

Statische Berechnung

Bauort:	Bundesstadt Bonn, Schubertstraße
Bauvorhaben:	Sanierung eines Sammlers mit Hilfe eines GfK-Rohres $B_i/H_i = 1520 \text{ mm}/1730 \text{ mm}$ (s. Abb. 1.2), das im Liningverfahren mit abschließender Ringraumverfüllung einzubauen ist
Auftraggeber:	Bundesstadt Bonn Tiefbauamt Amt 66-21 Berliner Platz 2 53111 Bonn
Auftrag:	Statische Dimensionierung von GfK-Rohren mit Ringraumverfüllung; Innere Abmessungen des GfK-Rohrquerschnittes: $B_i/H_i = 1520 \text{ mm}/1730 \text{ mm}$ (s. Abb. 1.2); Berechnungsgrundlage: DWA-A 143-2, Altrohrzustand II; Nachweis für die Einwirkung von Wasseraußendruck und Dämmerdruck
Unser Zeichen (AZ):	2024-047-ST
Bearbeitung:	Dr.-Ing. Heinz Doll
Erstellungsdatum:	04.06.2024

Inhalt:

- 1 Unterlagen, Literatur
 - 2 Baubeschreibung, Problemstellung
 - 3 Belastung und Betriebsbedingungen
 - 4 Materialkennwerte des GfK-Rohres
 - 5 Baugrund
 - 6 Statische Modellbildung und Nachweisführung
 - 6.1 LF 1: Grundwasserstand bis $h_{w,so} = 1,90$ m über Rohrsohle (entspricht
Mindestansatz von 0,1 m über Rohrscheitel)
 - 6.2 LF 2: Dämmerdruck bis $h_{Dä,so} = 2,1$ m über Rohrsohle (0,3 m über Scheitel),
Dämmerwichte $\gamma = 16$ kN/m³, Kurzzeitznachweis
 - 7 Zusammenfassung
- Abbildungen

1 Unterlagen, Literatur

- [1] 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
- [2] Schreiben (E-Mail, Fr. Menzenbach) der Bundesstadt Bonn vom 27.05.2024 (Darstellung der Problemstellung, Übermittlung von Unterlagen, Angebotsanfrage)
- [3] Angebot Nr. 2023-17 der Dr. Doll Ingenieurgesellschaft mbH vom 27.05.2024
- [4] Auftragsschreiben der Bundesstadt Bonn vom 28.05.2024
- [5] Schreiben (E-Mail, Hr. Dr. Doll) vom 31.05.2024 (Abstimmung statischer Eingangsparameter)
- [6] Schreiben (E-Mail, Fr. Menzenbach) der Bundesstadt Bonn vom 03.04.2024 (Abstimmung statischer Eingangsparameter)
- [7] Lageplan, Schubertstraße / Richard-Wagner-Straße Zeichnung-Nr.: 1701-01-LH01, erstellt durch die dk Teamplan GmbH am 23.11.2023 (Anhang der Unterlage [2])
- [8] Lageplan, Richard-Wagner-Straße, Zeichnung-Nr.: 1701-01-LH02, erstellt durch die dk Teamplan GmbH am 23.11.2023 (Anhang der Unterlage [2])
- [9] Querschnittszeichnung (Anhang der Unterlage [2])
- [10] Statische Berechnung Nr. 2023-081-ST, erstellt durch die Dr. Doll Ingenieurgesellschaft mbH am 11.12.2023

2 Baubeschreibung, Problemstellung

Gem. den Unterlagen [2, 7 - 9] ist es von Seiten der Bundesstadt Bonn geplant, einen bestehenden Sammler mit inneren Abmessungen von $B_i/H_i = 1800 \text{ mm} / 2000 \text{ mm}$ (Nennquerschnitt, gedrücktes Eiprofil, s. Abb. 1.1) mit Hilfe von GfK-Rohren, die im Liningverfahren mit abschließender Ringraumverfüllung einzubauen sind, zu sanieren. Gem. Angabe des Auftraggebers [2-4] ist der Gegenstand der beauftragten, hier vorliegenden statischen Berechnung der Nachweis des GfK-Rohrquerschnittes (innere Abmessungen $B_i/H_i = 1520 \text{ mm} / 1730 \text{ mm}$ (s. Abb. 1.2)) unter Voraussetzung von Altrohrzustand II gem. DWA-A 143-2 [1] analog zu Unterlage [10] (in [10] Nachweis eines Schlauchliners der Materialkenngruppe 4). Die Materialkennwerte des GfK-Rohres, der Bemessungswasserstand und die Einwirkung des Verfülldruckes (Bauzustand der Ringraumverfüllung) werden gem. Abstimmung mit dem Auftraggeber [5, 6] angesetzt. Ein statischer Nachweis des Bestandskanals bzw. die genannte Altrohrklassifikation ist nicht Gegenstand der Beauftragung.

3 Belastung und Betriebsbedingungen

Analog zu [10] erfolgt der Ansatz von Altrohrzustand II. Das GfK-Rohr wird somit für die Einwirkung von Wasseraußendruck und Dämmerdruck statisch dimensioniert. Die statische Nachweisführung erfolgt für zwei Lastfälle:

- LF 1 Grundwasserstand bis $h_{w,so} = 1,90 \text{ m}$ über Rohrsohle (entspricht Mindestansatz gem. [1] von $0,1 \text{ m}$ über Rohrscheitel), Langzeitnachweis
- LF 2: Dämmerdruck bis $h_{da,so} = 2,1 \text{ m}$ über Rohrsohle (ca. $0,3 \text{ m}$ über Scheitel, letzter Verfüllschritt), Dämmerwichte $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$, Kurzzeitnachweis

Der Ansatz des Bemessungsgrundwasserstandes (Mindestansatz analog zu [10]) sowie die Ansätze bei LF 2 (Bauzustand der Ringraumverfüllung) erfolgen gem. Abstimmung mit dem Auftraggeber [5, 6].

4 Materialkennwerte des GfK-Rohres

Material:	GfK		
Kurzzeit-E-Modul (Umfangsrichtung):	E_K	=	9500 N/mm ²
	$E_{K,d}$	=	9500/1,25 = 7600 N/mm ²
Langzeit-E-Modul (Umfangsrichtung):	E_L	=	6000 N/mm ²
	$E_{L,d}$	=	6000/1,25 = 4800 N/mm ²
Kurzzeit-Biegefestigkeit (Umfangsr.):	$\sigma_{BR,\varphi,K}$	=	200 N/mm ²
	$\sigma_{BR,\varphi,K,d}$	=	200/1,25 = 160 N/mm ²
Langzeit-Biegefestigkeit (Umfangsr.):	$\sigma_{BR,\varphi,L}$	=	80 N/mm ²
	$\sigma_{BR,\varphi,L,d}$	=	80/1,25 = 64 N/mm ²
Kurzzeit-Biegezugfestigkeit (axial):	$\sigma_{BZ,ax,K}$	=	20 N/mm ²
	$\sigma_{BZ,ax,K,d}$	=	20/1,25 = 16 N/mm ²
Kurzzeit-Druckfestigkeit (axial):	$\sigma_{D,ax,K}$	=	30 N/mm ²
	$\sigma_{D,ax,K,d}$	=	30/1,25 = 24 N/mm ²
Querdehnzahl:	ν	=	0,25
Wanddicke:	t_L	=	28,0 mm
Maximale Rohrlänge:	l	=	2,35 m
Wichte:	γ	=	20,0 kN/m ³ (konserv. gew.)
Sicherheitsbeiwert (Material):	γ_M	=	1,25 (gem. [1])

Der Index „d“ beschreibt Design-Kennwerte (Anwendung des Teilsicherheitskonzeptes). Die angesetzten Materialkennwerte wurden auf Grundlage von Herstellerangaben zu vergleichbaren Bauvorhaben konservativ gewählt [5, 6]. Sie sind dem Bauherrn vor der Rohrproduktion durch die entsprechenden Prüfzeugnisse nachzuweisen. Die maximale Rohrlänge wird hier gem. tel. Rücksprache mit dem Auftraggeber (Bundesstadt Bonn, Fr. Menzenbach) mit 2,35 m angesetzt.

5 Baugrund

Analog zur statischen Berechnung [10] erfolgt die statische Nachweisführung des GfK-Rohrquerschnittes unter Voraussetzung von Altrohrzustand II gem. [1]. Bodenkennwerte finden somit keinen Eingang in die statische Modellbildung und Berechnung. Auf die Angabe von Baugrundkennwerten kann daher hier verzichtet werden.

6 Statische Modellbildung und Nachweisführung

Gem. [3, 4] erfolgt der statische Nachweis des GfK-Rohrquerschnittes analog zu Unterlage [10] unter Voraussetzung von Altrohrzustand II gem. DWA-A 143-2 [1]. Das GfK-Rohr wird somit für die Einwirkung eines Wasseraußendruckes sowie den Bauzustand der Ringraumverfüllung betreffend für Dämmerdruck statisch nachgewiesen. Die statische Modellbildung und Berechnung erfolgt mit Hilfe des FE-Programms NISA auf Grundlage der Unterlagen [1 – 10]. Die Bewertung des Altrohrzustandes ist nicht Gegenstand der beauftragten, hier vorliegenden statischen Berechnungen.

Statisches Modell zum Nachweis von LF 1: Wasseraußendruck (AZ II)

Der Nachweis von LF 1 (Wasseraußendruck) erfolgt auf Grundlage des DWA-A 143-2 [1] unter Voraussetzung von Altrohrzustand II. Bei dem Nachweis des Lastfalles Wasseraußendruck (AZ II) kann gem. [1] auf eine Modellierung von Boden und Altrohr verzichtet werden. Abb. 2.1 zeigt das diskretisierte Rechenmodell. Der GfK-Rohrquerschnitt wird im Rahmen der FE-Modellierung mit Hilfe von vierknotigen Scheibenelementen diskretisiert. Ihnen werden die Materialeigenschaften gem. Kap. 4 zugewiesen. Durch die Anordnung von reinen Druckfedern (keine Zug- und keine Schubkraftübertragung zwischen GfK-Rohr und Dämmer/Altrohr) über den Rohrumfang verteilt, wird eine starre Bettung des GfK-Rohres im Dämmer/Altrohr simuliert. Basierend auf Unterlage [1] erfolgt der Ansatz einer lokalen Vorverformung von 0,5 % der Querschnittshöhe im rechten Kämpfer (flacher Bereich, s. Abb. 2.1) nach innen sowie einer umlaufenden Spaltbildung von $w_s = 1,0$ mm. Die Wasserdruckbelastung wird als Linienlast auf die Rohraußenwandung aufgebracht. Da es sich um ein Stabilitätsproblem handelt, werden geometrisch nichtlineare Berechnungen durchgeführt, in deren Rahmen die Außen-druckbelastung sukzessive bis zur γ_F -fachen Gebrauchslast ($\gamma_F = 1,5$) gesteigert wird. Die Nachweisführung erfolgt unter Voraussetzung der Langzeitverhältnisse.

Statisches Modell zum Nachweis des Bauzustandes, LF 2: Dämmerdruck

Zunächst erfolgt die statische Berechnung mit Hilfe des in den Abbildungen 3.1 und 3.2 dargestellten dreidimensionalen FE-Modells. Abgebildet wird ein Rohr mit einer Länge von 2,35 m. Die räumliche Modellbildung wird gewählt, um die lokalen Verkeilungen zwischen GfK-Rohr und dem bestehenden Altrohrquerschnitt berücksichtigen zu können. Die Rohre werden jeweils an den Muffenenden durch die genannten Verkeilungen gegen Lageänderungen (vertikal und horizontal) gesichert (s. Abb. 3.1 und 3.2). Es ergibt sich somit ein Abstand /Stützweite der Verkeilungsebenen von 2,35 m (entspricht der maximalen Rohrlänge). Der Nachweis der Muffenkonstruktion (Lastabtragung von Spitzende auf Muffe) ist nicht Gegenstand der vorliegenden statischen Berechnung. Es wird davon ausgegangen, dass durch die geeignete konstruktive Ausbildung der Muffe die ausreichende Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit (Dichtheit) gewährleistet wird. Neben der Lagesicherung bewirken die Verkeilungen eine Begrenzung der Querschnittsdeformationen im Vergleich zu einem gänzlich ungebetteten Rohr. Die rechnerisch angesetzte Auflagerfläche in den Verkeilungspunkten beträgt ca. 10 cm (Umfangsrichtung) / 10 cm (Axialrichtung). Die Rohre werden mit Hilfe von vierknotigen Scheibenelementen diskretisiert, die Berücksichtigung der druckstarken Lagerung erfolgt durch die Anordnung von GAP-Elementen im Bereich der Verkeilungspunkte. Die Ringraumverfüllung ist lagenweise auszuführen (mindestens vier Verdämmschritte). Ein Verdämmschritt darf erst dann erfolgen, wenn der in dem vorherigen Schritt eingebaute Dämmer ausreichend ausgehärtet ist, um als Bettung der GfK-Rohre zu dienen. Die hier durchgeführten Berechnungen betrachten den Fall des letzten Verdämmschrittes bis 2,1 m über Sohle (0,3 m über Scheitel des GfK-Rohres), wobei auf der sicheren Seite liegend die Bettung im Bereich der vorausgehenden Verdämmschritte nicht in der statischen Modellbildung berücksichtigt wird (s. Abb. 3.1 und 3.2). Der Dämmerdruck ist durch ein geeignetes Einbauverfahren möglichst symmetrisch zur vertikalen Symmetrieebene zu steigern (Vermeidung einseitiger Lasten). Die Dämmerdruckhöhen sind zu kontrollieren. Die Belastung durch Dämmerdruck wird in der statischen Berechnung als druckhöhenabhängige Flächenlast auf die Rohraußenwandung aufgebracht und im Rahmen einer geometrisch nichtlinearen Berechnung iterativ bis zur γ_F -fachen Gebrauchslast gesteigert ($\gamma_F = 1,5$). Der statische Nachweis erfolgt unter Voraussetzung der Kurzzeitverhältnisse, da es sich um einen Bauzustand handelt. Im Rahmen der Berechnung wird der volle hydrostatische Dämmerdruck von der Gerinnesohle bis auf 2,1 m über Sohle

berücksichtigt. Auf der sicheren Seite liegend wird also davon ausgegangen, dass sich dieser Druck infolge möglicher Umläufigkeiten von der Sohle aus aufbauen kann.

Statisches Modell zum Nachweis des Bauzustandes, LF 2: Dämmerdruck, hier Betrachtung der lokalen Lasteinleitung im Bereich der Verkeilungen

Ergänzend zu der vorstehend beschriebenen Modellbildung erfolgt der Nachweis des Lastfalles Dämmerdruck mit Hilfe der in den Abbildungen 3.12 und 3.13 dargestellten Modellbildung. Es handelt sich um eine idealisierte Betrachtung der lokalen Lasteinleitungsproblematik im Bereich der Verkeilungspunkte. Abweichend zum oben beschriebenen Modell erfolgt hier die Anordnung der Verkeilungspunkte mittig in einem Rohrleitungsabschnitt, der eine Länge von 2,35 m aufweist (s. Abb. 3.12). Beidseits der Verkeilung wird also die halbe Rohrlänge als Lasteinflusslänge berücksichtigt. Gegenüber dem vorstehend beschriebenen Modell ergibt sich somit eine Verdopplung der Verkeilungskräfte. Die Belastung aus Dämmerdruck wird bis zur γ_F -fachen Gebrauchslast gesteigert. Die Nachweisführung erfolgt für Kurzzeitverhältnisse (s.o.). Betrachtet wird auch hier der letzte Verdämmschritt bis 2,1 m über Sohle (0,3 m über Scheitel) der GfK-Rohre. Auf der sicheren Seite liegend wird also davon ausgegangen, dass sich dieser Druck infolge möglicher Umläufigkeiten von der Sohle aus aufbauen kann. Das hier beschriebene Modell dient allein der Betrachtung der lokalen Lasteinleitungsbereiche (Spannungsnachweis im Bereich der Verkeilungspunkte). Verformungsnachweis, Stabilitätsnachweis und Spannungsnachweis des Gesamtrohres werden unter Verwendung der zuvor beschriebenen Modellbildung (Abb. 3.1 und 3.2) geführt.

6.1 LF 1: Grundwasserstand bis $h_{w,so} = 1,90$ m über Rohrsohle (entspricht Mindestansatz von 0,1 m über Rohrscheitel)

Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis wird gem. DWA-A 143-2 [1] unter Ansatz der charakteristischen Materialkennwerte geführt.

Aus Abb. 2.6 ergibt sich die unter Einwirkung der Gebrauchslast auftretende maximale Horizontalverformung des GfK-Rohres zu

$$\Delta d_h = 1,21 + 1,78 = 2,99 \text{ mm.}$$

Bezogen auf den mittleren Rohrdurchmesser (Mittelwert aus Vertikal- und Horizontaldurchmesser gem. Kap. 7.6.3 der Unterlage [1]) entspricht dies einer relativen Verformung von

$$\Delta d_{h,rel} = 100 \cdot 2,99 / (0,5 \cdot (1520 + 1730) + 28,0) = 0,18 \text{ \%}.$$

Die gem. [1] zulässige relative Durchmesseränderung von 3 % wird also nicht erreicht.

Spannungsnachweis

Aus den Abbildungen 2.2 und 2.3 ergibt sich unter Einwirkung der γ_F -fachen Gebrauchslast die maximale Zugspannung in der Rohrwandung zu

$$\max. \sigma_{Z,d} = 3,62 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{BR,\varphi,L,d} = 64 \text{ N/mm}^2.$$

Aus den Abbildungen 2.4 und 2.5 ergibt sich unter Einwirkung der γ_F -fachen Gebrauchslast die maximale Druckspannung in der Rohrwandung zu

$$\max. \sigma_{D,d} = 5,39 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{BR,\varphi,L,d} = 64 \text{ N/mm}^2.$$

Die erforderlichen Sicherheiten gegen Zug- und Druckspannungsversagen sind somit eingehalten.

Stabilitätsnachweis

Durch die Erbringung des Spannungsnachweises unter γ_F -facher Last ist ebenfalls der Stabilitätsnachweis erbracht. Unter γ_F -fachen Lasten tritt kein elastisches Stabilitätsversagen auf.

6.2 LF 2: Dämmerdruck bis $h_{D\ddot{a},So} = 2,1$ m über Rohrsohle (0,3 m über Scheitel), Dämmerwichte $\gamma = 16$ kN/m³, Kurzzeitnachweis

Verformungsnachweis

Der Verformungsnachweis wird gem. DWA-A 143-2 [1] unter Ansatz der charakteristischen Materialkennwerte geführt.

Aus Abb. 3.9 ergibt sich die unter Einwirkung der Gebrauchslast auftretende maximale Vertikalverformung des GfK-Rohres zu

$$\Delta d_v = 0,82 + 0,36 = 1,18 \text{ mm.}$$

Bezogen auf den mittleren Rohrdurchmesser (Mittelwert aus Vertikal- und Horizontaldurchmesser gem. Kap. 7.6.3 der Unterlage [1]) entspricht dies einer relativen Verformung von

$$\Delta d_{v,rel} = 100 \cdot 1,18 / (0,5 \cdot (1520 + 1730) + 28,0) = 0,07 \text{ \%}.$$

Die gem. [1] zulässige relative vertikale Durchmesseränderung von 3 % wird also nicht erreicht. Der Verformungsnachweis ist eingehalten.

Aus Abb. 3.10 ergibt sich die unter Einwirkung der Gebrauchslast auftretende maximale Horizontalverformung des GfK-Rohres zu

$$\Delta d_h = 2 \cdot 1,47 = 2,94 \text{ mm.}$$

Bezogen auf den mittleren Rohrdurchmesser (Mittelwert aus Vertikal- und Horizontaldurchmesser gem. Kap. 7.6.3 der Unterlage [1]) entspricht dies einer relativen Verformung von

$$\Delta d_{h,rel} = 100 \cdot 2,94 / (0,5 \cdot (1520 + 1730) + 28,0) = 0,18 \text{ \%}.$$

Die gem. [1] zulässige relative Durchmesseränderung von 3 % wird also nicht erreicht.

Spannungsnachweis

Aus Abb. 3.3 ergibt sich unter Einwirkung der γ_F -fachen Gebrauchslast die maximale Zugspannung in der Rohrwandung zu

$$\max.\sigma_{Z,\varphi,d} = 9,47 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{BR,\varphi,K,d} = 160 \text{ N/mm}^2.$$

Aus Abb. 3.6 ergibt sich unter Einwirkung der γ_F -fachen Gebrauchslast die maximale Druckspannung in der Rohrwandung zu

$$\max.\sigma_{D,\varphi,d} = 18,86 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{BR,\varphi,K,d} = 160 \text{ N/mm}^2.$$

Aus Abb. 3.7 ergibt sich unter Einwirkung der γ_F -fachen Gebrauchslast die maximale Zugspannung in Axialrichtung zu

$$\max.\sigma_{Z,ax,d} = 9,39 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{BZ,ax,K,d} = 16 \text{ N/mm}^2.$$

Aus Abb. 3.8 ergibt sich unter Einwirkung der γ_F -fachen Gebrauchslast die maximale Druckspannung in Axialrichtung zu

$$\max.\sigma_{D,ax,d} = 9,75 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{D,ax,K,d} = 24 \text{ N/mm}^2.$$

Die ausreichende Sicherheit Spannungsversagen wurde somit nachgewiesen.

Stabilitätsnachweis

Durch die Erbringung des Spannungsnachweises unter γ_F -facher Last ist ebenfalls der Stabilitätsnachweis erbracht. Unter γ_F -fachen Lasten tritt kein elastisches Stabilitätsversagen auf.

Spannungsnachweis unter Berücksichtigung der lokalen Lasteinleitungsproblematik, Bereich der Verkeilungspunkte

Aus Abb. 3.14 ergibt sich unter Einwirkung der γ_F -fachen Gebrauchslast die maximale Zugspannung in Axialrichtung zu

$$\max.\sigma_{Z,ax,d} = 15,20 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{BZ,ax,K,d} = 16 \text{ N/mm}^2.$$

Aus Abb. 3.15 ergibt sich unter Einwirkung der γ_F -fachen Gebrauchslast die maximale Druckspannung in Axialrichtung zu

$$\max.\sigma_{D,ax,d} = 16,82 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{D,ax,K,d} = 24 \text{ N/mm}^2.$$

Die ausreichende Sicherheit Spannungsversagen wurde somit nachgewiesen.

7 Zusammenfassung

Es ist geplant, einen bestehenden Sammlerquerschnitt der Bundesstadt Bonn mit inneren Abmessungen von $B_i/H_i = 1800 \text{ mm}/2000 \text{ mm}$ mit Hilfe von GfK-Rohren, die im Liningverfahren eingebaut werden sollen (s. Abb. 1.1 und 1.2), zu ertüchtigen. Der Ringraum zwischen den GfK-Rohren und dem bestehenden Altrohr wird abschließend mit Dämmern verfüllt. Gem. Beauftragung [3, 4] erfolgten die durchgeführten und hier dokumentierten statischen Berechnung analog zu Unterlage [10] unter Voraussetzung von Altrohrzustand II. Ein statischer Nachweis des Bestandskanals bzw. die genannte Altrohrklassifikation ist nicht Gegenstand der Beauftragung. Die durchgeführten statischen Berechnungen des GfK-Rohrquerschnittes mit inneren Abmessungen von $B_i/H_i = 1520 \text{ mm}/1730 \text{ mm}$ (s. Abb. 1.2) und einer statisch tragenden Rohrwanddicke von $t_L = 28 \text{ mm}$ ergaben die Einhaltung der erforderlichen statischen Nachweise, sofern die in Kap. 2 bis 6 aufgeführten Geometrie-, Material- und Lastparameter eingehalten werden sowie die Altrohrklassifikation (AZ II) zutreffend ist. Die erforderlichen Spannungs-, Verformungs- und Stabilitätsnachweise sind eingehalten. Der Nachweis der Muffenkonstruktion (Lastabtragung von Spitze auf Muffe) ist nicht Gegenstand der vorliegenden statischen Berechnung. Es wird davon ausgegangen, dass durch die geeignete konstruktive Ausbildung der Muffenverbindung die ausreichende Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit (Dichtheit) gewährleistet wird. Bemessungsmaßgebend wird der Bauzustand der Ringraumverfüllung (Axialspannungsnachweis (s. Kap. 6.2)).

Zur Gewährleistung der Stand- und Lagesicherung der GfK-Rohre im Bauzustand ist eine Verkeilung der GfK-Rohre gegen die Altrohrinnenwandung gem. Kap. 6 sowie gem. Abb. 3.1 und 3.2 (Mindestanforderung) auszuführen. Die Ringraumverfüllung ist lagenweise auszuführen (mindestens vier Verdämmschritte). Ein Verdämmschritt darf erst dann erfolgen, wenn der in dem vorherigen Schritt eingebaute Dämmern ausreichend ausgehärtet ist, um als Bettung der GfK-Rohre zu dienen. Der Dämmerndruck ist durch ein geeignetes Einbauverfahren mög-

Dr. Doll Ingenieurgesellschaft mbH

lichst symmetrisch zur vertikalen Symmetrieebene zu steigern (Vermeidung einseitiger Lasten). Die Dämmerdruckhöhen sind zu kontrollieren.

Eine Bewertung der gem. Abb. 1.2 (durch den Auftraggeber vorgelegten Unterlage) angesetzten Rohrgeometrie bzgl. ihrer konstruktiven Eignung (z. B. geometrische Anforderungen hinsichtlich des Einbaus) ist nicht Gegenstand der Beauftragung.

Dr. Doll Ingenieurgesellschaft mbH

Dr.-Ing. Heinz Doll
Geschäftsführer



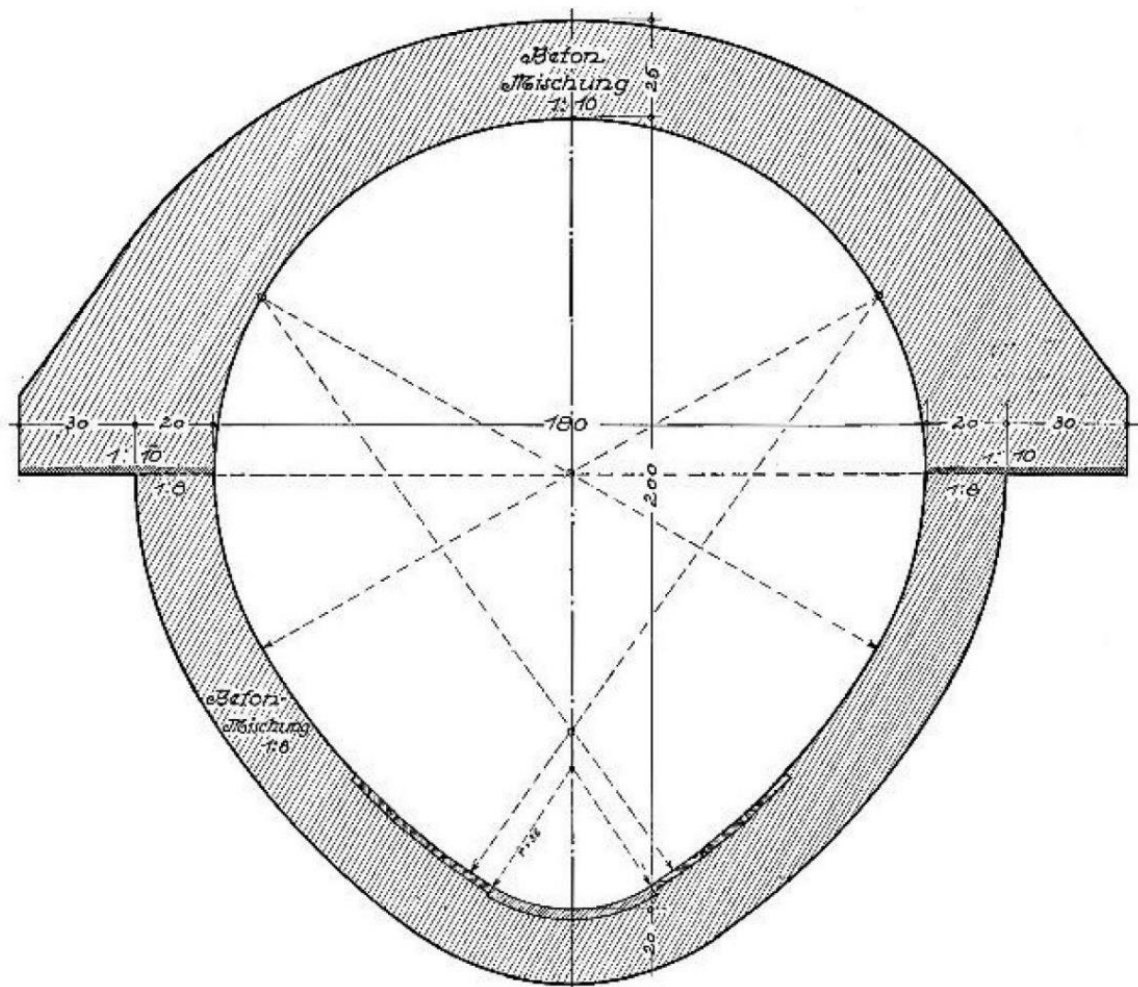


Abb. 1.1: Konstruktionszeichnung (Nennmaße) des bestehenden Sammlerquerschnittes, entnommen aus [7, 8]

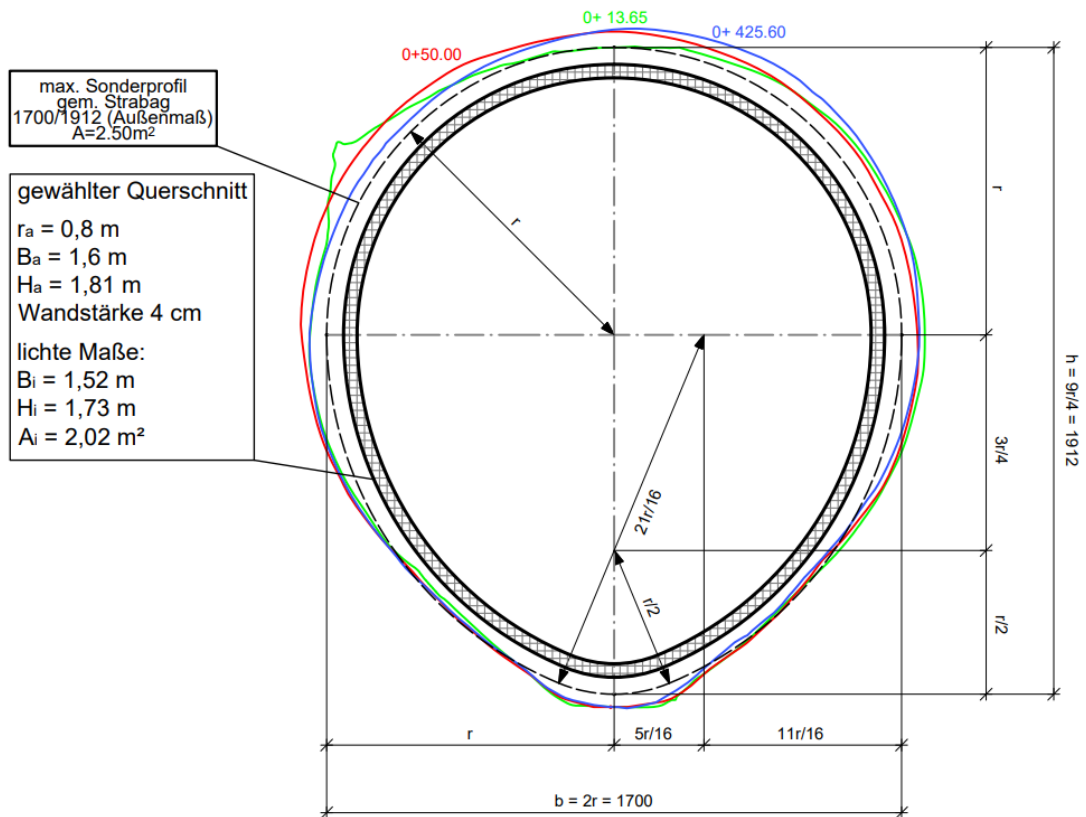


Abb. 1.2: Konstruktionszeichnung GfK-Rohr, Ausschnitt der Unterlage [9]

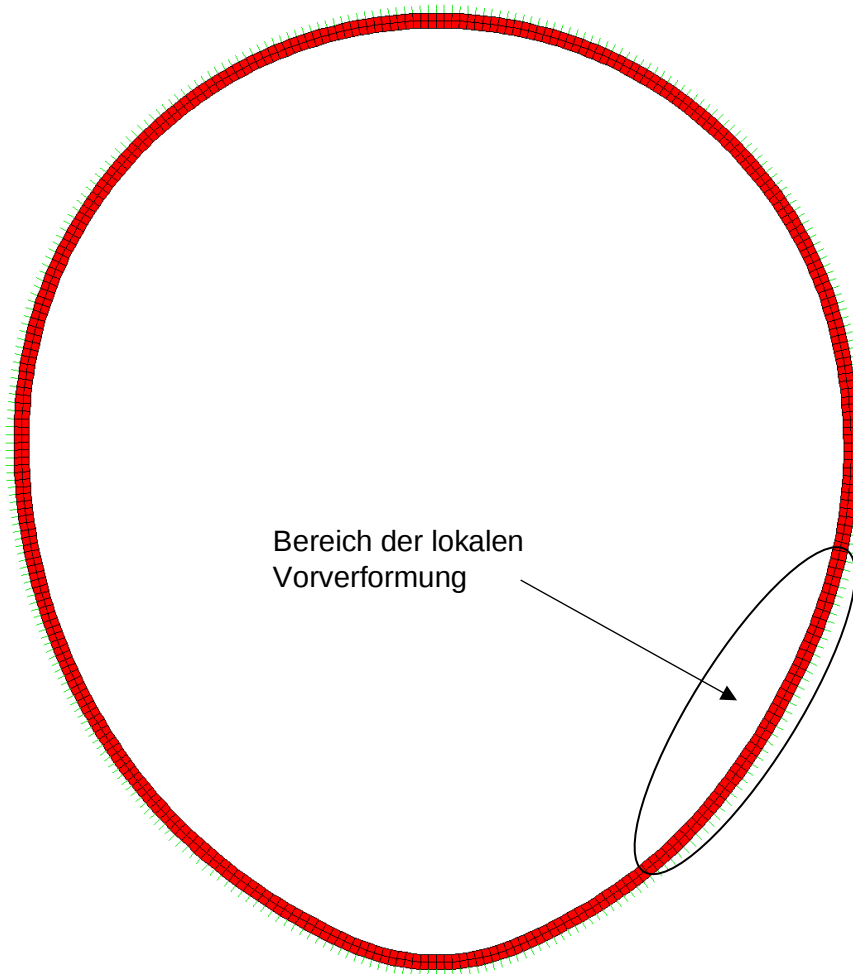


Abb. 2.1: Diskretisiertes Rechenmodell;
LF 1: Wasseraußendruck, $h_{W,so} = 1,90 \text{ m}$

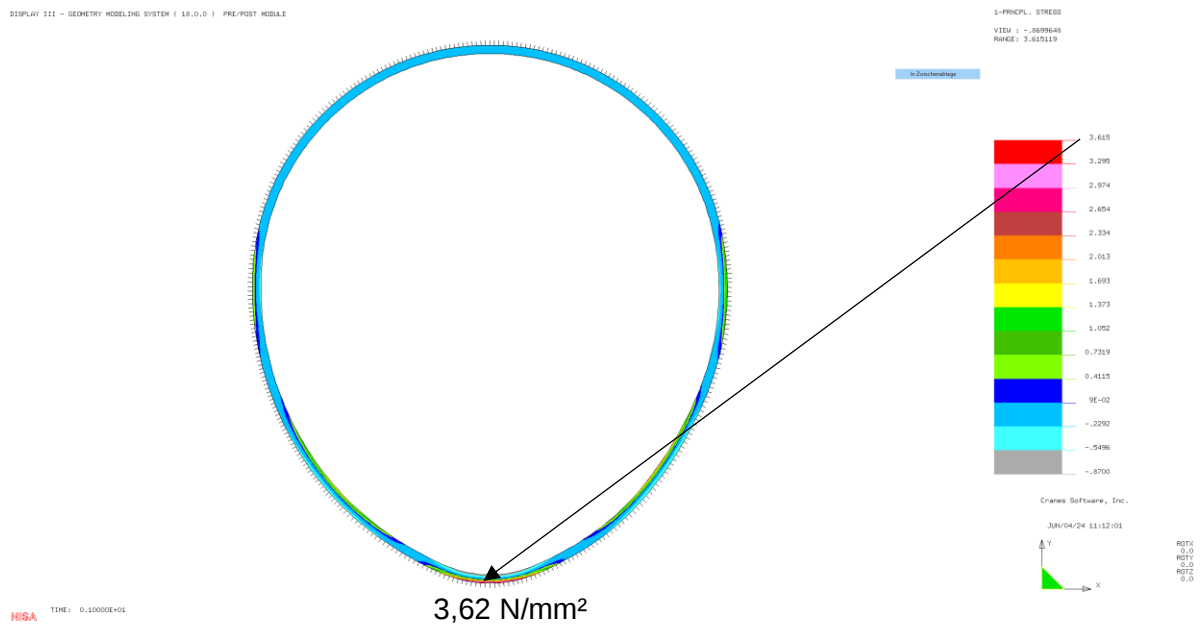


Abb. 2.2: 1. Hauptspannung [N/mm²] unter Einwirkung der 1,5-fachen Gebrauchslast;
LF 1: Wasseraußendruck, $h_{w,s0} = 1,90$ m

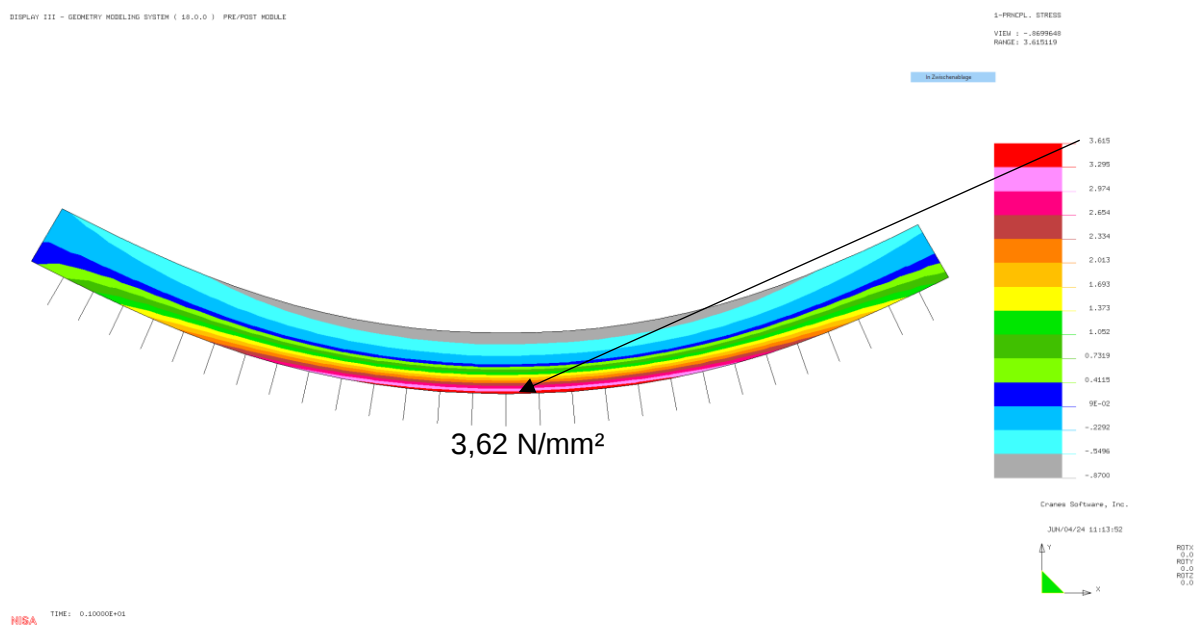


Abb. 2.3: 1. Hauptspannung [N/mm²] unter Einwirkung der 1,5-fachen Gebrauchslast;
Detail; LF 1: Wasseraußendruck, $h_{w,s0} = 1,90$ m



Abb. 2.4: 3. Hauptspannung [N/mm²] unter Einwirkung der 1,5-fachen Gebrauchslast;
 LF 1: Wasseraußendruck, $h_{w,so} = 1,90$ m

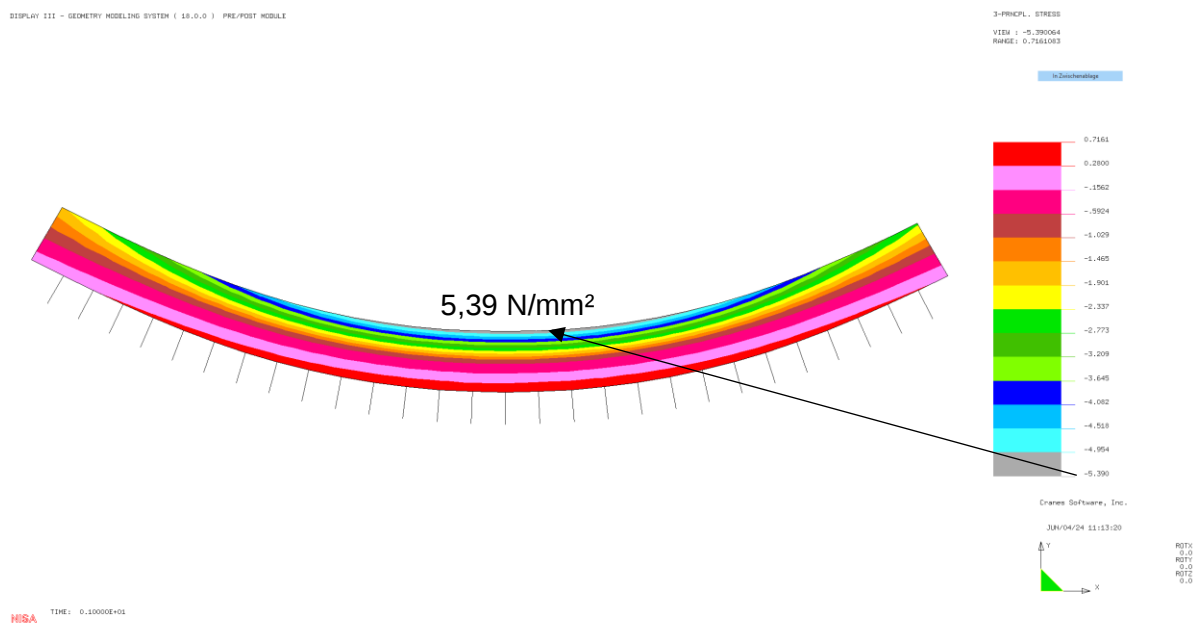


Abb. 2.5: 3. Hauptspannung [N/mm²] unter Einwirkung der 1,5-fachen Gebrauchslast;
 Detail; LF 1: Wasseraußendruck, $h_{w,so} = 1,90$ m

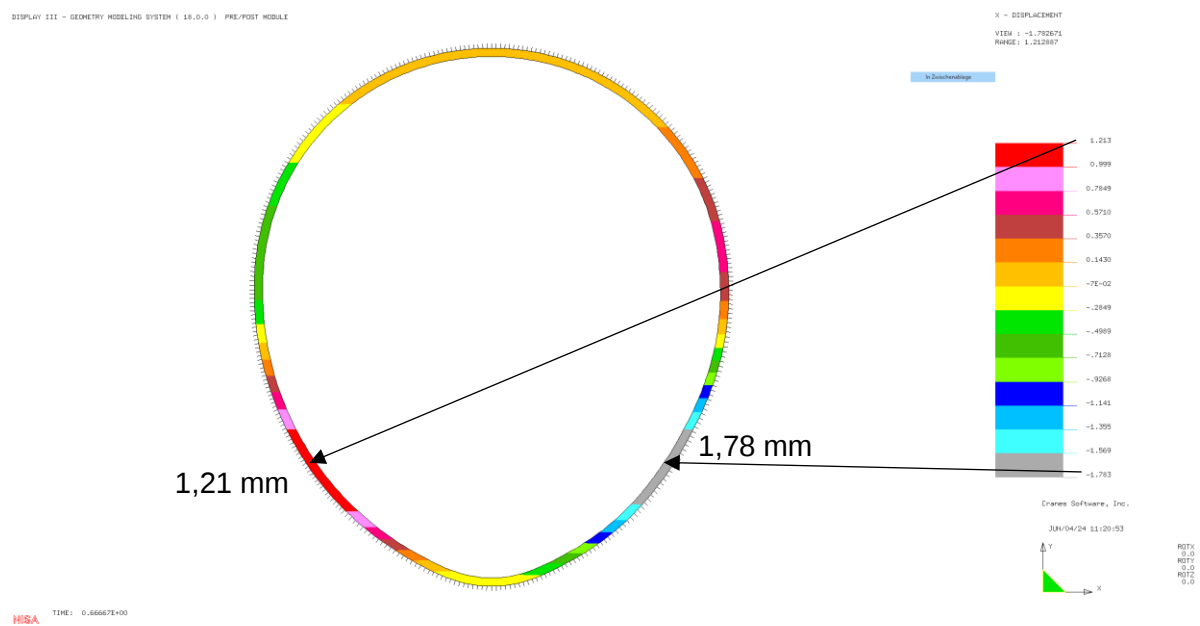


Abb. 2.6: Horizontale Rohrdeformationen [mm] unter Einwirkung der Gebrauchslast;
 LF 1: Wasseraußendruck, $h_{w,so} = 1,90$ m

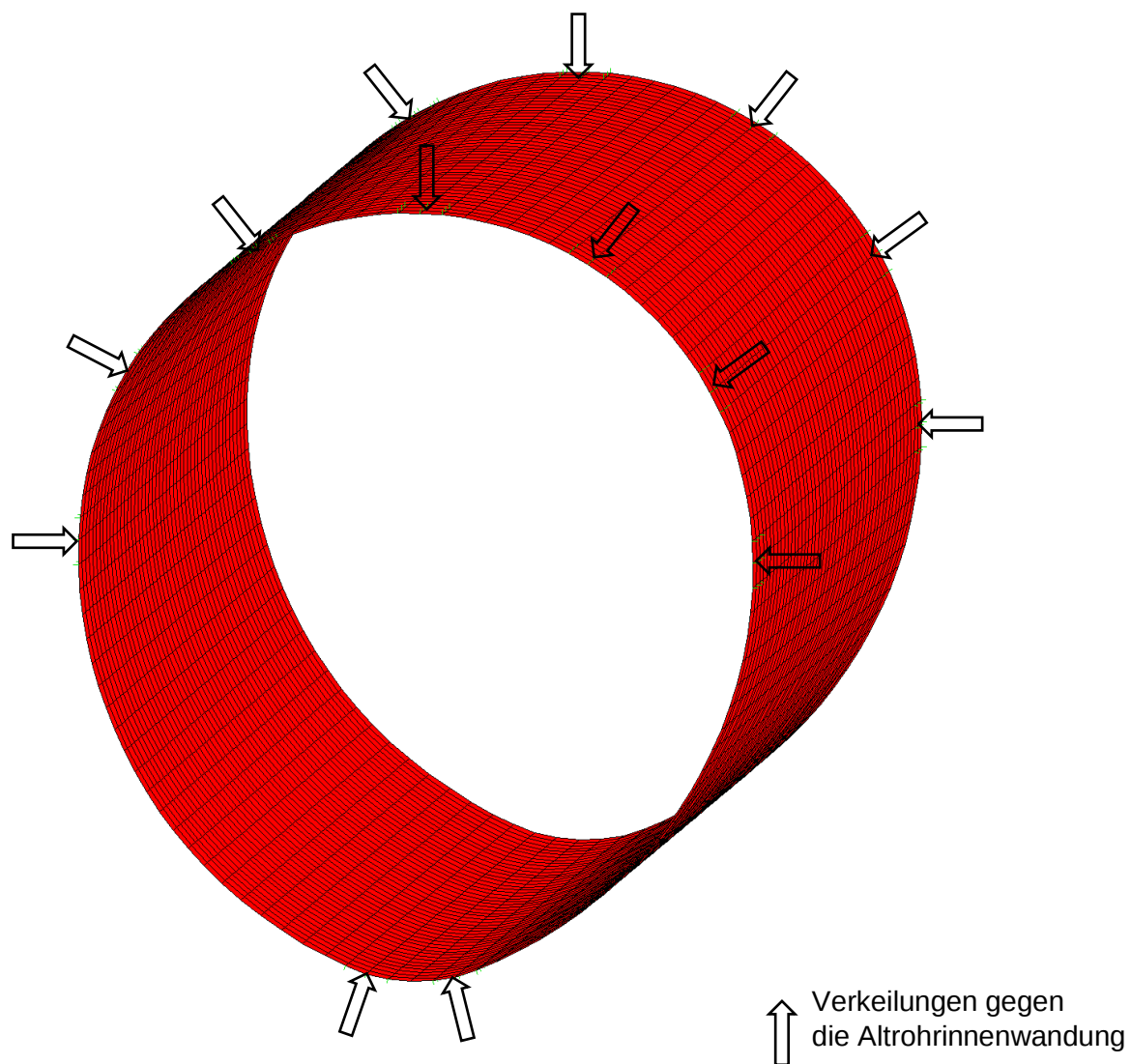


Abb. 3.1: Diskretisiertes Rechenmodell;
LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand,
letzter Verdämmschritt)

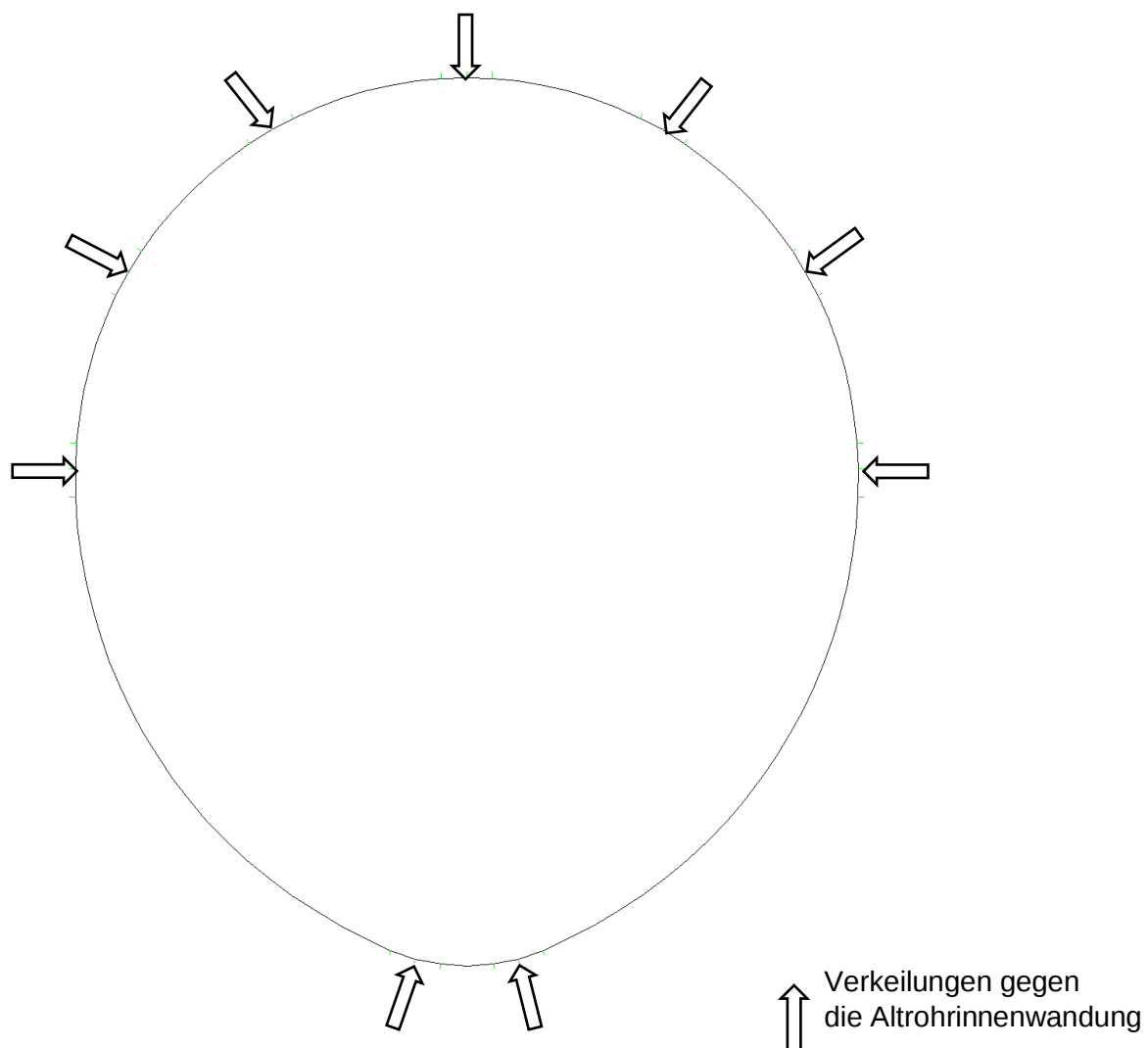


Abb. 3.2: Diskretisiertes Rechenmodell;
LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand,
letzter Verdämmschritt)

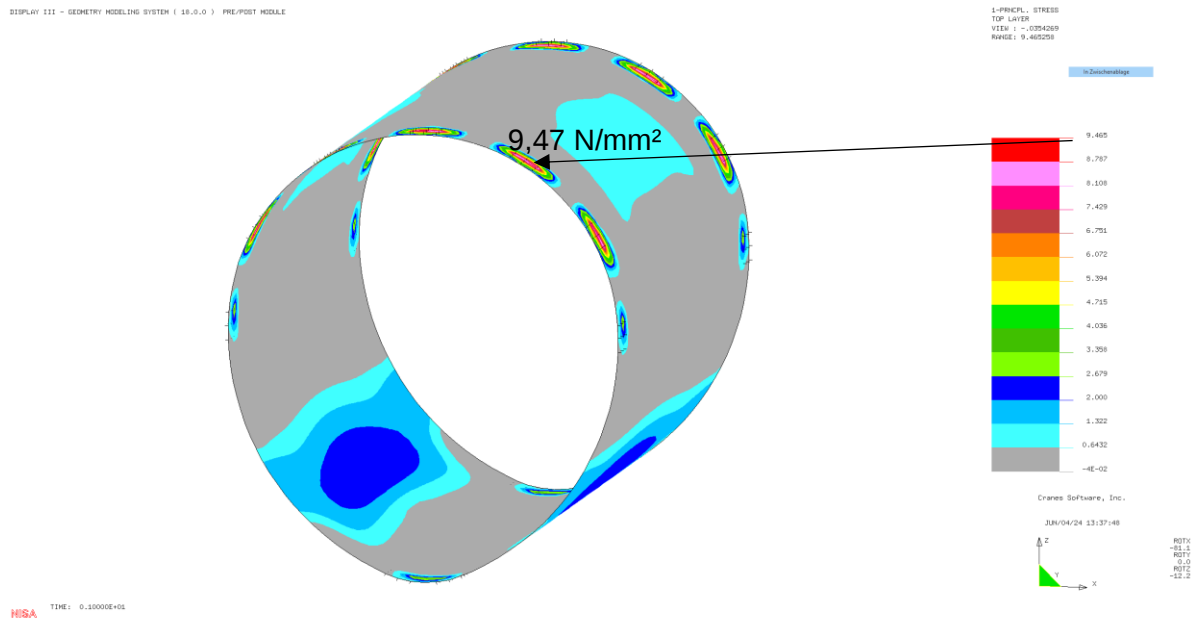


Abb. 3.3: 1. Hauptspannung [N/mm²] in der Wandung des GfK-Rohres (innen) unter Einwirkung der 1,5-fachen Gebrauchslast;
LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand, letzter Verdämmschritt)

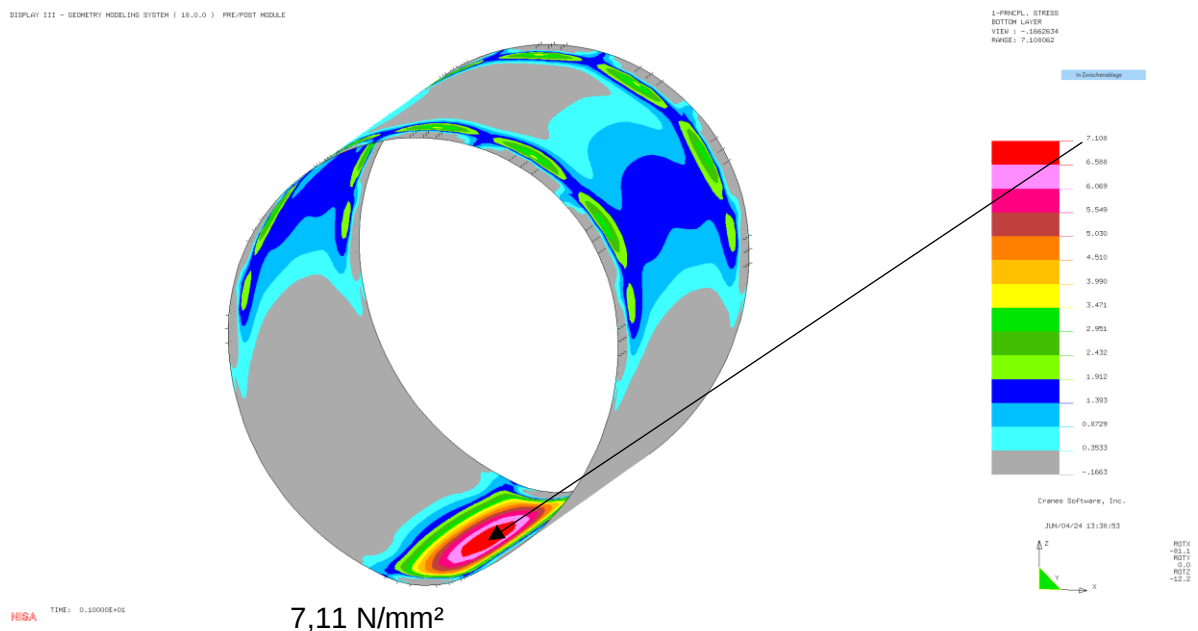


Abb. 3.4: 1. Hauptspannung [N/mm²] in der Wandung des GfK-Rohres (außen) unter Einwirkung der 1,5-fachen Gebrauchslast;
LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand, letzter Verdämmschritt)

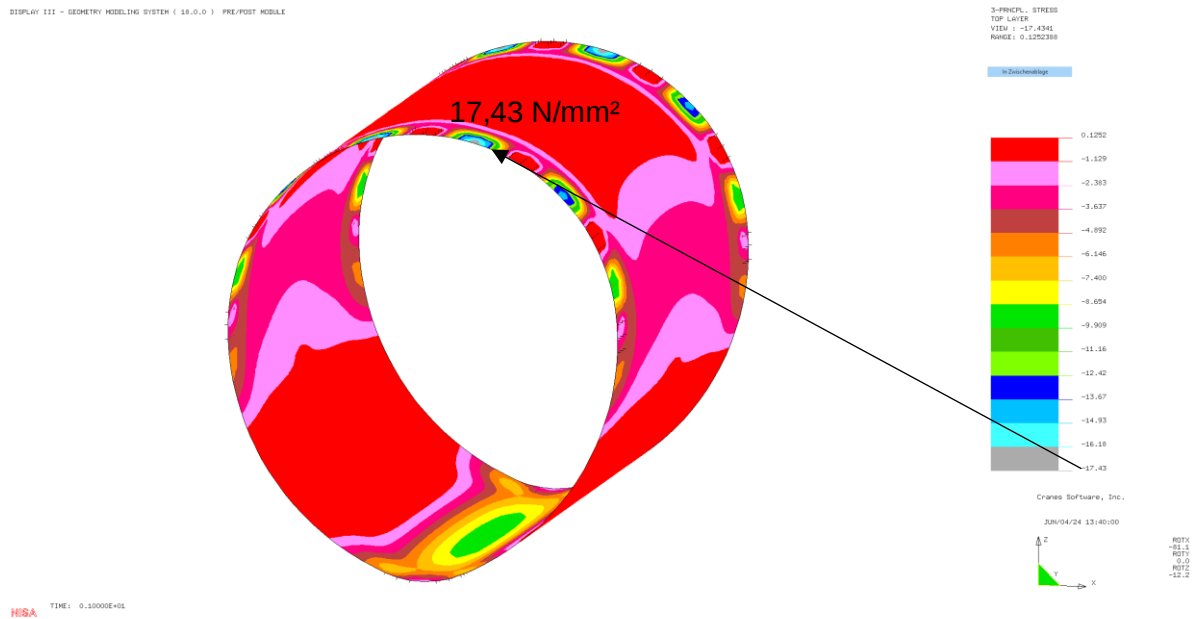


Abb. 3.5: 3. Hauptspannung [N/mm²] in der Wandung des GfK-Rohres (innen) unter Einwirkung der 1,5-fachen Gebrauchslast;
LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand, letzter Verdämmschritt)

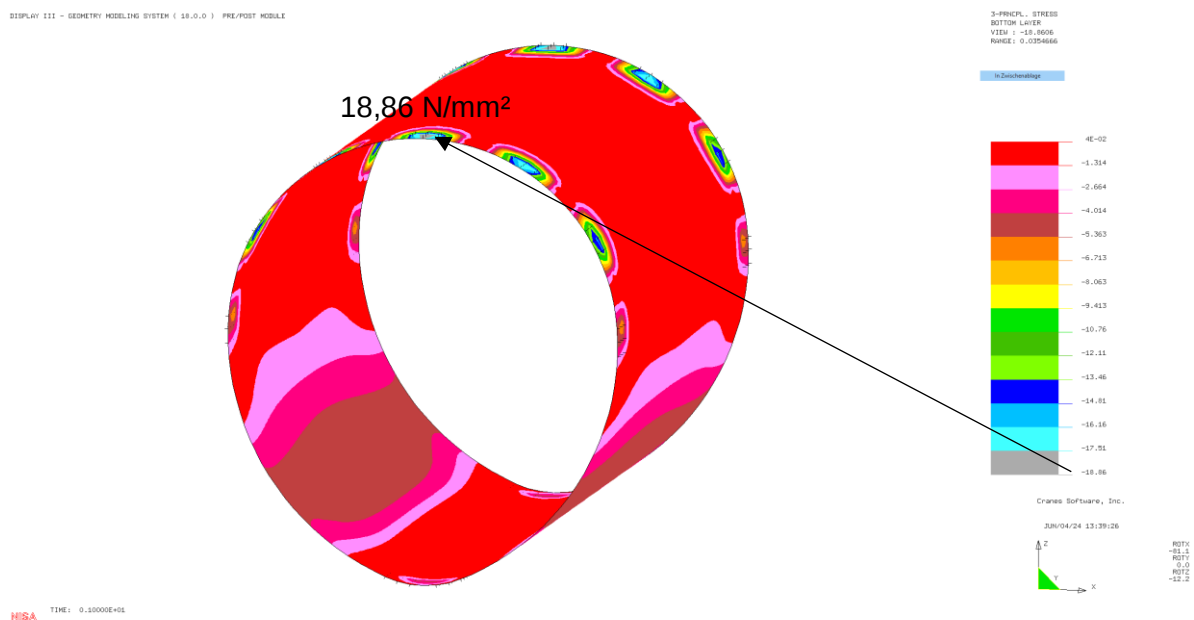


Abb. 3.6: 3. Hauptspannung [N/mm²] in der Wandung des GfK-Rohres (außen) unter Einwirkung der 1,5-fachen Gebrauchslast;
LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand, letzter Verdämmschritt)

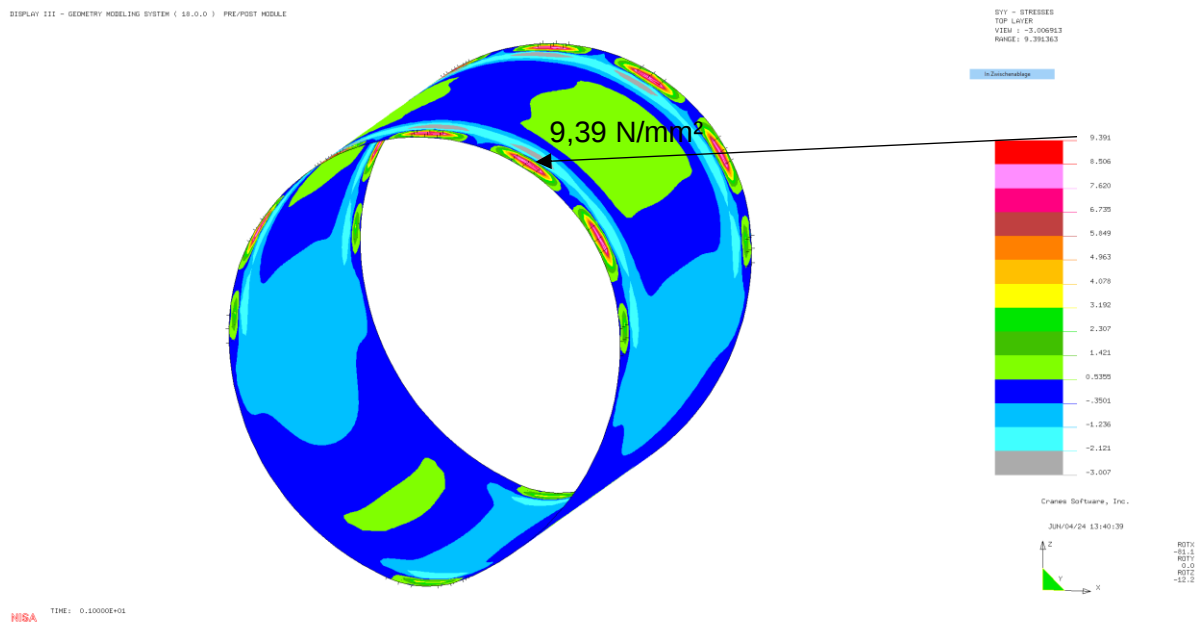


Abb. 3.7: Axialspannung (Rohrlängsrichtung) [N/mm²] in der Wandung des GfK-Rohres (innen) unter Einwirkung der 1,5-fachen Gebrauchslast;
LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand, letzter Verdämmschritt)

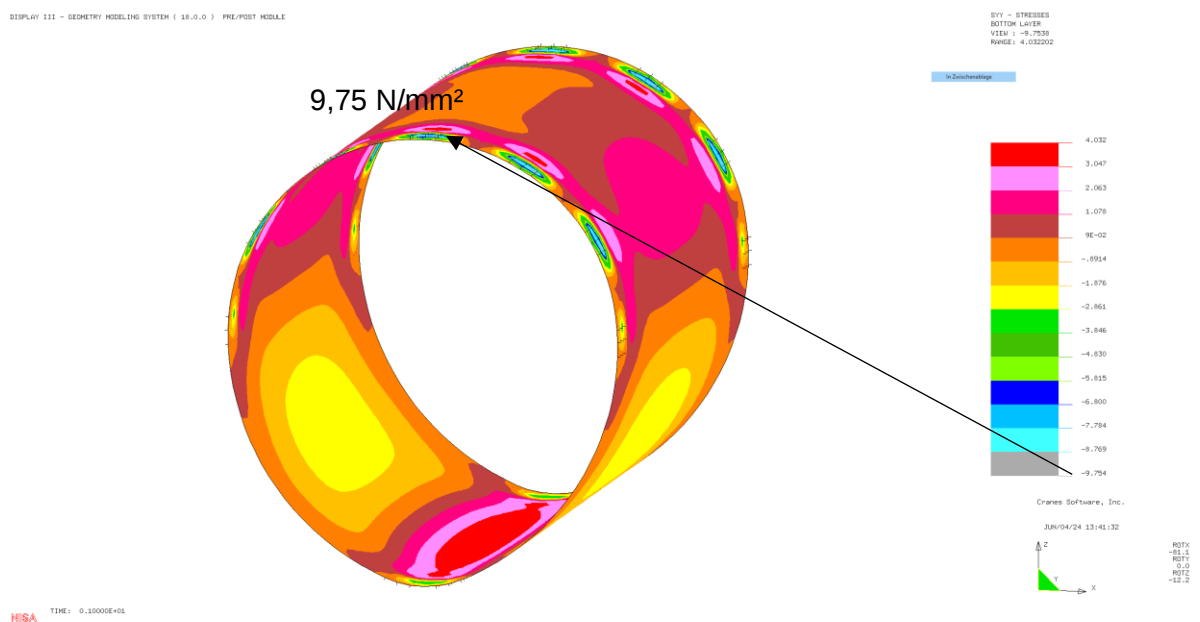


Abb. 3.8: Axialspannung (Rohrlängsrichtung) [N/mm²] in der Wandung des GfK-Rohres (außen) unter Einwirkung der 1,5-fachen Gebrauchslast;
LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand, letzter Verdämmschritt)

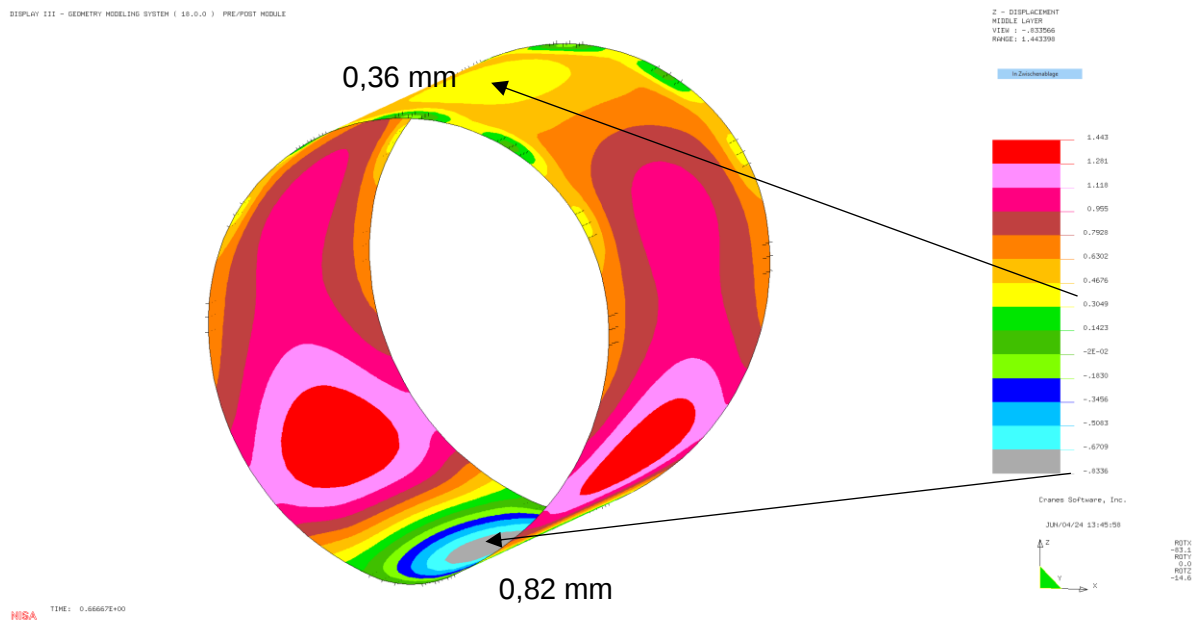


Abb. 3.9: Vertikale Rohrverformungen [mm] unter Einwirkung der Gebrauchslast; LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand, letzter Verdämmschritt); Berechnung mit charakteristischen Kennwerten

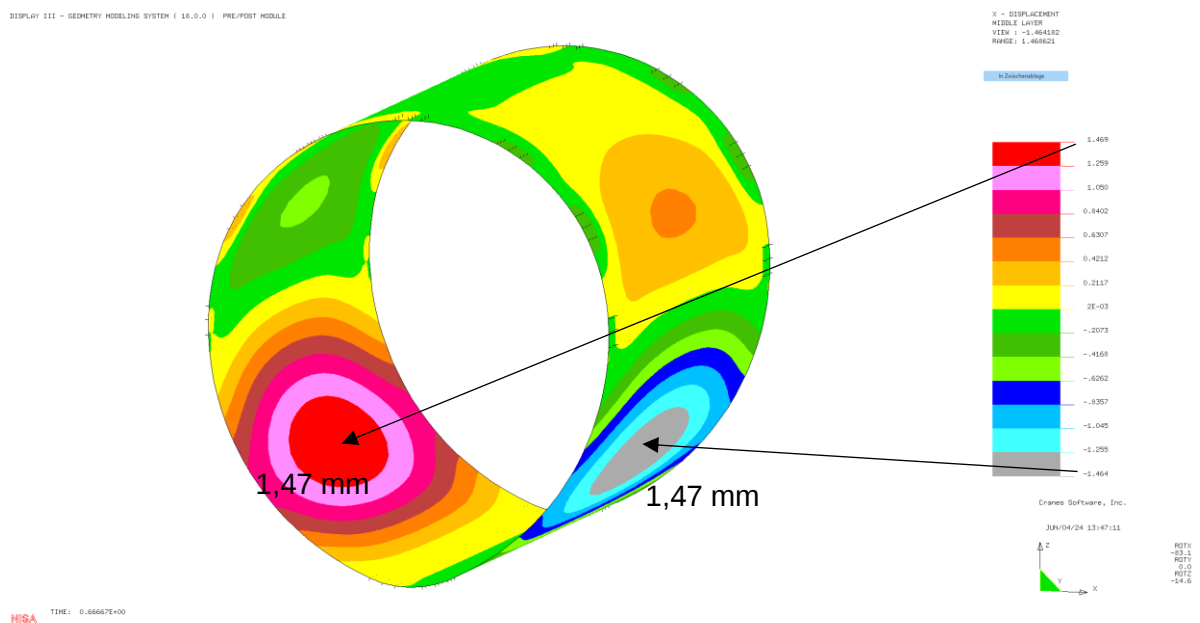


Abb. 3.10: Horizontale Rohrverformungen [mm] unter Einwirkung der Gebrauchslast; LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand, letzter Verdämmschritt); Berechnung mit charakteristischen Kennwerten

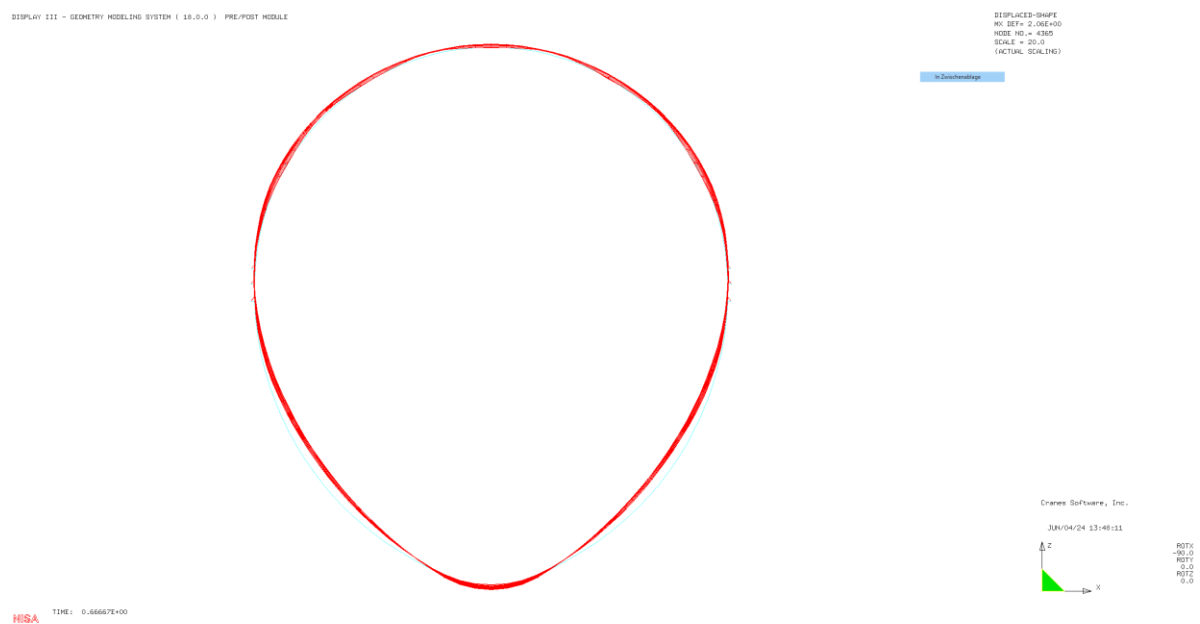


Abb. 3.11: Rohrverformungen [mm] unter Einwirkung der Gebrauchslast (20-fach überhöht); LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand, letzter Verdämmschritt); Berechnung mit charakteristischen Kennwerten

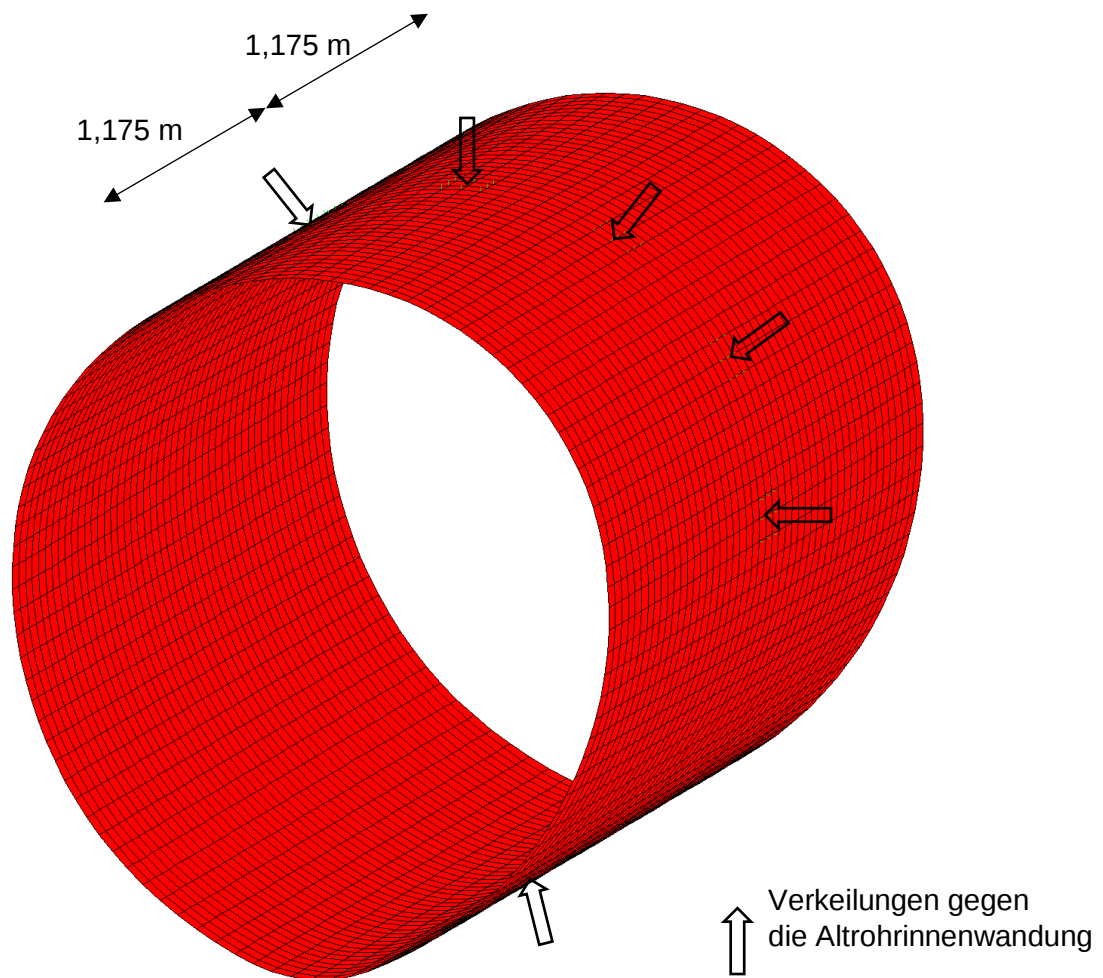


Abb. 3.12: Diskretisiertes Rechenmodell; hier Lasteinleitungsproblematik; LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand, letzter Verdämmschritt)

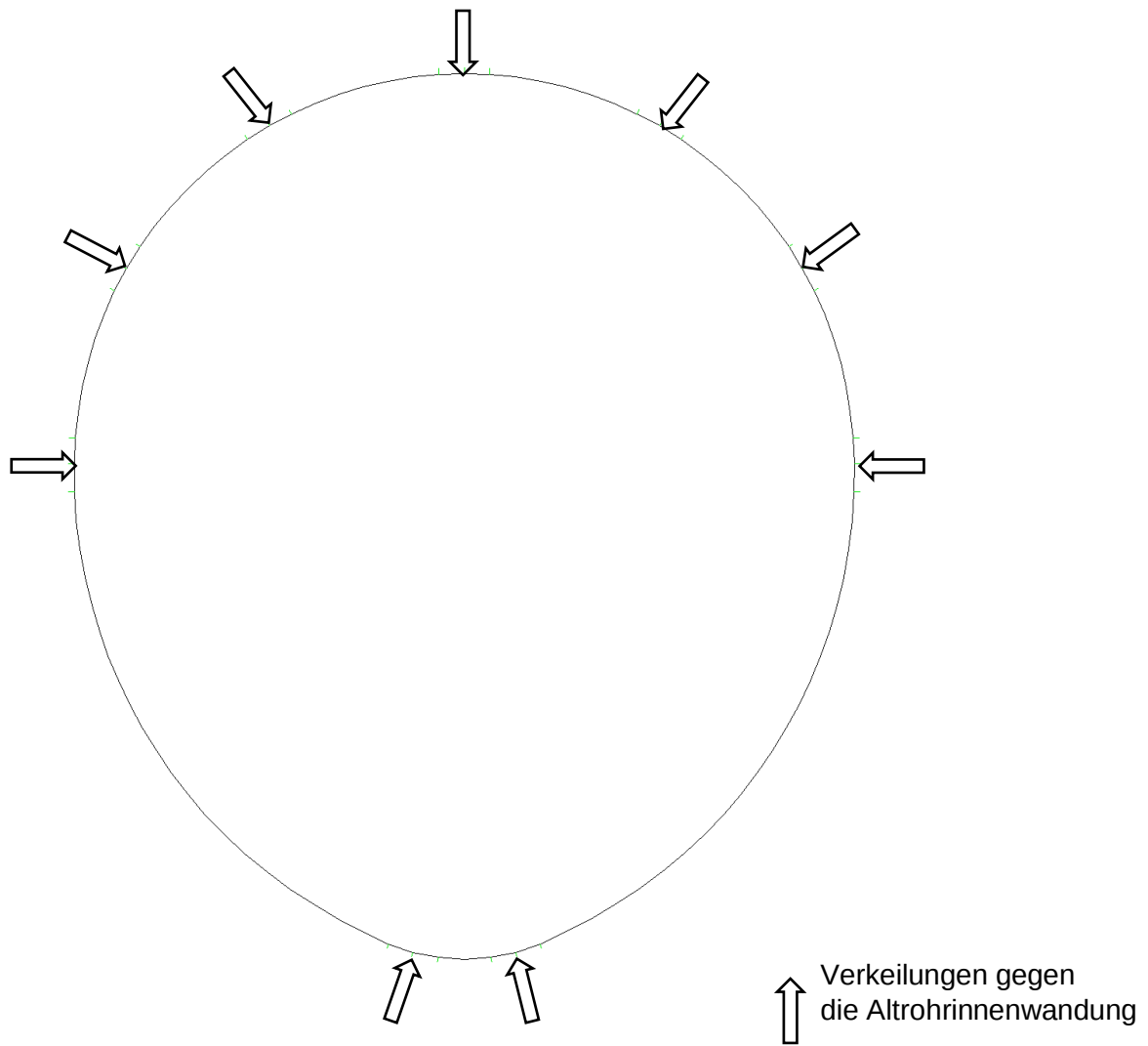


Abb. 3.13: Diskretisiertes Rechenmodell; hier Lasteinleitungsproblematik;
LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand, letzter
Verdämmschritt)

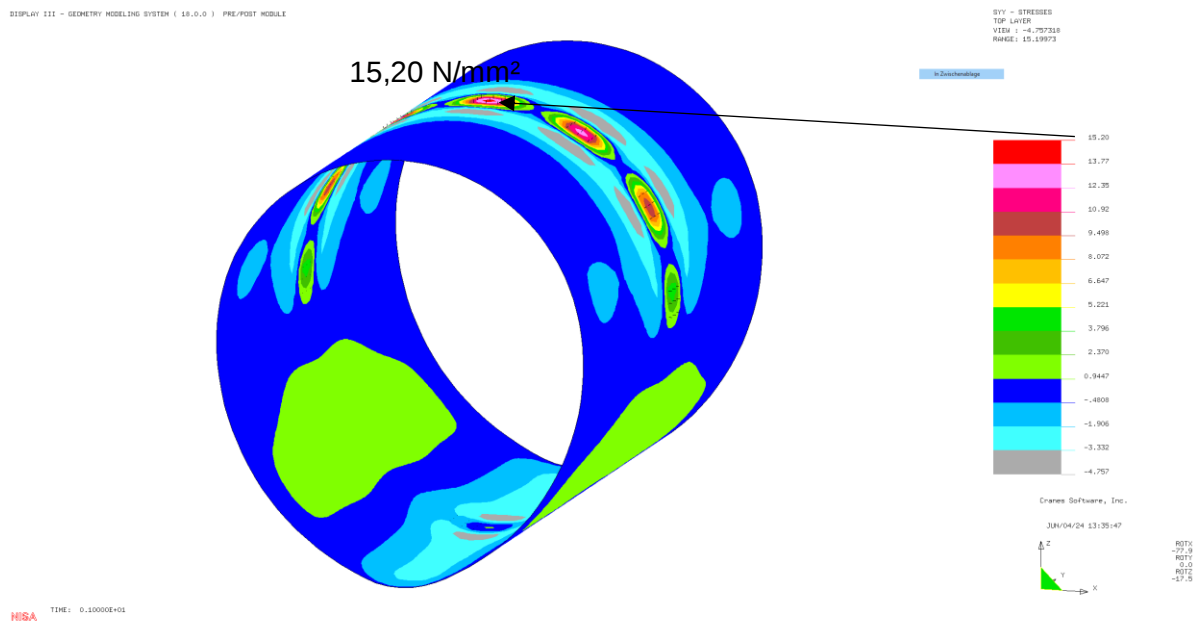


Abb. 3.14: Axialspannung (Rohrlängsrichtung) [N/mm²] in der Wandung des GfK-Rohres (innen) unter Einwirkung der 1,5-fachen Gebrauchslast; LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand, letzter Verdämmschritt); hier Lasteinleitungsproblematik;

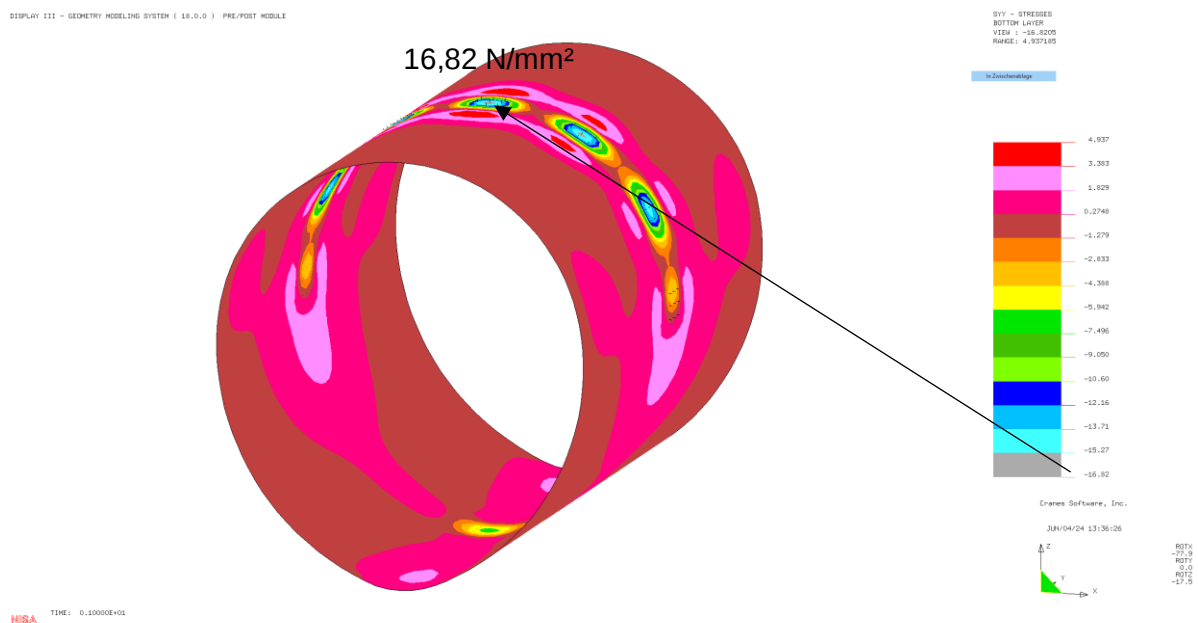


Abb. 3.15: Axialspannung (Rohrlängsrichtung) [N/mm²] in der Wandung des GfK-Rohres (außen) unter Einwirkung der 1,5-fachen Gebrauchslast; LF 2: Dämmerdruck bis 2,1 m über Sohle (Bauzustand, letzter Verdämmschritt); hier Lasteinleitungsproblematik;