

Statische Nachweise im Leitungsbau

Auftrieb und Deformation von Rohrleitungen bei Verfüllung mit ZFSV

Eugen Gabriel, M. Sc.
Dresden, 11.09.2026



GEF Ingenieur AG

Ferdinand-Porsche-Straße 4a
69181 Leimen
info@gef.de
www.gef.de

1. **Auftrieb, die Herausforderung**
2. Was erzeugt Auftrieb
3. Verfüllmethoden: voll / lageweise
4. Rohrtypen und deren Unterschiede
5. Wie hoch sind die Kräfte?
6. Abhebesicherungen
7. Feldlänge: Abstände der Abhebesicherungen
8. Das Programm zum Nachweis

1. Auftrieb, die Herausforderung

Frischer Flüssigboden wirkt wie eine Flüssigkeit — er drückt das Rohr nach oben.

Was passiert:

- Frischer ZFSV hat eine Wichte von rund 21 kN/m^3 und ist schwerer als Wasser
- Er erzeugt einen Auftrieb der das Rohr nach oben drückt
- Je leichter das umschlossene Volumen des Rohres, desto größer ist die Gefahr des Auftriebs
- **Ohne Nachweis und Sicherung schwimmt das Rohr auf, verformt sich, Abzweige und Verbindungen können reißen**

Zahlenbeispiel für kunststoffmantelrohr DN 700/ Da 1000:

- Eigengewicht $F_G = 1,9 \text{ kN/m}$ (ohne Füllung)
- Auftriebskraft $F_A = 17,3 \text{ kN/m}$
- **Verhältnis $\eta = F_A / F_G \sim 9 \rightarrow$ das Rohr wiegt 9 x weniger als der Auftrieb!**

→ Statischer Nachweis ist für alle Rohre in ZFSV zwingend erforderlich.



2. Was erzeugt Auftrieb?

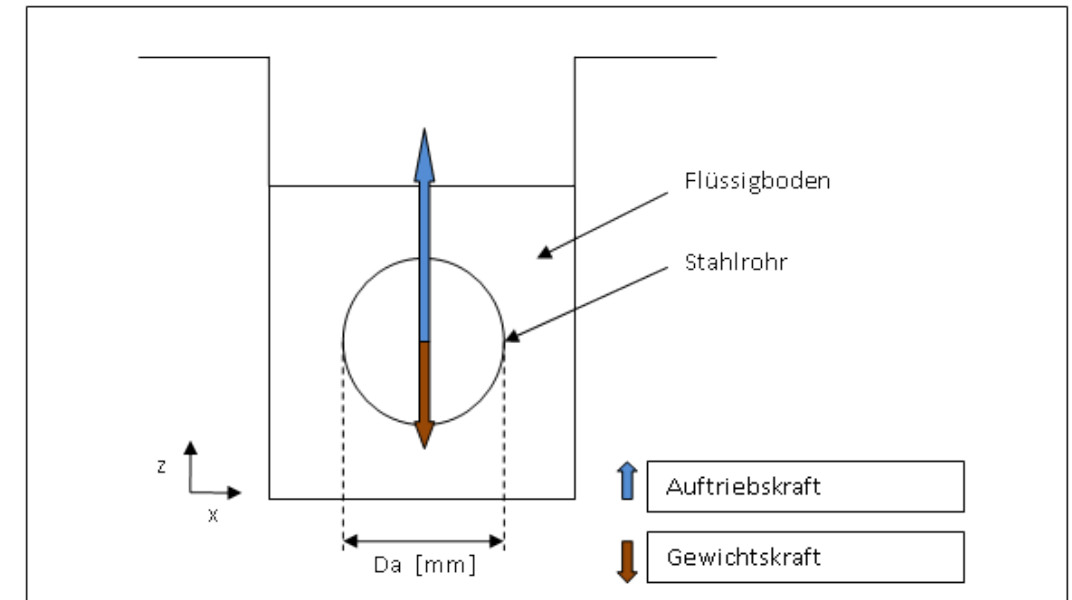
Für Flüssigboden gilt: $F_A = \rho_{FB} \cdot g \cdot V_{\text{verdrängt}}$

Was die Auftriebskraft bestimmt:

- **Außendurchmesser D_a** — je größer, desto mehr Auftrieb
- **Frischwichte ZFSV** — $\gamma_{FB} = 21 \text{ kN/m}^3$ im Einbauzustand
- **Füllhöhe h** — nur der benetzte Querschnitt erzeugt Auftrieb
- **Einbauzustand** — jede Lage muss separat nachgewiesen werden

Was dagegen wirkt (stabilisierend):

- **Eigengewicht Rohr F_G** — Stahlrohr gut, PE-Rohr kaum
- **Eigengewicht Medium** — wassergefülltes Rohr günstiger als leeres
- **Abhebesicherung** — nimmt den Überschuss $F_A - F_G$ auf



Methode A: Sofortverfüllung bis Scheitel

- ZFSV wird in einem Zug bis zur Rohroberkante eingebracht
- Volle Kreisfläche wirkt - konservativster Auftriebsansatz
- Einfacher Verfüllvorgang, aber teuerste Sicherung nötig

Methode B: Lagenweise

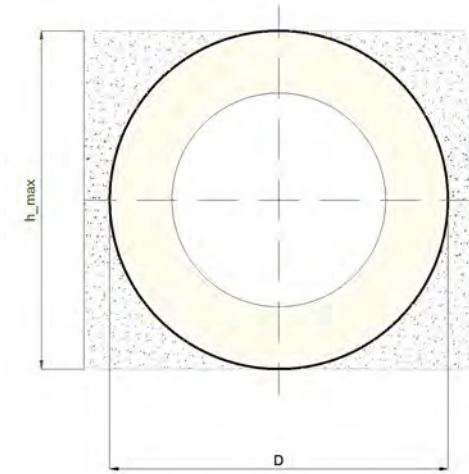
- ZFSV in mehreren Lagen — jede Lage bindet ab bevor die nächste kommt
- Nur die neue frische Sichefläche erzeugt Auftrieb (zzgl. Spaltenbildung)
- Kleinere Auftriebskraft → kleinere / keine Sicherung → günstigere Lösung

Wie lange warten bis zur nächsten Lage?

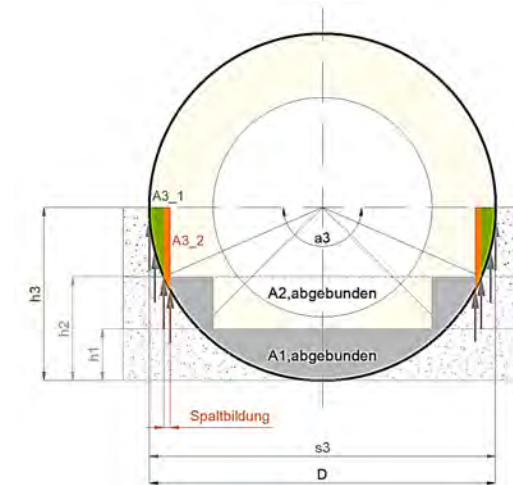
- **>15°C:** 4 - 24 Stunden
- **5 - 15°C:** 24 - 48 Stunden
- **< 5°C:** **Keine neue Lage! ZFSV bindet nicht ab.**

→ Mindestfestigkeit vor nächster Lage ist je nach Rezeptur zu beachten.

A



B



4. Rohrtypen und deren Unterschiede

Jeder Rohrtyp hat ein anderes Eigengewicht — das bestimmt das Risiko.



Rohrart	Aufbau / Material	Typische Abmessungen	Vergältnis Auftrieb/Gewicht (η)	Besonderheit	Zul. Flächenpressung
Kunststoffmantelrohr	Stahl + PUR-Dämmung + PE-Mantel	Da = 90-1200 mm	1 - 13	Relativ geringes Eigengewicht durch PUR-Dämmung; lagenweiser Nachweis häufig wirtschaftlich	ca. 0,15 N/mm ²
Gasleitung PE / Stahl	PE bzw. Stahl	Da = 63-630 mm	bis 9	Sehr geringes Eigengewicht, Auftriebssicherung und Verformung	ca. $\leq$ 0,08-0,15 N/mm ²
GFK-Rohr / Kanal	Glasfaserverstärkter Kunststoff, Steifigkeitsklasse SN	Da = 300-3000 mm	3 - 5	Geringes Gewicht bei hoher Steifigkeit; Ovalisierung, Bettungswinkel und Punktlasten beachten	ca. $\leq$ 0,10-0,25 N/mm ²
Betonrohr / Stahlbetonrohr	Beton / Stahlbeton	Da = 300-2400 mm	bis 2	Hohes Eigengewicht; häufig keine zusätzliche Auftriebssicherung erforderlich	ca. $\leq$ 0,20-0,50 N/mm ²

5. Wie hoch sind die Kräfte?

Vergleich bei $\gamma_{FB} = 21 \text{ kN/m}^3$, Vollverfüllung bis Da:

▪ KMR DN400	Da 630 mm	$F_A = 6,9 \text{ kN/m}$	$F_G = 0,8 \text{ kN/m}$	$F_{res} = 6,1 \text{ kN/m}$	$\eta = 8,6$
▪ KMR DN100	Da 200 mm	$F_A = 0,7 \text{ kN/m}$	$F_G = 0,13 \text{ kN/m}$	$F_{res} = 0,57 \text{ kN/m}$	$\eta = 5,3$
▪ Gas PE 600	Da 630 mm	$F_A = 6,9 \text{ kN/m}$	$F_G = 0,6 \text{ kN/m}$	$F_{res} = 6,3 \text{ kN/m}$	$\eta = 11,5$
▪ GFK DN600	Da 660 mm	$F_A = 7,6 \text{ kN/m}$	$F_G = 1,9 \text{ kN/m}$	$F_{res} = 5,7 \text{ kN/m}$	$\eta = 4,0$
▪ Beton DN600	Da 660 mm	$F_A = 7,6 \text{ kN/m}$	$F_G = 6,8 \text{ kN/m}$	$F_{res} = 0,8 \text{ kN/m}$	$\eta = 1,1$

Lagenweiser Nachweis reduziert F_A deutlich:

- KMR DN400: Sofortverfüllung $F_A = 6,9 \text{ kN/m}$ → Lage 1 bei $h=200 \text{ mm}$: $F_{A,1} \approx 1,0 \text{ kN/m}$ **$F_{res} \approx 0,2 \text{ kN/m}$**
- Nur die benetzte Fläche der neuen Lage ist auftriebswirksam
- Jede abgebundene Lage reduziert die nötige Sicherungskraft erheblich!

→ Resultierende Haltekraft **$F_{res} = (F_A - F_G) \cdot L_{Feld}$** steigt linear mit dem Haltepunktabstand.

6. Abhebesicherungen — fünf Lösungen

1. **Big Bag:** gefüllten Big Bag auf das Rohr aufstellen und ausrichten
 - Je nach Dimension seitliche Sicherungen und Zusatzmaterial zum Füllen nötig.
2. **Betonaufplast:** Betonkörper direkt auf Rohr. Einfach, bewährt, hohe Lasten.
 - Drucknachweis PE-Mantel, Platzbedarf (Höhe) beachten.
3. **Stempel:** Gewichtskörper + Druckstäbe.
 - Sinnvoll bei hoher Tiefe.
4. **Betonklammer:** U-Klammer umschließt Rohr.
 - Platzsparend, ideal bei mehreren Rohren nebeneinander.
5. **Zugpfahl:** Pfahl im Boden verankert, Kopf mit Rohr verbunden.
 - Für sehr große Haltekraften. Bemessung der Pfähle wichtig.

→ **Wahl nach:** Haltekraft · Bautiefe · Platzverhältnisse · Bodenklasse · Rohrtyp



Quelle: Homepage – Rehau



Quelle: Homepage – KRV

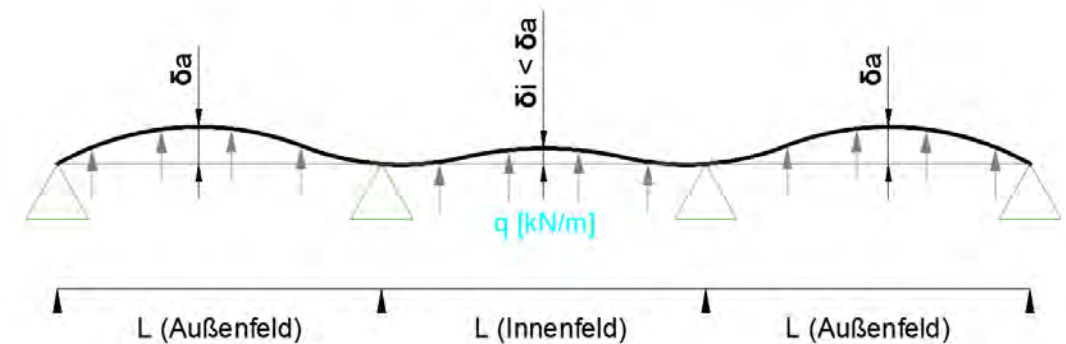


Quelle: Homepage – KRV

7. Feldlänge — Abstand, nötige Kraft, maximale Kraft

- Das Rohr wirkt als **Biegebalken** zwischen den Haltepunkten.
- Haltekraft wächst linear mit dem **Abstand**.
- Maximale **Feldlänge** aus Biegenachweis:
 - Einfeldträger (ET) im Außenfeld
 - Durchlaufträger (DT) im Innenfeld
 - Im Innenfeld sind größere Abstände möglich (Einsparung)
- Maximale Kraft aus **Flächenpressung** (Auflast):
 - Auflagerdruck auf das Rohr als begrenzende Größe
 - begrenzt dadurch möglicherweise die max. mögliche Feldlänge
 - Punktlast F_H muss auf ausreichende Fläche verteilt werden

Durchlaufträger (DT) -- Innenfeld



→ **Optimum:** Durchlaufträger + ausreichende Auflagerlänge = wirtschaftlichste Lösung.

GEF hat ein Berechnungsprogramm entwickelt, das alle Nachweise in einem Dokument liefert.

Was das Tool berechnet:

- Lagenweiser **Auftriebsnachweis** für bis zu 4 Lagen
- Sofortverfüllung als Vergleich
- **Feldlängennachweis** Einfeldträger und Durchlaufträger
- Rohrgeometrie und Eigenschaften automatisch aus Datenbank
- **Stabilitätsnachweis** im Querschnitt

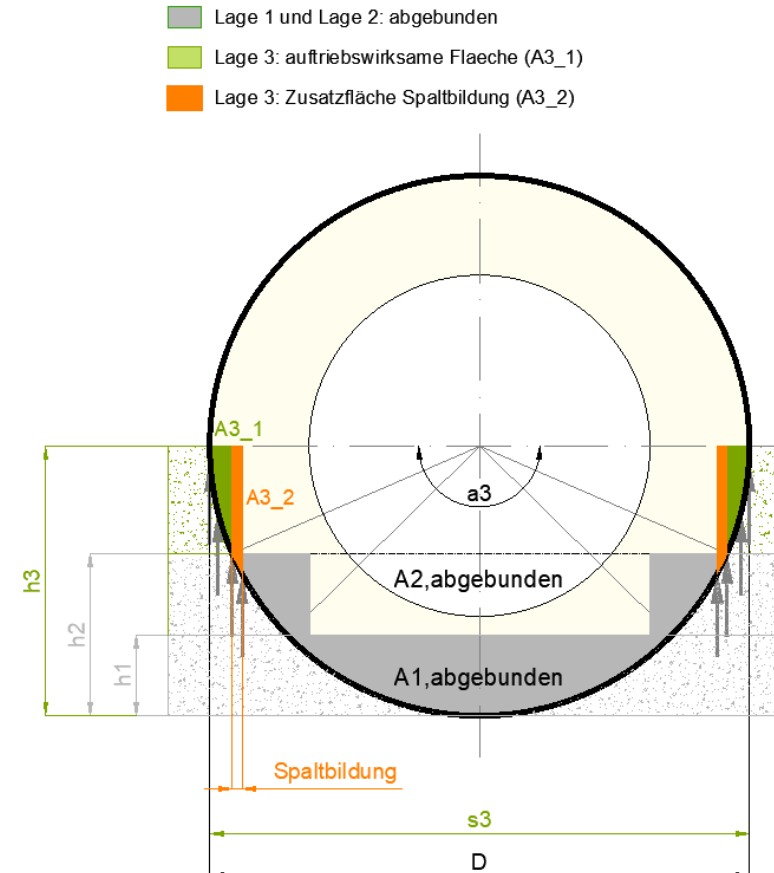
Eingaben:

- Geometrie aller Elemente
- Zulässige Durchbiegung

Einsatz:

- Ausführungsplanung, Ausschreibung, Prüfstatik
- Für KMR, PE, Gas, GFK, Beton — alle Dimensionen

Lage 3 neu, Lage 1 u. 2 abgebunden, Spaltbildung



8. Das Tool zum Nachweis

Auftriebssicherheit KMR-Rohr in ZFSV / Flüssigboden-Bettung

Lagenweiser Nachweis | Rohrgeometrie nach DIN EN 253:2024-10 | GEF Ingenieur AG

Projekt

Projekt:	Bauprojekt Fernwärme
Datum:	11.09.2026
Bearbeiter:	E. Gabriel

KMR-Rohrauswahl (DIN EN 253:2024-10)

Nennweite Stahl-Mediumrohr DN:	400	[DN]
Wärmedämmserie:	Serie 2	Serie 1 / 2 / 3

Geometrie (automatisch, manuell überschreibbar)

Außendurchmesser Stahl-Mediumrohr d_a :	406,40	[mm]
Wanddicke Stahl-Mediumrohr s :	6,30	[mm]
Lichter Innendurchmesser Stahl d_i :	393,8	[mm] = $d_a - 2 \cdot s$
Außendurchmesser PE-Mantel D_c :	630,00	[mm] = D_a (Bezugsgröße für Auftrieb)
Wanddicke PE-Mantel s_{Mantel} :	6,60	[mm]

Gewichte KMR

Füllmedium (Stahl-Innenrohr)

ZFSV-Parameter & Teilsicherheitsbeiwerte

Flüssigbodenwichte γ_{FB} :	21,0	[kN/m³] Rezeptur, Frisch-Wichte ZFSV im Einbauszustand
Teilsicherheitsbeiwert Auftrieb γ_{FA} :	1,05	gemäß Empfehlung Eurocode 7
Teilsicherheitsbeiwert Gewichtskräfte γ_{FF} :	0,95	gemäß Empfehlung Eurocode 7
Teilsicherheitsbeiwert Spaltbildung γ_{SP} :	1,40	Erfahrungswert (ab Lage 2)

Stabilisierende Einwirkungen

Gesamtgewicht (Rohr + Medium) F_{G} :	0,820	[kN/m] = $(m_{\text{R}} + m_{\text{M}}) \cdot \gamma_{\text{FF}}$
--	-------	---

Lagen 1–4: Sohle bis Kämpferlinie ($h < D_c/2$) oder bis Scheitel ($h = D_c$). Wenn eine Lage $h=D_c$ erreicht, werden folgende Lagen deaktiviert.

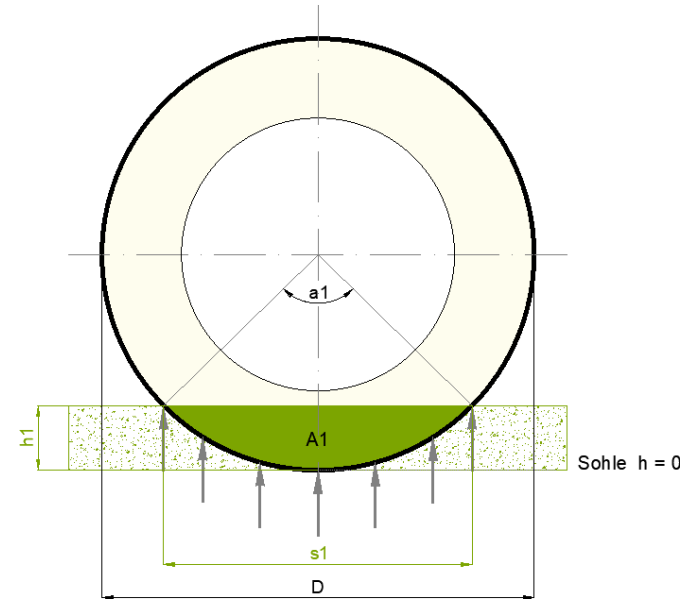
Bei $h=D_c$ (Scheitel): $A_{\text{wirk}} = \text{Ring-}\gamma_{\text{SP}}$ (kein Mondform-Abzug, volle Umhüllung). Bei $h=D_c/2$: Mondform- γ_{SP} .

Lage 1 — Startlage

Lagenhöhe h_1 :	200	[mm] $0 < h_1 < D_c/2$ oder $h_1 = D_c$
Projizierter Winkel α_1 :	137,2	[Grad] = $2 \cdot \arccos(1 - 2h_1/D_c)$
Kreisabschnitt kumulativ A_{kum} :	85055	[mm²] = $(D_c/2)^2 \cdot 2 \cdot (\alpha_{\text{rad}} - \sin \alpha)$ 587
Wirksame Auftriebsfläche A_1 :	85055	[mm²] = A_{kum} (kein γ_{SP} bei Lage 1)
Auftriebskraft F_{A_1} :	1,875	[kN/m] = $\text{MAX}(0, A_{\text{wirk}})/10^6 \cdot \gamma_{\text{FB}} \cdot \gamma_{\text{FA}}$
Resultierende Auftriebskraft ($F_{\text{A}} - F_{\text{G}}$):	1,056	[kN/m] netto nach oben (negativ = sicher)
Auftriebssicherheit $\eta_1 = F_{\text{A}_1} / F_{\text{G}}$:	2,29	[-] Nachweis: $\eta \leq 1,0$ NICHT ERFÜLLT X

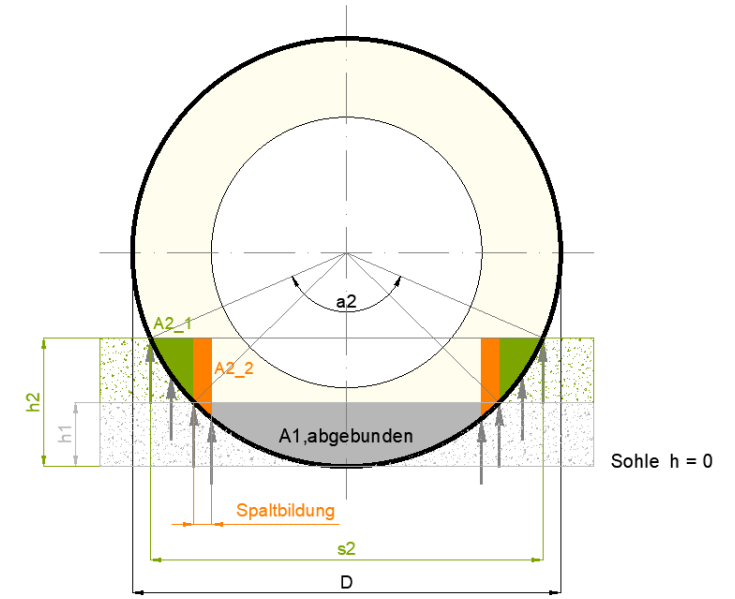
Lage 1: Startlage ($h_1 < D/2$)

■ Lage 1 auftriebswirksame Fläche (A_1)



Lage 2 neu, Lage 1 abgebunden, Spaltbildung

■ Lage 1: abgebunden
■ Lage 2: auftriebswirksame Fläche (A_{2_1})
■ Lage 2: Zusatzfläche Spaltbildung (A_{2_2})



8. Das Tool zum Nachweis

Feldlängennachweis						
Rohrsteifigkeit						
E-Modul Rohrmaterial E:	210000	[N/mm²] Stahl=210000 GFK=20000 PE=800				
Flächenträgheitsmoment I:	1,58E+08	[mm⁴] = π/64·(da⁴-di⁴)				
Biegesteifigkeit EI:	33,284	[kN·m²] = E·I/10¹²				
Zul. Längsdurchbiegung δ_zul (Eingabe):	20	[mm] Kein Normwert ist projektspezifisch festzulegen				
Streckgrenze Stahl R_e:	235	[N/mm²] S235=235 S355=355				
Sicherheitsbeiwert Biegung γ_M:	1,50	[-]				
Zul. Biegespannung σ_zul:	156,7	[N/mm²] = R_e / γ_M				
Widerstandsmoment W:	7,80E+05	[mm³] = I / (da/2)				
Lage	Lage 1	Lage 2	Lage 3	Lage 4	Maßgebend	Einheit
Netto-Auftriebslast q [kN/m]:	1,056	0,000	2,825	0,000	2,825	[kN/m]
Fehlende Kraft ΔF [kN/m]:	1,056	-0,736	2,825	-0,820	2,825	[kN/m]
Zul. Feldlänge L_max [m]:	14,8	999,0	11,6	999,0	11,6	[m]
Zul. Feldlänge L_max aus Spannung [m]:	30,4	999,0	18,6	999,0	18,6	[m]
Maßgebende Netto-Auftriebslast q_max:	2,8	[kN/m] (ungünstigste Lage)				
Einfeldträger (gelenkig gelagert)						
δ = 5·q·L⁴/(384·EI) M = q·L²/8 konservativ, Einfeld						
Zul. Feldlänge aus Durchbiegung:	11,6	[m]				
Zul. Feldlänge aus Biegespannung:	18,6	[m]				
Maßgebende zul. Feldlänge L_max,ET:	11,6	[m]				
Gewählte Feldlänge L_ET:	10,0	[m] Eingabe Haltepunktabstand				
Haltekraft je Haltepunkt F_H,ET:	28,3	[kN] = q_max · L_ET				
Vorh. Biegespannung σ_ET:	45,3	[N/mm²] = q·L²/8·(da/2)/I				
Nachweis L_ET ≤ L_max:	ERFUELLT OK					
Nachweis σ_ET ≤ σ_zul:	ERFUELLT OK (45 ≤ 157)					
Durchlaufträger Innenfeld (≥ 3 Felder, durch						
δ = q·L⁴/(185·EI) M = q·L²/10 optimiert, mehrere Felder						
Zul. Feldlänge aus Durchbiegung:	14,4	[m]				
Zul. Feldlänge aus Biegespannung:	20,8	[m]				
Maßgebende zul. Feldlänge L_max,DT:	14,4	[m]				
Gewählte Feldlänge L_DT:	11,0	[m] Eingabe Haltepunktabstand				
Haltekraft je Haltepunkt F_H,DT:	31,1	[kN] = q_max · L_DT				
Vorh. Biegespannung σ_DT:	43,8	[N/mm²] = q·L²/10·(da/2)/I				
Nachweis L_DT ≤ L_max:	ERFUELLT OK					
Nachweis σ_DT ≤ σ_zul:	ERFUELLT OK (44 ≤ 157)					

Durchlaufträger (DT) -- Innenfeld

