

**Anhang zu:**

**Beurteilung der  
Querkraft- und  
Torsionstragfähigkeit  
von Brücken im  
Bestand – erweiterte  
Bemessungsansätze**

von

Josef Hegger  
Martin Herbrand  
Viviane Adam

RWTH Aachen  
Lehrstuhl und Institut für Massivbau (IMB)

Reinhard Maurer  
Philipp Gleich  
Eva Stuppak

Technische Universität Dortmund  
Lehrstuhl Betonbau

Oliver Fischer  
Nicholas Schramm  
Wolfgang Scheufler

Technische Universität München  
Lehrstuhl für Massivbau

Konrad Zilch  
Remus Tecusan

Zilch + Müller Ingenieure GmbH  
München

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Brücken- und Ingenieurbau Heft B 150 – Anhang**

**bast**

# Schlussbericht

## - Anhang -

des Instituts für Massivbau der RWTH Aachen

Gegenstand: Beurteilung der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit von Brücken im Bestand  
– erweiterte Bemessungsansätze

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)  
Brüderstraße 53  
51427 Bergisch Gladbach

erstattet von: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Hegger  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Reinhard Maurer  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Fischer  
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h. Konrad Zilch

Datum: Aachen, den 31. Oktober 2018

Projekt-Nr. BASt: FE 15.0591/2012/FRB

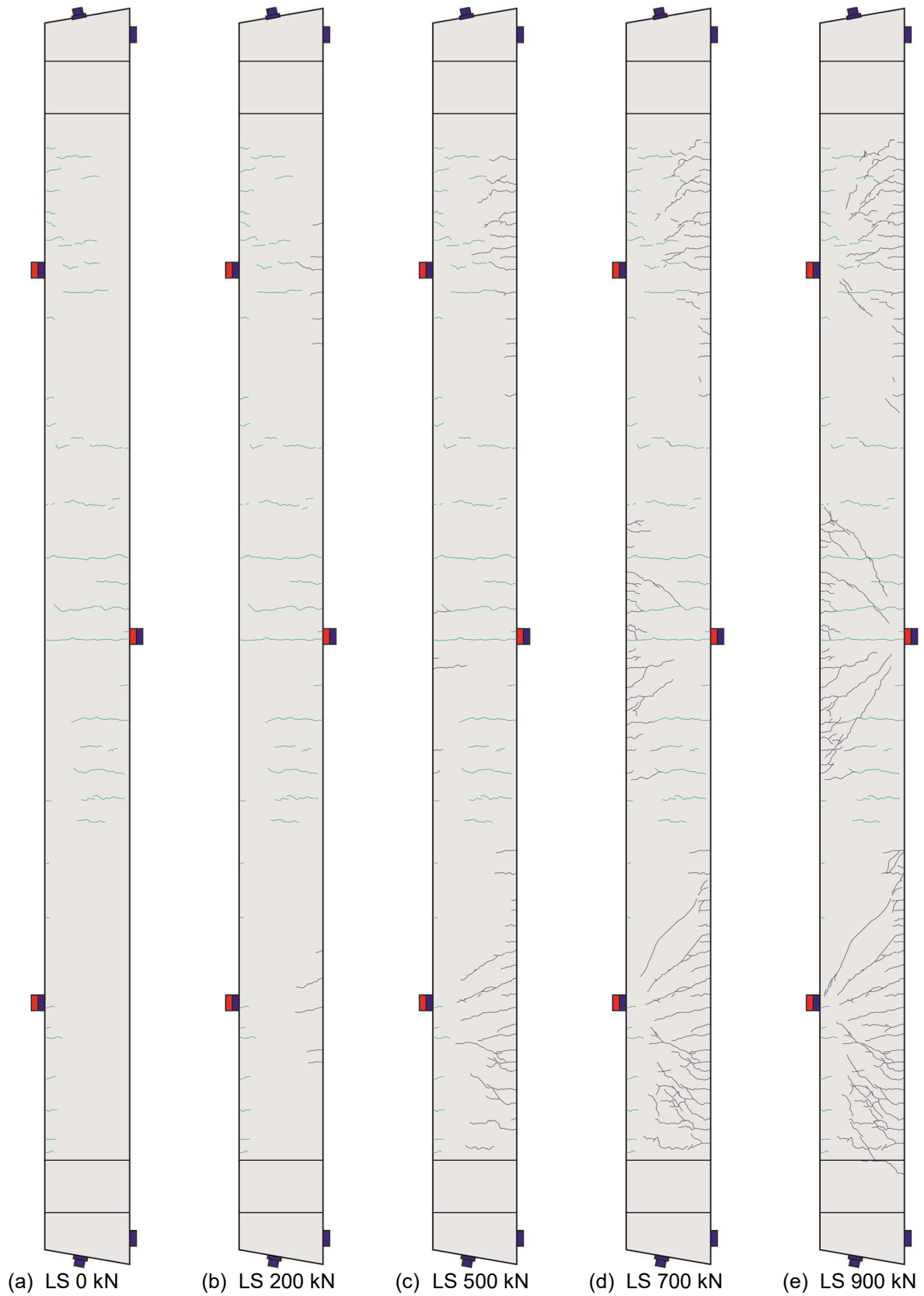
Projekt-Nr. IMB: F-2014-016

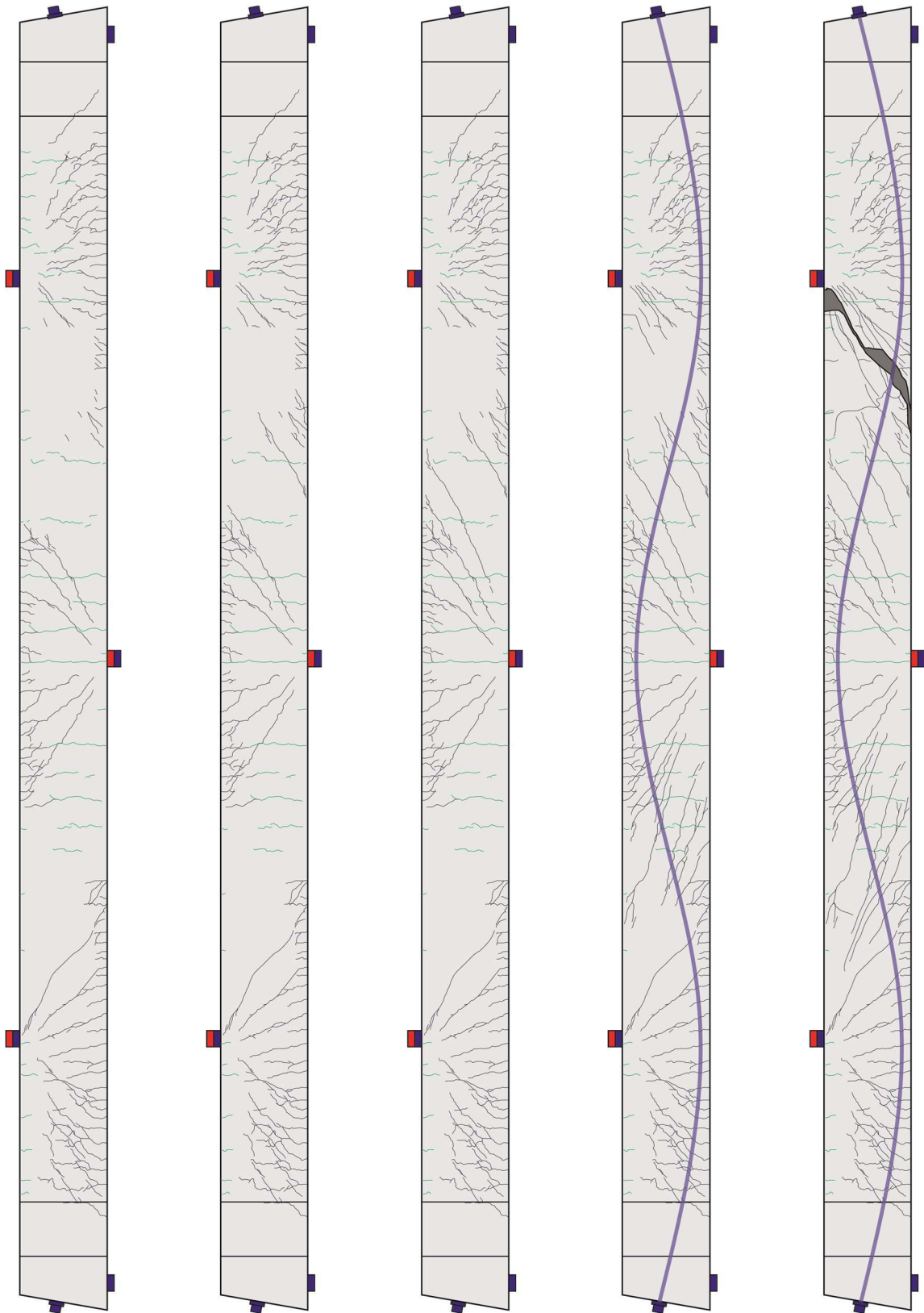
Dieses Dokument 96 Seiten zzgl. Deckblatt.

## A.1 Messergebnisse – RWTH Aachen

### A.1.1 Rissbilder

#### A.1.1.1 Versuchsträger DLT 1.1





(f) LS 1000 kN

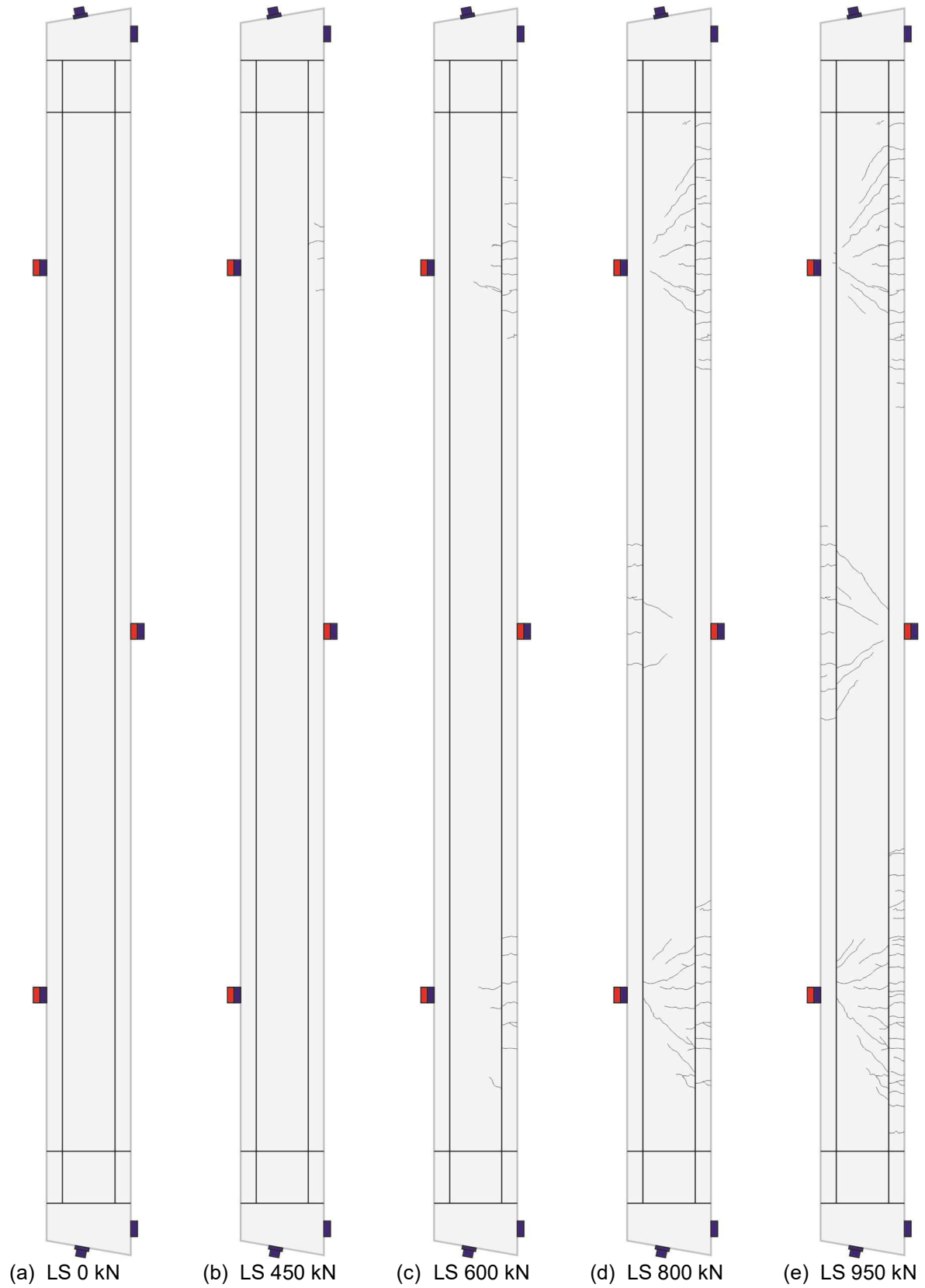
(g) LS 1150 kN

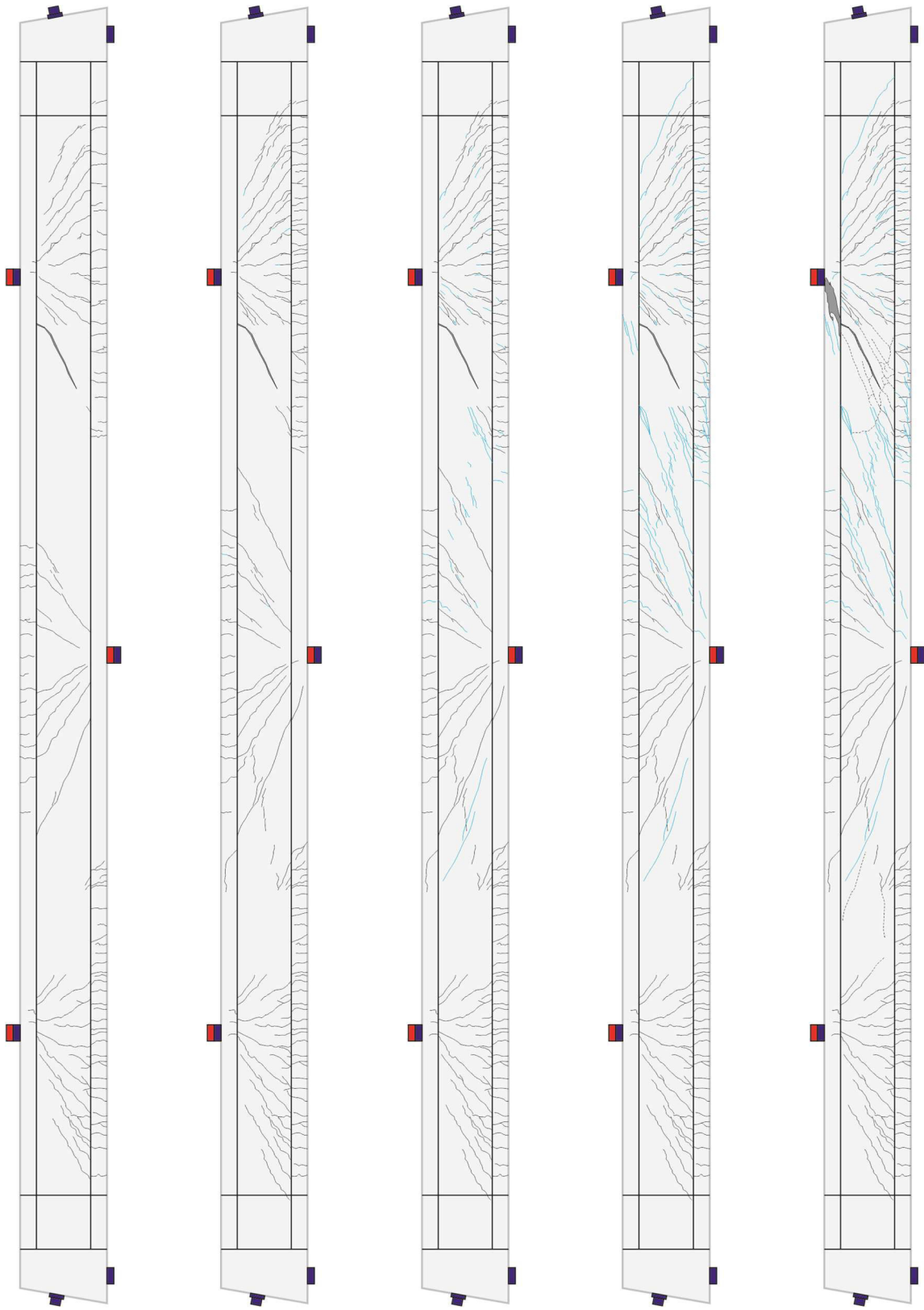
(h) LS 1300 kN

(i)  $V_{max}$

(j) Bruch

## A.1.1.2 Versuchsträger DLT 1.2





(f) LS 1100 kN

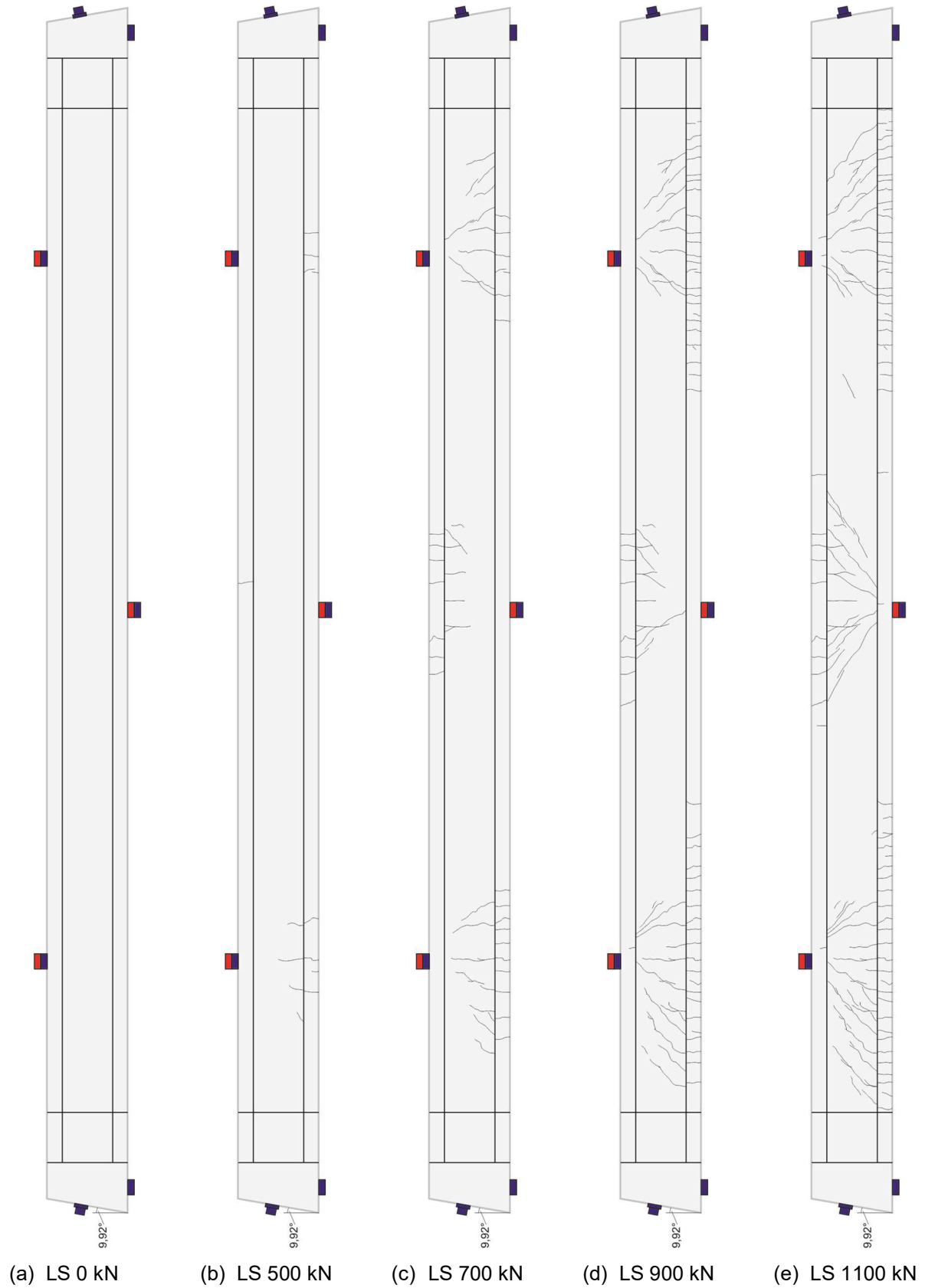
(g) LS 1300 kN

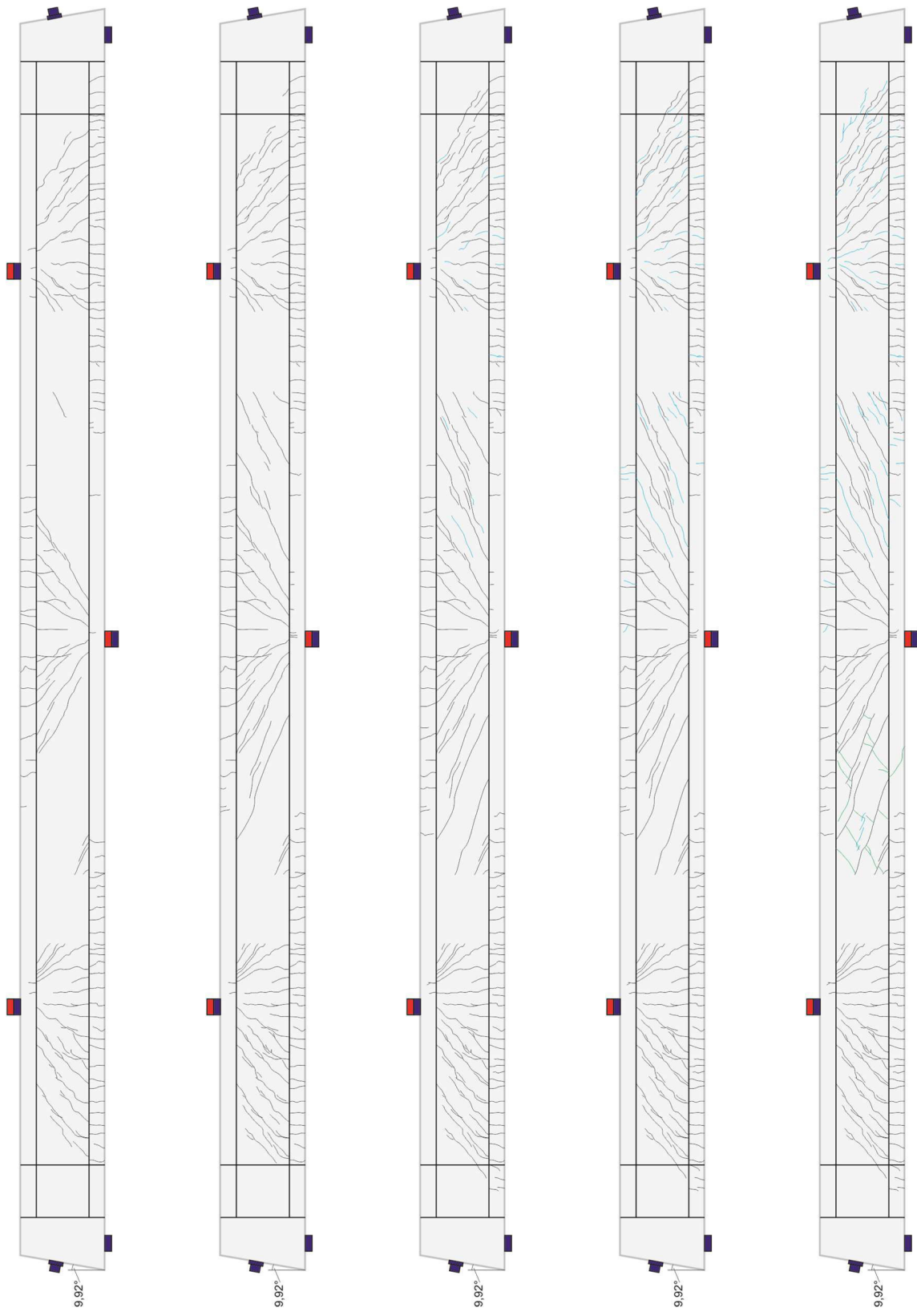
(h) LS 1500 kN

(i) LS 1900 kN

(j) Bruch

## A.1.1.3 Versuchsträger DLT 1.3





(f) LS 1250 kN

(g) LS 1400 kN

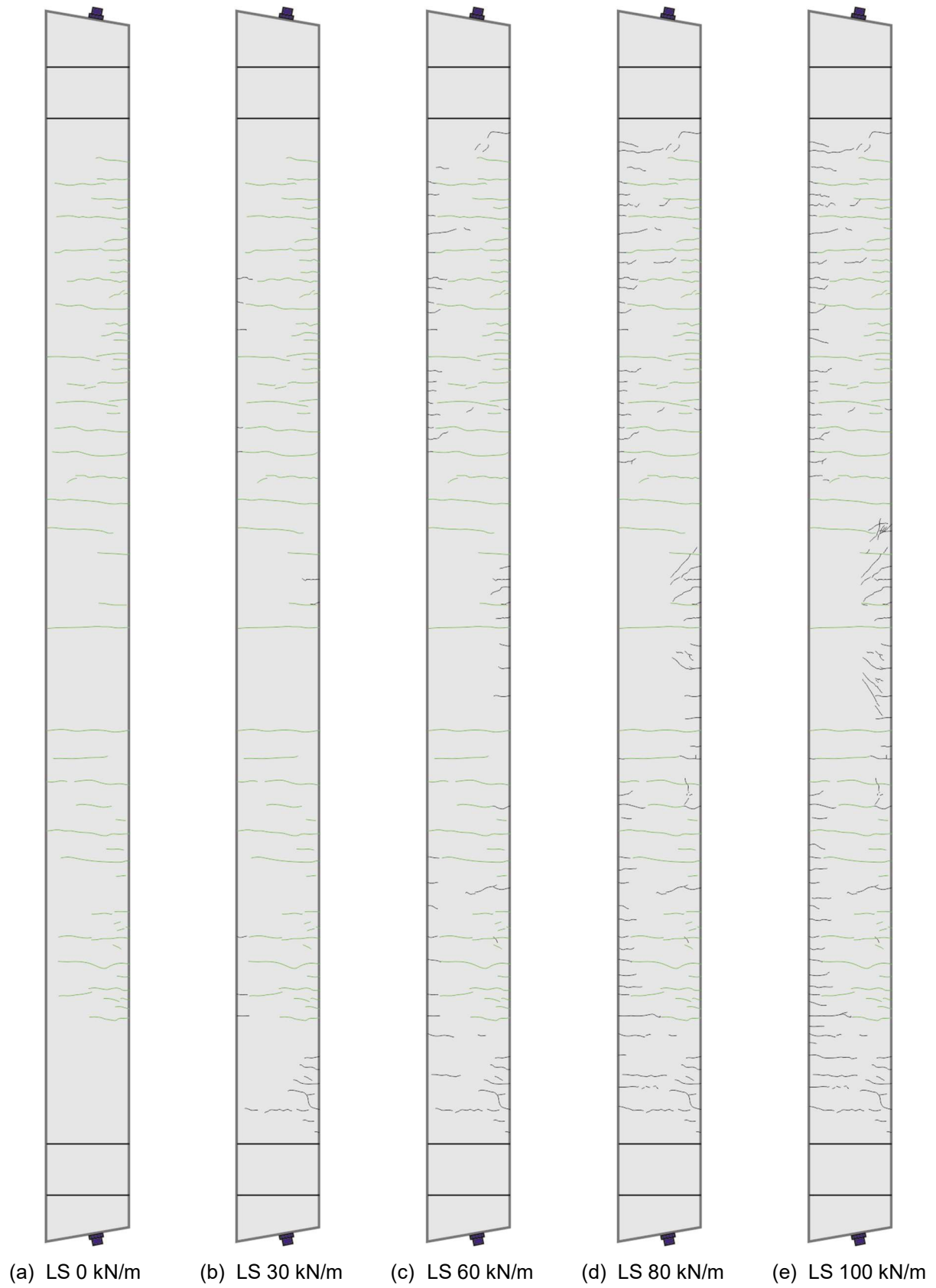
(h) LS 1550 kN

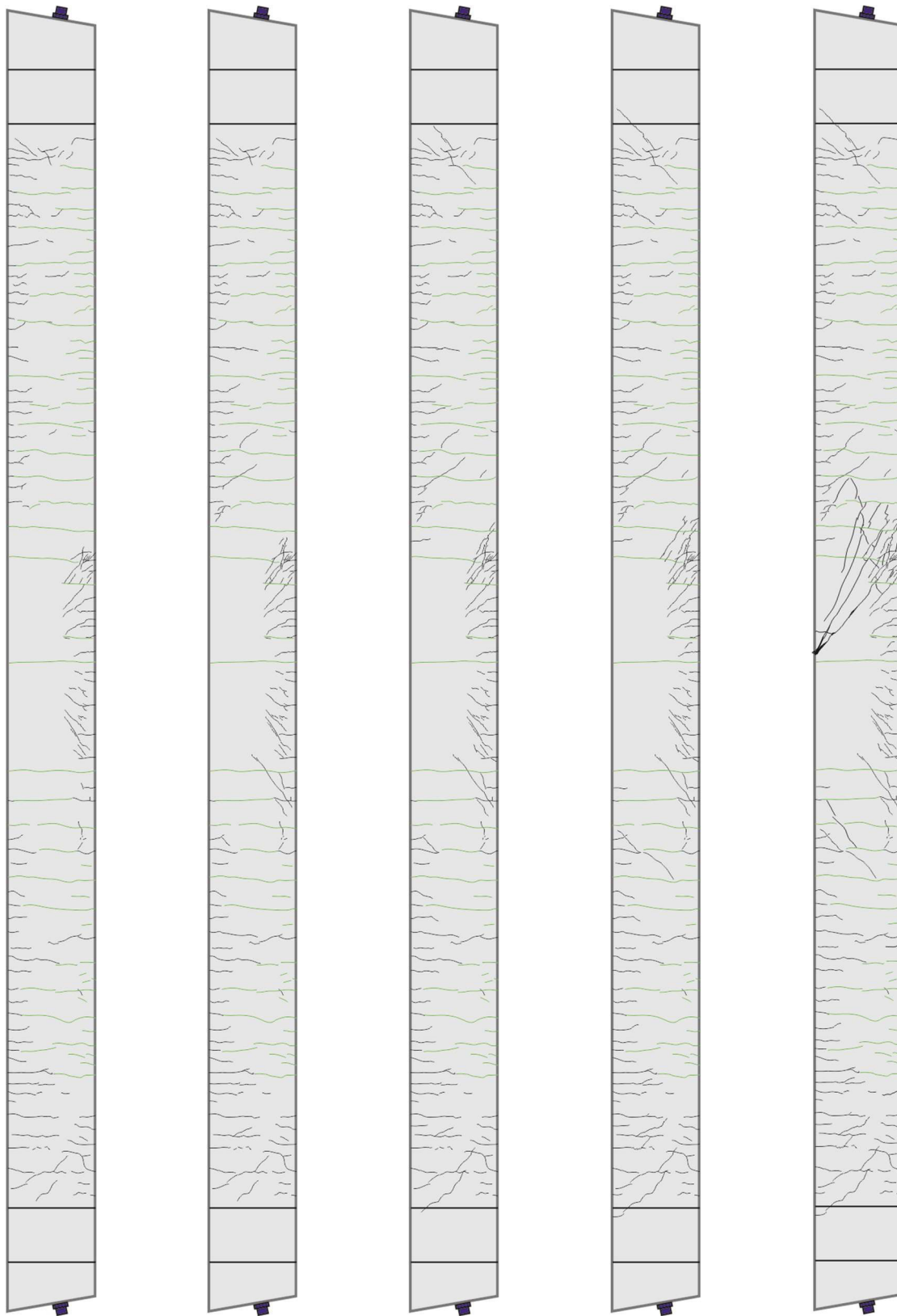
(i) LS 1750 kN

(j) Bruch



## A.1.1.4 Versuchsträger DLT 1.4





(f) LS 120 kN/m

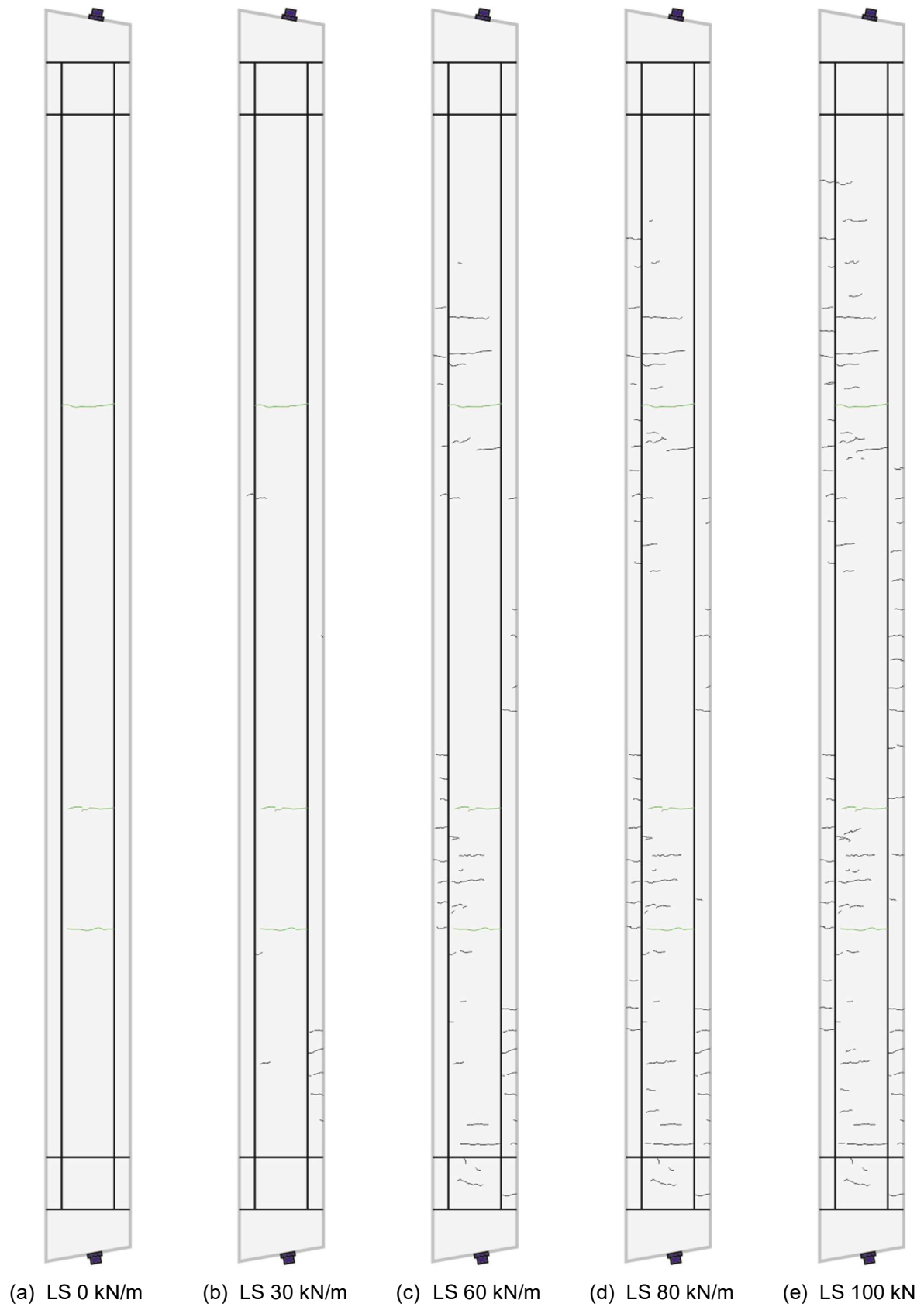
(g) LS 130 kN/m

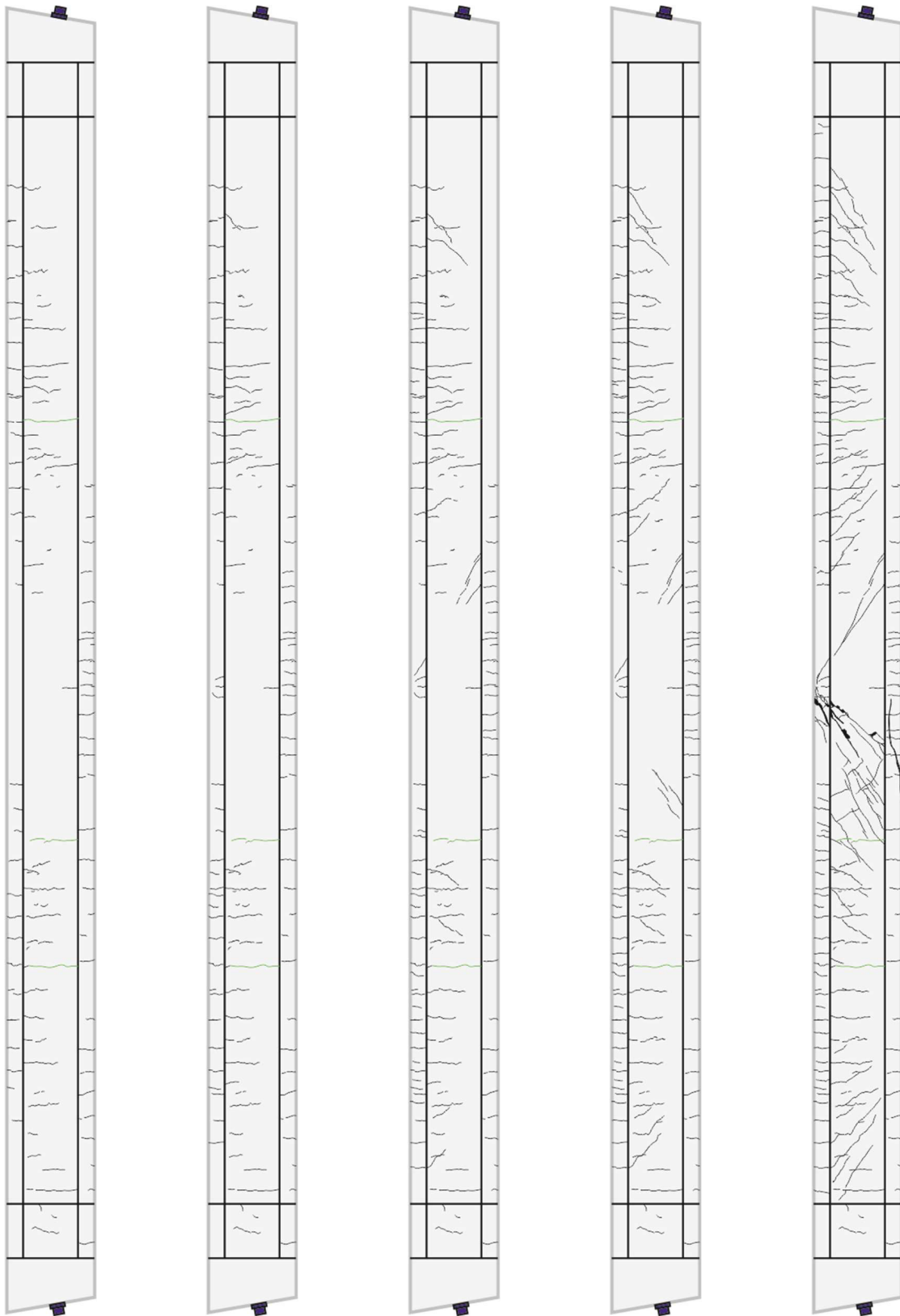
(h) LS 140 kN/m

(i) LS 150 kN/m

(j) Bruch

## A.1.1.5 Versuchsträger DLT 1.5





(f) LS 130 kN/m

(g) LS 150 kN/m

(h) LS 170 kN/m

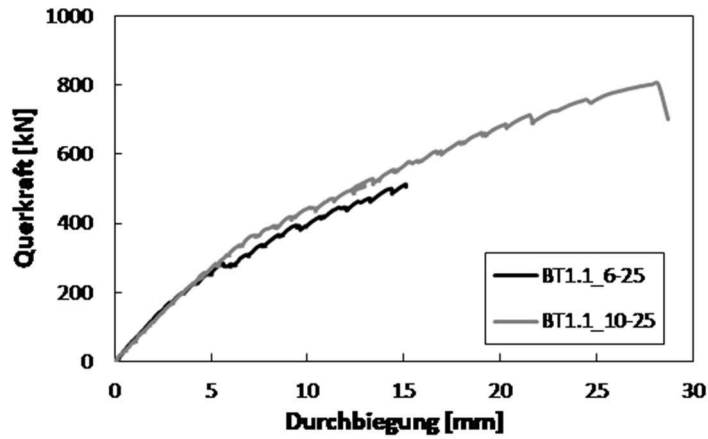
(i) LS 190 kN/m

(j) Bruch

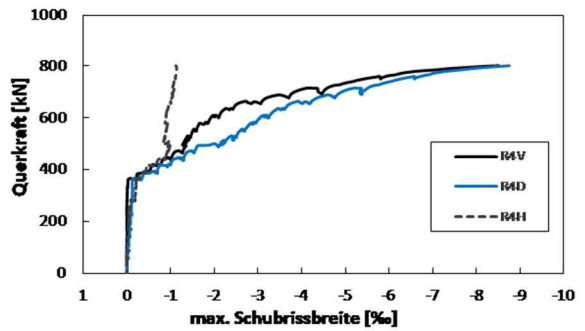
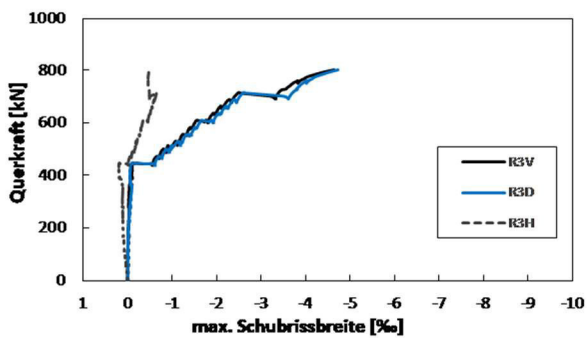
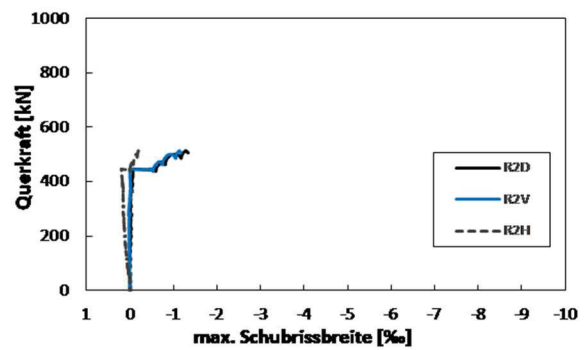
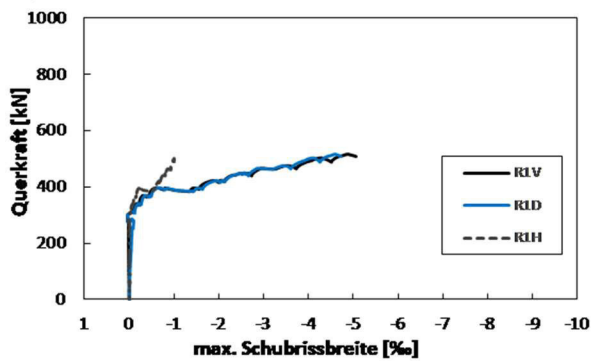
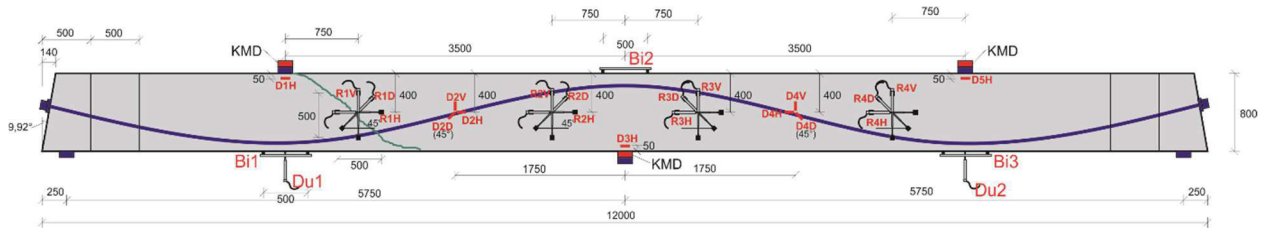
### A.1.2 Bauteilverhalten

#### A.1.2.1 Messdaten DLT 1.1

#### Last-Verformungskurve

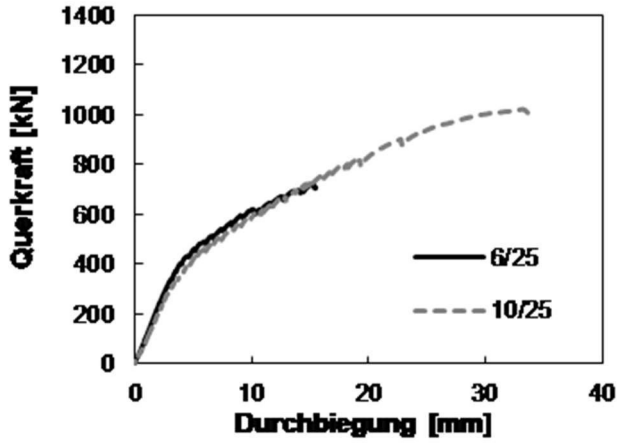


#### Schubrissoffnung

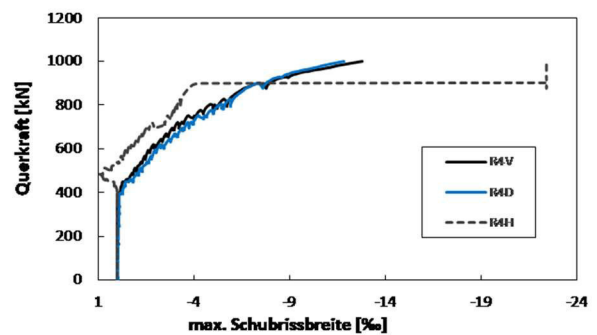
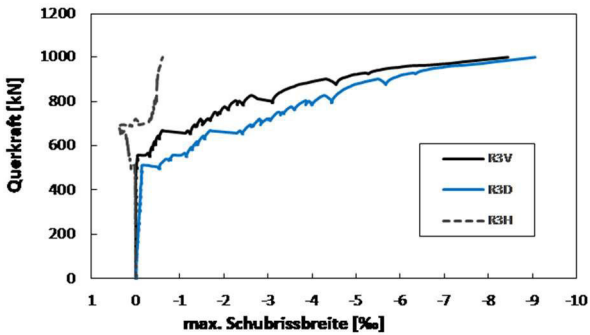
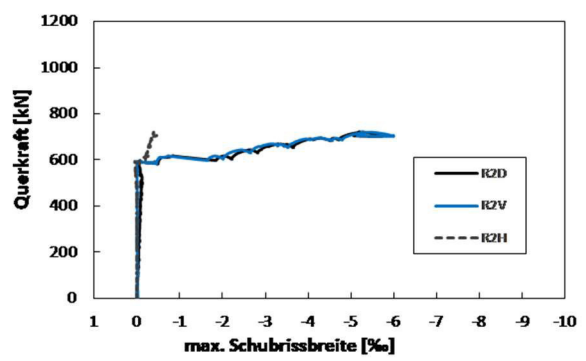
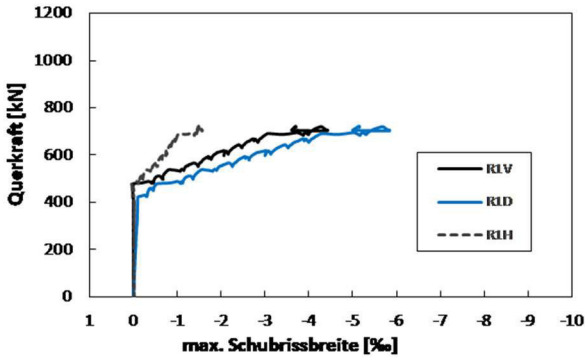
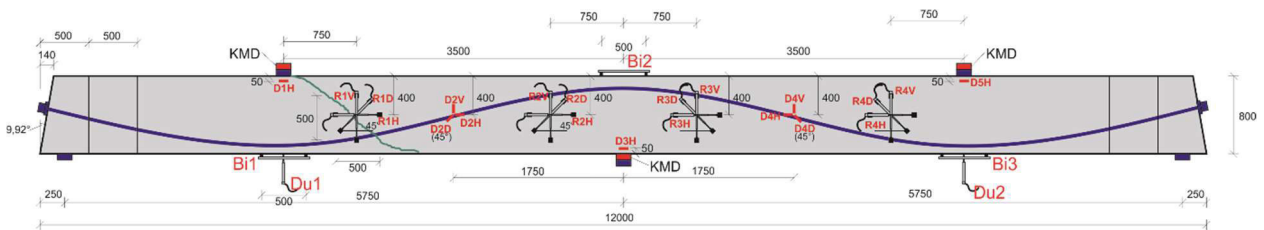


A.1.2.2 Messdaten DLT 1.2

Last-Verformungskurve

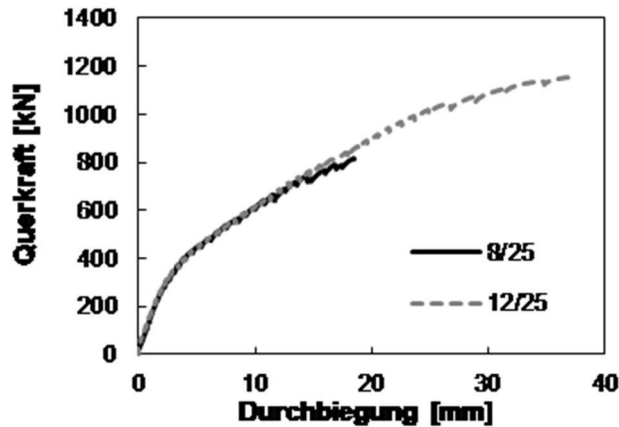


Schubrissoffnung



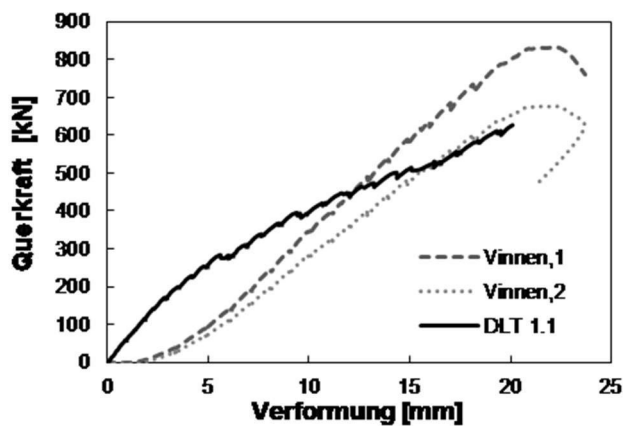
## A.1.2.3 Messdaten DLT 1.3

## Last-Verformungskurve



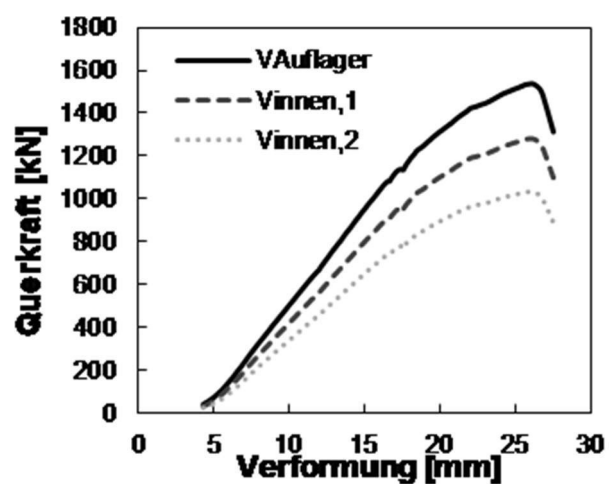
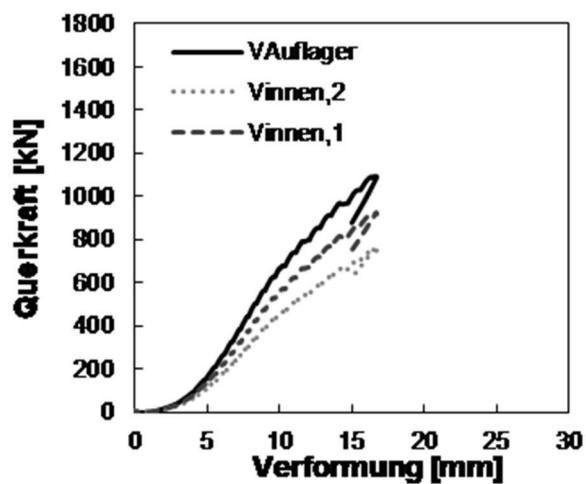
## A.1.2.4 Messdaten DLT 1.4

## Last-Verformungskurve



## A.1.2.5 Messdaten DLT 1.5

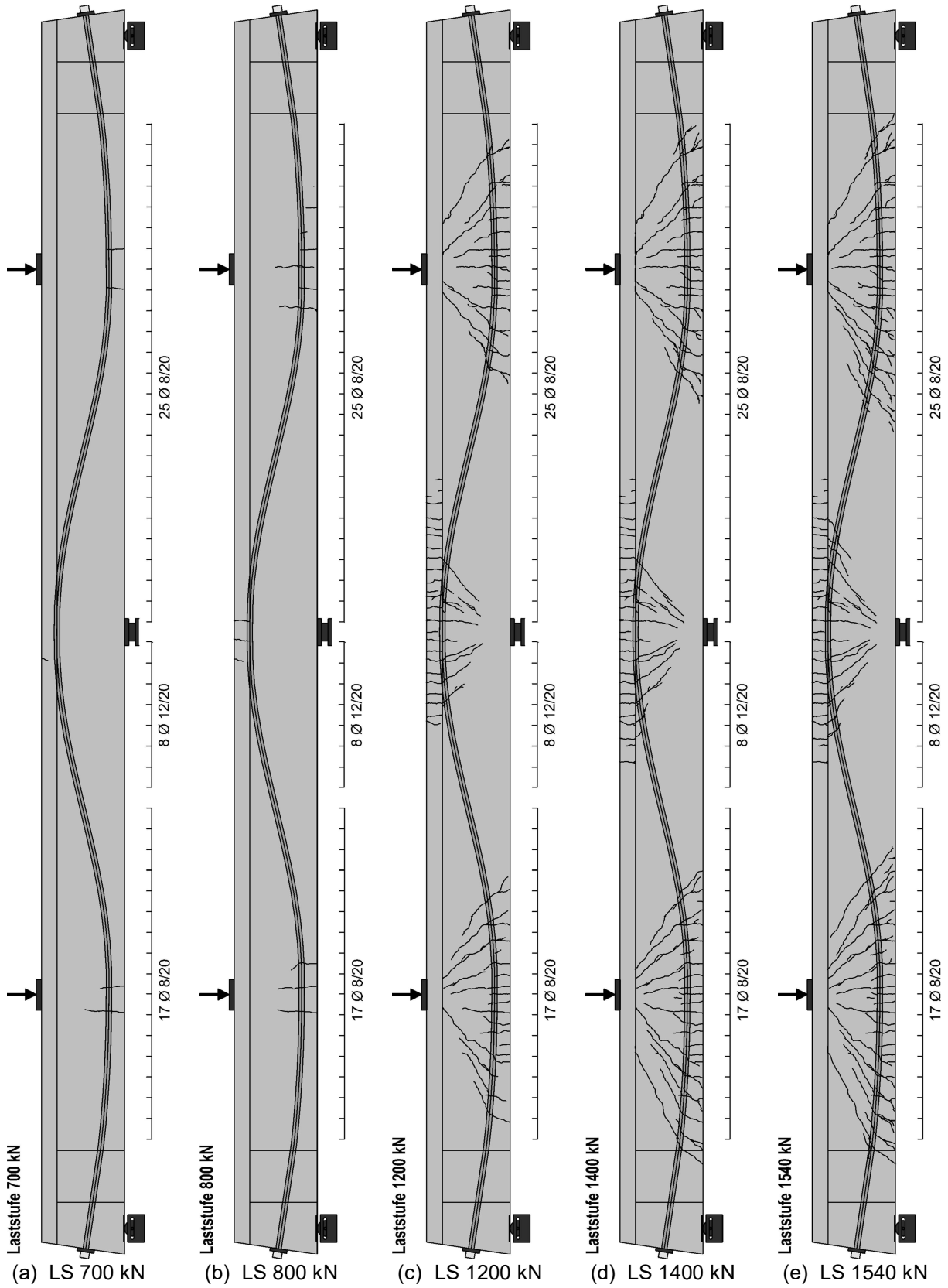
## Last-Verformungskurve



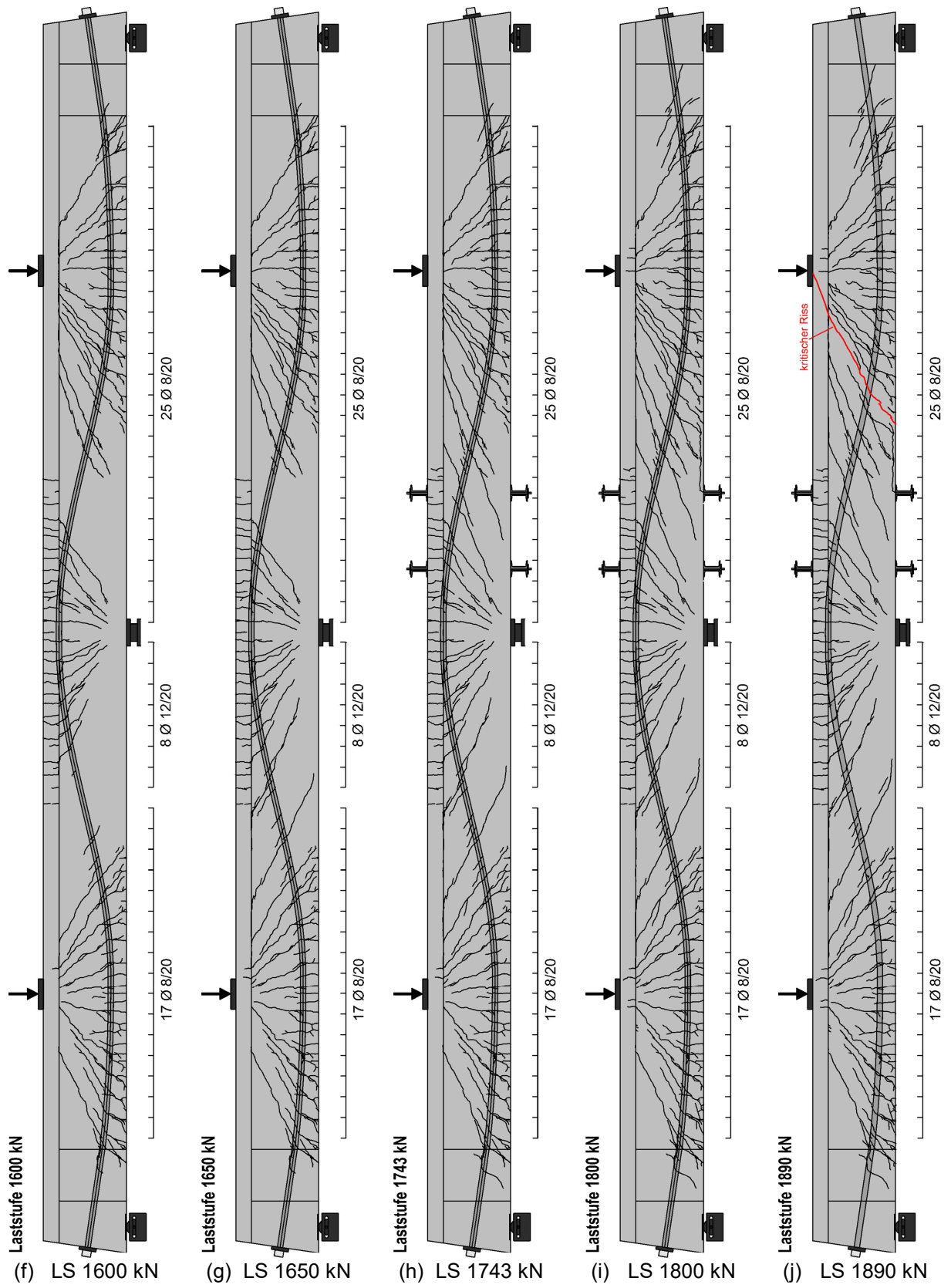
## A.2 Messergebnisse – TU Dortmund

### A.2.1 Rissbilder [GLEICH, 2018b]

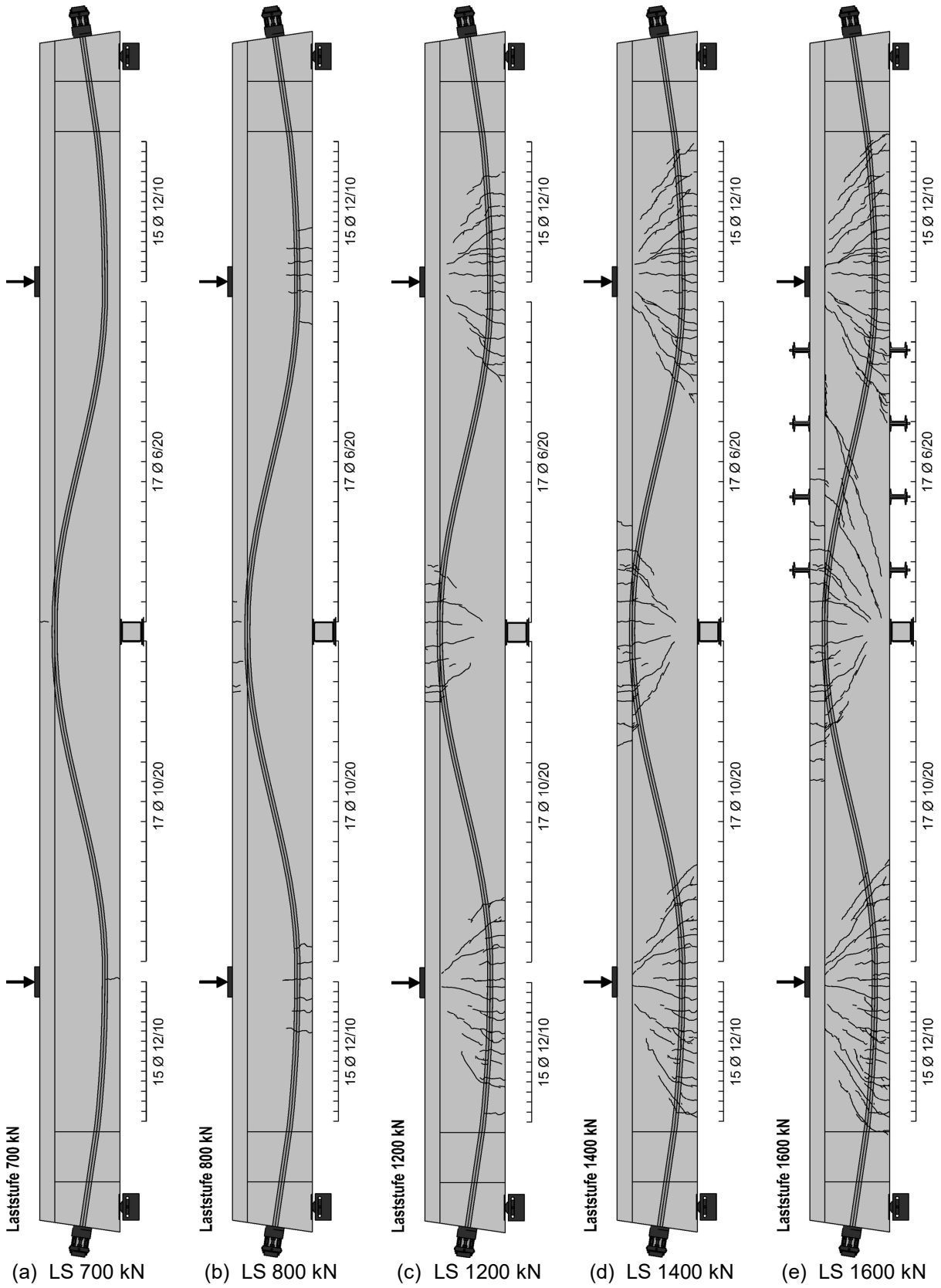
#### A.2.1.1 Versuchsträger DLT 2.1

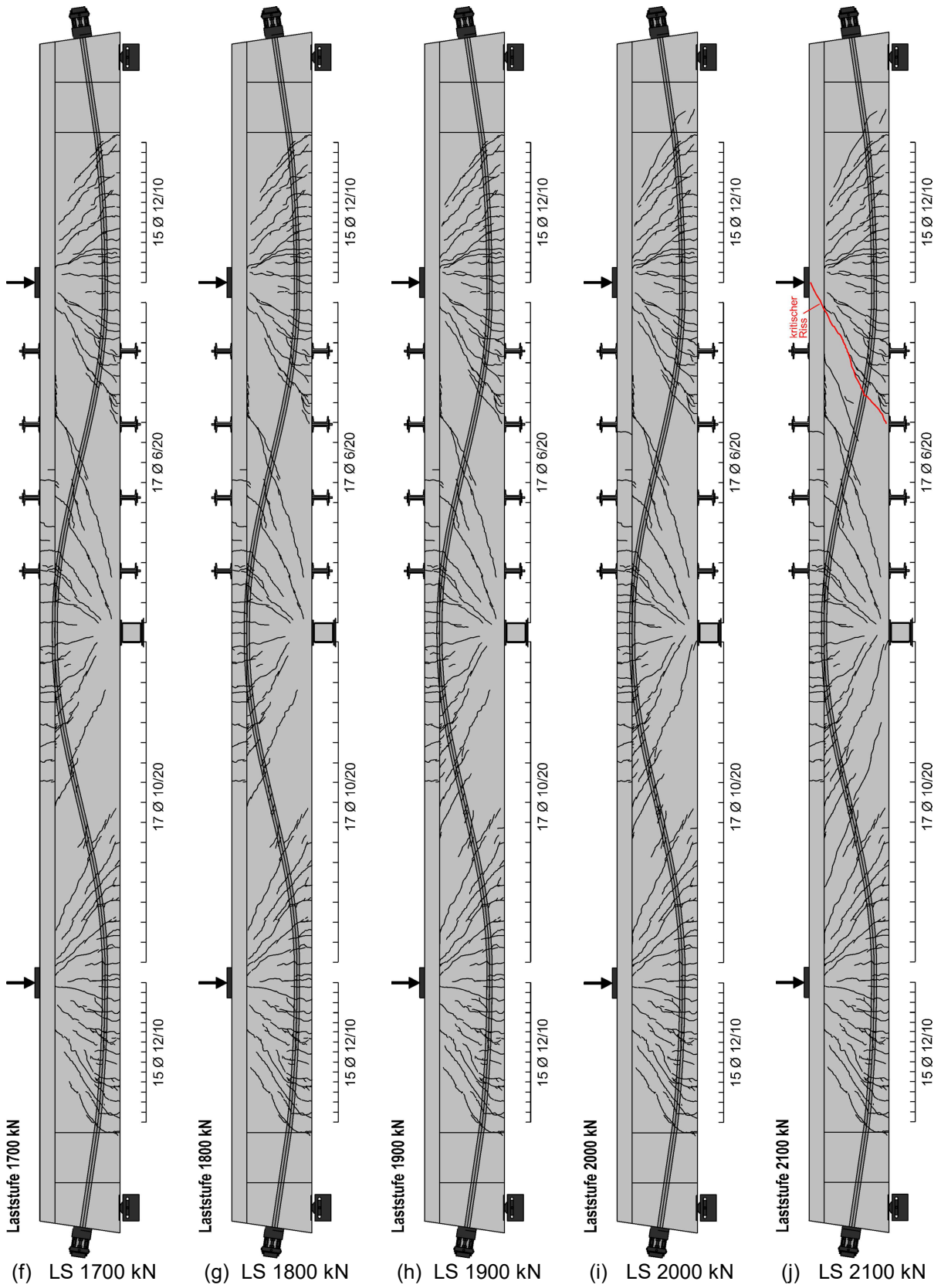




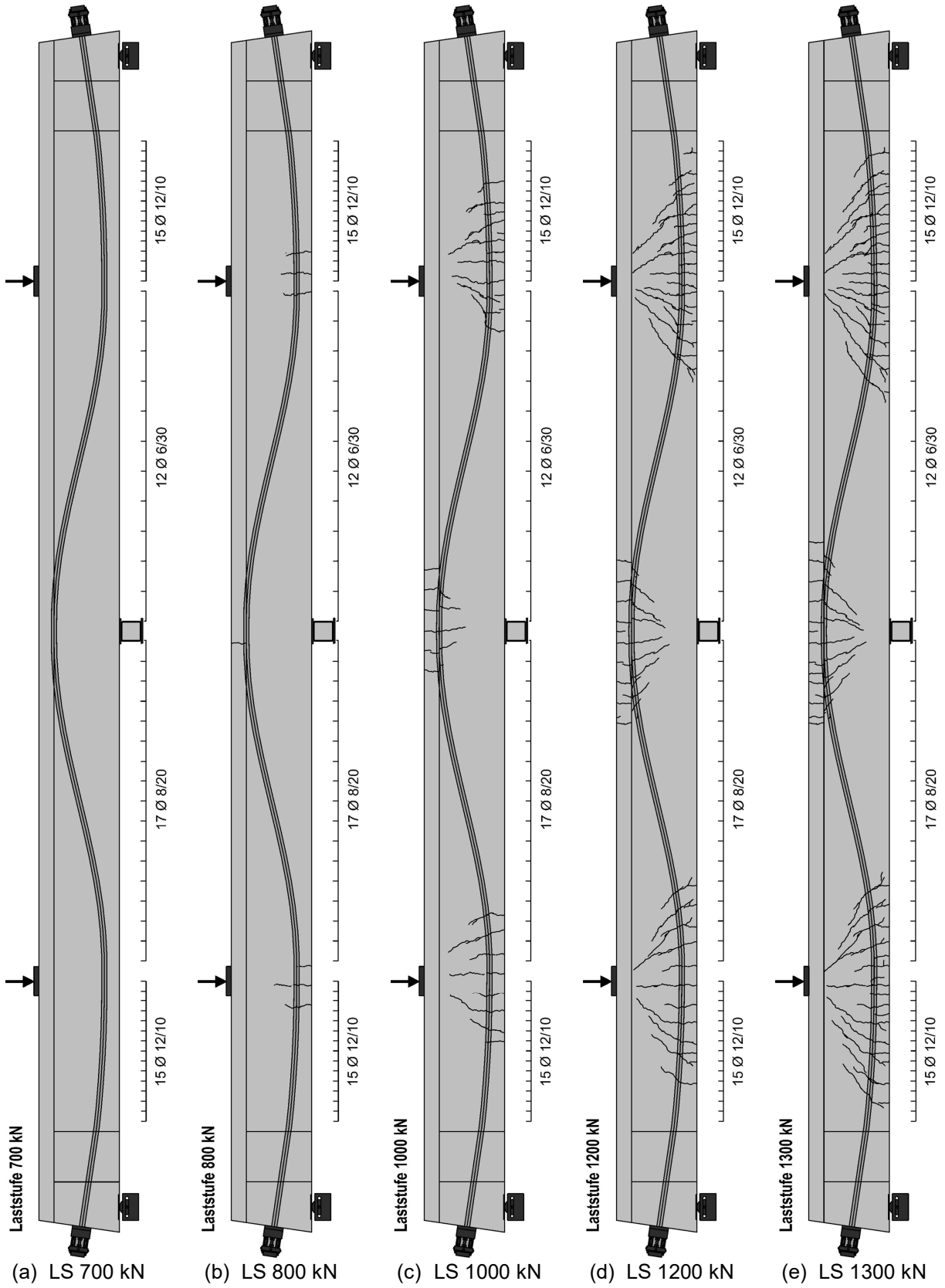


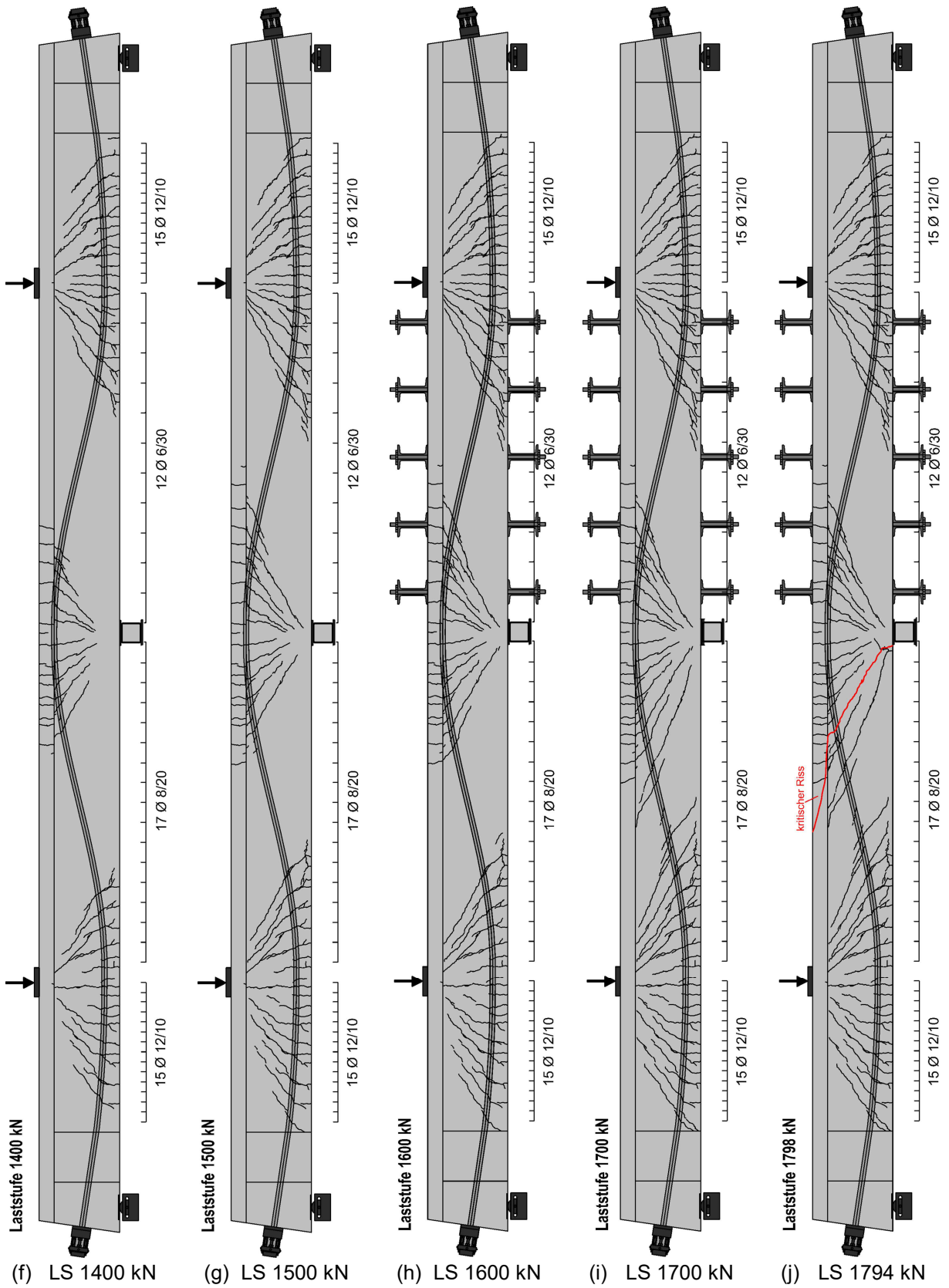
A.2.1.2 Versuchsträger DLT 2.2



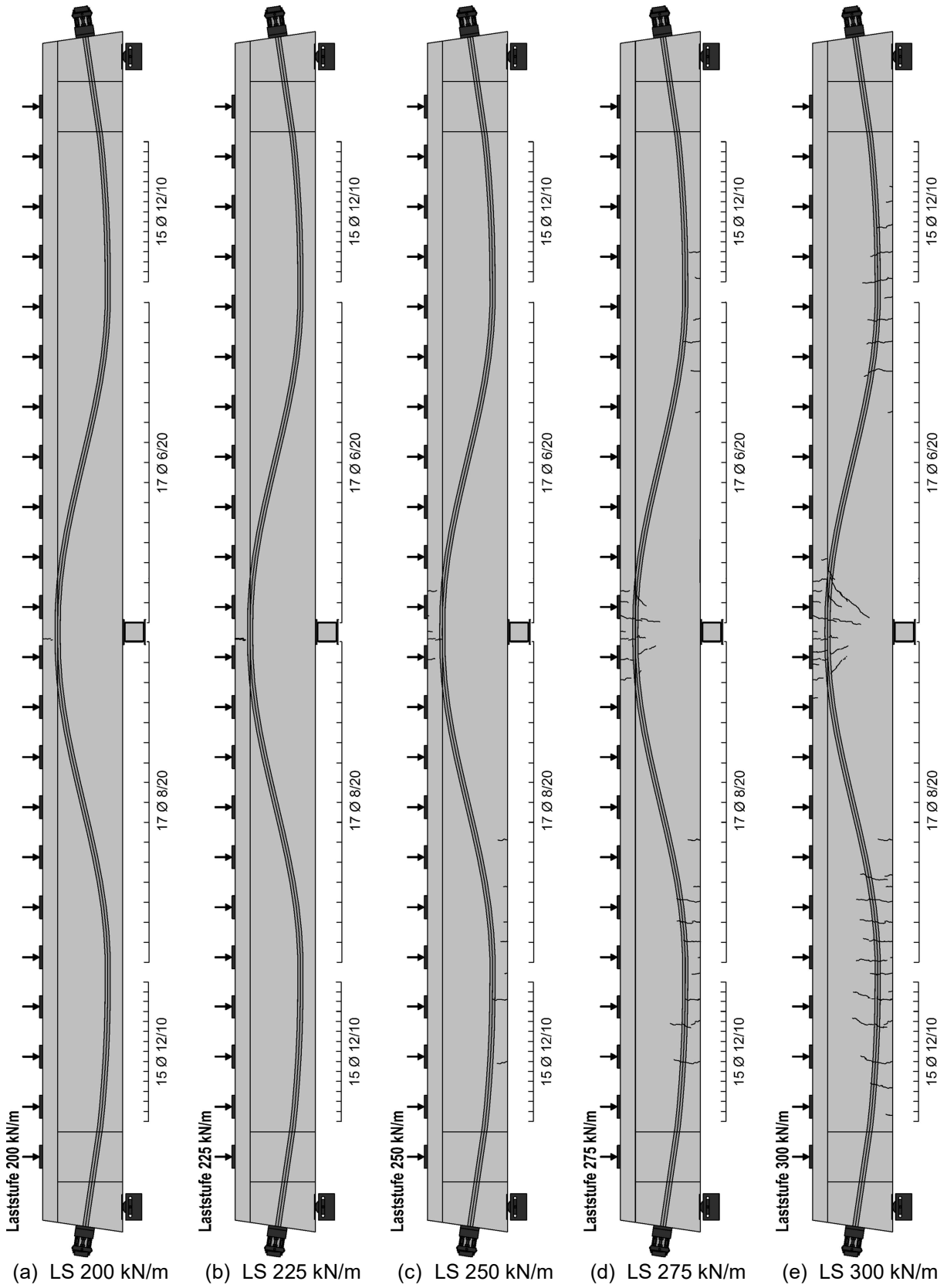


A.2.1.3 Versuchsträger DLT 2.3





A.2.1.4 Versuchsträger DLT 2.4



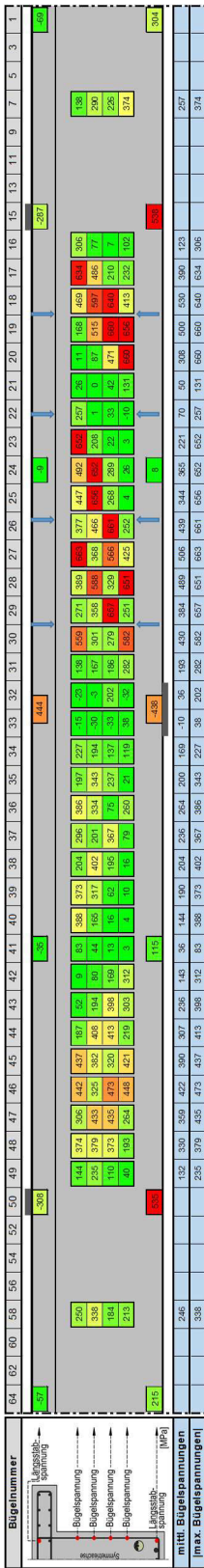




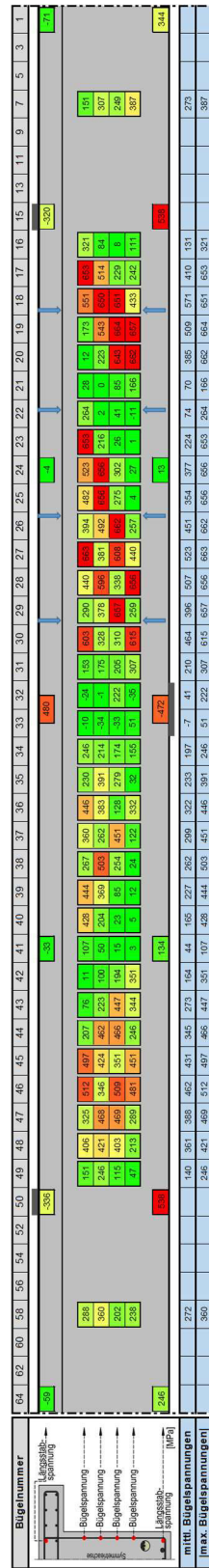




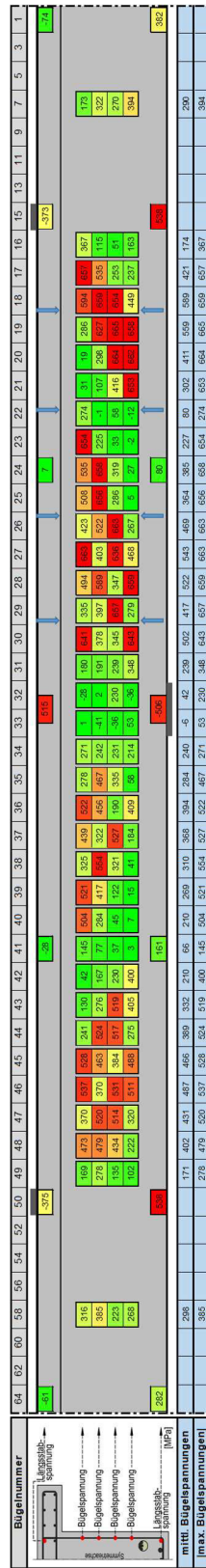




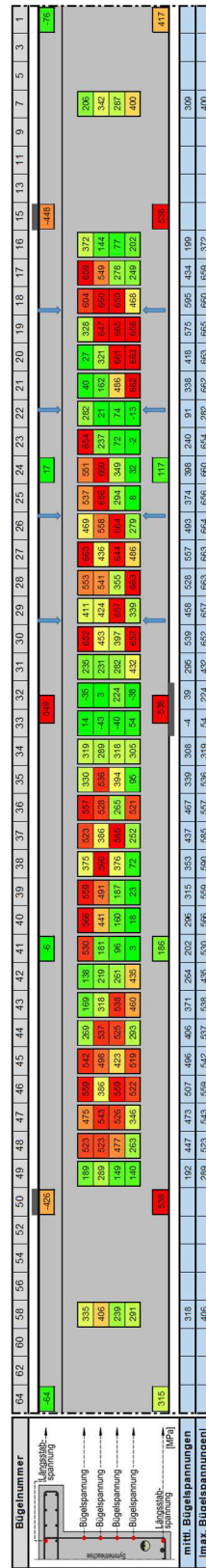
(f) LS 1700 kN



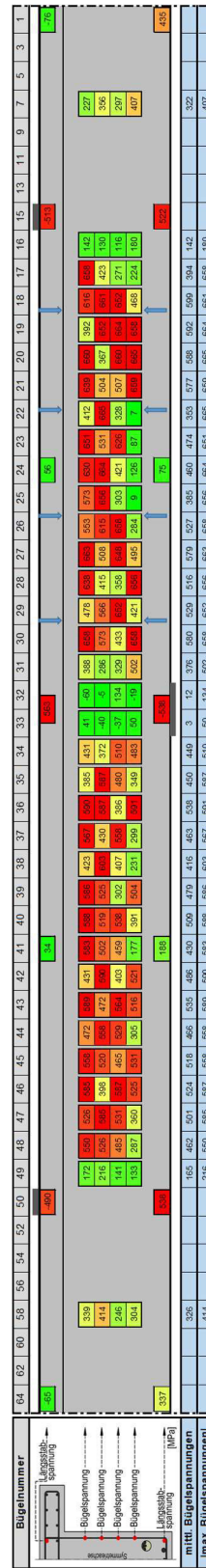
(g) LS 1800 kN



(h) LS 1900 kN



(i) LS 2000 kN



(j) LS 2100 kN



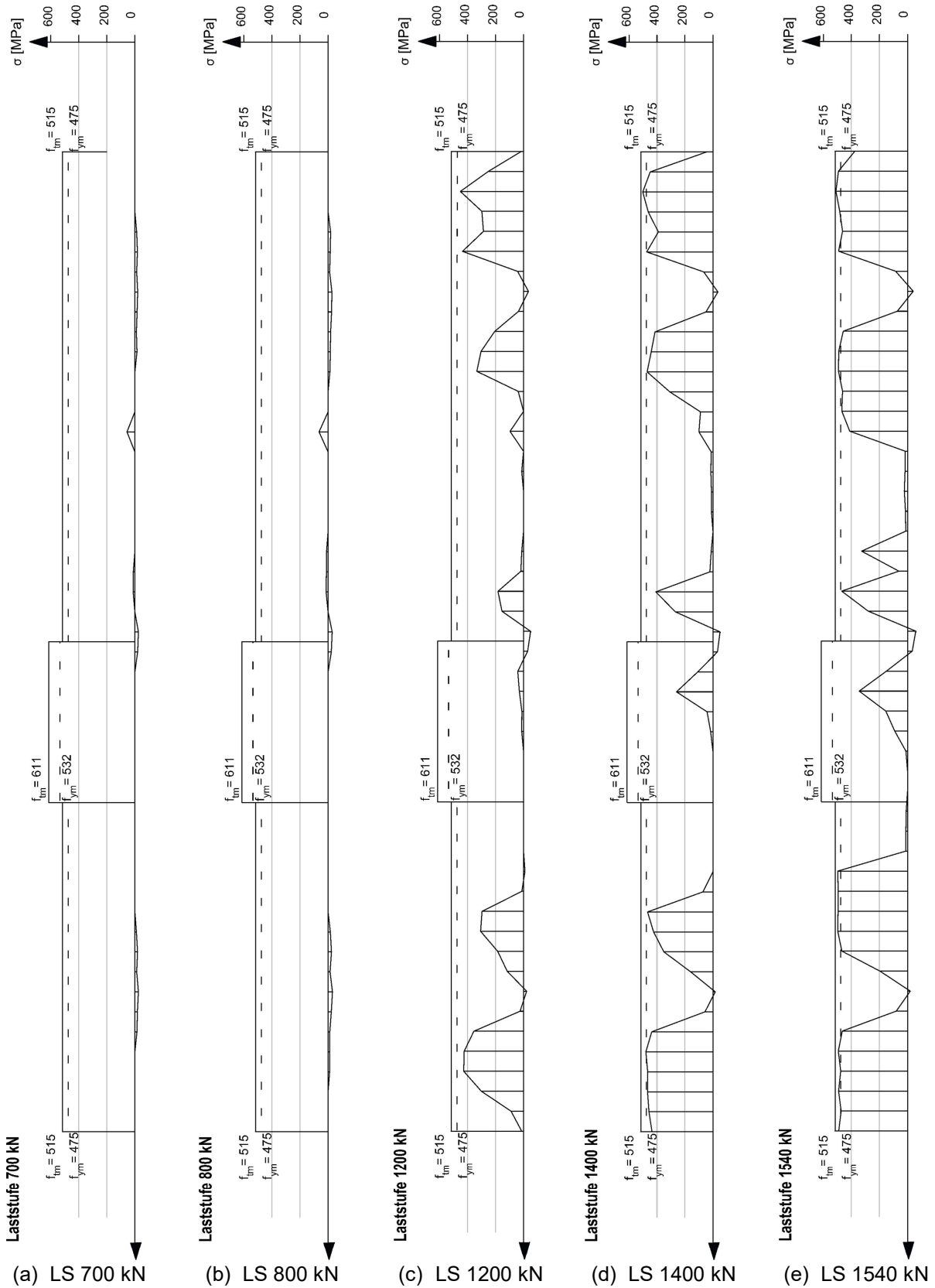




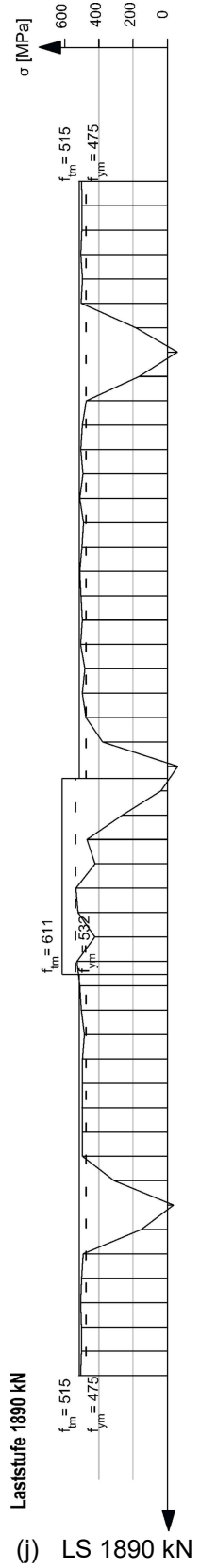
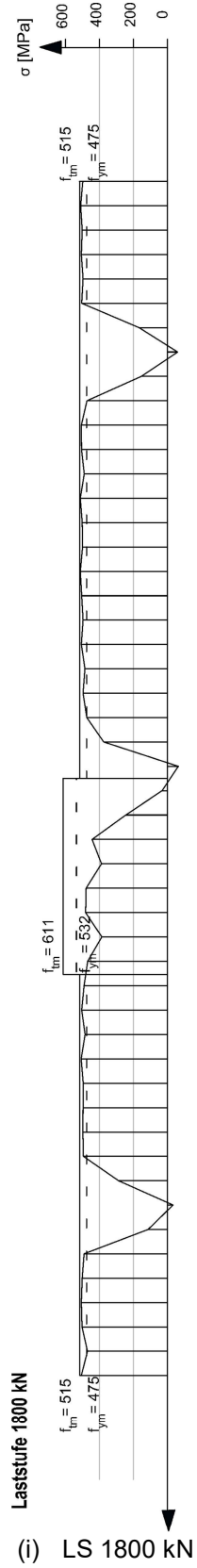
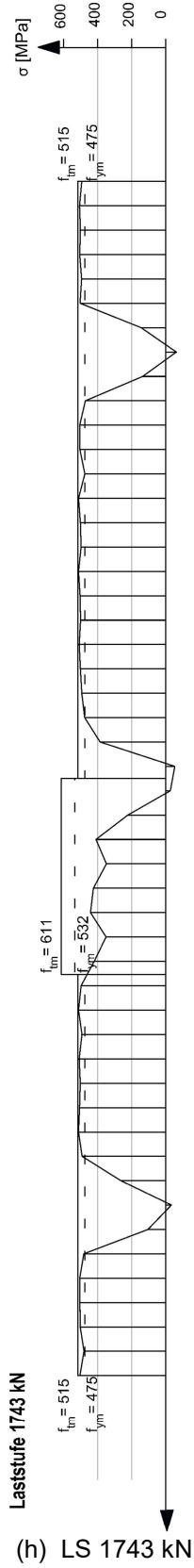
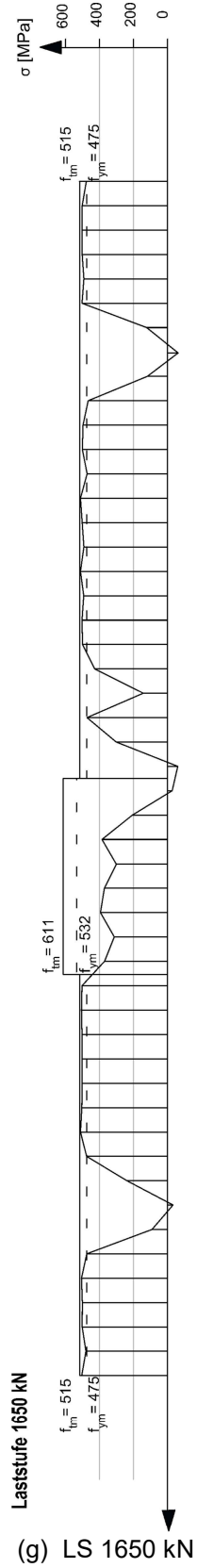
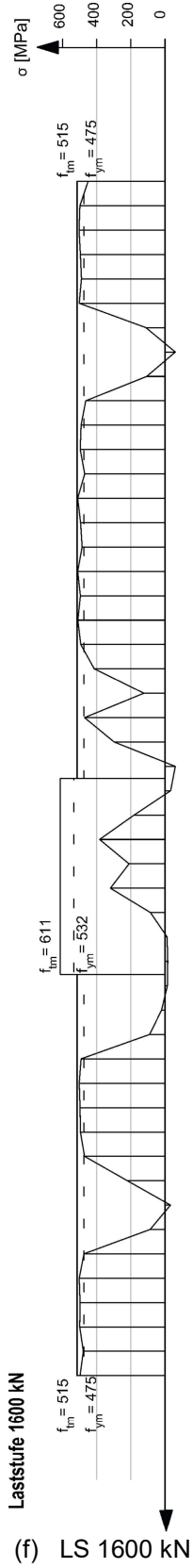


A.2.3 Maximalwerte der Bügelspannungen [GLEICH, 2018b]

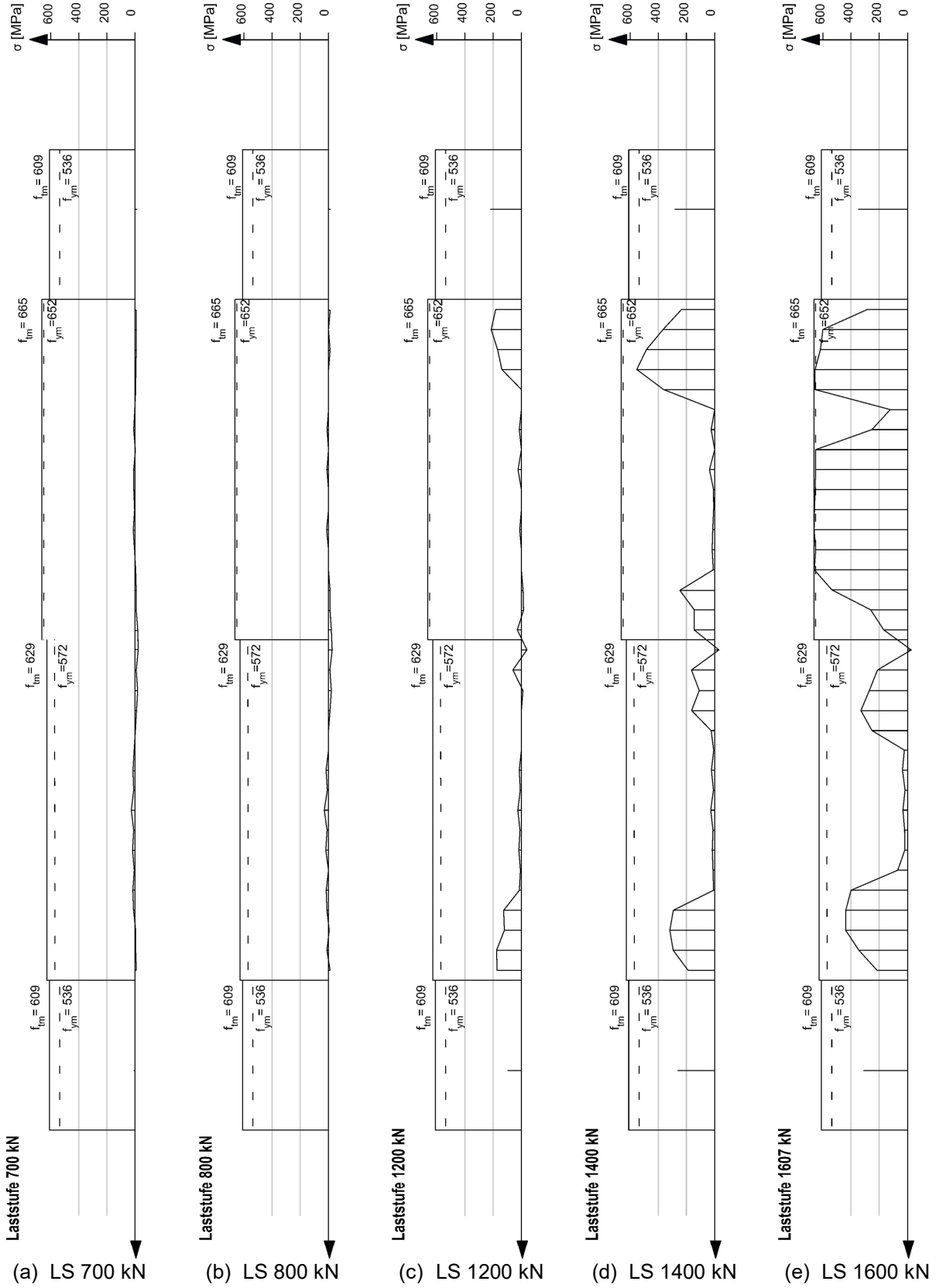
A.2.3.1 Versuchsträger DLT 2.1

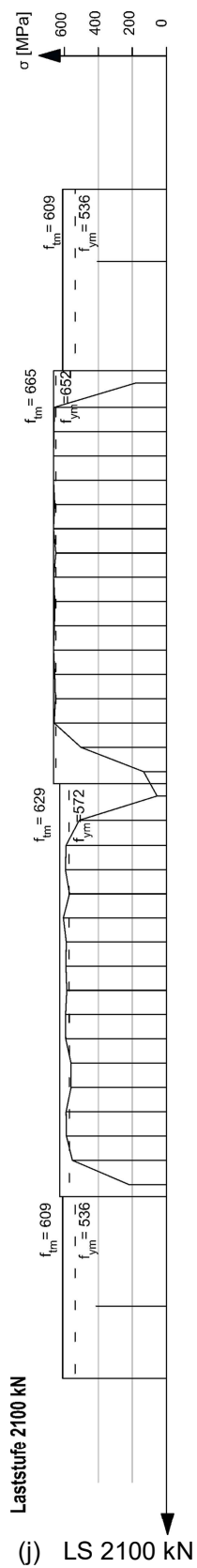
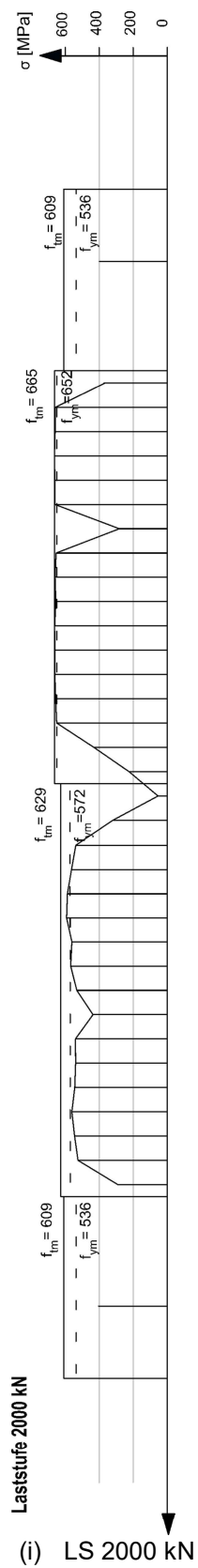
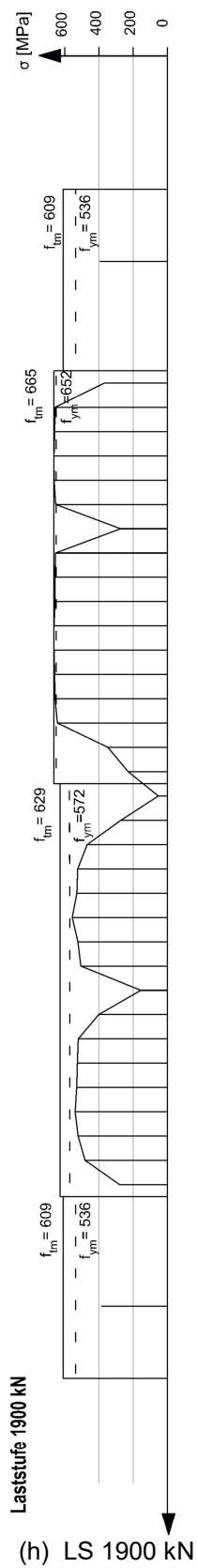
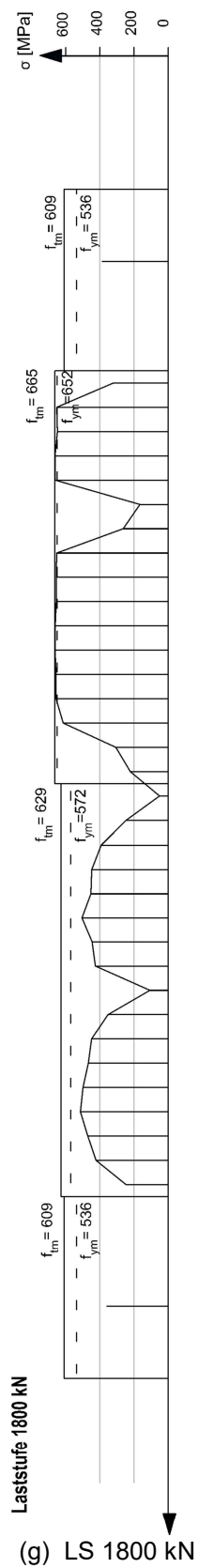
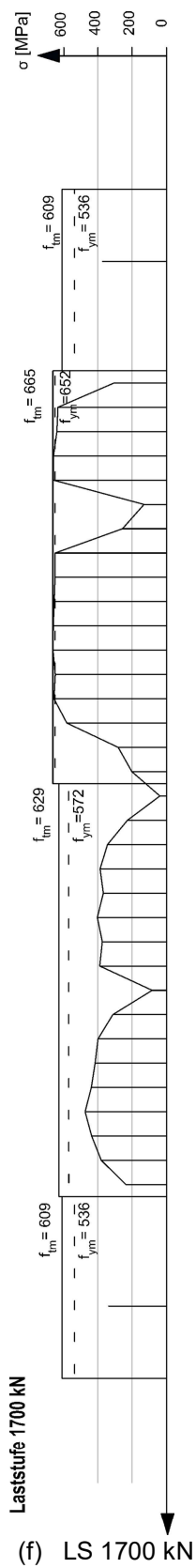




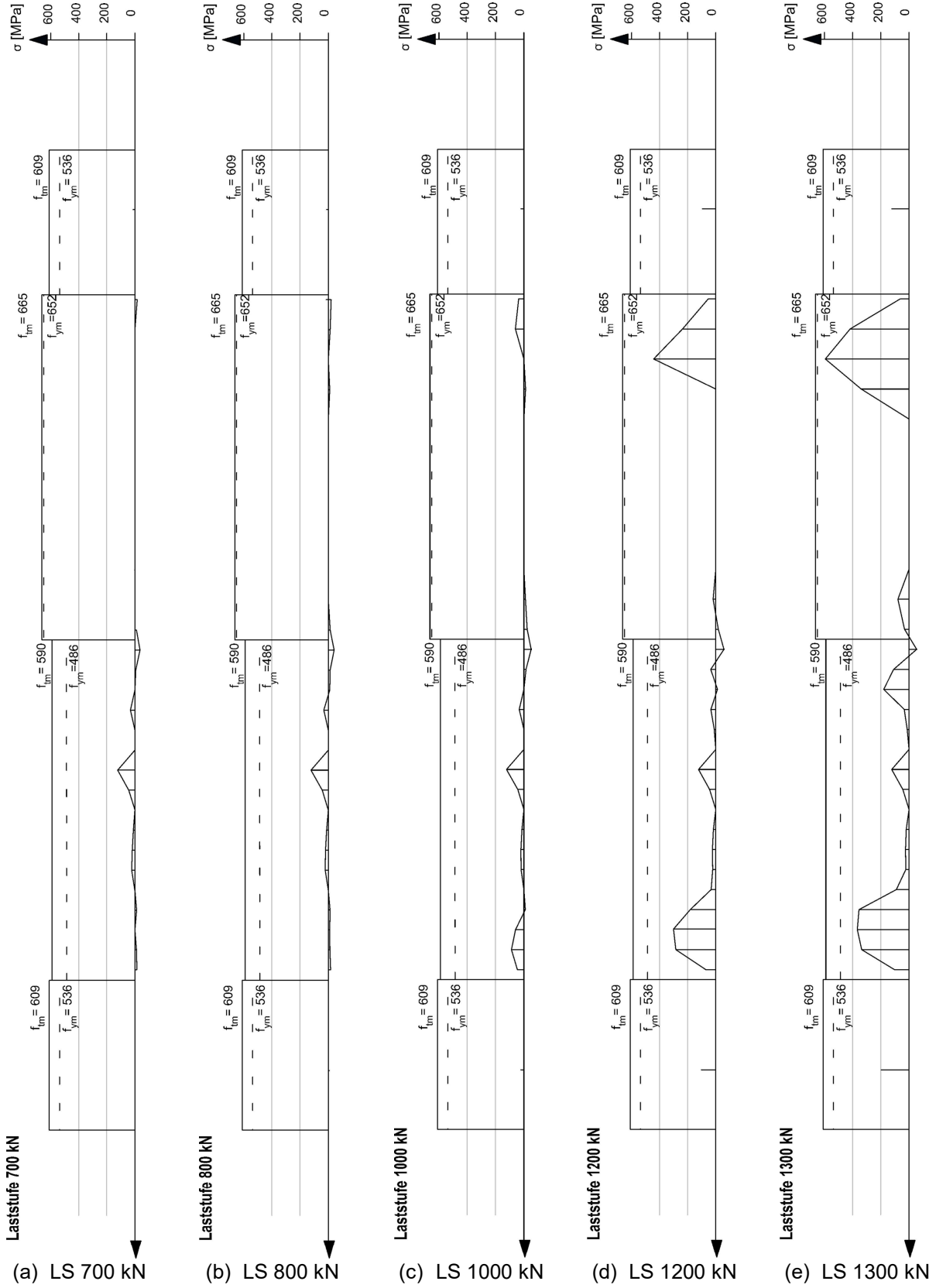


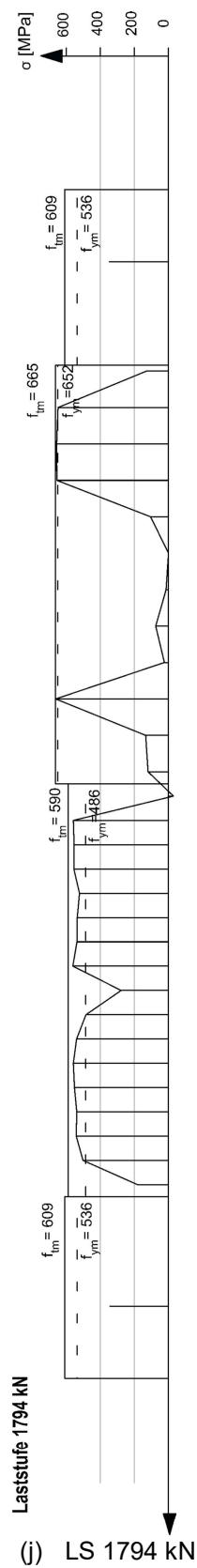
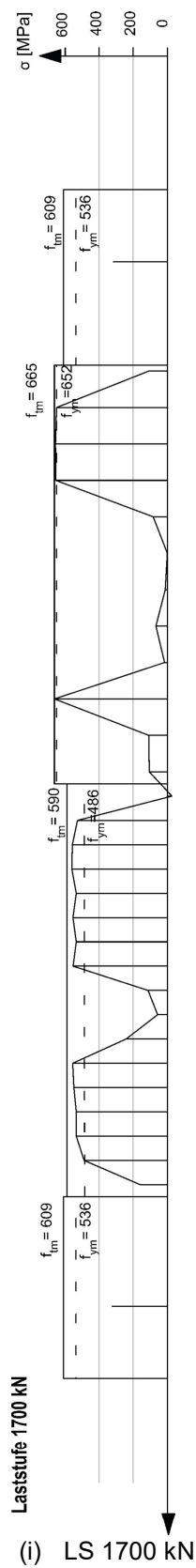
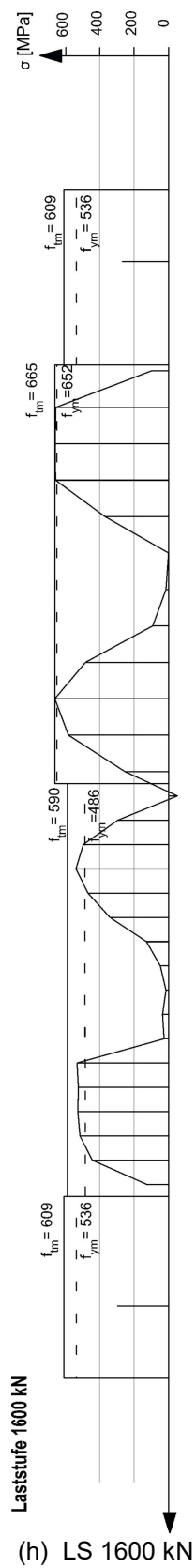
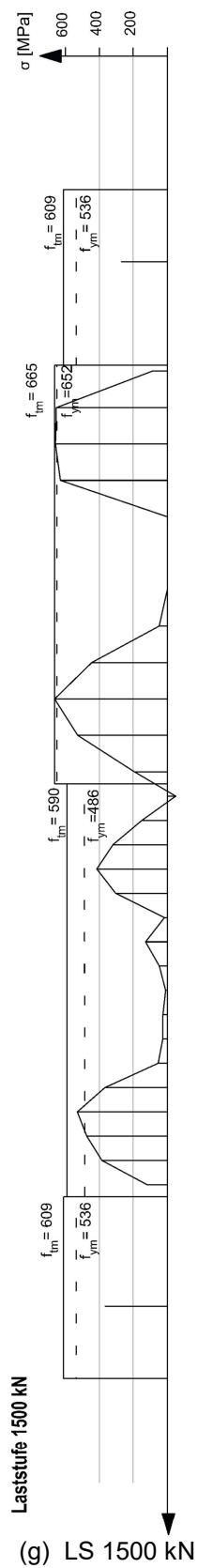
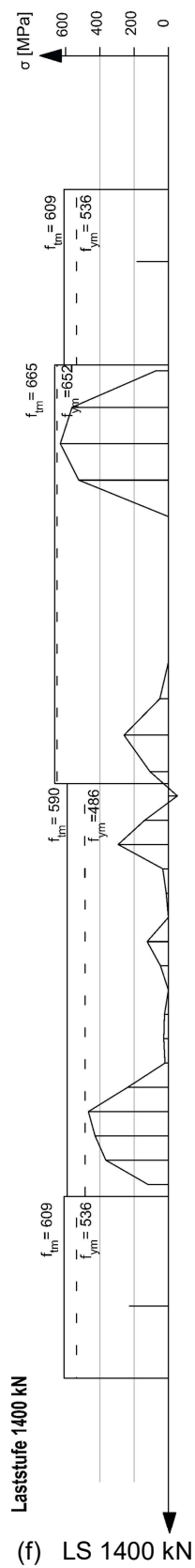
A.2.3.2 Versuchsträger DLT 2.2



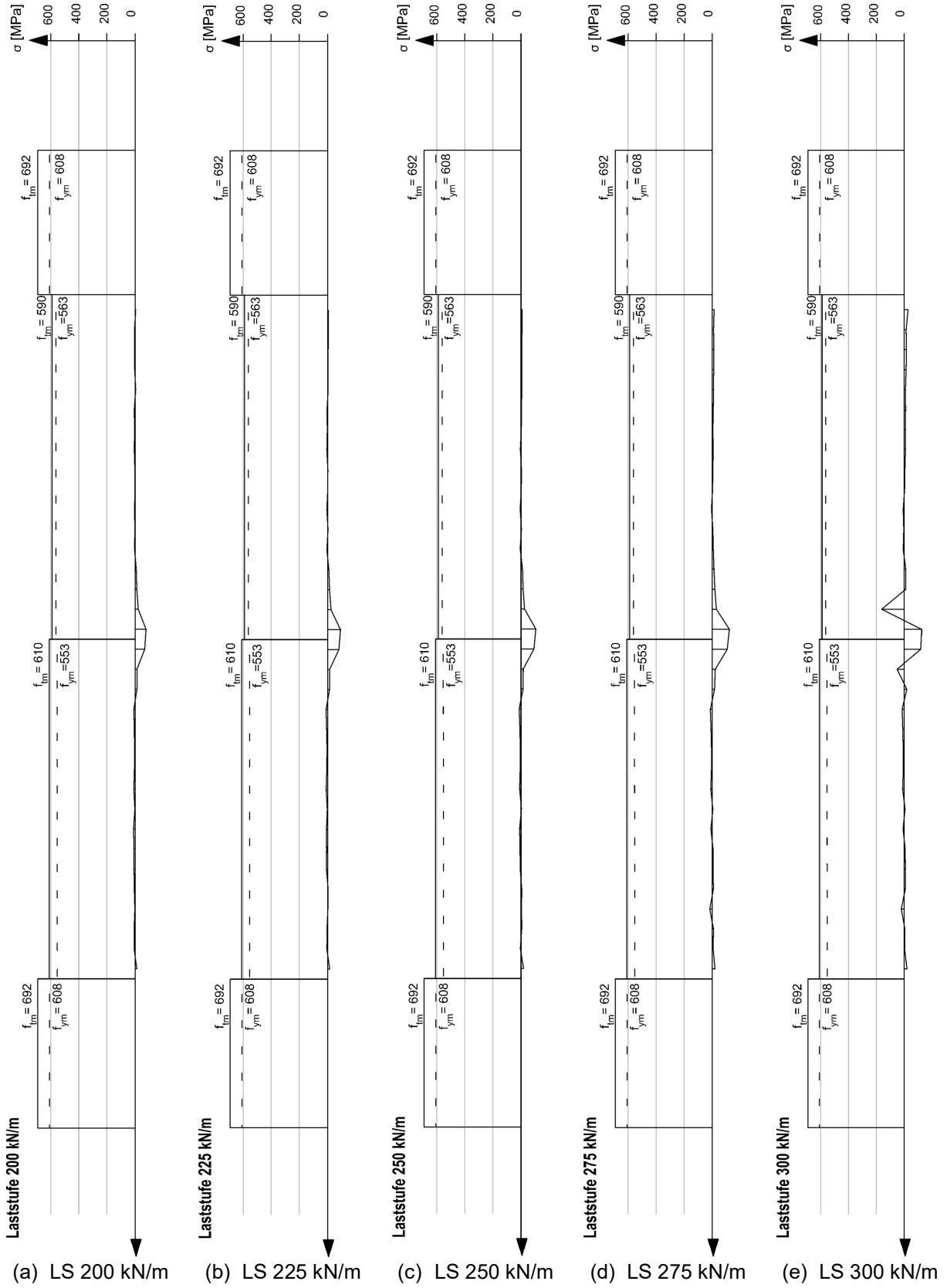


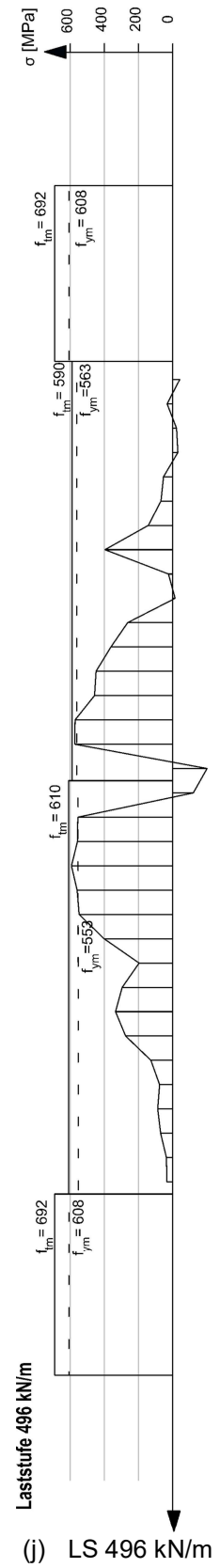
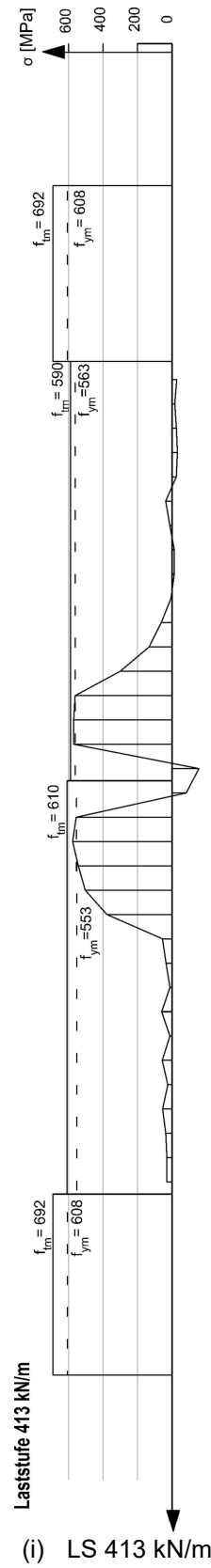
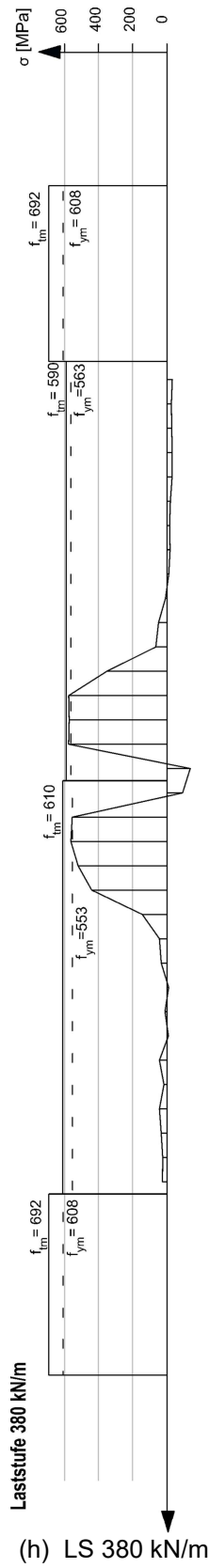
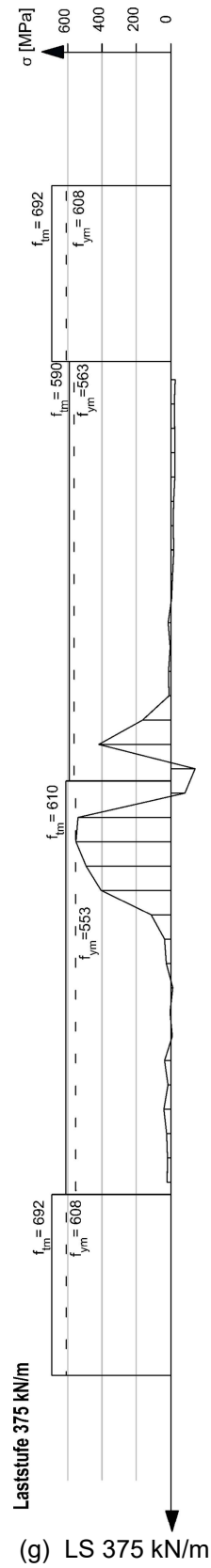
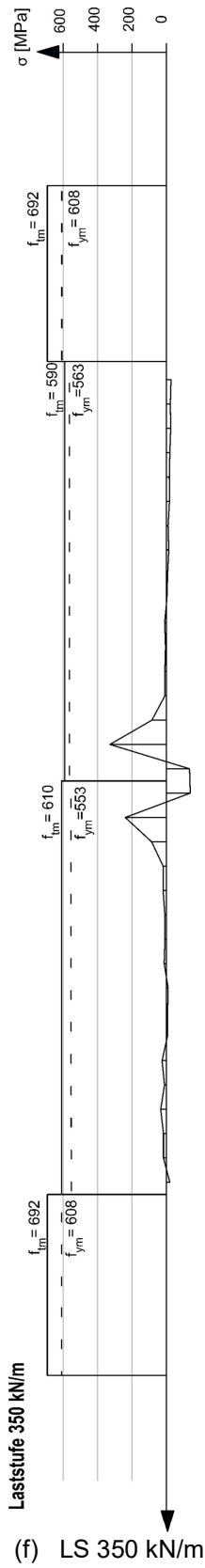
A.2.3.3 Versuchsträger DLT 2.3





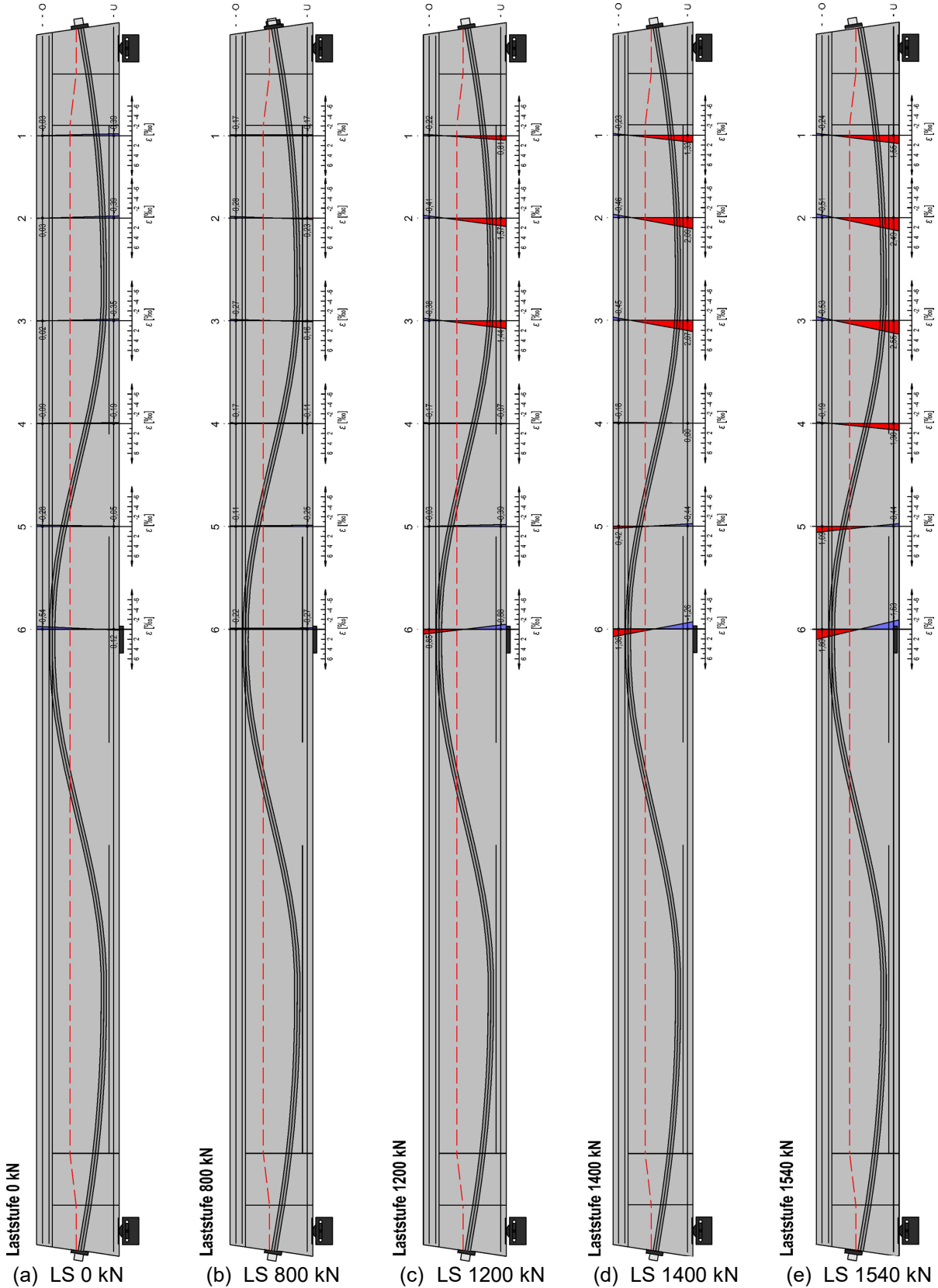
A.2.3.4 Versuchsträger DLT 2.4



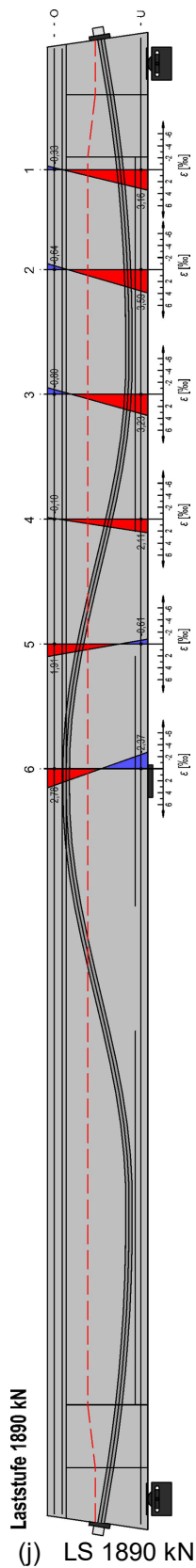
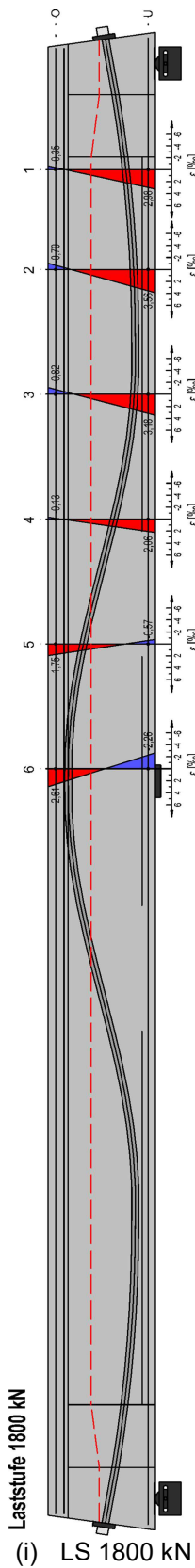
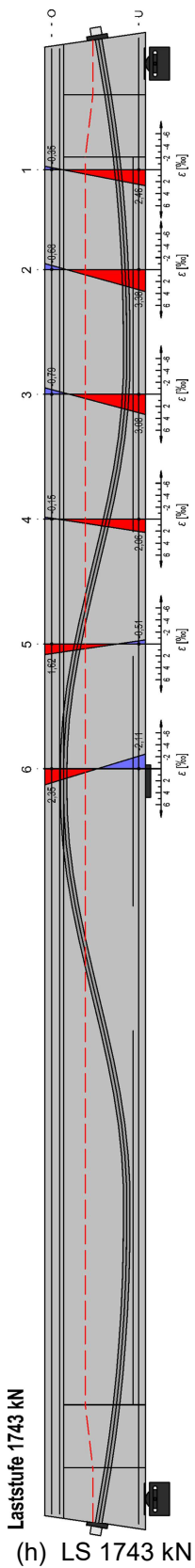
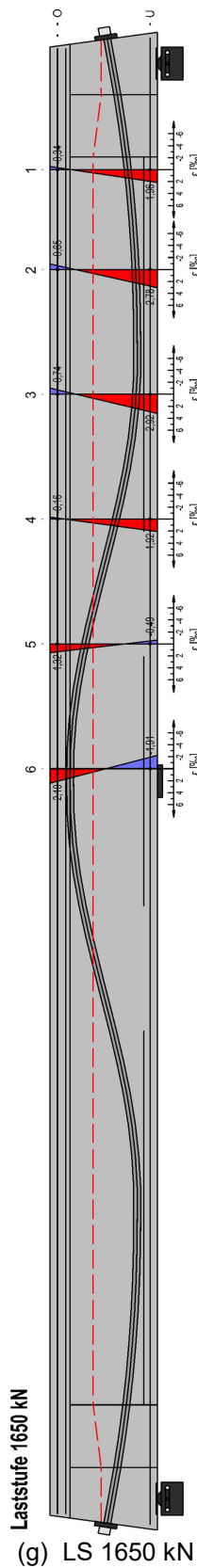
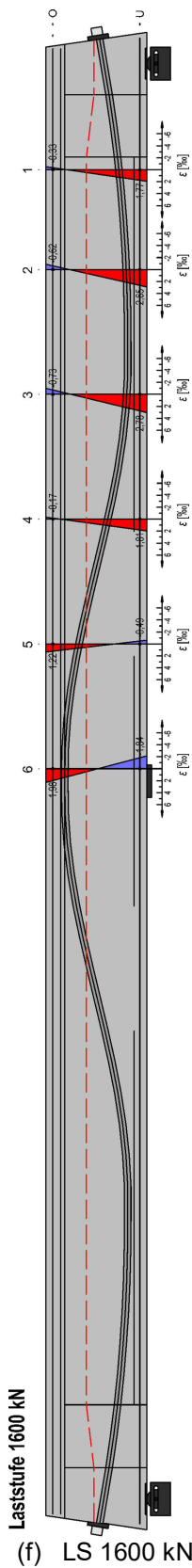


A.2.4 Dehnung der Längsbewehrung [GLEICH, 2018b]

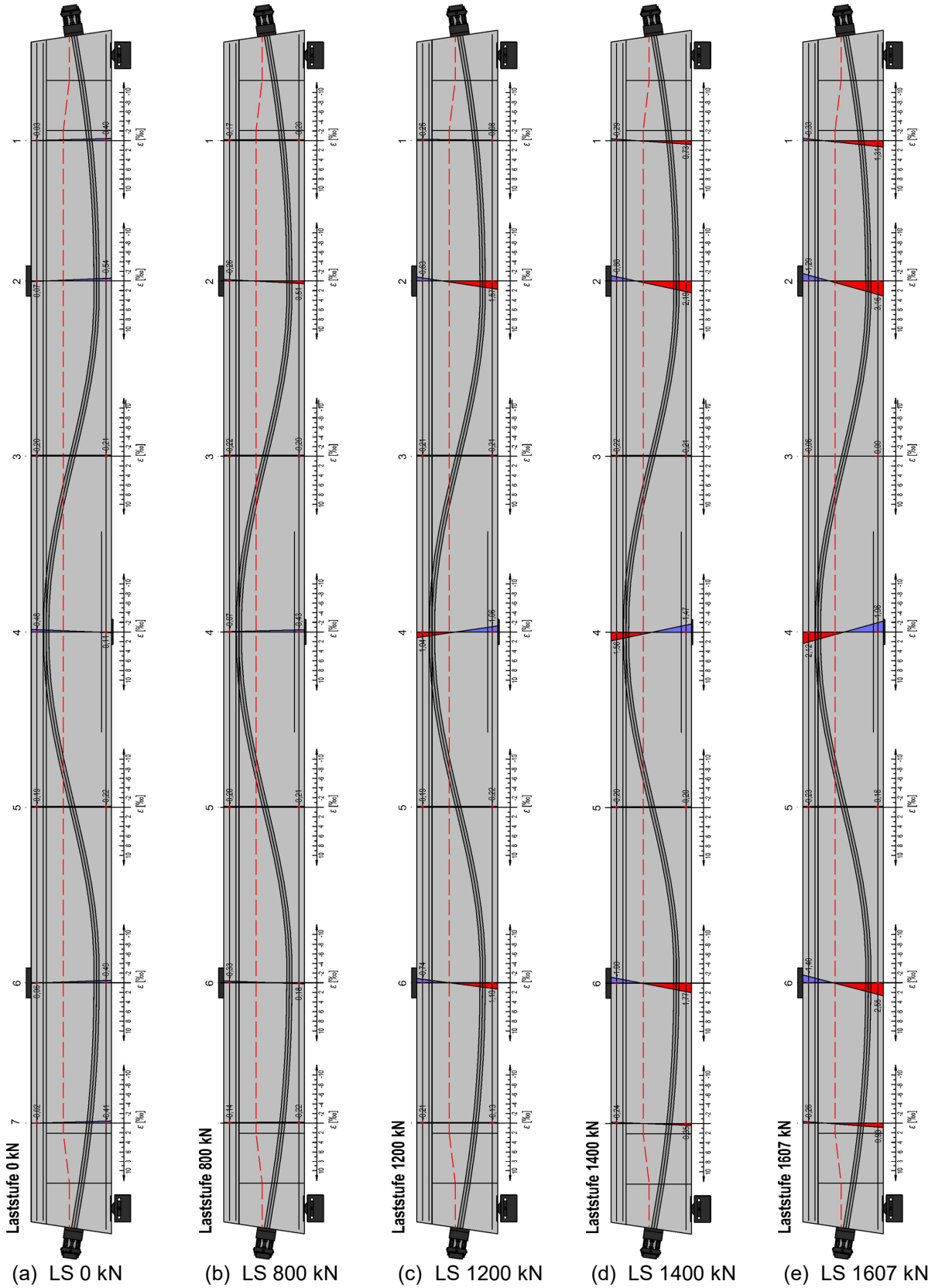
A.2.4.1 Versuchsträger DLT 2.1

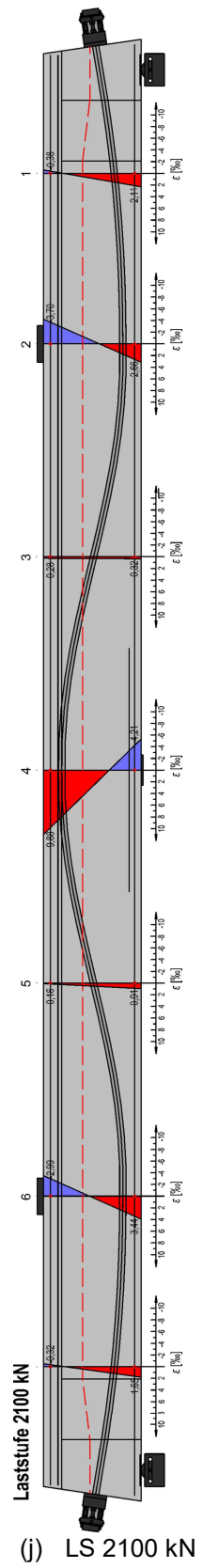
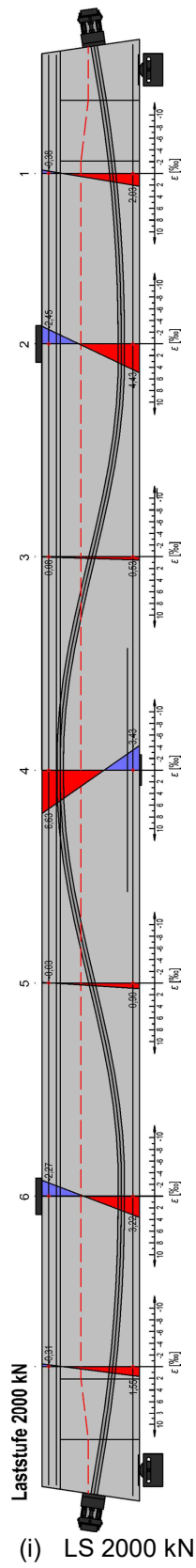
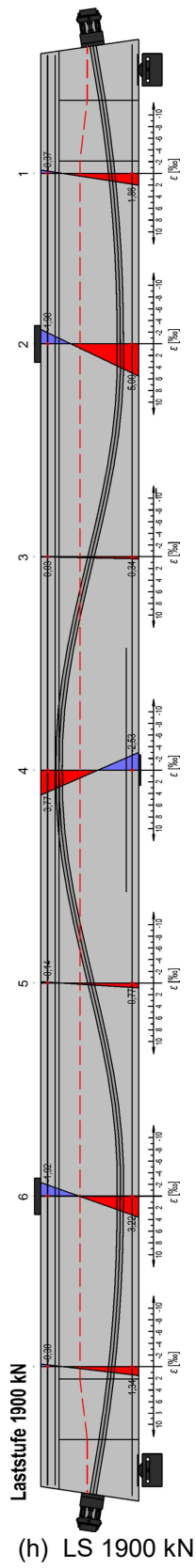
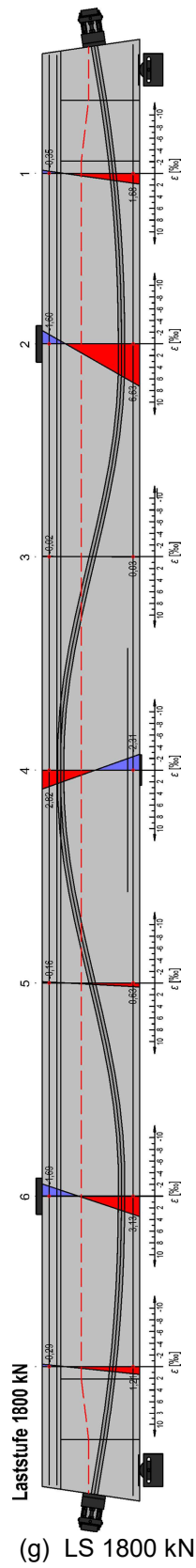
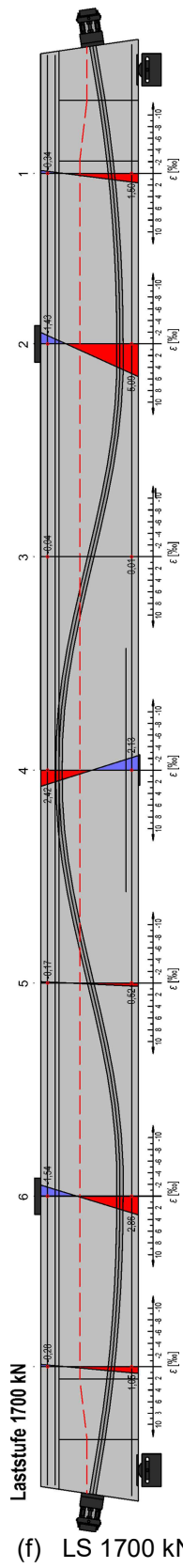




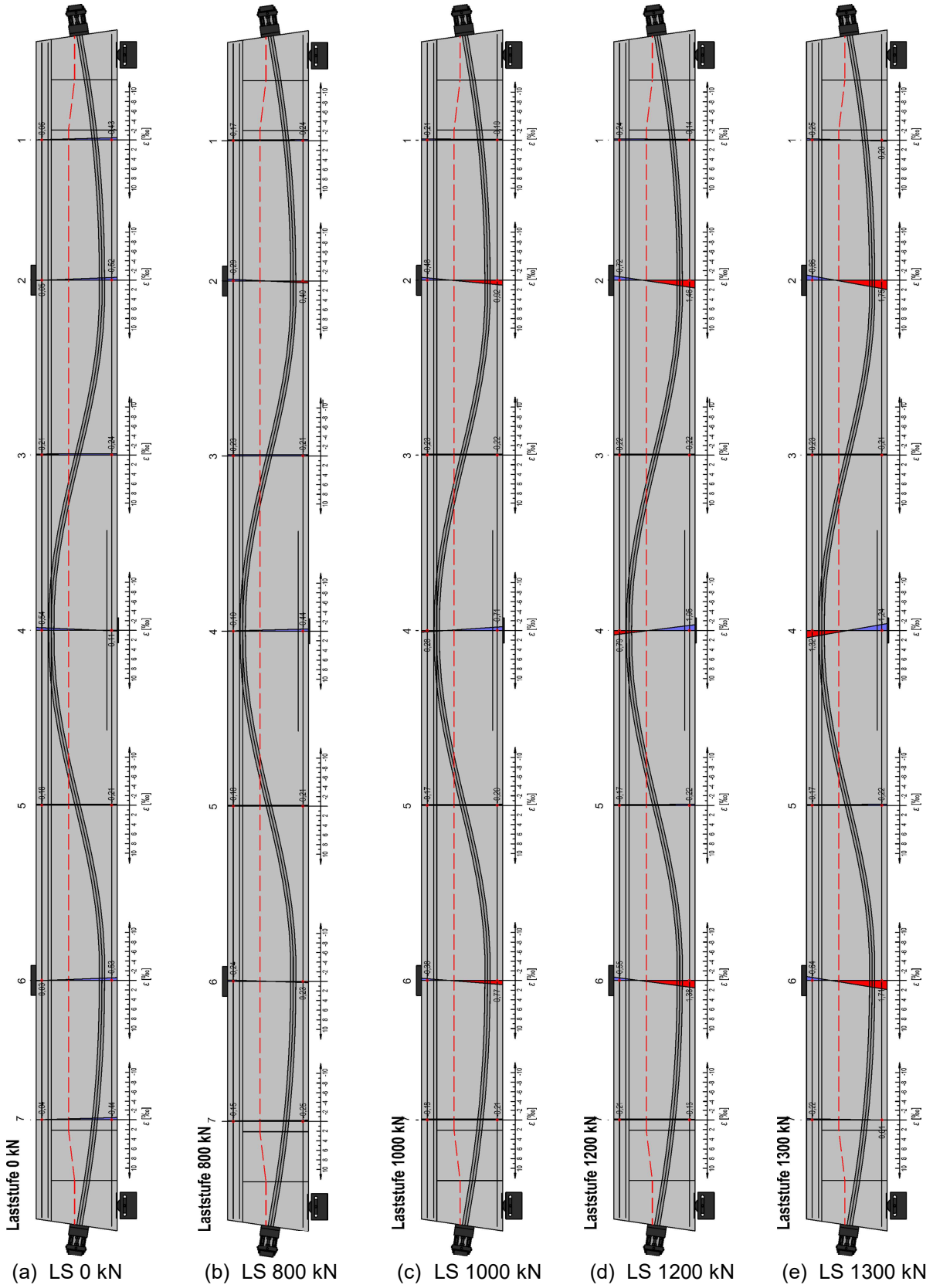


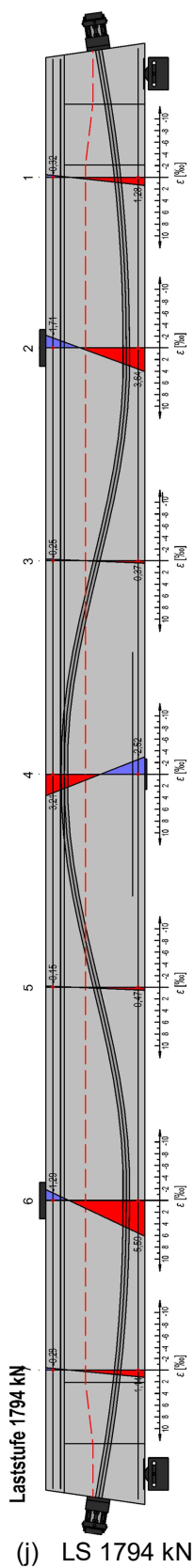
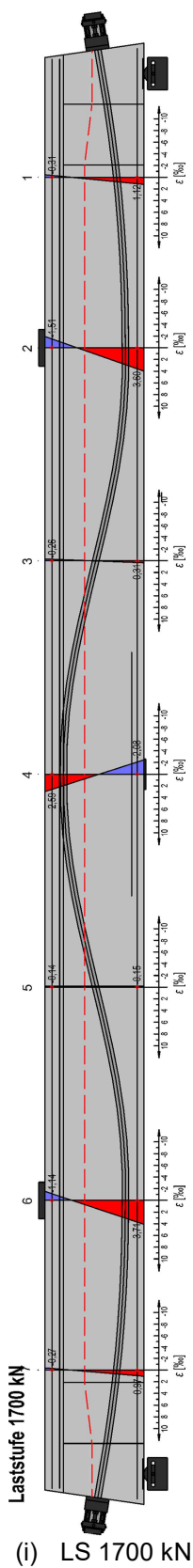
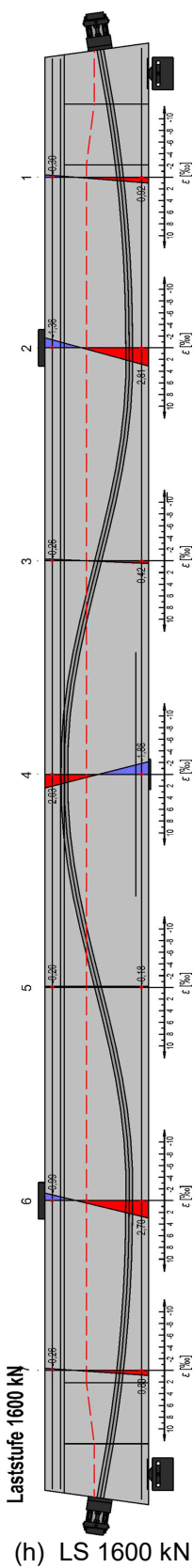
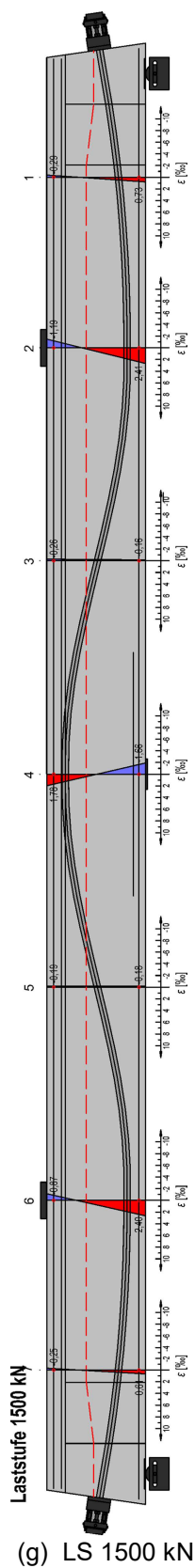
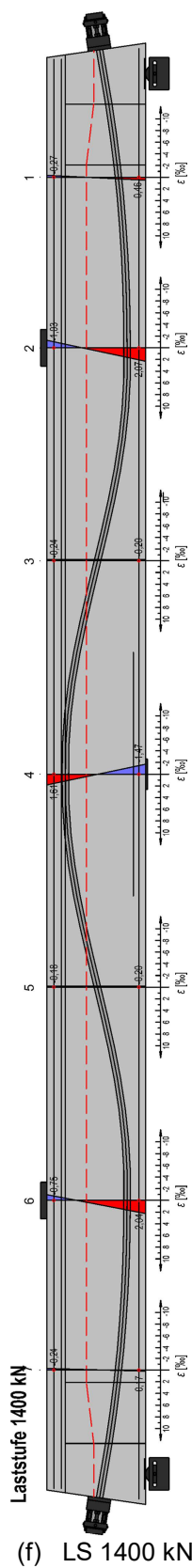
A.2.4.2 Versuchsträger DLT 2.2



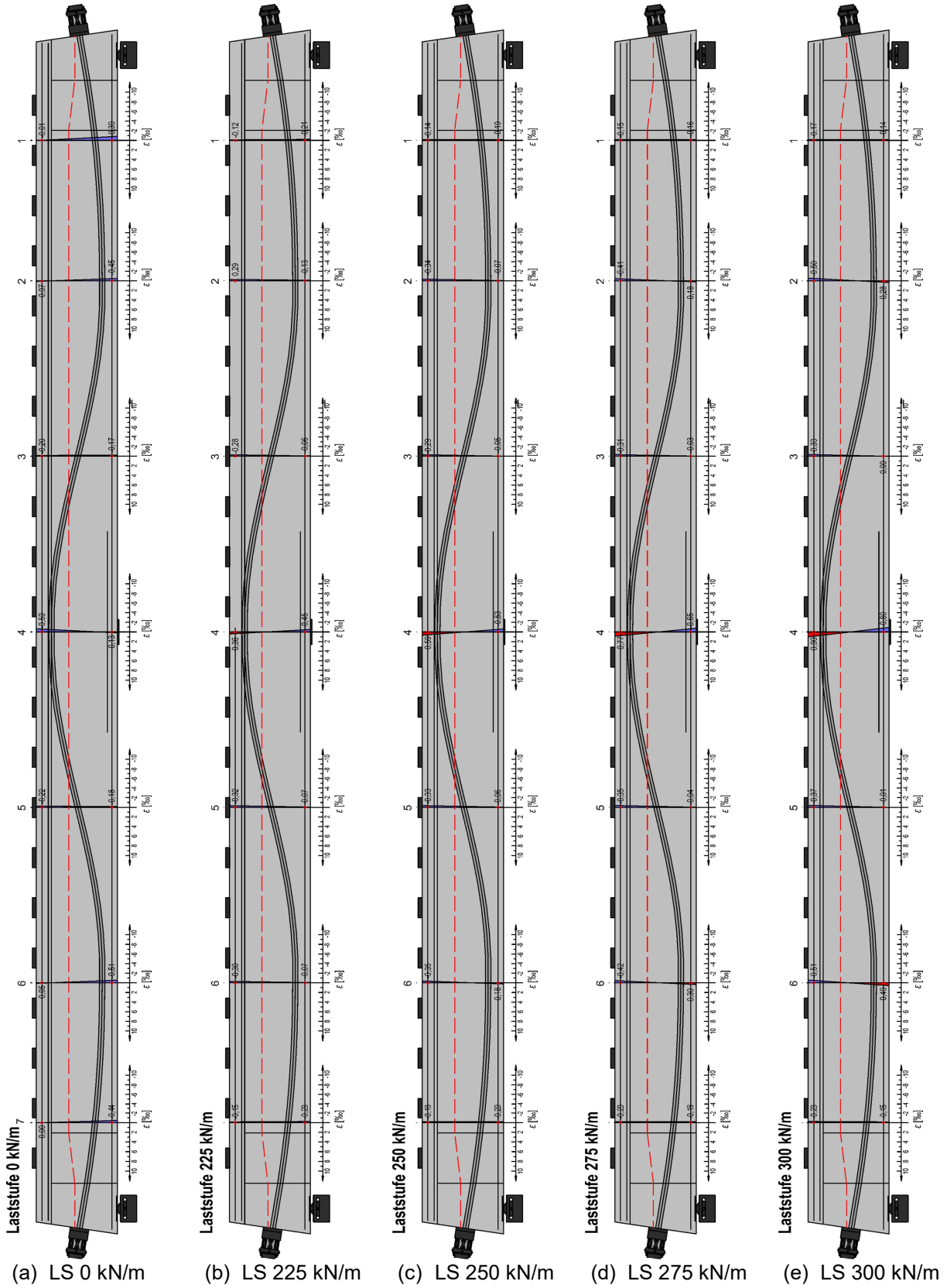


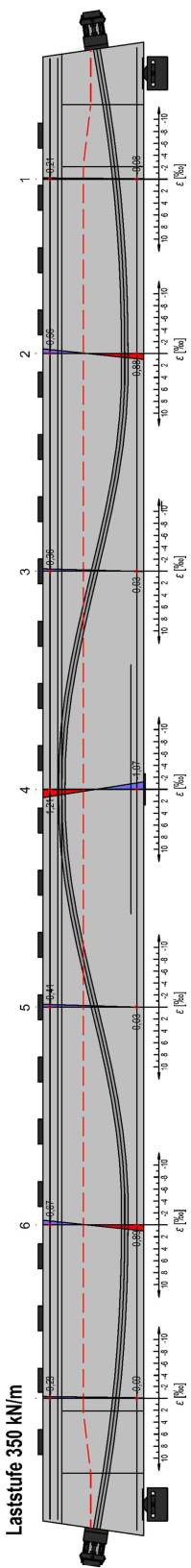
A.2.4.3 Versuchsträger DLT 2.3



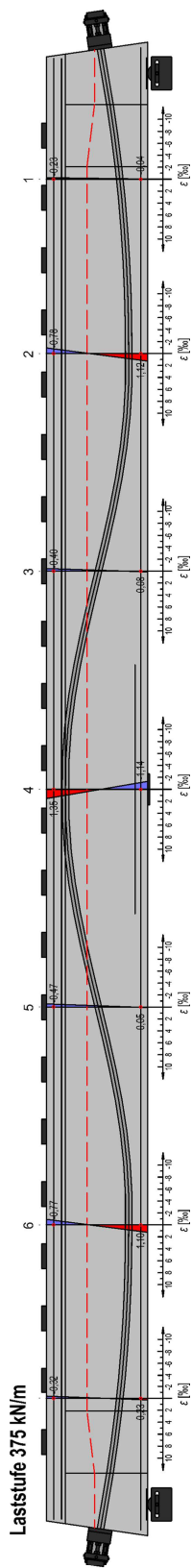


A.2.4.4 Versuchsträger DLT 2.4

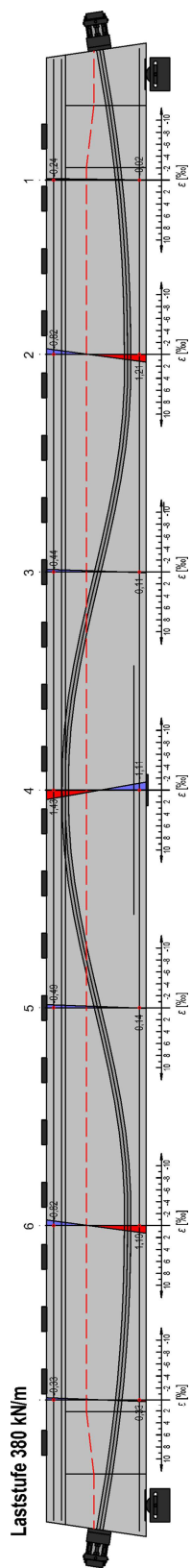




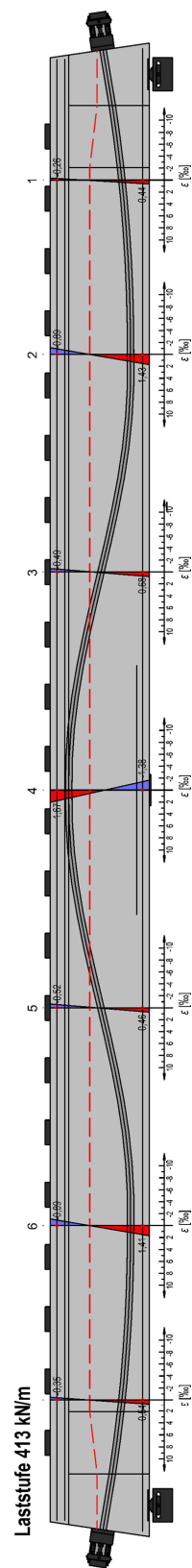
(f) LS 350 kN/m



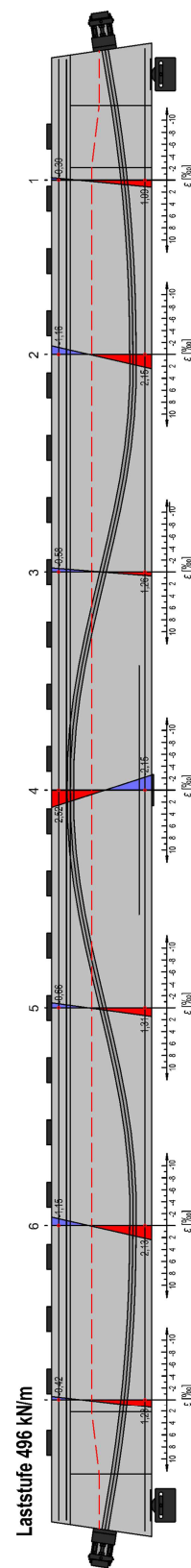
(g) LS 375 kN/m



(h) LS 380 kN/m



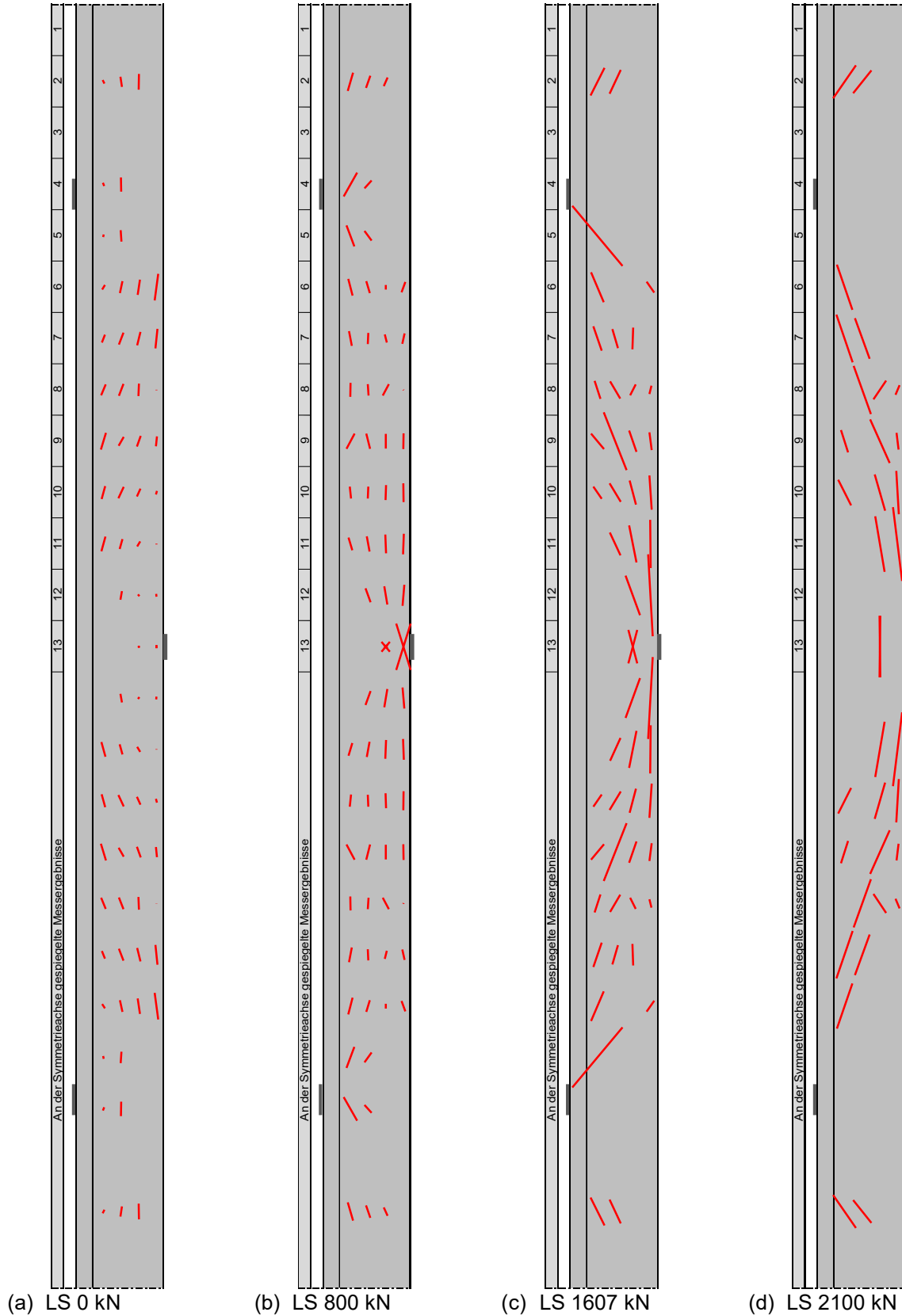
(i) LS 413 kN/m



(j) LS 496 kN/m

A.2.5 Betondehnungen für ausgewählte Laststufen [GLEICH, 2018b]

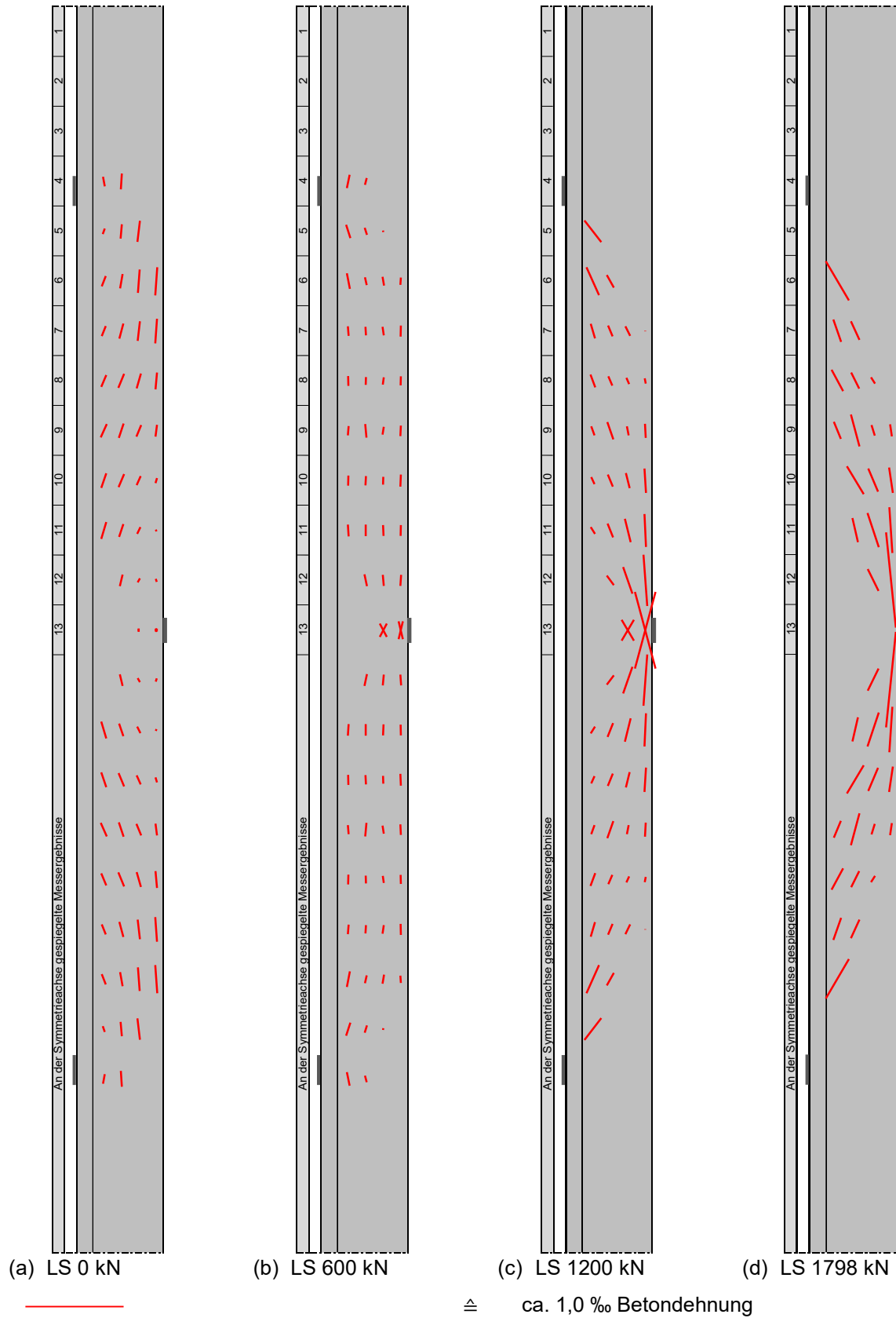
A.2.5.1 Hauptdruckdehnungstrajektorien Versuchsträger DLT 2.2



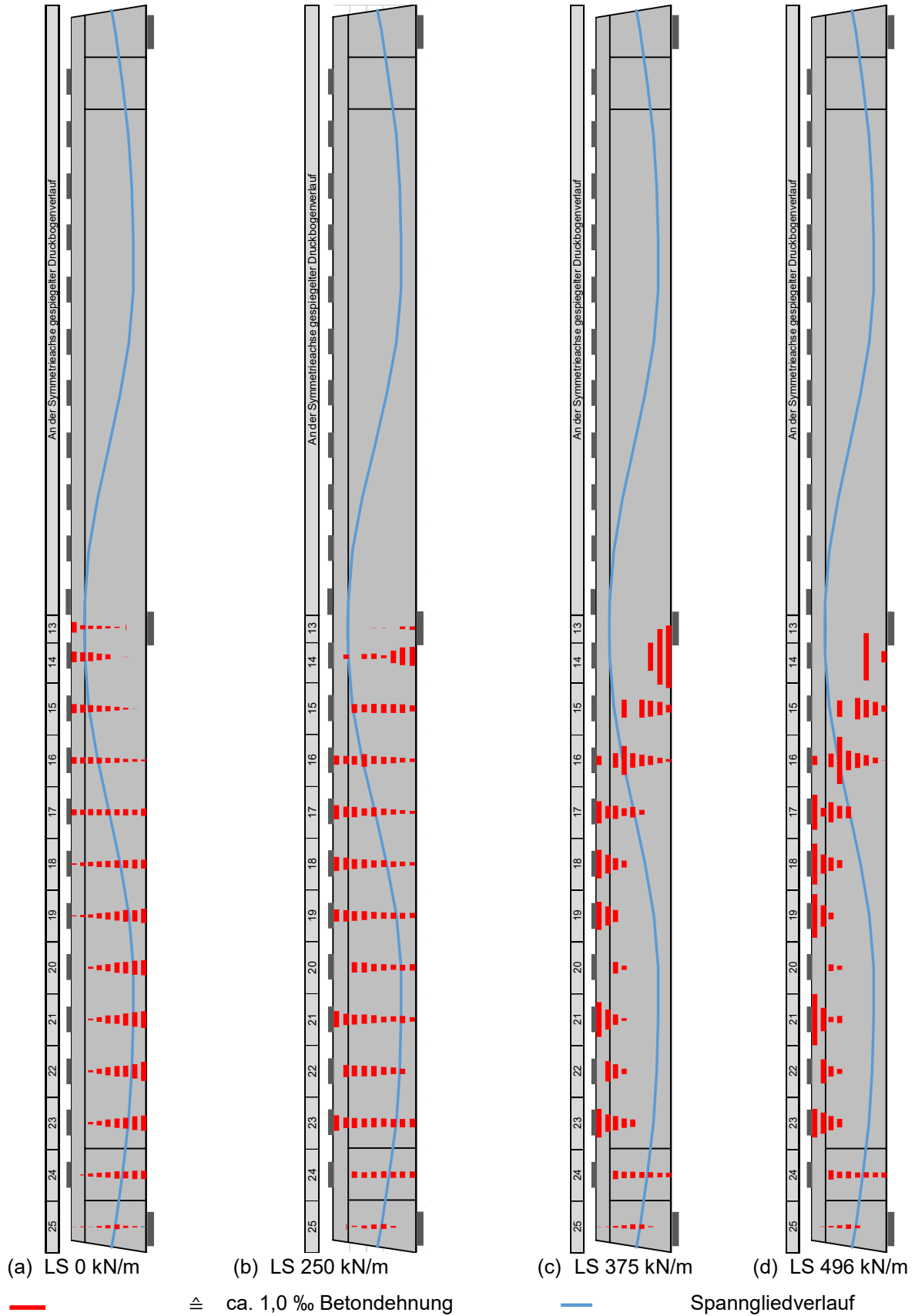
≅ ca. 1,0 ‰ Betondehnung



## A.2.5.2 Hauptdruckdehnungstrajektorien Versuchsträger DLT 2.3



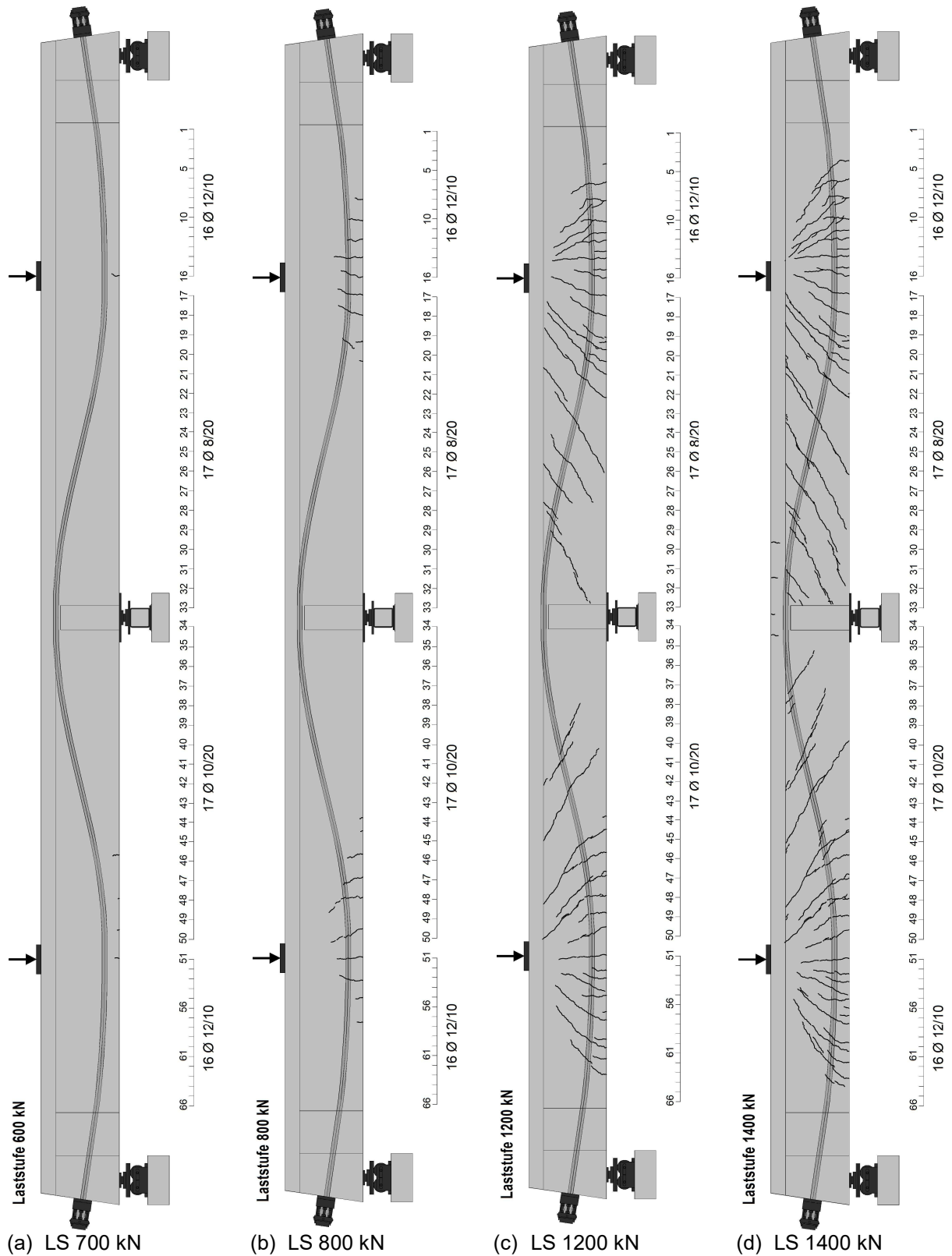
A.2.5.3 Einaxiale Betondehnungen Versuchsträger DLT 2.4

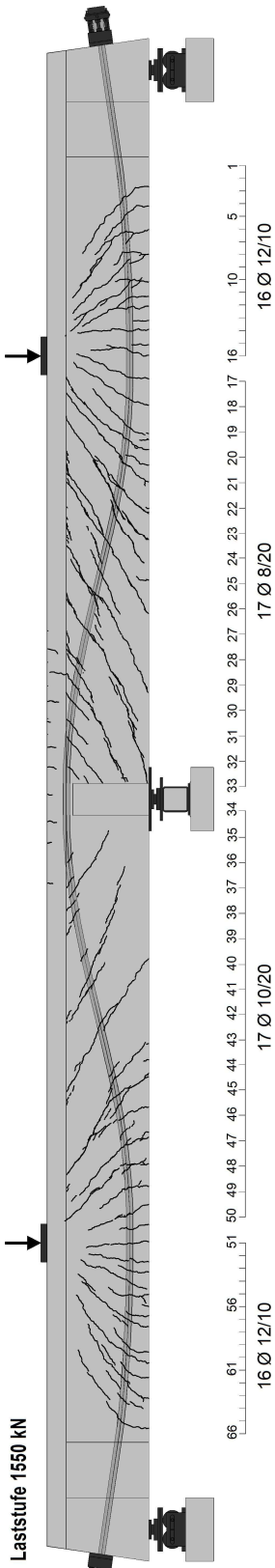


## A.3 Messergebnisse – Versuche mit kombinierter Beanspruchung aus M+V+T

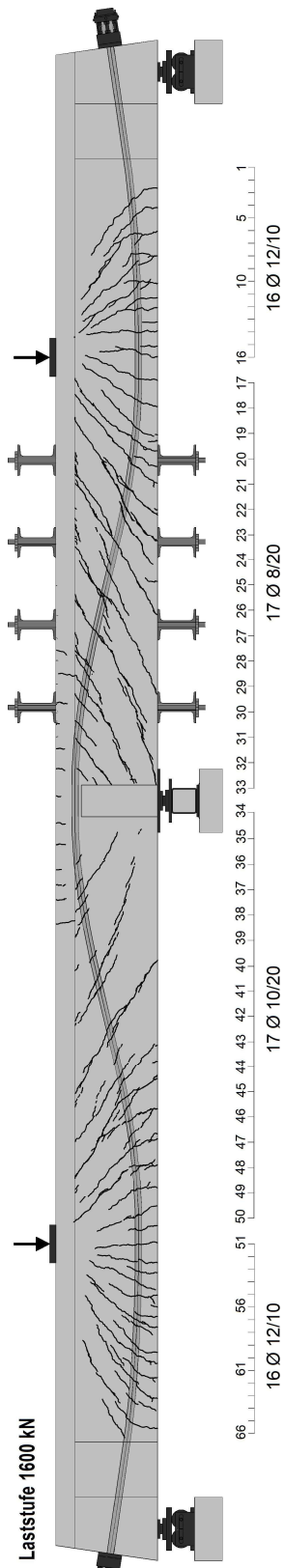
### A.3.1 Rissbilder

#### A.3.1.1 Versuchsträger DLT 2.5

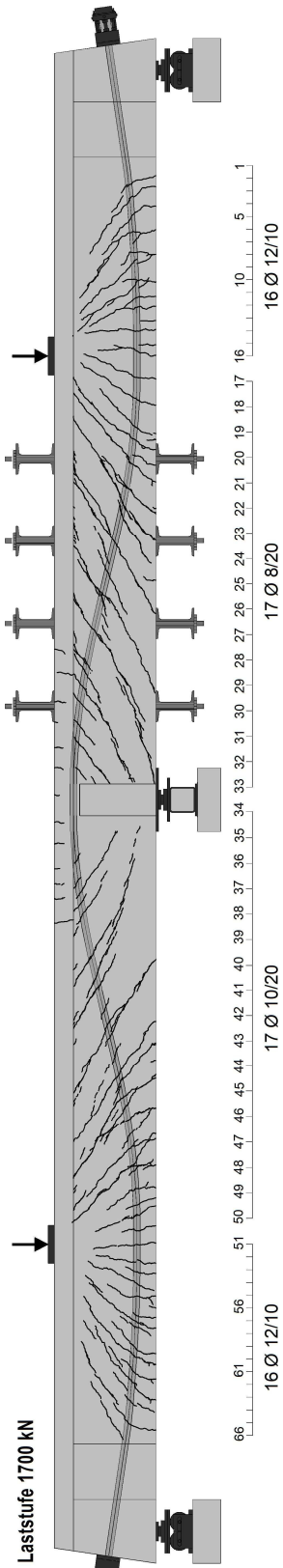




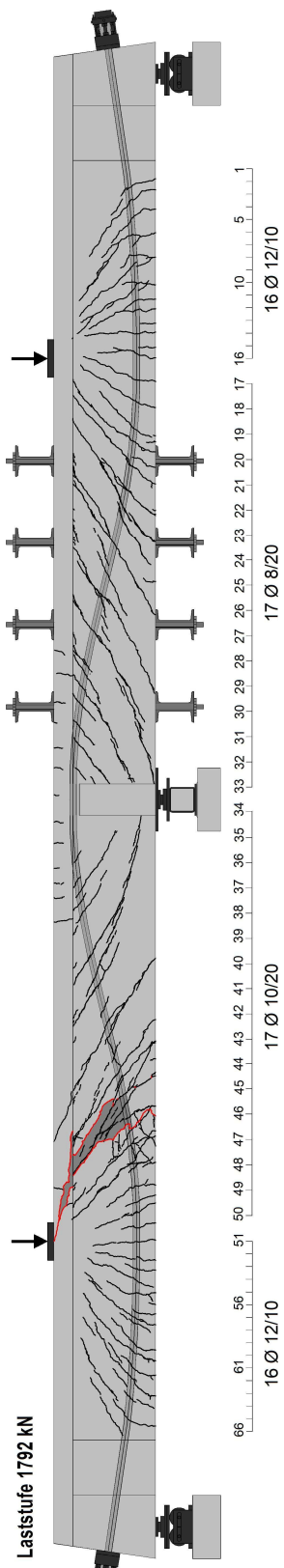
(e) LS 1550 kN



(f) LS 1600 kN

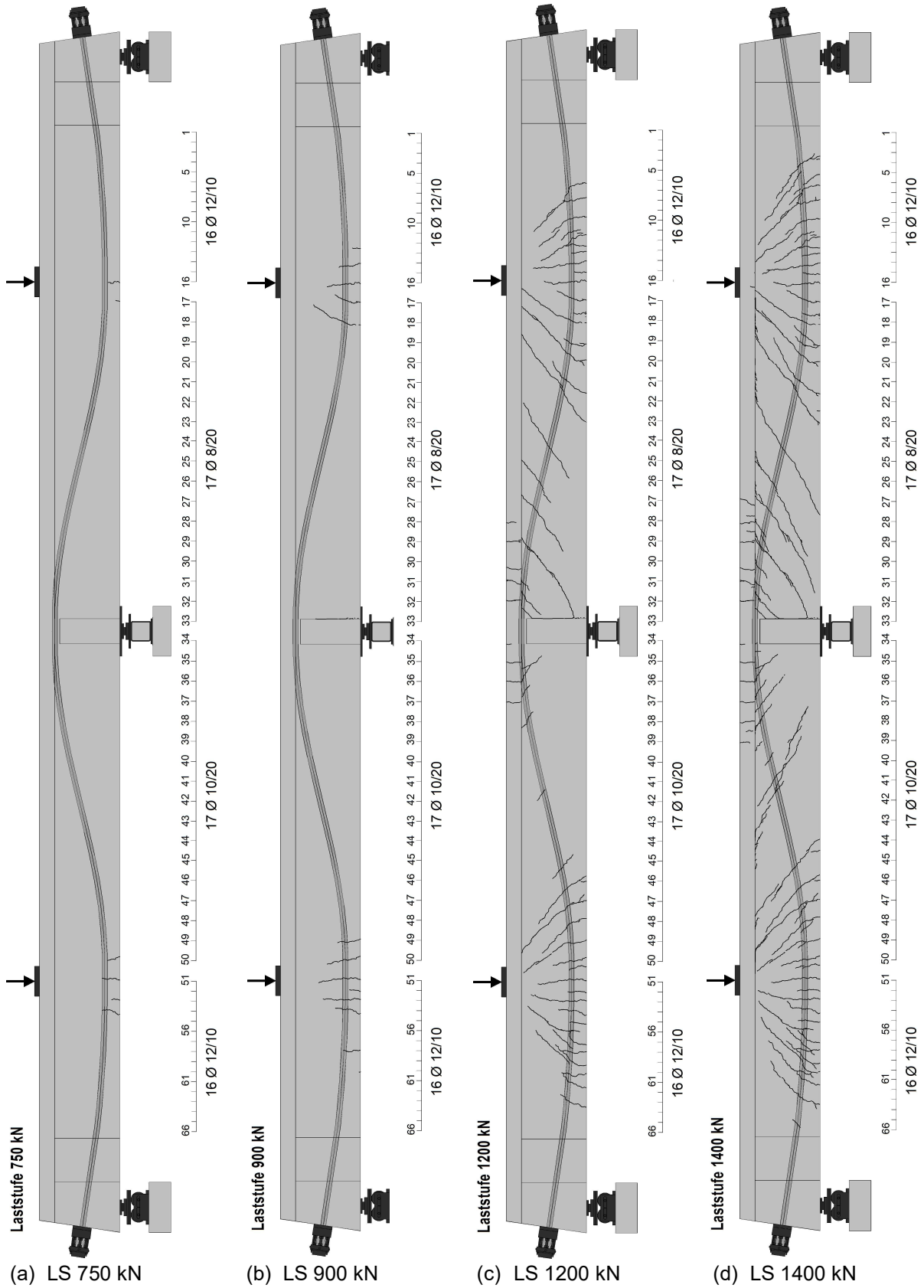


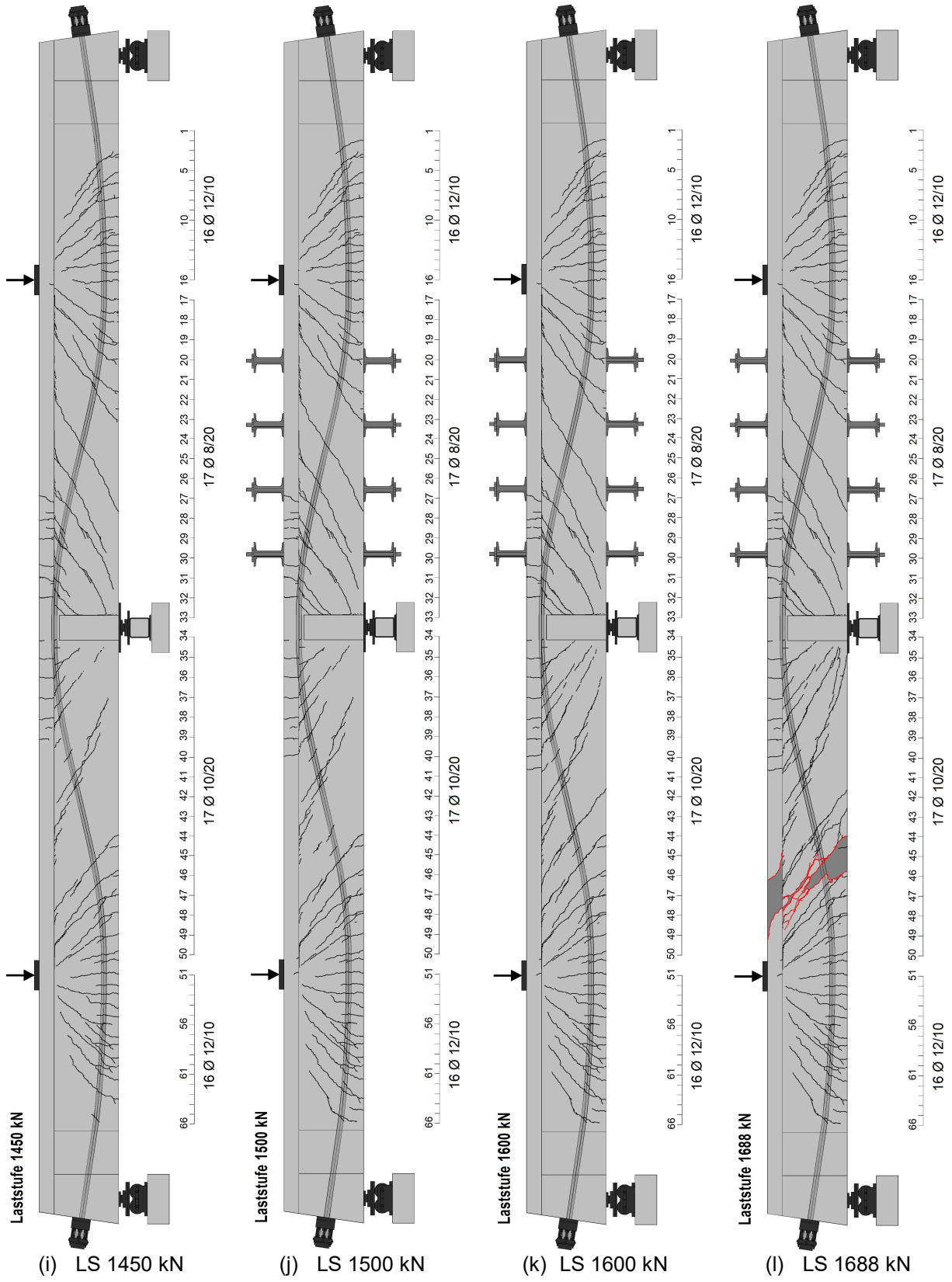
(g) LS 1700 kN



(h) LS 1792 kN

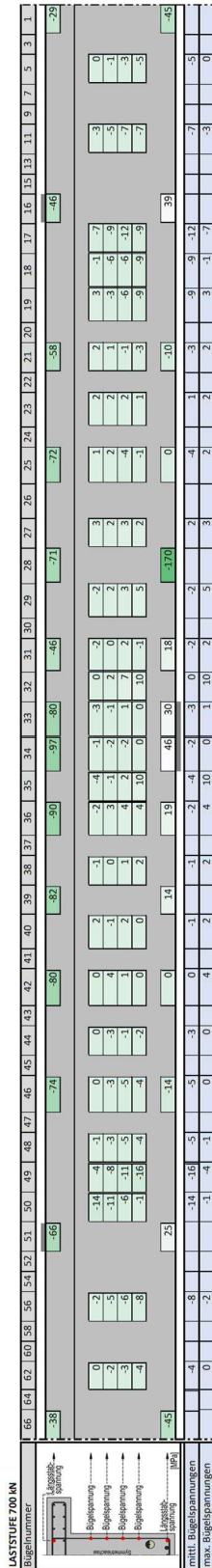
A.3.1.2 Versuchsträger DLT 2.6



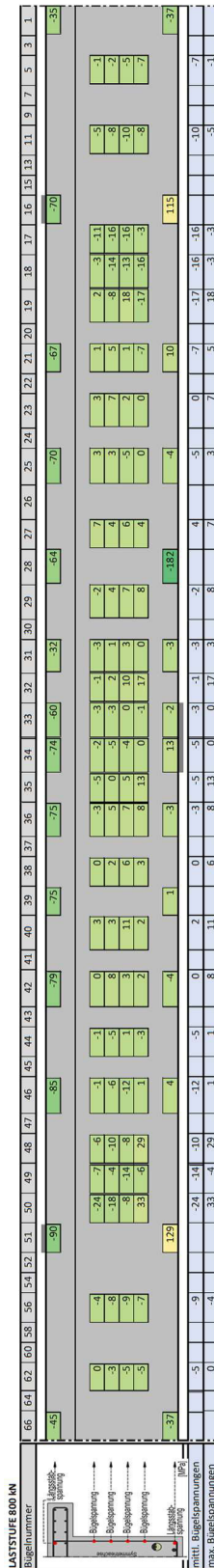


### A.3.2 Stahlspannungen

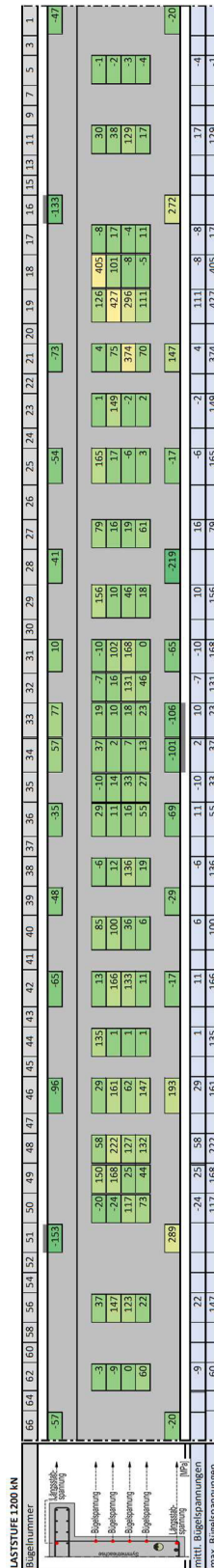
#### A.3.2.1 Versuchsträger DLT 2.5



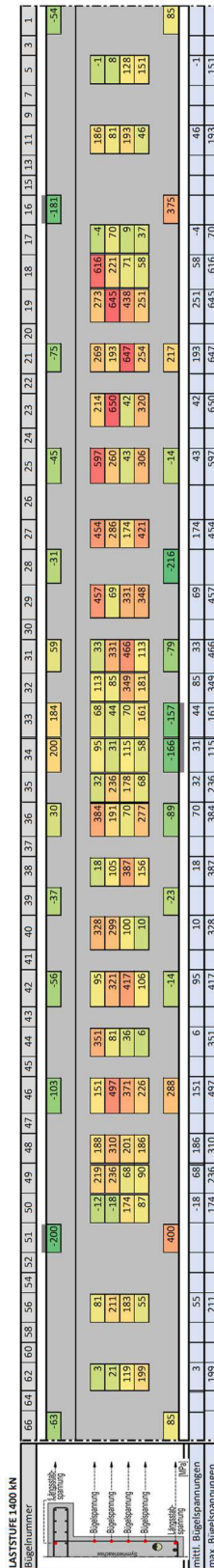
(a) LS 700 kN



(b) LS 800 kN



(c) LS 1200 kN



(d) LS 1400 kN





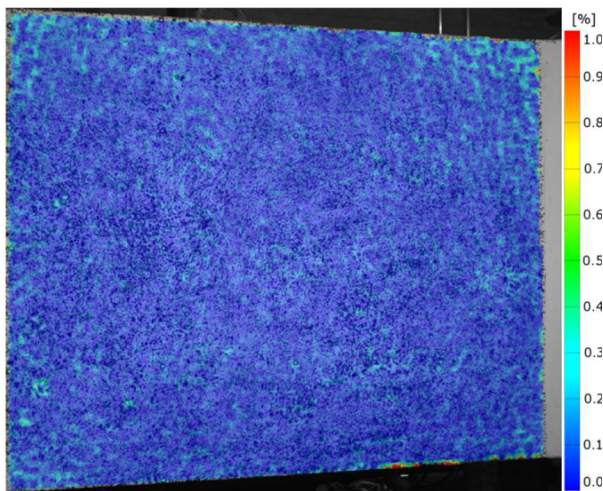




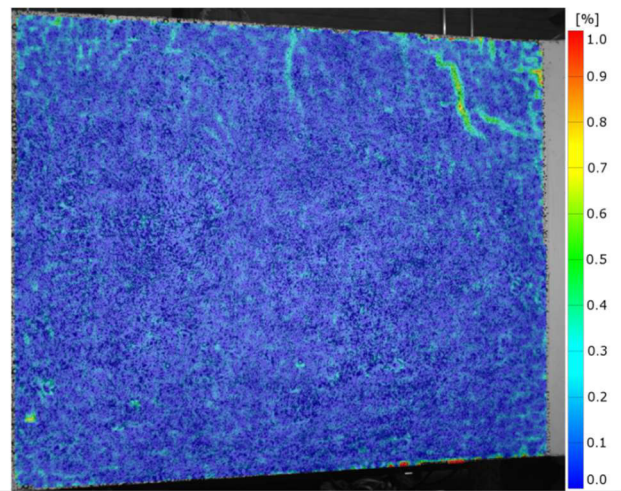
## A.4 Messergebnisse – Technische Universität München

### A.4.1 Ergebnisse der optischen Messungen im Bereich der Mittelstütze (SCHRAMM, 2020)

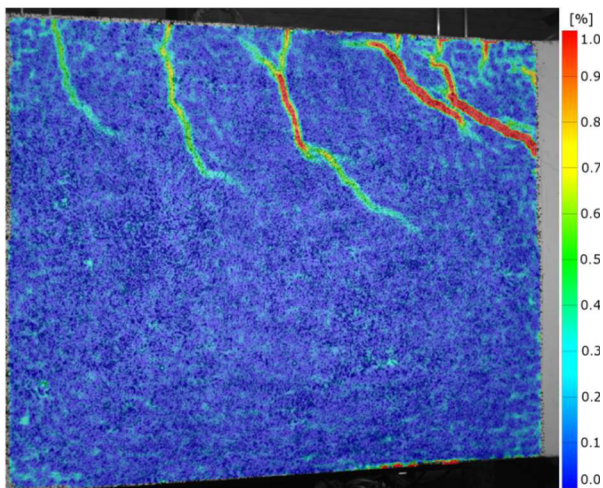
#### A.4.1.1 Versuchsträger V1, ohne Bügelbewehrung, $V_{\max}=596$ kN



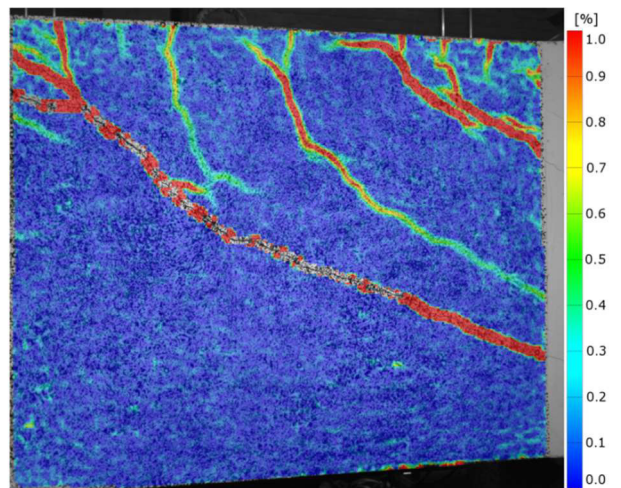
A 4: Laststufe 25%  $V_{\max}$



A 4: Laststufe 50%  $V_{\max}$

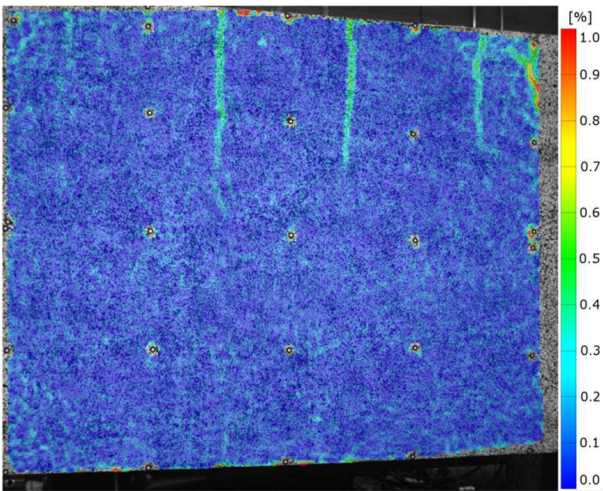


A 4: Laststufe 75%  $V_{\max}$

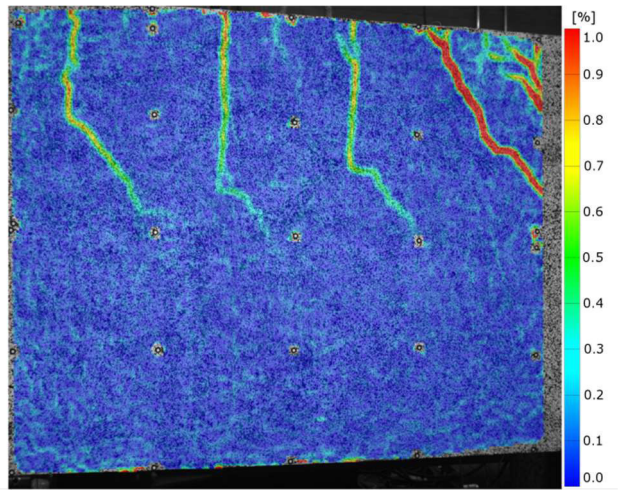


A 4: Laststufe 100%  $V_{\max}$

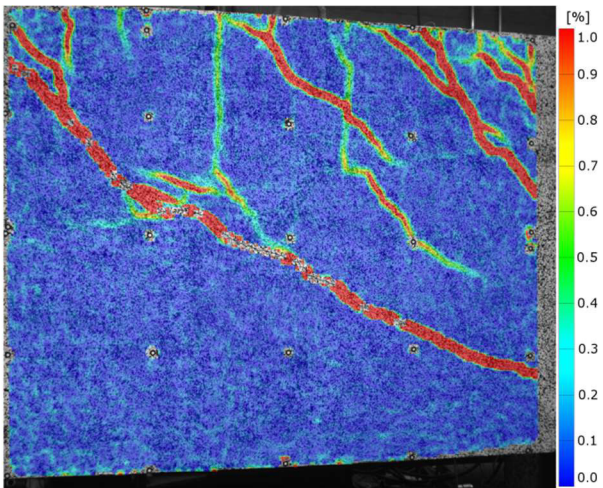
A.4.1.2 Versuchsträger V2, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel,  $V_{max}=711$  kN



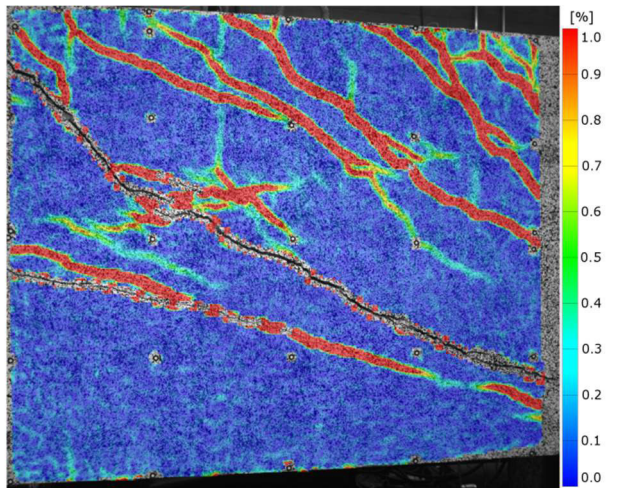
A 10: Laststufe 25%  $V_{max}$



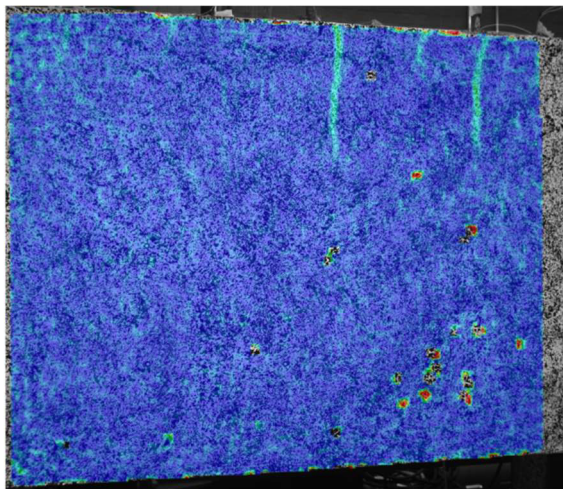
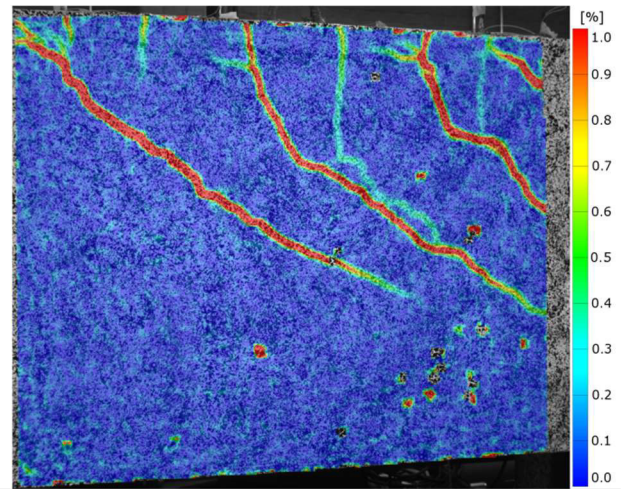
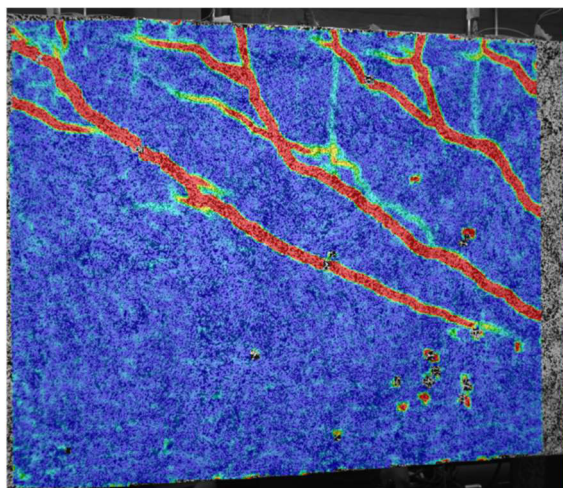
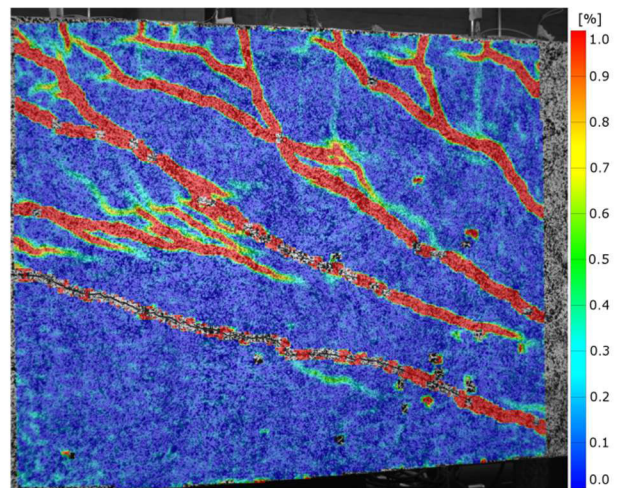
A 10: Laststufe 50%  $V_{max}$



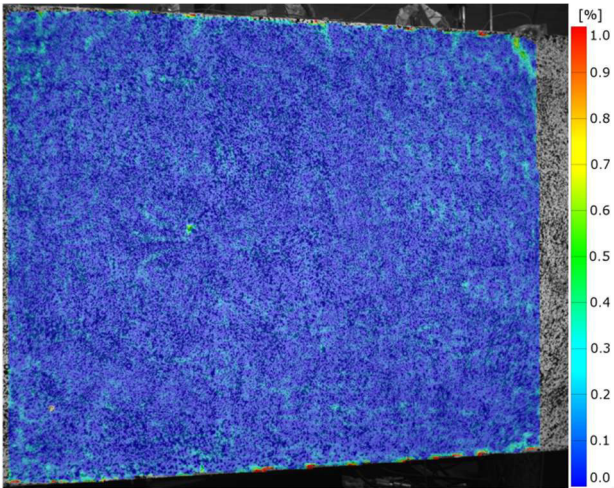
A 10: Laststufe 75%  $V_{max}$



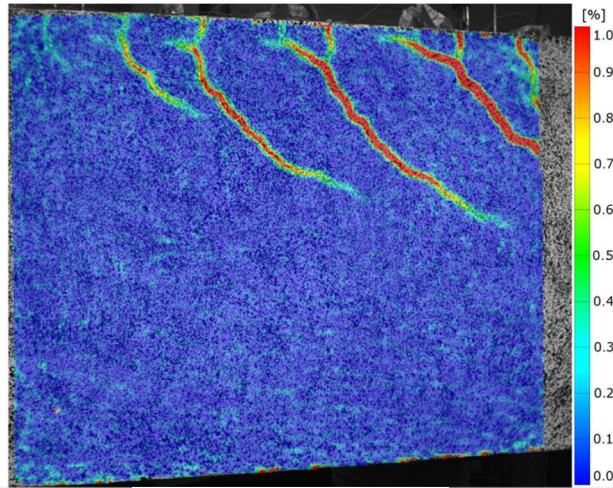
A 10: Laststufe 100%  $V_{max}$

A.4.1.3 Versuchsträger V3, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel,  $V_{\max}=713$  kNA 14: Laststufe 25%  $V_{\max}$ A 14: Laststufe 50%  $V_{\max}$ A 14: Laststufe 75%  $V_{\max}$ A 14: Laststufe 100%  $V_{\max}$

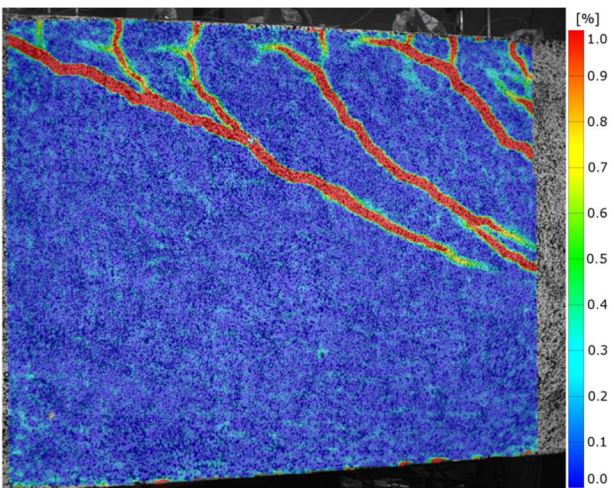
A.4.1.4 Versuchsträger V4, Bügel Ø6/25, oben offene Bügel,  $V_{max}=659$  kN



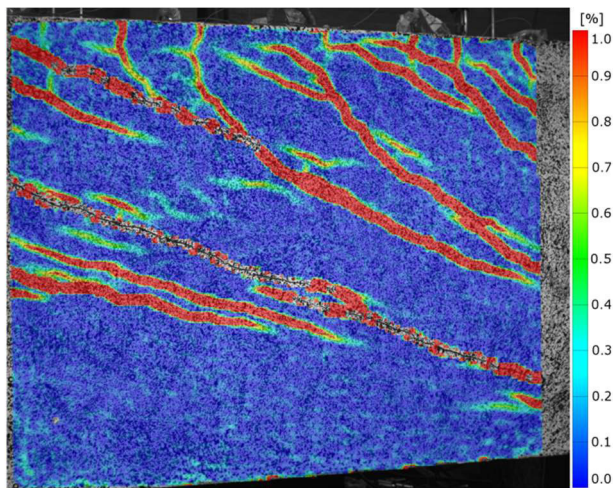
A 18: Laststufe 25%  $V_{max}$



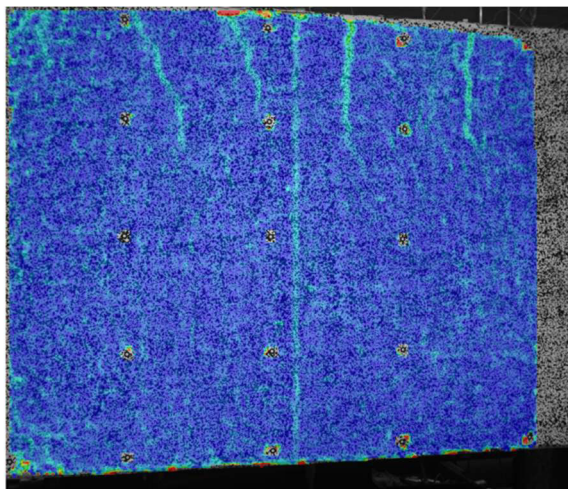
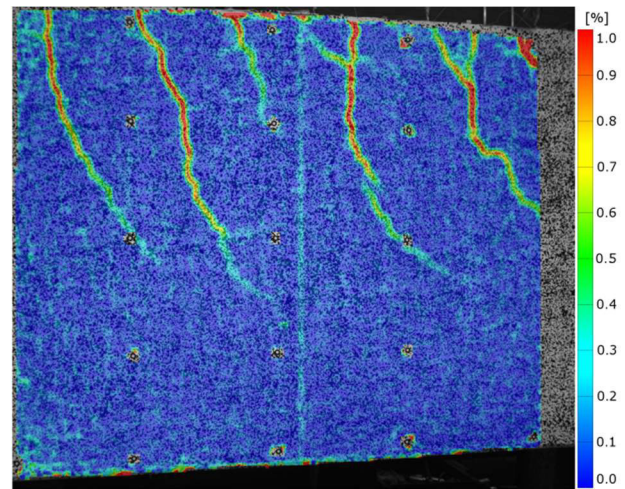
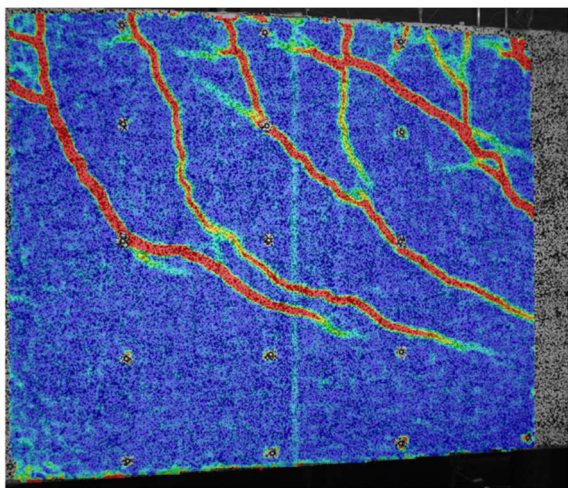
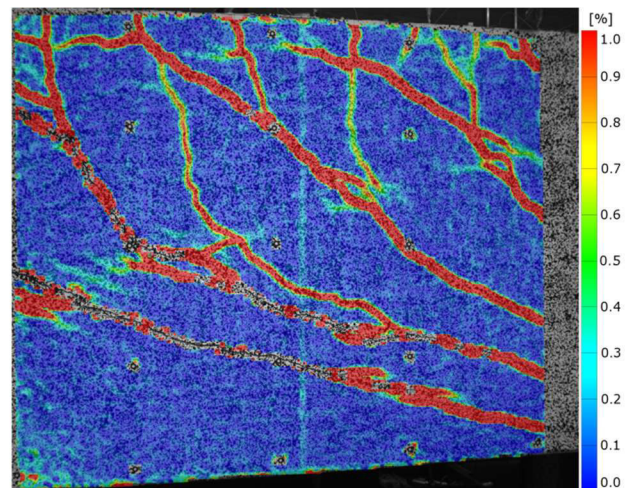
A 18: Laststufe 50%  $V_{max}$



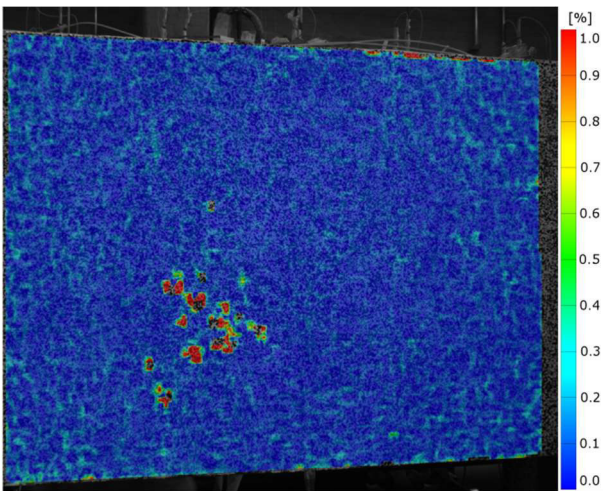
A 18: Laststufe 75%  $V_{max}$



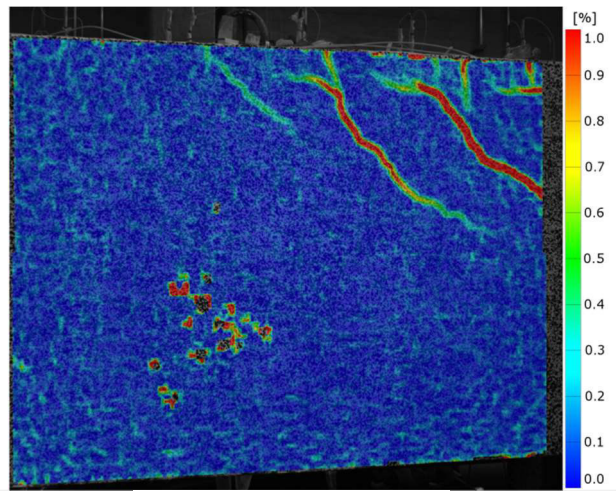
A 18: Laststufe 100%  $V_{max}$

A.4.1.5 Versuchsträger V5, Bügel Ø6/25, oben offene Bügel,  $V_{\max}=583$  kNA 22: Laststufe 25%  $V_{\max}$ A 22: Laststufe 50%  $V_{\max}$ A 22: Laststufe 75%  $V_{\max}$ A 22: Laststufe 100%  $V_{\max}$

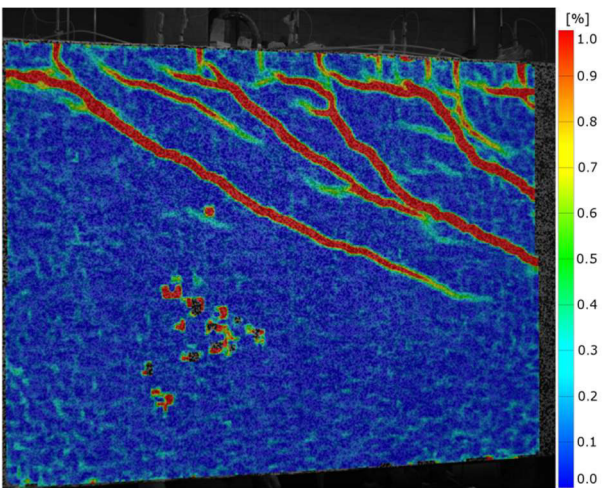
A.4.1.6 Versuchsträger V6, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel + Stecker im Stützbereich,  $V_{max}=704$  kN



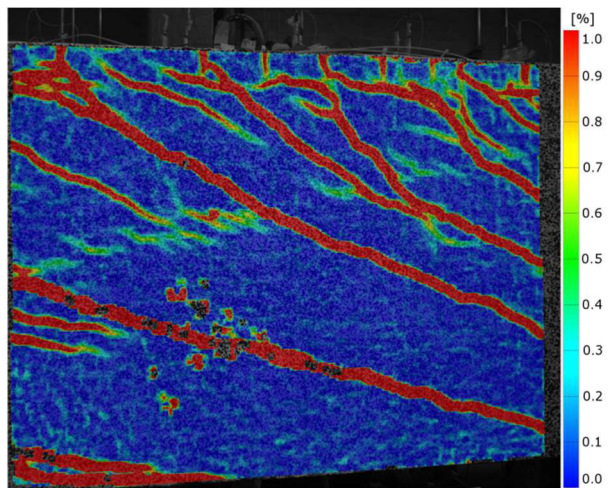
A 26: Laststufe 25%  $V_{max}$



A 26: Laststufe 50%  $V_{max}$



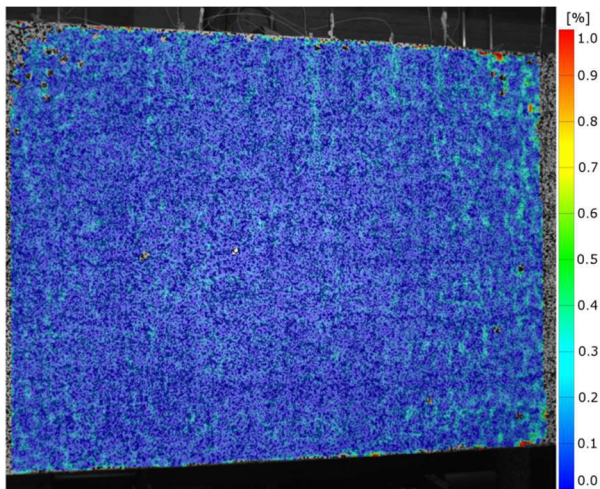
A 26: Laststufe 75%  $V_{max}$



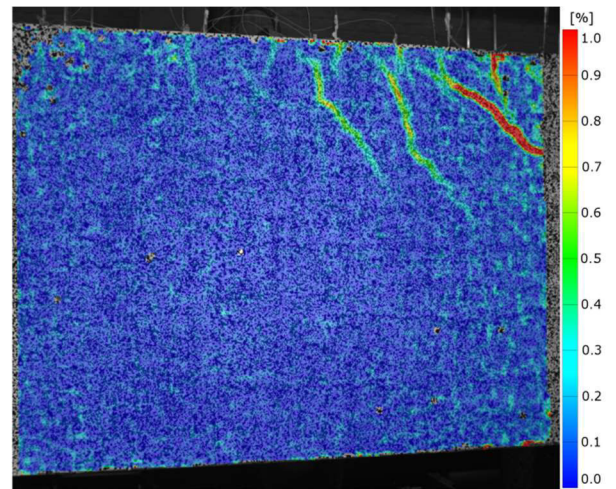
A 26: Laststufe 100%  $V_{max}$



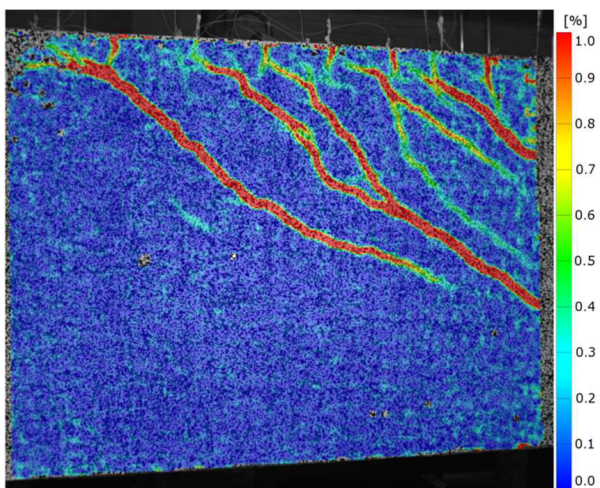
A.4.1.7 Versuchsträger V7, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel + Stecker im Stützbereich,  $V_{\max}=668$  kN



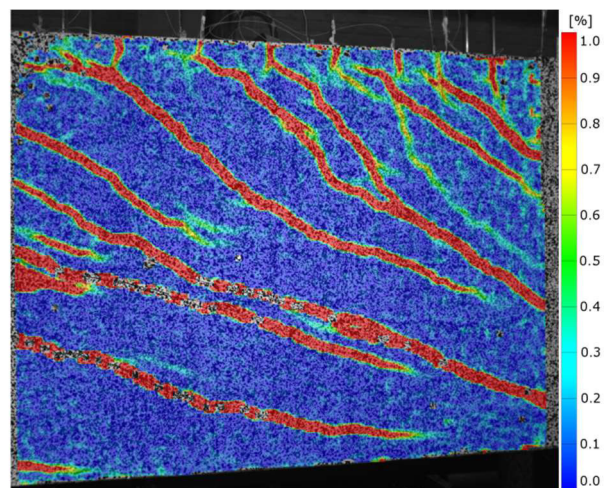
A 30: Laststufe 25%  $V_{\max}$



A 30: Laststufe 50%  $V_{\max}$

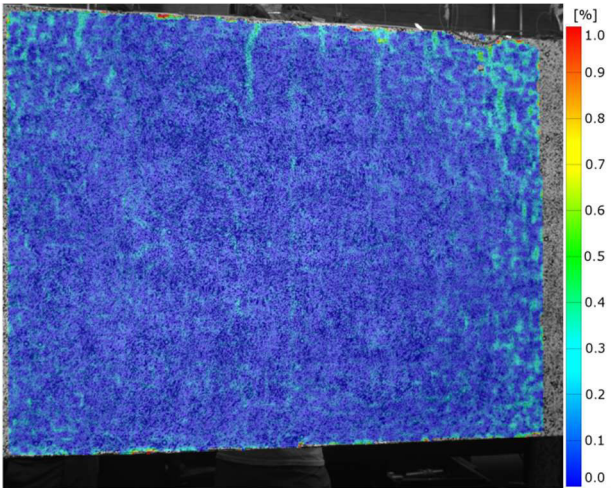


A 30: Laststufe 75%  $V_{\max}$

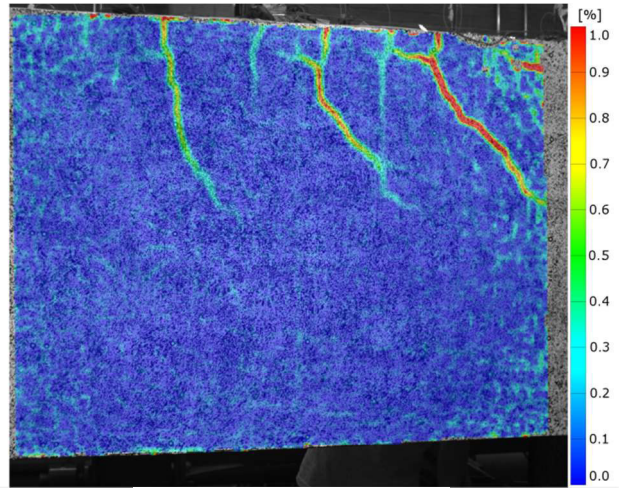


A 30: Laststufe 100%  $V_{\max}$

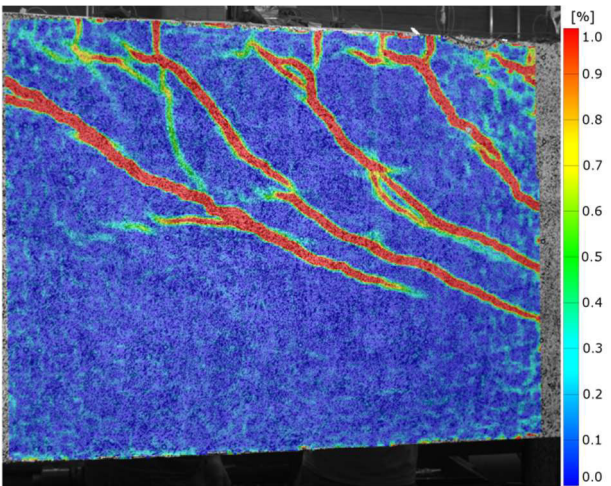
A.4.1.8 Versuchsträger V8, Bügel Ø6/25, gestoßener Bügel,  $V_{max}=704$  kN



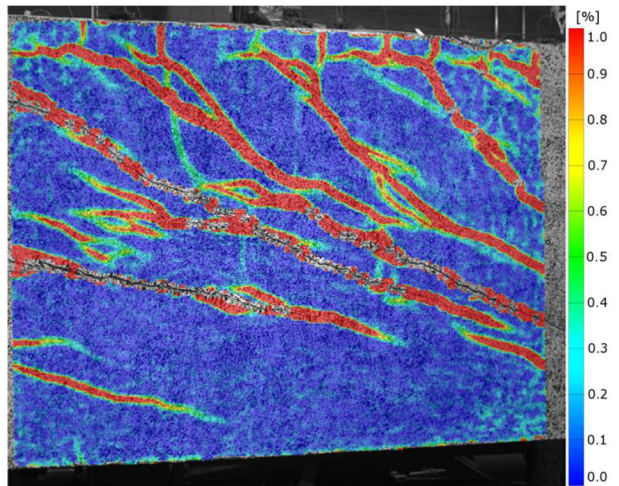
A 34: Laststufe 25%  $V_{max}$



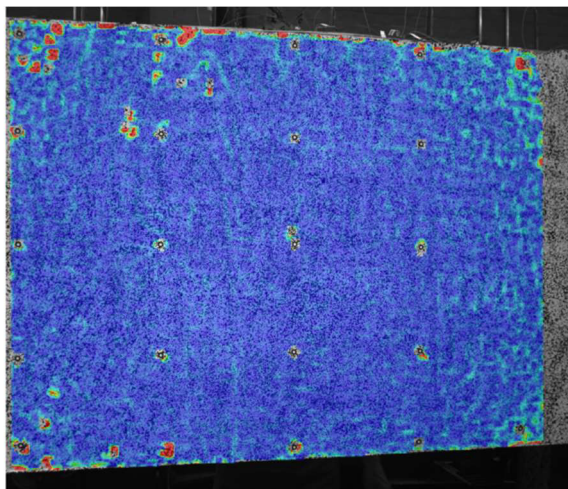
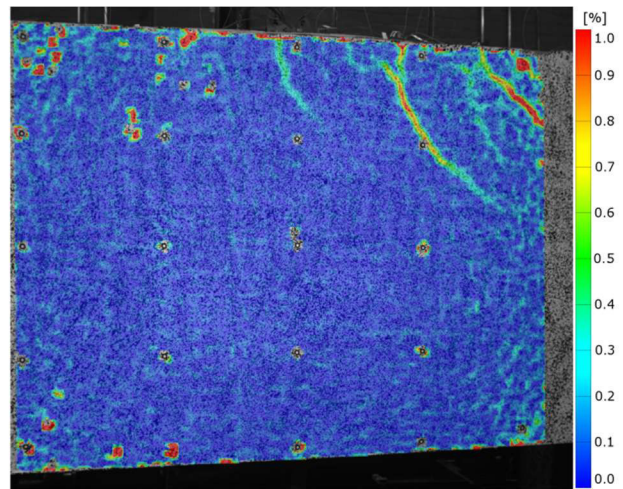
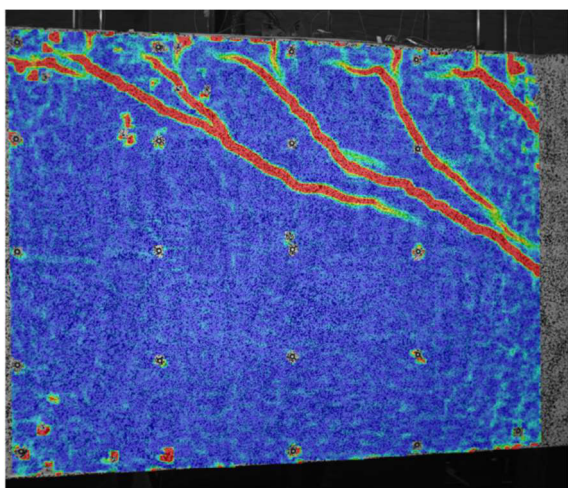
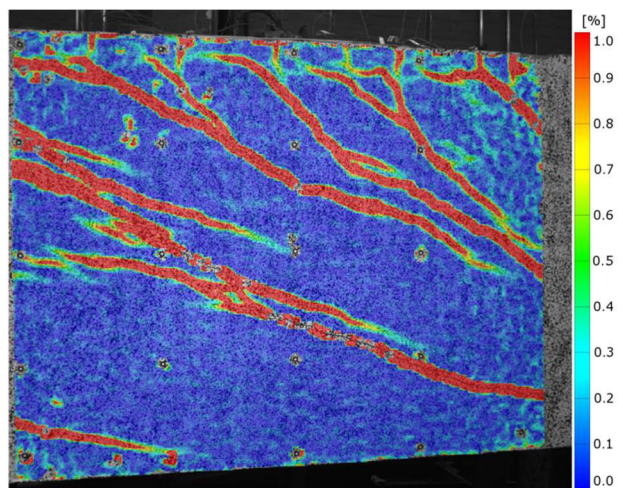
A 34: Laststufe 50%  $V_{max}$



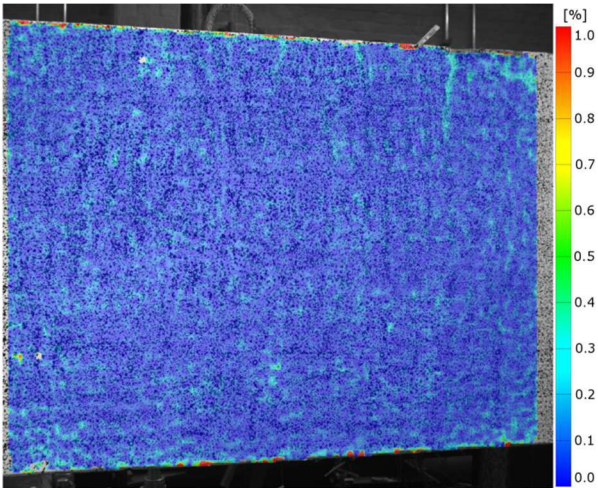
A 34: Laststufe 75%  $V_{max}$



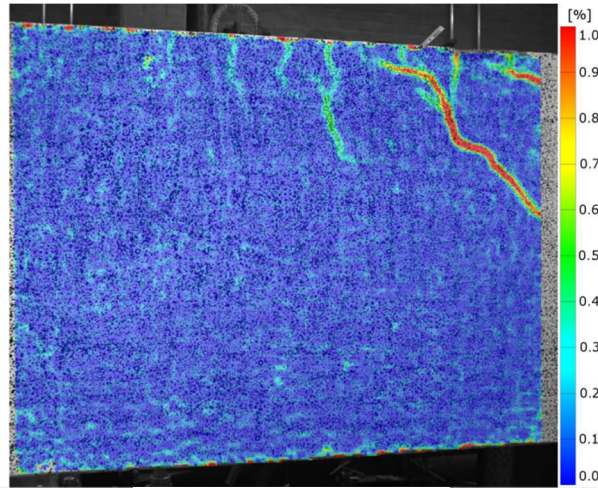
A 34: Laststufe 100%  $V_{max}$

A.4.1.9 Versuchsträger V9, Bügel Ø6/25, gestoßener Bügel,  $V_{\max}=661$  kNA 38: Laststufe 25%  $V_{\max}$ A 38: Laststufe 50%  $V_{\max}$ A 38: Laststufe 75%  $V_{\max}$ A 38: Laststufe 100%  $V_{\max}$

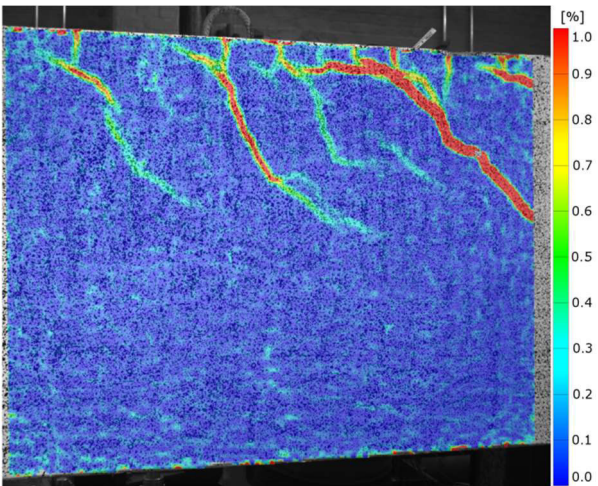
A.4.1.10 Versuchsträger V10, keine Bügel,  $V_{max}=596$  kN



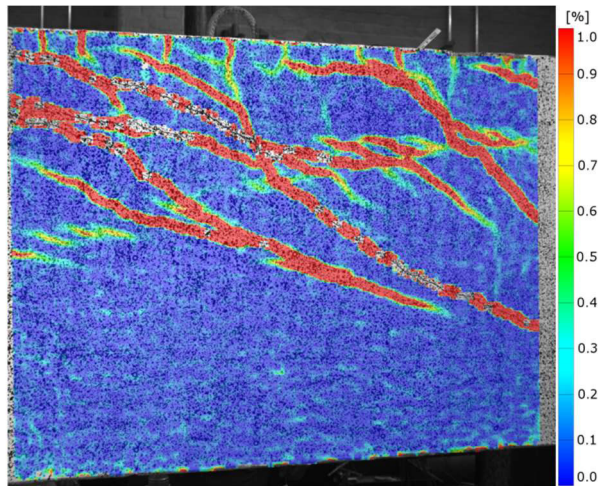
A 42: Laststufe 25%  $V_{max}$



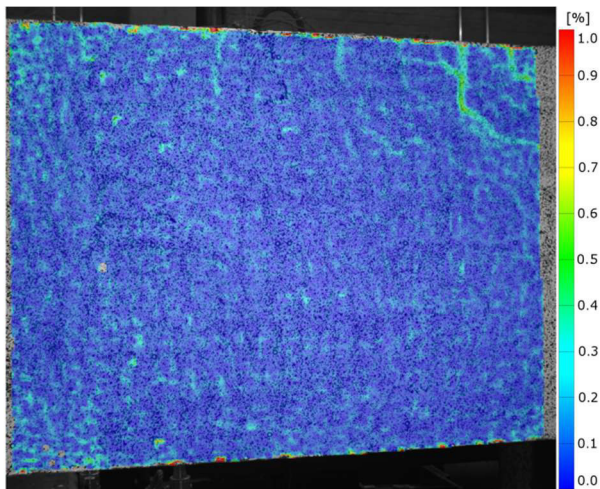
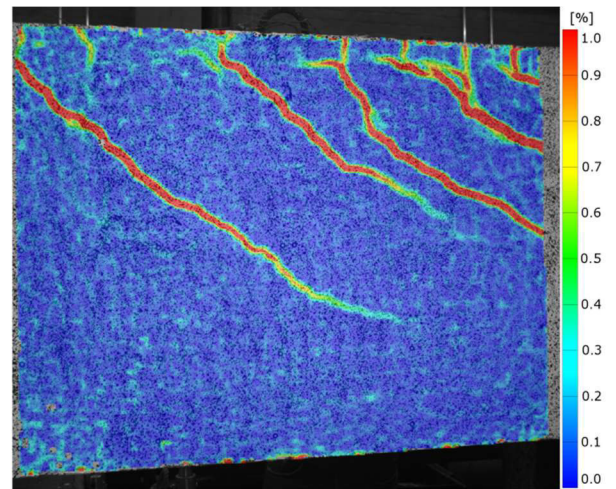
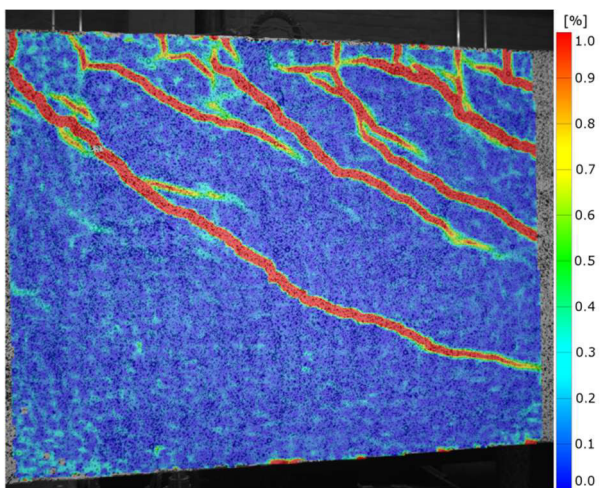
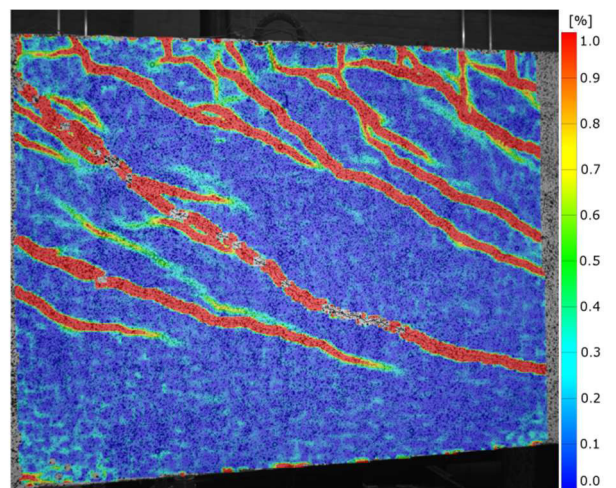
A 42: Laststufe 50%  $V_{max}$



A 42: Laststufe 75%  $V_{max}$

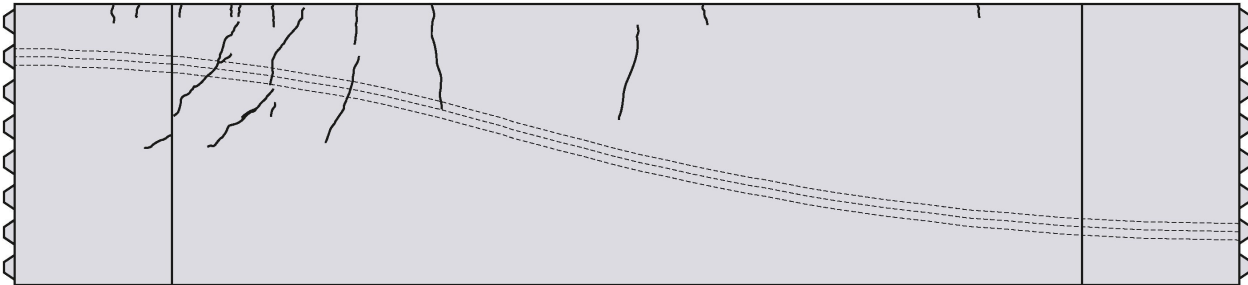


A 42: Laststufe 100%  $V_{max}$

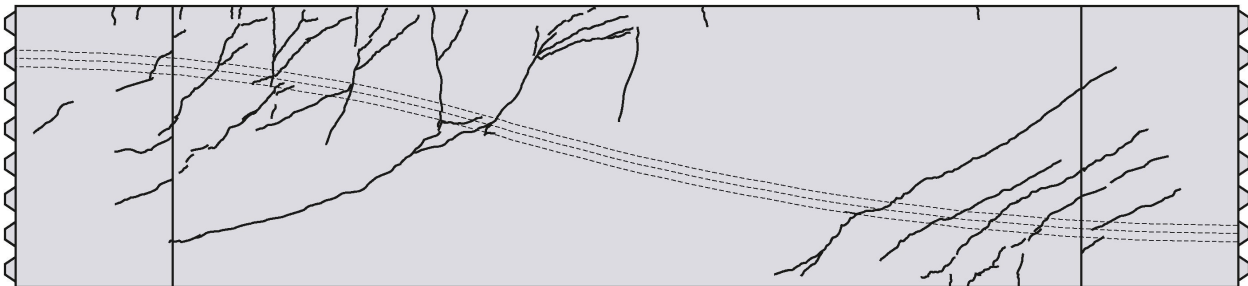
A.4.1.11 Versuchsträger V11, Bügel Ø10/25, geschlossene Bügel,  $V_{\max}=910$  kNA 46: Laststufe 25%  $V_{\max}$ A 46: Laststufe 50%  $V_{\max}$ A 46: Laststufe 75%  $V_{\max}$ A 46: Laststufe 100%  $V_{\max}$

A.4.2 Rissbilder (SCHRAMM, 2020)

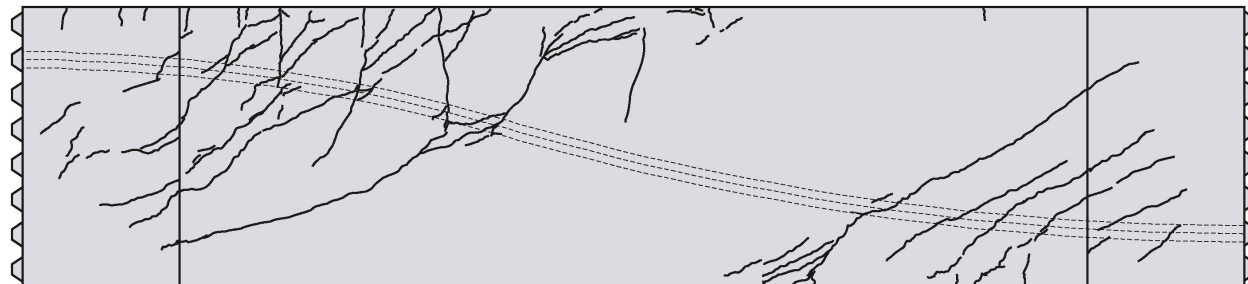
A.4.3 Versuchsträger V2, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel,  $V_{max}=711$  kN



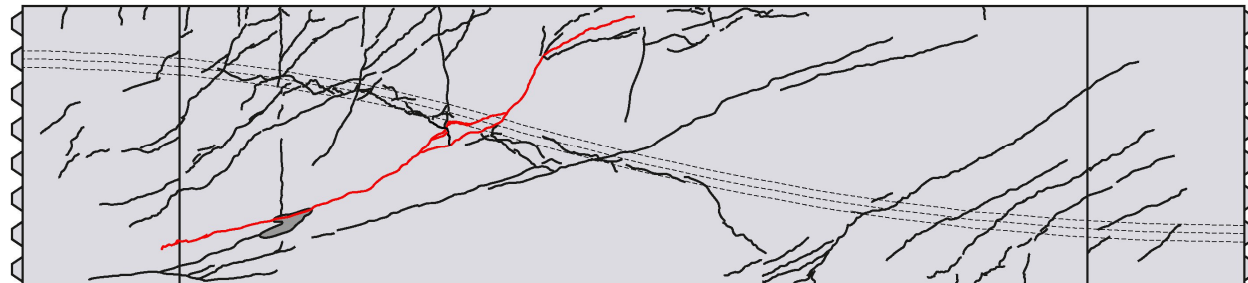
A 50: Rissbild, Laststufe 50%  $V_{max}$



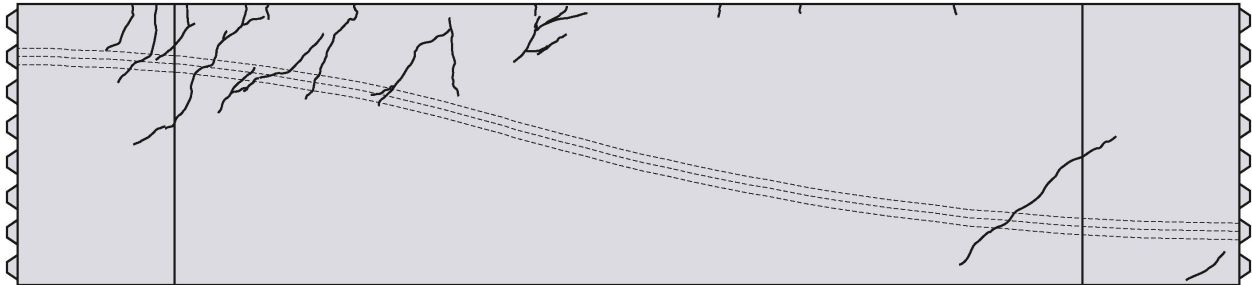
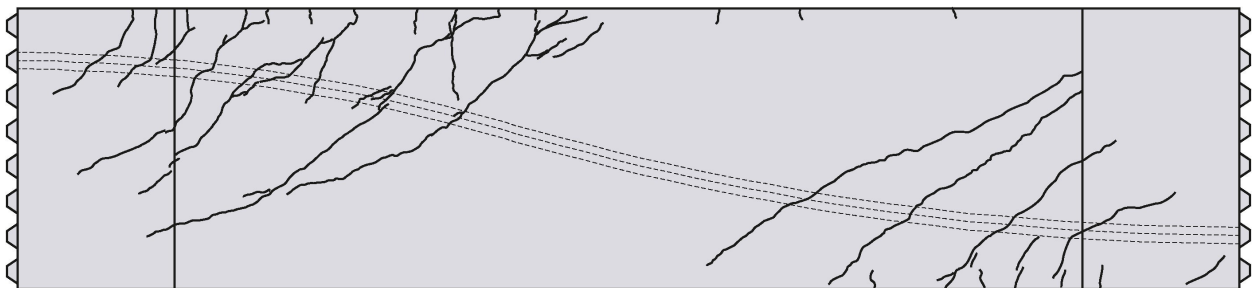
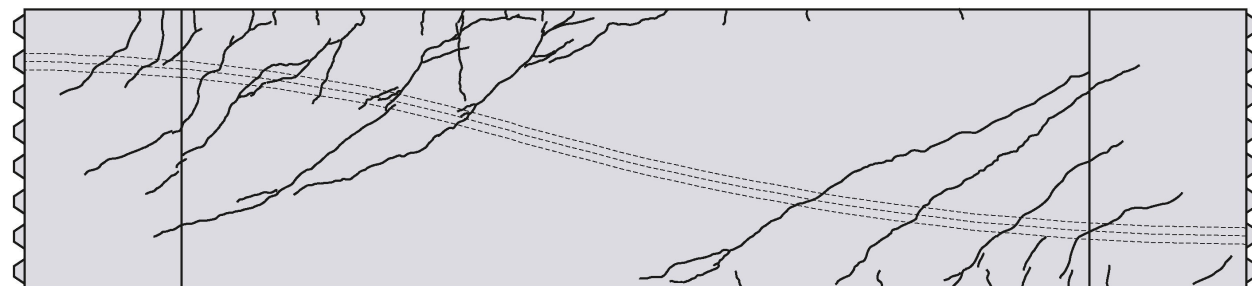
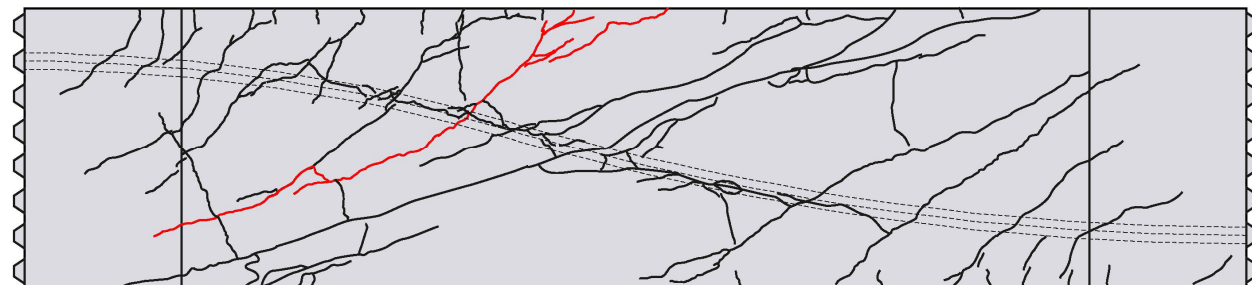
A 50: Rissbild, Laststufe 75%  $V_{max}$



A 50: Rissbild, Laststufe 91%  $V_{max}$

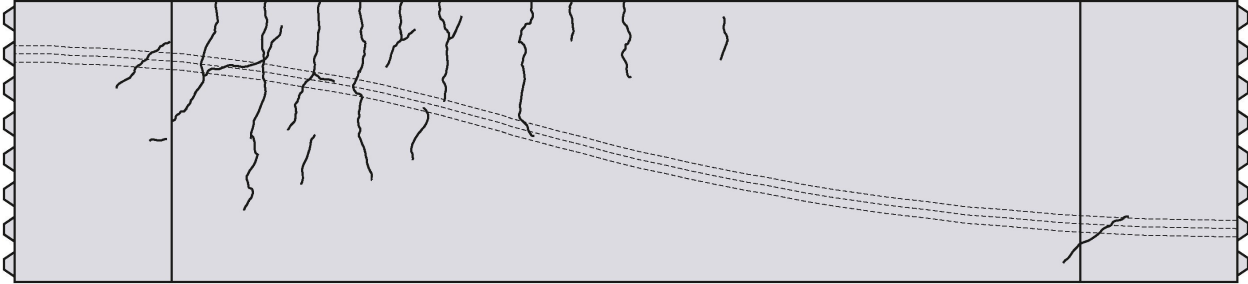


A 50: Rissbild, Laststufe Nachbruch

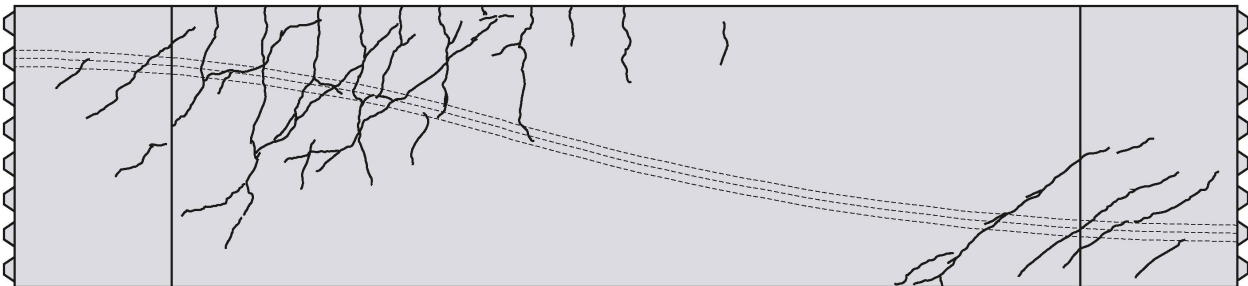
**A.4.3.1 Versuchsträger V3, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel,  $V_{\max}=713$  kN**A 54: Rissbild, Laststufe 50%  $V_{\max}$ A 54: Rissbild, Laststufe 75%  $V_{\max}$ A 54: Rissbild, Laststufe 88%  $V_{\max}$ 

A 54: Rissbild, Laststufe Nachbruch

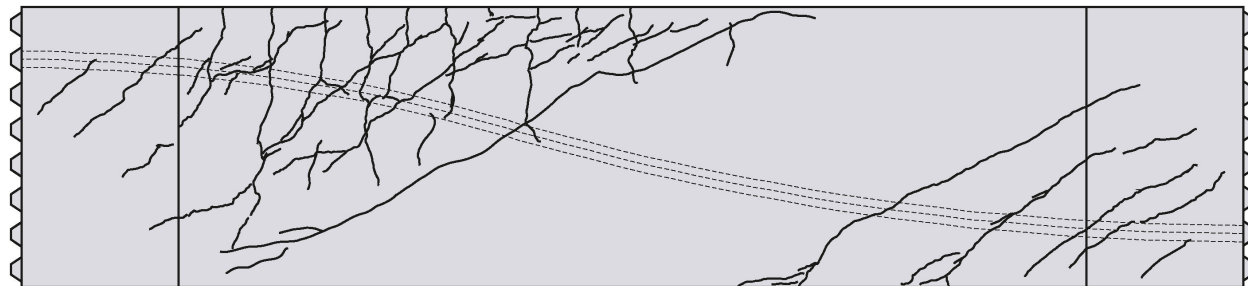
A.4.3.2 Versuchsträger V4, Bügel Ø6/25, oben offene Bügel,  $V_{max}=659$  kN



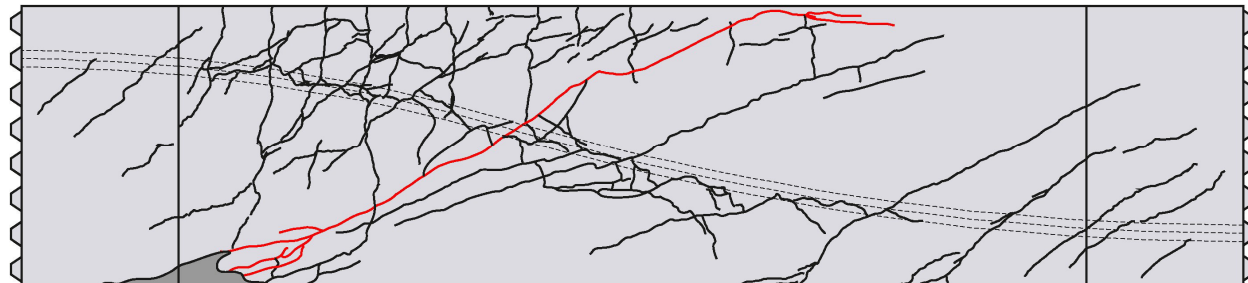
A 58: Rissbild, Laststufe 50%  $V_{max}$



A 58: Rissbild, Laststufe 75%  $V_{max}$

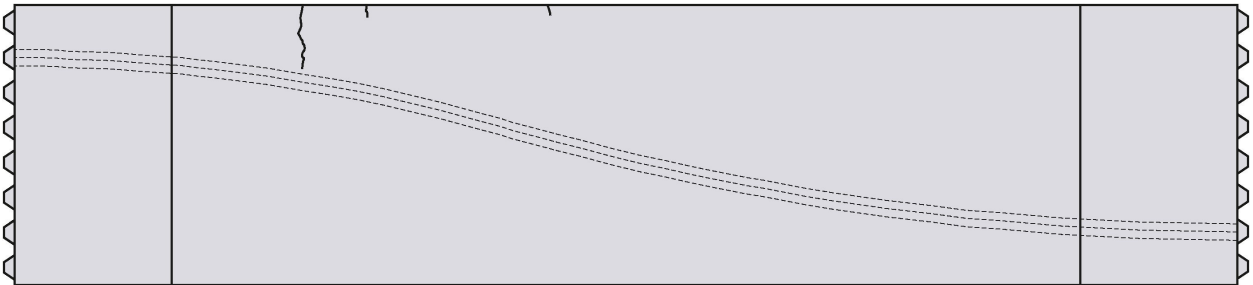
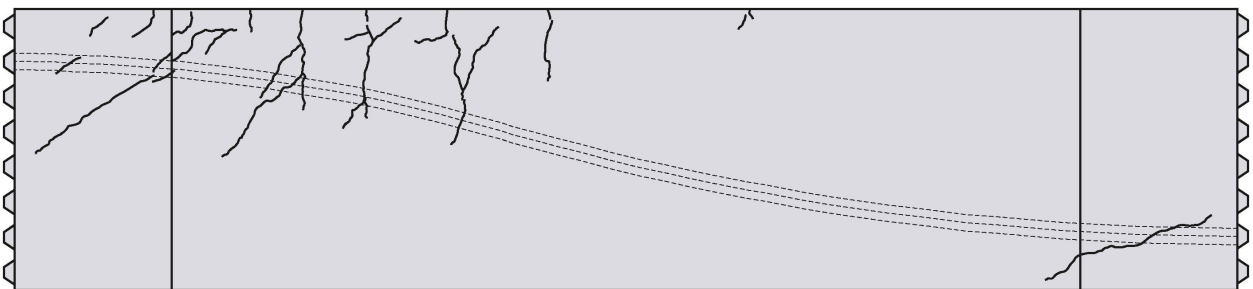
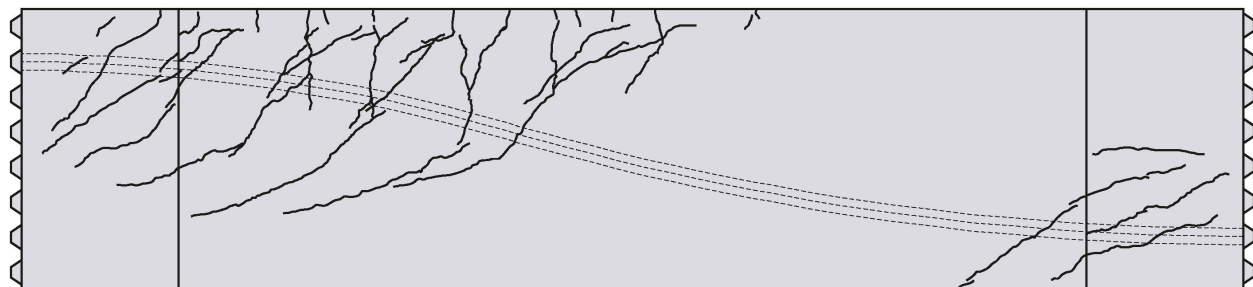
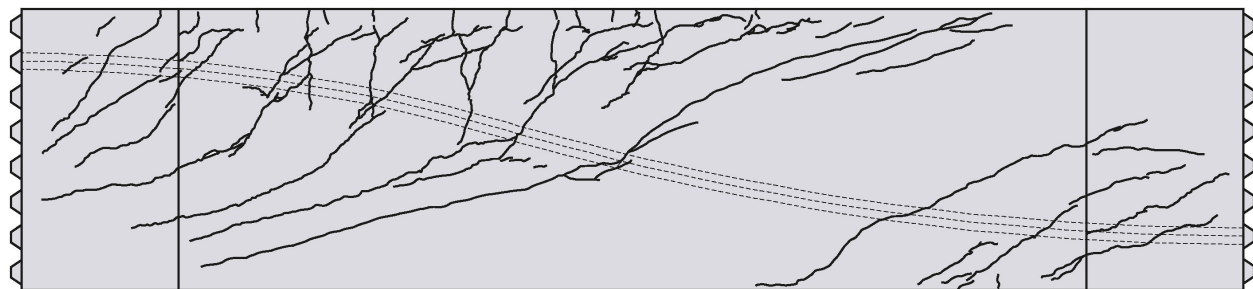
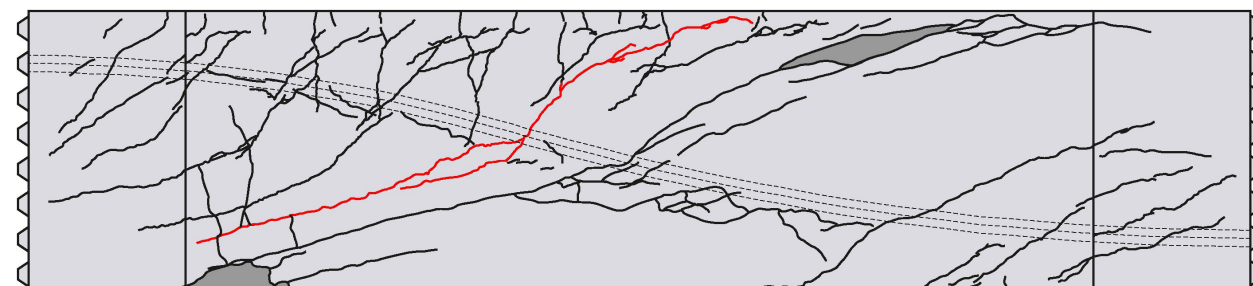


A 58: Rissbild, Laststufe 94%  $V_{max}$



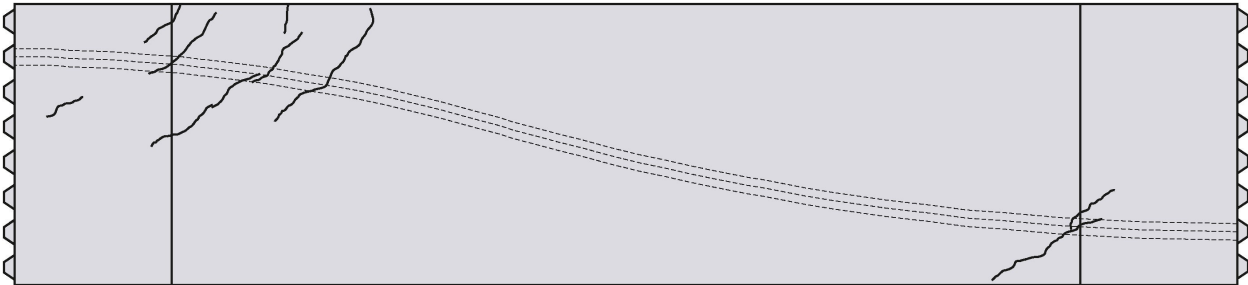
A 58: Rissbild, Laststufe Nachbruch



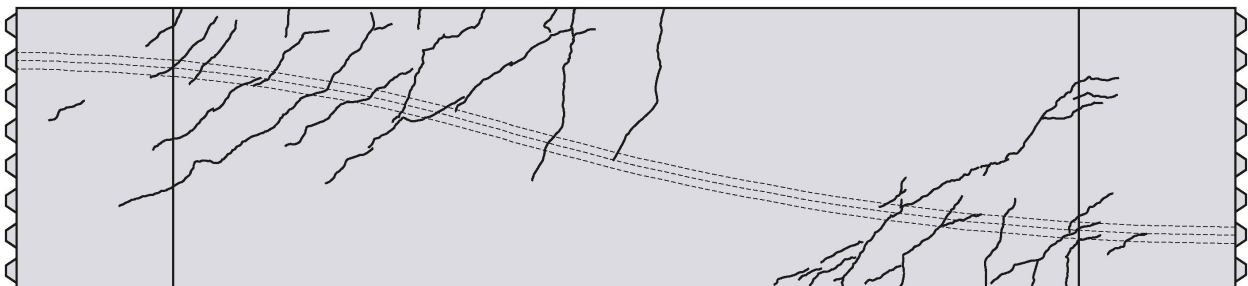
**A.4.3.3 Versuchsträger V5, Bügel Ø6/25, oben offene Bügel,  $V_{\max}=583$  kN**A 63: Rissbild, Laststufe 25%  $V_{\max}$ A 63: Rissbild, Laststufe 50%  $V_{\max}$ A 63: Rissbild, Laststufe 75%  $V_{\max}$ A 63: Rissbild, Laststufe 99%  $V_{\max}$ 

A 63: Rissbild, Laststufe Nachbruch

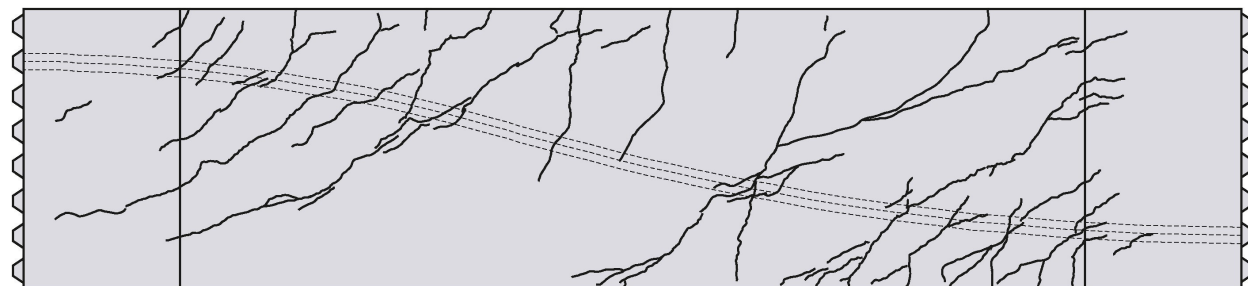
A.4.3.4 Versuchsträger V6, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel + Stecker im Stützbereich,  $V_{max}=704$  kN



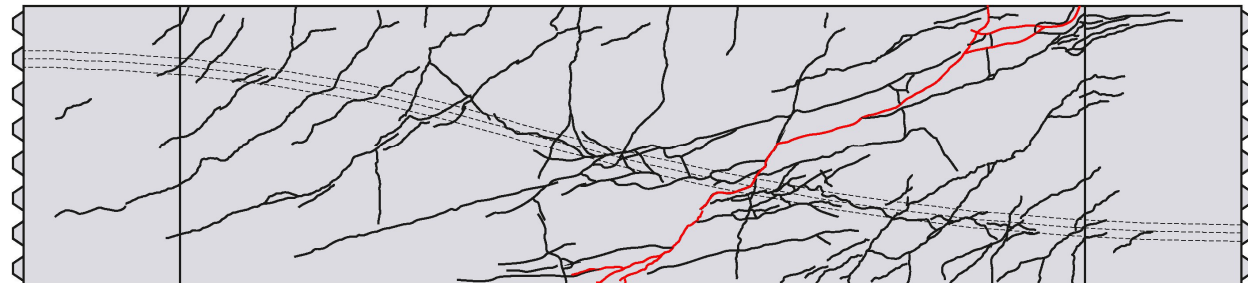
A 67: Rissbild, Laststufe 50%  $V_{max}$



A 67: Rissbild, Laststufe 75%  $V_{max}$

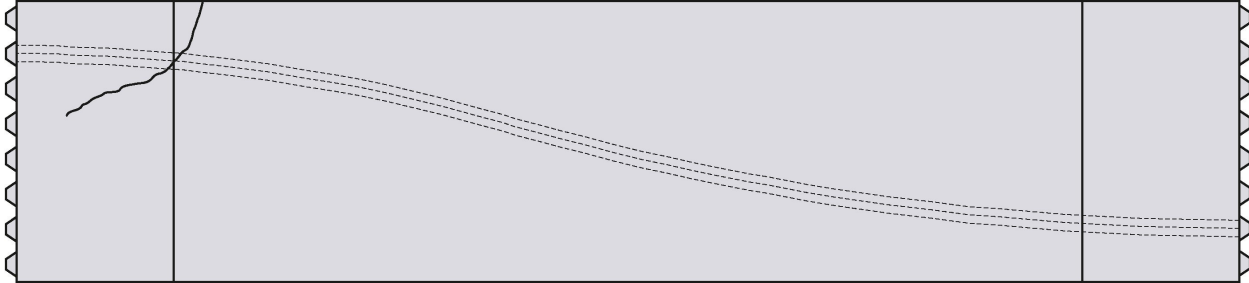


A 67: Rissbild, Laststufe 92%  $V_{max}$

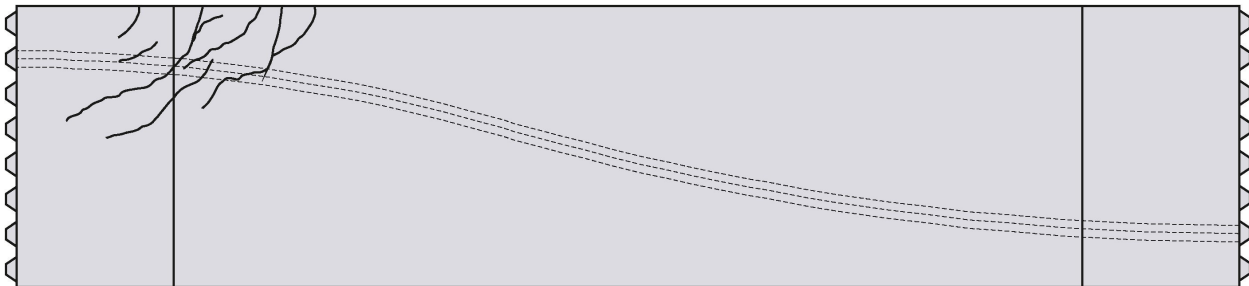


A 67: Rissbild, Laststufe Nachbruch

**A.4.3.5 Versuchsträger V7, Bügel Ø6/25, geschlossene Bügel + Stecker im Stützbereich,  $V_{\max}=668$  kN**



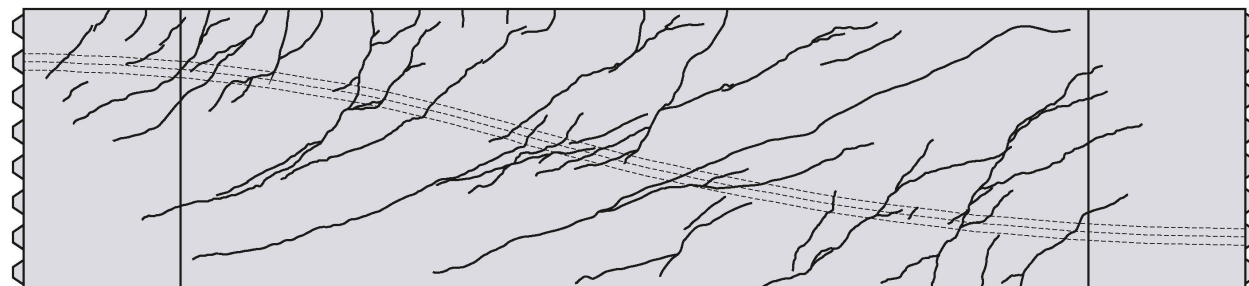
A 72: Rissbild, Laststufe 25%  $V_{\max}$



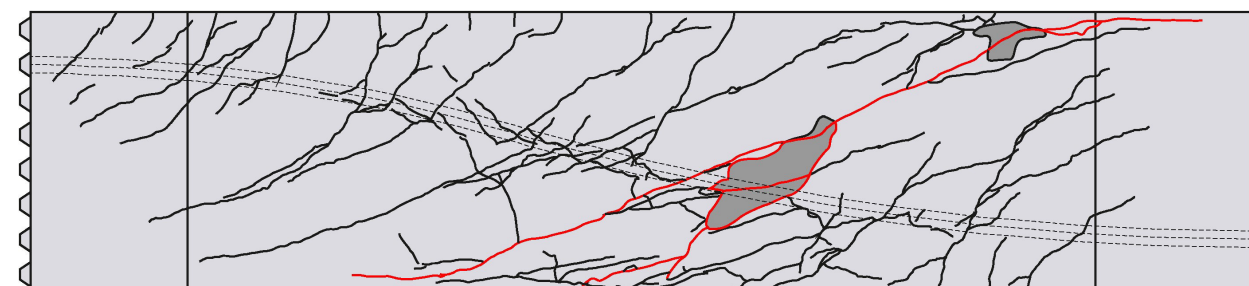
A 72: Rissbild, Laststufe 50%  $V_{\max}$



A 72: Rissbild, Laststufe 75%  $V_{\max}$

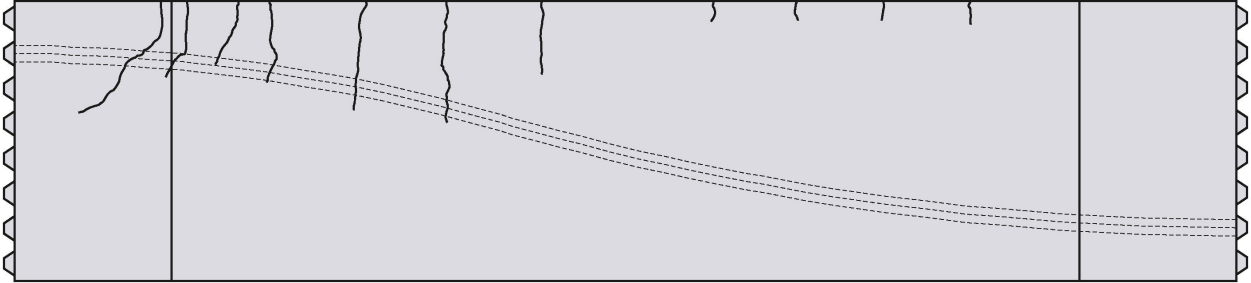


A 72: Rissbild, Laststufe 95%  $V_{\max}$

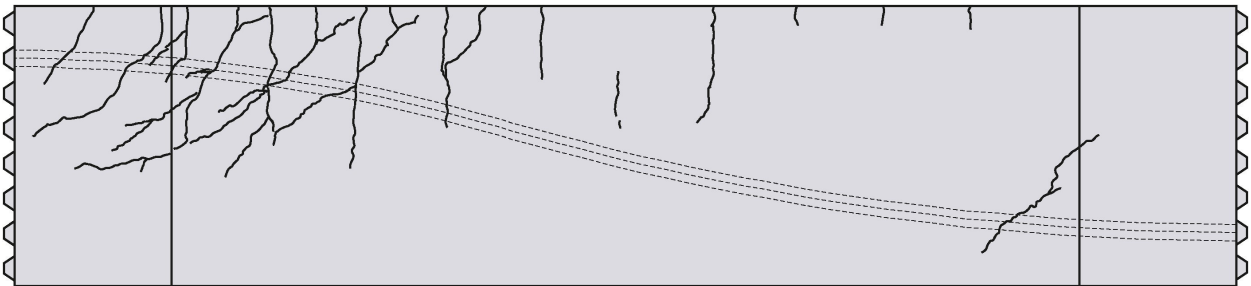


A 72: Rissbild, Laststufe Nachbruch

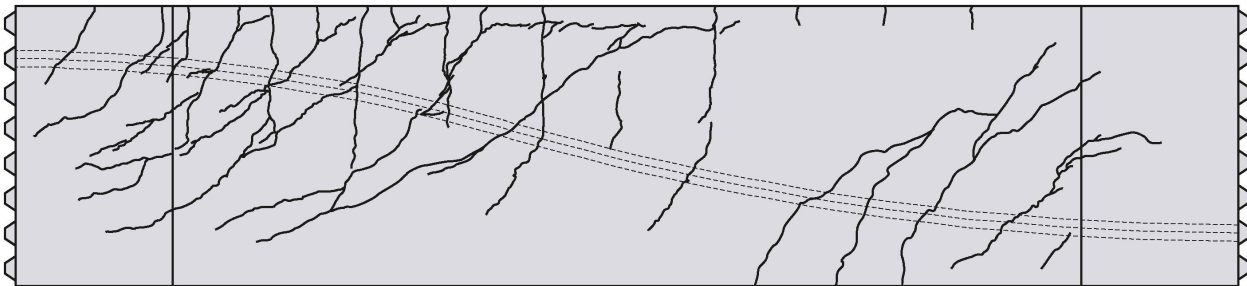
A.4.3.6 Versuchsträger V8, Bügel Ø6/25, gestoßener Bügel,  $V_{max}=704$  kN



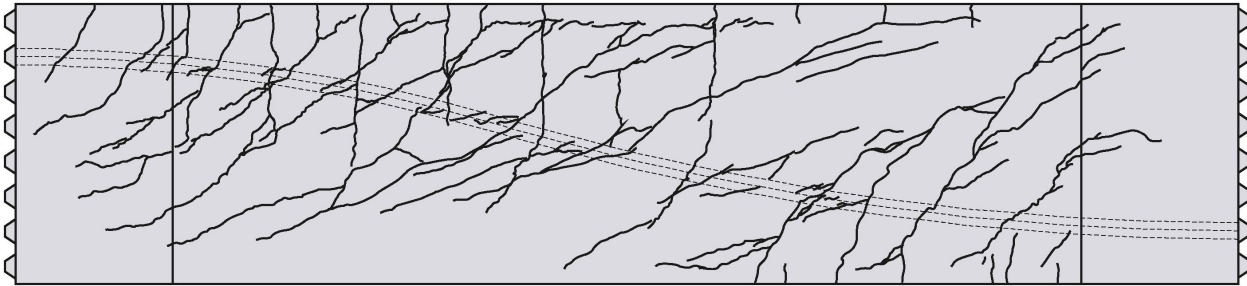
A 77: Rissbild, Laststufe 25%  $V_{max}$



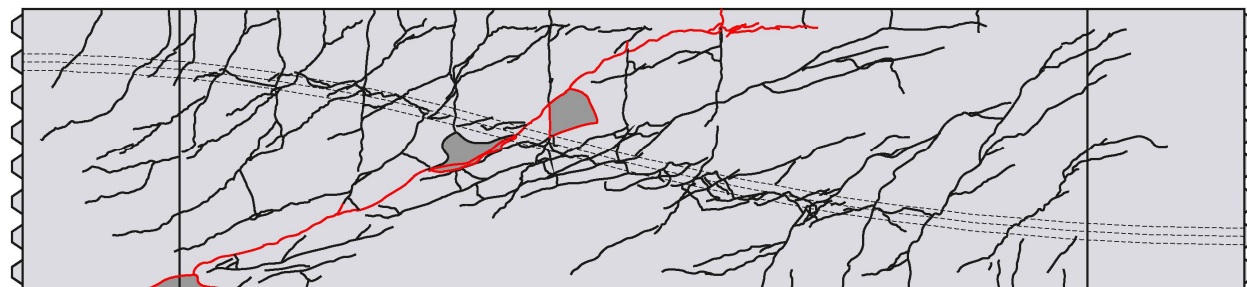
A 77: Rissbild, Laststufe 50%  $V_{max}$



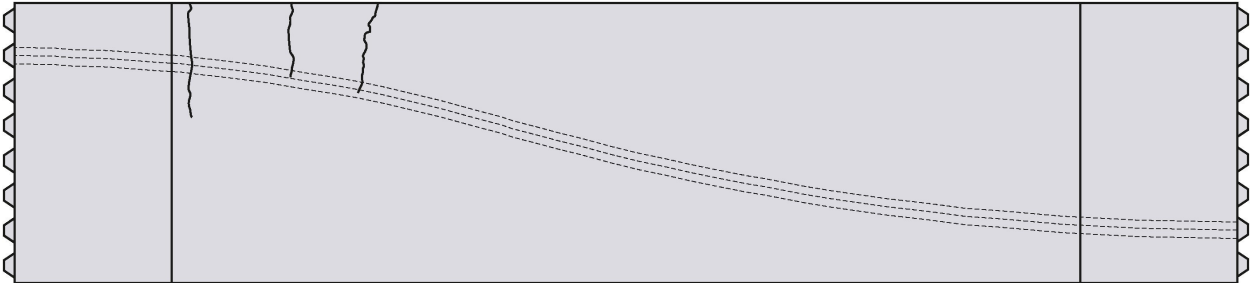
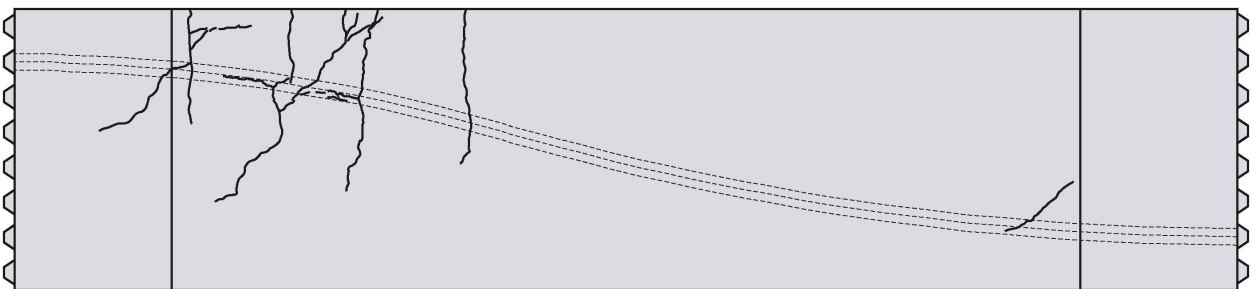
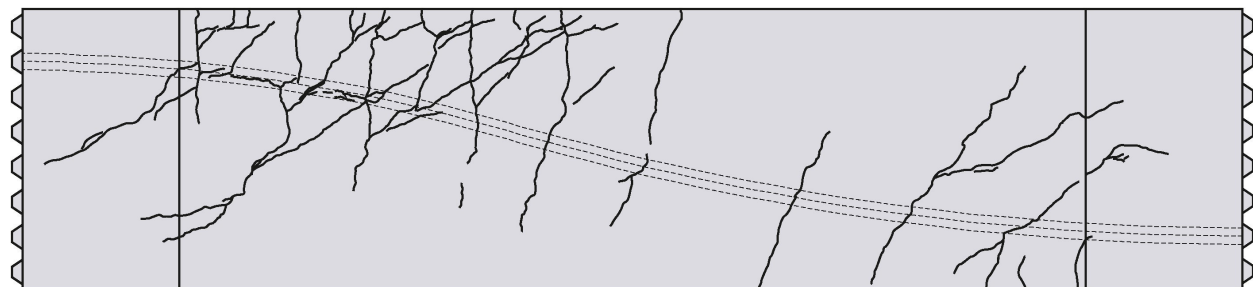
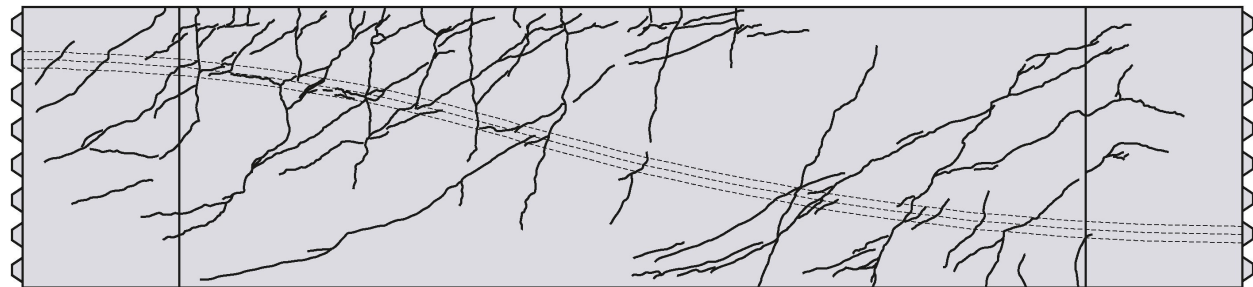
A 77: Rissbild, Laststufe 75%  $V_{max}$



A 77: Rissbild, Laststufe 97%  $V_{max}$

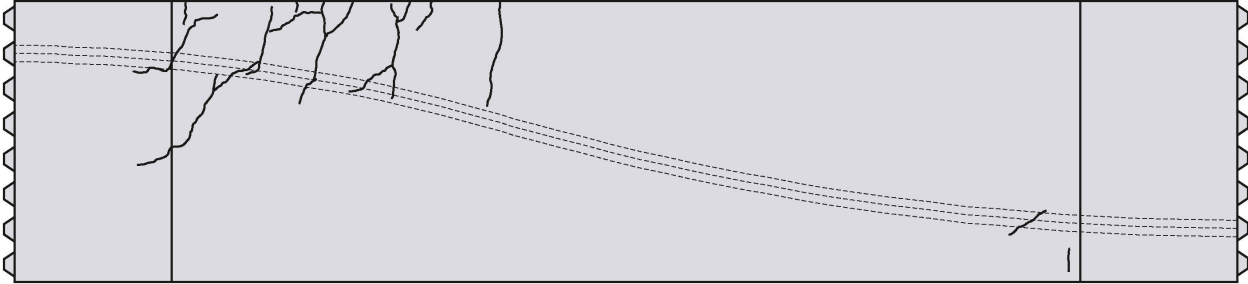


A 77: Rissbild, Laststufe Nachbruch

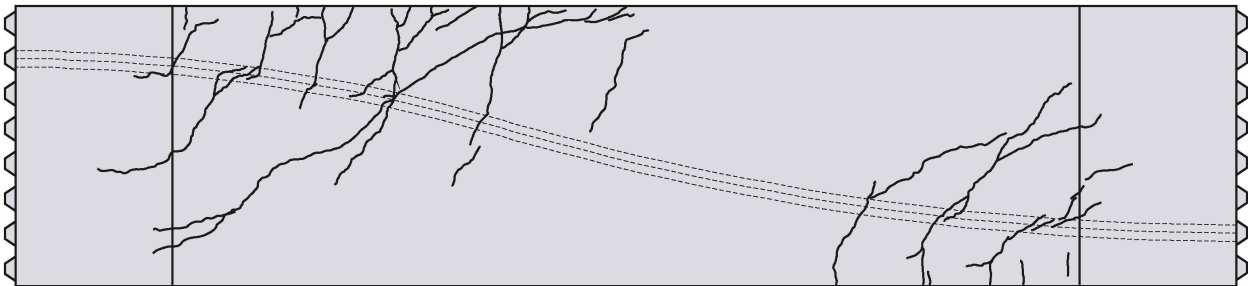
**A.4.3.7 Versuchsträger V9, Bügel Ø6/25, gestoßener Bügel,  $V_{\max}=661$  kN**A 82: Rissbild, Laststufe 25%  $V_{\max}$ A 82: Rissbild, Laststufe 50%  $V_{\max}$ A 82: Rissbild, Laststufe 75%  $V_{\max}$ A 82: Rissbild, Laststufe 99%  $V_{\max}$ 

A 82: Rissbild, Laststufe Nachbruch

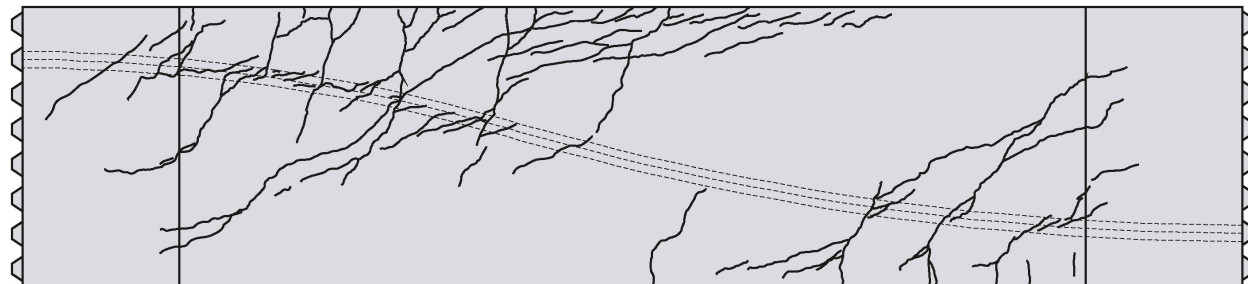
A.4.3.8 Versuchsträger V10, keine Bügel,  $V_{max}=596$  kN



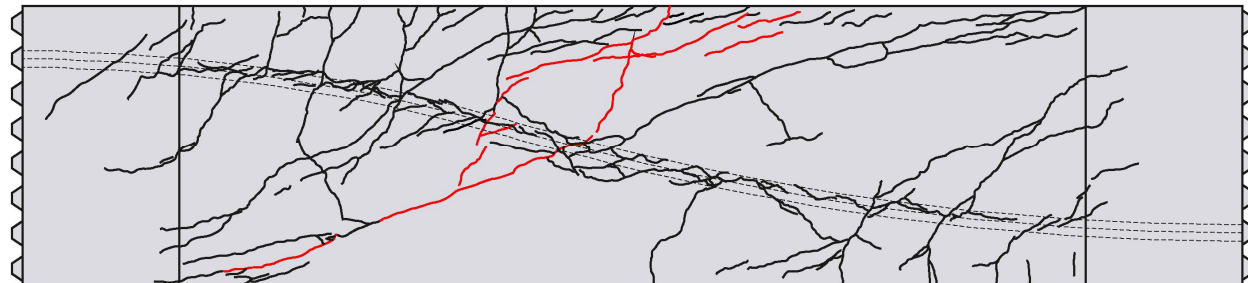
A 86: Rissbild, Laststufe 50%  $V_{max}$



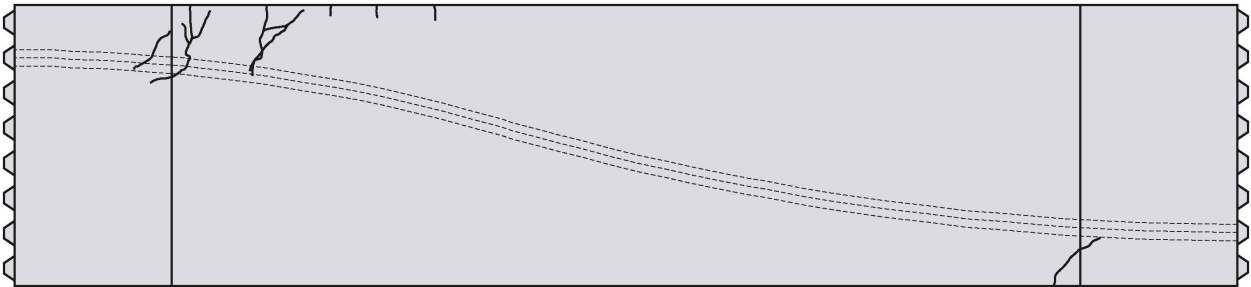
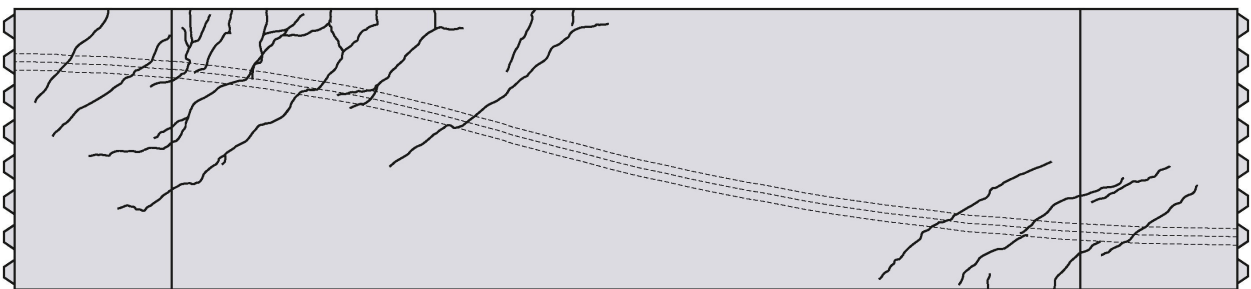
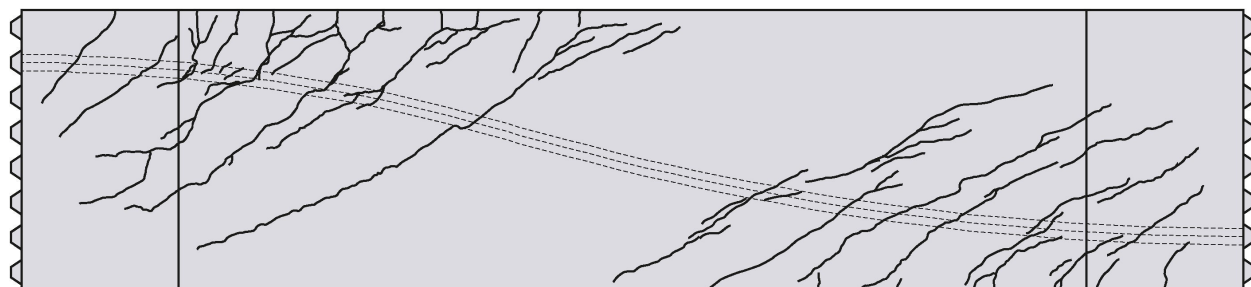
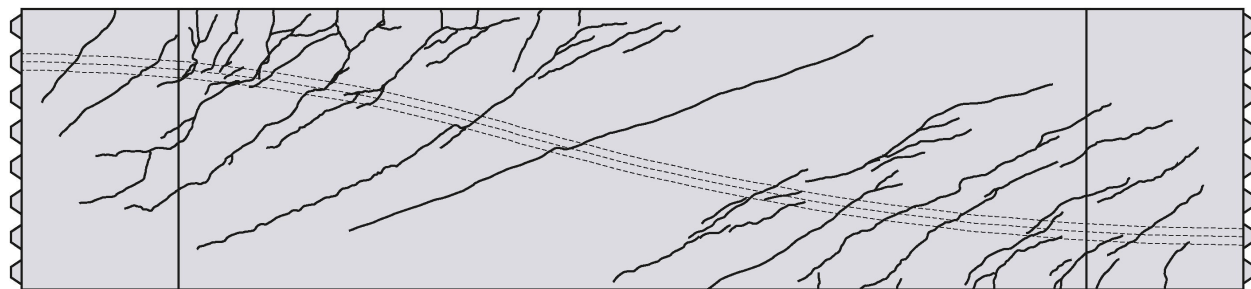
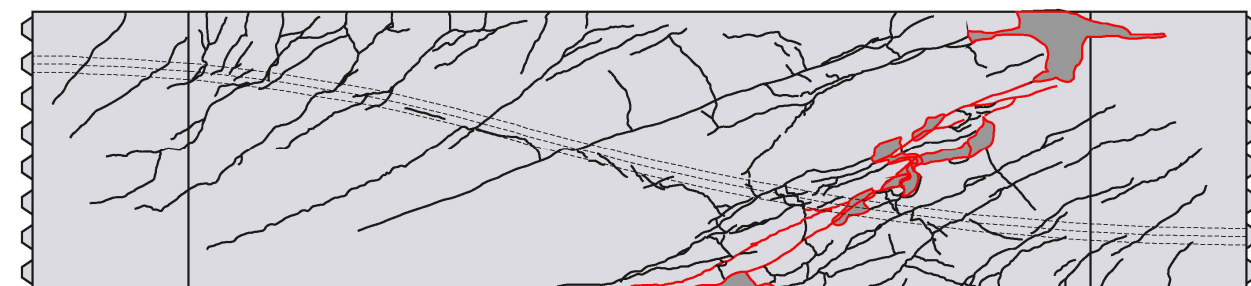
A 86: Rissbild, Laststufe 75%  $V_{max}$



A 86: Rissbild, Laststufe 99%  $V_{max}$



A 86: Rissbild, Laststufe Nachbruch

**A.4.3.9 Versuchsträger V11, Bügel Ø10/25, geschlossene Bügel,  $V_{\max}=910$  kN**A 91: Rissbild, Laststufe 25%  $V_{\max}$ A 91: Rissbild, Laststufe 50%  $V_{\max}$ A 91: Rissbild, Laststufe 75%  $V_{\max}$ A 91: Rissbild, Laststufe 94%  $V_{\max}$ 

A 91: Rissbild, Laststufe Nachbruch

## A.5 Anwendung der Sicherheitskonzepte an den kalibrierten Rechenmodellen

### A.5.1 Anwendung der Sicherheitskonzepte an DLT 2.1

#### Bemessungswerte:

Tabelle 92: Bemessungswerte Beton DLT 2.1

Beton Bemessungswerte:		
E	26848	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>c</sub>	21,05	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>ct</sub>	1,07	[N/mm <sup>2</sup> ]
G <sub>f</sub>	2,67E-05	[MN/m]
ε <sub>c1</sub>	1,84	[‰]

Tabelle 93: Bemessungswerte Spannstahl DLT 2.1

Spannstahl Bemessungswerte:		
f <sub>p0,1</sub>	1317	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>p</sub>	1511	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	199700	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 94: Bemessungswerte Betonstahl DLT 2.1

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:			
Durchmesser	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø8	375	407	184000
Ø12	421	483	200750
Ø16	438	509	205200
Ø20	458	530	196000
Ø25	439	511	196000

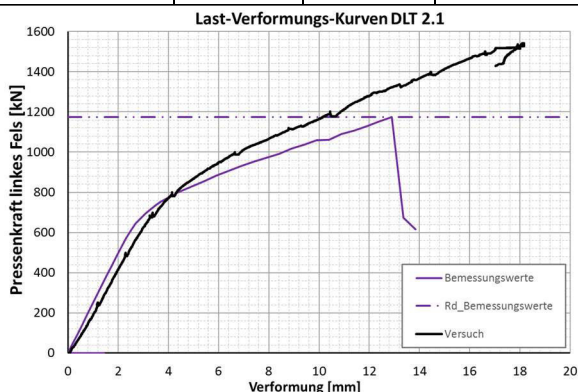


Bild 328: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

#### γ<sub>R</sub> Verfahren:

Tabelle 95: γ<sub>R</sub> Werte Beton DLT 2.1

Beton γ <sub>R</sub> :		
E	28878	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>c</sub>	26,84	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>ct</sub>	1,36	[N/mm <sup>2</sup> ]
G <sub>f</sub>	3,40E-05	[MN/m]
ε <sub>c1</sub>	1,97	[‰]

Tabelle 96: γ<sub>R</sub> Werte Spannstahl DLT 2.1

Spannstahl γ <sub>R</sub> :		
f <sub>p0,1</sub>	1666	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>p</sub>	1911	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	199700	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 97: γ<sub>R</sub> Werte Betonstahl DLT 2.1

Bewehrungsstahl γ <sub>R</sub> :			
Durchmesser	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø8	475	515	184000
Ø12	532	611	200750
Ø16	554	644	205200
Ø20	580	671	196000
Ø25	555	647	196000

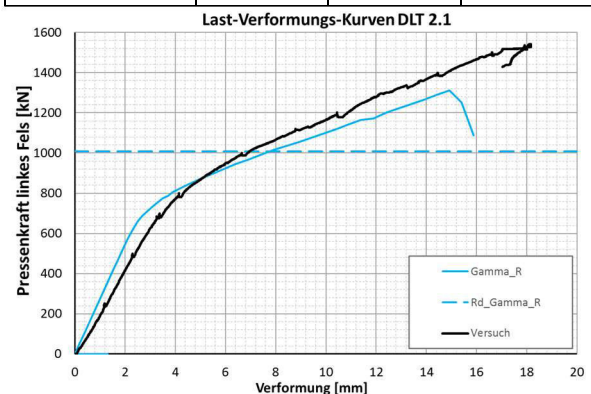


Bild 329: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation



**ECOV Methode:**

Tabelle 98: Mittelwerte Beton DLT 2.1

Beton Mittelwerte:		
E	32828	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>c</sub>	41,15	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>ct</sub>	2,688	[N/mm <sup>2</sup> ]
G <sub>f</sub>	6,72E-05	[MN/m]
ε <sub>c1</sub>	2,22	[‰]

Tabelle 99: Mittelwerte Spannstahl DLT 2.1

Spannstahl Mittelwerte:		
f <sub>p0,1</sub>	1666	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>p</sub>	1911	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	199700	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 100: Mittelwerte Betonstahl DLT 2.1

Bewehrungsstahl Mittelwerte:			
Durchmesser	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø8	475	515	184000
Ø12	532	611	200750
Ø16	554	644	205200
Ø20	580	671	196000
Ø25	555	647	196000

Tabelle 101: Charakteristische Werte Beton DLT 2.1

Beton charakteristisch:		
E	31836	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>c</sub>	37,15	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>ct</sub>	1,8816	[N/mm <sup>2</sup> ]
G <sub>f</sub>	4,70E-05	[MN/m]
ε <sub>c1</sub>	2,16	[‰]

Tabelle 102: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 2.1

Spannstahl charakteristisch:		
f <sub>p0,1</sub>	1515	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>p</sub>	1737	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	199700	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 103: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 2.1

Bewehrungsstahl charakteristisch:			
Durchmesser	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø8	432	468	184000
Ø12	484	555	200750
Ø16	504	586	205200
Ø20	527	610	196000
Ø25	505	588	196000

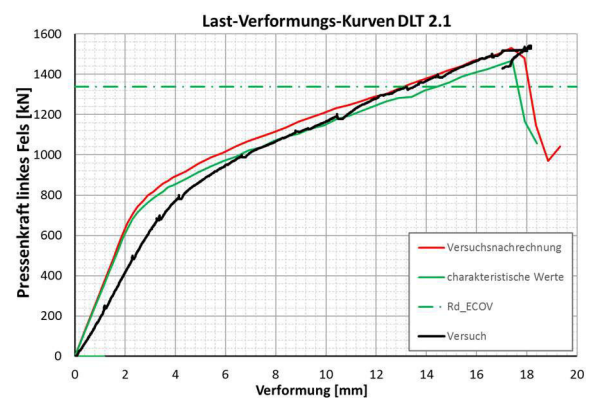


Bild 330: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**Berechnung mit Streuenden Materialparametern:**

F<sub>50%Fraktile</sub>= 1523,4 [kN]

F<sub>5%Fraktile</sub>= 1430,2 [kN]

γ\* = 1,099

γ<sub>sys</sub> = 1,065

γ<sub>R</sub> = 1,170

F<sub>d</sub> = 1302,26 [kN]

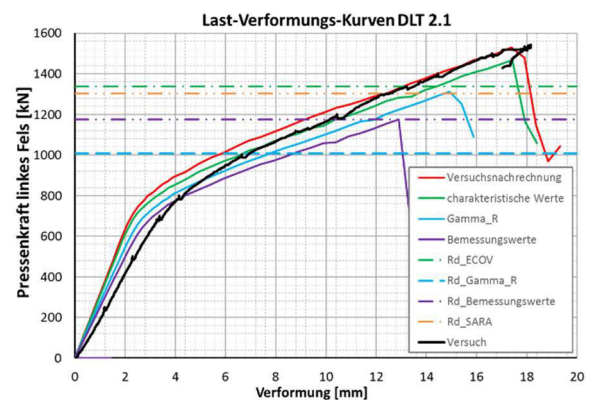


Bild 331: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

**A.5.2 Anwendung der Sicherheitskonzepte an  $\gamma_R$  Verfahren:**  
**DLT 2.2**

**Bemessungswerte:**

Tabelle 104: Bemessungswerte Beton DLT 2.2

Beton Bemessungswerte:		
E	26772	[N/mm <sup>2</sup> ]
fcd	19,17	[N/mm <sup>2</sup> ]
fctd	1,24	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gfd	3,090E-05	[MN/m]
εc1	1,82	[‰]

Tabelle 105: Bemessungswerte Spannstahl DLT 2.2

Spannstahl Bemessungswerte:		
fp0,1d	1358,1	[N/mm <sup>2</sup> ]
fpd	1510,7	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	199700	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 106: Bemessungswerte Betonstahl DLT 2.2

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	515	526	199170
Ø10	452	497	200807
Ø12	424	482	199696
Ø16	424	506	200683
Ø20	438	513	204019

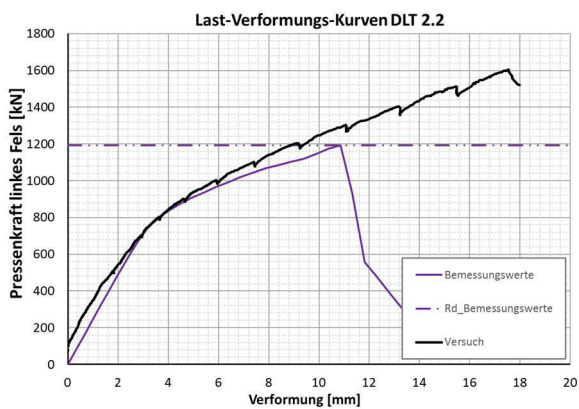


Bild 332: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

Tabelle 107:  $\gamma_R$  Werte Beton DLT 2.2

Beton $\gamma_R$ :		
E	28796	[N/mm <sup>2</sup> ]
fcR	24,44	[N/mm <sup>2</sup> ]
fctR	1,58	[N/mm <sup>2</sup> ]
GfR	3,94E-05	[MN/m]
εc1	1,97	[‰]

Tabelle 108:  $\gamma_R$  Werte Spannstahl DLT 2.2

Spannstahl $\gamma_R$ :		
fp0,1	1718	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1911	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	199700	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 109:  $\gamma_R$  Werte Betonstahl DLT 2.2

Bewehrungsstahl $\gamma_R$ :			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	652	665	199170
Ø10	572	629	200807
Ø12	536	609	199696
Ø16	536	640	200683
Ø20	555	649	204019

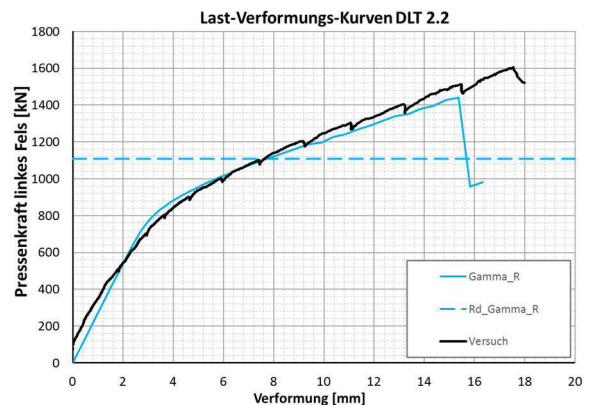


Bild 333: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**ECOV Methode:**

Tabelle 110: Mittelwerte Beton DLT 2.2

Beton Mittelwerte:		
E	32828	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>c</sub>	37,83	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>ct</sub>	3,116	[N/mm <sup>2</sup> ]
G <sub>f</sub>	7,79E-05	[MN/m]
ε <sub>c1</sub>	2,25	[‰]

Tabelle 111: Mittelwerte Spannstahl DLT 2.2

Spannstahl Mittelwerte:		
f <sub>p0,1</sub>	1718	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>p</sub>	1911	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	199700	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 112: Mittelwerte Betonstahl DLT 2.2

Bewehrungsstahl Mittelwerte:			
Durchmesser	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	652	665	199170
Ø10	572	629	200807
Ø12	536	609	199696
Ø16	536	640	200683
Ø20	555	649	204019

Tabelle 113: Charakteristische Werte Beton DLT 2.2

Beton charakteristisch:		
E	31746	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>c</sub>	33,83	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>ct</sub>	2,18	[N/mm <sup>2</sup> ]
G <sub>f</sub>	5,45E-05	[MN/m]
ε <sub>c1</sub>	2,17	[‰]

Tabelle 114: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 2.2

Spannstahl charakteristisch:		
f <sub>p0,1</sub>	1561,8	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>p</sub>	1737,3	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	199700	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 115: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 2.2

Bewehrungsstahl charakteristisch:			
Durchmesser	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	652	665	199170
Ø10	572	629	200807
Ø12	536	609	199696
Ø16	536	640	200683
Ø20	555	649	204019

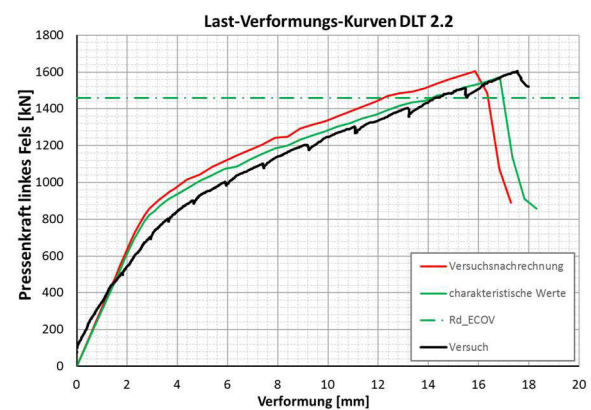


Bild 334: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**Berechnung mit Streuenden Materialparametern:**

F<sub>50%Fraktile</sub>= 1632,3 [kN]

F<sub>5%Fraktile</sub>= 1533,7 [kN]

γ\* = 1,097

γ<sub>sys</sub> = 1,065

γ<sub>R</sub> = 1,168

F<sub>d</sub> = 1397,05 [kN]

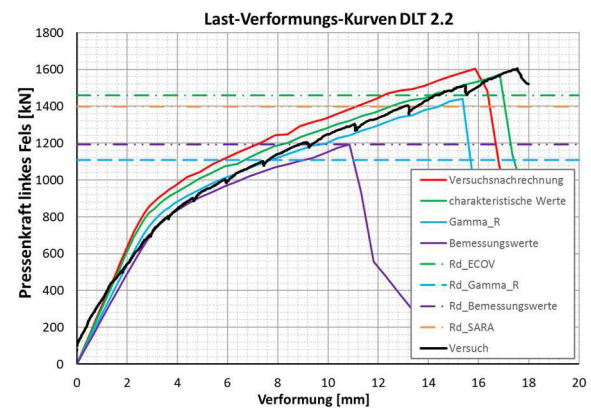


Bild 335: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

**A.5.3 Anwendung der Sicherheitskonzepte an DLT 2.3**

**Bemessungswerte:**

Tabelle 116: Bemessungswerte Beton DLT 2.3

Beton Bemessungswerte:		
E	26793	[N/mm <sup>2</sup> ]
fcd	19,65	[N/mm <sup>2</sup> ]
fctd	1,23	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gfd	3,070E-05	[MN/m]
εc1	1,76	[‰]

Tabelle 117: Bemessungswerte Spannstahl DLT 2.3

Spannstahl Bemessungswerte:		
fp0,1d	1307,5	[N/mm <sup>2</sup> ]
fpd	1468,8	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	197300	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 118: Bemessungswerte Betonstahl DLT 2.3

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	515,2	525,9	199170
Ø8	384,4	466,7	198305
Ø12	424,0	481,6	199696
Ø16	423,8	505,9	200683
Ø20	438,3	513,3	204019

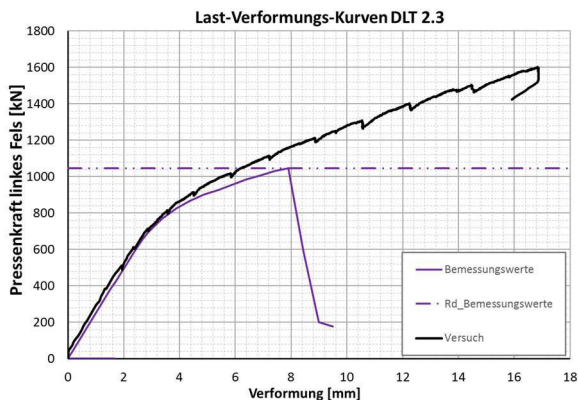


Bild 336: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**γ<sub>R</sub> Verfahren:**

Tabelle 119: γ<sub>R</sub> Werte Beton DLT 2.3

Beton γ <sub>R</sub> :		
E	28818	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>cR</sub>	25,05	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>ctR</sub>	1,57	[N/mm <sup>2</sup> ]
G <sub>fR</sub>	3,91E-05	[MN/m]
ε <sub>c1</sub>	1,90	[‰]

Tabelle 120: γ<sub>R</sub> Werte Spannstahl DLT 2.3

Spannstahl γ <sub>R</sub> :		
fp0,1	1654	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1858	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	197300	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 121: γ<sub>R</sub> Werte Betonstahl DLT 2.3

Bewehrungsstahl γ <sub>R</sub> :			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	651,7	665,3	199170
Ø8	486,3	590,4	198305
Ø12	536,4	609,2	199696
Ø16	536,1	640,0	200683
Ø20	554,5	649,3	204019

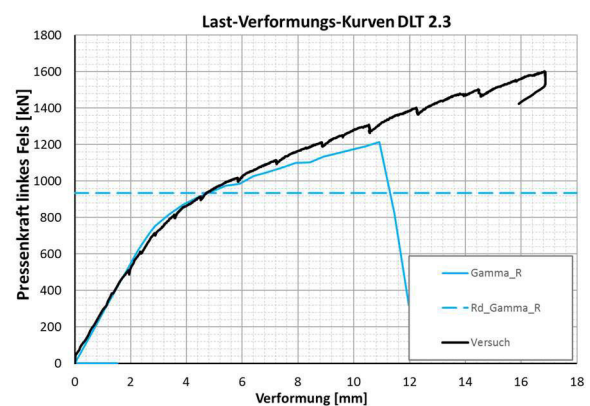


Bild 337: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**ECOV Methode:**

Tabelle 122: Mittelwerte Beton DLT 2.3

Beton Mittelwerte:		
E	32828	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>c</sub>	38,67	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>ct</sub>	3,096	[N/mm <sup>2</sup> ]
G <sub>f</sub>	7,74E-05	[MN/m]
ε <sub>c1</sub>	2,17	[‰]

Tabelle 123: Mittelwerte Spannstahl DLT 2.3

Spannstahl Mittelwerte:		
f <sub>p0,1</sub>	1654	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>p</sub>	1858	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	197300	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 124: Mittelwerte Betonstahl DLT 2.3

Bewehrungsstahl Mittelwerte:			
Durchmesser	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	651,7	665,3	199170
Ø8	486,3	590,4	198305
Ø12	536,4	609,2	199696
Ø16	536,1	640,0	200683
Ø20	554,5	649,3	204019

Tabelle 125: Charakteristische Werte Beton DLT 2.3

Beton charakteristisch:		
E	31770	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>c</sub>	34,67	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>ct</sub>	2,17	[N/mm <sup>2</sup> ]
G <sub>f</sub>	5,42E-05	[MN/m]
ε <sub>c1</sub>	2,10	[‰]

Tabelle 126: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 2.3

Spannstahl charakteristisch:		
f <sub>p0,1</sub>	1503,6	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>p</sub>	1689,1	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	197300	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 127: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 2.3

Bewehrungsstahl charakteristisch:			
Durchmesser	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	651,7	665,3	199170
Ø8	486,3	590,4	198305
Ø12	536,4	609,2	199696
Ø16	536,1	640,0	200683
Ø20	554,5	649,3	204019

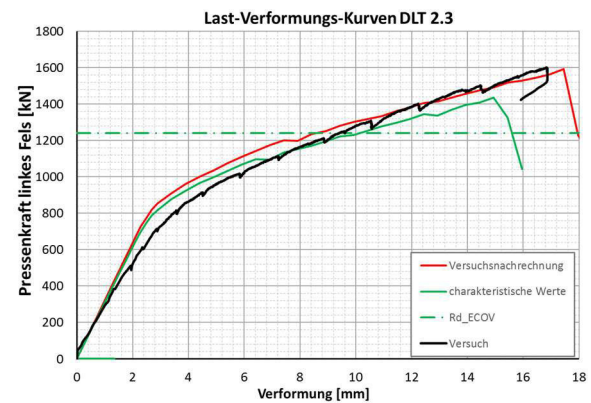


Bild 338: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**Berechnung mit Streuenden Materialparametern:**

F<sub>50%Fraktile</sub>= 1540,20 [kN]

F<sub>5%Fraktile</sub>= 1406,58 [kN]

γ\* = 1,145

γ<sub>sys</sub> = 1,065

γ<sub>R</sub> = 1,220

F<sub>d</sub> = 1262,86 [kN]

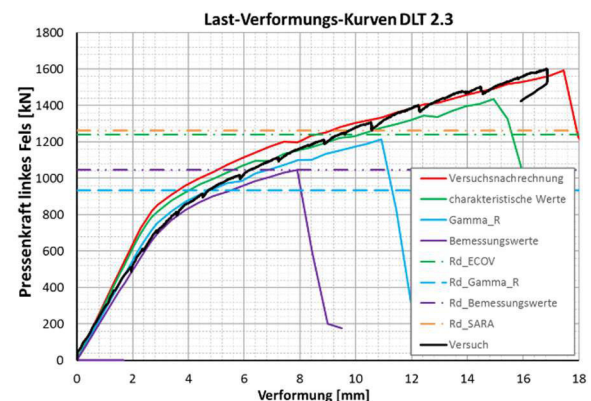


Bild 339: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

**A.5.4 Anwendung der Sicherheitskonzepte an DLT 1.1**

**Bemessungswerte:**

Tabelle 128: Bemessungswerte Beton DLT 1.1

Beton Bemessungswerte:		
E	21225	[N/mm <sup>2</sup> ]
fcd	25,30	[N/mm <sup>2</sup> ]
fctd	1,35	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gfd	3,365E-05	[MN/m]

Tabelle 129: Bemessungswerte Spannstahl DLT 1.1

Spannstahl Bemessungswerte:		
fp0,1d	1366,8	[N/mm <sup>2</sup> ]
fpd	1541,5	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 130: Bemessungswerte Betonstahl DLT 1.1

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	443,5	494,1	200553
Ø8	419,8	518,6	196673
Ø10	411,1	471,9	195510
Ø12	438,7	503,6	194990
Ø16	471,1	546,2	196840
Ø25	440,3	520,2	201370

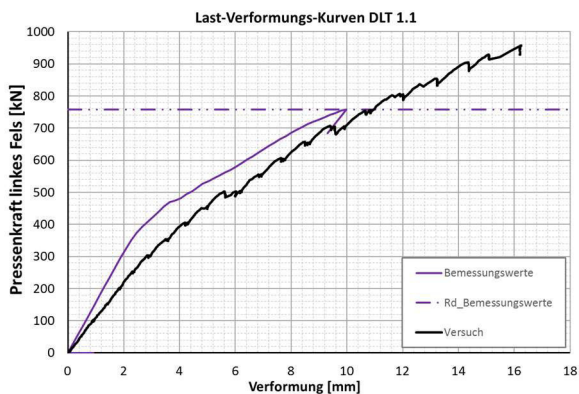


Bild 340: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**γ<sub>R</sub> Verfahren:**

Tabelle 131: γ<sub>R</sub> Werte Beton DLT 1.1

Beton γ <sub>R</sub> :		
E	22830	[N/mm <sup>2</sup> ]
fcR	32,26	[N/mm <sup>2</sup> ]
fctR	1,72	[N/mm <sup>2</sup> ]
GfR	4,29E-05	[MN/m]

Tabelle 132: γ<sub>R</sub> Werte Spannstahl DLT 1.1

Spannstahl γ <sub>R</sub> :		
fp0,1	1729	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1950	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 133: γ<sub>R</sub> Werte Betonstahl DLT 1.1

Bewehrungsstahl γ <sub>R</sub> :			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	561,0	625,0	200553
Ø8	531,0	656,0	196673
Ø10	520,0	597,0	195510
Ø12	555,0	637,0	194990
Ø16	596,0	691,0	196840
Ø25	557,0	658,0	201370

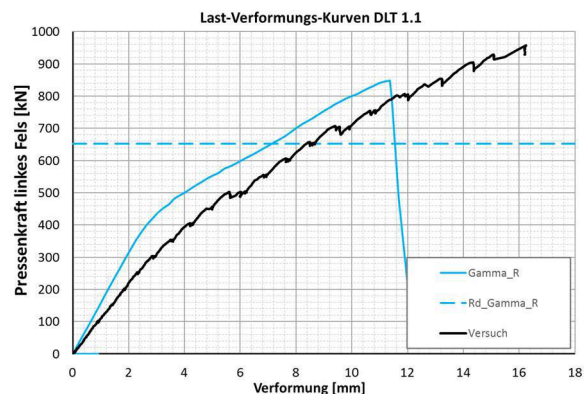


Bild 341: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**ECOV Methode:**

Tabelle 134: Mittelwerte Beton DLT 1.1

Beton Mittelwerte:		
E	25824,36	[N/mm <sup>2</sup> ]

fc	48,65	[N/mm <sup>2</sup> ]
fct	3,393	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gf	8,48E-05	[MN/m]

Tabelle 135: Mittelwerte Spannstahl DLT 1.1

Spannstahl Mittelwerte:		
fp0,1	1729	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1950	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 136: Mittelwerte Betonstahl DLT 1.1

Bewehrungsstahl Mittelwerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	561,0	625,0	200553
Ø8	531,0	656,0	196673
Ø10	520,0	597,0	195510
Ø12	555,0	637,0	194990
Ø16	596,0	691,0	196840
Ø25	557,0	658,0	201370

Tabelle 137: Charakteristische Werte Beton DLT 1.1

Beton charakteristisch:		
E	25168	[N/mm <sup>2</sup> ]
fc	44,65	[N/mm <sup>2</sup> ]
fct	2,38	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gf	5,94E-05	[MN/m]

Tabelle 138: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 1.1

Spannstahl charakteristisch:		
fp0,1	1571,8	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1772,7	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 139: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 1.1

Bewehrungsstahl charakteristisch:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	510,0	568,2	200553
Ø8	482,7	596,4	196673
Ø10	472,7	542,7	195510
Ø12	504,5	579,1	194990
Ø16	541,8	628,2	196840
Ø25	506,4	598,2	201370

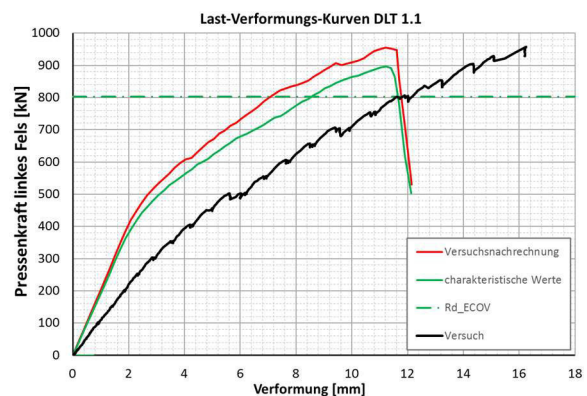


Bild 342: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**Berechnung mit Streuenden Materialparametern:**

$F_{50\%Fraktile} =$	963,73 [kN]
$F_{5\%Fraktile} =$	872,36 [kN]
$\gamma^* =$	1,161
$\gamma_{sys} =$	1,065
$\gamma_R =$	1,236
$F_d =$	779,65 [kN]

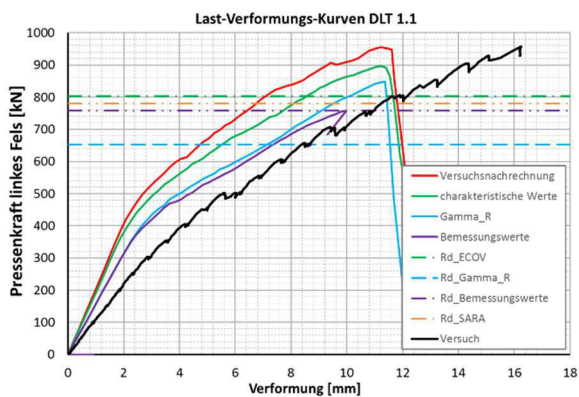


Bild 343: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

**A.5.5 Anwendung der Sicherheitskonzepte an DLT 1.2**

**Bemessungswerte:**

Tabelle 140: Bemessungswerte Beton DLT 1.2

Beton Bemessungswerte:		
E	22253	[N/mm <sup>2</sup> ]
fcd	20,33	[N/mm <sup>2</sup> ]
fctd	1,27	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gfd	3,173E-05	[MN/m]
eps_c1=	1,781	[%]

Tabelle 141: Bemessungswerte Spannstahl DLT 1.2

Spannstahl Bemessungswerte:		
fp0,1d	1366,8	[N/mm <sup>2</sup> ]
fpd	1541,5	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 142: Bemessungswerte Betonstahl DLT 1.2

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	443,5	494,1	200553
Ø8	419,8	518,6	196673
Ø10	411,1	471,9	195510
Ø12	438,7	503,6	194990
Ø16	471,1	546,2	196840
Ø25	440,3	520,2	201370

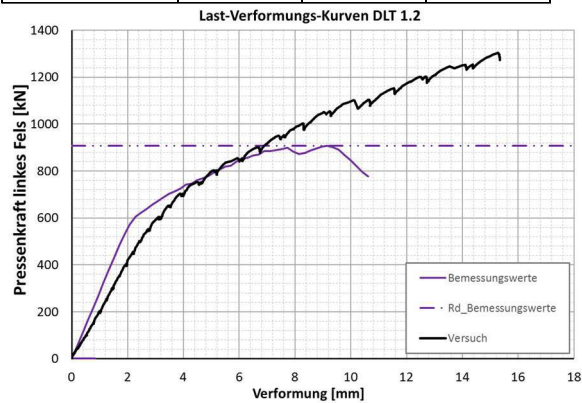


Bild 344: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**γ<sub>R</sub> Verfahren:**

Tabelle 143: γ<sub>R</sub> Werte Beton DLT 1.2

Beton γ <sub>R</sub> :		
E	23936	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>cR</sub>	25,92	[N/mm <sup>2</sup> ]
f <sub>ctR</sub>	1,62	[N/mm <sup>2</sup> ]
G <sub>fR</sub>	4,05E-05	[MN/m]
eps_c1=	1,920	[%]

Tabelle 144: γ<sub>R</sub> Werte Spannstahl DLT 1.2

Spannstahl γ <sub>R</sub> :		
fp0,1	1729	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1950	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]



Tabelle 145:  $\gamma_R$  Werte Betonstahl DLT 1.2

Bewehrungsstahl $\gamma_R$ :			
Durchmesser	$f_y$	$f_t$	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	561,0	625,0	200553
Ø8	531,0	656,0	196673
Ø10	520,0	597,0	195510
Ø12	555,0	637,0	194990
Ø16	596,0	691,0	196840
Ø25	557,0	658,0	201370

Tabelle 148: Mittelwerte Betonstahl DLT 1.2

Bewehrungsstahl Mittelwerte:			
Durchmesser	$f_y$	$f_t$	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	561,0	625,0	200553
Ø8	531,0	656,0	196673
Ø10	520,0	597,0	195510
Ø12	555,0	637,0	194990
Ø16	596,0	691,0	196840
Ø25	557,0	658,0	201370

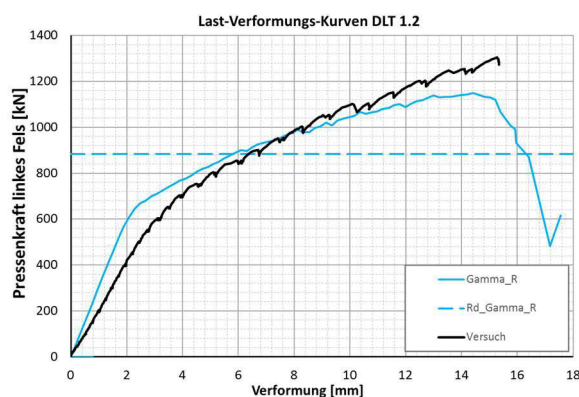


Bild 345: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

Tabelle 149: Charakteristische Werte Beton DLT 1.2

Beton charakteristisch:		
E	26387	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_c$	35,87	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{ct}$	2,24	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gf	5,60E-05	[MN/m]
eps_c1=	2,124	[‰]

**ECOV Methode:**

Tabelle 146: Mittelwerte Beton DLT 1.2

Beton Mittelwerte:		
E	27237,46	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_c$	39,87	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{ct}$	3,2	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gf	8,00E-05	[MN/m]
eps_c1=	2,194	[‰]

Tabelle 150: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 1.2

Spannstahl charakteristisch:		
$f_{p0,1}$	1571,8	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_p$	1772,7	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 147: Mittelwerte Spannstahl DLT 1.2

Spannstahl Mittelwerte:		
$f_{p0,1}$	1729	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_p$	1950	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 151: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 1.2

Bewehrungsstahl charakteristisch:			
Durchmesser	$f_y$	$f_t$	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	510,0	568,2	200553
Ø8	482,7	596,4	196673
Ø10	542,7	542,7	195510
Ø12	579,1	579,1	194990
Ø16	541,8	628,2	196840
Ø25	506,4	598,2	201370

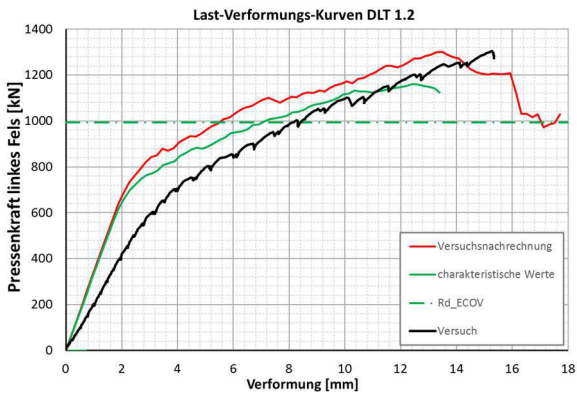


Bild 346: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**Berechnung mit Streuenden Materialparametern:**

$F_{50\%Fraktile} = 1263,56 \text{ [kN]}$

$F_{5\%Fraktile} = 1121,96 \text{ [kN]}$

$\gamma^* = 1,246$

$\gamma_{sys} = 1,065$

$\gamma_R = 1,327$

$F_d = 952,42 \text{ [kN]}$

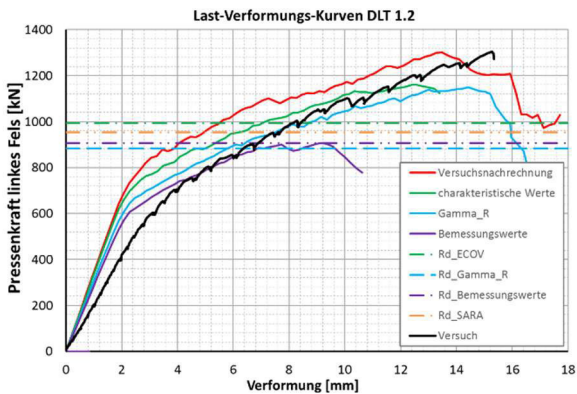


Bild 347: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

**A.5.6 Anwendung der Sicherheitskonzepte an DLT 1.3**

**Bemessungswerte:**

Tabelle 152: Bemessungswerte Beton DLT 1.3

Beton Bemessungswerte:		
E	21102	[N/mm <sup>2</sup> ]
fcd	20,18	[N/mm <sup>2</sup> ]
fctd	1,27	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gfd	3,177E-05	[MN/m]

Tabelle 153: Bemessungswerte Spannstahl DLT 1.3

Spannstahl Bemessungswerte:		
fp0,1d	1366,8	[N/mm <sup>2</sup> ]
fpd	1541,5	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 154: Bemessungswerte Betonstahl DLT 1.3

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	443,5	494,1	200553
Ø8	419,8	518,6	196673
Ø10	411,1	471,9	195510
Ø12	438,7	503,6	194990
Ø16	471,1	546,2	196840
Ø25	440,3	520,2	201370

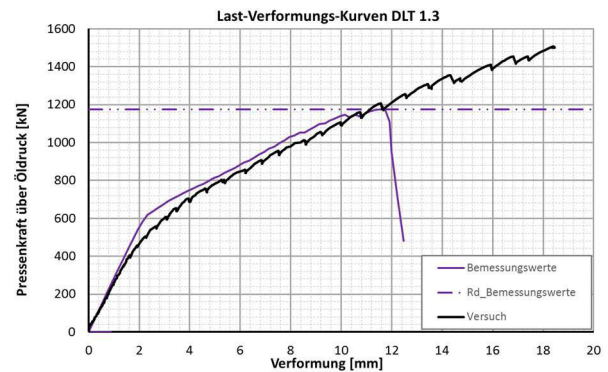


Bild 348: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**$\gamma_R$  Verfahren:**

Tabelle 155:  $\gamma_R$  Werte Beton DLT 1.3

Beton $\gamma_R$ :		
E	22697	[N/mm <sup>2</sup> ]
fcR	25,74	[N/mm <sup>2</sup> ]
fctR	1,62	[N/mm <sup>2</sup> ]
GfR	4,05E-05	[MN/m]

Tabelle 156:  $\gamma_R$  Werte Spannstahl DLT 1.3

Spannstahl $\gamma_R$ :		
fp0,1	1729	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1950	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 157:  $\gamma_R$  Werte Betonstahl DLT 1.3

Bewehrungsstahl $\gamma_R$ :			
Durchmesser	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
∅6	561,0	625,0	200553
∅8	531,0	656,0	196673
∅10	520,0	597,0	195510
∅12	555,0	637,0	194990
∅16	596,0	691,0	196840
∅25	557,0	658,0	201370

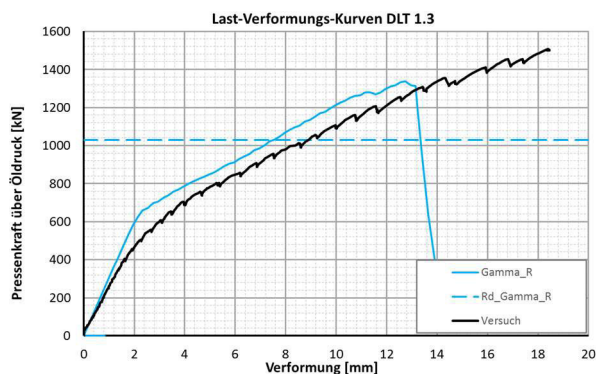


Bild 349: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**ECOV Methode:**

Tabelle 158: Mittelwerte Beton DLT 1.3

Beton Mittelwerte:		
E	25833,44	[N/mm <sup>2</sup> ]
fc	39,62	[N/mm <sup>2</sup> ]
fct	3,204	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gf	8,01E-05	[MN/m]

Tabelle 159: Mittelwerte Spannstahl DLT 1.3

Spannstahl Mittelwerte:		
fp0,1	1729	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1950	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 160: Mittelwerte Betonstahl DLT 1.3

Bewehrungsstahl Mittelwerte:			
Durchmesser	f <sub>y</sub>	f <sub>t</sub>	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
∅6	561,0	625,0	200553
∅8	531,0	656,0	196673
∅10	520,0	597,0	195510
∅12	555,0	637,0	194990
∅16	596,0	691,0	196840
∅25	557,0	658,0	201370

Tabelle 161: Charakteristische Werte Beton DLT 1.3

Beton charakteristisch:		
E	25022	[N/mm <sup>2</sup> ]
fc	35,62	[N/mm <sup>2</sup> ]
fct	2,24	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gf	5,61E-05	[MN/m]

Tabelle 162: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 1.3

Spannstahl charakteristisch:		
fp0,1	1571,8	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1772,7	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 163: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 1.3

Bewehrungsstahl charakteristisch:			
Durchmesser	$f_y$	$f_t$	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	510,0	568,2	200553
Ø8	482,7	596,4	196673
Ø10	472,7	542,7	195510
Ø12	504,5	579,1	194990
Ø16	541,8	628,2	196840
Ø25	506,4	598,2	201370

### A.5.7 Anwendung der Sicherheitskonzepte an DLT 1.4

#### Bemessungswerte:

Tabelle 164: Bemessungswerte Beton DLT 1.4

Beton Bemessungswerte:	
E	15579 [N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{cd}$	23,87 [N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{ctd}$	1,51 [N/mm <sup>2</sup> ]
Gfd	3,784E-05 [MN/m]

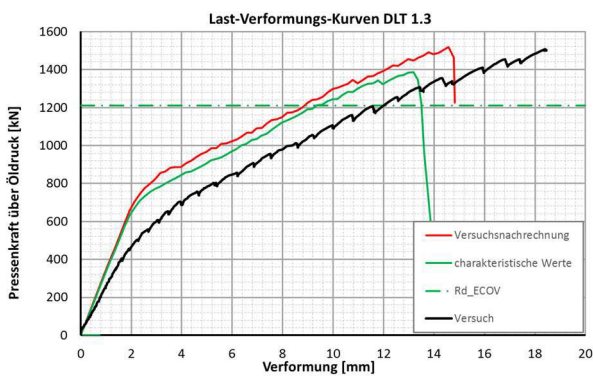


Tabelle 165: Bemessungswerte Spannstahl DLT 1.4

Spannstahl Bemessungswerte:	
$f_{p0,1d}$	1366,8 [N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{pd}$	1541,5 [N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000 [N/mm <sup>2</sup> ]

Bild 350: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

#### Berechnung mit Streuenden Materialparametern:

$F_{50\%Fraktile} = 1478,10 \text{ [kN]}$

$F_{5\%Fraktile} = 1417,08 \text{ [kN]}$

$\gamma^* = 1,081$

$\gamma_{sys} = 1,06473595$

$\gamma_R = 1,151$

$F_d = 1284,15 \text{ [kN]}$

Tabelle 166: Bemessungswerte Betonstahl DLT 1.4

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:			
Durchmesser	$f_y$	$f_t$	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	443,5	494,1	200553
Ø8	419,8	518,6	196673
Ø10	411,1	471,9	195510
Ø12	438,7	503,6	194990
Ø16	471,1	546,2	196840
Ø25	440,3	520,2	201370

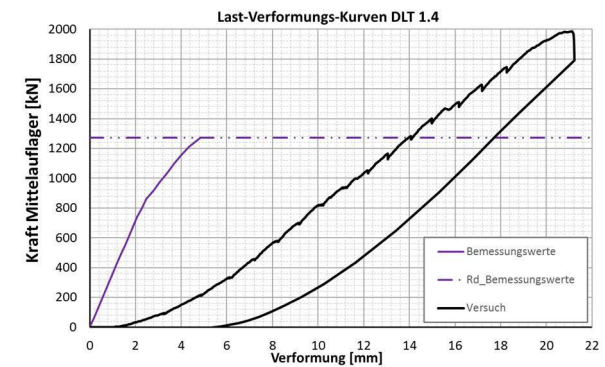
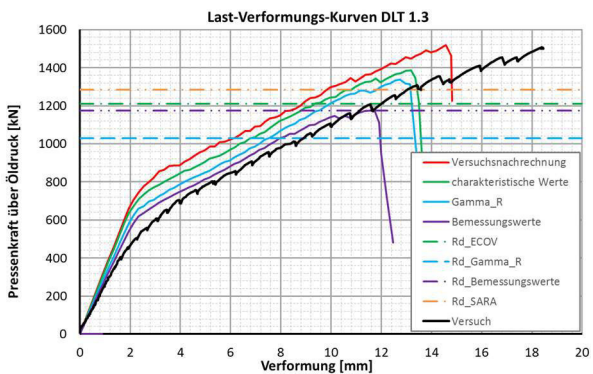


Bild 352: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

Bild 351: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

**$\gamma_R$  Verfahren:**

Tabelle 167:  $\gamma_R$  Werte Beton DLT 1.4

Beton $\gamma_R$ :		
E	15420	[N/mm <sup>2</sup> ]
fcR	30,44	[N/mm <sup>2</sup> ]
fctR	1,93	[N/mm <sup>2</sup> ]
GfR	4,82E-05	[MN/m]

Tabelle 168:  $\gamma_R$  Werte Spannstahl DLT 1.4

Spannstahl $\gamma_R$ :		
fp0,1	1729	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1950	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 169:  $\gamma_R$  Werte Betonstahl DLT 1.4

Bewehrungsstahl $\gamma_R$ :			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	561,0	625,0	200553
Ø8	531,0	656,0	196673
Ø10	520,0	597,0	195510
Ø12	555,0	637,0	194990
Ø16	596,0	691,0	196840
Ø25	557,0	658,0	201370

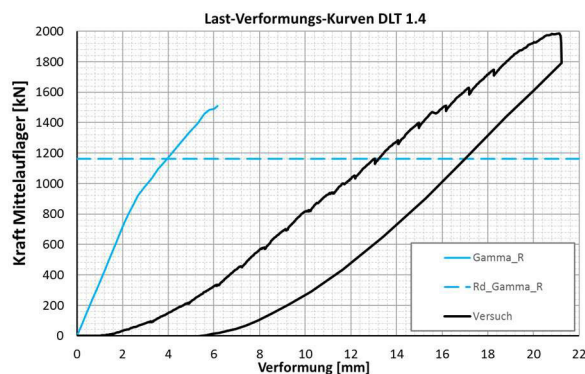


Bild 353: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**ECOV Methode:**

Tabelle 170: Mittelwerte Beton DLT 1.4

Beton Mittelwerte:		
E	23368,62	[N/mm <sup>2</sup> ]
fc	46,13	[N/mm <sup>2</sup> ]
fct	3,816	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gf	9,54E-05	[MN/m]

Tabelle 171: Mittelwerte Spannstahl DLT 1.4

Spannstahl Mittelwerte:		
fp0,1	1729	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1950	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 172: Mittelwerte Betonstahl DLT 1.4

Bewehrungsstahl Mittelwerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	561,0	625,0	200553
Ø8	531,0	656,0	196673
Ø10	520,0	597,0	195510
Ø12	555,0	637,0	194990
Ø16	596,0	691,0	196840
Ø25	557,0	658,0	201370

Tabelle 173: Charakteristische Werte Beton DLT 1.4

Beton charakteristisch:		
E	21342	[N/mm <sup>2</sup> ]
fc	42,13	[N/mm <sup>2</sup> ]
fct	2,67	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gf	6,68E-05	[MN/m]

Tabelle 174: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 1.4

Spannstahl charakteristisch:		
fp0,1	1571,8	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1772,7	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	190000	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 175: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 1.4

Bewehrungsstahl charakteristisch:			
Durchmesser	$f_y$	$f_t$	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	510,0	568,2	200553
Ø8	482,7	596,4	196673
Ø10	472,7	542,7	195510
Ø12	504,5	579,1	194990
Ø16	541,8	628,2	196840
Ø25	506,4	598,2	201370

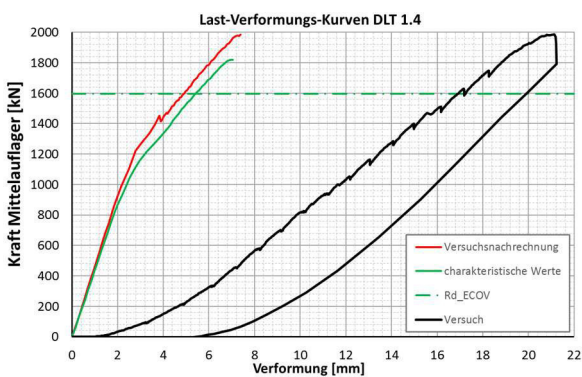


Bild 354: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**Berechnung mit Streuenden Materialparametern:**

$F_{50\%Fraktile} = 1934,92 \text{ [kN]}$

$F_{5\%Fraktile} = 1727,15 \text{ [kN]}$

$\gamma^* = 1,186$

$\gamma_{sys} = 1,065$

$\gamma_R = 1,263$

$F_d = 1532,33 \text{ [kN]}$

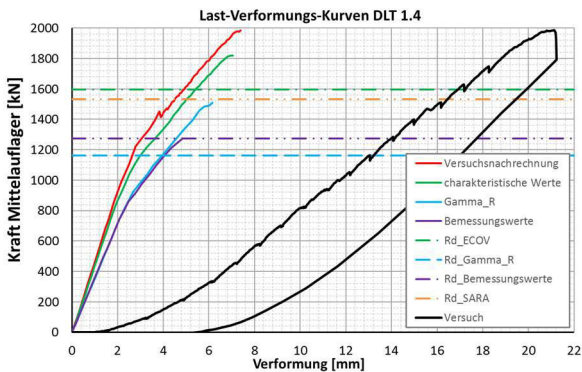


Bild 355: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

**A.5.8 Anwendung der Sicherheitskonzepte an DLT 1.5**

**Bemessungswerte:**

Tabelle 176: Bemessungswerte Beton DLT 1.5

Beton Bemessungswerte:		
E	17745	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{cd}$	23,21	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{ctd}$	1,31	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gfd	3,284E-05	[MN/m]

Tabelle 177: Bemessungswerte Spannstahl DLT 1.5

Spannstahl Bemessungswerte:		
$f_{p0,1d}$	1358,1	[N/mm <sup>2</sup> ]
$f_{pd}$	1510,7	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	199700	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 178: Bemessungswerte Betonstahl DLT 1.5

Bewehrungsstahl Bemessungswerte:			
Durchmesser	$f_y$	$f_t$	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	443,5	494,1	200553
Ø8	419,8	518,6	196673
Ø10	411,1	471,9	195510
Ø12	438,7	503,6	194990
Ø16	471,1	546,2	196840
Ø25	440,3	520,2	201370

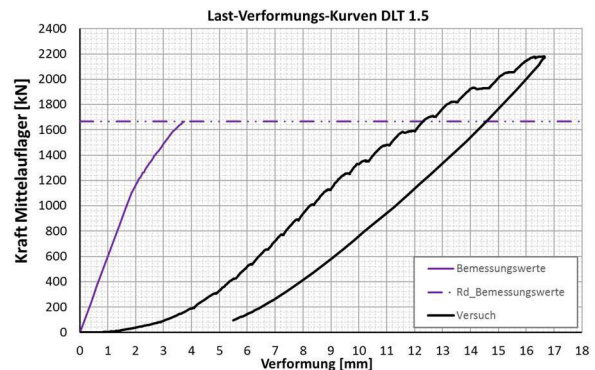


Bild 356: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**$\gamma_R$  Verfahren:**

Tabelle 179:  $\gamma_R$  Werte Beton DLT 1.5

Beton $\gamma_R$ :		
E	17520	[N/mm <sup>2</sup> ]
fcR	29,59	[N/mm <sup>2</sup> ]
fctR	1,68	[N/mm <sup>2</sup> ]
GfR	4,19E-05	[MN/m]

Tabelle 180:  $\gamma_R$  Werte Spannstahl DLT 1.5

Spannstahl $\gamma_R$ :		
fp0,1	1718	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1911	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	199700	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 181:  $\gamma_R$  Werte Betonstahl DLT 1.5

Bewehrungsstahl $\gamma_R$ :			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	561,0	625,0	200553
Ø8	531,0	656,0	196673
Ø10	520,0	597,0	195510
Ø12	555,0	637,0	194990
Ø16	596,0	691,0	196840
Ø25	557,0	658,0	201370

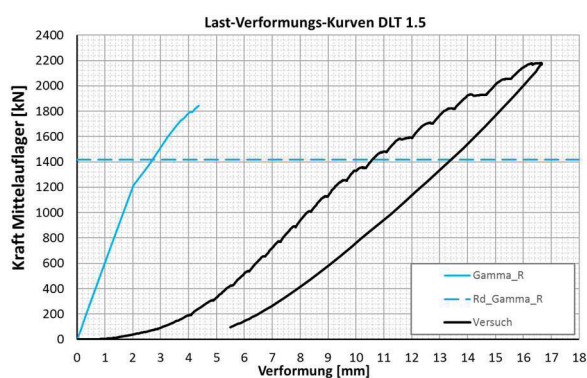


Bild 357: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**ECOV Methode:**

Tabelle 182: Mittelwerte Beton DLT 1.5

Beton Mittelwerte:		
E	26617,71	[N/mm <sup>2</sup> ]
fc	44,95	[N/mm <sup>2</sup> ]
fct	3,312	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gf	8,28E-05	[MN/m]

Tabelle 183: Mittelwerte Spannstahl DLT 1.5

Spannstahl Mittelwerte:		
fp0,1	1718	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1911	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	199700	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 184: Mittelwerte Betonstahl DLT 1.5

Bewehrungsstahl Mittelwerte:			
Durchmesser	fy	ft	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	561,0	625,0	200553
Ø8	531,0	656,0	196673
Ø10	520,0	597,0	195510
Ø12	555,0	637,0	194990
Ø16	596,0	691,0	196840
Ø25	557,0	658,0	201370

Tabelle 185: Charakteristische Werte Beton DLT 1.5

Beton charakteristisch:		
E	24249	[N/mm <sup>2</sup> ]
fc	40,95	[N/mm <sup>2</sup> ]
fct	2,32	[N/mm <sup>2</sup> ]
Gf	5,80E-05	[MN/m]

Tabelle 186: Charakteristische Werte Spannstahl DLT 1.5

Spannstahl charakteristisch:		
fp0,1	1561,8	[N/mm <sup>2</sup> ]
fp	1737,3	[N/mm <sup>2</sup> ]
E	199700	[N/mm <sup>2</sup> ]

Tabelle 187: Charakteristische Werte Betonstahl DLT 1.5

Bewehrungsstahl charakteristisch:			
Durchmesser	$f_y$	$f_t$	E
	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
Ø6	510,0	568,2	200553
Ø8	482,7	596,4	196673
Ø10	472,7	542,7	195510
Ø12	504,5	579,1	194990
Ø16	541,8	628,2	196840
Ø25	506,4	598,2	201370

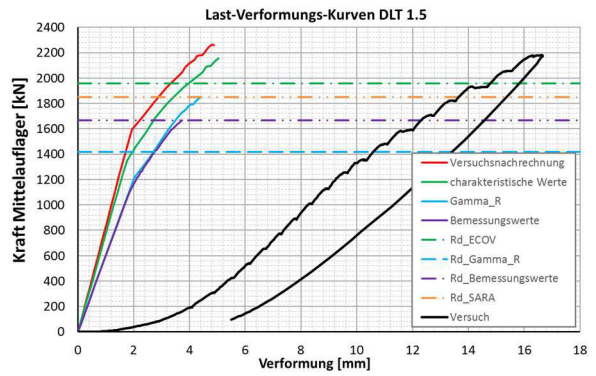


Bild 359: Last-Verformungs-Kurven und Auswertung der Sicherheitskonzepte

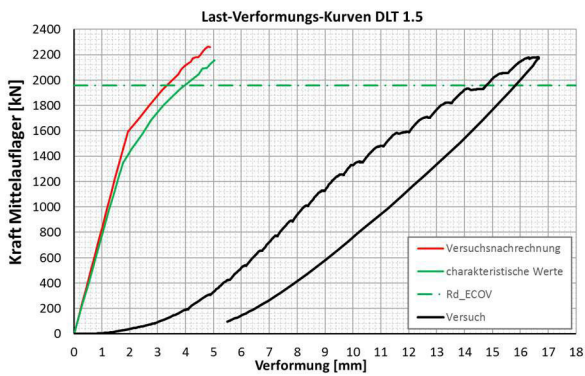


Bild 358: Last-Verformungs-Kurven aus Versuch und ATENA Simulation

**Berechnung mit Streuenden Materialparametern:**

$F_{50\%Fraktile} = 2290,55 \text{ [kN]}$

$F_{5\%Fraktile} = 2070,88 \text{ [kN]}$

$\gamma^* = 1,163$

$\gamma_{sys} = 1,065$

$\gamma_R = 1,238$

$F_d = 1849,61 \text{ [kN]}$



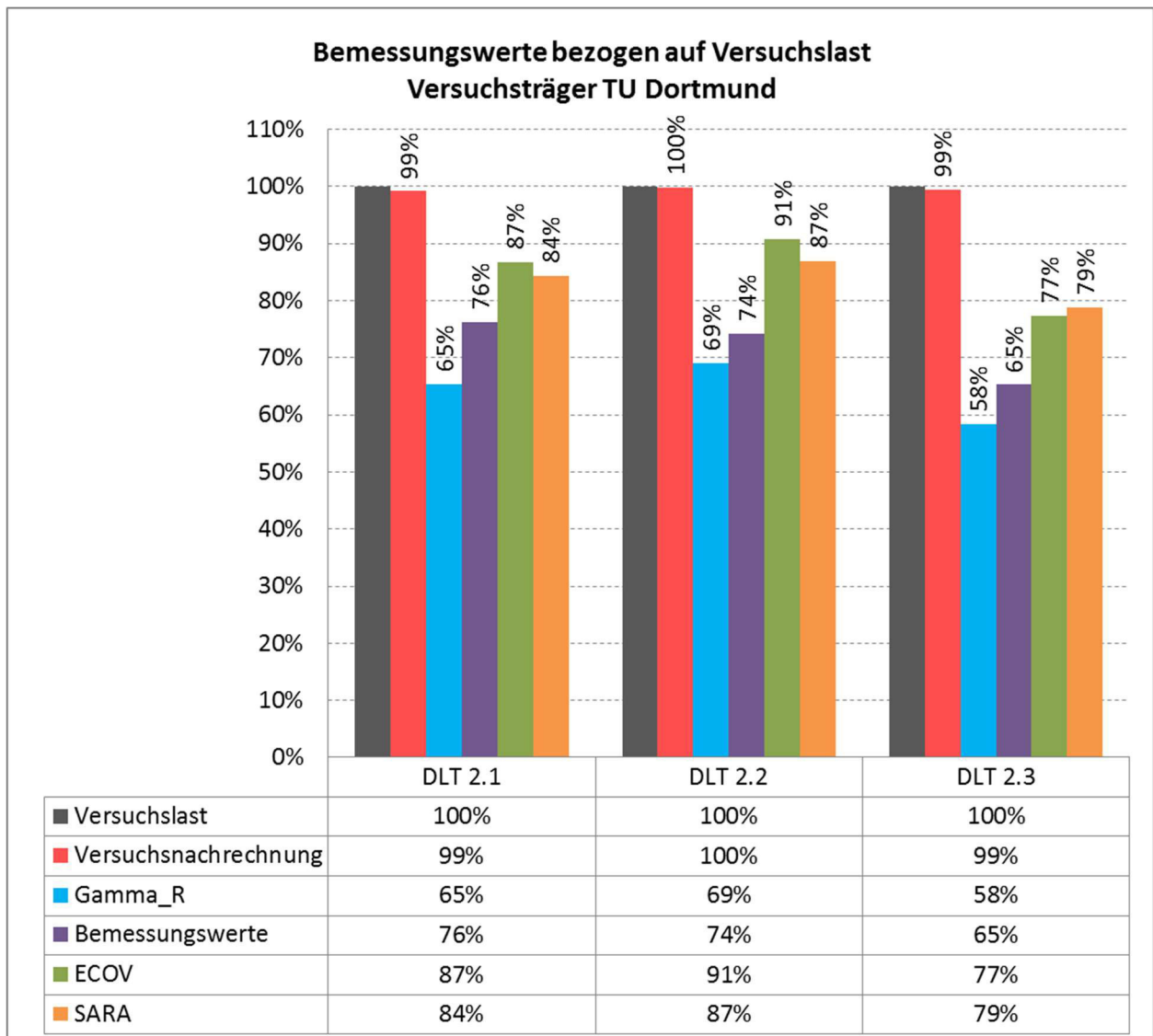


Bild 360: Bemessungswerte des Tragwiderstandes nach den einzelnen Sicherheitskonzepten bezogen auf der Versuchslast, Versuchsträger TU Dortmund

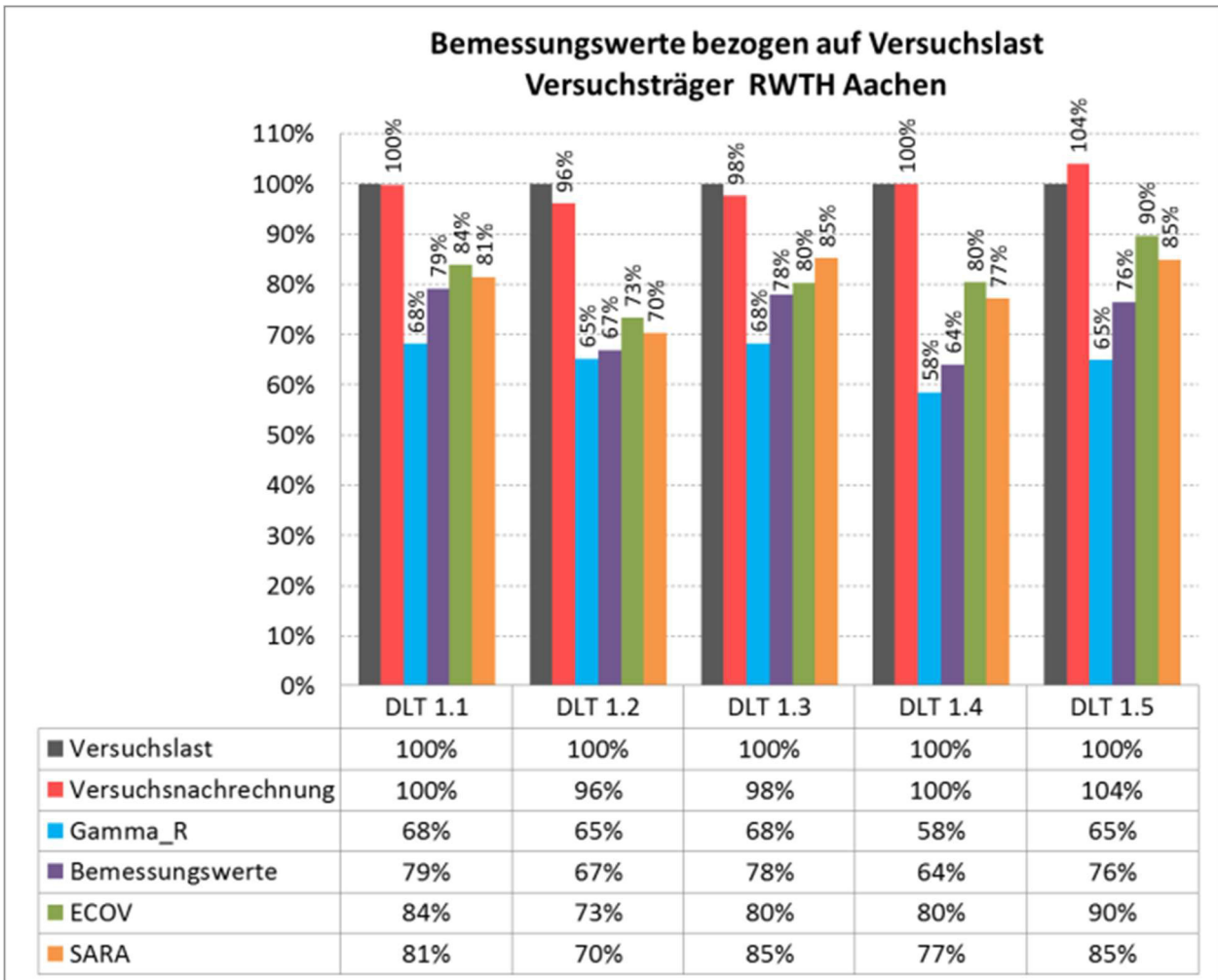


Bild 361: Bemessungswerte des Tragwiderstandes nach den einzelnen Sicherheitskonzepten bezogen auf der Versuchslast, Versuchsträger RWTH Aachen