

BAWMerkblatt

Schlauchwehre (MSW)

**Teil B: Nachweis der Tragfähigkeit von Membranen
wassergefüllter Schlauchwehre an Binnenwasserstraßen**

Ausgabe 2019

BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien

Herausgeber

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Postfach 21 02 53
76152 Karlsruhe

Tel.: 0721 9726-0
Fax: 0721 9726-4540

info@baw.de
www.baw.de

Verfasser

Ralf Gurt, Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

Übersetzung, Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Genehmigung des Herausgebers: © BAW 2019

| Inhaltsverzeichnis | | Seite |
|---------------------------|--|--------------|
| 1 | Vorbemerkung und Anwendungsbereich | 1 |
| 2 | Allgemeines | 1 |
| 2.1 | Fachausdrücke | 1 |
| 2.2 | Bezeichnungen und Formelzeichen | 2 |
| 3 | Nachweis der Schlauchmembran | 3 |
| 3.1 | Grundlagen und Ausgangsbasis | 3 |
| 3.2 | Bemessungswerte der Membranbeanspruchung | 3 |
| 3.3 | Bemessungswerte der Membrantragfähigkeit | 6 |
| 3.4 | Nachweis der Schlauchmembran im Grenzzustand der Tragfähigkeit | 8 |
| 4 | Nachweis der Klemmkonstruktion | 8 |
| 5 | Literaturverzeichnis | 9 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------------|--|---|
| Tabelle 1: | Spannungskonzentrationsfaktoren für Schlauchwehrmembrane | 4 |
|------------|--|---|

Bildverzeichnis

| | | |
|---------|---|----|
| Bild 1: | Schnittplan einer Schlauchmembran | 5 |
| Bild 2: | Skizze eines Schlauchwehrs im Schnitt | 6 |
| Bild 3: | Skizzierter Ausschnitt eines Schnittplans (Bild 1) | 12 |
| Bild 4: | Beispiel zur Bestimmung des Abminderungsfaktors f_1 der Dauerstandfestigkeit für 30 Jahre | 16 |
| Bild 5: | Beispiel zur Bestimmung des Abminderungsfaktors f_2 der Alterung für 30 Jahre | 17 |

Anlagenverzeichnis

| | | |
|-----------|--|----|
| Anlage 1: | Erläuterungen zu den Vorgaben und Regelungen des Merkblattes | 11 |
|-----------|--|----|

1 Vorbemerkung und Anwendungsbereich

- (1) Der Teil B des Merkblatts gibt das Bemessungsprinzip für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (STR) von Schlauchwehrmembranen bis 3,5 m Schlauchhöhe für Wehranlagen an Binnenwasserstraßen vor. Unter Voraussetzung der Beteiligung der BAW kann das Merkblatt bis zu einer Verschlusshöhe von maximal 4,6 m entsprechend Tabelle 1 angewendet werden.
- (2) In Anlage 1 sind informative Erläuterungen und Hinweise zu den einzelnen Abschnitten zusammengestellt, die bei der Anwendung dieses Teils des Merkblatts hilfreich sind.
- (3) Die vorgestellten Nachweise gelten nur im Zusammenhang mit einer außen liegenden Klemmschiene (Schlauchmembranlagerung), siehe Bild 2. Für andere Auflagerkonstruktionen ist die Anwendbarkeit zu überprüfen. Die komplette Schlauchmembran ist mit einem konstanten Membranquerschnitt auszubilden. Dies schließt eine Veränderung der Gewebeart, -anzahl oder -lage im Querschnitt sowie Veränderungen des Elastomers über die komplette Membranfläche aus.
- (4) Die Auswahl der Gewebe beschränkt sich auf Polyester und Polyamid.
- (5) Die Anwendbarkeit des Merkblattes ist auf das Füllmedium Wasser beschränkt.
- (6) Die geplante Nutzungsdauer der Schlauchmembran beträgt 30 Jahre.
- (7) Abweichungen von diesem Merkblatt sind zulässig, wenn sie ausreichend begründet werden können oder neuere Erkenntnisse diese erfordern. Eine Zustimmung im Einzelfall ist dann erforderlich.
- (8) Die nach diesem Merkblatt erfolgte Bewertung der Tragfähigkeit von Schlauchwehrmembranen ist nach dem „Vier-Augen-Prinzip“, in der Regel durch einen Prüfenieur für Bautechnik, statisch und konstruktiv zu prüfen.

2 Allgemeines

2.1 Fachausdrücke

Gewebe

Das Gewebe wirkt als Festigkeitsträger und ist für den Lastabtrag verantwortlich.

Kettrichtung

Fadenrichtung aus der Gewebeproduktion in Produktionsachse.

Schlauchmembran

Als Schlauchmembran wird der konfektionierte Gewebe-Elastomer-Verbund bezeichnet.

Schussrichtung

Fadenrichtung aus der Gewebeproduktion quer zur Produktionsachse.

2.2 Bezeichnungen und Formelzeichen

Lateinische Buchstaben

| | |
|------------|---|
| d_s | äquivalente Gesamtdicke der Gewebe (aus numerischen Berechnungen) |
| e | Exzentrizität der Gewebeeinlage im Elastomer |
| E_d | Bemessungswert der Auswirkung der Einwirkungen |
| $E_{d,Kl}$ | breitenbezogene Prüfkraft für den Ausziehversuch |
| f_1 | Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Dauerstandfestigkeit |
| f_2 | Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Alterung |
| g | Gravitationsbeschleunigung der Erde |
| h_i | Schlauchinnendruck auf der Wehrsohle |
| h_o | Höhe des anstehenden Oberwassers an Sohlniveau |
| h_s | Schlauchhöhe in Feldmitte |
| R_d | Bemessungswert eines Widerstandes |
| R_k | charakteristischer Wert eines Widerstandes |
| $R_{rel.}$ | relativer Wert eines Widerstandes |
| SCF | Spannungskonzentrationsfaktor |
| T_k | charakteristische, breitenbezogene Membrankraft im kontinuierlichen Bereich (Feldmitte) |
| t | Zeit |

Griechische Buchstaben

| | |
|---------------------|--|
| α | Innendruckkoeffizient mit $\alpha = \frac{h_i}{h_o}$ |
| γ_F | Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen |
| $\gamma_{M,Kett}$ | Teilsicherheitsbeiwert für den Bauteilwiderstand im kontinuierlichen Bereich in Kettrichtung |
| $\gamma_{M,Schuss}$ | Teilsicherheitsbeiwert für den Bauteilwiderstand im kontinuierlichen Bereich in Schussrichtung |
| $\gamma_{M,Stoß}$ | Teilsicherheitsbeiwert für den Bauteilwiderstand im Stoßbereich |
| $\gamma_{Kl,Prüf}$ | Teilsicherheitsbeiwert für die Prüfung der Auszugfestigkeit aus der Klemmkonstruktion |
| ξ | Gesamtabminderungsfaktor zur Berücksichtigung von veränderten Materialeigenschaften |
| ρ | Dichte |
| σ_{Ek} | charakteristische, bemessungsrelevante Spannung |

3 Nachweis der Schlauchmembran

3.1 Grundlagen und Ausgangsbasis

- (1) Es sind bei Schlauchwehranlagen im Zuständigkeitsbereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung mindestens zwei Gewebelagen im Regelquerschnitt in einer Elastomermatrix einzubetten. In Schussrichtung darf eine Gewebelage unterbrochen werden.
- (2) Die Gewebestruktur erfordert einen getrennten Nachweis der Tragfähigkeit der Schlauchmembran in Kett- sowie in Schussrichtung. Es dürfen keine Vergleichsspannungen, wie die Von Mises, herangezogen werden.
- (3) Die Kettfäden in Umfangsrichtung sind zwischen der oberwasserseitigen und der unterwasserseitigen Klemmschiene ohne Stoß auszubilden.
- (4) Die Schussfäden der Schlauchmembran werden produktionsbedingt manuell gestoßen. Für den Stoßbereich ist ein gesonderter Nachweis der Tragfähigkeit zu führen. Stöße im Übergang von der Sohle zur Wange (SCF_2) sind nicht zulässig. Bei einem Mindestabstand des Stoßes (komplette Verbindungslänge) von $0,1 h_s$ zur Ecke darf ein $SCF_4 = 0,5$ für den Nachweis des Stoßes in Schussrichtung angenommen werden, siehe Bild 3.
- (5) Die Schlauchmembran ist im Regelfall von innen (zu Inspektionszwecken) nicht zugänglich.
- (6) Durch geeignete Gegenmaßnahmen ist auszuschließen, dass das Schlauchwehr im überströmten oder im abgelegten Zustand in Schwingungen gerät. Hinweise dazu finden sich in Gebhardt (2010) und Gebhardt und Kemnitz (2007).

3.2 Bemessungswerte der Membranbeanspruchung

- (1) Für Schlauchmembranen gelten für die Bemessungswerte der Auswirkungen:

$$E_{d,i} = \gamma_F \cdot \frac{\sigma_{Ek,i}}{d_s} = \gamma_F \cdot SCF_i \cdot T_k \quad (3-1)$$

Dabei ist

| | |
|-----------------|--|
| $E_{d,i}$ | Bemessungswerte der Auswirkung der Einwirkungen, |
| γ_F | Teilsicherheitsbeiwert für die Auswirkungen der Einwirkungen, |
| $\sigma_{Ek,i}$ | charakteristische, bemessungsrelevante Spannung in Kett- und Schussrichtung, |
| d_s | äquivalente Gesamtdicke der Gewebe (aus numerischen Berechnungen) |
| SCF_i | Spannungskonzentrationsfaktoren, |
| T_k | charakteristische, breitenbezogene Membrankraft im kontinuierlichen Bereich (Feldmitte). |

Unterwasserseitiger Wasserdruck wirkt sich günstig auf die Bemessung aus. Dieser ist daher nicht zu berücksichtigen.

- (2) Durch die Begrenzung des Innendrucks darf der Teilsicherheitsbeiwert in Anlehnung an (DIN 19704-1) und (DIN EN 1990) für ständige Einwirkungen $\gamma_F = 1,35$ angesetzt werden.
- (3) Die für die Bemessung relevanten Spannungen $\sigma_{Ek,i}$ können aus numerischen Modellen ermittelt werden.
- (4) Werden keine numerischen Gesamtmodelle aufgestellt, dürfen für mehrlagig bewehrte Schlauchmembran die in Tabelle 1 angegebenen SCF-Werte angenommen werden. Es wird in Tabelle 1 ein Innendruckkoeffizient $\alpha = 1,60$ vorausgesetzt.

Die Bereiche für die Verwendung der Spannungskonzentrationsfaktoren sind in Bild 1 dargestellt. SCF_1 beschreibt den gesamten Bereich der Auflagerschiene bis zum Übergang zwischen Sohle und Wange. Mit SCF_2 werden die beiden Eckbereiche zwischen Sohle und Wange beschrieben. Spannungsüberhöhungen im Bereich der Falten entlang der Wange werden mit SCF_3 abgedeckt. Für den kontinuierlichen Bereich (Feldmitte) und die Wange kann SCF_4 verwendet werden.

Tabelle 1: Spannungskonzentrationsfaktoren für Schlauchwehrmembrane ¹⁾

| h_s [m] | Auflagerbereich | | Eckbereich | | Faltenbereich ²⁾ (informativ) | | kontinuierlicher Bereich ³⁾ | |
|--------------|-----------------|----------|------------|--------|---|--------|--|--------|
| | SCF_1 | | SCF_2 | | SCF_3 | | SCF_4 | |
| | Kette | Schuss | Kette | Schuss | Kette | Schuss | Kette | Schuss |
| ≤ 3,50 | 1,50 | entfällt | 3,00 | 1,00 | 1,50 | 1,00 | 1,00 ²⁾ | 0,50 |
| ≤ 4,60 | 1,75 | entfällt | 3,00 | 1,00 | 1,50 | 1,00 | 1,00 ²⁾ | 0,50 |

¹⁾ Die Randbedingungen unter der Tabelle 1 anwendbar ist, sind unter „Zu 3.2 Zu (4)“ aufgeführt.

²⁾ Informativ, da im Vergleich zu SCF_2 nicht bemessungsrelevant.

³⁾ Außerhalb der diskontinuierlichen Bereiche (Auflager, Ecke und Falten)

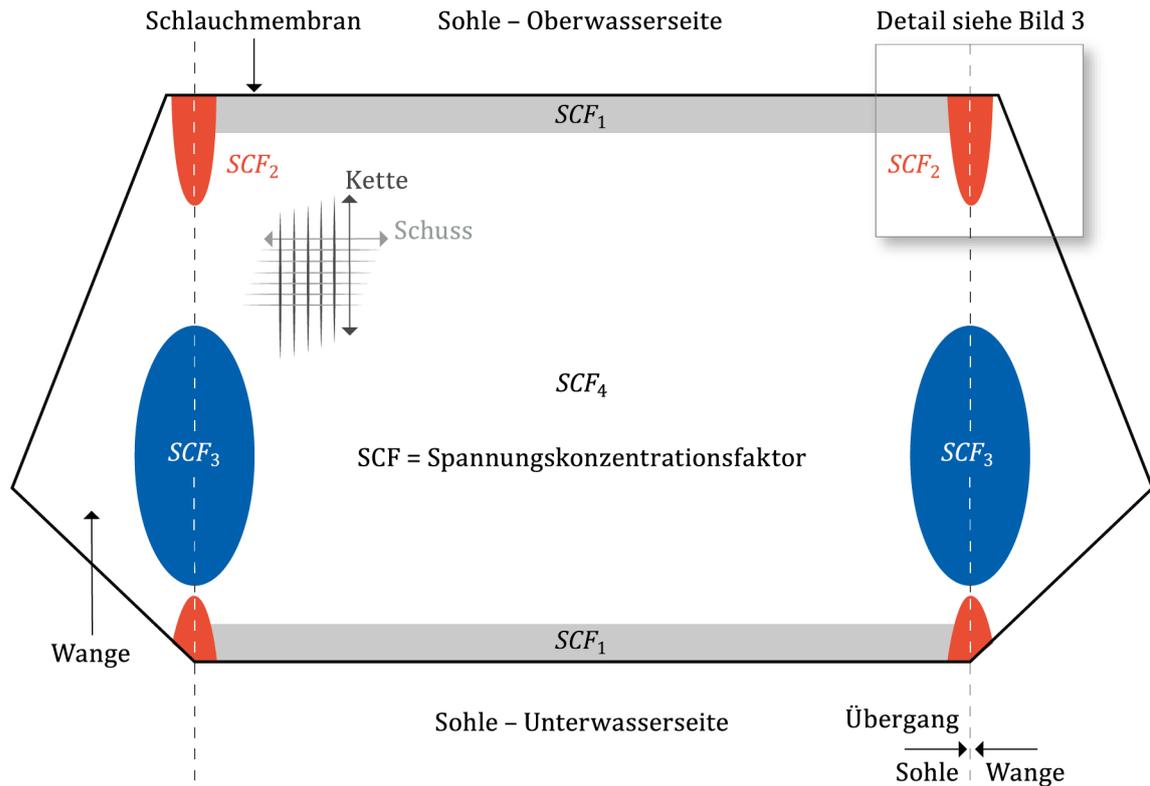


Bild 1: Schnittplan einer Schlauchmembran mit Markierungen der Spannungskonzentrationsfaktoren – die Größe der Flächen variiert je nach Geometrie, Breite für SCF_2 beträgt $0,2 h_s$, siehe auch Bild 3

- (5) Die charakteristische, breitenbezogene Membrankraft T_k kann nach Gebhardt (2006) analytisch in Abhängigkeit der Schlauchhöhe bestimmt werden. Für einen wassergefüllten Schlauch im Einstauzustand ohne Unterwasser, bei dem die Schlauchmembran hinter der unterwasserseitigen Klemmschiene horizontal verläuft, siehe Bild 2, gilt:

$$T_k = \frac{1}{4} (2 \alpha - 1) \cdot \rho \cdot g \cdot h_s^2 \quad (3-2)$$

Dabei ist

- T_k charakteristische, breitenbezogene Membrankraft,
- α Innendruckkoeffizient mit $\alpha = h_i/h_o$,
- h_i Schlauchinnendruck auf der Wehrsohle,
- h_o Höhe des anstehenden Oberwassers an Sohlniveau,
- ρ Dichte von Wasser,
- g Gravitationsbeschleunigung der Erde,
- h_s Schlauchhöhe in Feldmitte.

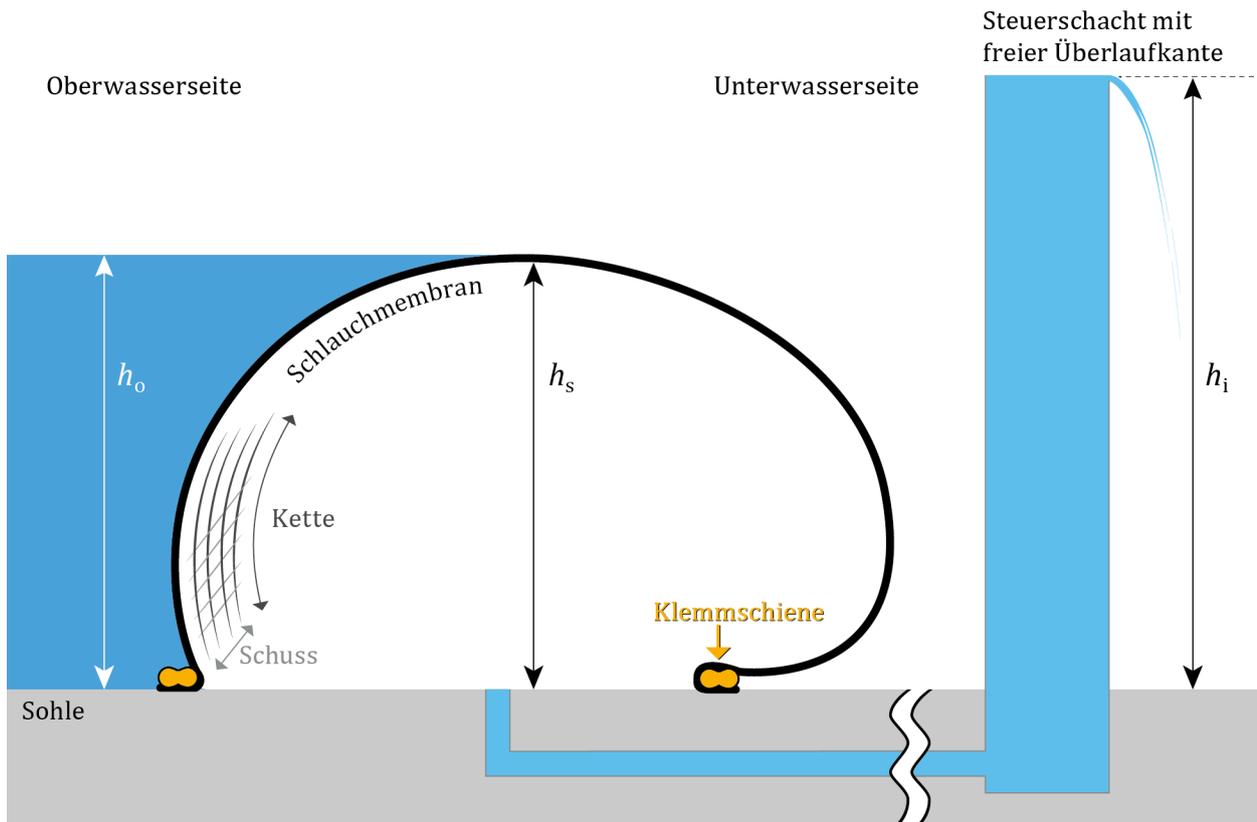


Bild 2: Skizze eines Schlauchwehres im Schnitt mit Wasserdruckhöhen

3.3 Bemessungswerte der Membrantragfähigkeit

(1) Für Schlauchmembranen gelten folgende Bemessungswerte der Widerstände:

$$R_{d,Kett} = \xi \cdot \frac{R_{k,Kett}}{\gamma_{M,Kett}} \quad (3-3)$$

$$R_{d,Schuss} = \xi \cdot \frac{R_{k,Schuss}}{\gamma_{M,Schuss}} \quad (3-4)$$

$$R_{d,Sto\beta} = \xi \cdot \frac{R_{k,Sto\beta}}{\gamma_{M,Sto\beta}} \quad (3-5)$$

Dabei ist

- ξ Gesamtabminderungsfaktor zur Berücksichtigung von veränderten Materialeigenschaften zwischen dem Einbauzustand und dem Ende der geplanten Nutzungsdauer,
- $R_{k,Kett}$ charakteristischer Wert der Widerstände (Zugfestigkeit) in Kettrichtung,
- $R_{k,Schuss}$ charakteristischer Wert der Widerstände (Zugfestigkeit) in Schussrichtung,
- $R_{k,Sto\beta}$ charakteristischer Wert der Widerstände (Zugfestigkeit) im Stoßbereich,

- $\gamma_{M,Kett}$ Teilsicherheitsbeiwert für den Bauteilwiderstand im kontinuierlichen Bereich in Kettrichtung,
- $\gamma_{M,Schuss}$ Teilsicherheitsbeiwert für den Bauteilwiderstand im kontinuierlichen Bereich in Schussrichtung,
- $\gamma_{M,Stoß}$ Teilsicherheitsbeiwert für den Bauteilwiderstand im Stoßbereich.

- (2) Aufgrund der zeitlich veränderlichen Eigenschaften von Kunststoffen werden Abminderungsfaktoren eingeführt, die in einem Gesamtabminderungsfaktor ξ zusammengefasst werden. Diese Abminderungsfaktoren orientieren sich an den Erfahrungswerten einer Vielzahl in Japan gebauter Anlagen (siehe (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, River Bureau 2000)) und ergeben den Gesamtabminderungsfaktor ξ wie folgt:

$$\xi = \frac{1}{f_1} \cdot \frac{1}{f_2} \quad (3-6)$$

Dabei ist

- f_1 Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Dauerstandfestigkeit,
- f_2 Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Alterung.

- (3) Der Abminderungsfaktor f_1 ist durch Dauerstandfestigkeitsversuche an Proben der zum Einsatz kommenden Schlauchmembran zu ermitteln, siehe Anlage 1. Für die Vordimensionierung darf bei 30 Jahren Standzeit der Abminderungsfaktor $f_1 = 1,95$ für Polyester- oder Polyamidgewebe gemäß Anlage 1 angenommen werden.
- (4) Für die Ermittlung des Abminderungsfaktors f_2 müssen vor Ort Auslagerungsplatten mit dem Einbau der Schlauchmembran angebracht werden. An diesen ausgelagerten Proben sind nach 5, 10, 15, 20 und 25 Jahren Zugversuche durchzuführen. Mit diesen Ergebnissen ist der Abminderungsfaktor f_2 zu ermitteln, siehe Anlage 1. Für eine Dimensionierung darf bei 30 Jahren Standzeit der Abminderungsfaktor $f_2 = 1,55$ für Polyester- oder Polyamidgewebe gemäß Anlage 1 angenommen werden. Die endgültige Nutzungsdauer ergibt sich unter Verwendung der ermittelten Werte für f_2 .
- (5) Die ermittelten Abminderungsfaktoren sind an die BAW nach Abschluss der Versuche weiterzugeben.
- (6) Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M,Kett}$ ist aus den Zugversuchen zur Bestimmung des Abminderungsfaktors f_1 (100%-Wert, siehe Anlage 1 – Zu 3.2 (3)) abzuleiten. Für die Teilsicherheitsbeiwerte in Schussrichtung und den Stoßbereich ist ein analoges Vorgehen anzuwenden. Als unterer Grenzwert ist für $\gamma_{M,Kett} = \gamma_{M,Schuss} = 1,1$ und $\gamma_{M,Stoß} = 1,25$ einzuhalten. Kleinere Teilsicherheitsbeiwerte sind nicht zulässig. Für eine Vordimensionierung darf $\gamma_{M,Kett} = \gamma_{M,Schuss} = 1,1$ und $\gamma_{M,Stoß} = 2,0$ angenommen werden, siehe Anlage 1.

3.4 Nachweis der Schlauchmembran im Grenzzustand der Tragfähigkeit

(1) Im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist nachzuweisen, dass:

$$E_{d,i} \leq R_{d,i} \quad (3-7)$$

Dabei ist

$E_{d,i}$ Bemessungswerte der Auswirkungen der Einwirkungen, nach Kapitel 3.2,

$R_{d,i}$ Bemessungswerte der Widerstände (Zugfestigkeit), nach Kapitel 3.3.

4 Nachweis der Klemmkonstruktion

(1) Der Nachweis der Klemmkonstruktion erfolgt in Rücksprache mit der BAW.

(2) Es muss über Ausziehversuche nachgewiesen werden, dass das Herausziehen der Schlauchmembran aus der Klemmkonstruktion ausgeschlossen ist. Die breitenbezogene Prüfkraft ergibt sich zu:

$$E_{d,KI} = \gamma_{KI,Prüf} \cdot \gamma_F \cdot T_k \quad (4-1)$$

Dabei ist

$E_{d,KI}$ breitenbezogene Prüfkraft für den Ausziehversuch,

$\gamma_{KI,Prüf}$ Teilsicherheitsbeiwert für die Prüfung der Auszugfestigkeit aus der Klemmkonstruktion mit
 $\gamma_{KI,Prüf} = 1,25$,

γ_F Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen, siehe 3.2 (2),

T_k charakteristische, breitenbezogene Membrankraft im kontinuierlichen Bereich (Feldmitte).

(3) Es ist konstruktiv sicherzustellen, dass der notwendige Anpressdruck dauerhaft anliegt.

(4) Die Klemmschienen und Bolzen sind nach (DIN EN 1993-1-1) zu bemessen. Hinweise zur Modellbildung liefert Gabrys (2007).

(5) Die Verankerung der Bolzen in den Massivbau sind nach (DIN EN 1992-1-1) und (DIN 19702) nachzuweisen.

5 Literaturverzeichnis

Ahrens, Mark Alexander; Strauss, Alfred; Bergmeister, Konrad; Mark, Peter; Stangenberg, Friedhelm (2013): Lebensdauerorientierter Entwurf, Konstruktion, Nachrechnung. In: Konrad Bergmeister, Frank Fingerloos und Johann-Dietrich Wörner (Hg.): Beton-Kalender 2013: Lebensdauer und Instandsetzung - Brandschutz. Berlin: Ernst & Sohn Verlag, S. 19–222.

Bau-Überwachungsverein e.V. (2010): Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen. Entwurf, Bemessung und Konstruktion. Bau-Überwachungsverein e.V. Online verfügbar unter <http://buev.eu/index.php?content=empfehlungen>, zuletzt geprüft am 11.09.2019.

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2007): Mitteilungen 91. 1. Aufl. Karlsruhe: Eigenverlag (91).

Ehrenstein, Gottfried W. (2002): Mit Kunststoffen konstruieren. Eine Einführung ; mit 33 Tabellen. 2., durchges. und korrigierte Aufl. München, Wien: Hanser (Studientexte Kunststofftechnik).

Erhard, Gunter (2008): Konstruieren mit Kunststoffen. [CD inside]. 4. Aufl. München: Carl Hanser Verlag.

DIN EN 1992-1-1, Januar 2011: Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.

DIN EN 1993-1-1, Dezember 2010: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau.

DIN EN 1990, Dezember 2010: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.

DIN EN ISO 899-1, Oktober 2003: Kunststoffe - Bestimmung des Kriechverhaltens.

DIN 19702, Februar 2013: Massivbauwerke im Wasserbau – Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit.

DIN 19704-1, November 2014: Stahlwasserbauten - Teil 1: Berechnungsgrundlagen.

DIN EN ISO 283, Februar 2008: Textilfördergurte - Zugfestigkeit bei voller Gurtdicke, Bruchdehnung und Dehnung bei breitenbezogener Bruchkraft.

DIN 22102-3, Januar 2014: Textil-Fördergurte für Schüttgüter – Teil 3: Nicht lösbare Fördergurtverbindungen.

Gabrys, Ulrike (2007): Bemessung und Konstruktion der Verankerungen von Schlauchwehren. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Mitteilungen 91, Bd. 91. 1. Aufl. Karlsruhe: Eigenverlag (91), S. 23–29. Online verfügbar unter https://www.baw.de/DE/service_wissen/publikationen/bawmitteilungen/bawmitteilungen.html, zuletzt geprüft am 11.09.2019.

Gebhardt, Michael (2006): Hydraulische und statische Bemessung von Schlauchwehren. Dissertation. Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe. Institut für Wasser und Gewässerentwicklung - Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik.

Gebhardt, Michael (2010): On the causes of vibrations and the effects of countermeasures at water-filled inflatable dams. In: 1st European IAHR Congress Edinburgh (CD-Rom).

Gebhardt, Michael; Kemnitz, Bernhard (2007): Hydraulische Bemessung von Schlauchwehren. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Mitteilungen 91, Bd. 91. 1. Aufl. Karlsruhe: Eigenverlag (91), S. 47–56.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, River Bureau (2000): Technologische Standards für Schlauchwehre (unveröffentlichte Übersetzung aus dem Japanischen im Auftrag der BAW).

Stommel, Markus; Korte, Wolfgang; Stojek, Marcus (2011): FEM zur Berechnung von Kunststoff- und Elastomerbauteilen. München: Carl Hanser Verlag.

Anlagen

Anlage 1: Erläuterungen zu den Vorgaben und Regelungen des Merkblattes

Zu 1 Vorbemerkung und Anwendungsbereich

Zu (1):

Die Nachweisführung erfolgt grundsätzlich auf Basis der aktuellen Normen und Regelwerke mit den Hinweisen aus diesem Merkblatt. Die Bemessungsprinzipien orientieren sich an den Anwendungsregeln der (DIN EN 1990).

Zu (6):

Die Nutzungsdauer entspricht der Nutzungsklasse 3 gemäß (DIN EN 1990) Tabelle 2.1 und wurde aus Japanischen Richtlinien (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, River Bureau 2000) abgeleitet.

Zu 3 Nachweis der Schlauchmembran

Zu 3.1 Grundlagen und Ausgangsbasis

Zu (1):

Mit nur einer Gewebelage kann kein Stoß in Schussrichtung ohne Überlappung hergestellt werden. Stöße sind ohne Zwischenzugträger in Stufen herzustellen. Hinweise hierzu sind in (DIN 22102-3) Bild 5, 7 und ff. zu finden.

Zu (2):

Bei einer Schlauchmembran handelt es sich um einen Verbundwerkstoff aus mehreren Lagen Kunststoffgewebe mit außenliegenden Elastomerbeschichtungen.

Zu (4):

Die Schlauchmembran besteht aus nicht-vulkanisierten oder vulkanisierten Bahnen, die in einer Endlosproduktion hergestellt werden und in einem zweiten Bearbeitungsschritt zusammengesetzt werden. Die Produktionsbreite der Bahnen ist durch das Gewebe oder die Pressen beschränkt. An den Stößen sind die Festigkeitsträger (Gewebelagen) teilweise unterbrochen und die Kraftübertragung findet in Schussrichtung durch entsprechende Überlappung statt. Die Stöße weisen eine geringere Zugfestigkeit auf.

Idealerweise liegt der Eckbereich um SCF_2 in der Mitte einer Gewebbahn aus der Endlosproduktion, siehe Bild 3.

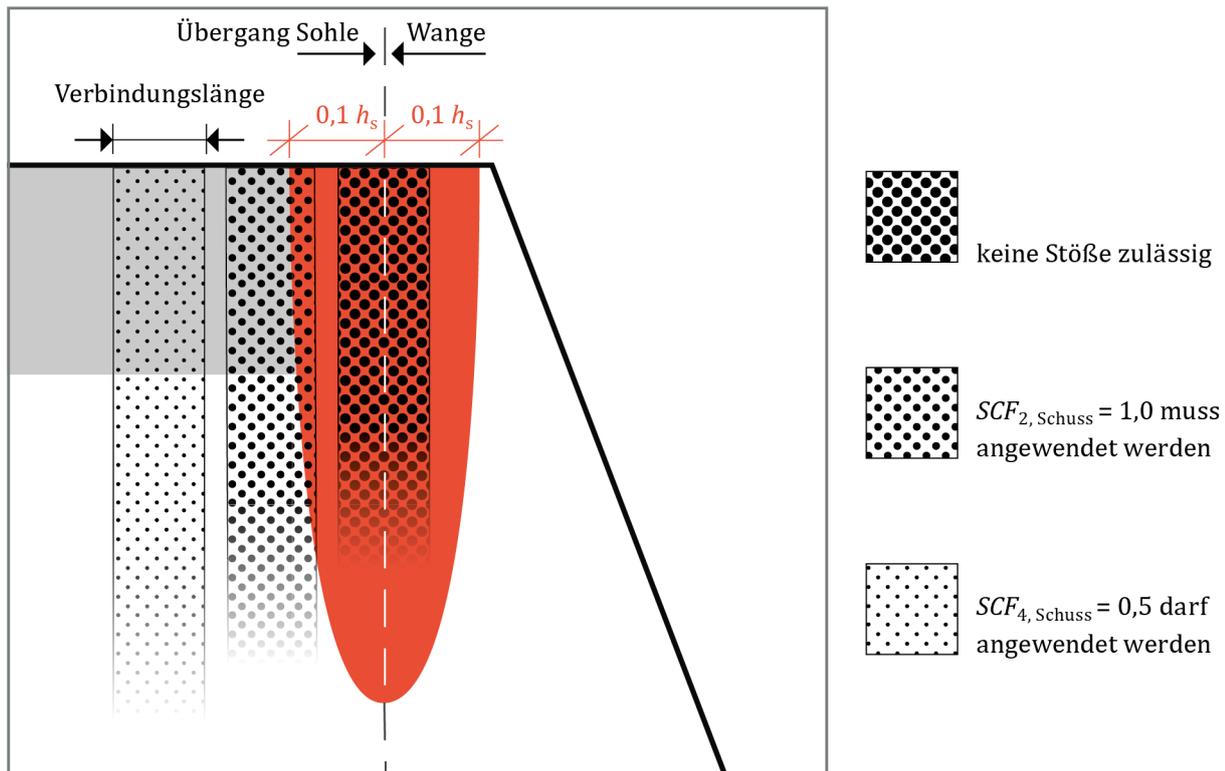


Bild 3: Skizzierter Ausschnitt eines Schnittplans (Bild 1) mit Angaben zu SCF in Schussrichtung für die Stoßverbindung

Zu (5):

Die Schlauchinnenseite sowie die Sohle können nur nach einem Ausbau der Membran begutachtet werden. Eine entsprechende Fertigungsqualität ist hierbei sicherzustellen.

Zu (6):

Schwingungen im abgelegten Zustand können dadurch verhindert werden, dass das Schlauchwehr vollkommen entleert ist und flach auf der Wehrschwelle aufliegt (z. B.: abgestufte Wehrsohle). Jambor-Schwellen haben sich als vorteilhaft erwiesen, da die Schlauchmembran durch den hydrodynamischen Druck in ihrer Lage stabilisiert wird. Unstetigkeiten in Fließrichtung verursachen Strömungsablösungen und erhöhen die Gefahr von Schwingungen. Die Absenkung der Klemmschienen und geringe Biegeradien durch die Verwendung biegeweicher Schlauchmembrane sind daher von Vorteil. Um die Schwingungsanfälligkeit im überströmten Zustand zu reduzieren, können sogenannte Störkörper auf die Schlauchmembran appliziert werden, siehe (Bundesanstalt für Wasserbau 2007). Diese bilden zwar auch eine Unstetigkeit, können aber nicht vermieden werden.

Zu 3.2 Bemessungswerte der Membranbeanspruchung

Zu (1):

Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen

Aufgrund des nichtlinearen Verhaltens der Schlauchmembran sind die Auswirkungen in der Regel nicht proportional zu den Einwirkungen. Daher dürfen die in (DIN EN 1990) 6.3.2(4) angegebenen vereinfachten Regeln angewendet werden. Hiernach kann von einer Unterproportionalität ausgegangen werden und damit

der Teilsicherheitsbeiwert γ_F auf die Auswirkung infolge des repräsentativen Wertes der Einwirkung angewendet werden.

Auf eine Reduktion des Teilsicherheitsbeiwertes wird aufgrund der vergleichsweise geringen Nutzungsdauer der Schlauchmembrane verzichtet.

Spannungskonzentrationsfaktor

Die Spannungskonzentrationsfaktoren SCF_i sind Quotienten aus den maximalen, bemessungsrelevanten und breitenbezogenen Kräften an den Stellen i und der Membrankraft T_k in Feldmitte.

Der Spannungskonzentrationsfaktor ist abhängig von:

- a) den verwendeten Materialien (Materialkombination, Bindungsart des Gewebes),
- b) der Richtung (Kette und Schuss),
- c) der Geometrie der Klemmkonstruktion,
- d) sowie der untersuchten Stelle der Schlauchmembran (Befestigungsschienen, Ecke, Falte, ...).

Werden die bemessungsrelevanten, charakteristischen Spannungen $\sigma_{EK,i}$ mit numerischen Modellen ermittelt, ist die Bildung eines Spannungskonzentrationsfaktors nicht erforderlich.

Bemessungssituationen

Die zu berücksichtigenden Bemessungssituationen sind unter anderem: Einstauzustand (ständig) und Druckprüfung (vorübergehend). Die Druckprüfung kann aufgrund einer Erhöhung des Innendrucks im Grenzzustand der Tragfähigkeit um 5 % ($\alpha = 1,65$ bezogen auf den Einstauzustand) im Revisionszustand bemessungsrelevant sein. Jedoch kann in der vorübergehenden Bemessungssituation in Anlehnung an (DIN 19704-1) ein geringerer Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_F = 1,25$ für den Innendruck angenommen werden.

Zu (2):

Beispiele für Innendruckbegrenzungen sind bei offenen Systemen eine Überfallwand im Steuerschacht oder ein nach oben offener Steuerbalg.

Zu (3):

Um die für die bemessungsrelevanten Spannungen aus der Numerik ermitteln zu können, sind numerische Modelle und Programme zu verwenden, die materielle und geometrische Nichtlinearitäten sowie das gezielte Aufbringen des Wasserdruckes auch in der Endlage der Schlauchmembran gewährleisten.

Zu (4):

Die Angaben der Tabelle 1 gelten unter den folgenden materialtechnischen und geometrischen Randbedingungen:

- a) breitenbezogene Steifigkeit der Membran: $\leq 6000 \text{ N/mm}$
(Ermittlung nach (DIN EN ISO 283) aus Zugversuchen)
- b) Drucksteifigkeit des Elastomers: $\leq 12 \text{ N/mm}^2$ bei -20°C
- c) Deckschichtdicke: $\leq 7 \text{ mm}$
- d) Wangenneigung $\leq 75^\circ$

- e) Die Spannungskonzentrationsfaktoren SCF_2 in Ketttrichtung von 3,0 und in Schussrichtung von 1,0 wurden mit einem Steifigkeitsverhältnis von Kett- zu Schussrichtung von 20:1 ermittelt. Diese Werte ergeben sich aus den Erfahrungen der BAW. Für geringere Steifigkeitsverhältnisse müssen die Spannungskonzentrationsfaktoren SCF_2 erhöht werden.
- f) Der Spannungskonzentrationsfaktor SCF_1 entstand unter einem Biegeradius an der Unterseite der Klemmschiene von 5 mm für $h_s \leq 3,5$ m und 8 mm für $h_s \leq 4,6$ m.
- g) Eine Exzentrizität e der Gewebeeinlagen innerhalb des Membranquerschnittes wurde bei der Ermittlung der SCF_i bei Schlauchhöhen $h_s \leq 3,5$ m von $e = 0,18 d_s$ und bei Schlauchhöhen $h_s \leq 4,6$ m von $e = 0,10 d_s$ berücksichtigt.

Für die Randbedingungen a) – d) gilt:

Bei kleineren als den angegebenen Werten würden sich die SCF_i verringern. Auf der sicheren Seite liegend sind die angegebenen Werte in Tabelle 1 zu verwenden. Bei größeren als den angegebenen Werten erhöhen sich die SCF_i , sodass eine numerische Berechnung notwendig ist. Eine Inter- oder Extrapolation ist nicht zulässig.

Zu (5):

Hinweise und Herleitung der breitenbezogenen Membrankraft sind in (Gebhardt 2006) nachzulesen. Die Definitionen von h_i , h_o und h_s sind Bild 2 zu entnehmen.

Zu 3.3 Bemessungswerte der Membrantragfähigkeit

Zu (1):

Gesamtabminderungsfaktor

Der Gesamtabminderungsfaktor ξ berücksichtigt keine Sicherheit, sondern ist ein Produkt einzelner Abminderungsfaktoren. Abminderungsfaktoren berücksichtigen nach (Stommel et al. 2011) den Einfluss bestimmter technologischer Randbedingungen, die zur Reduzierung der Festigkeit führen, wie z. B. Alterung, Dauerstandsfestigkeit etc. Das Versagensrisiko hingegen wird mit (Teil-)Sicherheitsfaktoren bewertet.

Kurz: Dieser stellen sicher, dass die Materialeigenschaften am Ende des Bemessungszeitraums noch den Anforderungen des Nachweises im Grenzzustand der Tragfähigkeit genügen.

Widerstand

Der Widerstand R_k ist ein Nennwert, der eine durch den Hersteller garantierte Mindestzugfestigkeit angibt. Diese Mindestzugfestigkeit ist mit Prüfzeugnissen zu bestätigen. Als charakteristischer Bauteilwiderstand R_k wird die Zugfestigkeit der Schlauchmembran als unterer Wert X_k (5% - Quantile) oder als Nennwert eingeführt.

Der Ansatz des Zugkraftverlustes im Stoßbereich kann nach (DIN 22102-3) für Verbindungen ohne Zwischenzugträger erfolgen, sofern die entsprechenden Anforderungen eingehalten werden. Eine Abminderung der Zugfestigkeit erfolgt in Abhängigkeit der getrennten Gewebeeinlagen im Stoßbereich

Zu (2):

Die Abminderungsfaktoren sind für eine Vordimensionierung aus (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, River Bureau 2000) abgeleitet und gelten für einen Bemessungszeitraum von 30 Jahren. Für längere Bemessungszeiträume müssen die beiden Faktoren angepasst werden. Für kürzere Bemessungszeiträume dürfen die beiden Faktoren angepasst werden. Es ist zu beachten, dass es sich hierbei um einen

nichtlinearen Zusammenhang handelt. Daher ist eine lineare Interpolation nicht zulässig, siehe Zu 3.2 (3) und (4).

Zusammenfassung der Abminderungsfaktoren zum Gesamtabminderungsfaktor:

$$\xi = \frac{1}{f_1} \cdot \frac{1}{f_2} = \frac{1}{1,95} \cdot \frac{1}{1,55} = 0,51 \cdot 0,65 = 0,33 \quad (\text{A-1})$$

Zu (3):

f_1 : Dauerstandfestigkeit

Definition der Dauerstandfestigkeit: „Bei langzeitiger Belastung treten bei Kunststoffen bleibende Verformungen, Schäden und später Versagen auf, bevor die im Kurzzeitversuch ermittelten Festigkeiten erreicht sind.“ (Ehrenstein 2002, S. 20)

Zur Versuchsdurchführung kann nach (Erhard 2008) die (DIN EN ISO 899-1) herangezogen werden.

Anders als bei klassischen Kriechversuchen werden hier keine Kriechkurven sondern ein Last-Zeit-Versagensdiagramm erstellt. Hierbei wird die relative Zeitstandfestigkeit über die Zeit aufgetragen. Die relative Zeitstandfestigkeit $R_{\text{rel},t,i}$ wird mit

$$R_{\text{rel},t,i} = \frac{R_{k,t_i}}{R_{k,t_0}} \quad (\text{A-2})$$

für verschiedene Lastniveaus bestimmt.

Dabei ist

$R_{\text{rel},t,i}$ relative Zeitstandfestigkeit bezüglich Dauerfestigkeit,

R_{k,t_i} Zugfestigkeit zum Zeitpunkt t_i ,

R_{k,t_0} Zugfestigkeit beim Kurzzeitversuch $t = 0$.

Zunächst werden Kurzzeitzugversuche in statistisch abgesicherter Anzahl (mindestens 10 Proben in Kettrichtung entsprechend Anhang D der (DIN EN 1990)) durchgeführt, um eine Zugfestigkeit R_{k,t_0} (100 %-Wert) zum Zeitpunkt $t = 0$ zu erhalten. Anschließend werden Probekörper mit verschiedenen Lastniveaus R_{k,t_i} (etwa zwischen 70 % und 95 % der Zugfestigkeiten beim Kurzzeitversuch) beaufschlagt und die Zeit t_i bis zum Bruch gemessen. Alle Messwerte werden in ein doppeltlogarithmisches Diagramm eingetragen und mit einer Ausgleichsgeraden verbunden. Auf der sicheren Seite liegend wird ein unteres Limit herangezogen, welches durch paralleles Verschieben der Ausgleichsgeraden nach unten (Einhüllende) entsteht. Alle Messwerte müssen oberhalb dieser Linie liegen. Bezogen auf die geplante Einsatzdauer der Schlauchmembran lässt sich mittels Extrapolation des unteren Limits ein Wert f_1 zur Dauerstandfestigkeit ermitteln, siehe Bild 4.

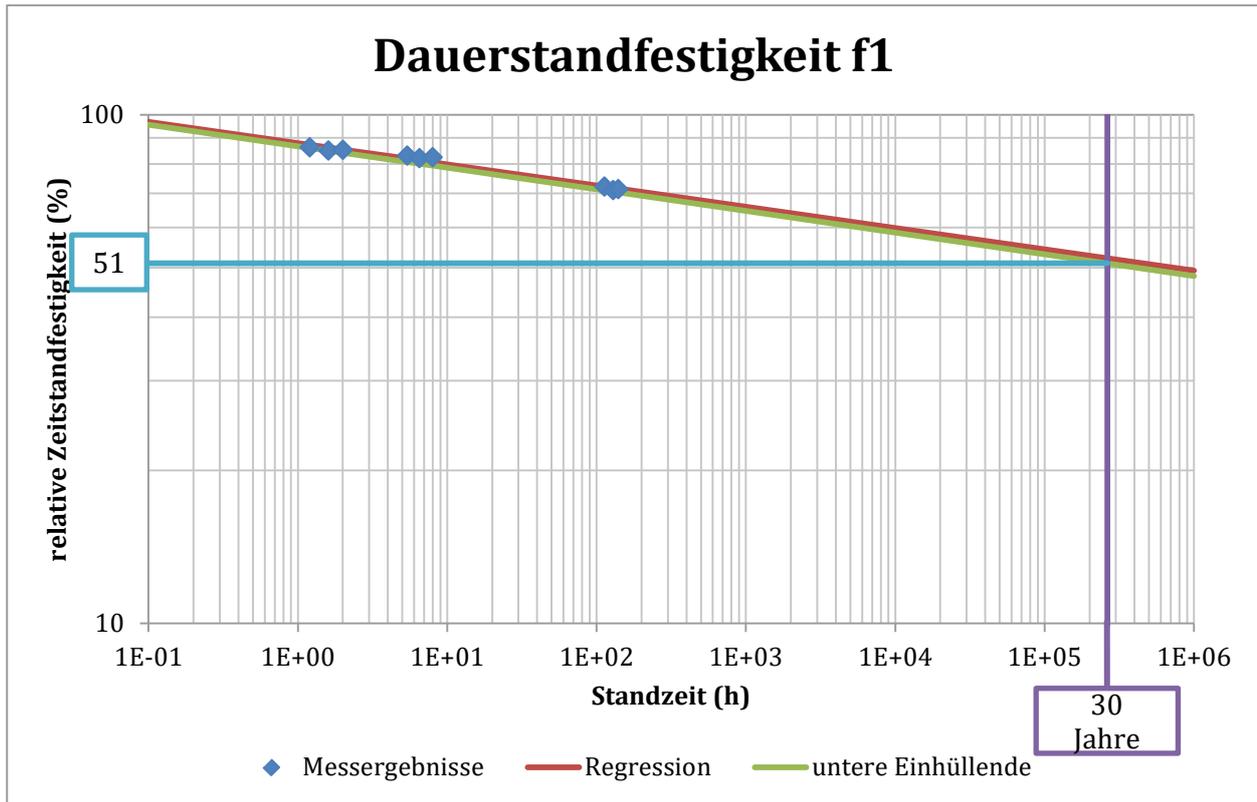


Bild 4: Beispiel zur Bestimmung des Abminderungsfaktors f_1 der Dauerstandfestigkeit für 30 Jahre

Beispiel: $f_1 = \frac{1}{0,51} = 1,95$

Zu (4):

f_2 : Berücksichtigung der Alterung

Definition der Alterung: „Unter dem Begriff ‚Alterung‘ wird die Gesamtheit aller an hochpolymeren Werkstoffen durch Umwelteinflüsse bedingten irreversiblen intra- und intermolekularen Änderungen subsummiert. Diese Alterung kann durch thermische, mechanische, dynamische, Licht- und Strahlungs- sowie chemische Energie verursacht werden.“ (Erhard 2008, S. 139).

Zur Versuchsdurchführung werden beim Einbau der Schlauchmembran Materialproben zurückgestellt und vor Ort unter den gleichen Umweltbedingungen aufbewahrt. Ein Auslagerungsstück wird dabei der Sonne (UV-Strahlung) ausgesetzt und eine weitere Probe wird im Wasser gelagert. In regelmäßigen Abständen (~5 Jahren) werden aus den Rückstellproben Versuchskörper ausgestanzt und im Zugversuch beprobt. Hieraus ergeben sich die jeweiligen Zugfestigkeiten R_{k,A_i} nach A Jahren. Diese Festigkeiten werden mit einer Zugfestigkeit R_{k,t_0} (100 %-Wert) zum Zeitpunkt des Einbaus ($t = 0$) verglichen. So ergibt sich die relative Zeitstandfestigkeit $R_{rel,A,i}$ zu:

$$R_{rel,A,i} = \frac{R_{k,A_i}}{R_{k,t_0}} \tag{A-3}$$

Dabei ist

$R_{rel,A,i}$ relative Zeitstandfestigkeit bezüglich Alterung,

R_{k,A_i} Zugfestigkeit zum Zeitpunkt A_i ,

R_{k,t_0} Zugfestigkeit beim Kurzzeitversuch $t = 0$.

Mit einer Extrapolation unterhalb der Messwerte kann die Annahme des Abminderungsfaktors für die Alterung über die Jahre überprüft werden. Gegebenenfalls muss die Schlauchmembran vorzeitig ausgetauscht werden oder kann länger genutzt werden. Ein Beispiel für den Auftrag im Diagramm ist in Bild 5 gegeben.

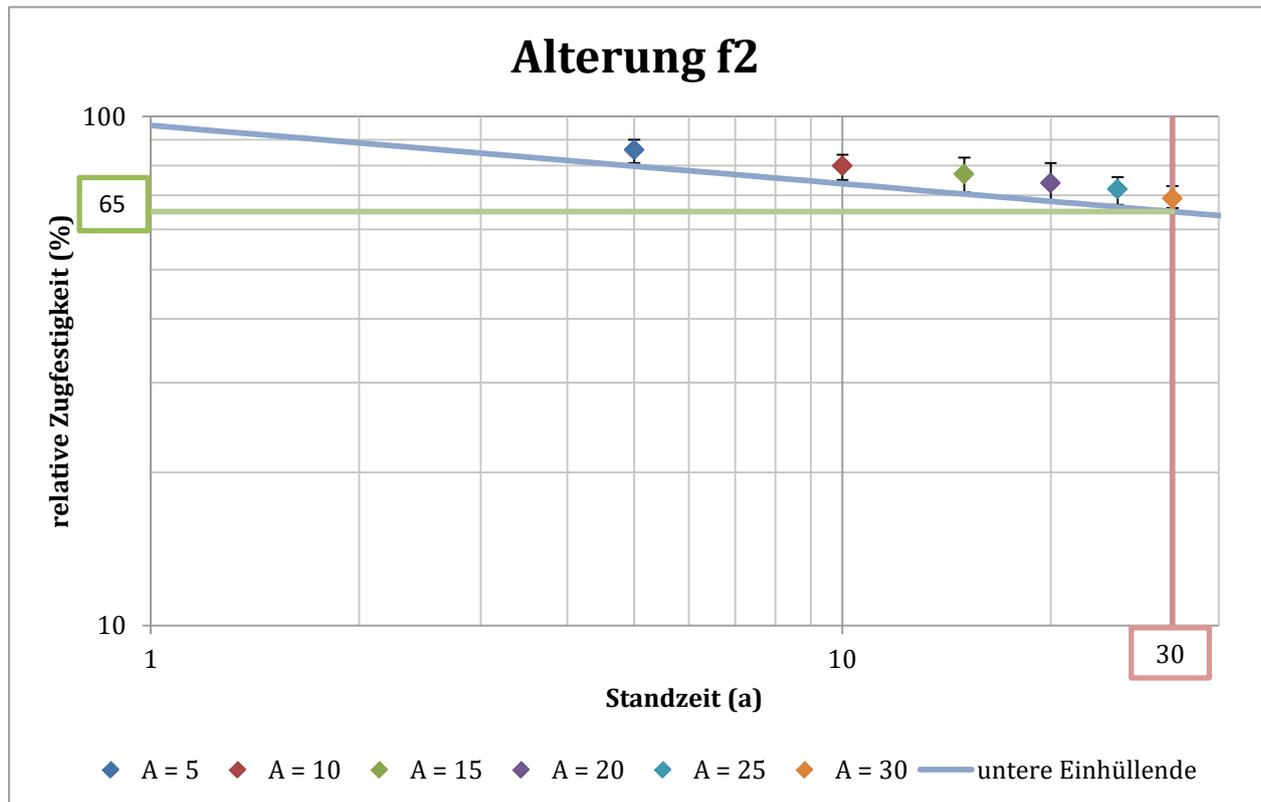


Bild 5: Beispiel zur Bestimmung des Abminderungsfaktors f_2 der Alterung für 30 Jahre

Beispiel: $f_2 = \frac{1}{0,65} = 1,55$

Zu (6): Die angegebenen Werte für γ_M und $\gamma_{M,Stoß}$ für die Vordimensionierung ergeben sich aus den beiden folgenden Punkten:

- Für die bis jetzt in der BAW durchgeführten Zugversuche an ungestoßenen Probekörpern aus Schlauchwehmembranen konnte kein größerer Teilsicherheitsbeiwert als $\gamma_M = 1,1$ abgeleitet werden.
- Für die Festigkeit einer Verbindung manuell gefertigter Faserverbundwerkstoffe ist nach den Vorgaben des (Bau-Überwachungsverein e.V. 2010) $\gamma_{M,Stoß} = 2,0$ zu wählen.

Zur Herleitung der materialeitigen Teilsicherheitsbeiwerte für die vorliegende Schlauchmembran wird auf die (DIN EN 1990) und die Ausführungen im Beton-Kalender 2013 (Ahrens et al. 2013) verwiesen.

Zu 3.4 Nachweis der Schlauchmembran im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Zu (1):

Für den Tragfähigkeitsnachweis der Schlauchmembran ist das Nachweisformat STR (vgl. (DIN EN 1990)) maßgebend, da das Versagen des Schlauchmembranmaterials im Grenzzustand ausgeschlossen werden muss. Ist der Nachweis für die Kett-, Schussrichtung und die Verbindungsstellen für die gesamte Schlauchmembran erfüllt, wird die geforderte „Zuverlässigkeit“ im Grenzzustand der Tragfähigkeit erreicht.

Zu 4 Nachweis der Klemmkonstruktion

Zu (2):

Es muss darauf geachtet werden, dass die Lasteinleitung der Membrankräfte in die Klemmkonstruktion ausschließlich über Haftung geschieht. Eine Belastung der Schlauchmembran auf Lochleibung ist unzulässig.

Zu (3):

Der Elastomer wird sich aufgrund seiner Kriech Eigenschaften u. U. der Last entziehen wollen.