 2013): Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten – Kennwerte der Werkstoffgruppe Polyethylen. Beuth Verlag, Berlin

DVS 2205-2 (Januar 2011): Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten – Stehende runde, drucklose Behälter. Beuth Verlag, Berlin

DVS 2205-2 (Entwurf Januar 2015): Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten – Stehende runde, drucklose Behälter. Beuth Verlag, Berlin

Ril 836: Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instand halten (Modul 836.2001). Richtlinien der Deutschen Bahn AG

Literatur

ALBERDING, M.; FALTER, B. (1997): Zeitabhängiges Beulverhalten von U-Linern aus PE-HD. In: 3R international (36), 1997, S. 534

CHUNDURU, S.; BARBER, M. E.; BAKEER, R. M. (1996): Buckling Behaviour of Polyethylene Liner System. In: Journal of Materials in Civil Engineering, 1996, p. 201

FALTER, B. (1980): Grenzlaster von einseitig elastisch gebetteten kreiszylindrischen Konstruktionen. In: Bauingenieur (55), 1980, S. 381

FALTER, B. (1991): Standsicherheitsnachweise an Sanierungssystemen für Abwasserkanäle mit unverankerten Linern. In: 3R international (30), 1991, S. 50

FALTER, B. (1994): Standsicherheit von Linern. In: Lenz, Joachim (Hrsg.): Sanierung von Abwasserleitungen durch Relining. Vulkan-Verlag, Essen, 1994, S. 25

FALTER, B. (1999): Neue Aspekte bei der statischen Berechnung von Linern für die Kanalrenovierung. In: WasserAbwasser-Praxis, H. 1, 1999, S. 24

FALTER, B.; LANVERS, D.; LIEBENDAHL, J. (1996): Bericht über deutsche und amerikanische Kurz- und Langzeitbeulversuche an Schlauchlinern unter Wasseraußendruck und deren Auswertung. In: Tiefbau Ingenieurbau Straßenbau, H. 6, 1996, S. 10

FALTER, B.; HOCH, A.; WAGNER, V. (2003): Hinweise und Kommentare zur Anwendung des Merkblattes ATV-DVWK-M 127-2 für die statische Berechnung von Linern. In: Korrespondenz Abwasser (50), 2003, S. 451

GLOCK, D. (1977): Überkritisches Verhalten eines starr ummantelten Kreisrohres bei Wasserdruck von außen und Temperaturdehnung. In: Stahlbau (46), 1977, S. 212

GUICE, L. K.; STRAUGHAN, T.; NORRIS, C. R.; BENNETT, R. D. (1994): Long-Term Structural Behaviour of Pipeline Rehabilitation Systems. TTC Technical Report #302. Louisiana Tech University Ruston, Louisiana, USA 1994

HOCH, H. (1993): Statische Aspekte und Berechnungen bei der Erneuerung und Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen. SKZ-Fachtagung „Umweltschutz durch Kunststoffrohrsysteme in der kommunalen und industriellen Abwasserentsorgung für Sanierung und Neuverlegung“ am 8./9.12.1993 in Würzburg, S. 133

MUNLV NRW (2005): Qualitätseinflüsse Schlauchliner. Stichproben-Untersuchung an sanierten Abwasserkanälen. Forschungsprojekt IKT 2005

NETZER, W.; OBERGUGGENBERGER, M.; PREGL, O. (1993): The horizontal bedding of flexible pipelines in variable bedding areas. In: 3R international (32), 1993, p. 10

THÉPOT, O. (2012): Experimentelle Beurteilung der Standsicherheit von begehbbaren Sammlern mit dem MAC-System. In: 3R, H. 3/4, 2012, S. 249

WAGNER, V. (1993): Beulnachweis bei der Sanierung von nicht-begehbbaren, undichten Abwasserkanälen mit dem Schlauchverfahren. Berichte zur Wasserwirtschaft, Nr. 1, TU Berlin, FG Siedlungswasserwirtschaft

WATKINS, R. K.; SCHUPE, O. K.; OSBORN, L. E. (1989): Contribution of Insitu pipe to the Structural Integrity of Broken Rigid Buried Pipes. Insituform of North America, Inc. 1988. Deutsche Übersetzung von Wagner, V.; Knothe, R.: Statisches Tragverhalten von mit Schlauchverfahren sanierten, längs gerissenen Abwasserrohren. Beschreibung eines Versuchs der Engineering Experiment Station an der Utah State University. TIS 11, 1989

Bezugsquellen

DWA-Publikationen:

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft,

Abwasser und Abfall e. V., Hennef

<www.dwa.de>

DIN-Normen:

Beuth Verlag GmbH, Berlin

<www.beuth.de>

Arbeits- und Merkblattreihe DWA-A/M 143

Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden

- **Teil 1: Planung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen**
Arbeitsblatt, Februar 2015, 23 Seiten, A4
- **Gemeinschaftspublikation DIN EN 14654-2/ Arbeitsblatt DWA-A 143-1**
Februar 2015, 51 Seiten, A4
- **Teil 2: Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit Lining- und Montageverfahren**
Arbeitsblatt, Juli 2015, Stand: korrigierte Fassung September 2020, 129 Seiten, A4

Zu Teil 2 gibt es die Software Statik-Expert Demoversion und weitere Informationen finden Sie unter www.dwa.info/software
- **Teil 3: Vor Ort härtende Schlauchliner**
Arbeitsblatt, Mai 2014, 56 Seiten, A4
- **Teil 4: Montageverfahren (Rohrsegment-Lining) für begehbare Abwasserleitungen, -kanäle und Bauwerke**
Merkblatt, November 2018, 32 Seiten, A4
- **Teil 5: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Innenmanschetten**
Merkblatt, Februar 2014, 27 Seiten, A4
- **Teil 7: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Kurzliner, T-Stücke und Hutprofile (Anschlusspasstücke)**
Arbeitsblatt, November 2017, 87 Seiten, A4
- **Teil 8: Injektionsverfahren zur Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen**
Merkblatt, November 2017, 34 Seiten, A4
- **Teil 9: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen durch Wickelrohrverfahren**
Merkblatt, November 2019, 50 Seiten, A4
- **Teil 11: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren ohne Ringraum als Verformungs- und Reduktionsverfahren (Close-Fit-Lining)**
Merkblatt, November 2017, 43 Seiten, A4
- **Teil 12: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren mit und ohne Ringraum – Einzelrohrverfahren**
Merkblatt, August 2008, 19 Seiten, A4
Im März 2024 ist ein neuer Entwurf erschienen.
- **Teil 13: Renovierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit vorgefertigten Rohren mit und ohne Ringraum – Rohrstrangverfahren**
Merkblatt, November 2011, 22 Seiten, A4
- **Teil 14: Entwicklung einer Sanierungsstrategie**
Arbeitsblatt, August 2017, Stand: korrigierte Fassung Dezember 2018, 55 Seiten, A4
- **Teil 15: Erneuerung von Abwasserleitungen und -kanälen durch Berstverfahren**
Arbeitsblatt, Juni 2019, 38 Seiten, A4
- **Teil 16: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Roboterverfahren**
Merkblatt, September 2019, 95 Seiten, A4
- **Teil 17: Beschichtung von Abwasserleitungen, -kanälen und Abwasserbauwerken**
Merkblatt, September 2018, 63 Seiten, A4
- **Teil 18: Sanierung durch Systemwechsel zur Druck- oder Unterdruckentwässerung**
Merkblatt, April 2015, Stand: korrigierte Fassung August 2015, 33 Seiten, A4
- **Teil 20: Reparatur von Abwasserleitungen und -kanälen durch Flutungsverfahren**
Merkblatt, Januar 2024, 43 Seiten, A4
- **Teil 21: Bauliche Sanierungsplanung**
Arbeitsblatt, Juni 2021, 46 Seiten, A4

Sofern nicht anders gekennzeichnet als Print, E-Book oder Kombi Print & E-Book erhältlich.
Fördernde DWA-Mitglieder erhalten 20 % Rabatt auf den Ladenpreis.

Deutscher Verein für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)

Kundenzentrum

Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef
Fax: +49 2242 872-100 · Tel.: +49 2242 872-333
info@dwa.de · www.dwa.info/shop

Bestellen Sie Ihre Fachliteratur direkt hier online



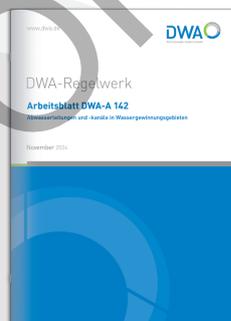
Arbeitsblatt DWA-A 142 Abwasserleitungen und -kanäle in Wasser- gewinnungsgebieten

Das Arbeitsblatt gibt Hinweise zu Planung, Neubau, Material und Unterhaltung von Abwasserleitungen und -kanälen in Wassergewinnungsgebieten. Bei der Bestandsbeurteilung, der Systemauswahl und Planung bietet es eine wertvolle Hilfe für Ingenieurbüros, Behörden und Kommunen.

Wichtige Inhalte des Arbeitsblattes:

- Berücksichtigung der jeweiligen **standortbezogenen Kriterien** zur **Beurteilung der Gefährdungen**
- Darstellung, mit welchen technischen Möglichkeiten eine **Risikominderung** erreicht werden kann
- Erläuterung der Ansätze für die **konstruktive Gestaltung** und das **Anforderungsprofil** von Abwasserleitungen und -kanälen sowie der Anforderungen an den **Betrieb** und die **Unterhaltung** in diesen Bereichen

Auf Heilquellenschutzgebiete kann es sinnvoll angewandt werden. Aufgrund der besonderen Verhältnisse sind Einzelfallbetrachtungen erforderlich, die zu Abweichungen führen können.



November 2024, 41 Seiten, A4

Merkblatt DWA-M 146 Abwasserleitungen und -kanäle in Wasser- gewinnungsgebieten – Hinweise und Beispiele

Das Merkblatt dient als ergänzender Leitfaden zu Arbeitsblatt DWA-A 142 und bietet praxisorientierte Hinweise und Ausführungsbeispiele für die Planung und Ausführung von Abwasserleitungen und -kanälen in Wasserschutzgebieten. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den erhöhten Anforderungen der Wasserschutzzone II.

Als Ergebnis der Beurteilung des Gefährdungspotenzials enthalten die Beispiele eine Klassifizierung des Gefährdungspotenzials nach Arbeitsblatt DWA-A 142 in die Rubriken „sehr hoch“, „hoch“ und „weniger hoch“. In Abhängigkeit dieses Ergebnisses werden hier in der Praxis ausgeführte Schutzsysteme für die jeweiligen Randbedingungen dargestellt.

Darüber hinaus gibt das Merkblatt einen Überblick über die derzeit in der Praxis häufig in Wasserschutzzonen verwendeten Ableitungssysteme und stellt für diese bei der Planung und Ausführung zu beachtende Randbedingungen dar. Dies erleichtert Ihnen die Auswahl eines für den jeweiligen Anwendungsfall geeigneten Ableitungssystems.



November 2024, 54 Seiten, A4

Sofern nicht anders gekennzeichnet als Print, E-Book oder Kombi Print & E-Book erhältlich.
Fördernde DWA-Mitglieder erhalten 20 % Rabatt auf den Ladenpreis.

Deutscher Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser
und Abfall e. V. (DWA)

Kundenzentrum

Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef
Fax: +49 2242 872-100 · Tel.: +49 2242 872-333
info@dwa.de · www.dwa.info/shop

Bestellen Sie Ihre Fachliteratur
direkt hier online



Statik-Expert

Software zur statischen Berechnung

Wie komme ich am besten zu einer optimal bemessenen Statik? Kann ich hohe Folgekosten durch Schadensfälle möglichst vermeiden?

Verlassen Sie sich auf sich selbst und rechnen Sie bequem mit dem Statik-Expert.

- Modul offene Bauweise (Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127)
statische Berechnung von in Gräben oder in Dämmen verlegten Rohrleitungen aus allen im Arbeitsblatt behandelten Materialien
- Modul Rohrvertrieb (Arbeitsblatt DWA-A 161)
statische Berechnung von Vortriebsrohren
- Modul Neuverlegung (Arbeitsblätter ATV-DVWK-A 127 und DWA-A 161)
- Modul Sanierung (Arbeitsblatt DWA-A 143-2)
statische Berechnung für die Sanierung von Abwasserleitungen und -kanälen mit Lining und Montageverfahren

Der **Statik-Expert** ist modular aufgebaut und damit auf Ihre Bedürfnisse genau anpassbar. Je nachdem wie häufig und umfangreich Ihre Statikberechnungen sind, entscheiden Sie sich für die Standard- oder Profi-Edition. Die benutzerfreundliche Bedienung erschließt sich schnell, meist intuitiv. Die relevanten DWA-Arbeits- und Merkblätter sind als PDF und kontextsensitiv hinterlegt. Die Aktualisierung der Software erfolgt automatisch.

In die Software fließt neben grundlegendem DWA-Regelwerk und DIN-Normen viel praktische Erfahrung der Programmierer aus Planung, Beratung und Gremienarbeit ein. Sie werden es als Auftraggeber, Planender oder Hersteller merken - die Software lässt Sie komfortabel selbst statische Berechnungen erstellen oder überprüfen.



Demoversion, Systemvoraussetzungen, Screenshots, Preise und vieles mehr finden Sie unter: dwa.de/software.
Fördernde DWA-Mitglieder erhalten 20 % Rabatt auf den Ladenpreis.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser
und Abfall e. V. (DWA)

Kundenzentrum

Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef
Fax: +49 2242 872-100 · Tel.: +49 2242 872-333
info@dwa.de · www.dwa.info/shop

Bestellen Sie Ihre Fachliteratur
direkt hier online



Dieses Arbeitsblatt gilt für die statische Berechnung von Linern und Montageverfahren mit beliebigen Querschnitten.

Sanierungsverfahren sind nach DIN EN 752 „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ wie folgt unterteilt:

- Reparaturverfahren
- Renovierungsverfahren
- Erneuerungsverfahren

Für durch Lining im Altrohr eingebaute Neurohre sind zurzeit die folgenden Renovierungsverfahren bekannt:

- Schlauchverfahren (Schlauch-Lining)
- Einzelrohrverfahren (Einzelrohr-Lining)
- Rohrstrangverfahren (Rohrstrang-Lining)
- Close-Fit-Verfahren (Close-Fit-Lining)
- Wickelrohrverfahren (Wickelrohr-Lining)
- Verfahren mit fest verankerter Kunststoffauskleidung (Lining mit fest verankerter Kunststoffauskleidung, z. B. Noppenbahnverfahren, Wickelrohrverfahren als Korrosionsschutz)
- Montageverfahren (Rohrsegment-Lining)

Linerrohre, die innerhalb von Sanierungsstrecken in offener Bauweise eingebaut werden, können mit dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 „Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen“ berechnet werden. Für Altröhre, die durch Spritzbeton oder andere Verfahren ertüchtigt werden, gilt ebenfalls das Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127.

Das Arbeitsblatt richtet sich an alle im Bereich der statischen Berechnung von Linern und Montageverfahren planenden und überprüfenden Institutionen als auch an Sanierungsfirmen.



978-3-88721-208-7 (Print)
978-3-88721-791-4 (E-Book)

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de · Internet: www.dwa.de

VORSCHAU