

Anhang zu:

Verstärkung von Stahlbrücken mit hochfestem Beton

von

Tobias Mansperger
Thomas Lehmann
Max Hofmann

Leonhardt, Andrä und Partner
Beratende Ingenieure VBI AG
Stuttgart/ Dresden

Markus Krüger
Frank Lehmann

Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 137 – Anhang

bast

Anlagen

Anlage A

Untersuchungsbericht

Begleitende Untersuchung im Rahmen des Projekts „Instandsetzung und Verstärkung von orthotropen Platten mit ultrahochfestem Beton“ – FE 15.0566/2012/CRB der BAST

Aufgestellt: MPA Stuttgart, 09.09.2014

Anlage B

Untersuchungsbericht

Begleitende Untersuchung im Rahmen des Projekts „Instandsetzung und Verstärkung von orthotropen Platten mit ultrahochfestem Beton“ – FE 15.0566/2012/CRB der BAST

Aufgestellt: MPA Stuttgart, 01.09.2015

Anlage C

Numerische Untersuchungsergebnisse

Numerische Rechenergebnisse im Rahmen des Projekts „Instandsetzung und Verstärkung von orthotropen Platten mit ultrahochfestem Beton“ – FE 15.0566/2012/CRB der BAST

Aufgestellt: LAP Dresden, 02.05.2016

Untersuchungsbericht

Begleitende Untersuchung im Rahmen des Projekts „Instandsetzung und Verstärkung von Orthotropen Platten mit ultrahochfestem Beton“ – FE 15.0566/2012/CRB der BASt

Auftraggeber:	Leonhardt, Andrä und Partner Beratenden Ingenieure VBI AG Am Schießhaus 1-3 01067 Dresden
Auftrags-Nr. (Kunde):	-
Auftrags-Nr. (MPA):	902 8478 000 /Kru
Prüfgegenstand:	Brücke Beimerstetten
Prüfspezifikation:	Belastungsmessungen mit Hydraulikbagger
Eingangsdatum des Prüfgegenstandes:	-
Datum der Prüfung:	20.08.2014
Datum des Berichts:	09. September 2014
Seite 1 von	6 Textseiten
Beilagen:	15
Anlagen:	0
Gesamtseitenzahl:	21
Anzahl der Ausfertigungen:	1 Digital

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.

Veröffentlichung des vorliegenden Berichtes (auch auszugsweise) ist nur mit schriftlicher Genehmigung der MPA Universität Stuttgart zulässig.

1 Aufgabenstellung

Im Rahmen der konstruktiven Verstärkung von Stahlbrücken wird in Deutschland die Möglichkeit in Betracht gezogen, insbesondere orthotrope Platten von Stahlbrücken mit einer Verstärkungsschicht aus hochfestem bzw. ultrahochfesten Beton zu verstärken. Dabei wird bewehrter, hochfester Beton anstatt üblichen Asphalts auf die orthotrope Platte aufgebracht. Durch die Verbundwirkung soll die Tragfähigkeit der Brückenkonstruktion verbessert bzw. die Steifigkeit der Brückenkonstruktion und hier insbesondere des Fahrbahnbleches mit dem Ziel der Verringerung lokaler Verformungen erhöht werden.

Diese Konstruktionsweise zur Verstärkung ist in Deutschland bisher noch nicht eingesetzt worden. Daher wurde zunächst vorgesehen, die Bauweise zur Verstärkung an einer Brückenkonstruktion auf ihre Eignung hin zu untersuchen. Als Pilotprojekt wurde eine Brücke in Beimerstetten ausgewählt. Ziel der nachfolgend aufgeführten Messungen ist die baubegleitende Messung von lokalen Tragwerksverformungen vor und nach dem Aufbringen der Verstärkungsschicht, um so einen Eindruck über die tatsächliche Wirkung der Verstärkungsmaßnahme zu erlangen und die Anwendbarkeit dieser Verstärkungstechnologie zu evaluieren.

2 Durchgeführte Untersuchungen

In Absprache mit dem Auftraggeber (Leonhardt, Andrä und Partner) wurden an der Brücke in Beimerstetten Dehnmessstreifen wie auch Wegaufnehmer innerhalb des Brückenhohlkastens als auch auf der orthotropen Platte direkt auf den Stahl installiert. Die installierte Messeinrichtung dient dabei dem Zweck, maßgebliche Bauteilverformungen während verschiedener Belastungsversuche aufzuzeichnen und zu evaluieren. Messungen sollten dabei vor dem Aufbringen der Verstärkungsschicht als auch nach dem Aufbringen der Verstärkungsschicht durchgeführt werden.

Gegenüber der ursprünglichen Planung (siehe diesbezüglich Angebot FE 15.0566/2012/CRB) musste eine Anpassung der Sensorinstallation und der Belastungsversuche vorgenommen werden, da zum Zeitpunkt der Auftragsvergabe schon mit den Bauarbeiten am Objekt begonnen wurde. Die Durchführung von Belastungsversuchen an der Brücke im Ausgangszustand (mit Asphalt) war daher nicht mehr möglich. Der vorliegende Bericht beschreibt daher die Untersuchungen und Belastungsversuche an der Brücke in Beimerstetten im Bauzustand. Der vorliegende Bauzustand ist dadurch gekennzeichnet, dass der gesamte Asphalt der Brückenkonstruktion bereits entfernt ist und sich auf der Brücke auf einer Straßenseite über dem ersten Bauabschnitt eine Einhausung befindet (siehe Abbildung 1).

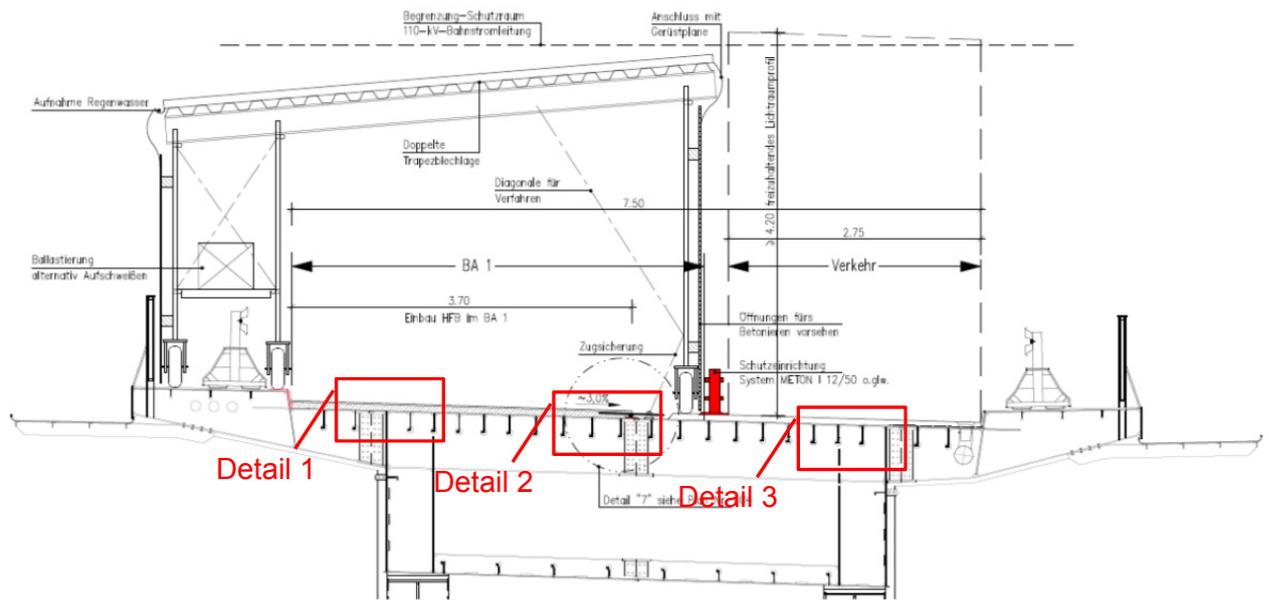


Abbildung 1: Bauphase (ungefähre Einrichtung, entnommen von Planunterlagen der „Ingenieurgruppe Bauen“)
Insgesamt wurden über den Brückenquerschnitt drei Messbereiche (Kennzeichnung „Detail 1“, „Detail 2“ und „Detail 3“) mit Sensoren ausgestattet. Die Sensorpositionen sind in Abbildung 2, Abbildung 3 und Abbildung 4 eingetragen. Im Messbereich „Detail 3“ wurden für die ersten Messungen zunächst nur die Sensoren im Hohlkasten installiert.

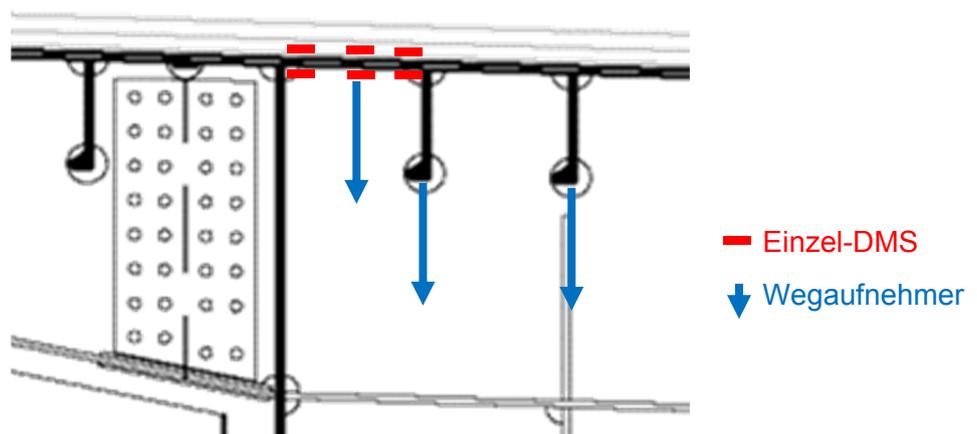


Abbildung 2: Detail 1, Sensorpositionen

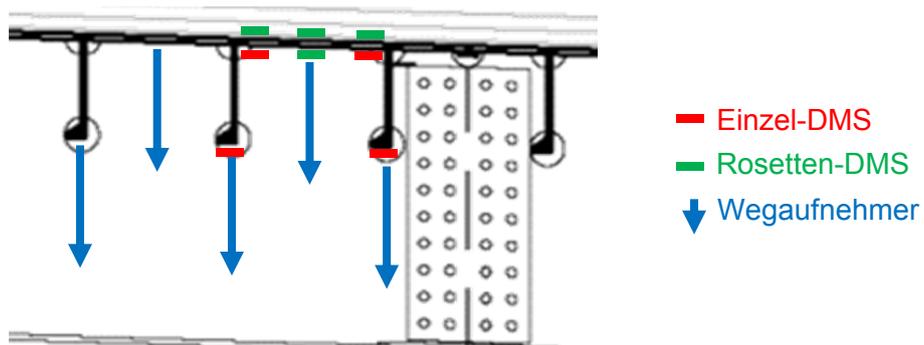


Abbildung 3: Detail 2, Sensorpositionen

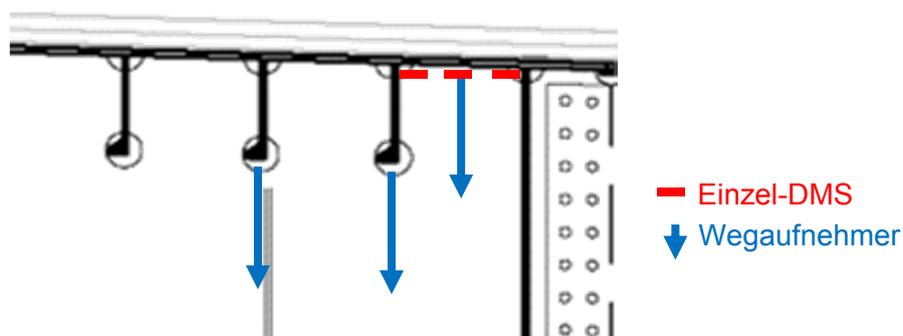


Abbildung 4: Detail 3, Sensorpositionen

Aufgrund der Einhausung für den ersten Bauabschnitt war es gegenüber der ursprünglichen Planung nicht möglich, eine Probelastung mit schweren Fahrzeugen zu realisieren. Zudem war nur eine eingeschränkte Zugänglichkeit und damit Belastungspositionierung gegeben, aufgrund dessen die Probelastungen den örtlichen Begebenheiten angepasst werden mussten. Für die Probelastungen wurde ein Radlader verwendet, der über die verschiedenen Belastungspositionen gefahren wurde. Dabei wurden sowohl bei der Platzierung des Radladers über „Detail 1“ als auch etwa in Fahrbahnmitte die zugehörigen Dehnungen und Verformungen gemessen. Bei der Belastung durch den Radlader kann von einer gleichmäßig verteilten Achslast auf alle vier Räder ausgegangen werden. Im Anschluss an diese Messungen wurde mittig unter den Radlader eine Hydraulikpresse angesetzt und eine lokale Belastung durch Anheben des Radladers realisiert (siehe Abbildung 5). Je nach genauer Positionierung der Hydraulikpresse konnten so lokal Lasten von etwa 38kN bis zu etwa 47kN aufgebracht werden. Die Positionen des Radladers sowie die der Hydraulikpresse für die einzelnen Belastungsversuche sind in Abbildung 6 bis Abbildung 10 angegeben. Eine Positionierung des Radladers zentral über „Detail 2“ war aufgrund der Beschränkung durch die Einhausung nicht möglich. Es wurde eine Versuchsreihe im Bereich des Brückenauflegers und eine weitere vergleichbare Versuchsreihe in Brückenmitte durchgeführt.



Abbildung 5: Hydraulikpresse für lokale Belastung mittels Radlader.

3 Prüfergebnisse und Ergebnisinterpretation

Die Ergebnisse der einzelnen Belastungsversuche sind in der Beilage in Abbildung 11 bis Abbildung 22 zur besseren Übersicht in Grafiken eingetragen. Die Interpretation durch den Auftraggeber Leonhardt, Andrä und Partner steht noch aus.

**Dr. Markus Krüger
Abteilungsleiter**

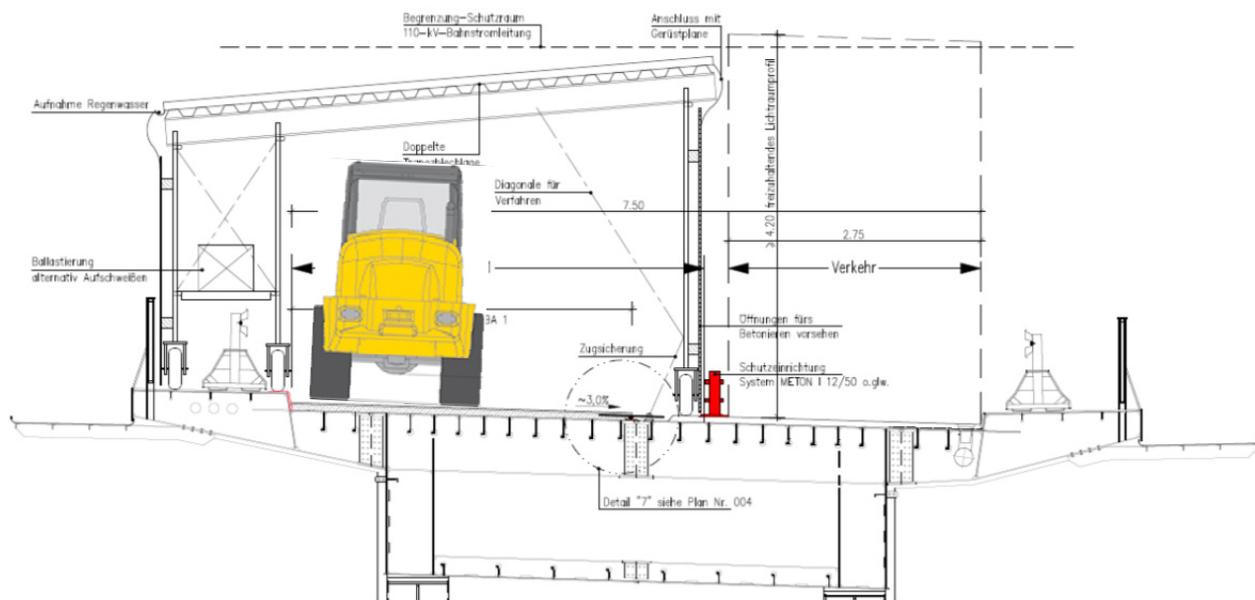


Abbildung 6: Messung Detail 1, Bagger über Detail 1

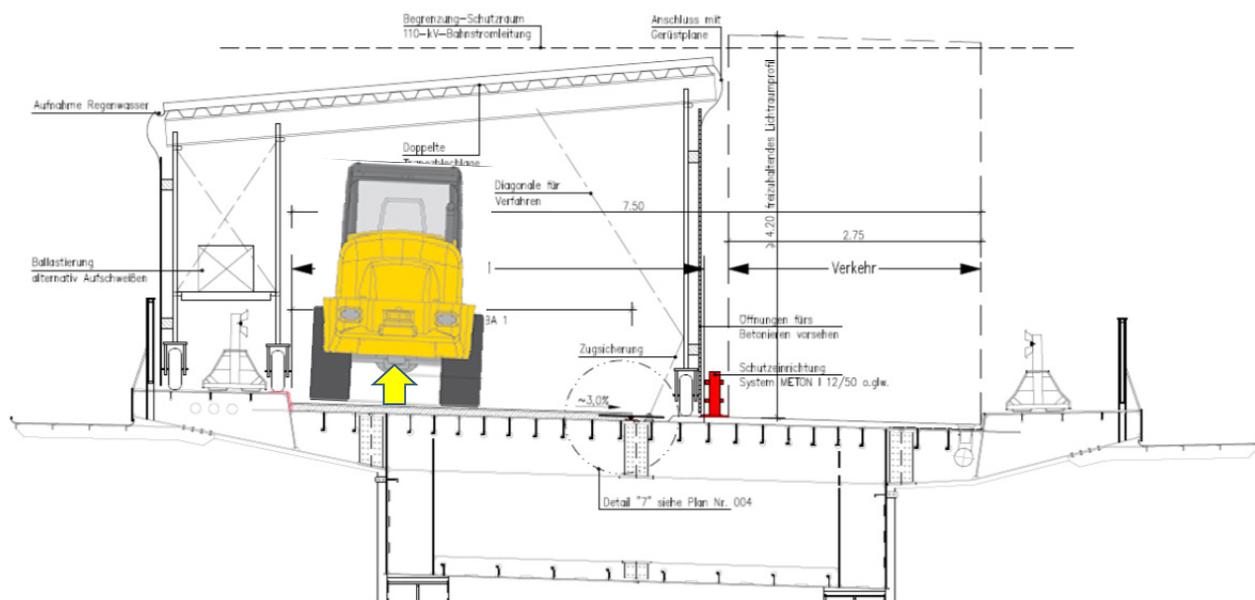


Abbildung 7: Messung Detail 1; Hydraulikstempel zwischen Steifen (Auflagerbereich 40kN, Brückenmitte 38kN)

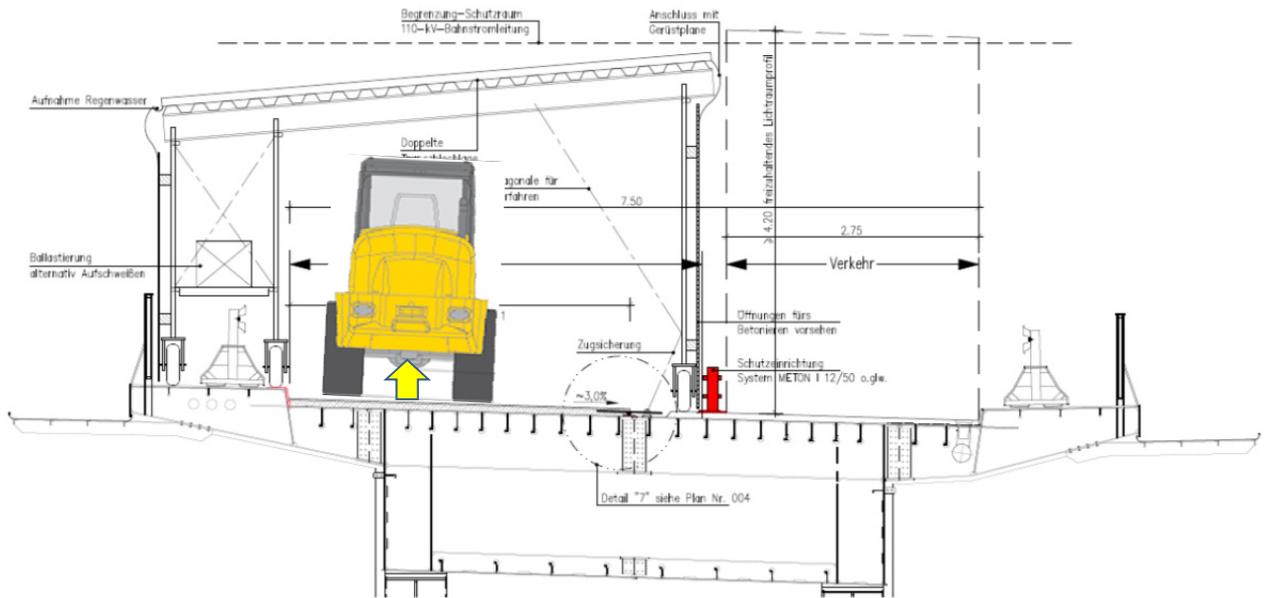


Abbildung 8: Messung Auflagerbereich; Detail 1 Hydraulikstempel auf Steife (Auflagerbereich 47kN, Brückenmitte 47kN)

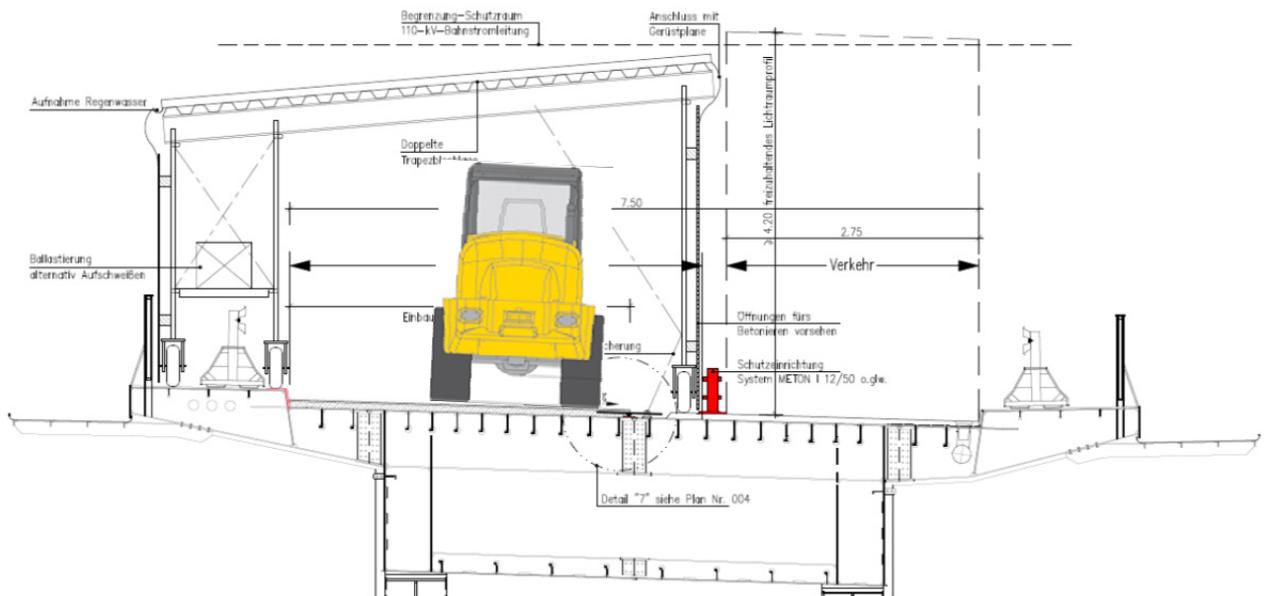


Abbildung 9: Messung Auflagerbereich; Zwischen Detail 1 und Detail 2 Bagger etwa mittig in Fahrspur

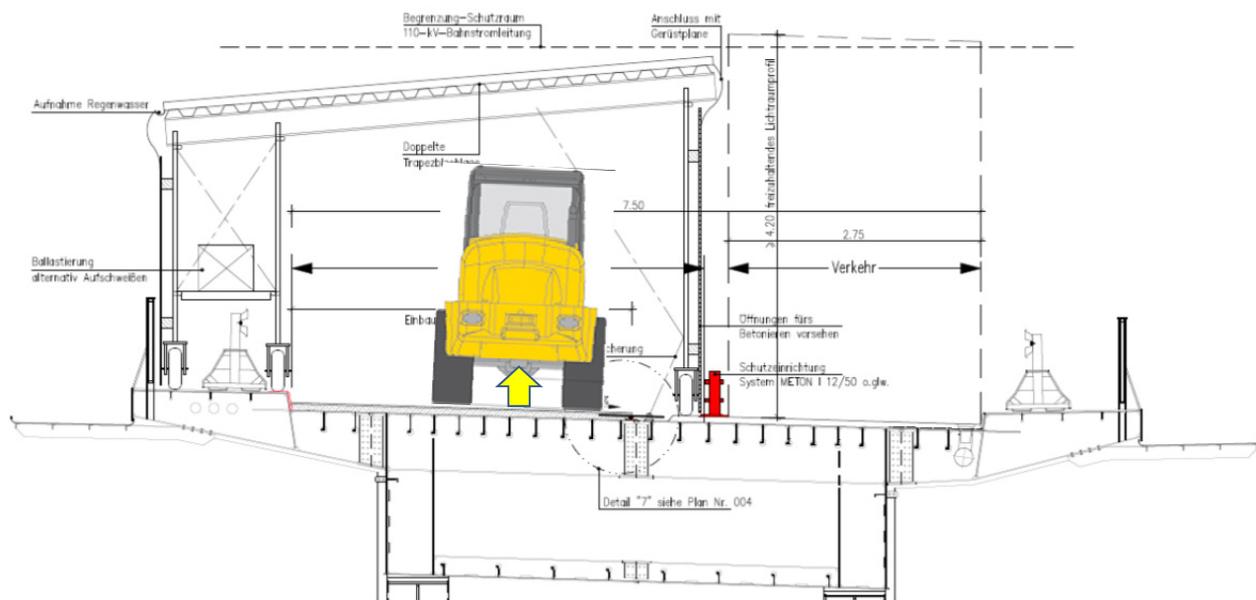


Abbildung 10: Messung Auflagerbereich; Zwischen Detail 1 und Detail 2 Hydraulikstempel etwa mittig in Fahrspur (Auflagerbereich 43kN, Brückenmitte 41kN)

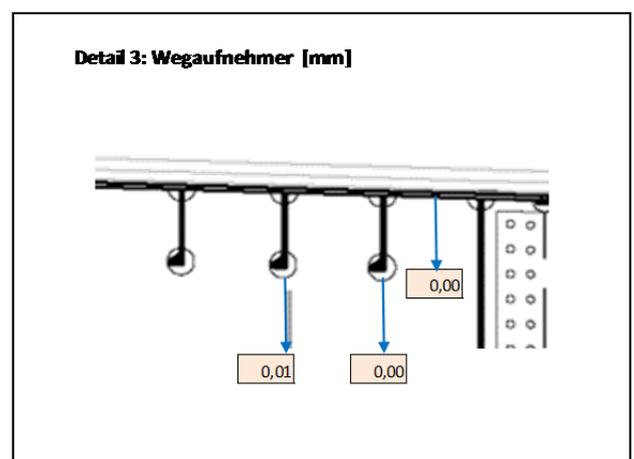
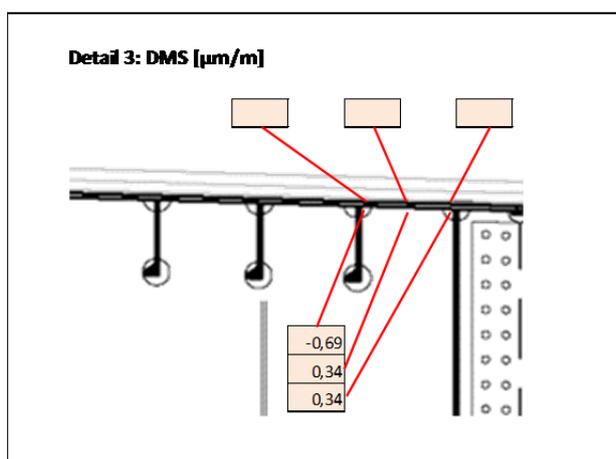
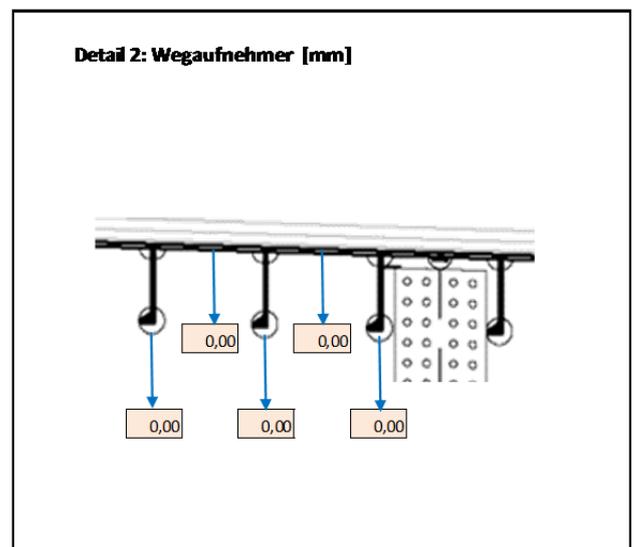
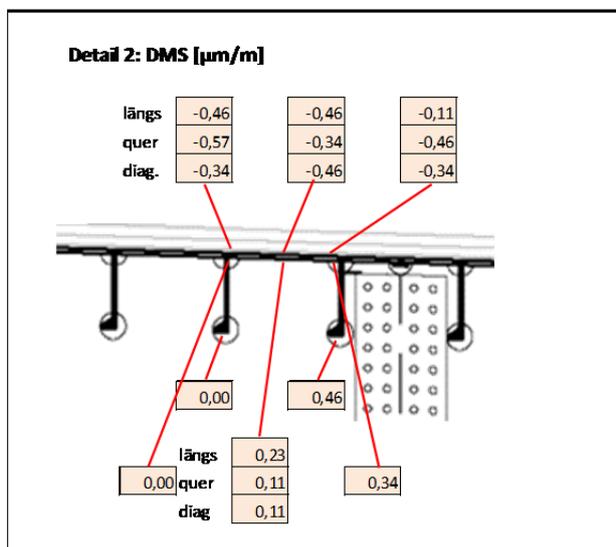
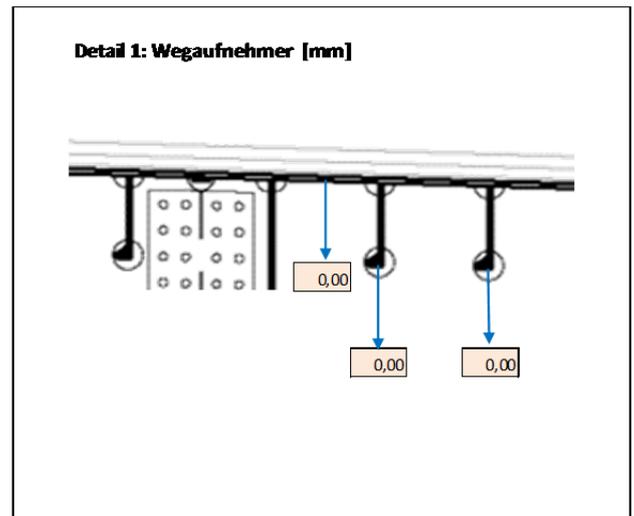
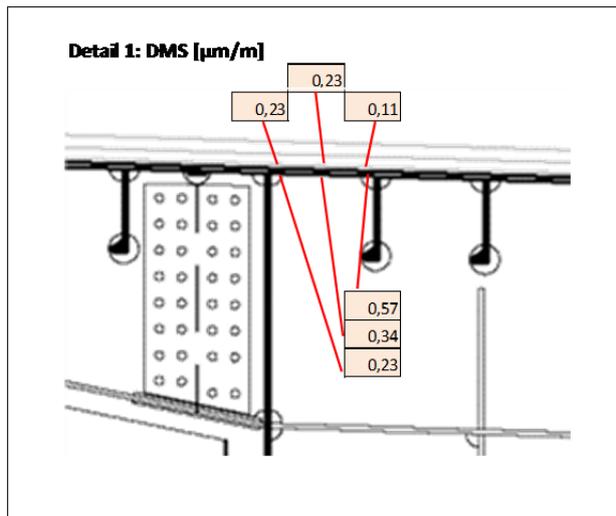


Abbildung 11: Nullmessung Auflagerbereich (ohne Belastung)

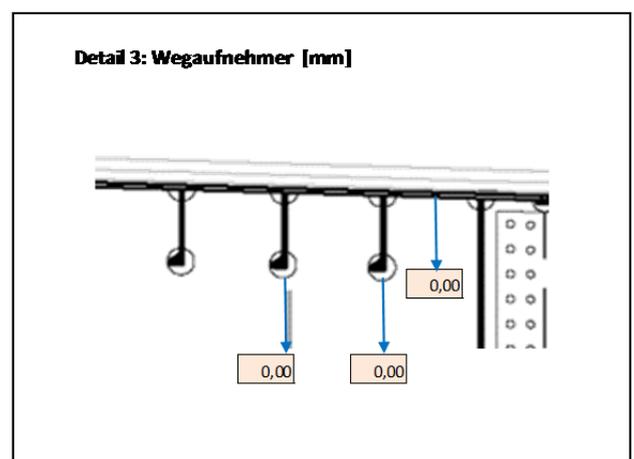
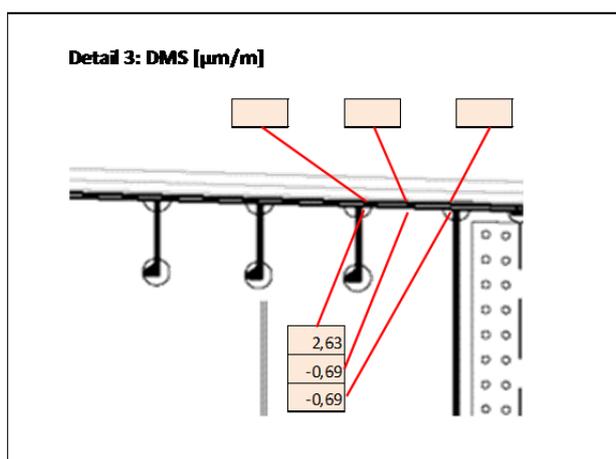
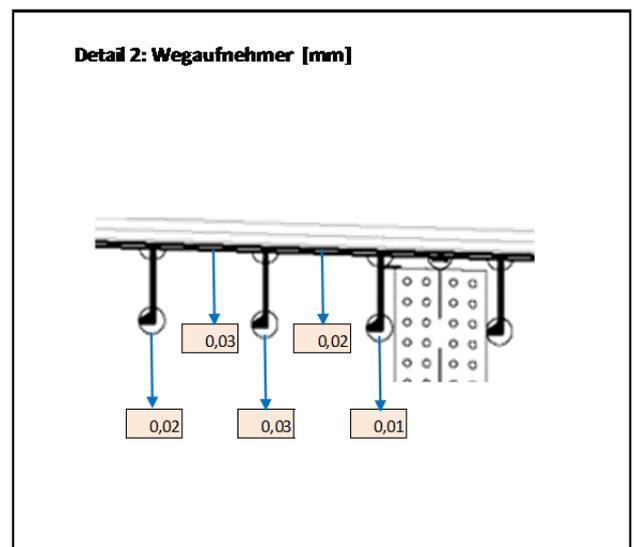
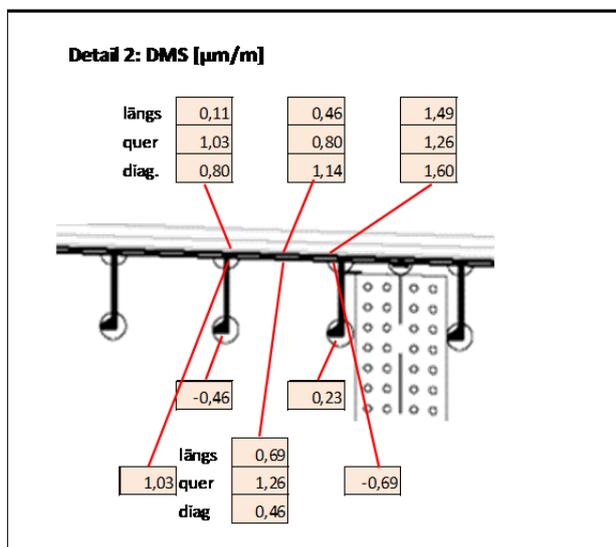
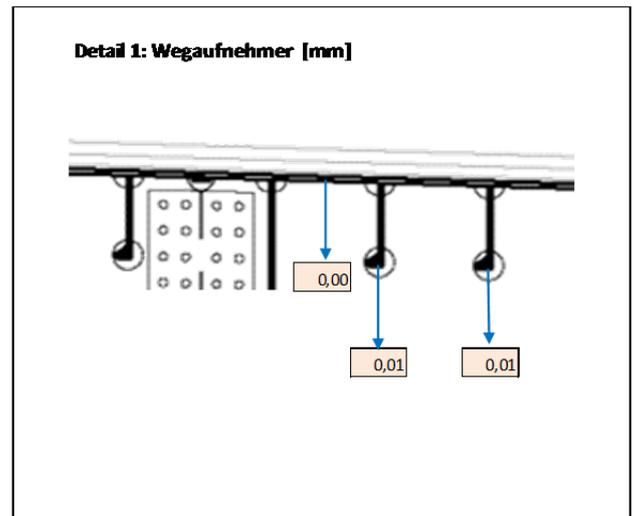
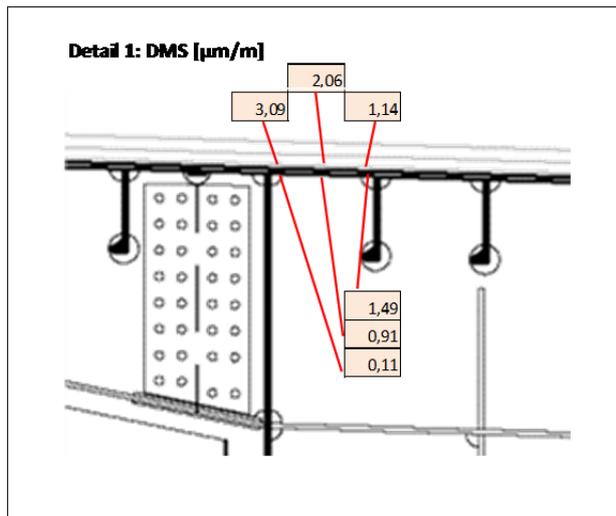


Abbildung 12: Messung Auflagerbereich; Bagger über Detail 1

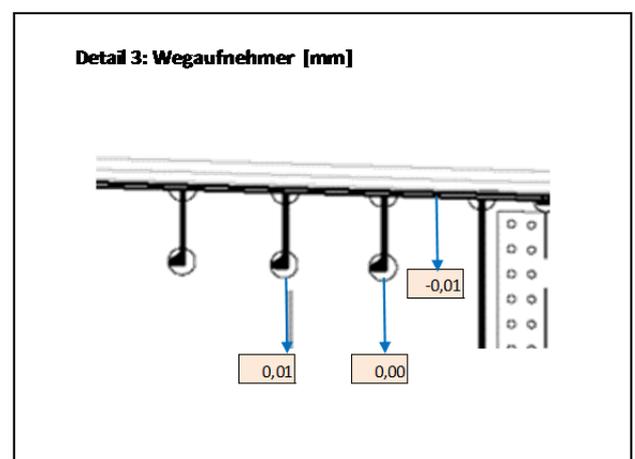
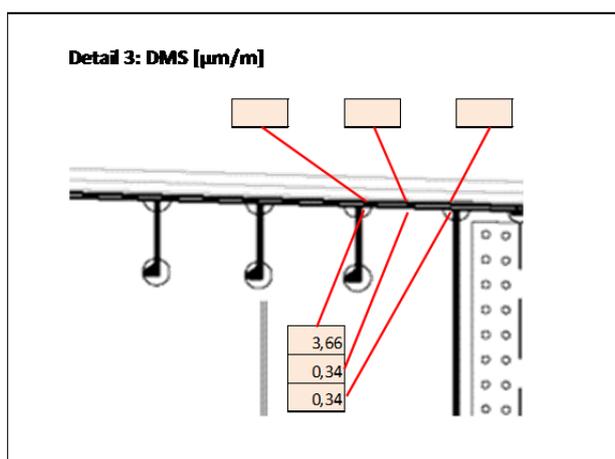
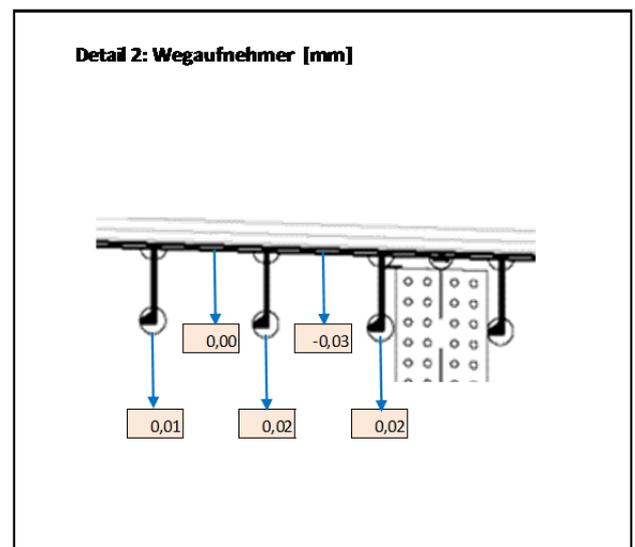
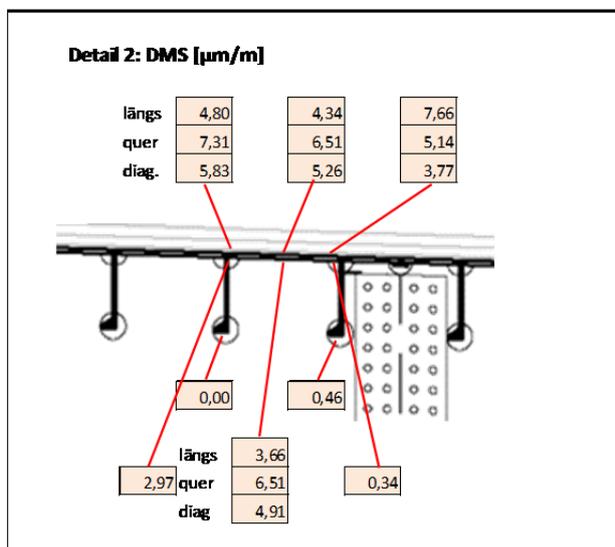
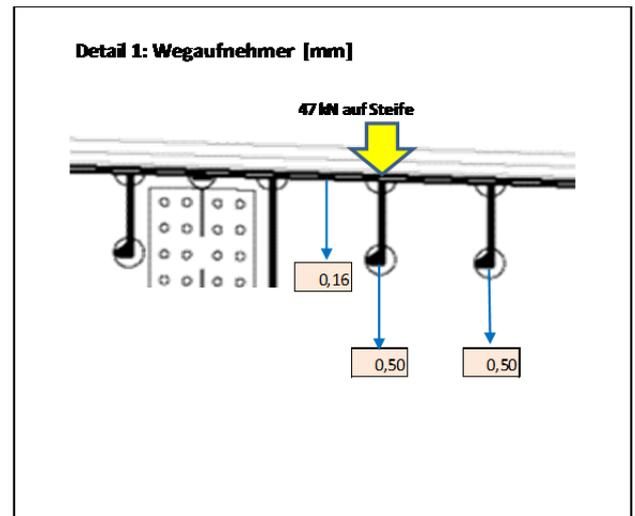
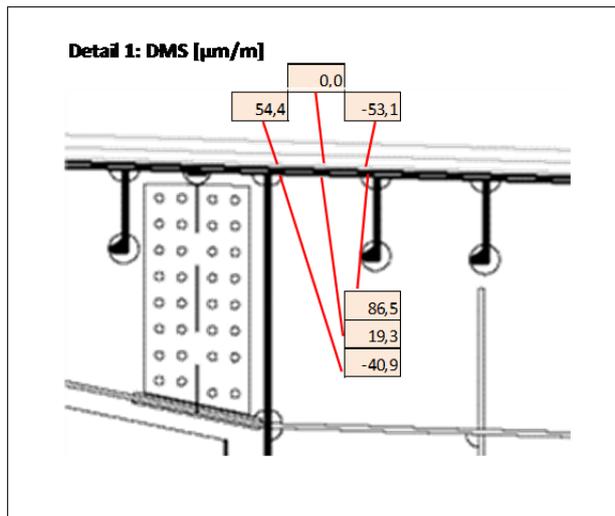


Abbildung 14: Messung Auflagerbereich; Hydraulikstempel auf Steife (47kN) im Detail 1

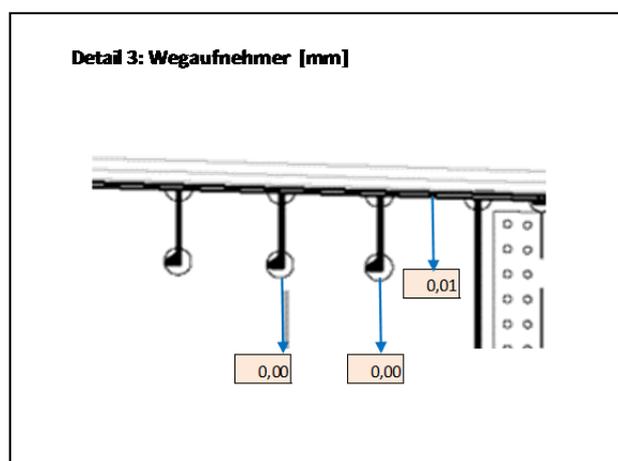
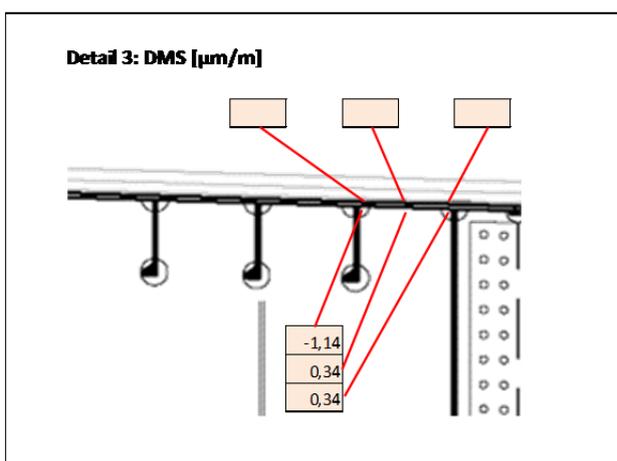
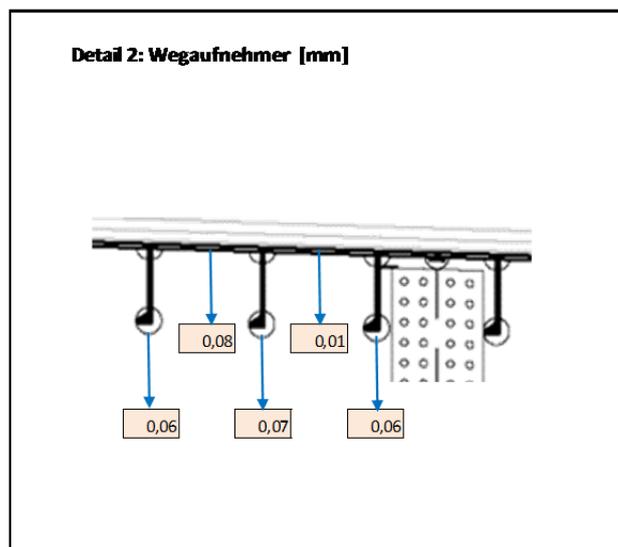
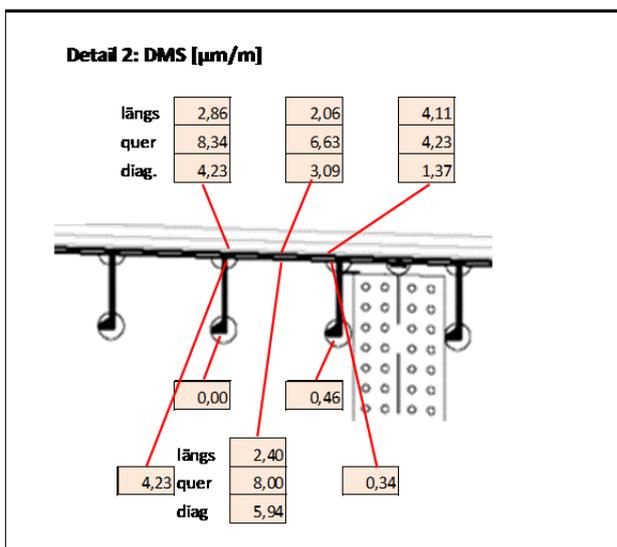
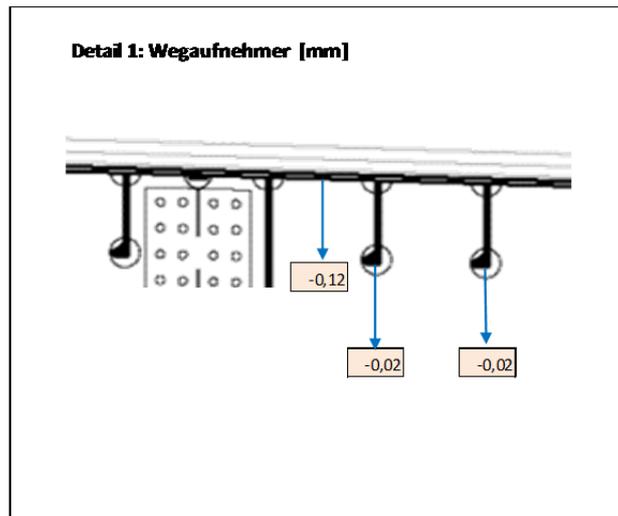
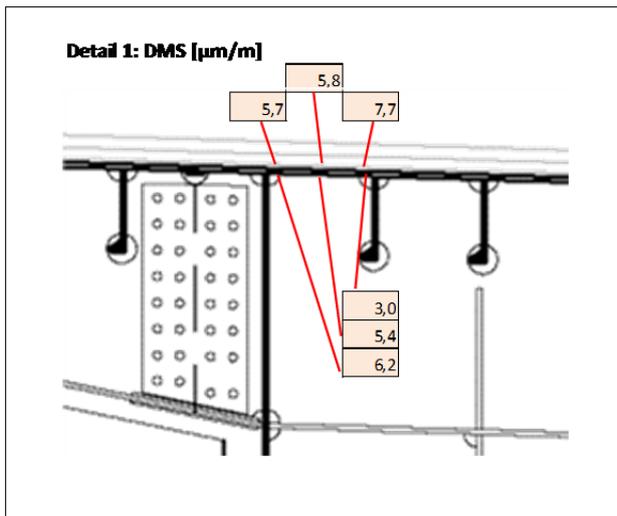


Abbildung 15: Messung Auflagerbereich; Bagger mittig in Fahrspur zwischen Detail 1 und Detail 2

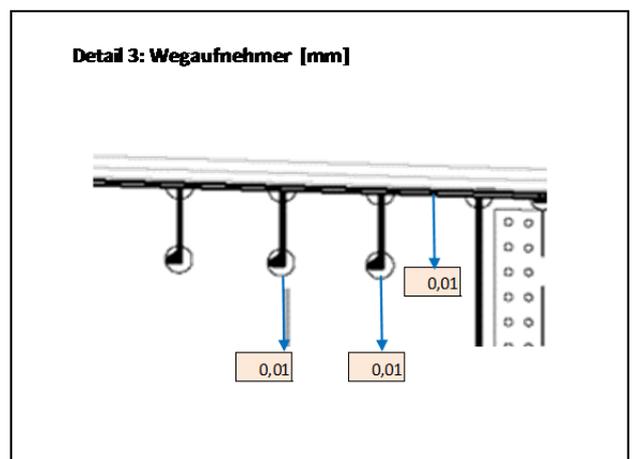
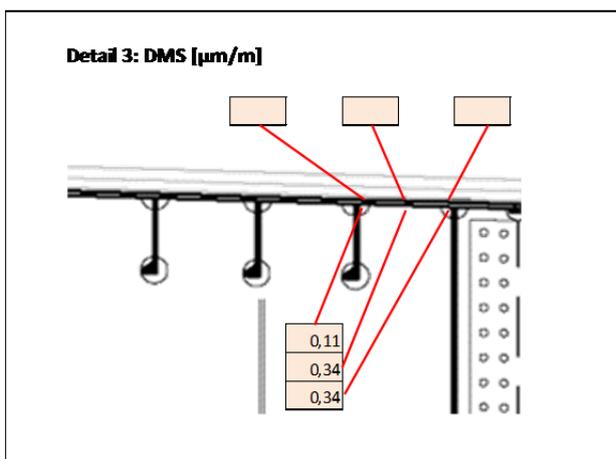
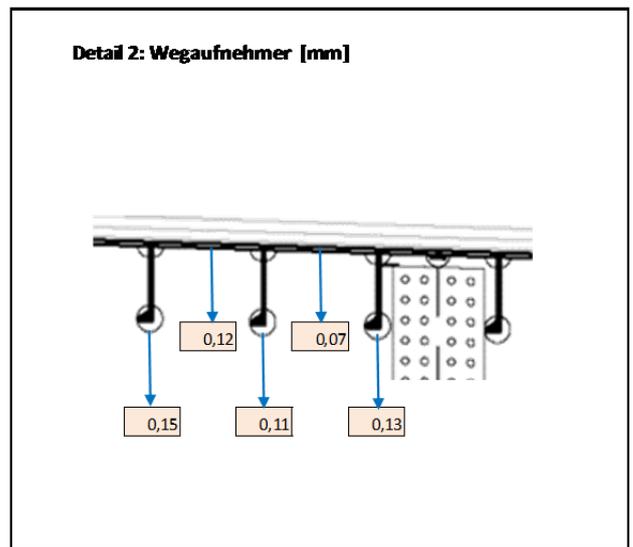
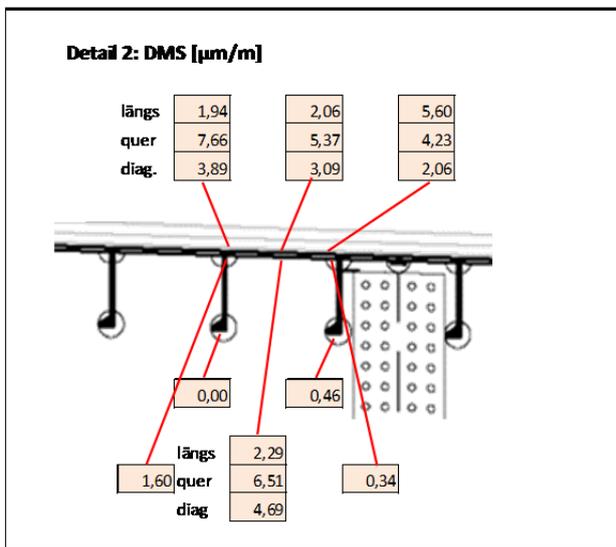
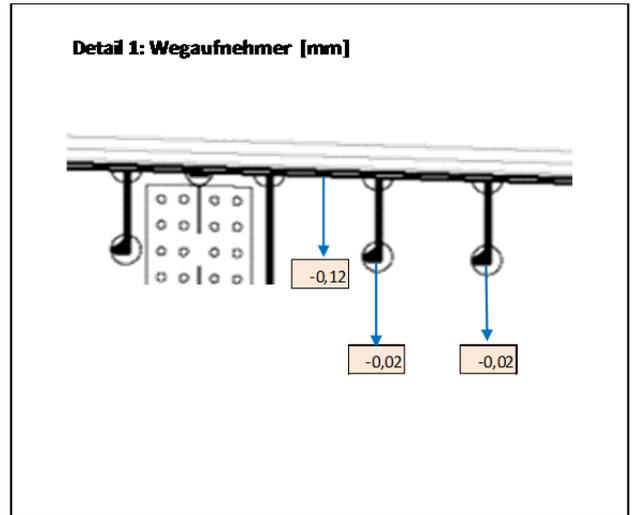
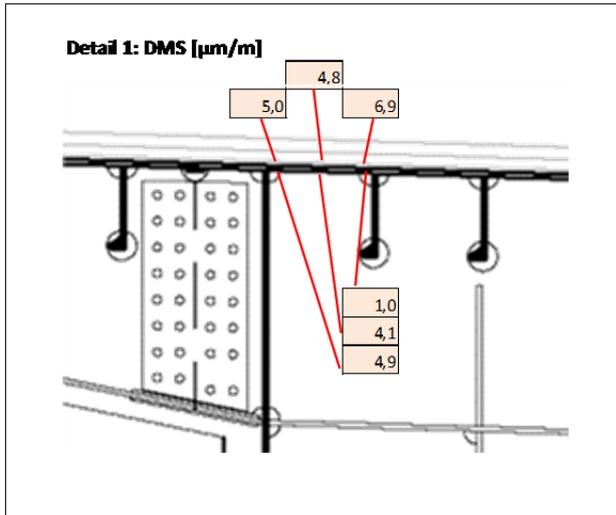


Abbildung 16: Messung Auflagerbereich; Hydraulikstempel mittig in Fahrspur (43kN) zwischen Detail 1 und Detail 2

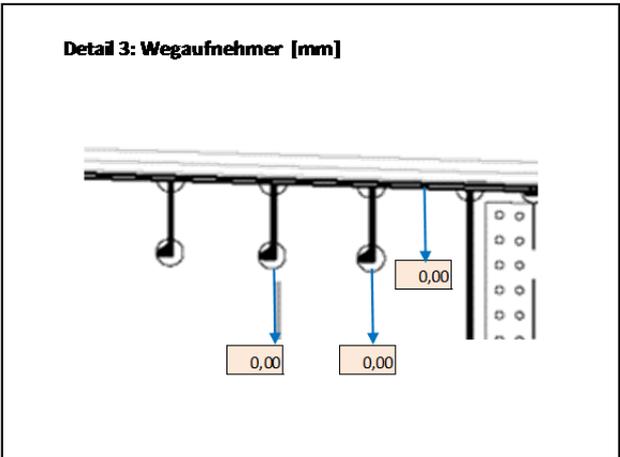
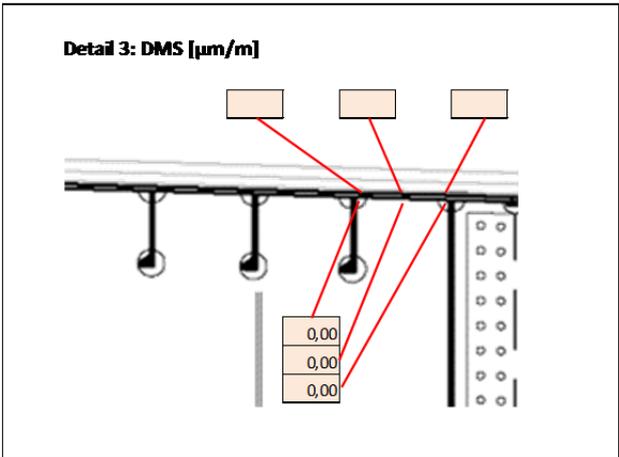
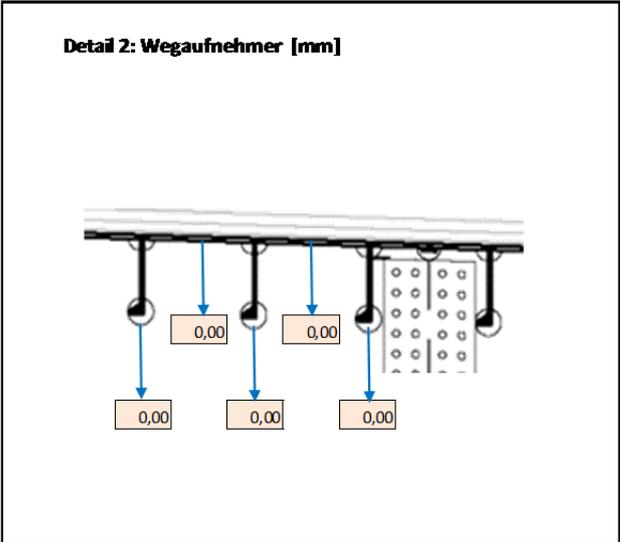
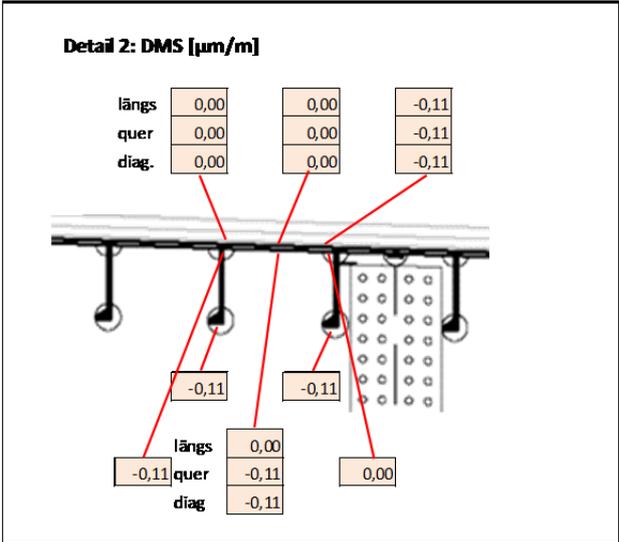
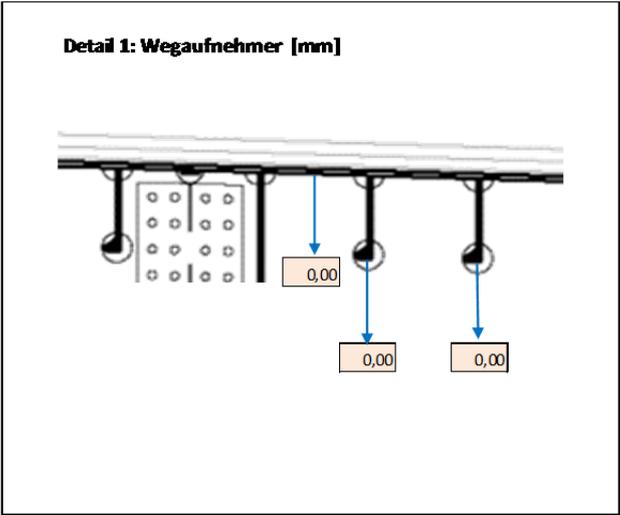
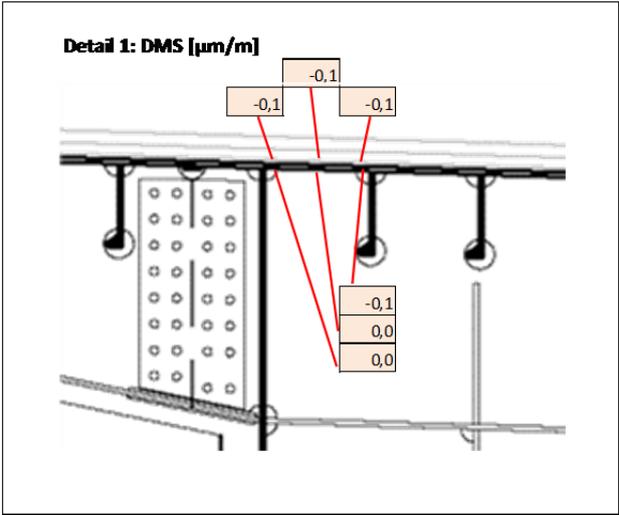


Abbildung 17: Messung in Brückenmitte; Nullmessung

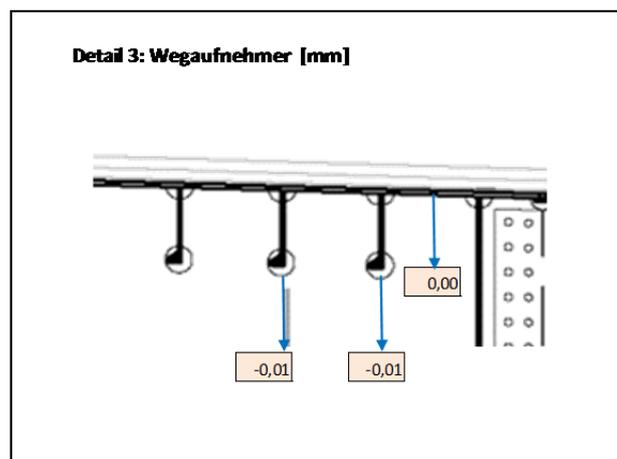
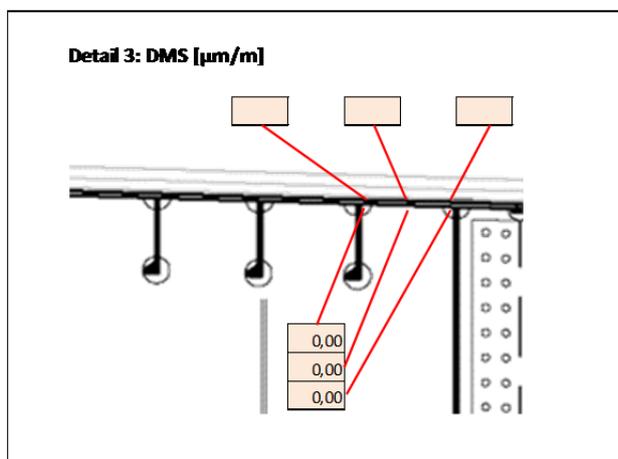
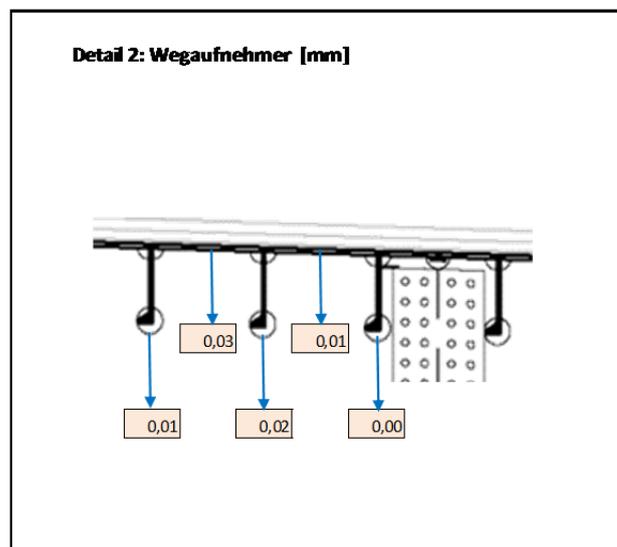
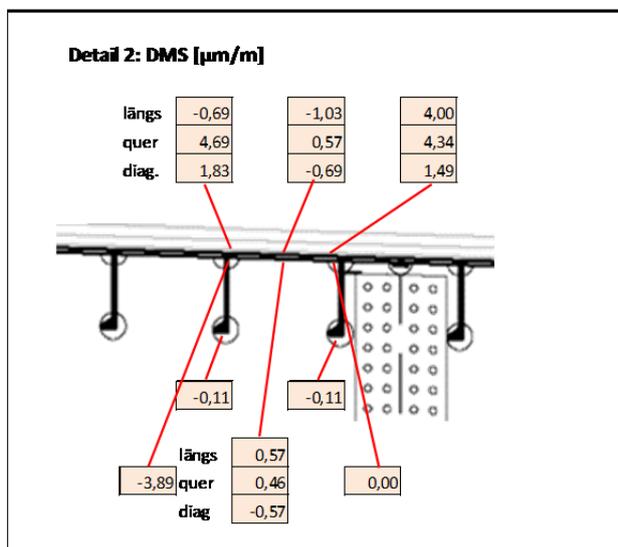
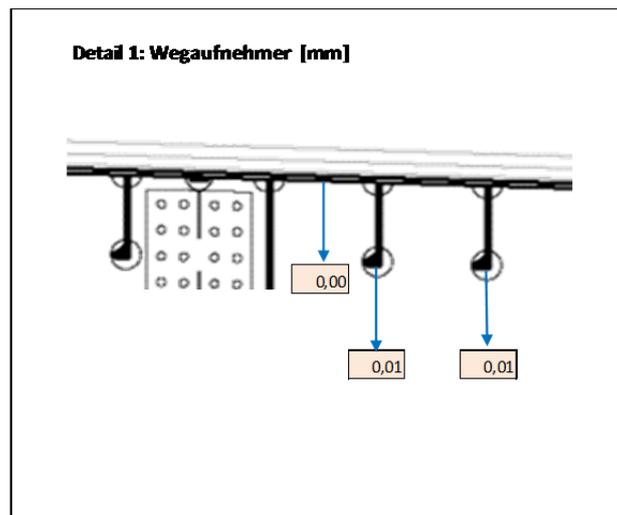
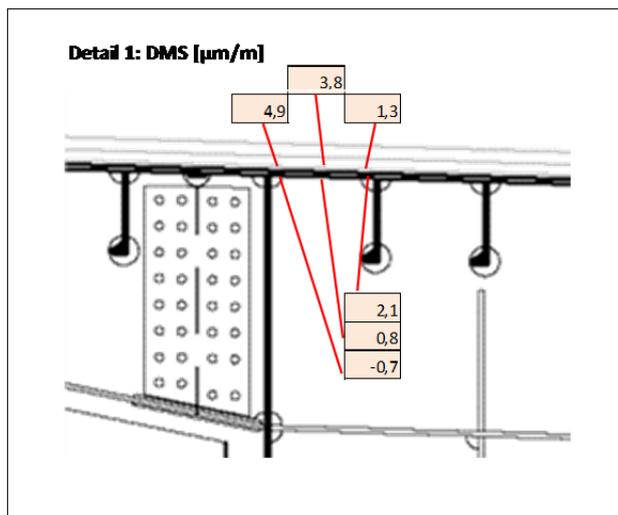


Abbildung 18: Messung in Brückenmitte; Bagger über Detail 1

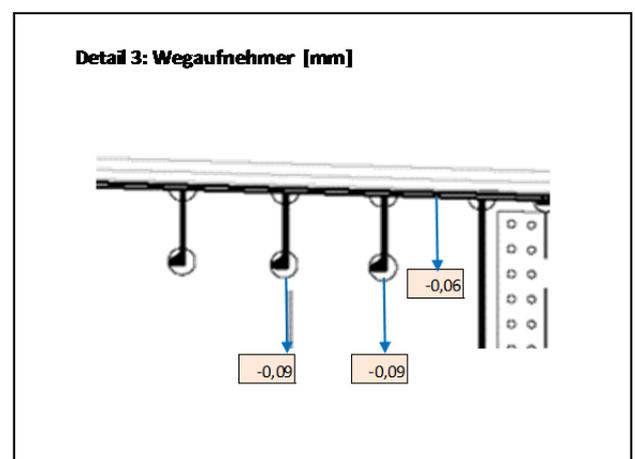
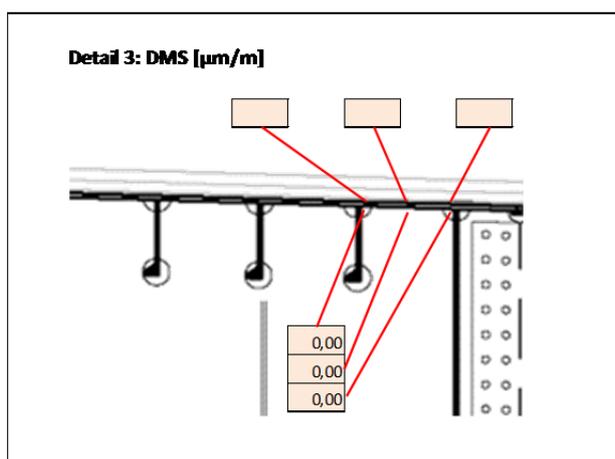
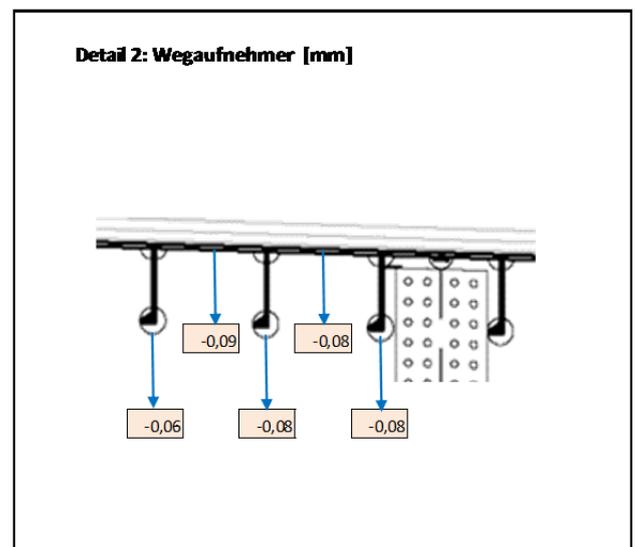
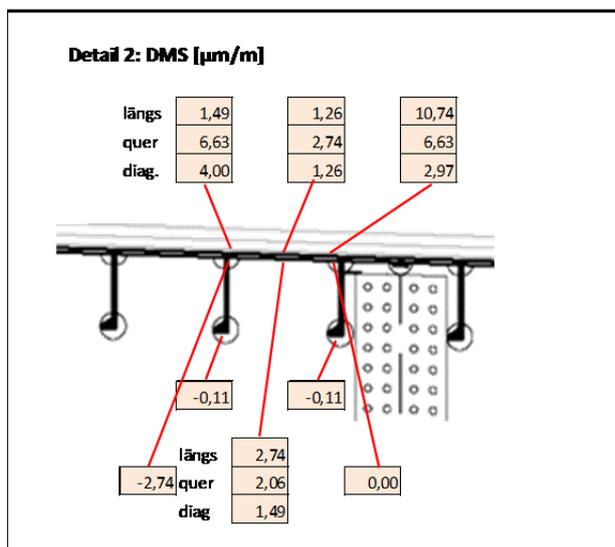
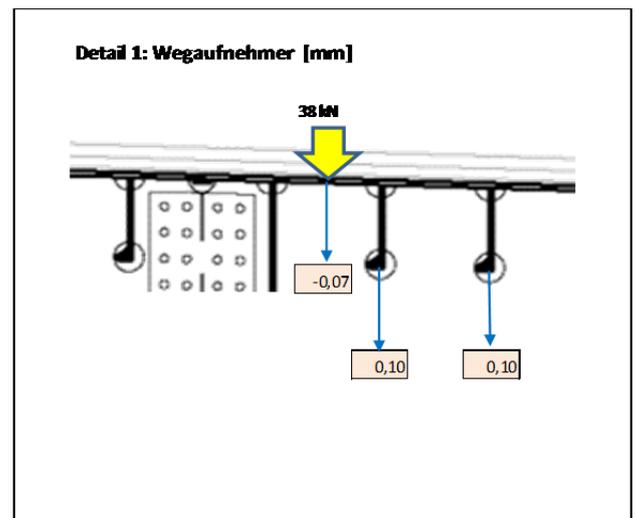
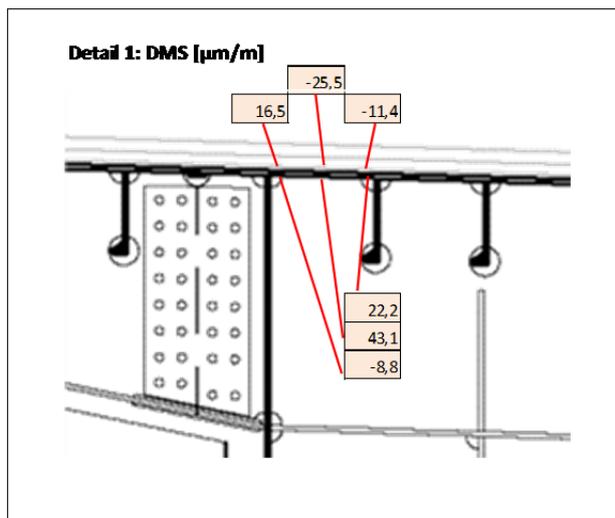


Abbildung 19: Messung in Brückenmitte; Hydraulikstempel zwischen Steifen (38kN) im Detail 1

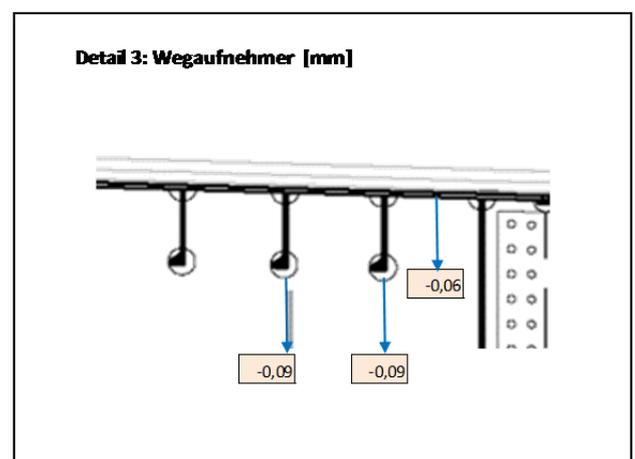
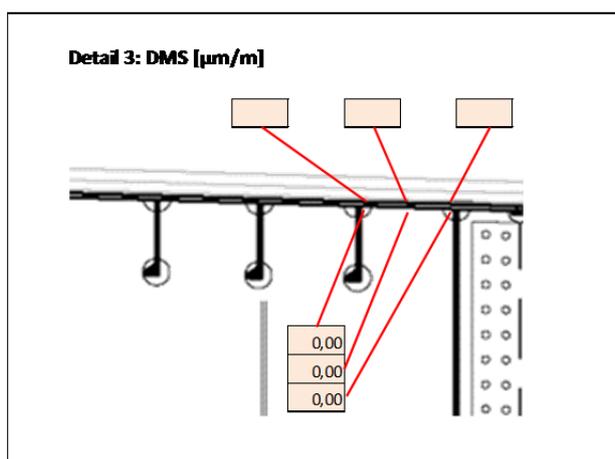
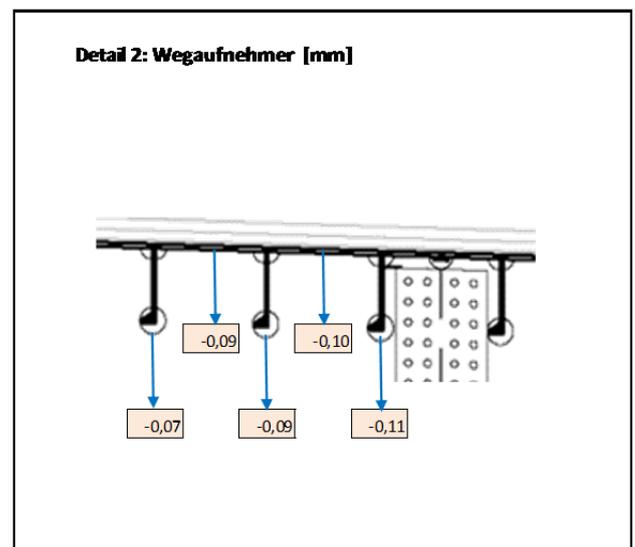
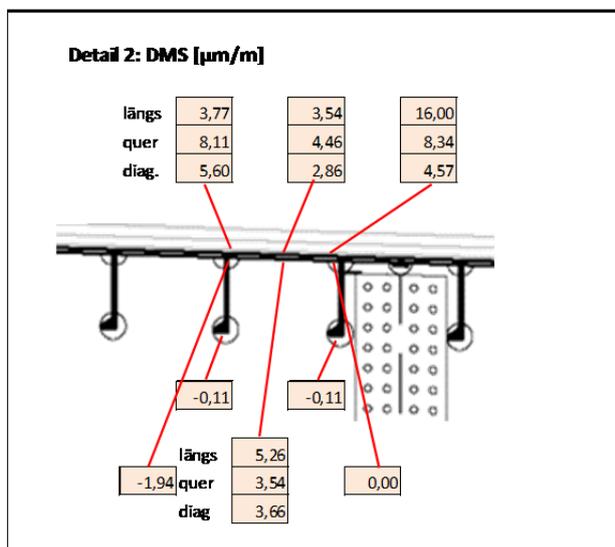
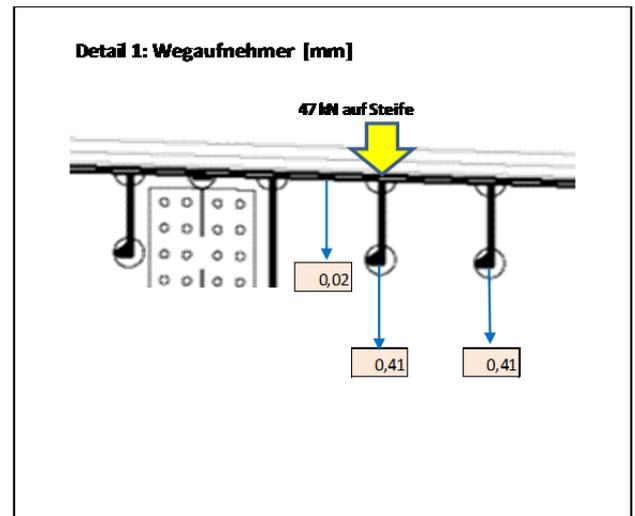
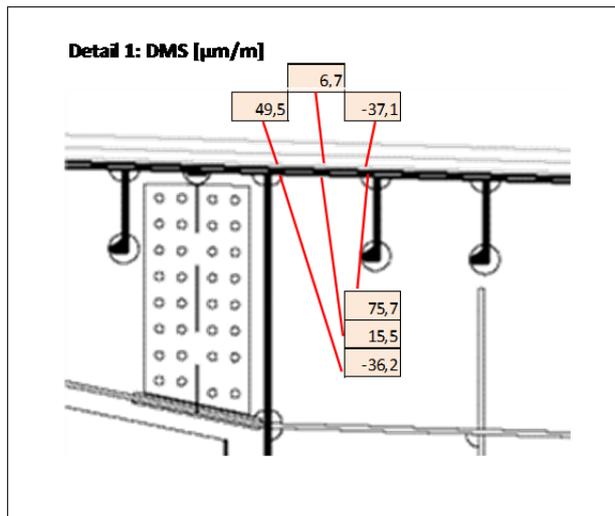


Abbildung 20: Messung in Brückenmitte; Hydraulikstempel auf Steife (47kN) im Detail 1

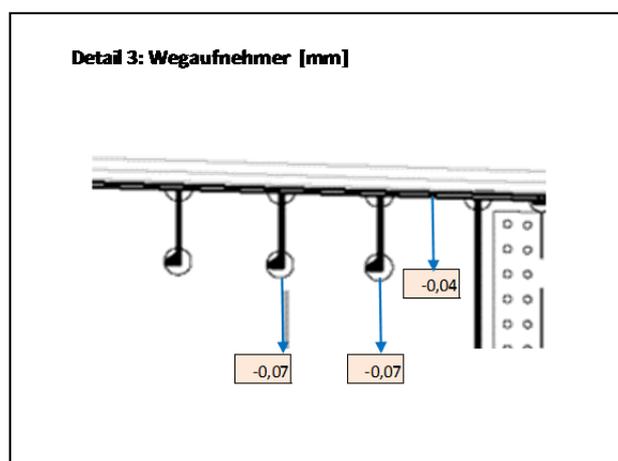
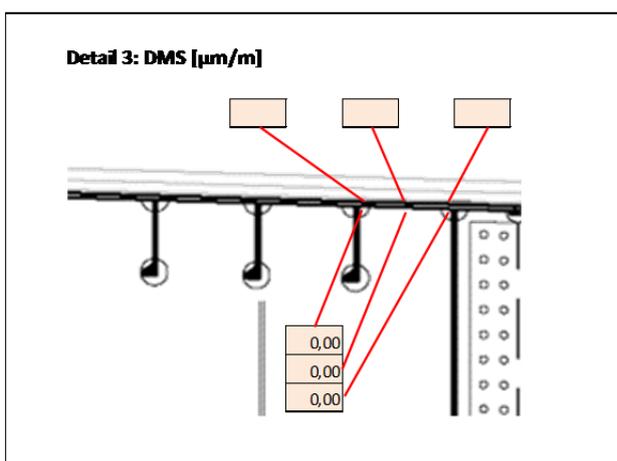
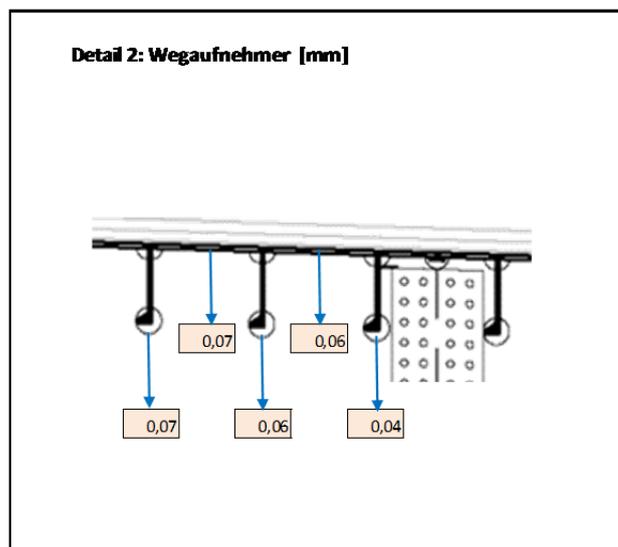
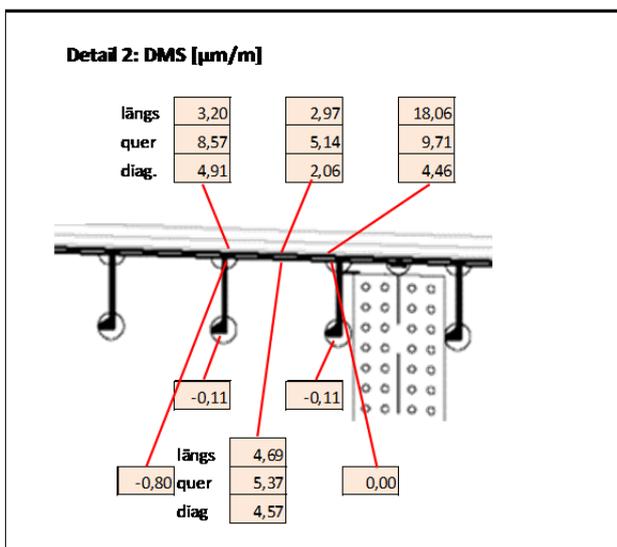
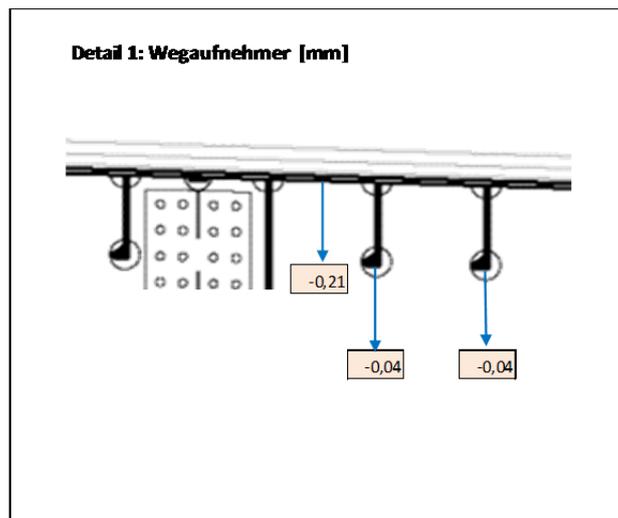
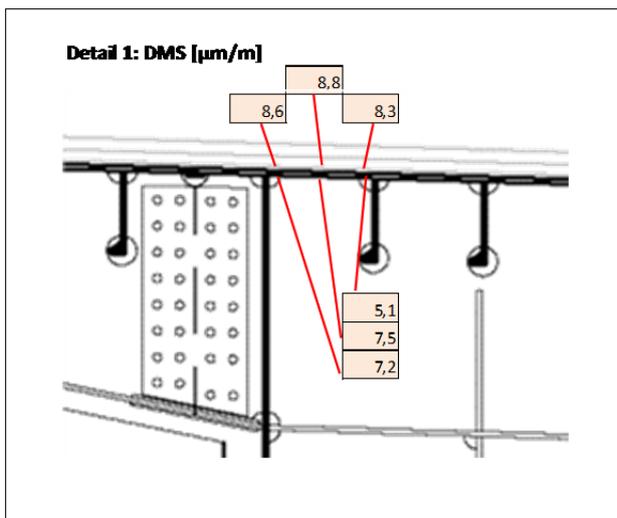


Abbildung 21: Messung in Brückenmitte; Bagger mittig in Fahrspur zwischen Detail 1 und Detail 2

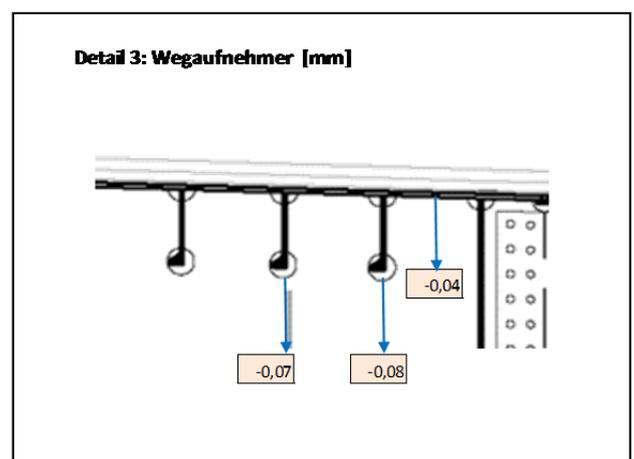
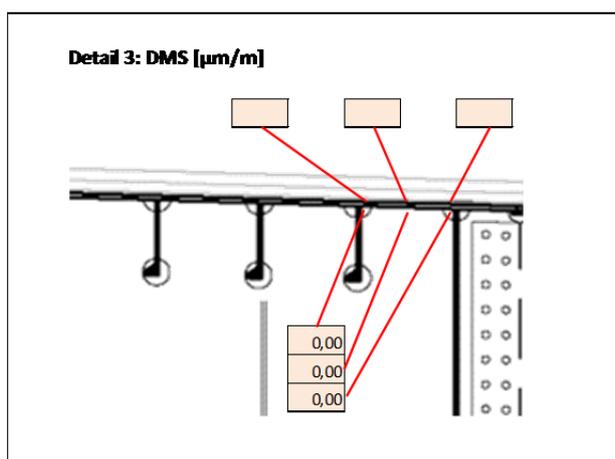
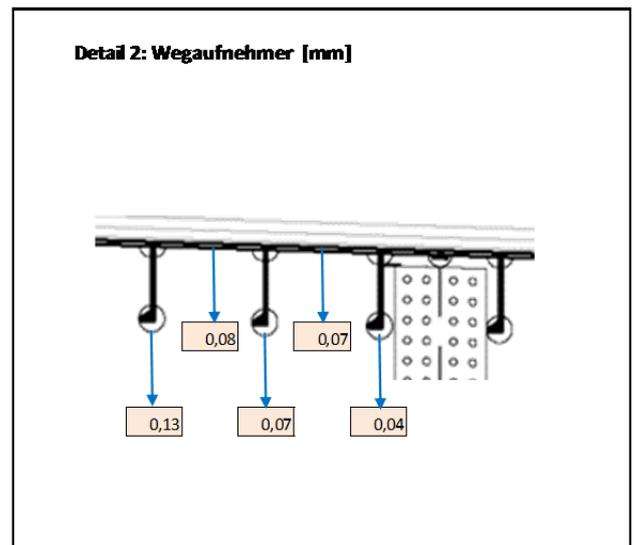
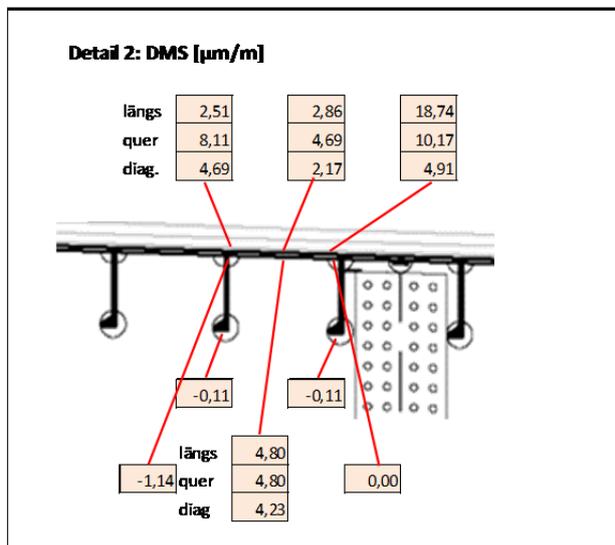
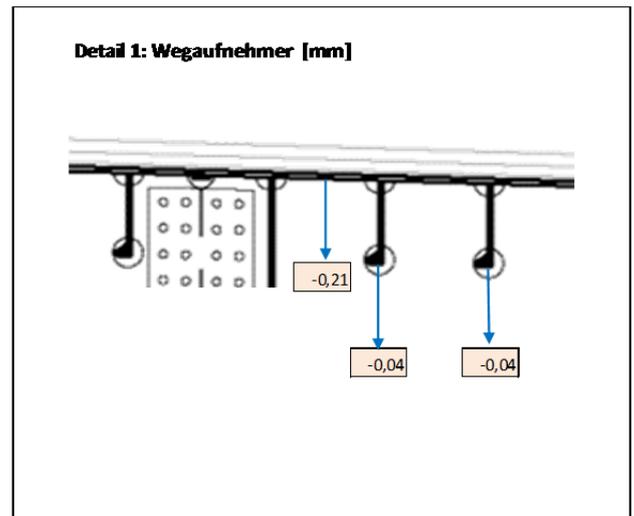
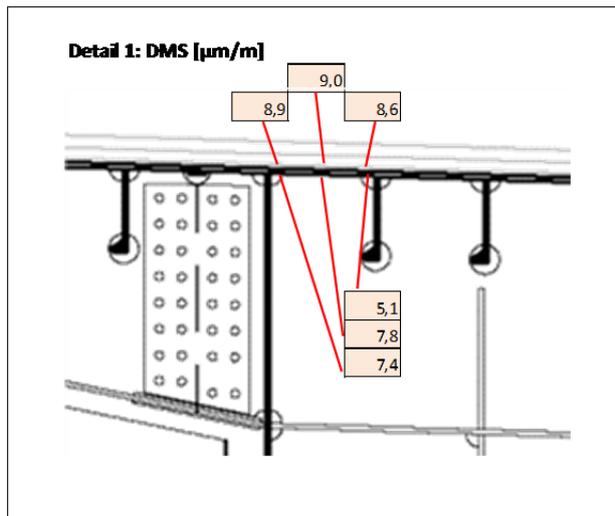


Abbildung 22: Messung in Brückenmitte; Hydraulikstempel mittig in Fahrspur (41kN) zwischen Detail 1 und Detail 2

Untersuchungsbericht

Begleitende Untersuchung im Rahmen des Projekts „Instandsetzung und Verstärkung von Orthotropen Platten mit ultrahochfestem Beton“ – FE 15.0566/2012/CRB der BAST

Auftraggeber:	Leonhardt, Andrä und Partner Beratenden Ingenieure VBI AG Am Schießhaus 1-3 01067 Dresden
Auftrags-Nr. (Kunde):	-
Auftrags-Nr. (MPA):	902 8478 000 /Kru
Prüfgegenstand:	Brücke über die Gleisanlage beim Bahnhof Beimerstetten zwischen Beimerstetten und Dornstadt im Zuge der L1239
Prüfspezifikation:	Belastungsmessungen mit LKW
Eingangsdatum des Prüfgegenstandes:	-
Datum der Prüfung:	8. Juni 2015
Datum des Berichts:	1. September 2015
Seite 1 von	5 Textseiten
Beilagen:	12
Anlagen:	0
Gesamtseitenzahl:	17
Anzahl der Ausfertigungen:	1 Digital

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.

Veröffentlichung des vorliegenden Berichtes (auch auszugsweise) ist nur mit schriftlicher Genehmigung der MPA Universität Stuttgart zulässig.

1 Aufgabenstellung

Im Rahmen der konstruktiven Verstärkung von Stahlbrücken wird in Deutschland die Möglichkeit in Betracht gezogen, insbesondere orthotrope Platten von Stahlbrücken mit einer Verstärkungsschicht aus hochfestem bzw. ultrahochfesten Beton zu verstärken. Dabei wird bewehrter, hochfester Beton anstatt üblichen Asphalts auf die orthotrope Platte aufgebracht. Durch die Verbundwirkung soll die Tragfähigkeit der Brückenkonstruktion verbessert bzw. die Steifigkeit der Brückenkonstruktion und hier insbesondere des Fahrbahnbleches mit dem Ziel der Verringerung lokaler Verformungen erhöht werden.

Diese Konstruktionsweise zur Verstärkung ist in Deutschland bisher noch nicht eingesetzt worden. Daher wurde zunächst vorgesehen, die Bauweise zur Verstärkung an einer Brückenkonstruktion auf ihre Eignung hin zu untersuchen. Als Pilotprojekt wurde eine Brücke in Beimerstetten ausgewählt. Ziel der nachfolgend aufgeführten Messungen ist die baubegleitende Messung von lokalen Tragwerksverformungen vor und nach dem Aufbringen der Verstärkungsschicht, um so einen Eindruck über die tatsächliche Wirkung der Verstärkungsmaßnahme zu erlangen und die Anwendbarkeit dieser Verstärkungstechnologie zu evaluieren.

2 Durchgeführte Untersuchungen

In Absprache mit dem Auftraggeber (Leonhardt, Andrä und Partner) wurden an der Brücke in Beimerstetten Dehnmessstreifen wie auch Wegaufnehmer innerhalb des Brückenhohlkastens als auch auf der orthotropen Platte direkt auf den Stahl installiert. Die installierte Messeinrichtung dient dabei dem Zweck, maßgebliche Bauteilverformungen während verschiedener Belastungsversuche aufzuzeichnen und zu evaluieren. Messungen sollten dabei sowohl vor, als auch nach dem Aufbringen der Verstärkungsschicht durchgeführt werden.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Untersuchungen und Belastungsversuche an der Brücke in Beimerstetten nach Abschluss der Bauarbeiten. Unser Bericht vom 9. September 2014 zu den durchgeführten Messungen im Bauzustand liegt Ihnen vor.

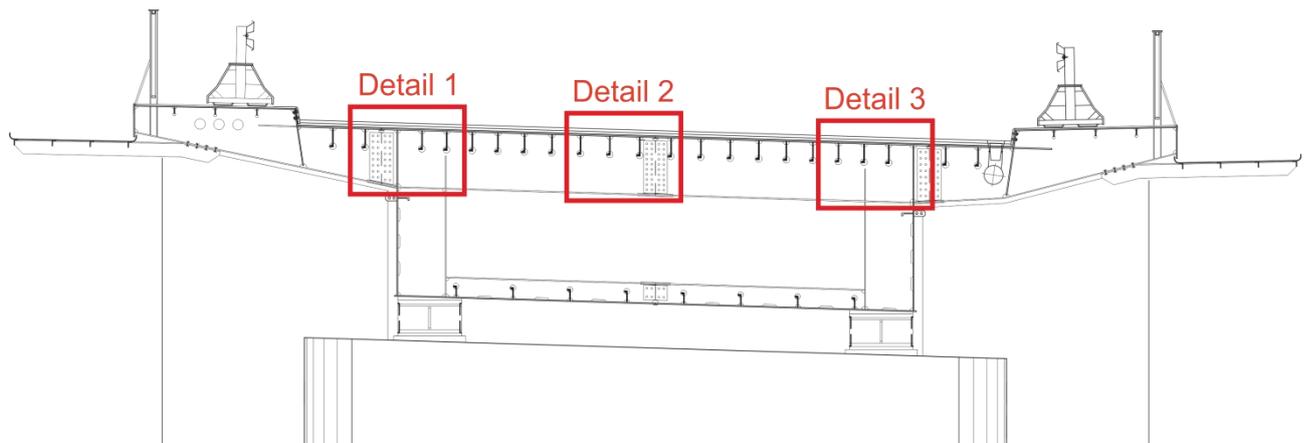


Abbildung 1: Kennzeichnung der Messbereiche

Entsprechend den Festlegungen der ersten Messkampagne wurden über den Brückenquerschnitt insgesamt drei Messbereiche (Kennzeichnung „Detail 1“ „Detail 2“ und „Detail 3“ in Abbildung 1) mit Sensoren ausgestattet. Die Sensorpositionen sind in Abbildung 2, Abbildung 3 und Abbildung 4 eingetragen.

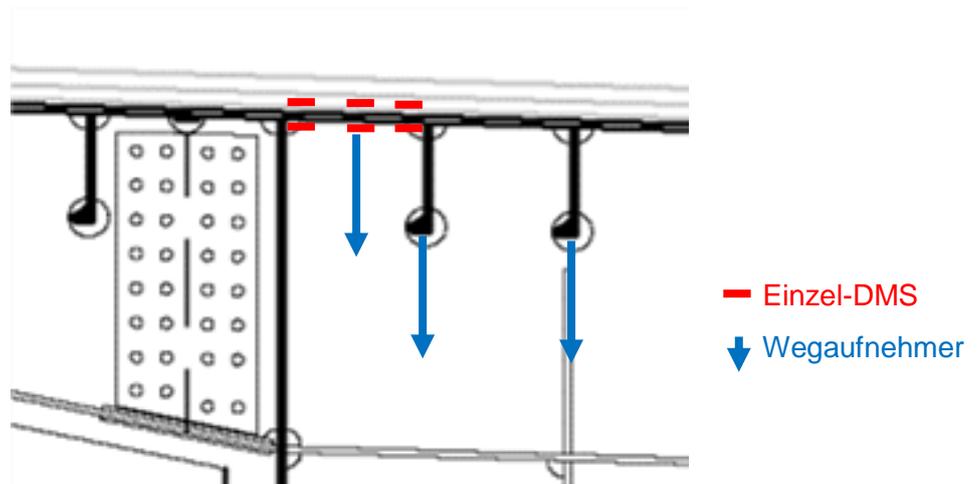


Abbildung 2: Detail 1, Sensorpositionen

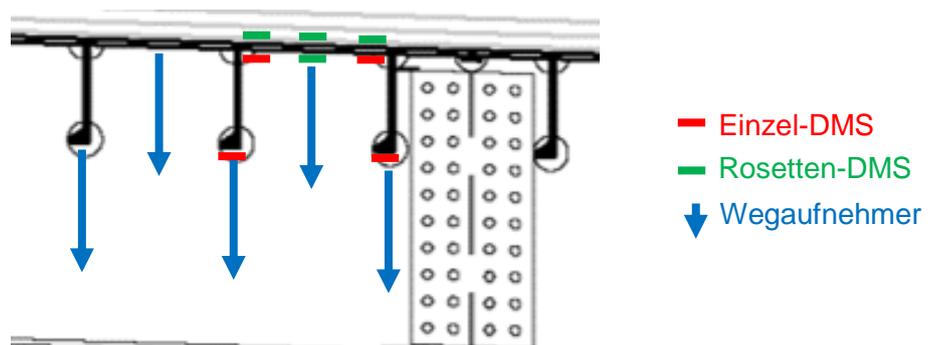


Abbildung 3: Detail 2, Sensorpositionen

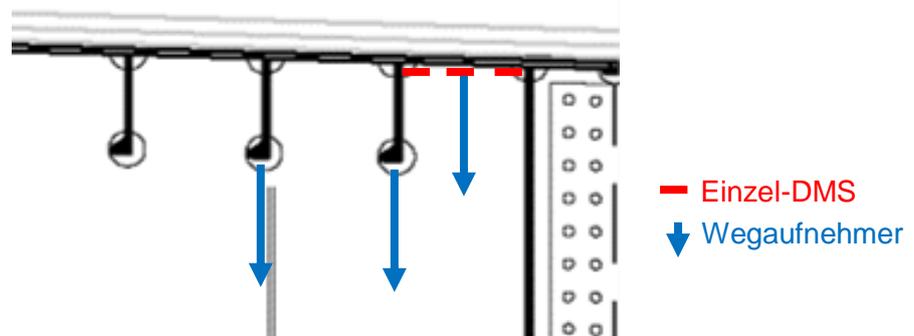


Abbildung 4: Detail 3, Sensorpositionen

Die Versuchsreihen erfolgten im Bereich des Brückenwiderlagers und eine weitere, vergleichbare Versuchsreihe in Brückenmitte (Abbildung 6). Für die Probelastungen wurde ein LKW (MAN TGA 18.310) mit Kiesbeladung verwendet, dessen Hinterachse auf die beiden Belastungspositionen in Brückenmitte (19,4 m ab Mitte Fahrbahnübergang Tomerdingen) und im Bereich des Widerlagers Tomerdingen (3,3 m ab Mitte Fahrbahnübergang) gefahren wurde. Nach der Platzierung des Belastungsfahrzeugs wurden die zugehörigen Dehnungen und Verformungen gemessen. Die Positionen des LKWs für die einzelnen Belastungsversuche sind in Abbildung 7 bis Abbildung 9 angegeben.

Ergänzend wurde im Anschluss an die Belastungsversuche eine Dauermessung mit 3 Minuten Dauer unter normaler Verkehrslast durchgeführt. Es bestand zu diesem Zeitpunkt eine einseitige Verkehrsführung auf der südlichen Fahrspur mittels Ampelschaltung.



Abbildung 5: Belastung in Bereich des Widerlagers.

3 Prüfergebnisse und Ergebnisinterpretation

Die Ergebnisse der einzelnen Belastungsversuche sind in der Beilage in Abbildung 10 bis Abbildung 19 zur besseren Übersicht in Grafiken eingetragen. Die Interpretation erfolgt durch den Auftraggeber Leonhardt, Andrä und Partner.

**Dipl.-Ing. Frank Lehmann
Sachbearbeiter**



**Dr. Friedrich Grüner
Abteilungsleiter**

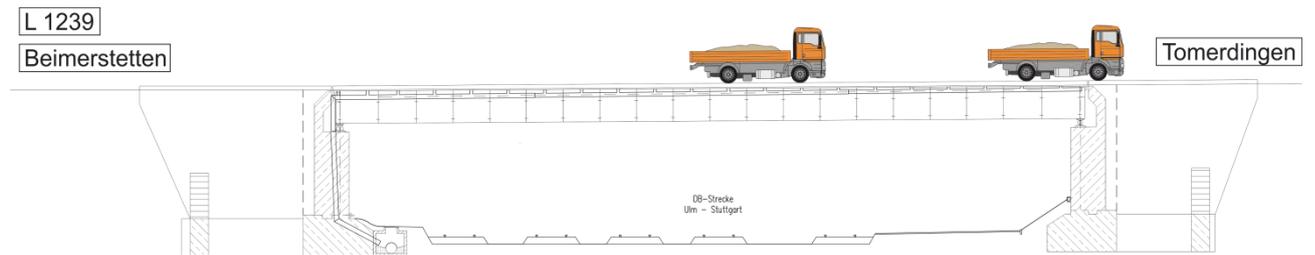


Abbildung 6: Positionen des Belastungsfahrzeugs im Bereich der Feldmitte und am Widerlager Tomerdingen für die zwei Versuchsreihen

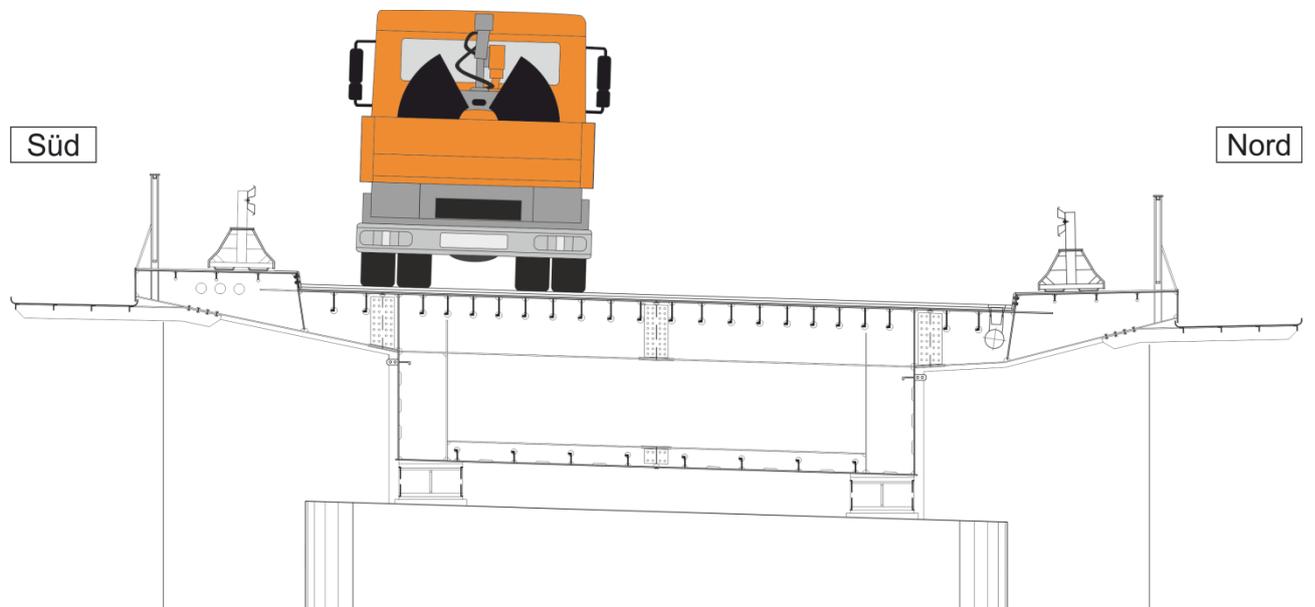


Abbildung 7: LKW über Detail 1 (Süd)

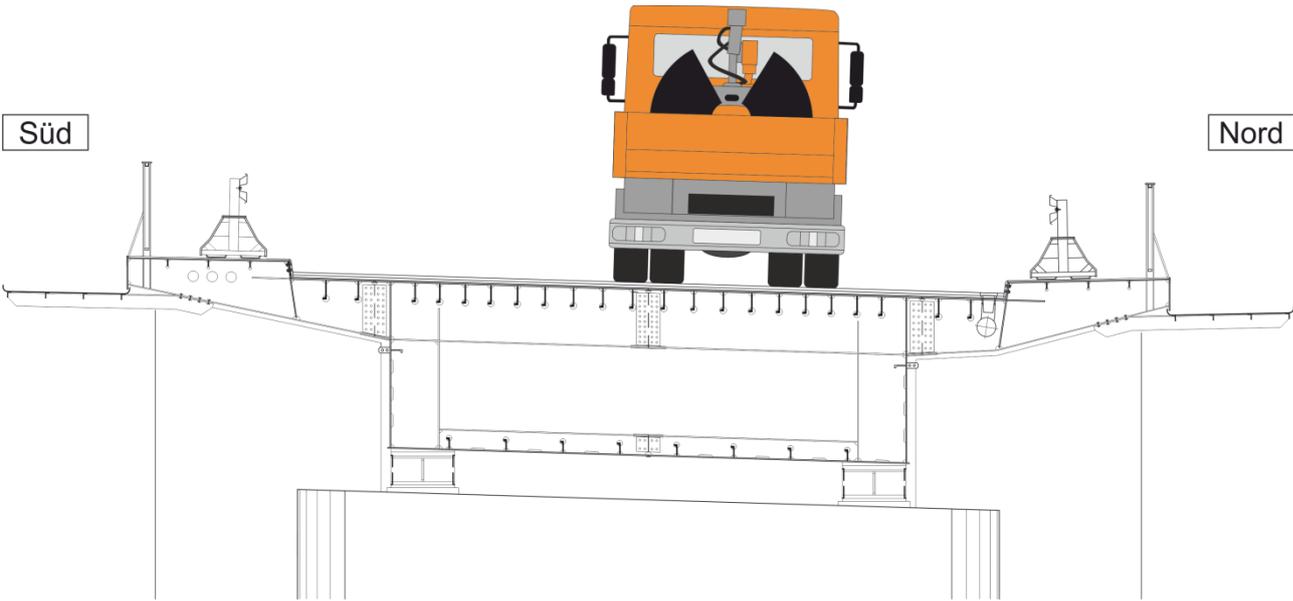


Abbildung 8: LKW über Detail 2 (Mitte)

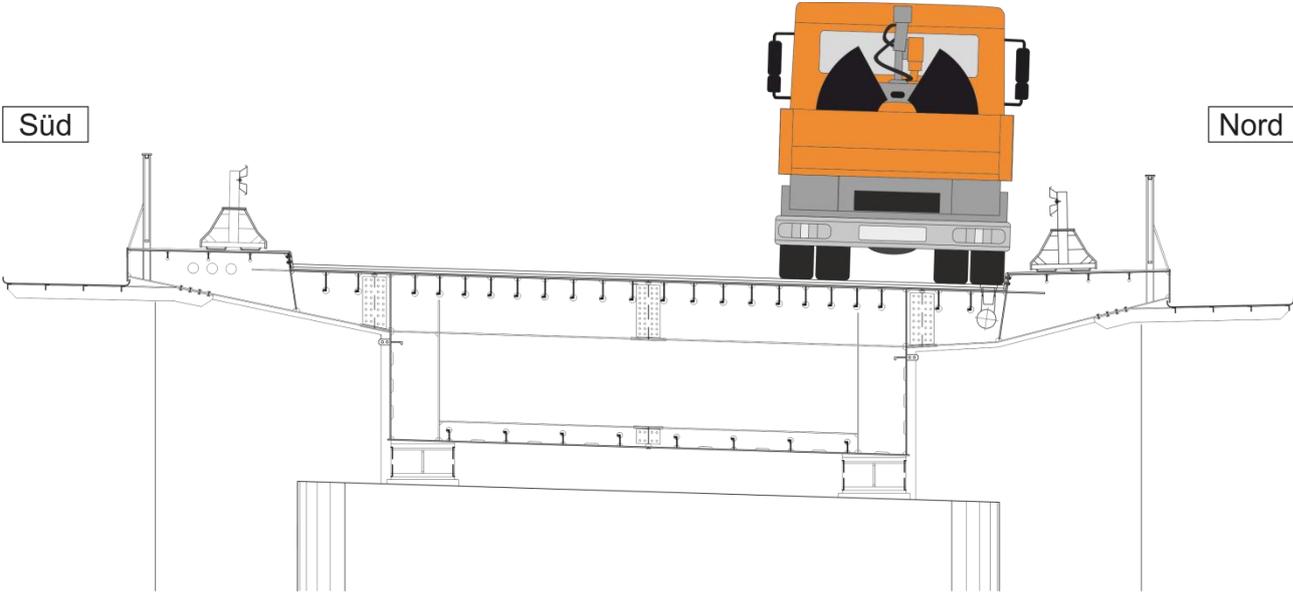


Abbildung 9: LKW über Detail 3 (Nord)

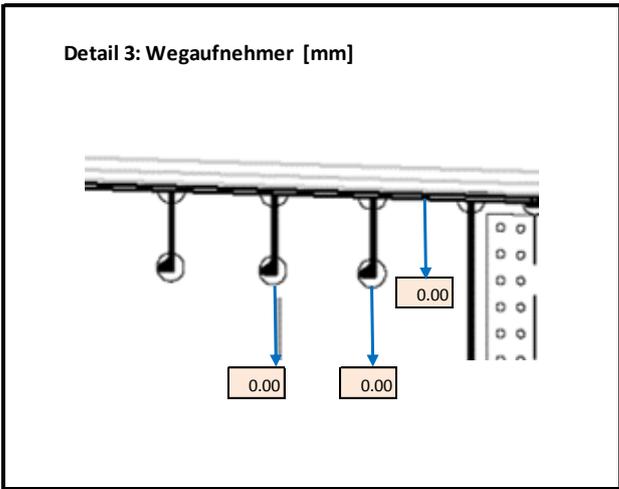
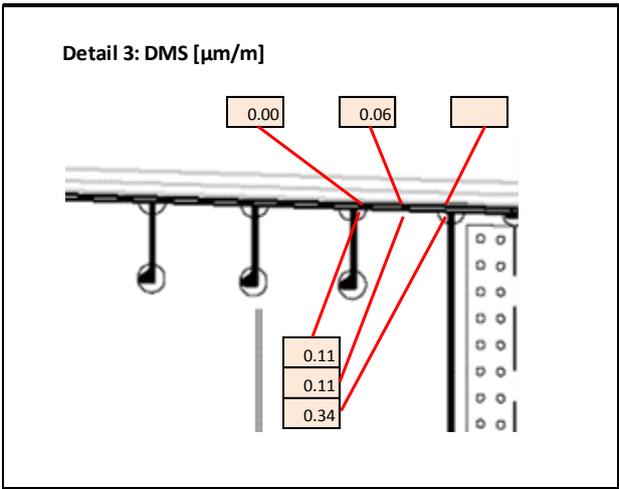
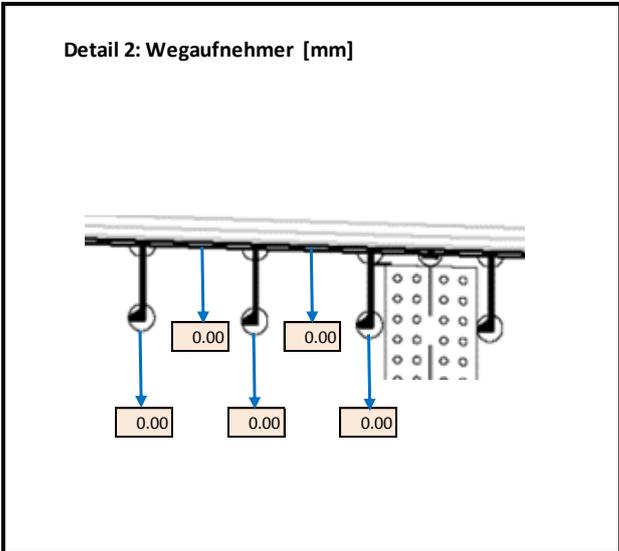
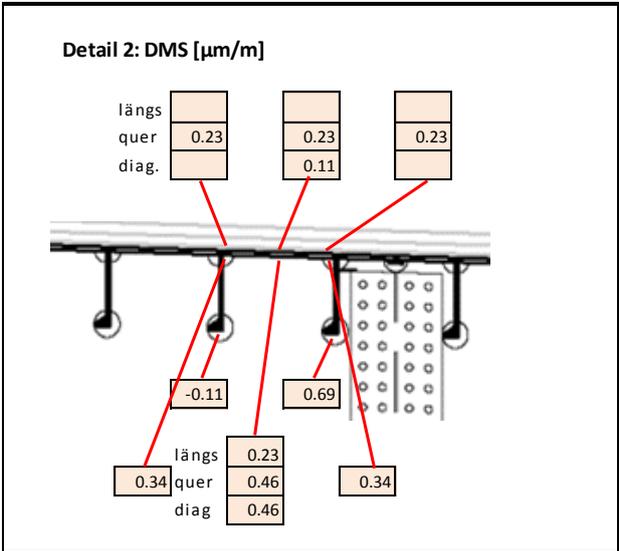
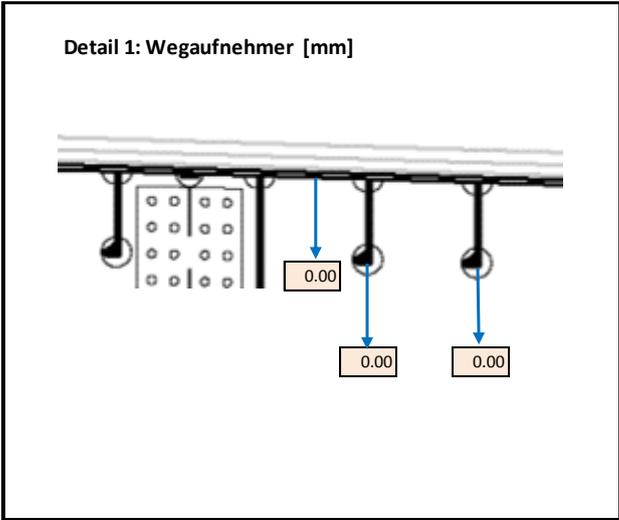
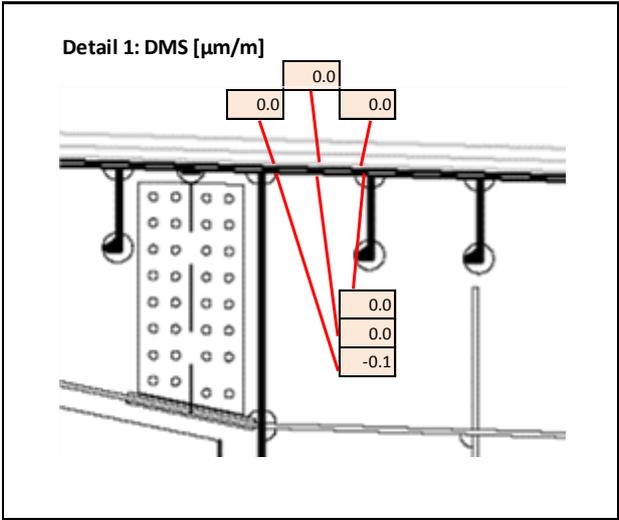


Abbildung 10: Messung Brückenmitte; keine Belastung (Nullmessung)

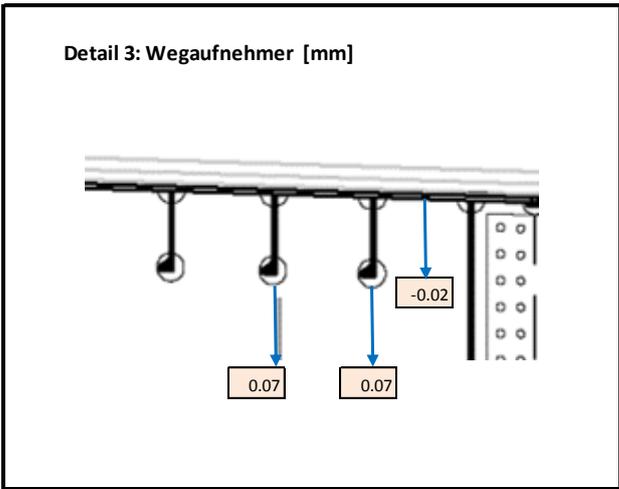
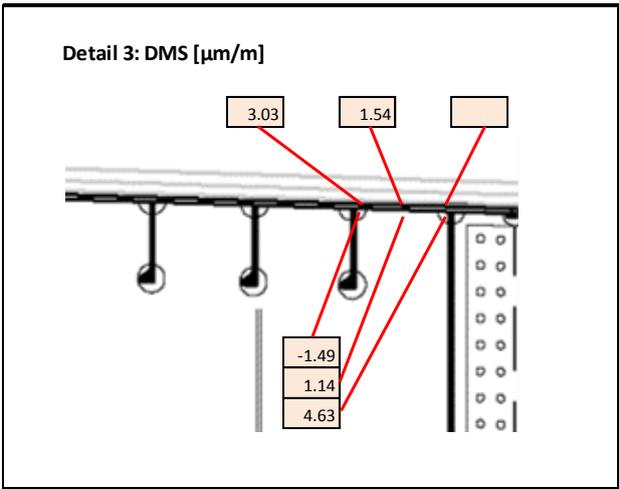
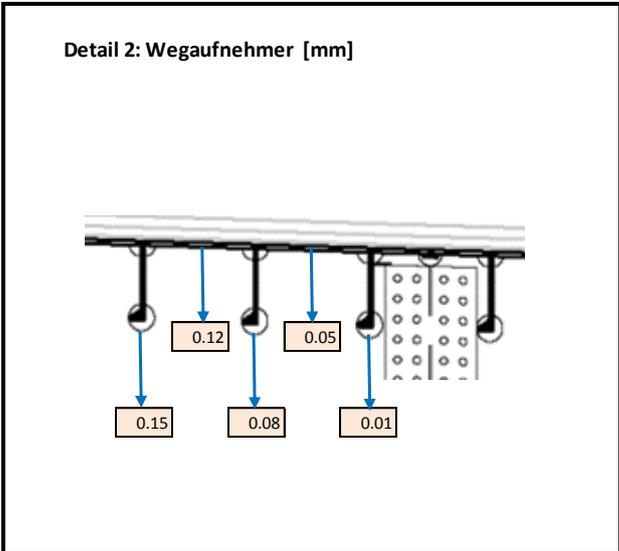
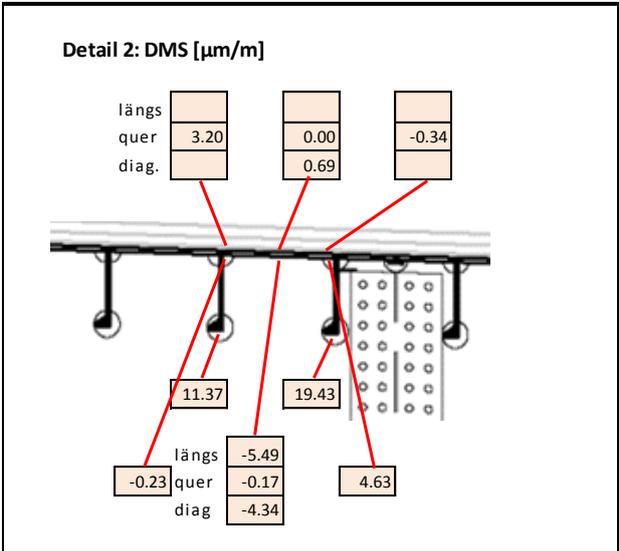
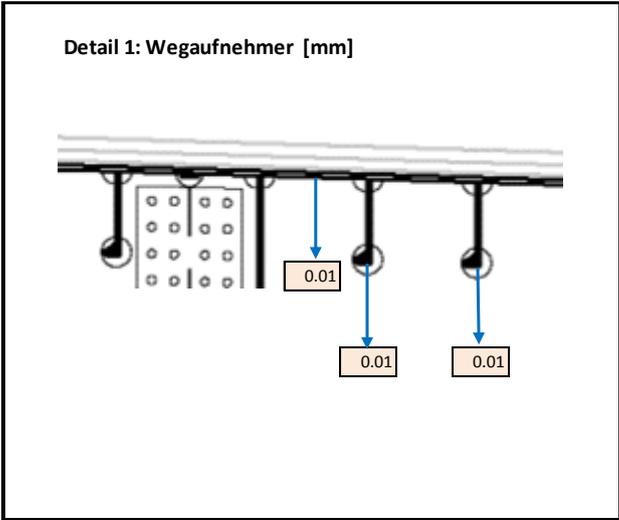
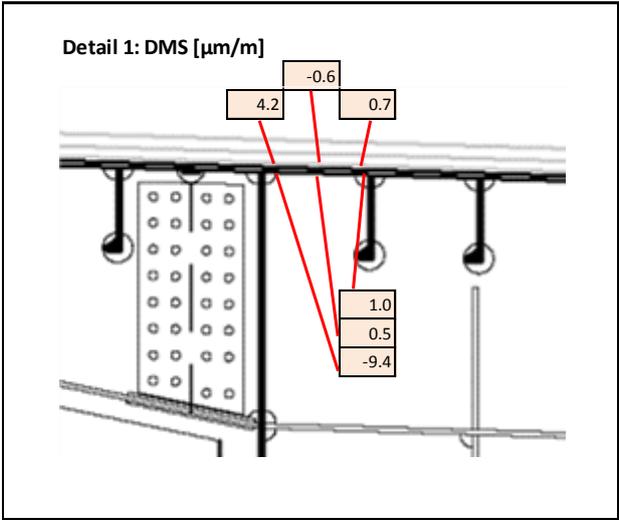


Abbildung 11: Messung Brückenmitte; LKW über Detail 1 (Süd)

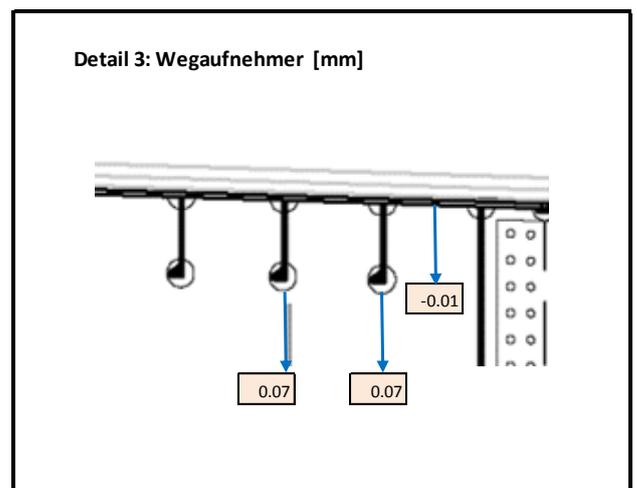
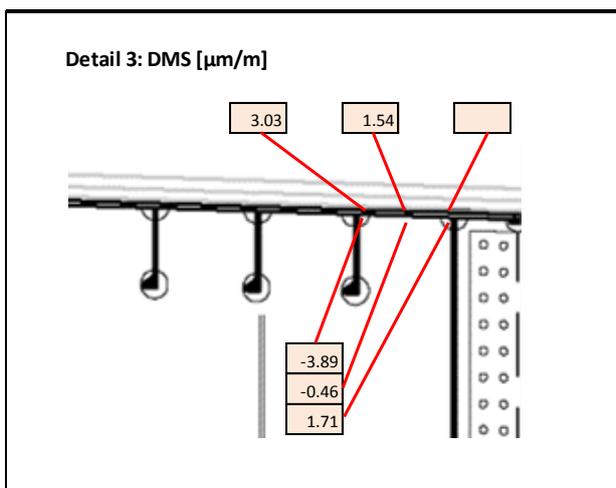
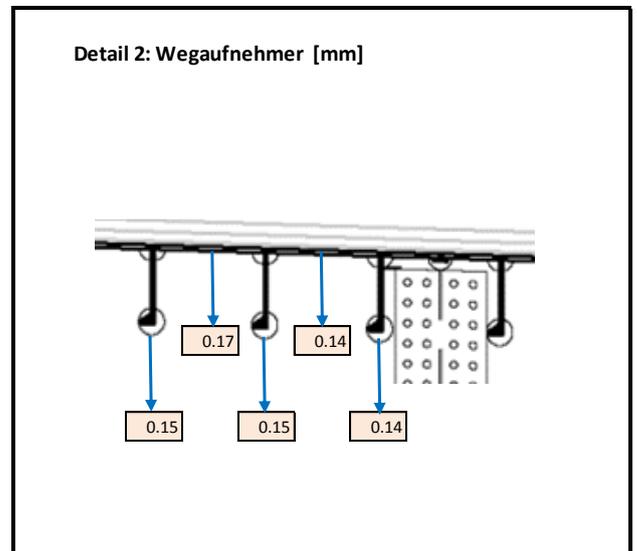
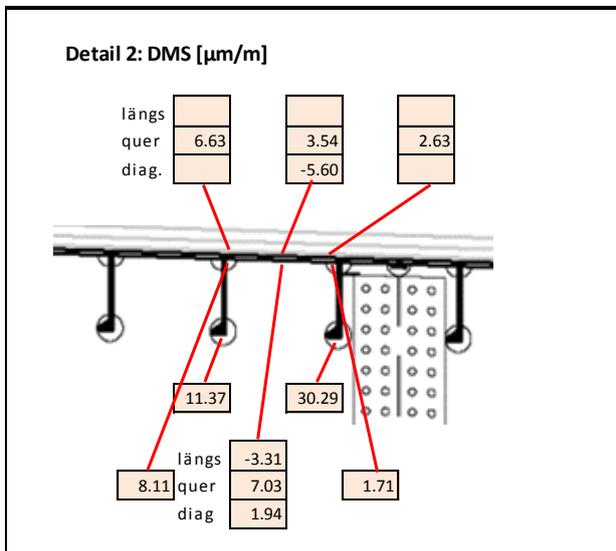
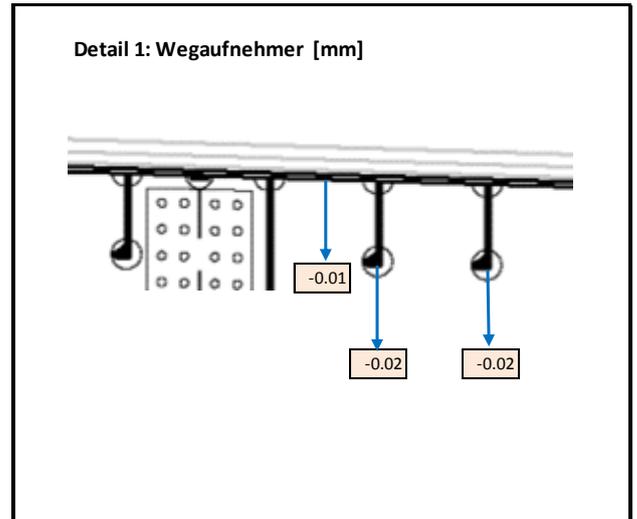
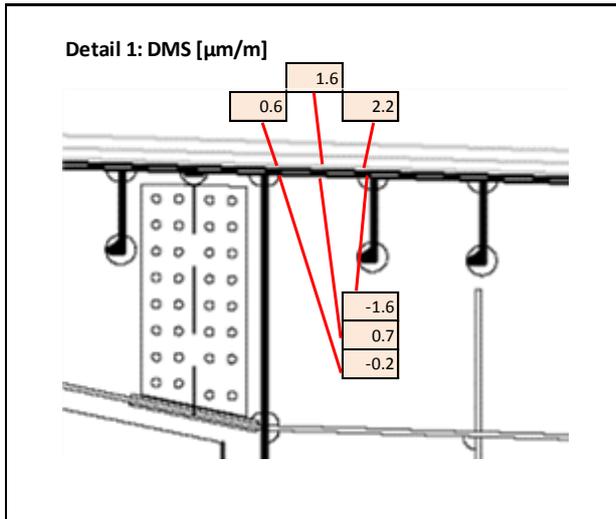


Abbildung 12: Messung Brückenmitte; LKW über Detail 2 (Mitte)

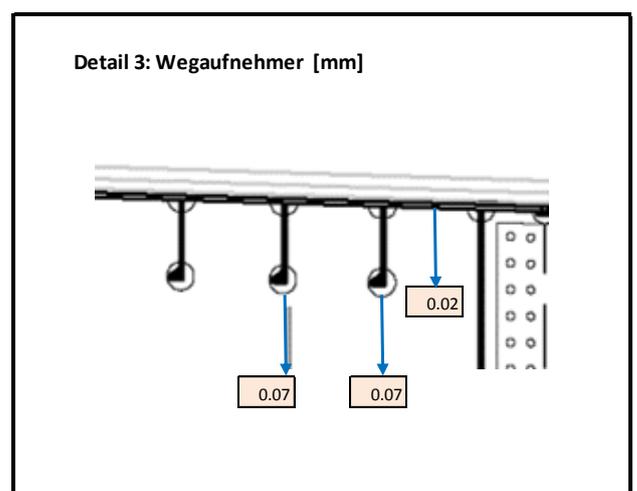
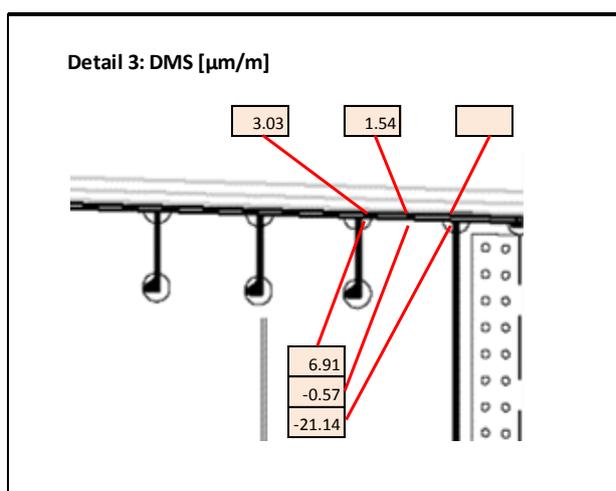
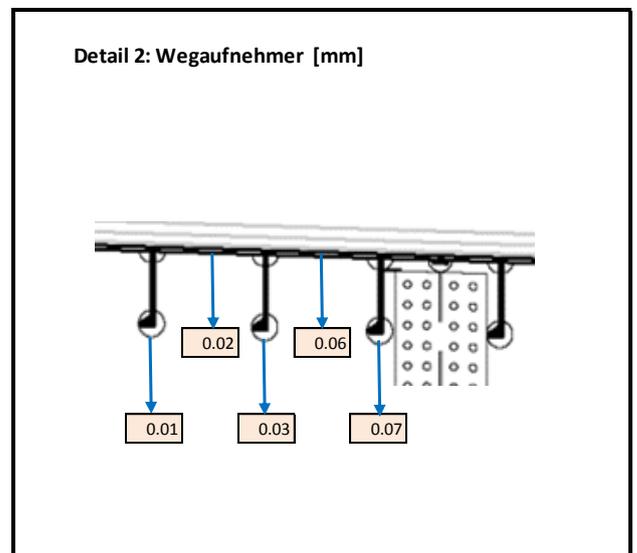
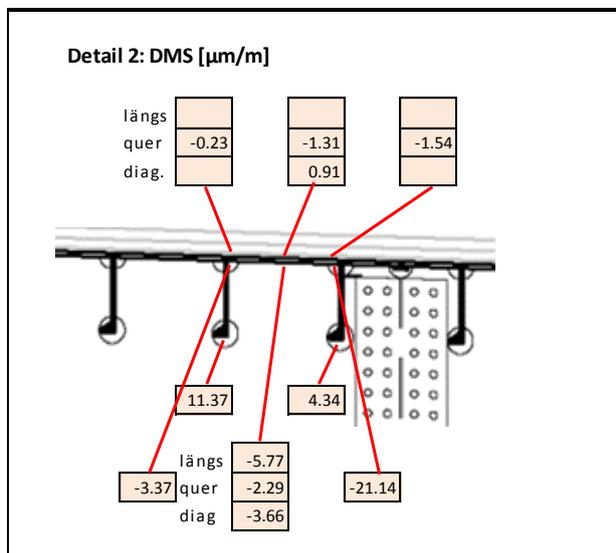
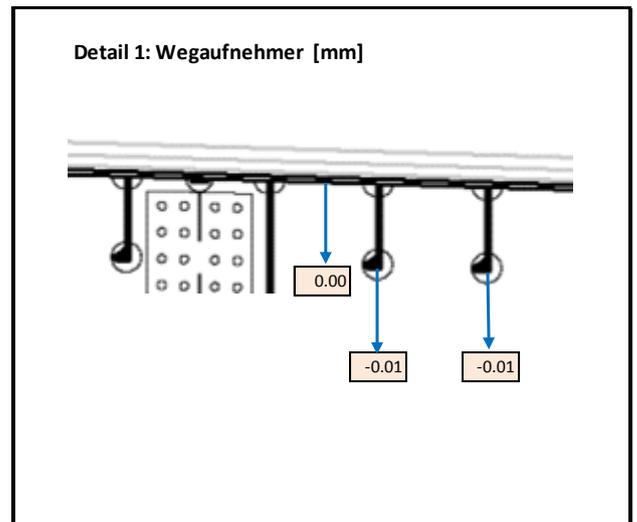
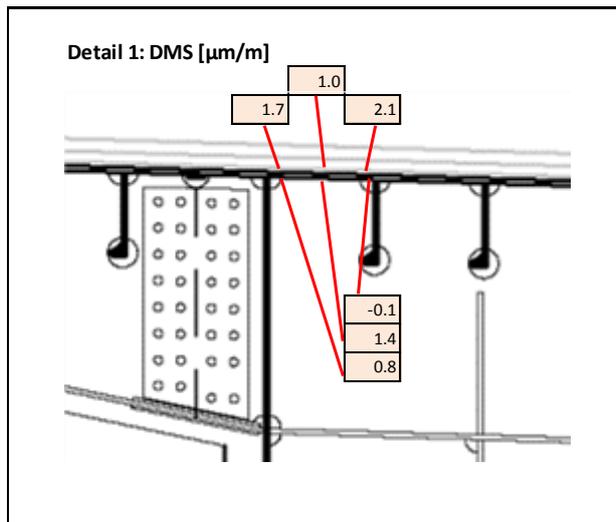


Abbildung 13: Messung Brückenmitte; LKW über Detail 3 (Nord)

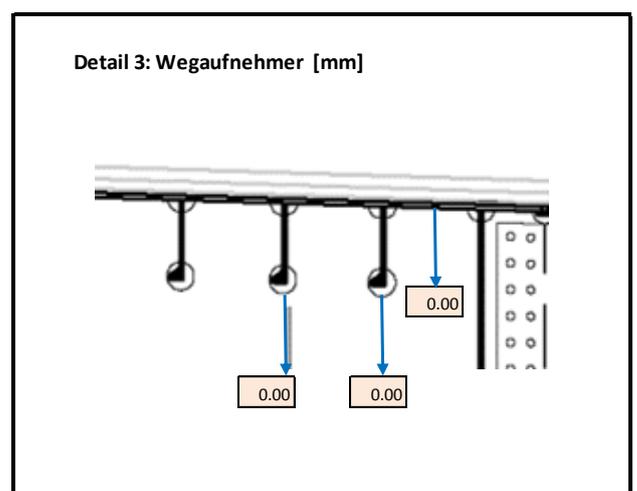
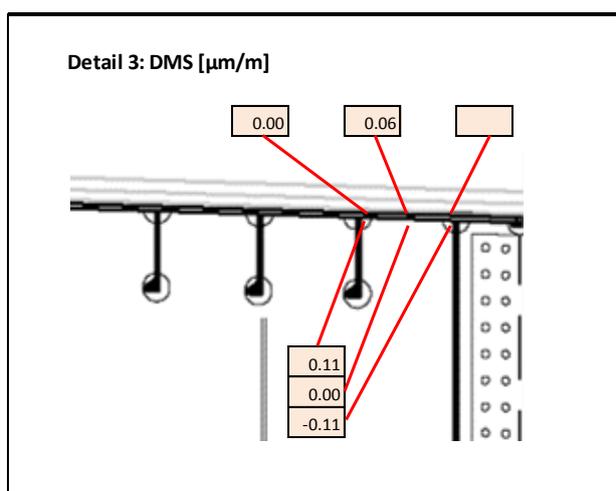
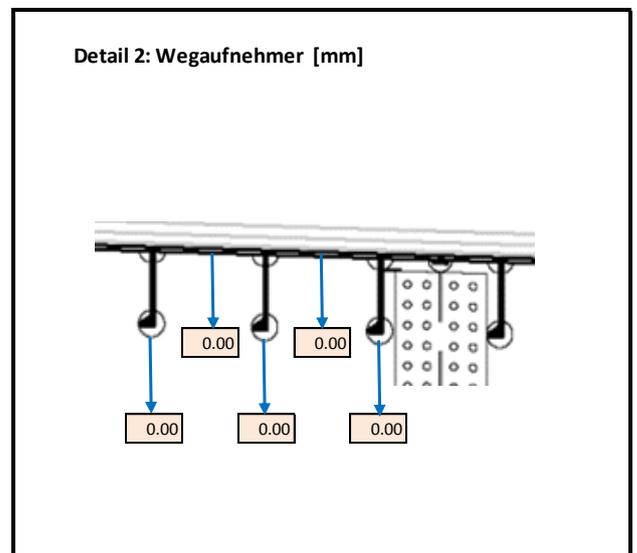
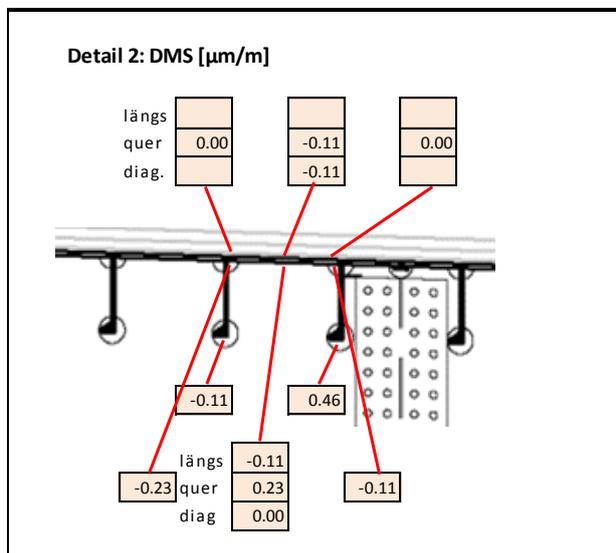
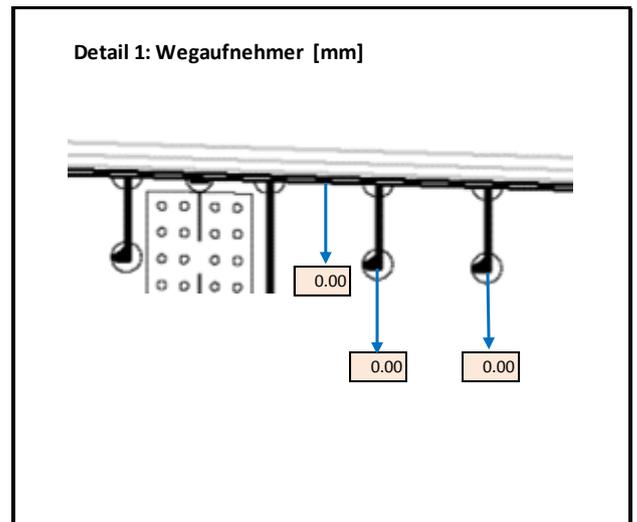
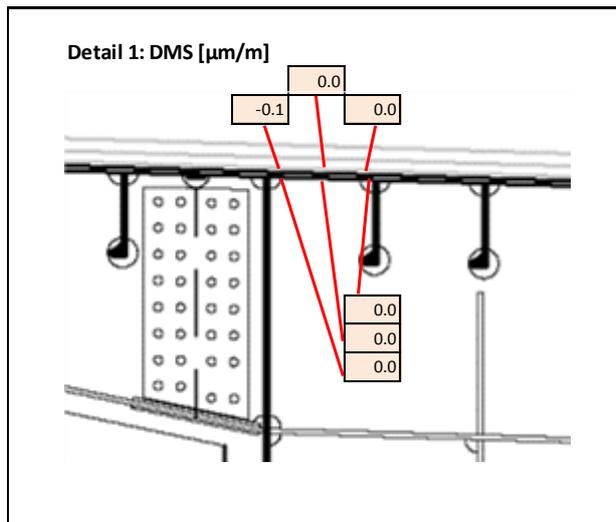


Abbildung 14: Messung Widerlagerbereich; keine Belastung (Nullmessung)

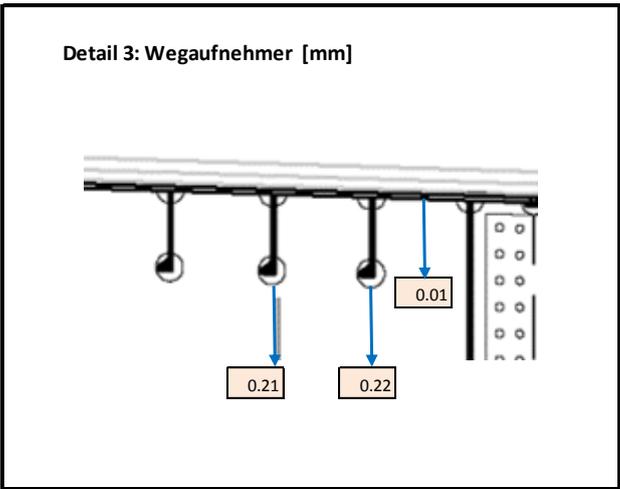
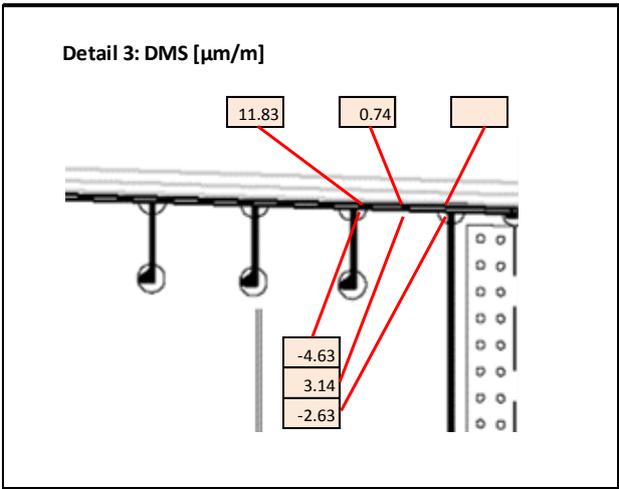
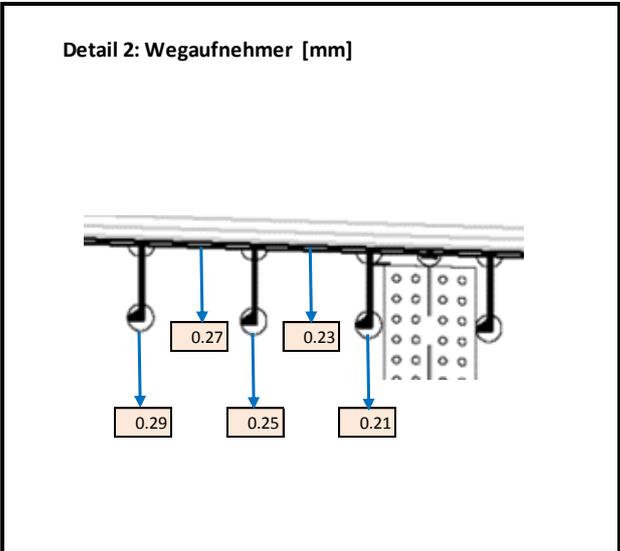
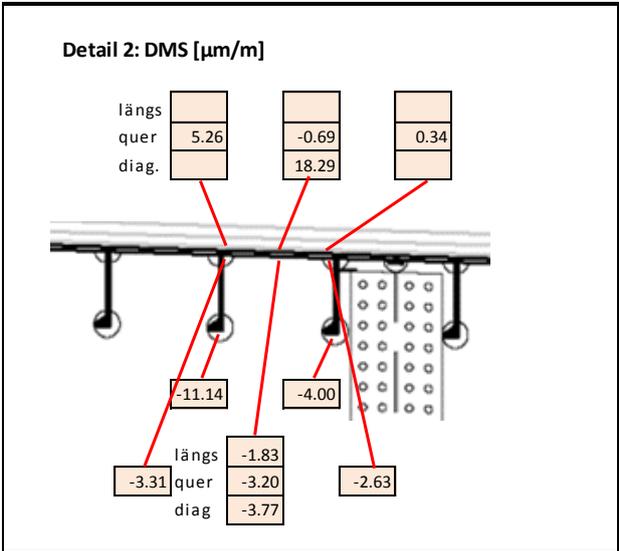
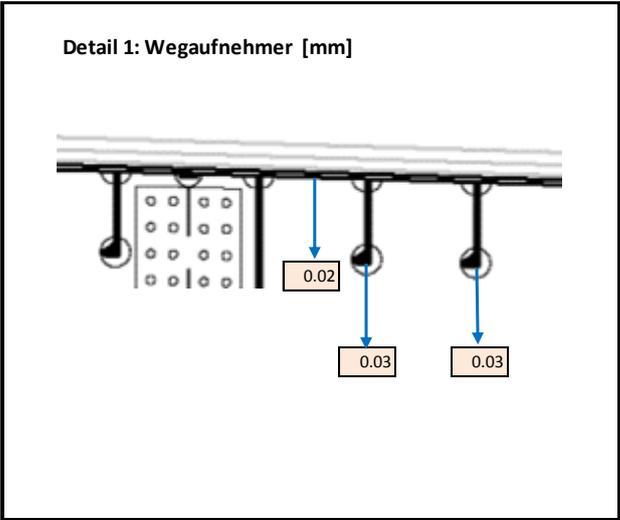
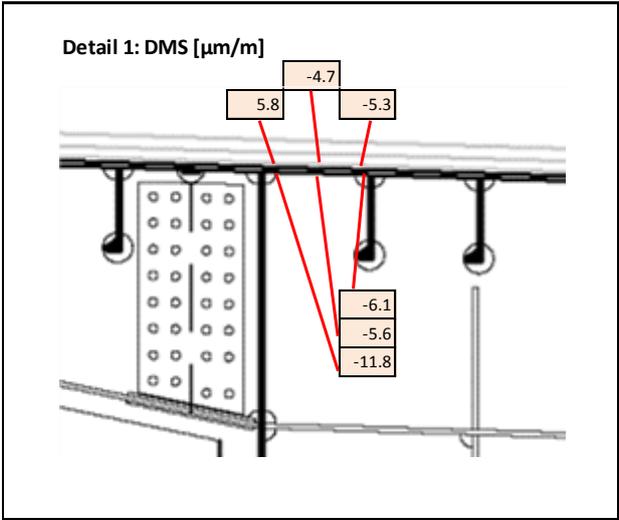


Abbildung 15: Messung Widerlagerbereich; LKW über Detail 1 (Süd)

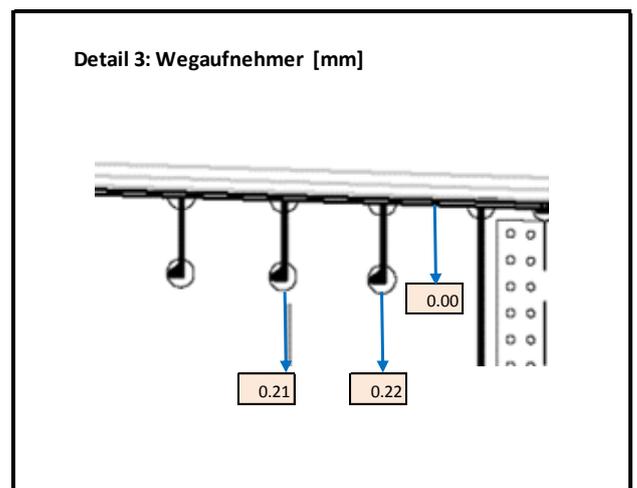
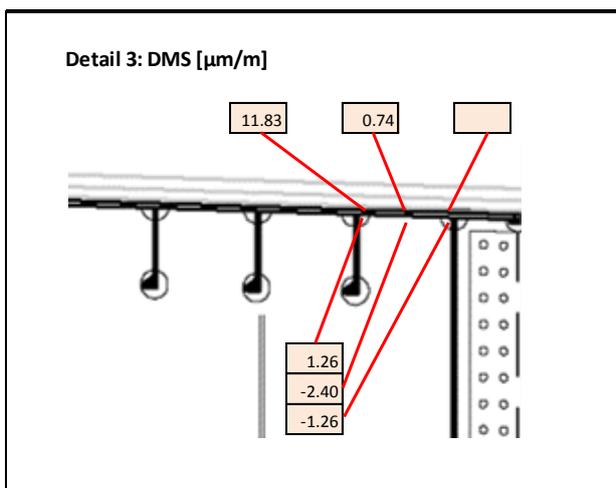
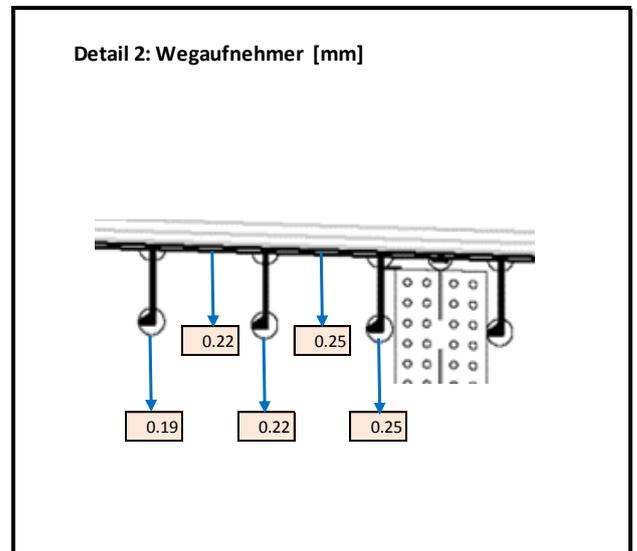
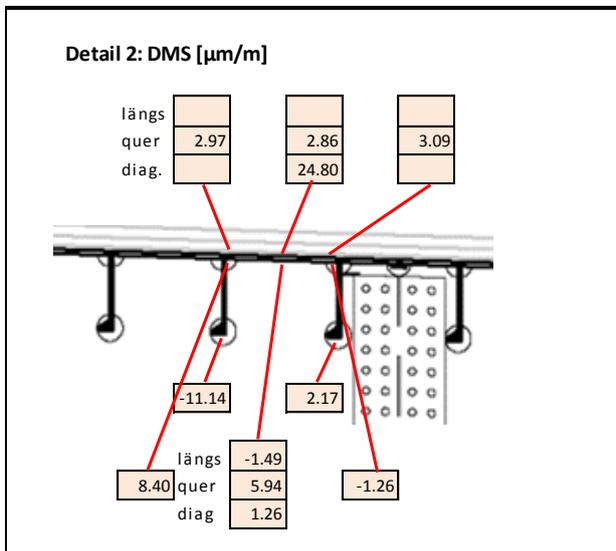
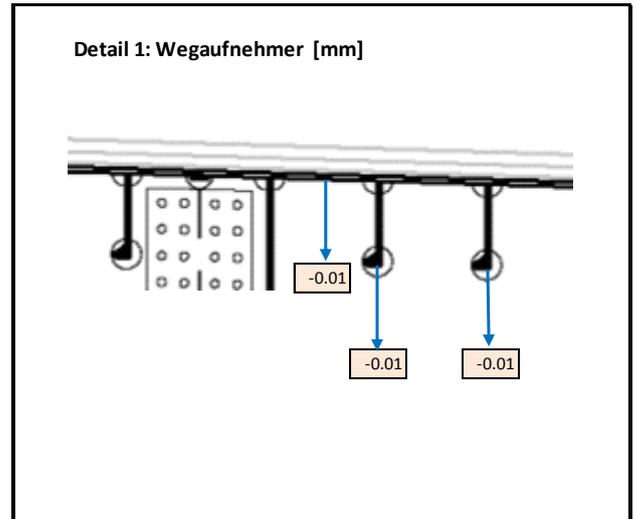
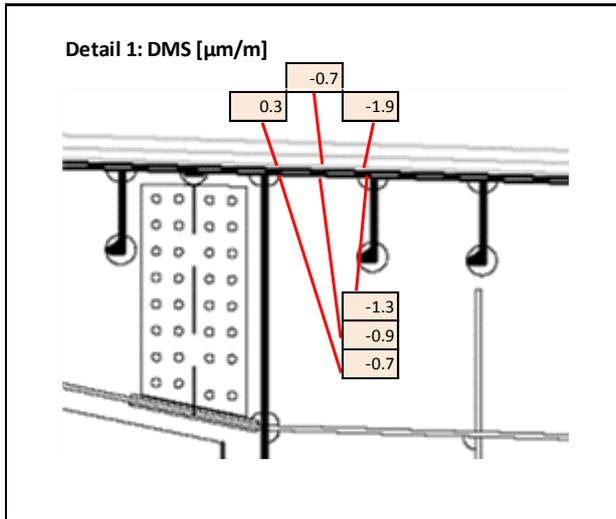


Abbildung 16: Messung Widerlagerbereich; LKW über Detail 2 (Mitte)

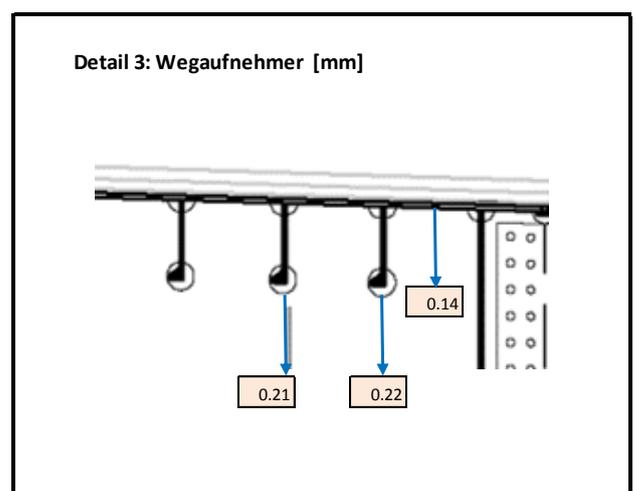
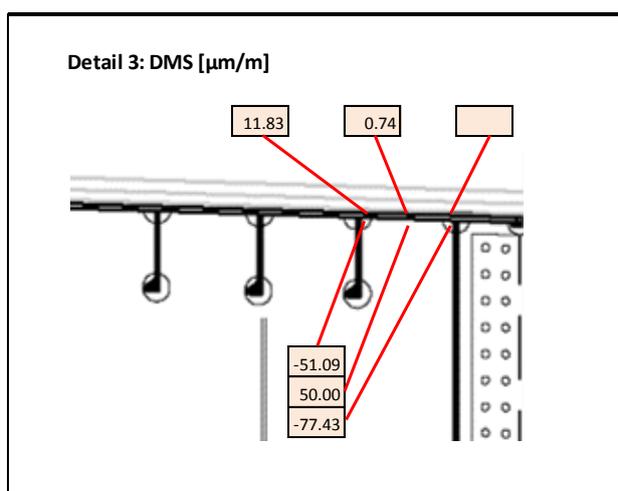
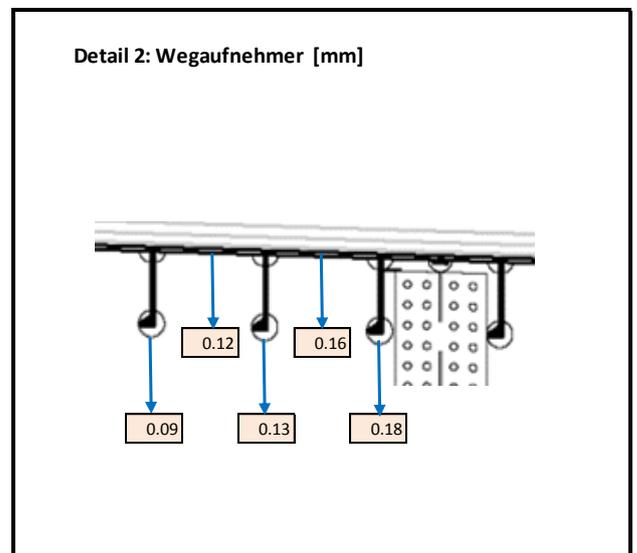
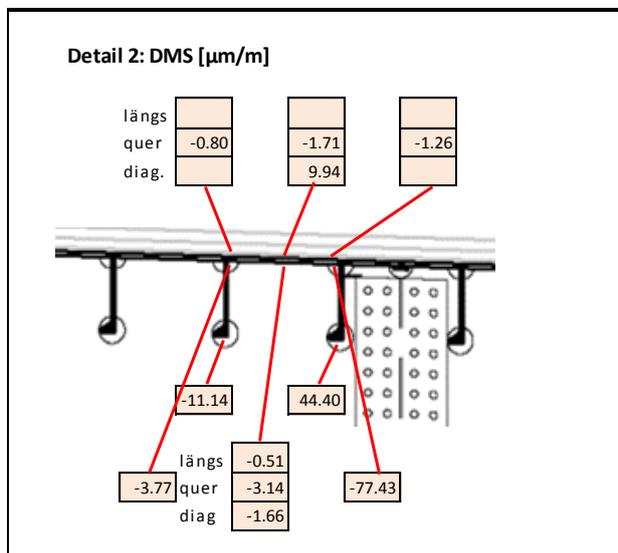
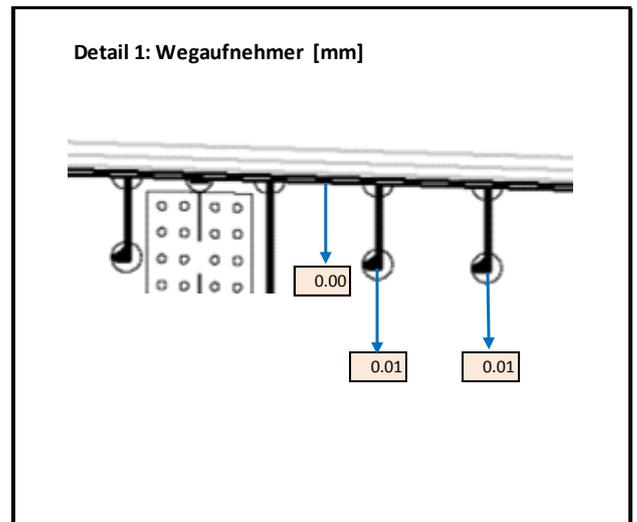
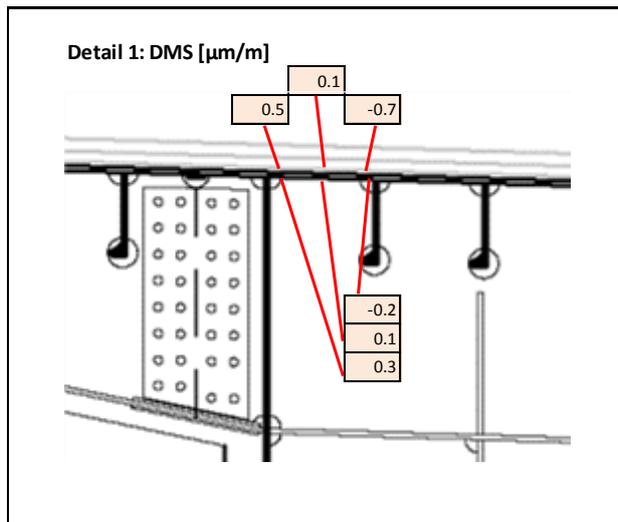


Abbildung 17: Messung Widerlagerbereich; LKW über Detail 3 (Nord)

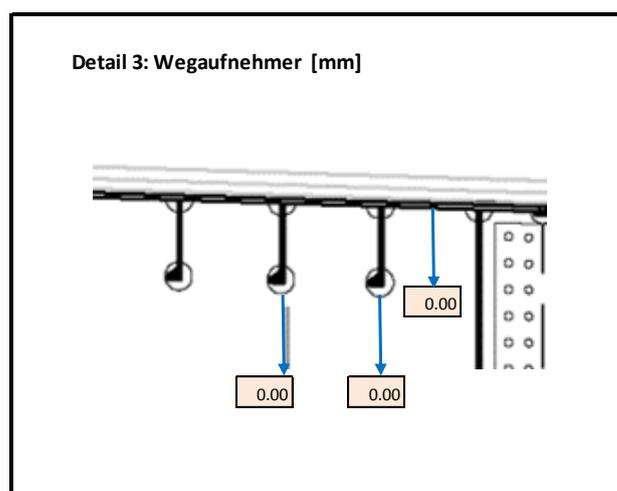
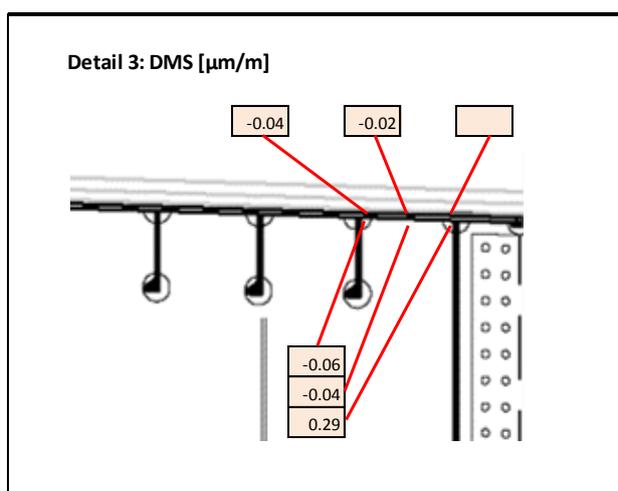
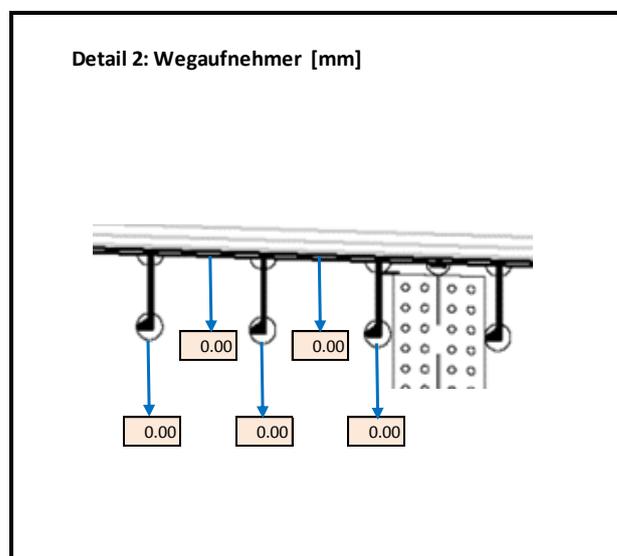
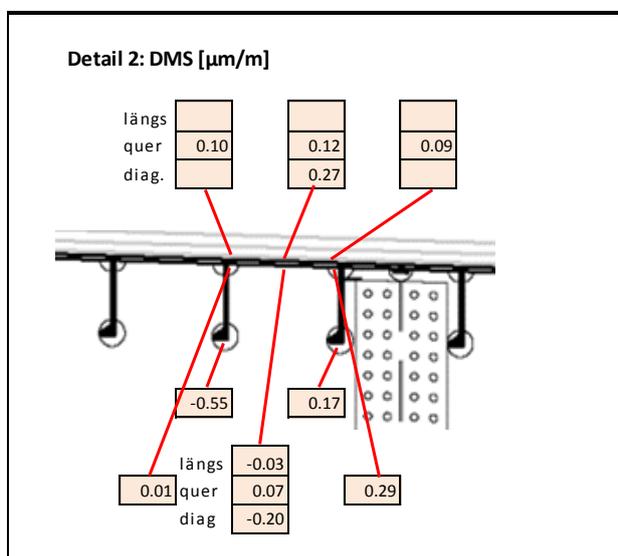
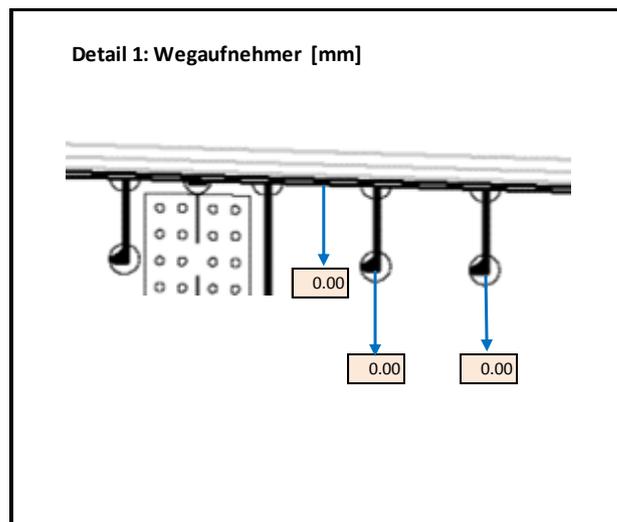
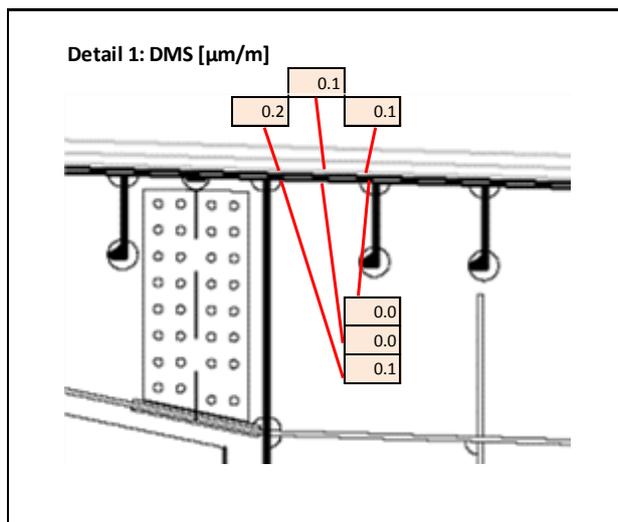


Abbildung 18: Messung Widerlagerbereich; Dauermessung unter Verkehrslast; Mittelwerte

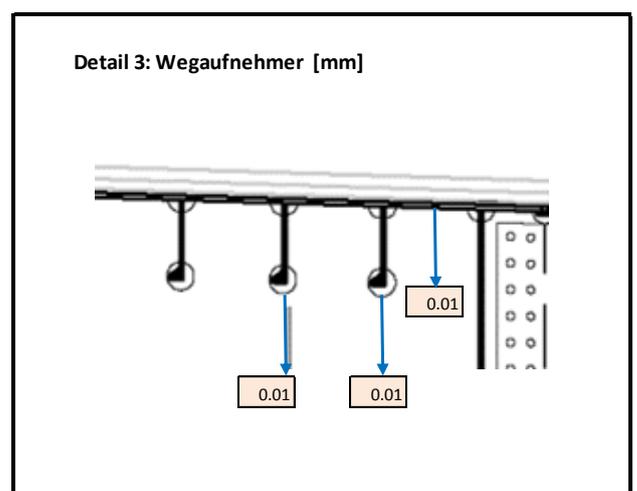
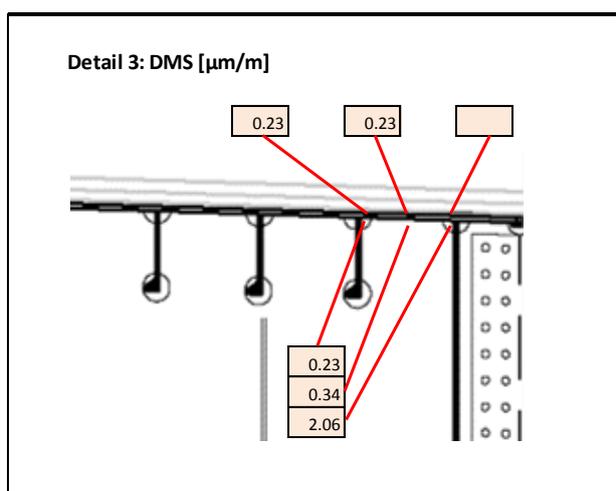
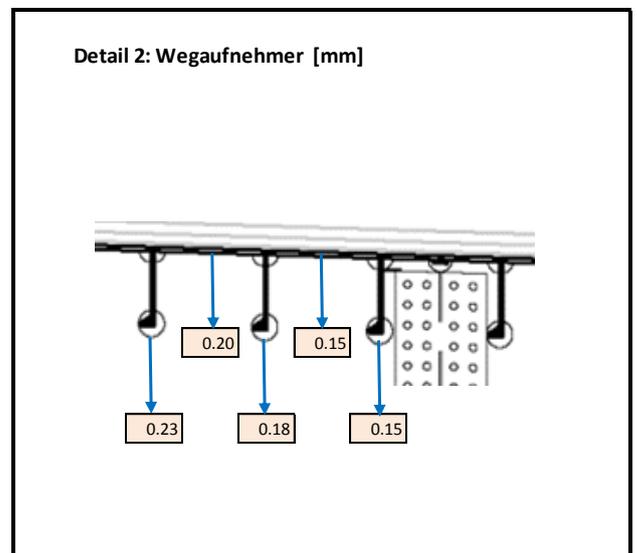
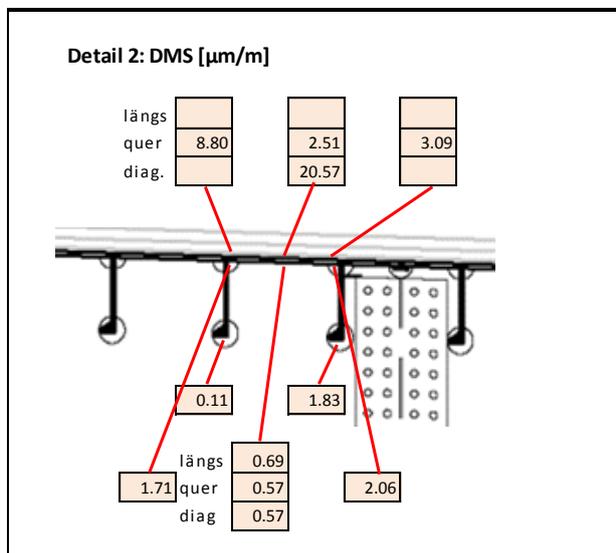
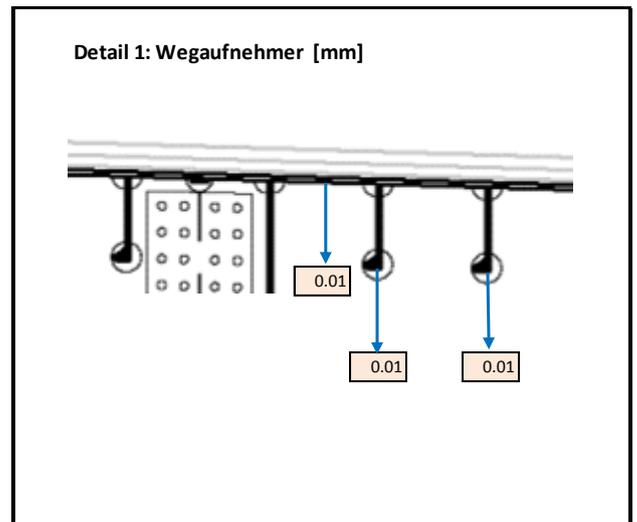
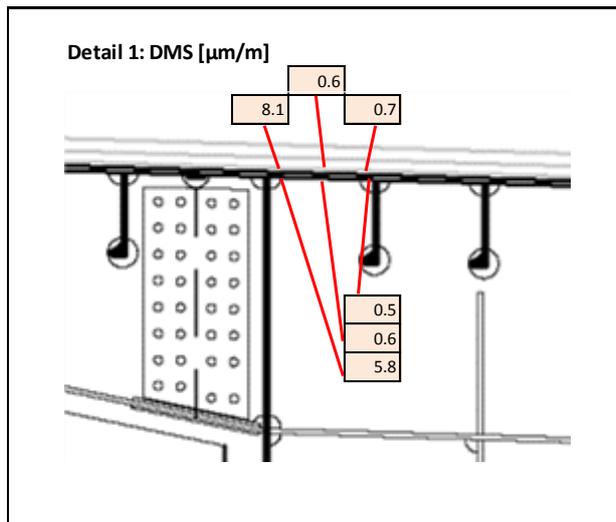


Abbildung 19: Messung Widerlagerbereich; Dauermessung unter Verkehrslast; Maximalwerte

Anlage C

Numerische Untersuchungsergebnisse

**Numerische Rechenergebnisse im Rahmen des
Projekts „Instandsetzung und Verstärkung von
orthotropen Platten mit ultrahochfestem Beton“ - FE
15.0566/2012/CRB der BAST**

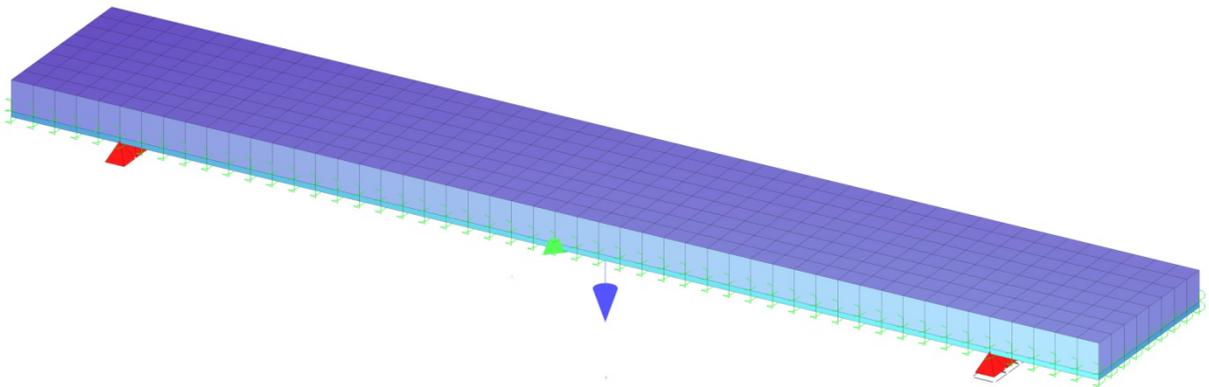
Aufgestellt: LAP Dresden, 25.05.2016

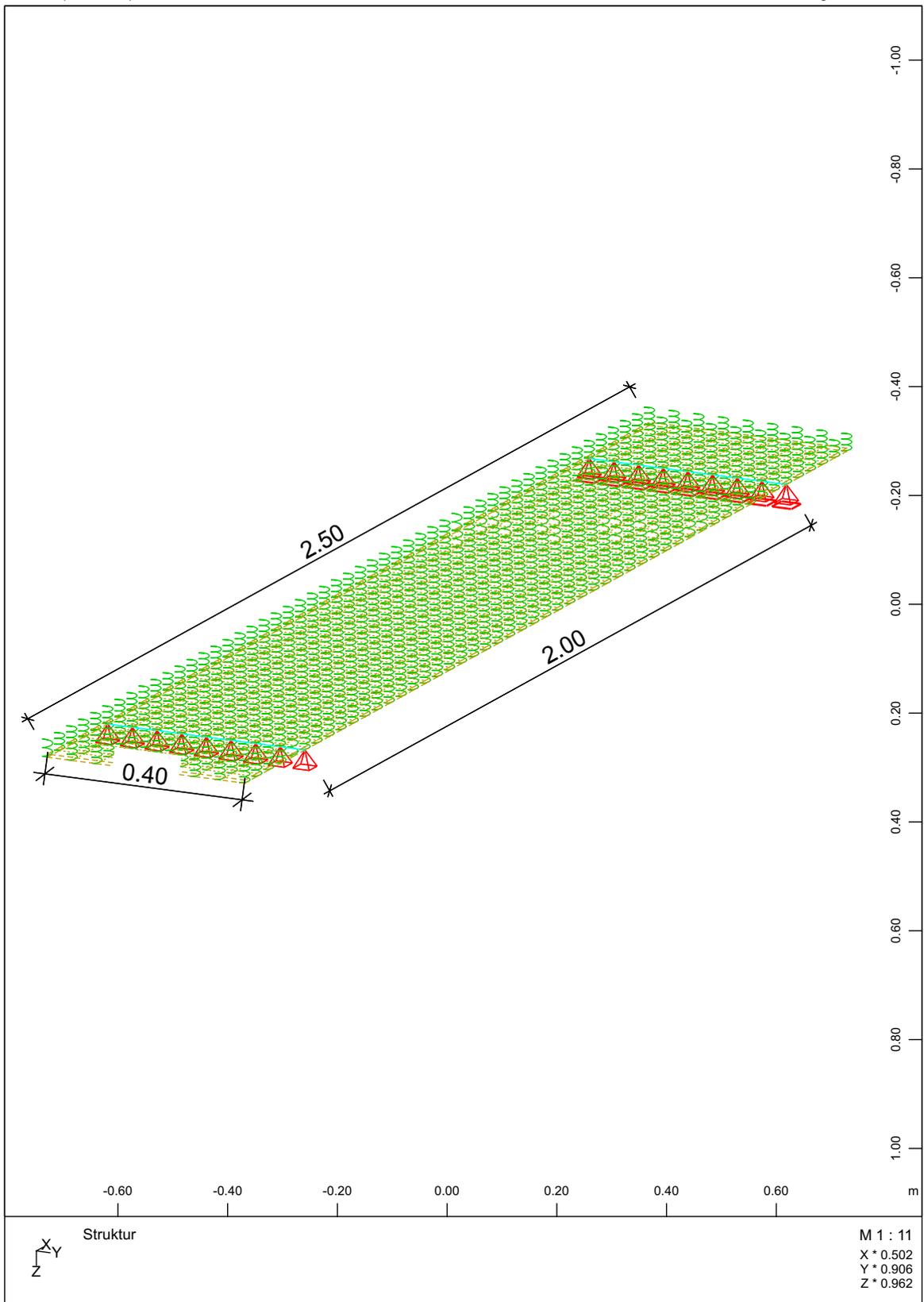
Inhalt

1. Plattenversuch KIT	C.3
2. Lokales Stabmodell	C.9
3. Faltwerkmodell Hohlkasten	C.27
4. Querschnittsmodell	C.76
5. Globales Stabmodell	C.84

1. Plattenversuch KIT

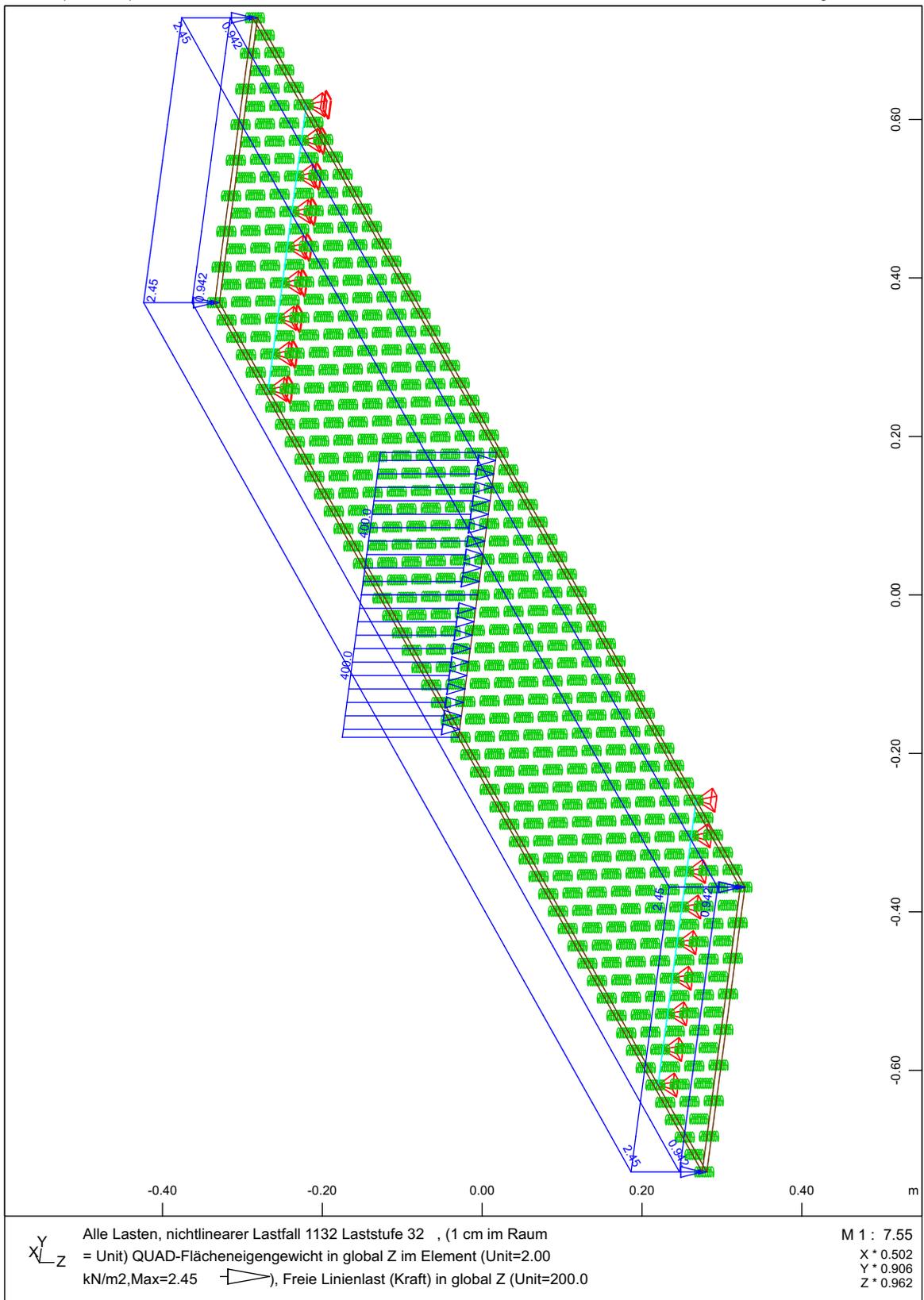
Elementart:	Flächenelemente	
Geometrie:	Länge	2,5 m
	Breite	0,4 m
	Lagerabstand	2,0 m
Belastung	Eigengewicht und Linienlast in Feldmitte	





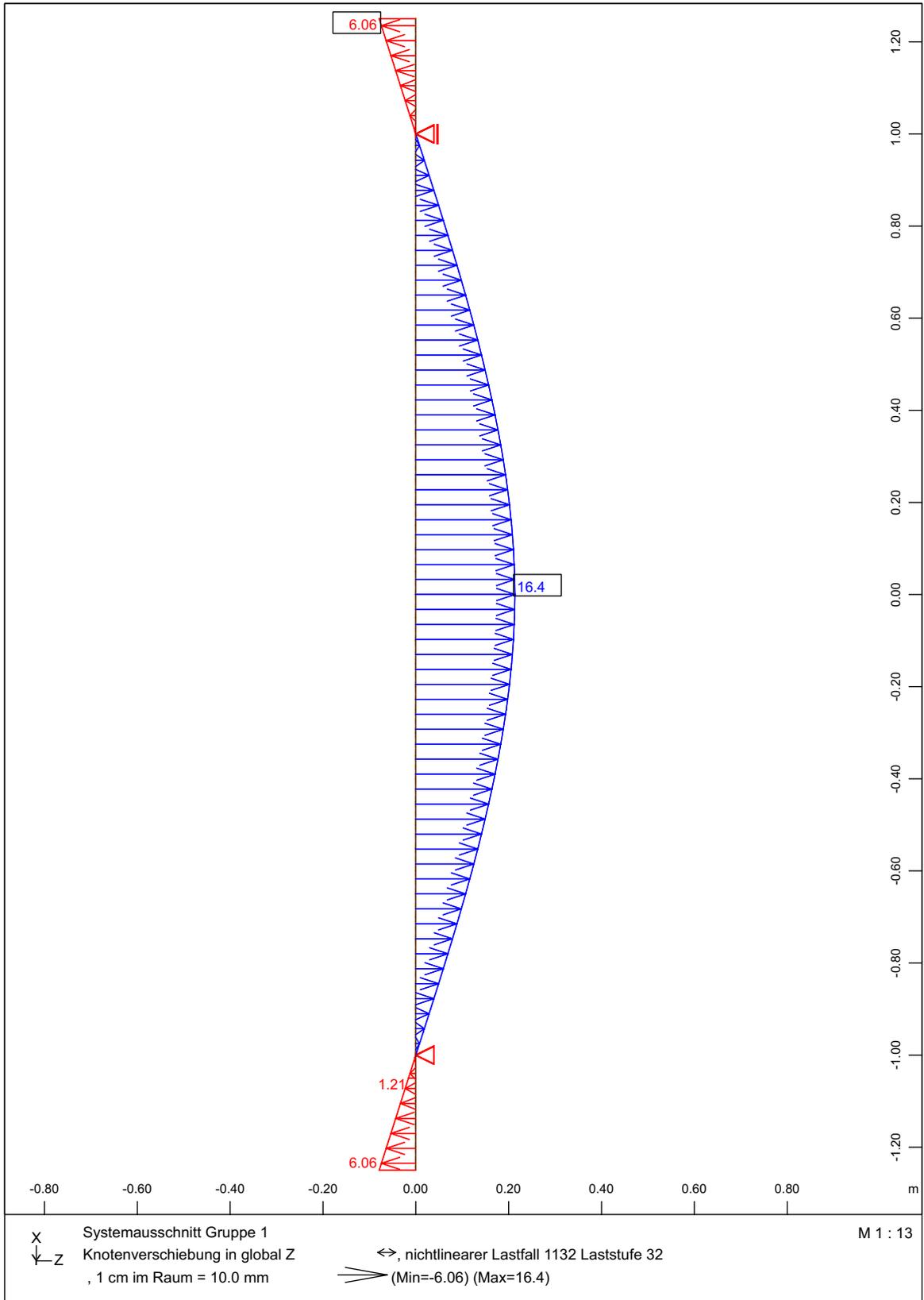
Beimerstetten

Plattenversuch KIT
System mit Belastung



Beimerstetten

Plattenversuch KIT
 System mit Belastung

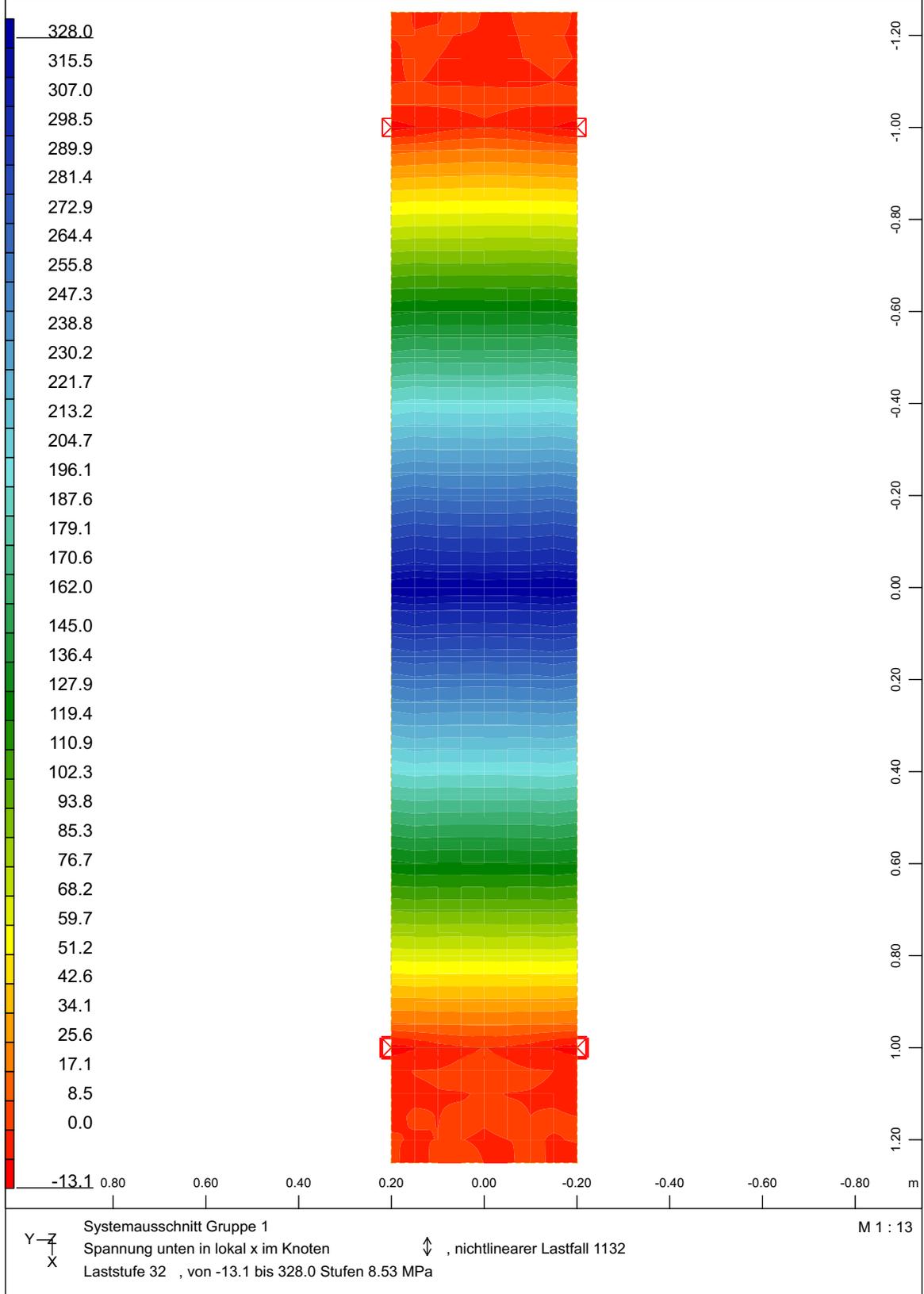


Beimerstetten

Plattenversuch KIT

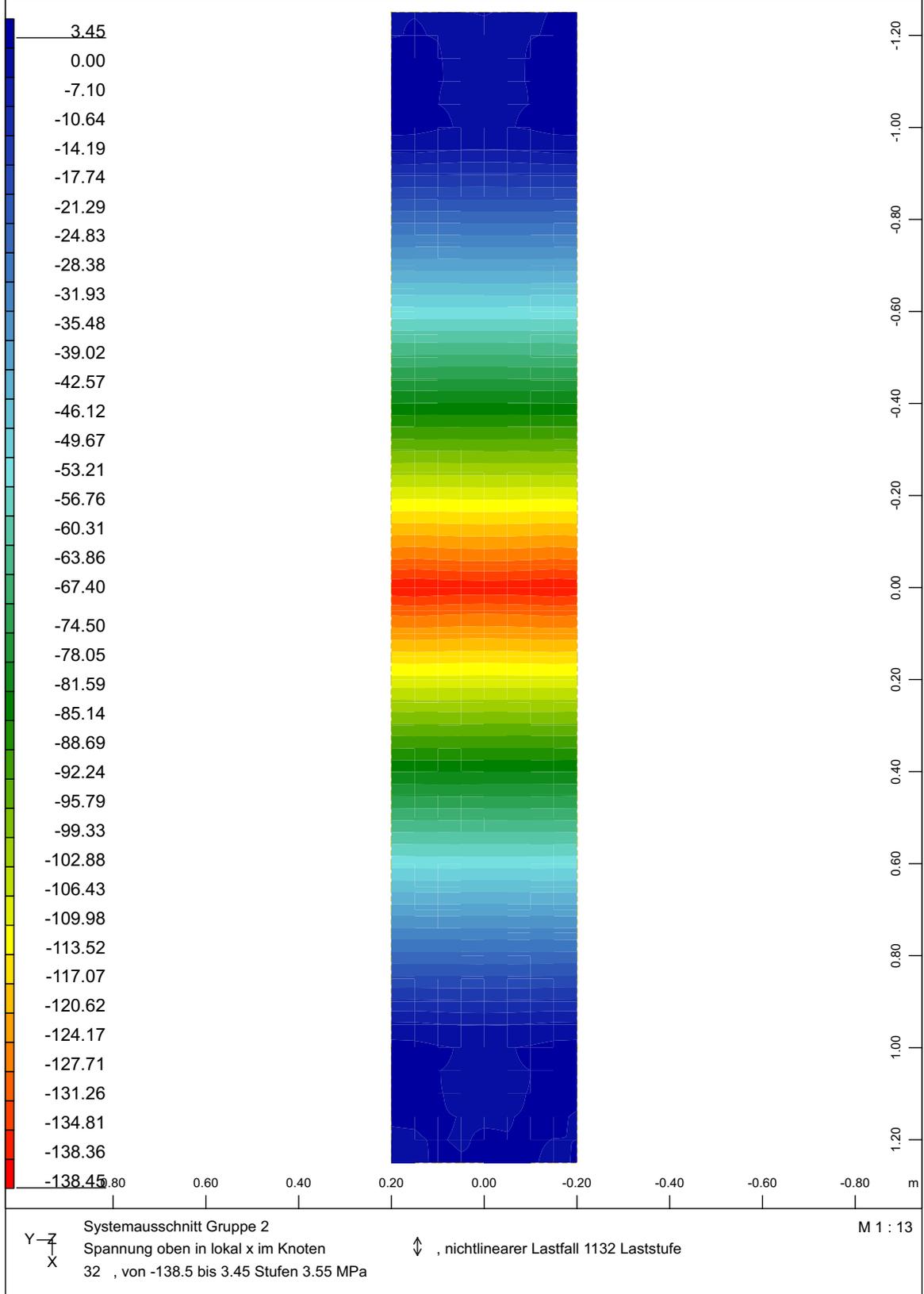
Biegelinie

Belastung mit Eigengewicht und 160 kN in Plattenmitte



Beimerstetten

Plattenversuch KIT
 Spannungen im Stahl
 Belastung mit Eigengewicht und 160 kN in Plattenmitte



Beimerstetten

Plattenversuch KIT
Druckspannungen im Beton
Belastung mit Eigengewicht und 160 kN in Plattenmitte

2. Lokales Stabmodell

Quertragrichtung

Elementart: Stabelemente, einmal starr gestützt, einmal elastisch

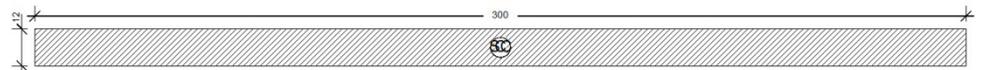
Geometrie: Druchlaufträger 0,3 m Spannweite
5 Felder

Breite 0,3 m

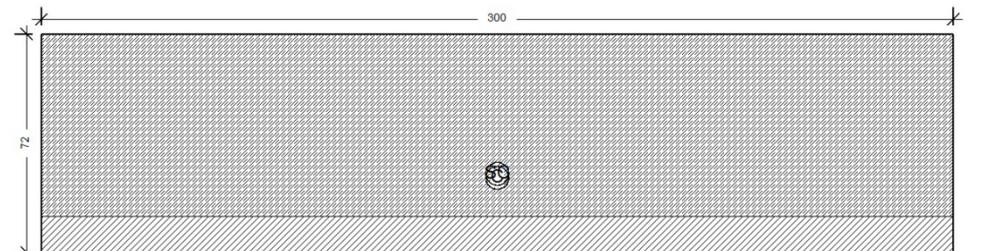
Belastung Linienlast im mittleren Feld

Querschnitte

1) Deckblech unverstärkt



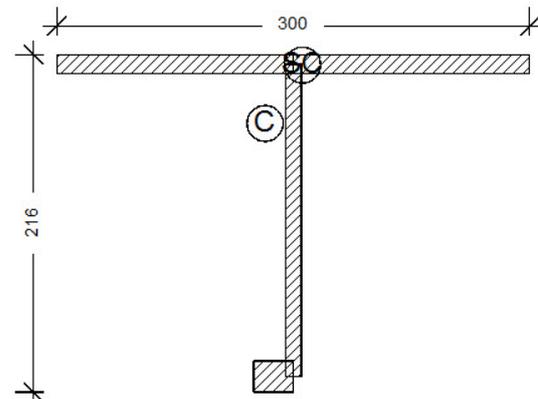
2) Deckblech verstärkt



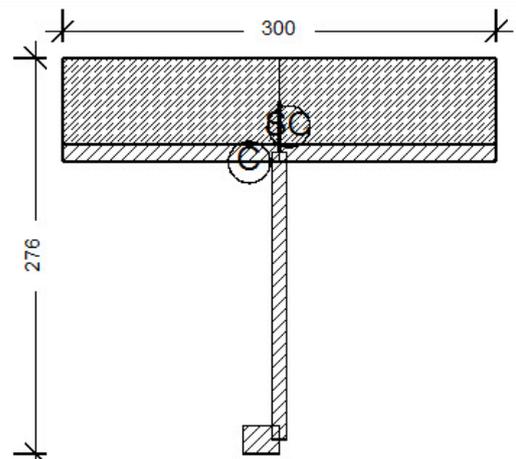
Längstragrichtung

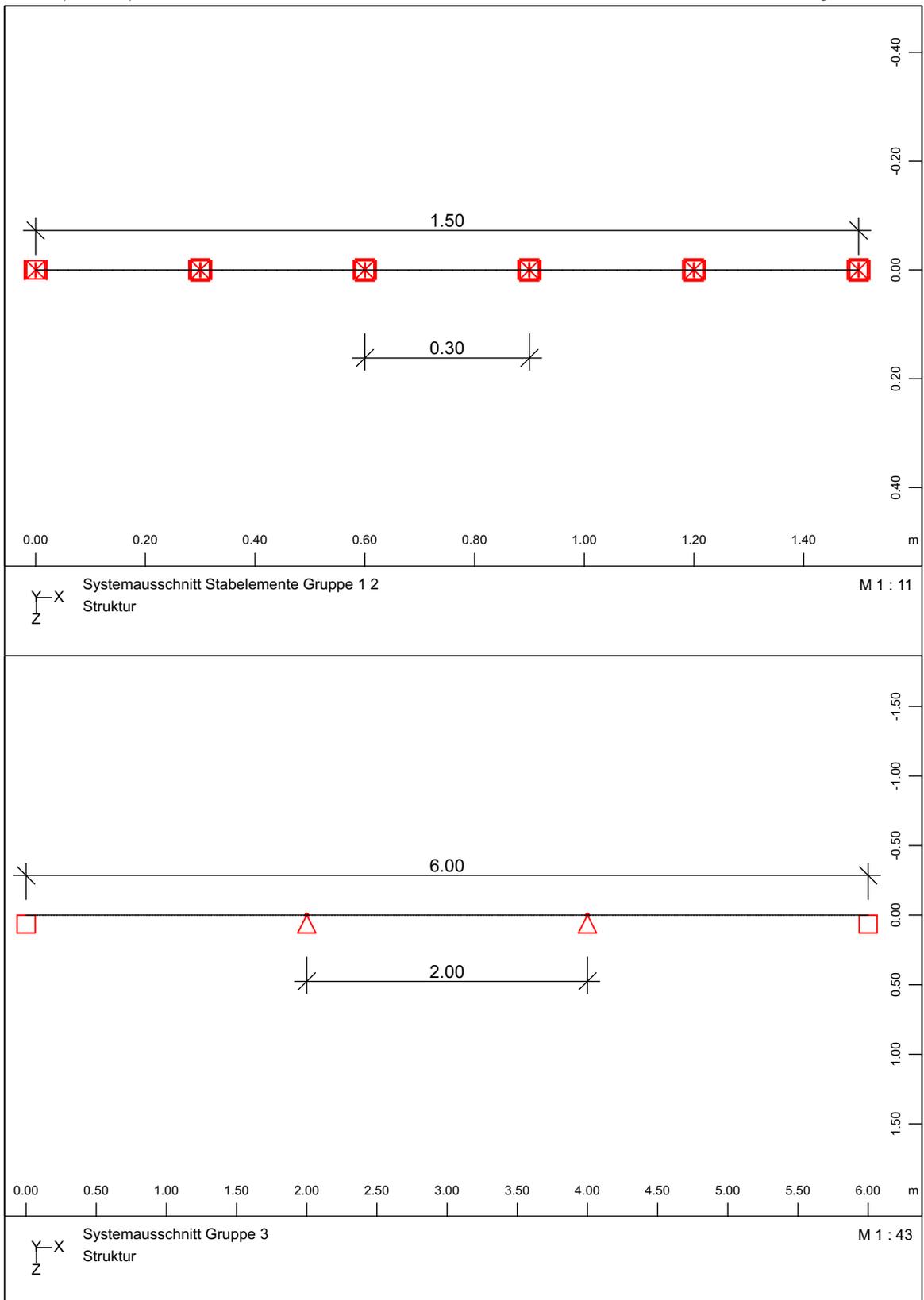
Elementart:	Stabelemente	
Geometrie:	Druchlaufträger	2 m Spannweite 3 Felder
	Breite	0,3 m
Belastung	Einzellast im mittleren	
Querschnitte		

1) Steife unverstärkt



2) Steife verstärkt



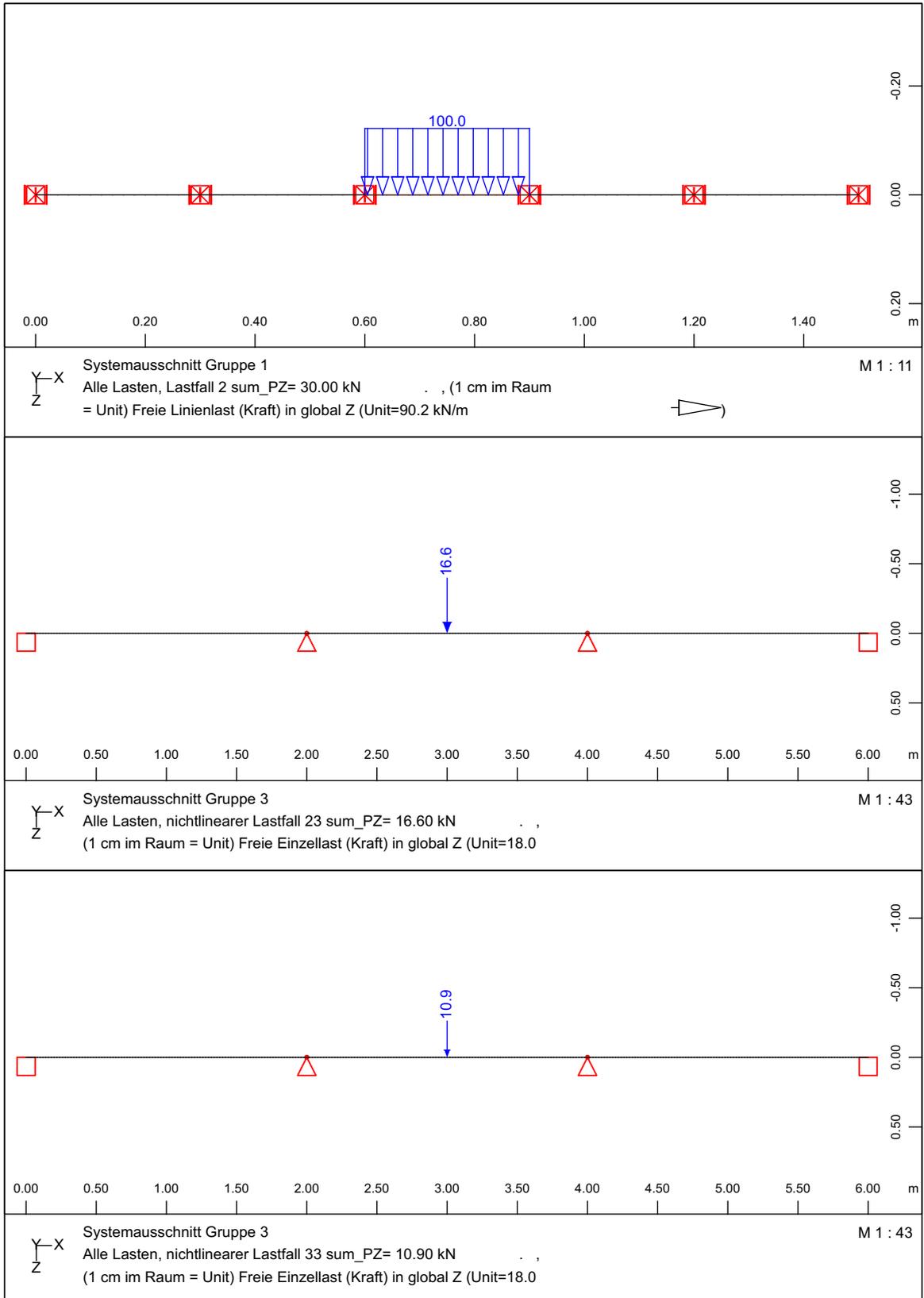


Beimerstetten

Lokales Stabmodell

Geometrie

Quertragrichtung (oben) Längstragrichtung (unten)



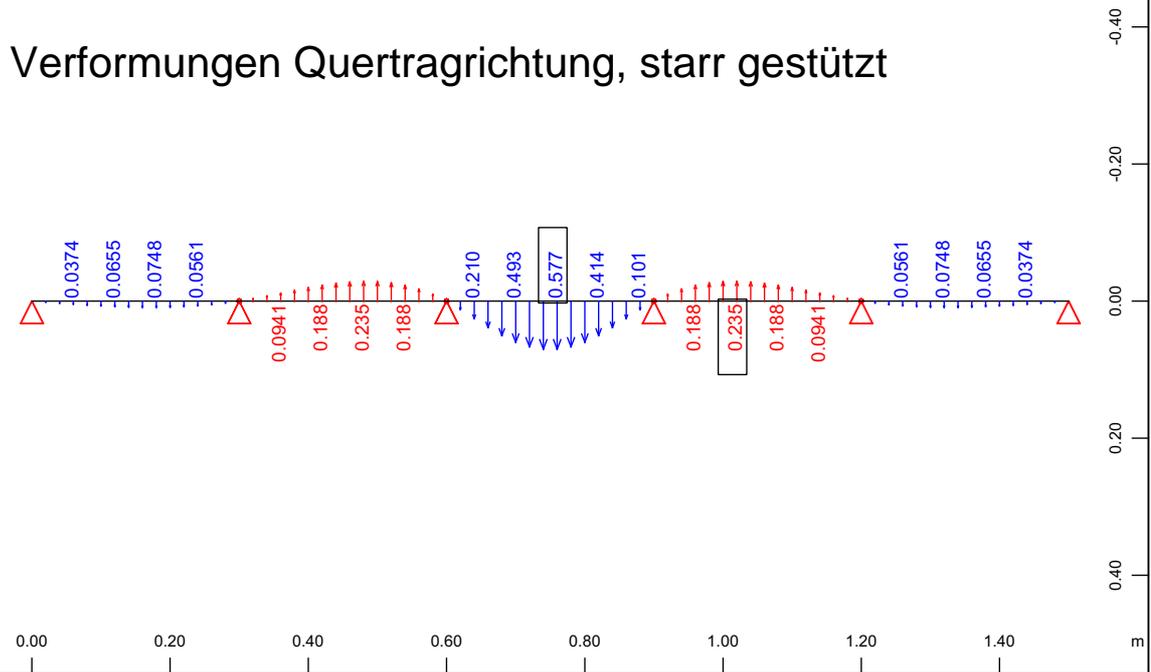
Beimerstetten

Lokales Stabmodell

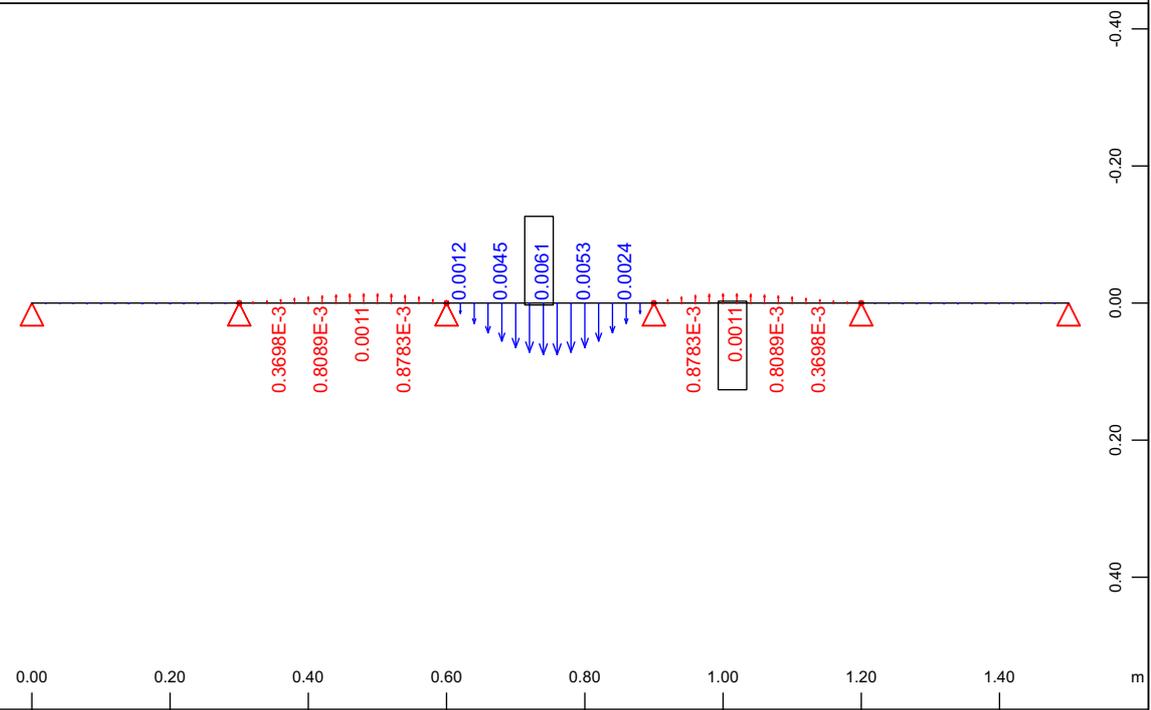
Belastung

Quertrichtung (oben) Längs ohne Beton (mitte) mit Beton (unten)

Verformungen Quertragrichtung, starr gestützt



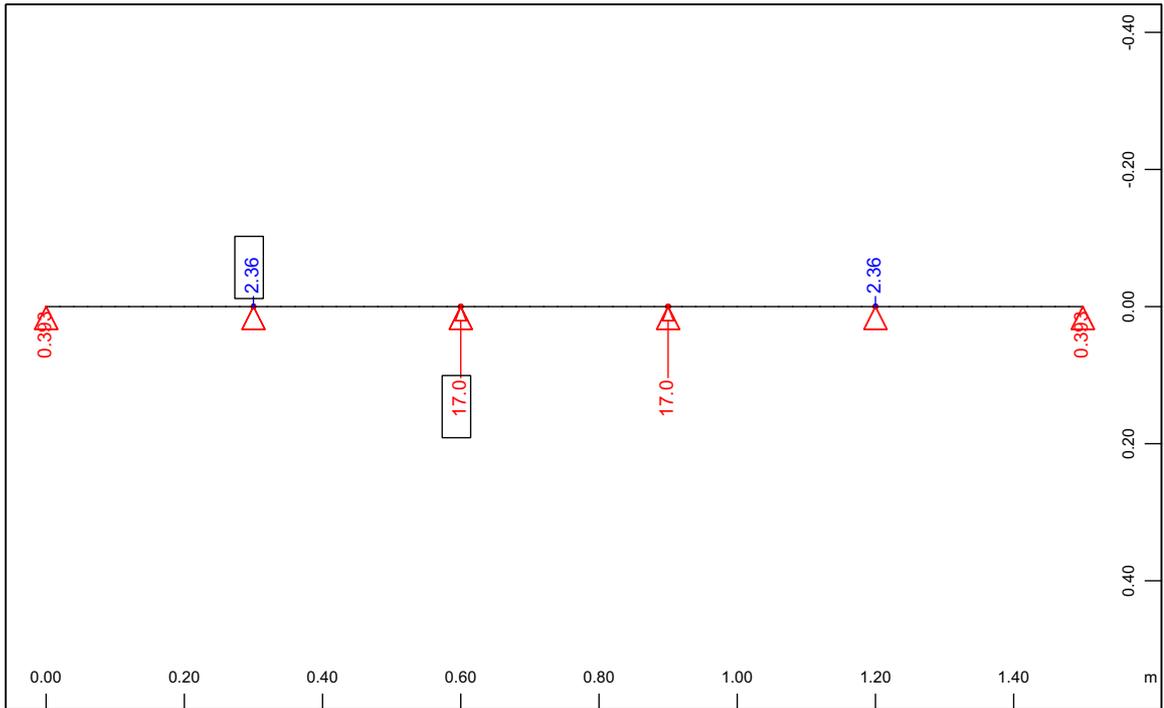
Systemausschnitt Gruppe 1
 Knotenverschiebung in global Z, Lastfall 2 sum_PZ= 30.00 kN
 , 1 cm im Raum = 0.902 mm \Rightarrow (Min=-0.235) (Max=0.577) M 1 : 11



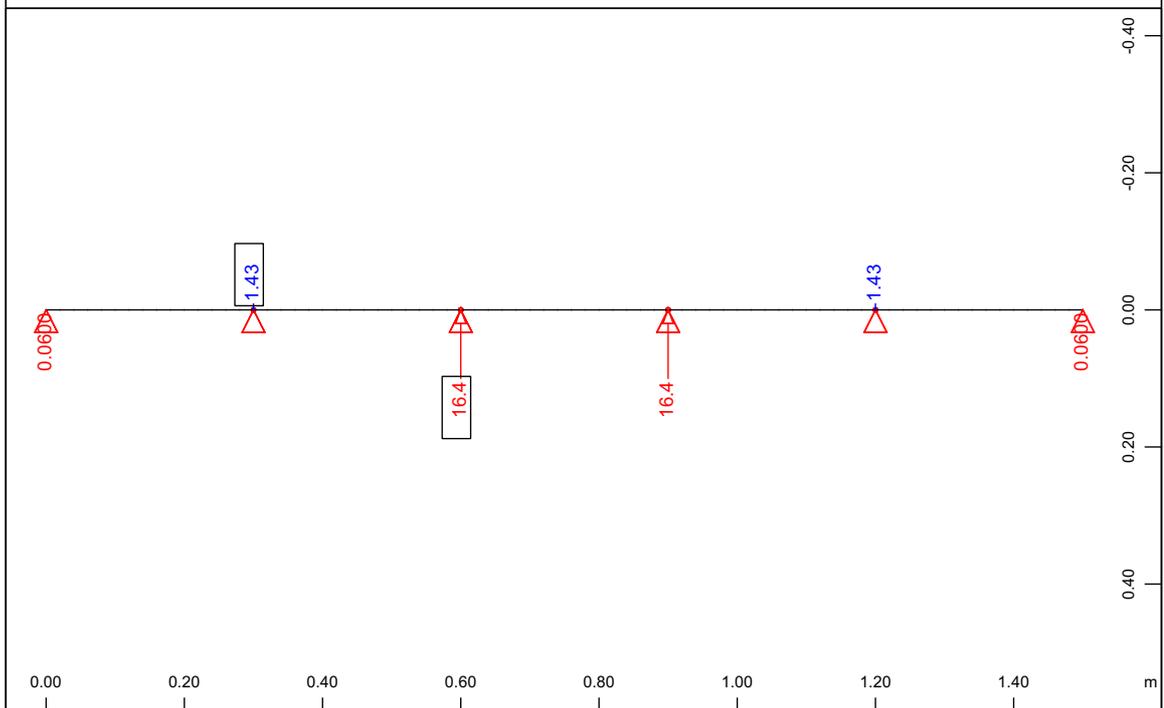
Systemausschnitt Gruppe 2
 Knotenverschiebung in global Z, Lastfall 12 sum_PZ= 30.00 kN
 , 1 cm im Raum = 0.0090 mm \Rightarrow (Min=-0.0011) (Max=0.0061) M 1 : 11

Beimerstetten

Lokales Stabmodell
 Durchbiegung, Quertragrichtung
 Unverstärkt (oben) Verstärkt (unten)



Systemausschnitt Gruppe 1 M 1 : 11
 Knoten , Auflagerkraft in global Z, Lastfall 2 sum_PZ= 30.00 kN
 . , 1 cm im Raum = 18.0 kN (Min=-17.0) (Max=2.36) (Summe: -30.0)

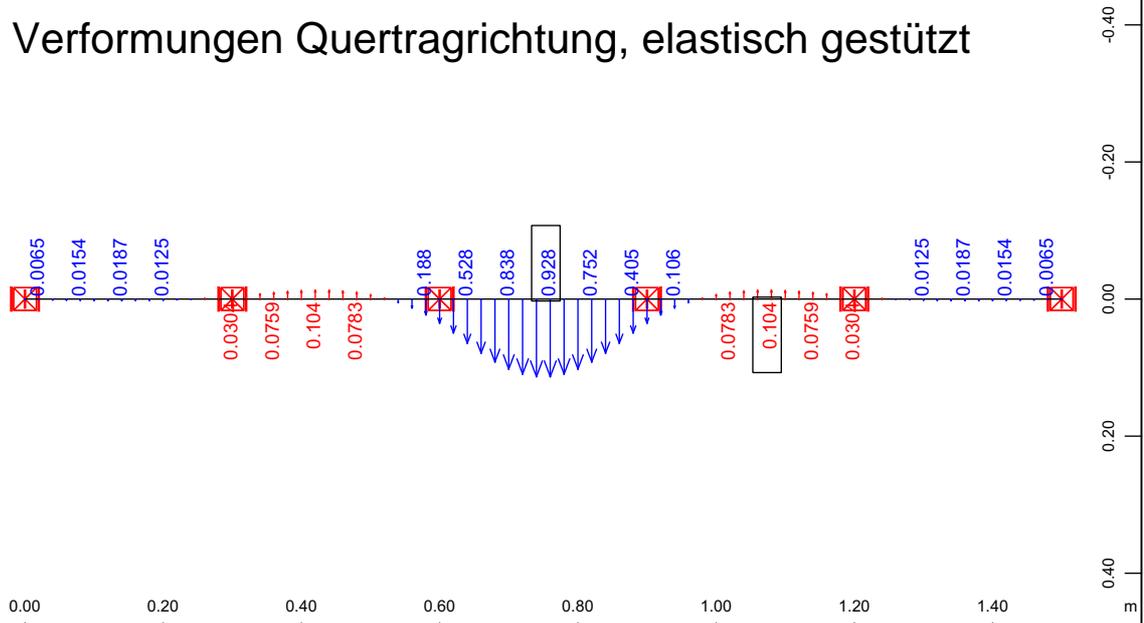


Systemausschnitt Gruppe 2 M 1 : 11
 Knoten , Auflagerkraft in global Z, Lastfall 12 sum_PZ= 30.00 kN
 . , 1 cm im Raum = 18.0 kN (Min=-16.4) (Max=1.43) (Summe: -30.0)

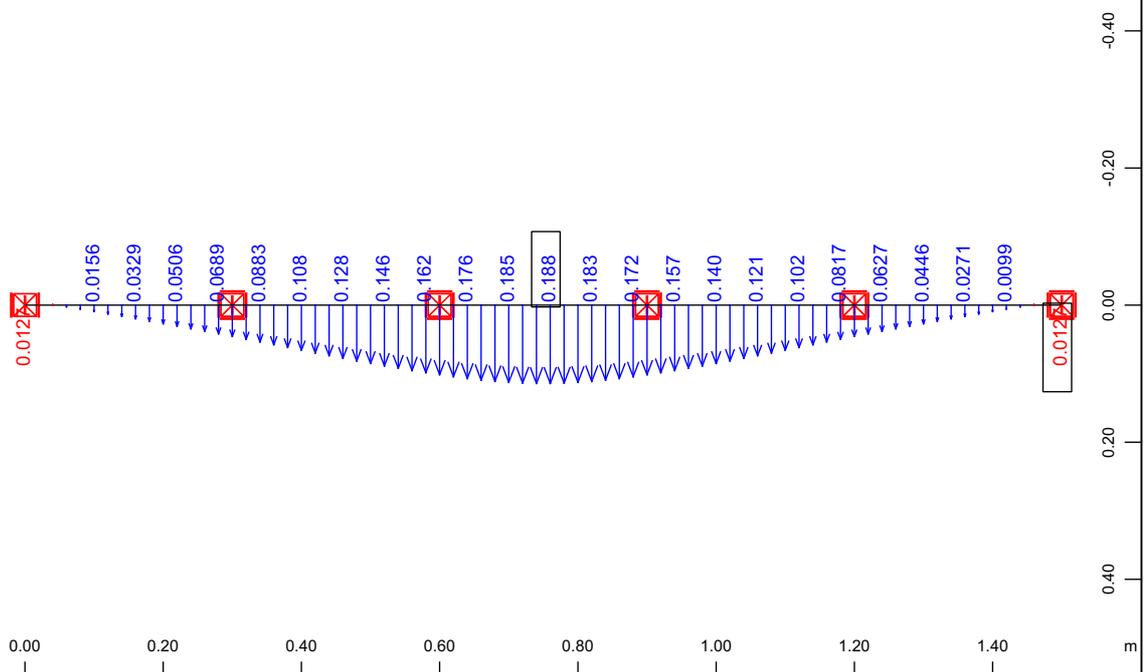
Beimerstetten

Lokales Stabmodell
 Durchbiegung, Quertragrichtung
 Unverstärkt (oben) Verstärkt (unten)

Verformungen Quertragrichtung, elastisch gestützt



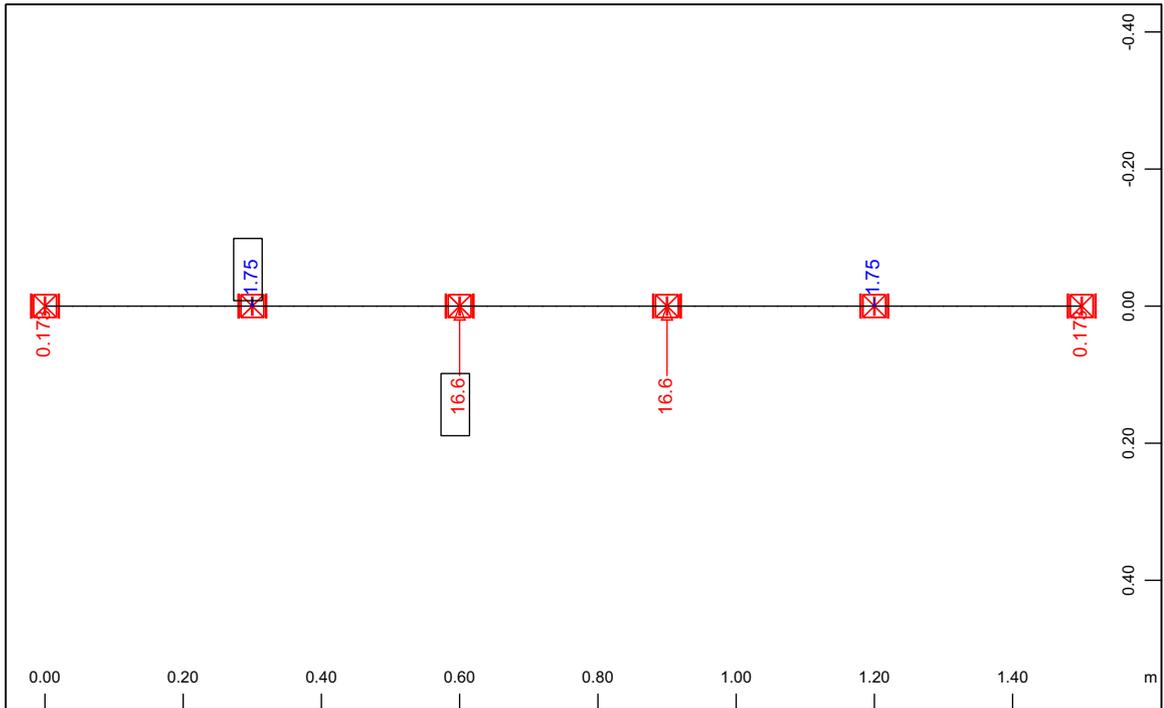
Systemausschnitt Gruppe 1
 Knotenverschiebung in global Z, Lastfall 2 sum_PZ= 30.00 kN
 , 1 cm im Raum = 0.902 mm (Min=-0.104) (Max=0.928) M 1 : 11



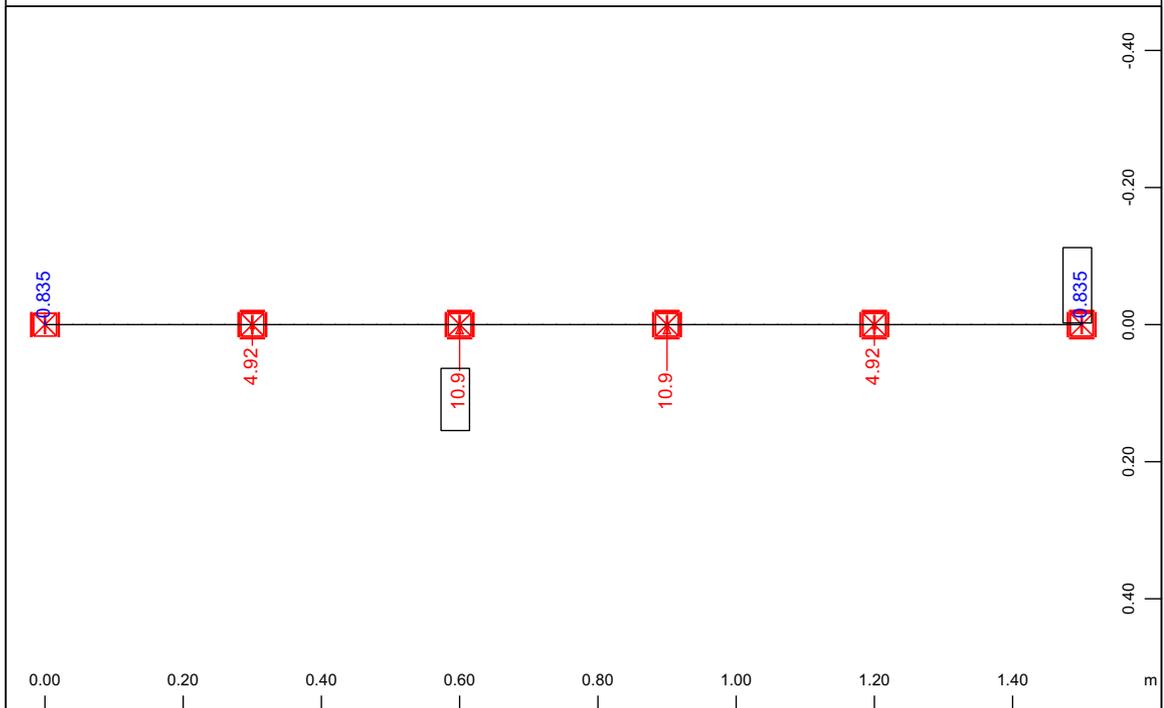
Systemausschnitt Gruppe 2
 Knotenverschiebung in global Z, Lastfall 12 sum_PZ= 30.00 kN
 , 1 cm im Raum = 0.180 mm (Min=-0.0127) (Max=0.188) M 1 : 11

Beimerstetten

Lokales Stabmodell
 Durchbiegung, Quertragrichtung
 Unverstärkt (oben) Verstärkt (unten)



Systemausschnitt Gruppe 1 M 1 : 11
 Knoten , Auflagerkraft in global Z, Lastfall 2 sum_PZ= 30.00 kN
 . , 1 cm im Raum = 18.0 kN (Min=-16.6) (Max=1.75) (Summe: -30.0)

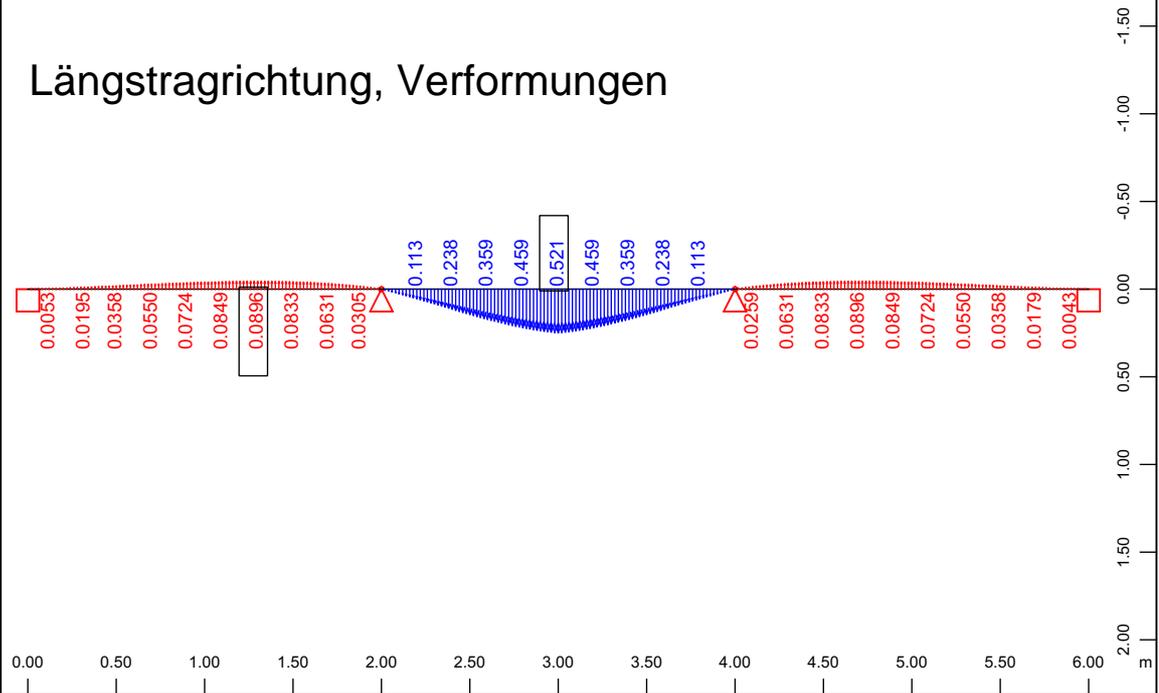


Systemausschnitt Gruppe 2 M 1 : 11
 Knoten , Auflagerkraft in global Z, Lastfall 12 sum_PZ= 30.00 kN
 . , 1 cm im Raum = 18.0 kN (Min=-10.9) (Max=0.835) (Summe: -30.0)

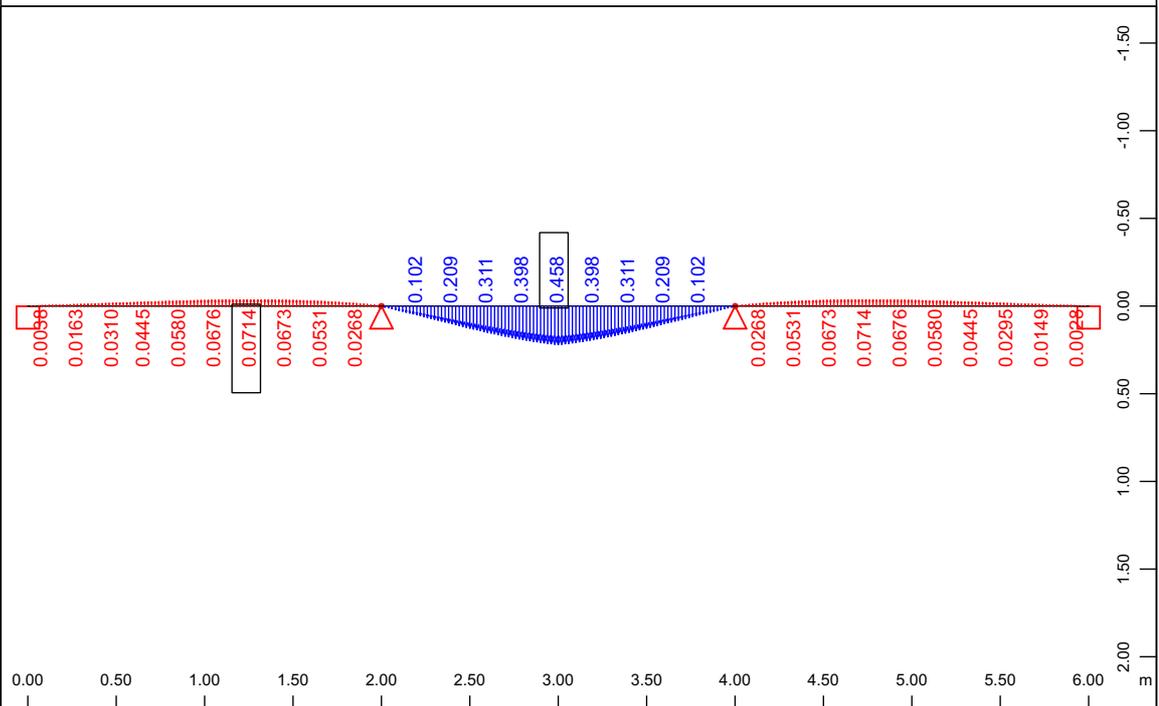
Beimerstetten

Lokales Stabmodell
 Durchbiegung, Quertragrichtung
 Unverstärkt (oben) Verstärkt (unten)

Längstragrichtung, Verformungen



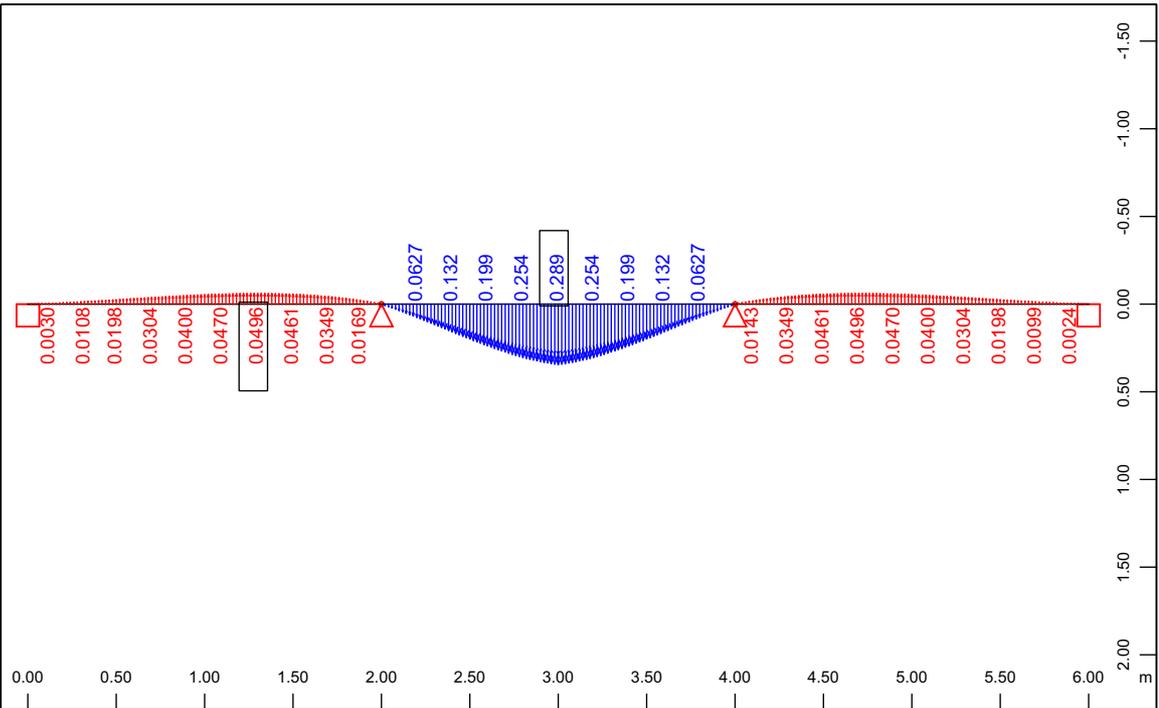
Systemausschnitt Gruppe 3
 Knotenverschiebung in global Z, nichtlinearer Lastfall 22 sum_PZ= 30.00 kN
 , 1 cm im Raum = 0.902 mm M 1 : 43
(Min=-0.0896) (Max=0.521)



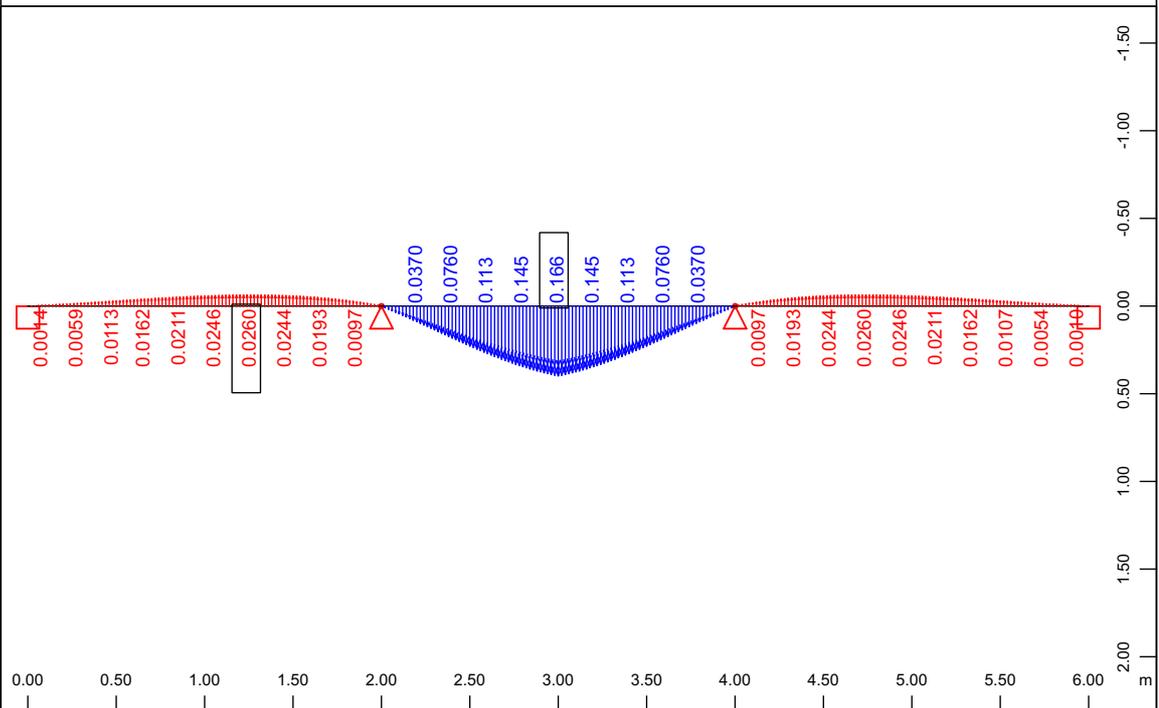
Systemausschnitt Gruppe 4
 Knotenverschiebung in global Z, nichtlinearer Lastfall 32 sum_PZ= 30.00 kN
 , 1 cm im Raum = 0.902 mm M 1 : 43
(Min=-0.0714) (Max=0.458)

Beimerstetten

Lokales Stabmodell
 Durchbiegung, Längstragrichtung
 Unverstärkt (oben) Verstärkt (unten)



Systemausschnitt Gruppe 3
 Knotenverschiebung in global Z, nichtlinearer Lastfall 23 sum_PZ= 16.60 kN
 , 1 cm im Raum = 0.361 mm (Min=-0.0496) (Max=0.289)

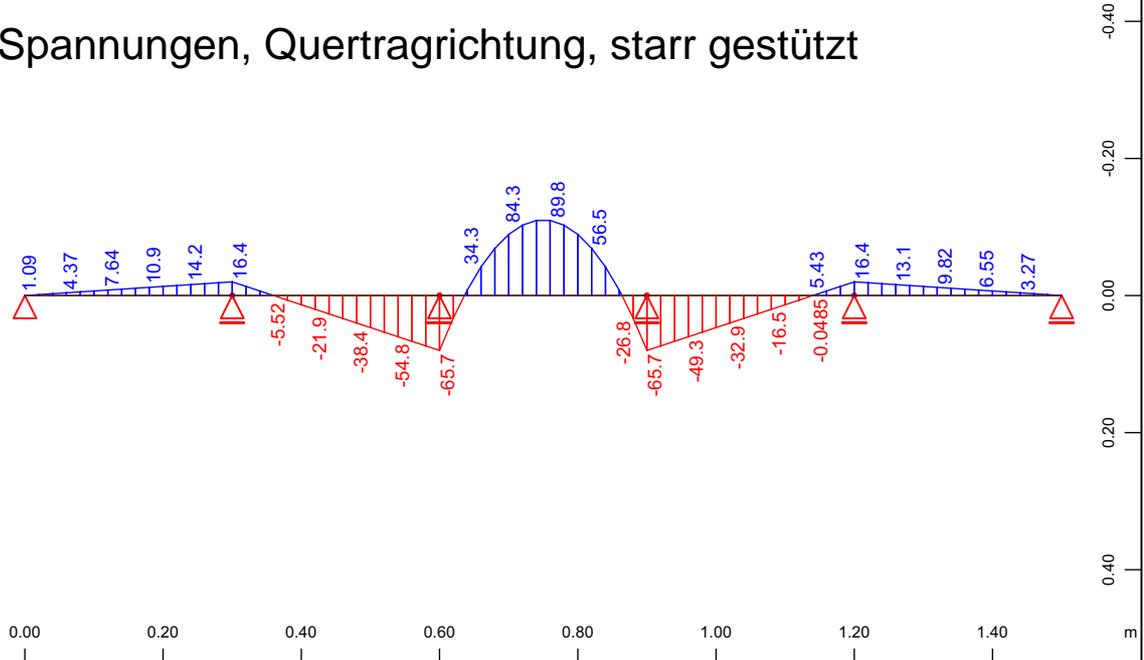


Systemausschnitt Gruppe 4
 Knotenverschiebung in global Z, nichtlinearer Lastfall 33 sum_PZ= 10.90 kN
 , 1 cm im Raum = 0.180 mm (Min=-0.0260) (Max=0.166)

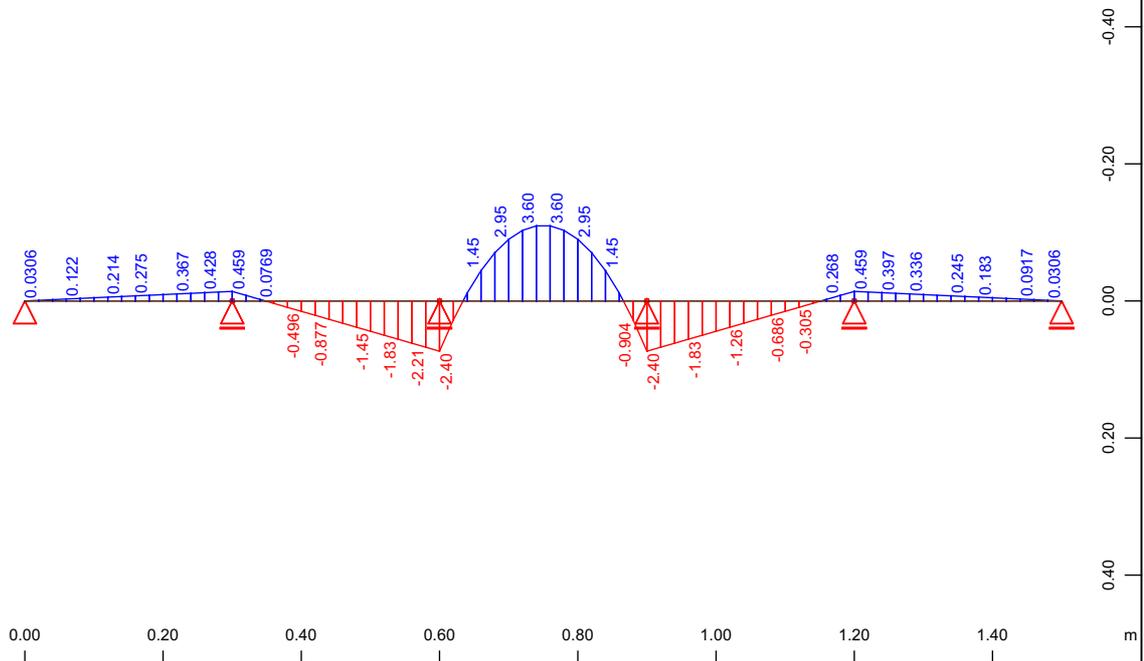
Beimerstetten

Lokales Stabmodell
 Durchbiegung, Längstragrichtung
 Unverstärkt (oben) Verstärkt (unten)

Spannungen, Quertragrichtung, starr gestützt



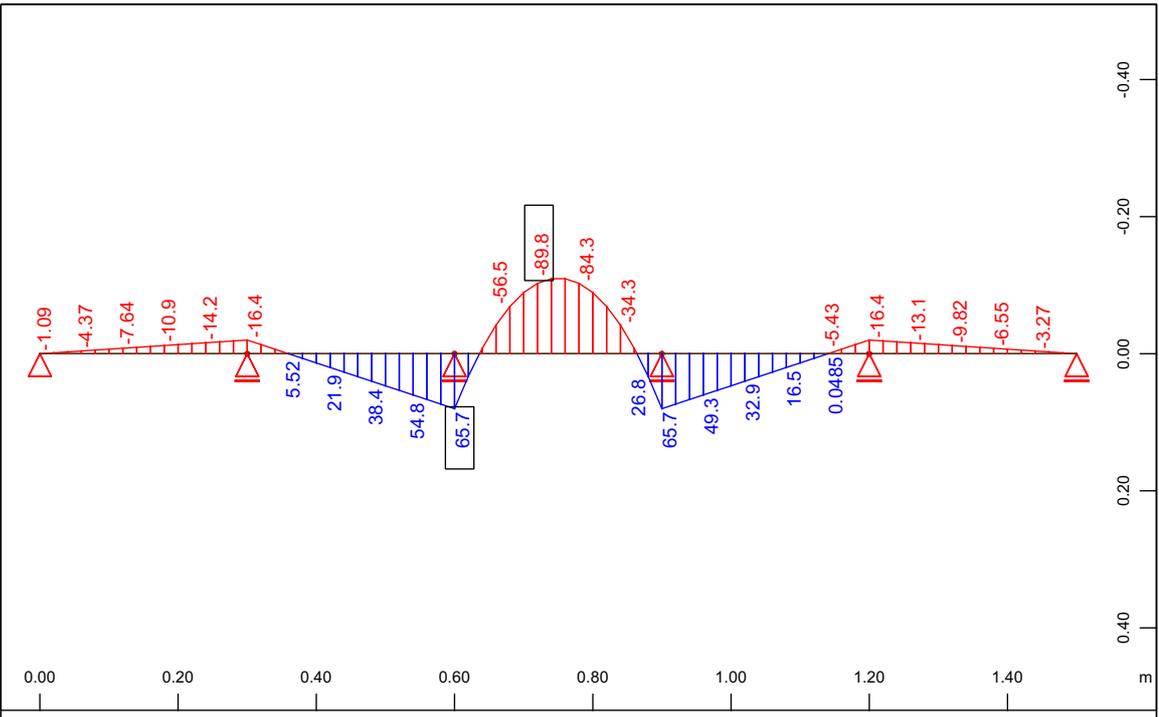
Systemausschnitt Gruppe 1 M 1 : 11
 Stabelemente , Normalspannung unten einachsig, Bemessungsfall 2, Material 1
 S 355 (EN 1993) , 1 cm im Raum = 90.2 MPa (Min=-65.7) (Max=89.8)



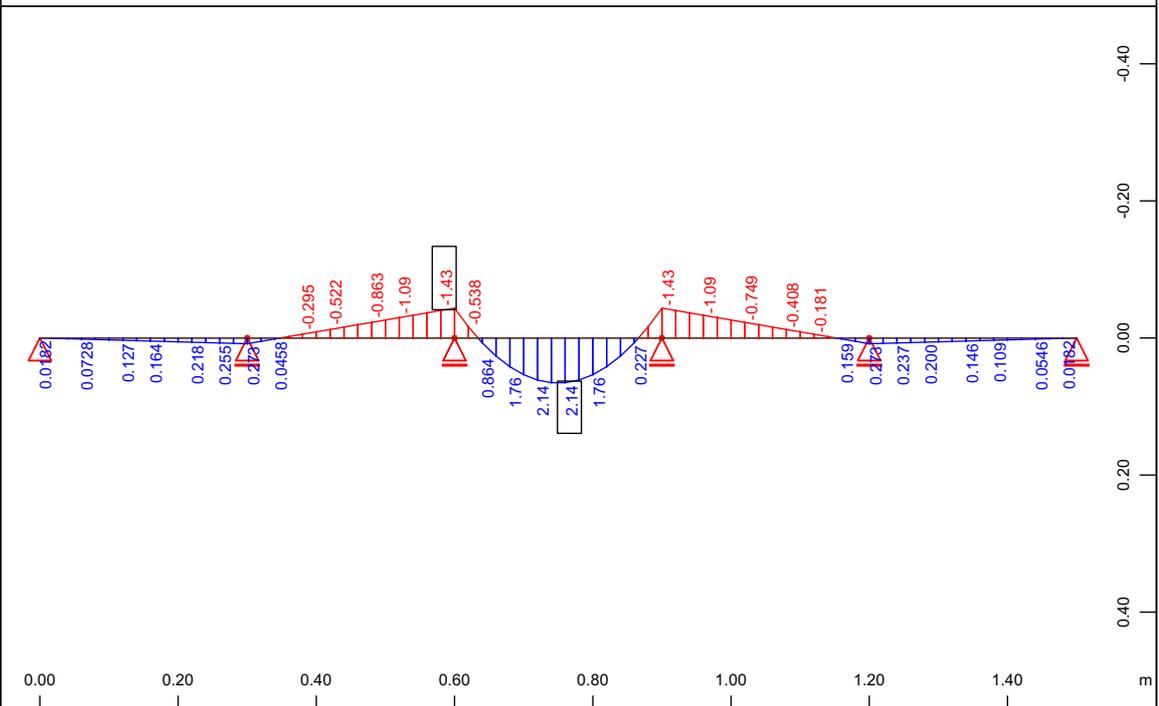
Systemausschnitt Gruppe 2 M 1 : 11
 Stabelemente , Normalspannung unten einachsig, Bemessungsfall 12, Material
 1 S 355 (EN 1993) , 1 cm im Raum = 3.61 MPa (Min=-2.40) (Max=3.60)

Beimerstetten

Lokales Stabmodell
 Spannung Blech unten
 Unverstärkt (oben) Verstärkt (unten)



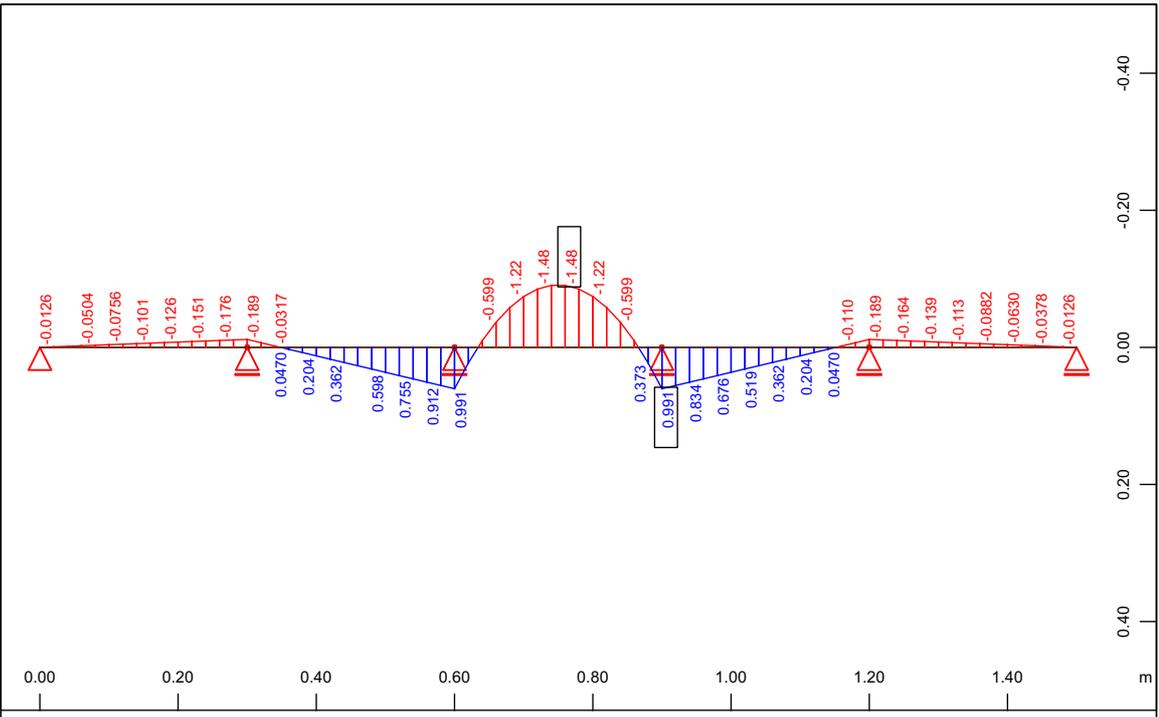
Systemausschnitt Gruppe 1
 Stabelemente , Normalspannung oben einachsig, Bemessungsfall 2, Material 1
 S 355 (EN 1993) , 1 cm im Raum = 90.2 MPa (Min=-89.8) (Max=65.7) M 1 : 11



Systemausschnitt Gruppe 2
 Stabelemente , Normalspannung oben einachsig, Bemessungsfall 12, Material 1
 S 355 (EN 1993) , 1 cm im Raum = 3.61 MPa (Min=-1.43) (Max=2.14) M 1 : 11

Beimerstetten

Lokales Stabmodell
 Spannung Blech oben
 Unverstärkt (oben) Verstärkt (unten)

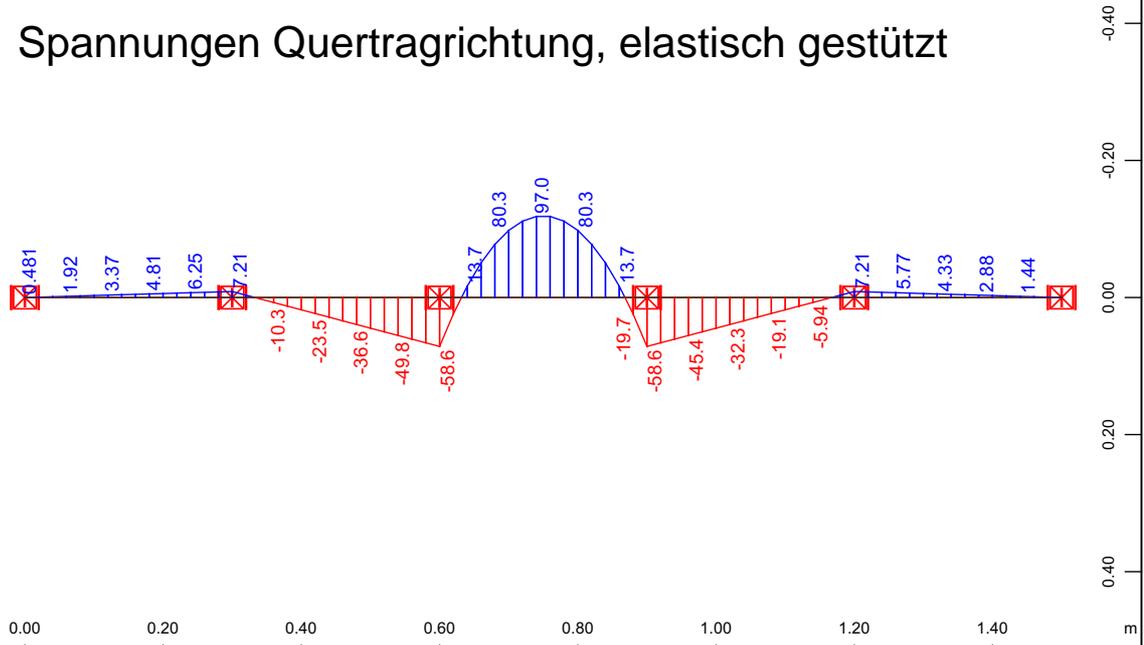


Systemausschnitt Gruppe 2 M 1 : 11
 Stabelemente , Normalspannung oben einachsig, Bemessungsfall 12, Material
 10 C 90/105 (EN 1992) , 1 cm im Raum = 1.80 MPa (Min=-1.48) (Max=0.991)

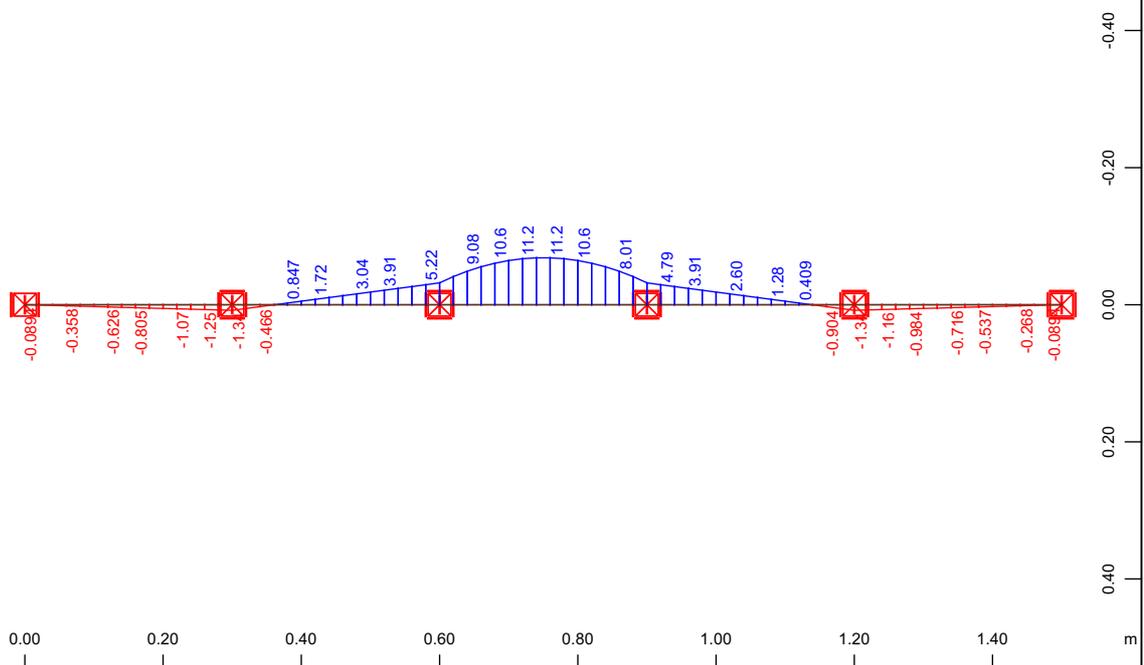
Beimerstetten

Lokales Stabmodell
 Druckspannung Beton
 Querrichtung (oben) Längsrichtung (unten)

Spannungen Quertragrichtung, elastisch gestützt



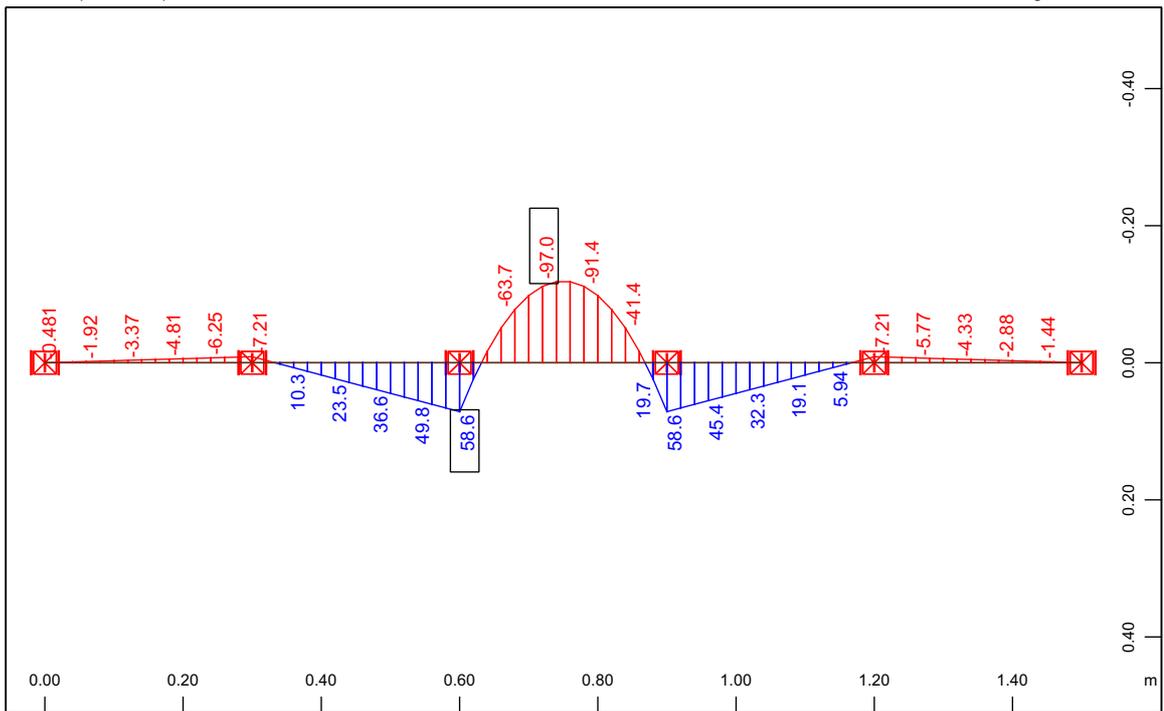
Systemausschnitt Gruppe 1
 Stabelemente , Normalspannung unten einachsig, Bemessungsfall 2, Material 1
 S 355 (EN 1993) , 1 cm im Raum = 90.2 MPa (Min=-58.6) (Max=97.0) M 1 : 11



Systemausschnitt Gruppe 2
 Stabelemente , Normalspannung unten einachsig, Bemessungsfall 12, Material
 1 S 355 (EN 1993) , 1 cm im Raum = 18.0 MPa (Min=-1.34) (Max=11.2) M 1 : 11

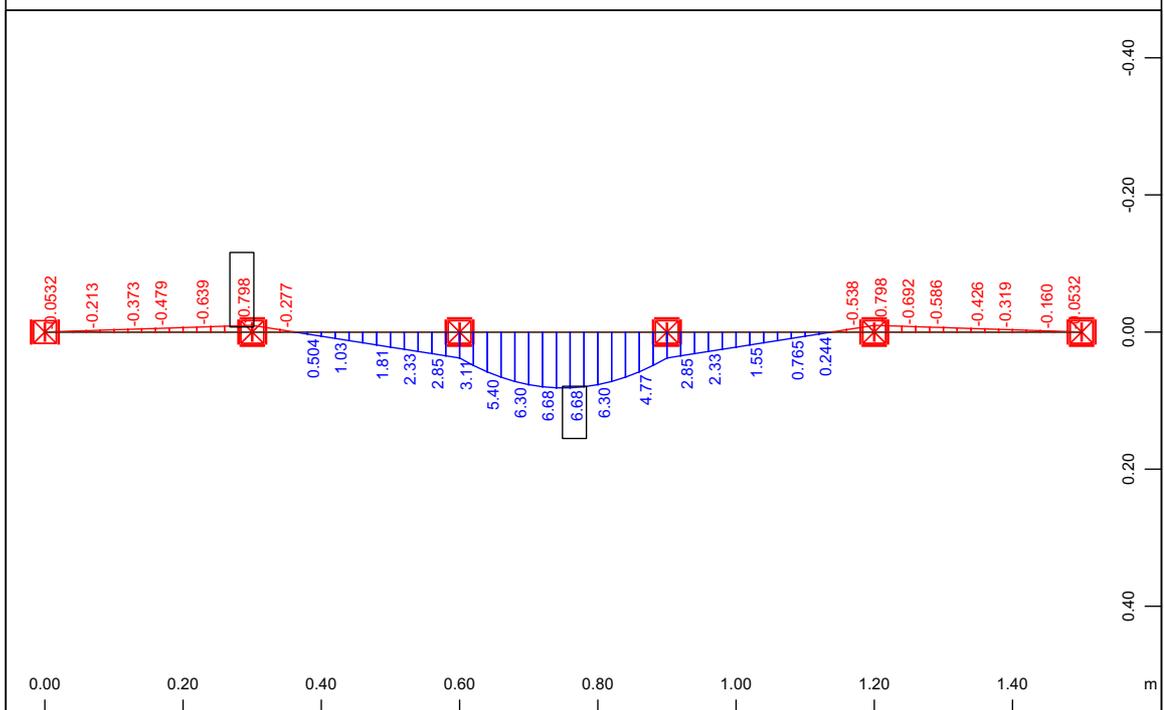
Beimerstetten

Lokales Stabmodell
 Spannung Blech unten
 Unverstärkt (oben) Verstärkt (unten)



Systemausschnitt Gruppe 1
 Stabelemente , Normalspannung oben einachsig, Bemessungsfall 2, Material 1
 S 355 (EN 1993) , 1 cm im Raum = 90.2 MPa (Min=-97.0) (Max=58.6)

M 1 : 11

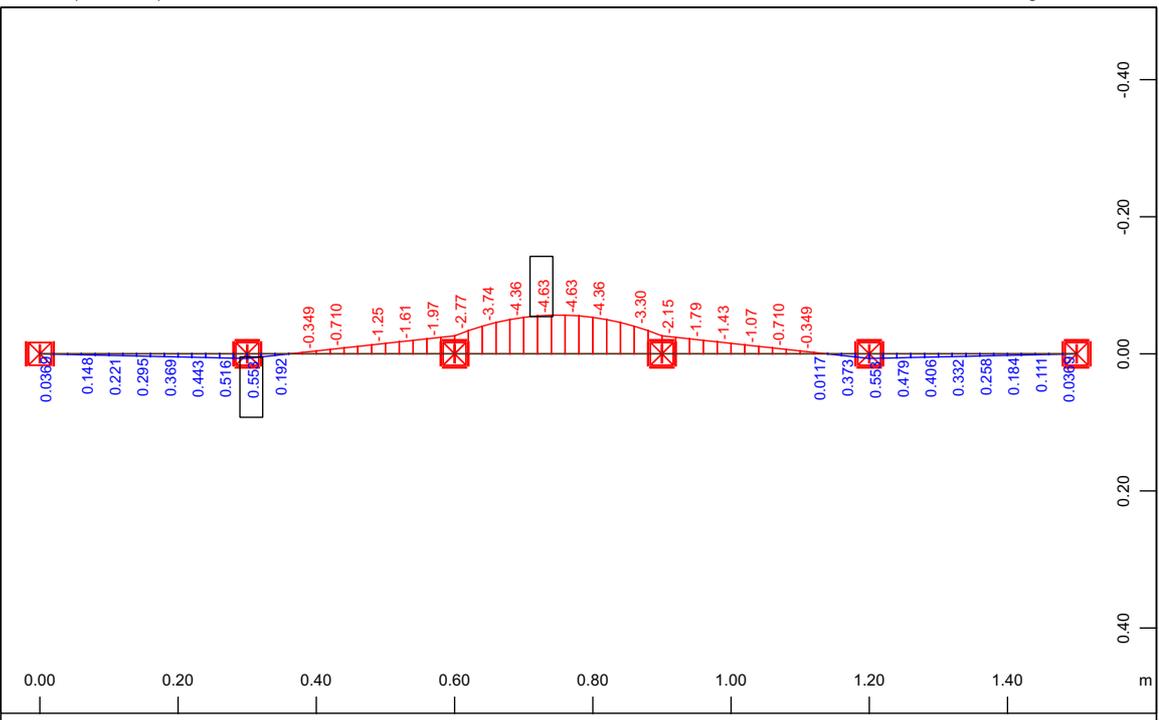


Systemausschnitt Gruppe 2
 Stabelemente , Normalspannung oben einachsig, Bemessungsfall 12, Material 1
 S 355 (EN 1993) , 1 cm im Raum = 9.02 MPa (Min=-0.798) (Max=6.68)

M 1 : 11

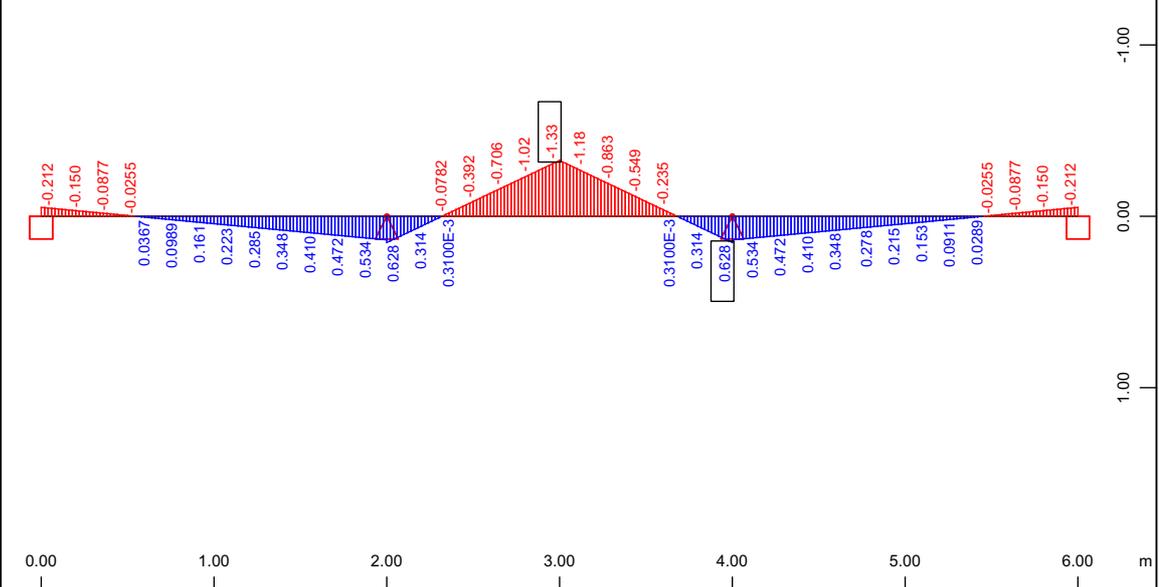
Beimerstetten

Lokales Stabmodell
 Spannung Blech oben
 Unverstärkt (oben) Verstärkt (unten)



Systemausschnitt Gruppe 2
 Stabelemente , Normalspannung oben einachsig, Bemessungsfall 12, Material
 10 C 90/105 (EN 1992) , 1 cm im Raum = 9.02 MPa (Min=-4.63) (Max=0.553)
 M 1 : 11

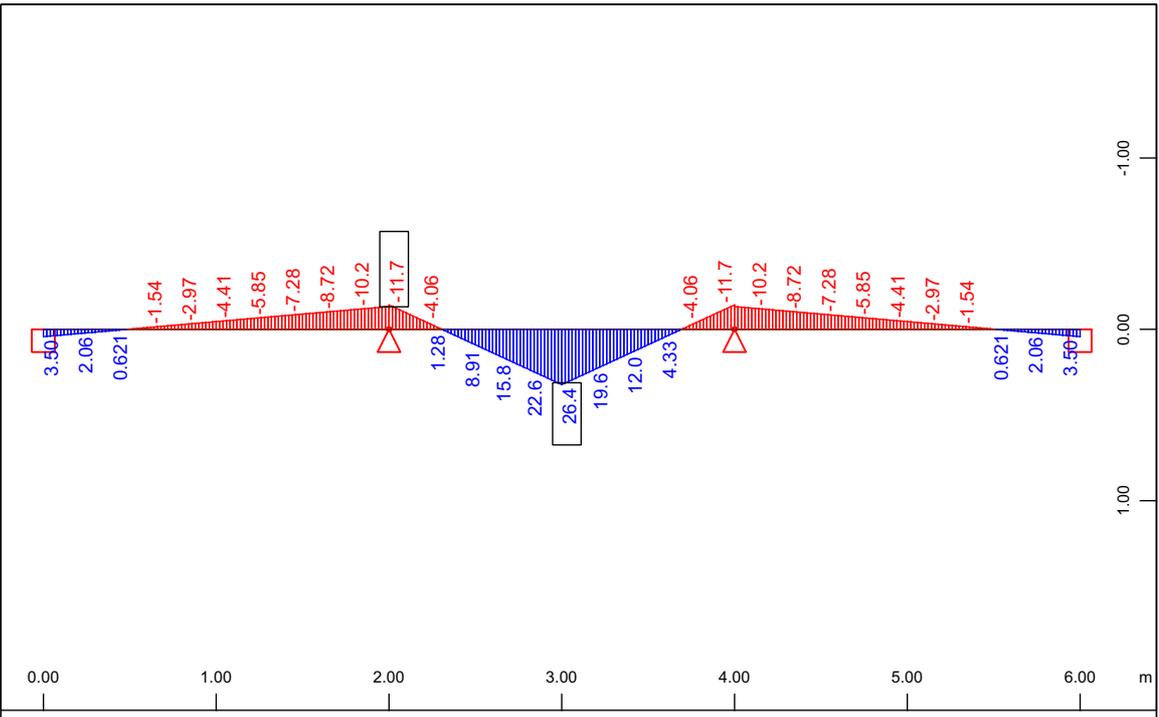
Längstragrichtung, Spannungen



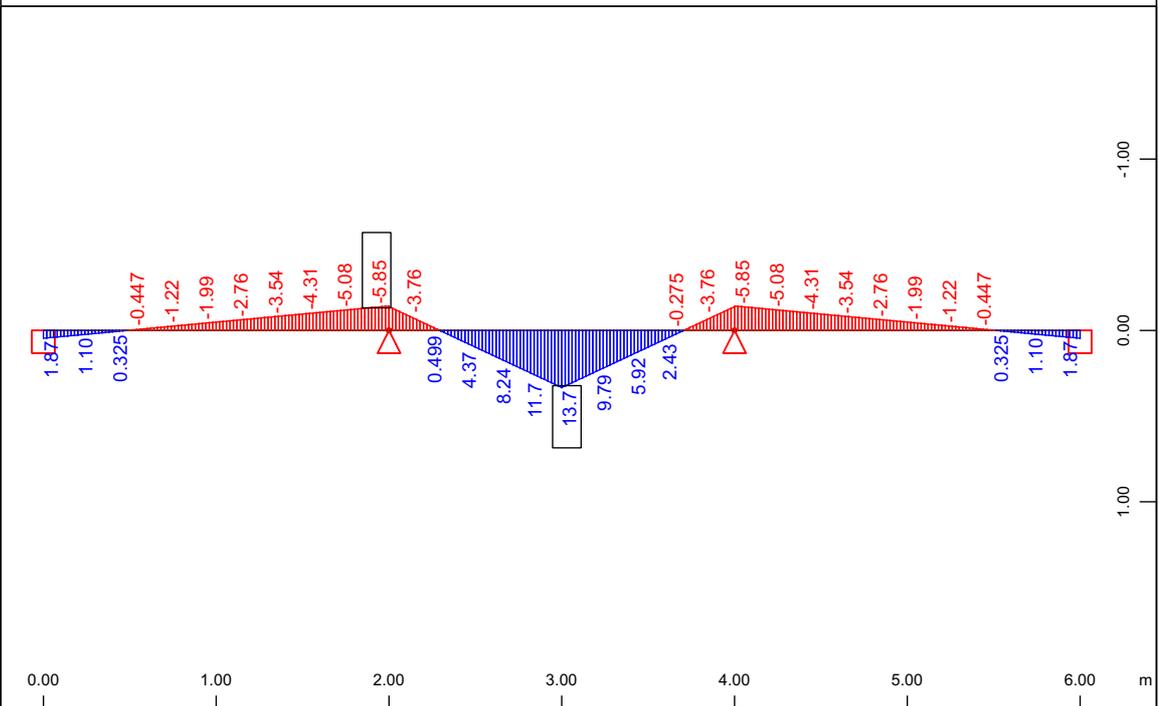
Systemausschnitt Gruppe 4
 Stabelemente , Normalspannung oben einachsig, Bemessungsfall 33, Material
 10 C 90/105 (EN 1992) , 1 cm im Raum = 1.80 MPa (Min=-1.33) (Max=0.628)
 M 1 : 44

Beimerstetten

Lokales Stabmodell
 Druckspannung Beton
 Querrichtung (oben) Längsrichtung (unten)



Systemausschnitt Gruppe 3
 Stabelemente , Maximale Zugspannung, Bemessungsfall 23, Punkt 4 , 1 cm im
 Raum = 36.1 MPa (Min=-11.7) (Max=26.4) M 1 : 44



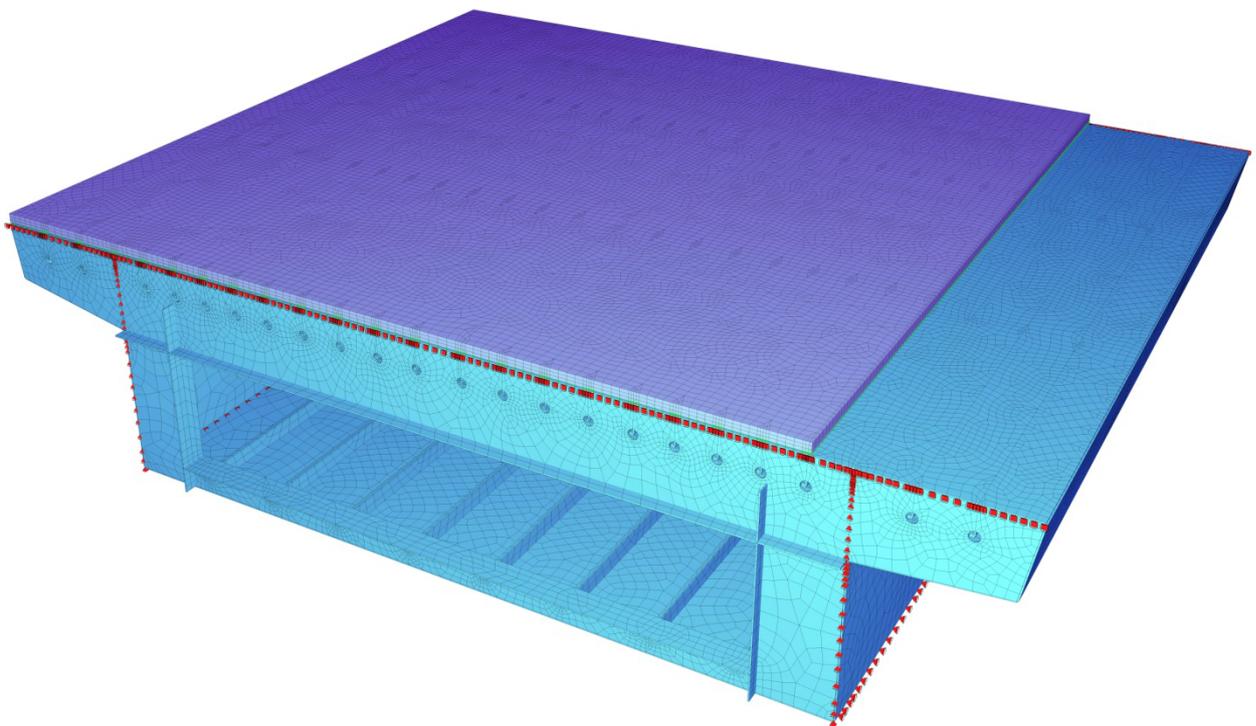
Systemausschnitt Gruppe 4
 Stabelemente , Maximale Zugspannung, Bemessungsfall 33, Punkt 4 , 1 cm im
 Raum = 18.0 MPa (Min=-5.85) (Max=13.7) M 1 : 44

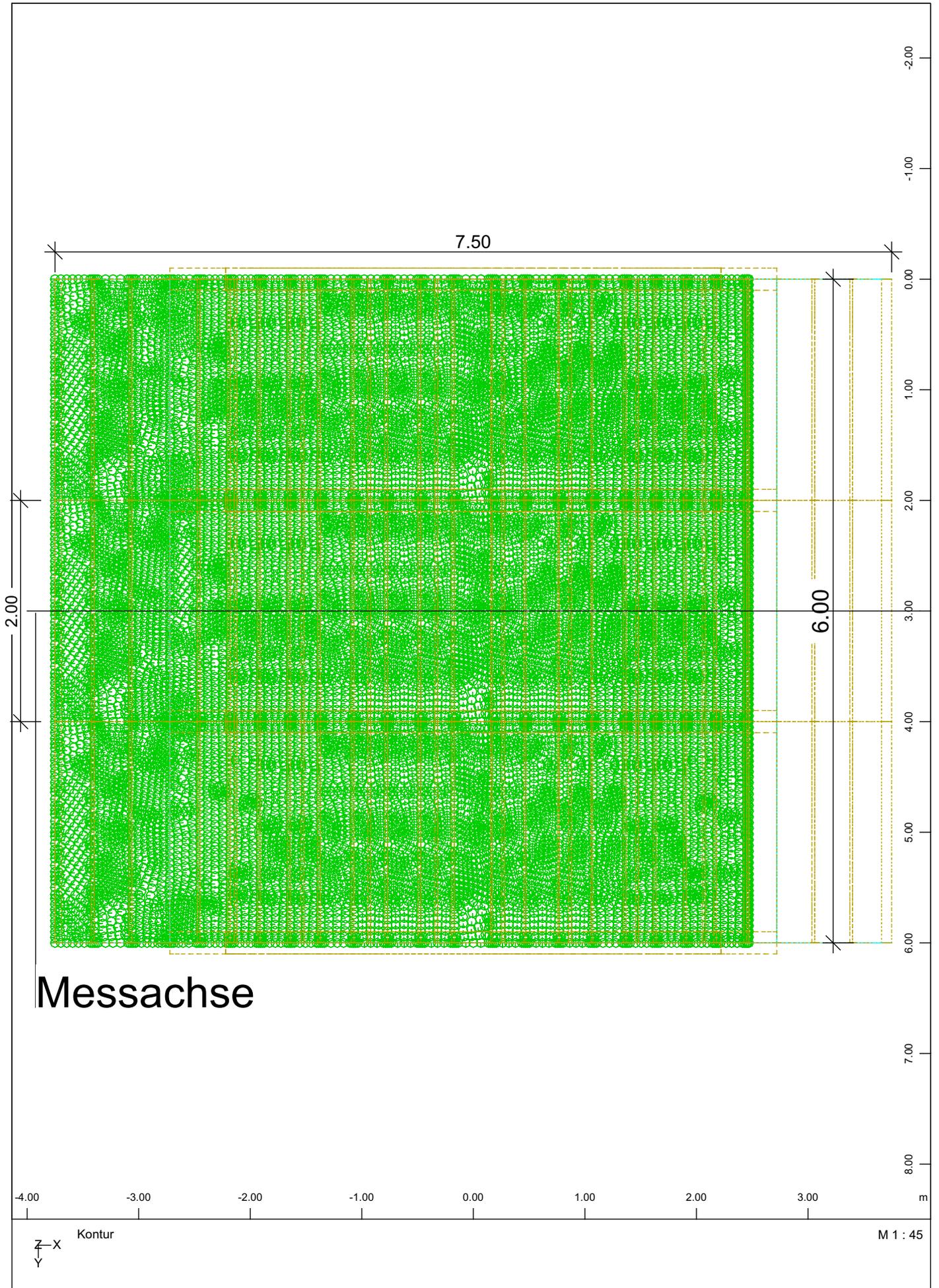
Beimerstetten

Lokales Stabmodell
 Spannungen Steife Unterseite
 Unverstärkt (oben) Verstärkt (unten)

3. Falwerkmodell Hohlkasten

Elementart:	Stahl – Flächenelemente Beton – Volumenelemente Asphalt – Volumenelemente
Geometrie:	Breite 7,5 m Länge 6 m Höhe Hohlkasten 1,75 m Querträgerabstand 2 m Längssteifenabstand 0,3 m
Belastung	Versuchslasten und Ermüdungslastmodell 3





Messachse

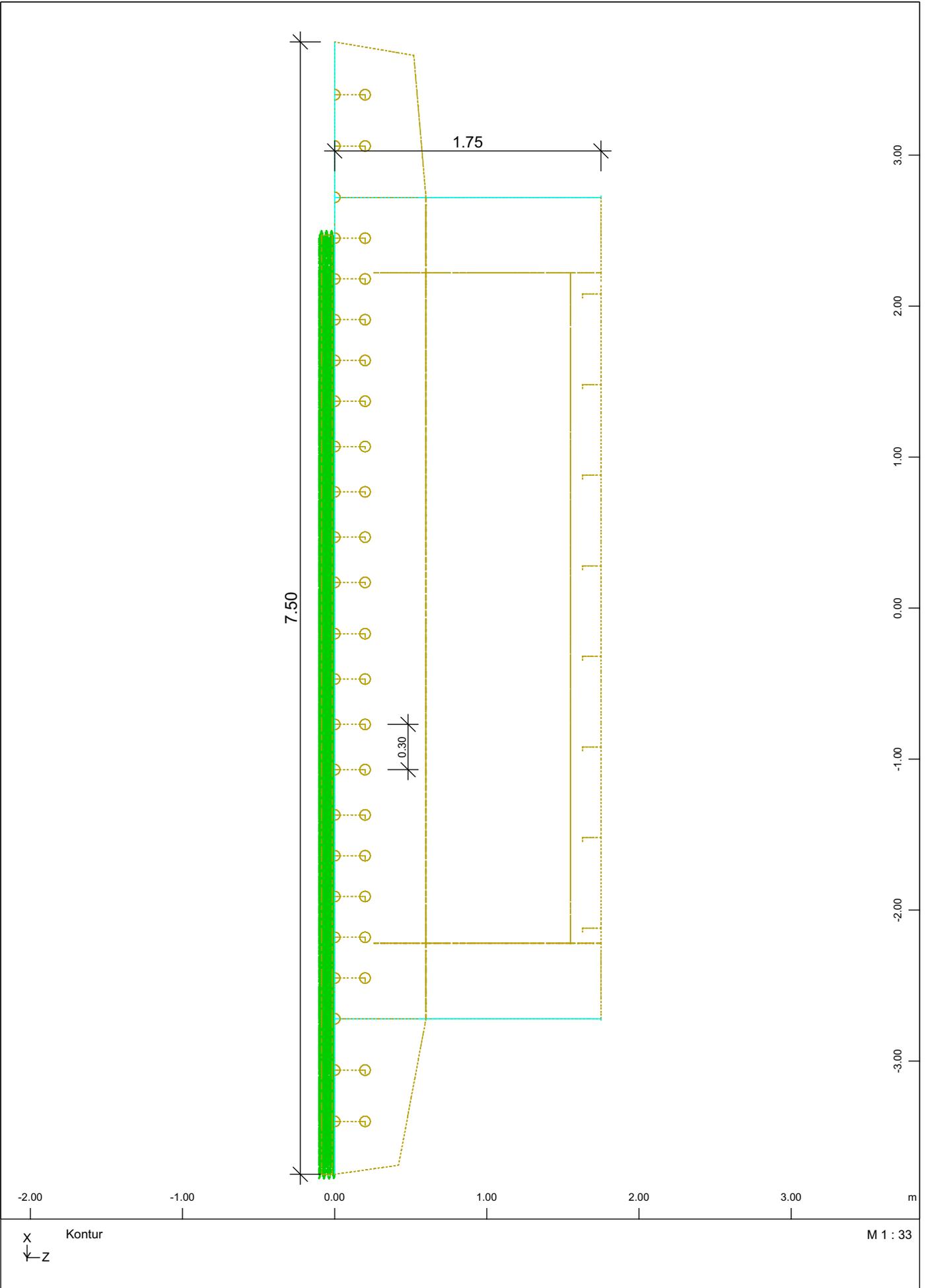
-4.00 -3.00 -2.00 -1.00 0.00 1.00 2.00 3.00 m

Kontur
Z-X
Y

M 1 : 45

Beimerstetten

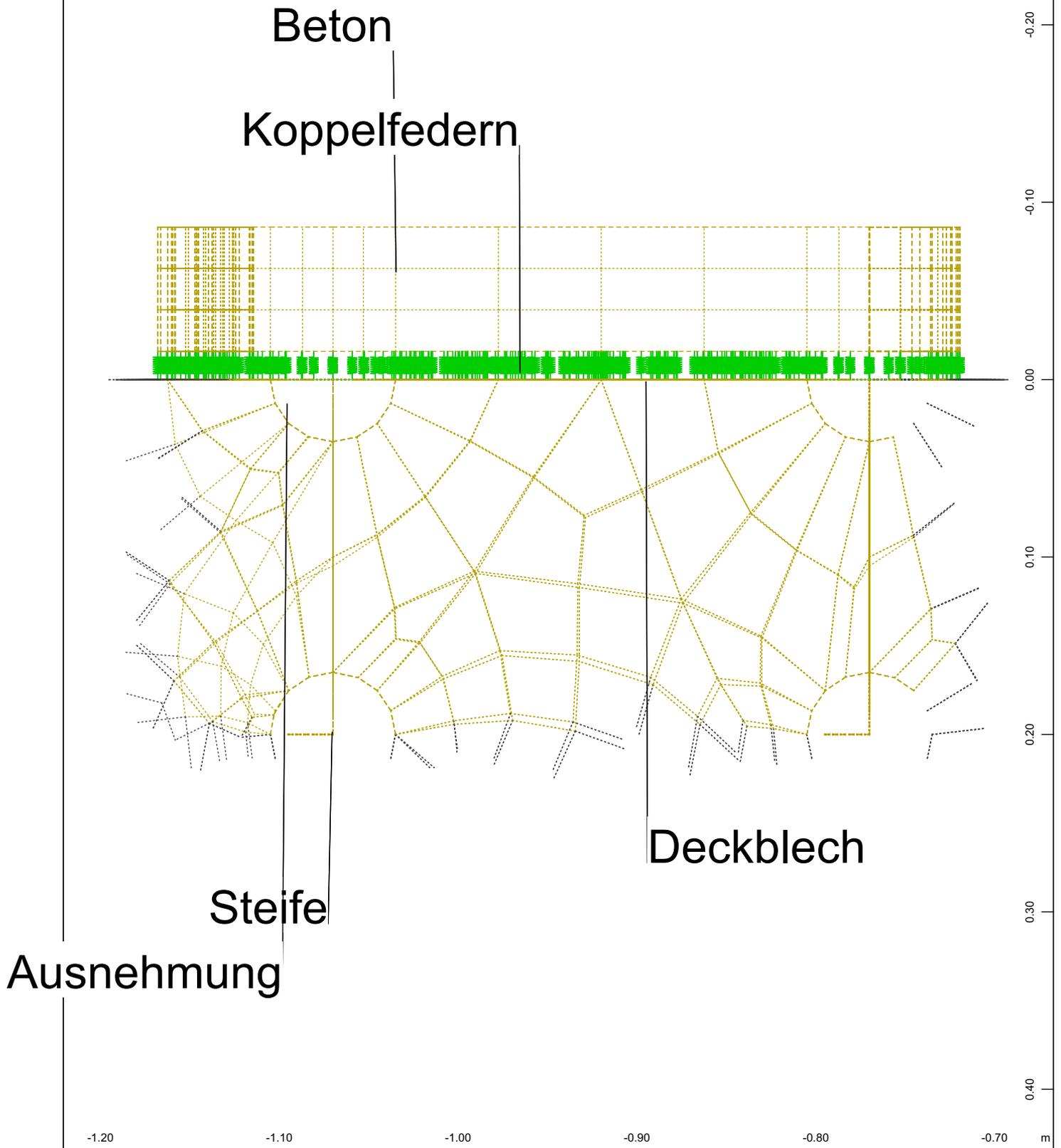
Faltwerkmodell Hohlkasten
Geometrie



Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten
Geometrie

M 1 : 33



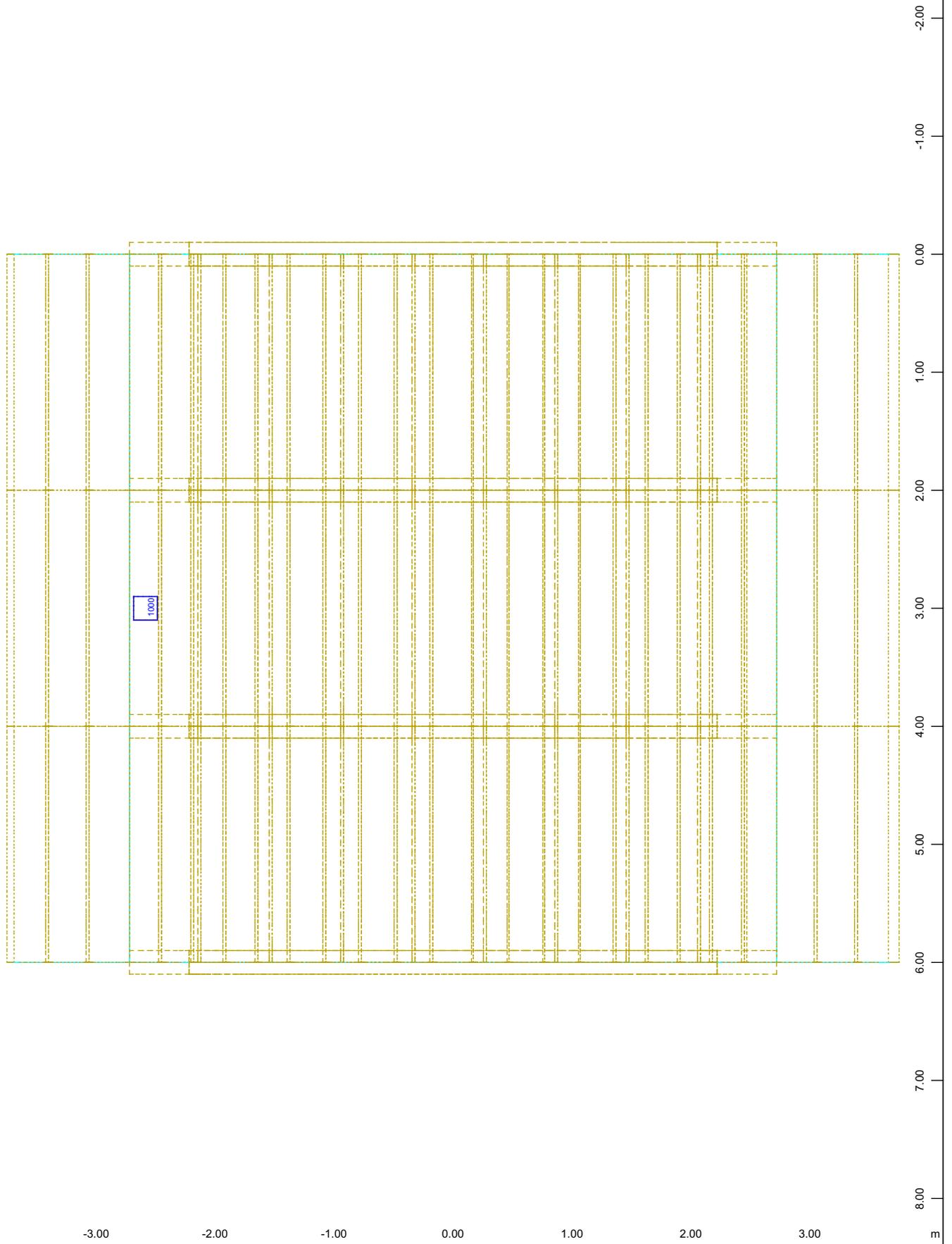
-1.20 -1.10 -1.00 -0.90 -0.80 -0.70 m

Y-X
Z Systemausschnitt
Struktur

M 1 : 3

Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten
Kopplung Fahrbahnbelag und Deckblech
mit Federn



Systemausschnitt Flächenelemente
Alle Lasten, nichtlinearer Lastfall 2 sum_PZ= 40.00 kN
Unit) Freie Flächenlast (Kraft) in global Z (Unit=500.0 kN/m2) (1 cm im Raum = \rightarrow (Max=1000.))

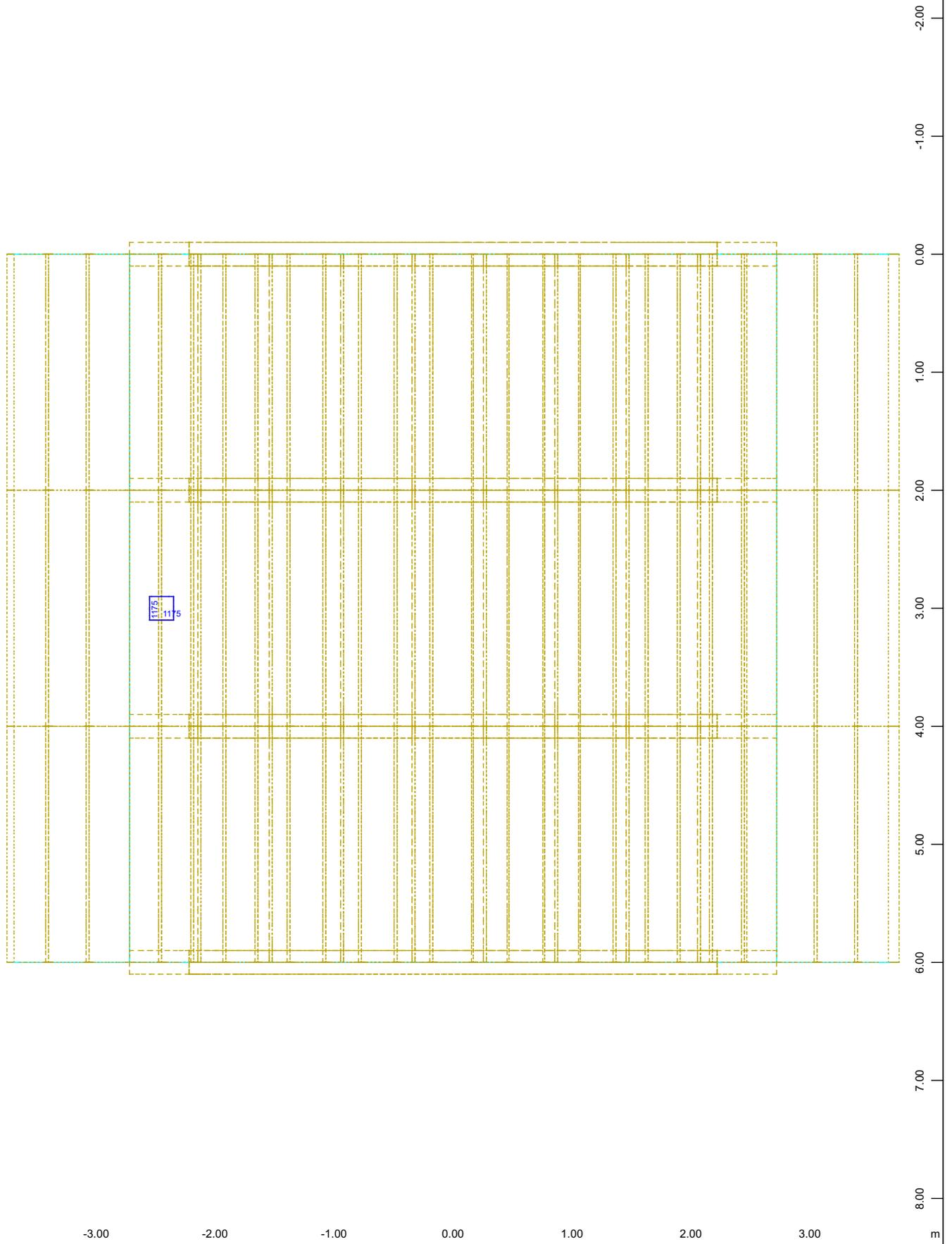
M 1 : 45

Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten

Lasten aus Feldversuchen

Presse in Detail 1, zwischen Steifen, P=40 kN

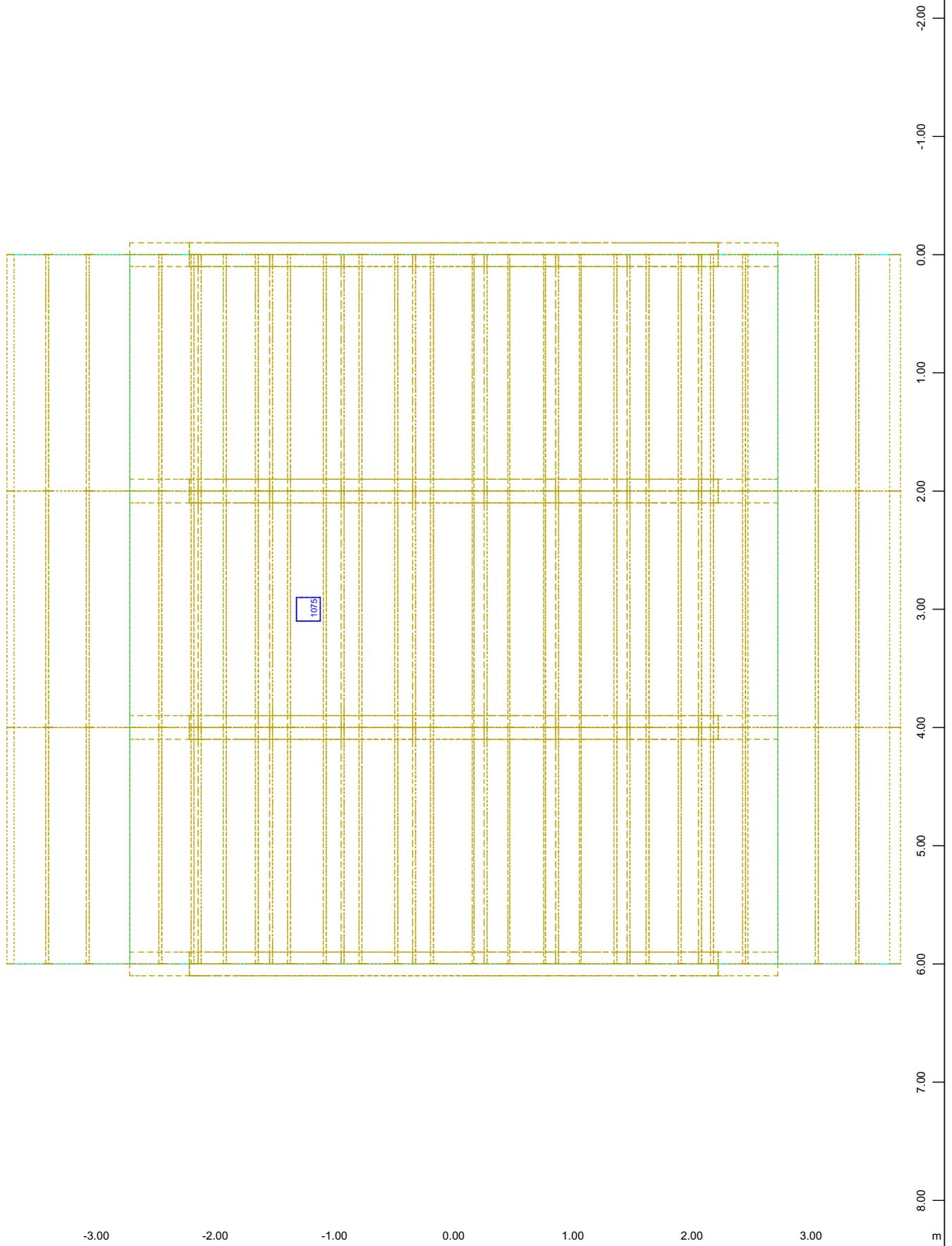


Systemausschnitt Flächenelemente
Alle Lasten, nichtlinearer Lastfall 3 sum_PZ= 47.00 kN
Unit) Freie Flächenlast (Kraft) in global Z (Unit=1000. kN/m2) (Max=1175.)

M 1 : 45

Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten
Lasten aus Feldversuchen
Presse in Detail 1, auf Steife, P=47 kN



Systemausschnitt Flächenelemente
Alle Lasten, nichtlinearer Lastfall 4 sum_PZ= 43.00 kN
Unit) Freie Flächenlast (Kraft) in global Z (Unit=1000. kN/m2) (Max=1075.)

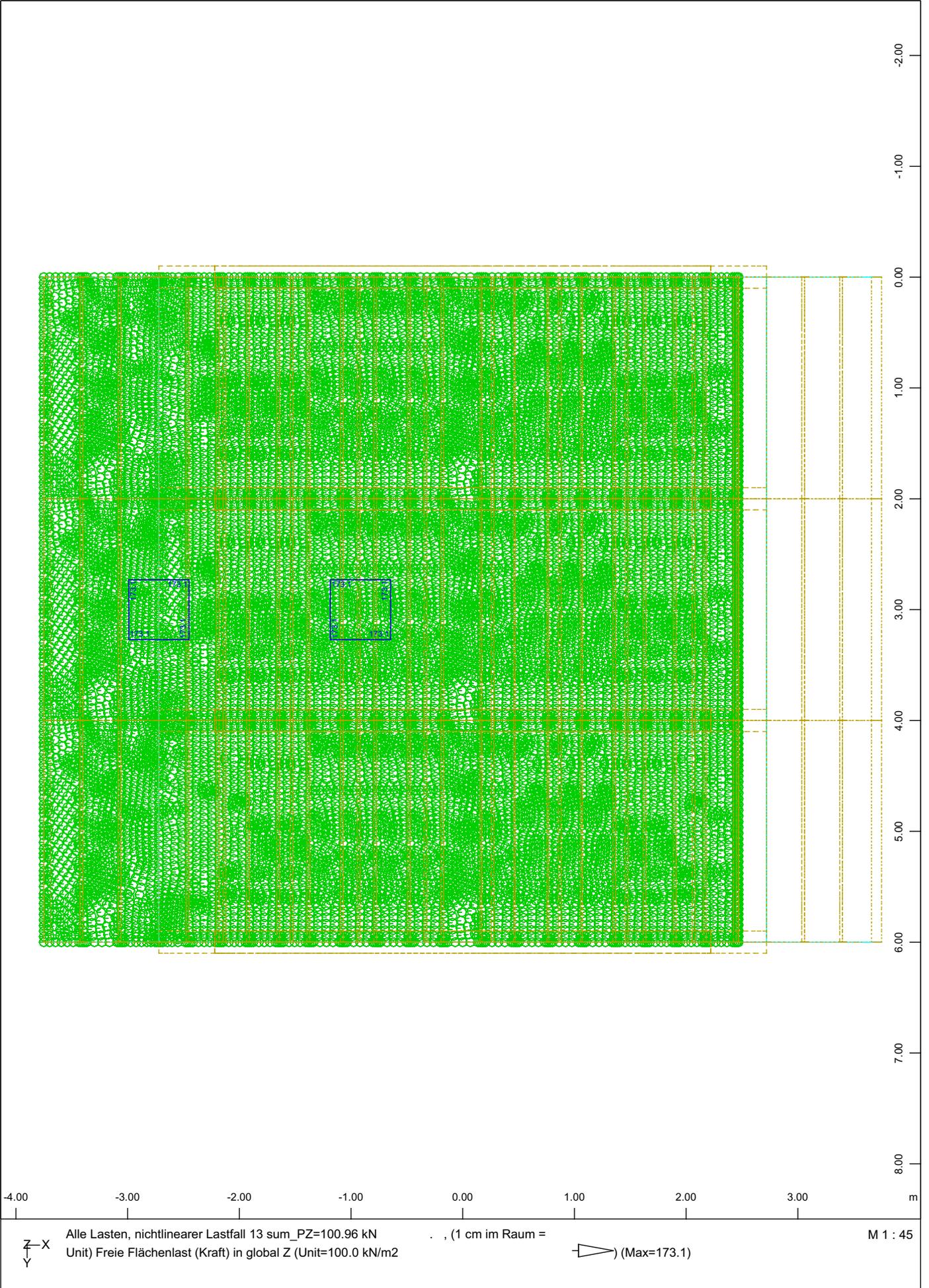
M 1 : 45

Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten

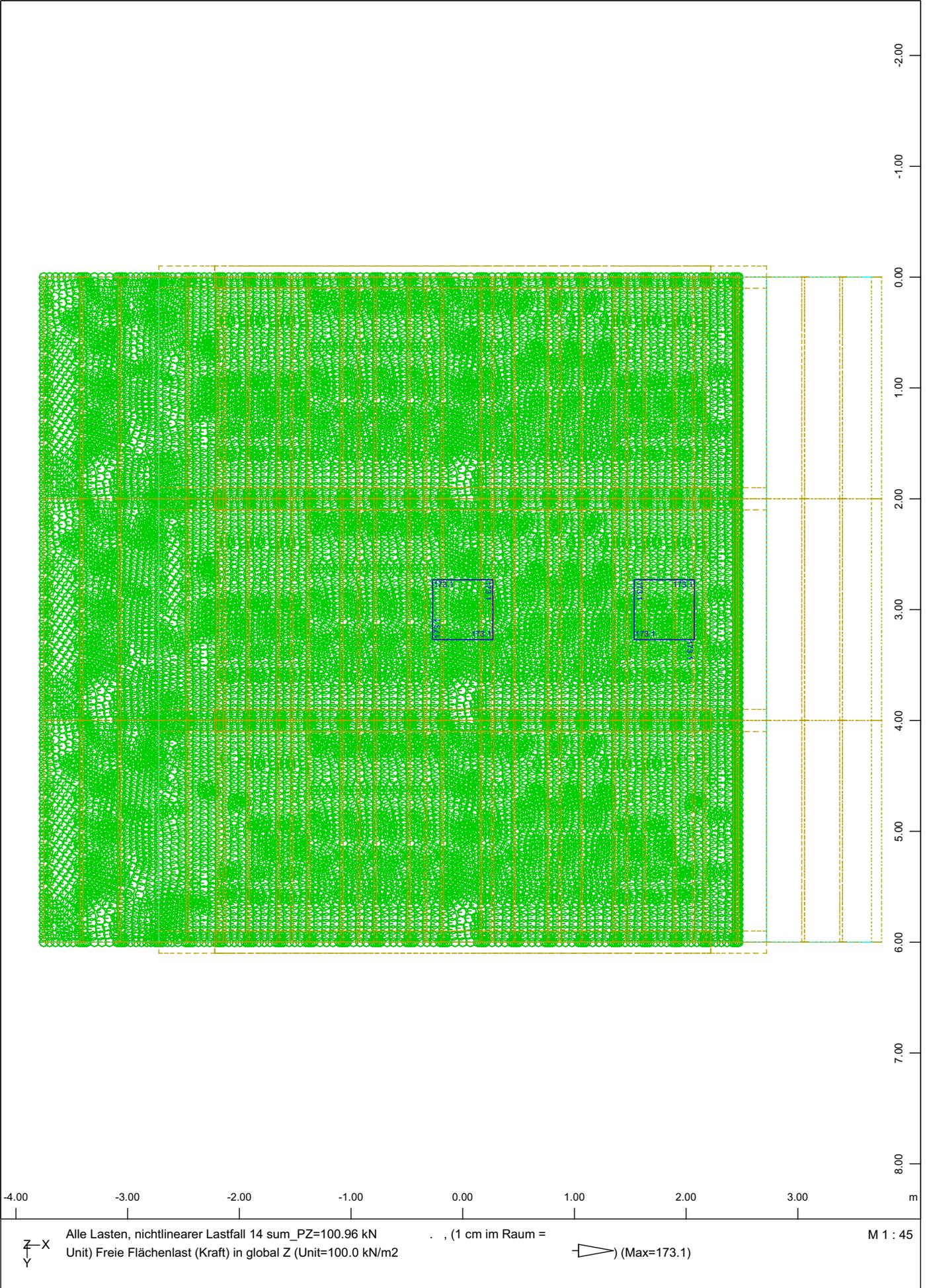
Lasten aus Feldversuchen

Presse zwischen Detail 1 und 2; P=43 kN



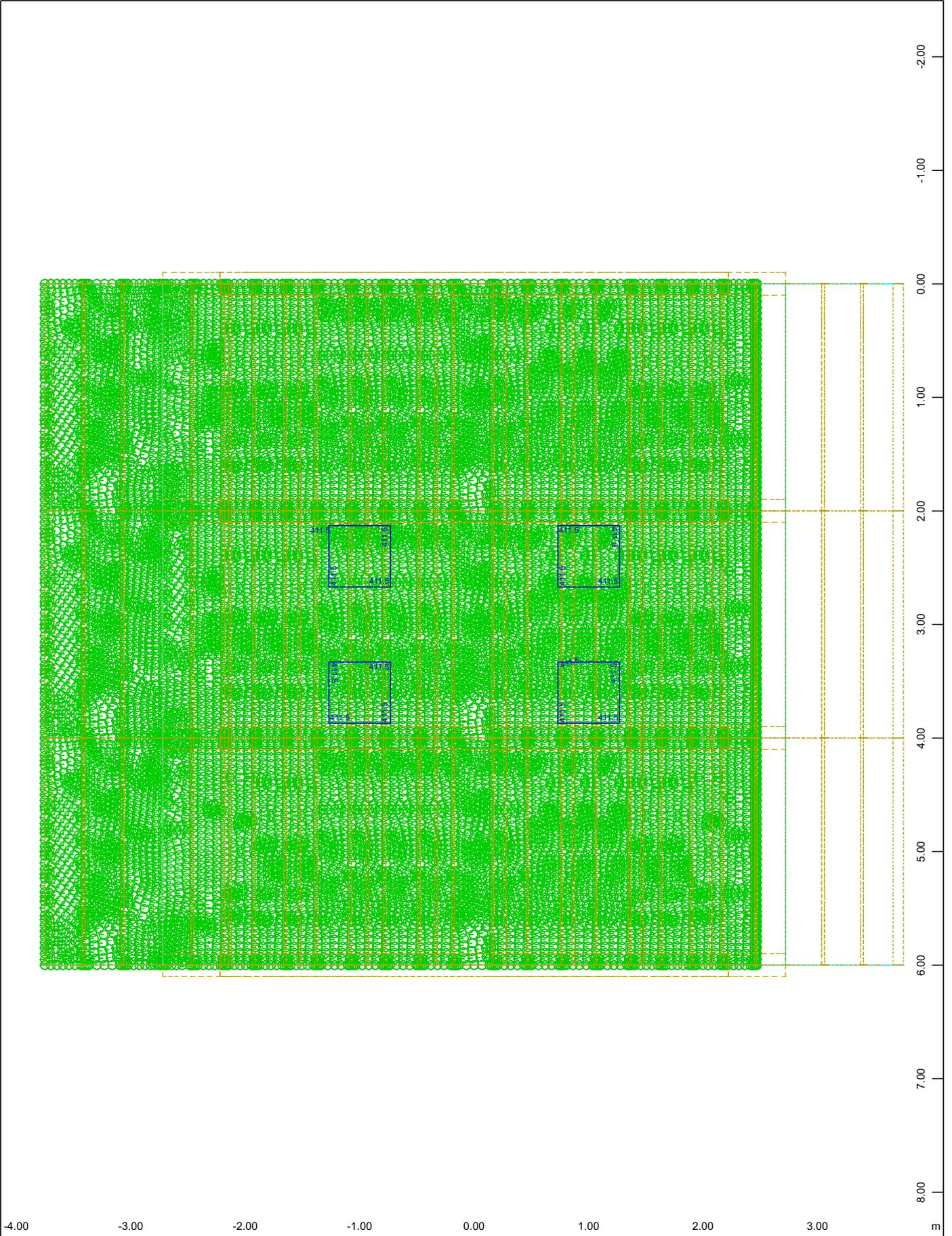
Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten
Lasten aus Feldversuchen
LKW über Detail 1



Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten
Lasten aus Feldversuchen
LKW über Detail 2



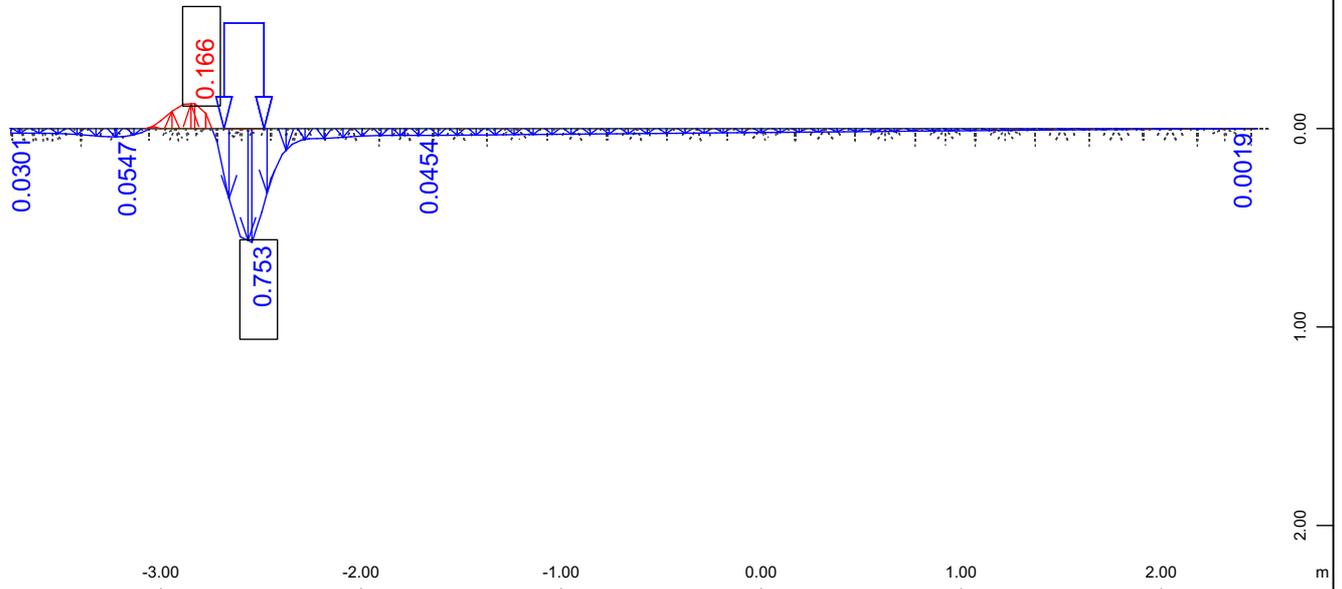
Alle Lasten, nichtlinearer Lastfall 16 Ermüdungslastmodell 3 voll , (1 cm im Raum = Unit)
Freie Flächenlast (Kraft) in global Z (Unit=500.0 kN/m2) (Max=411.5) M 1 : 45

Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten
Last für Vergleichsrechnungen
Ermüdungslastmodell 3

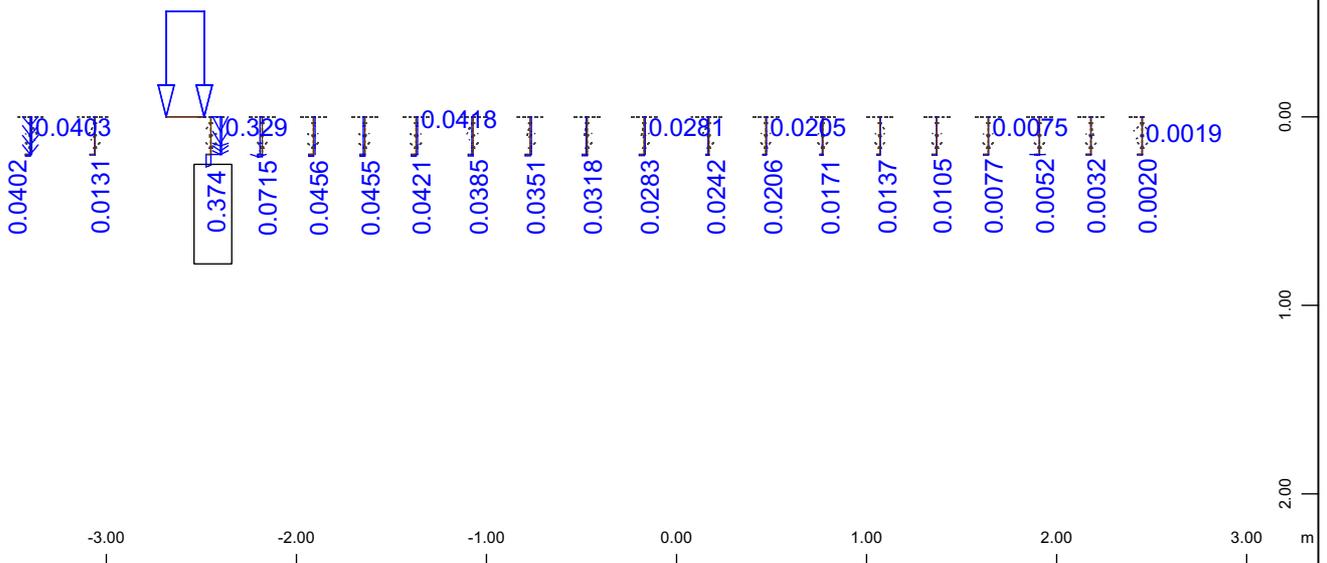
Berechnungsergebnisse der Versuchslasten, reiner Stahlquerschnitt

.Verformungen des Deckblechs entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 6
 Knotenverschiebung in global Z
 , 1 cm im Raum = 0.500 mm
 ↕ , nichtlinearer Lastfall 2 sum_PZ= 40.00 kN
 (Min=-0.166) (Max=0.753)
 M 1 : 38

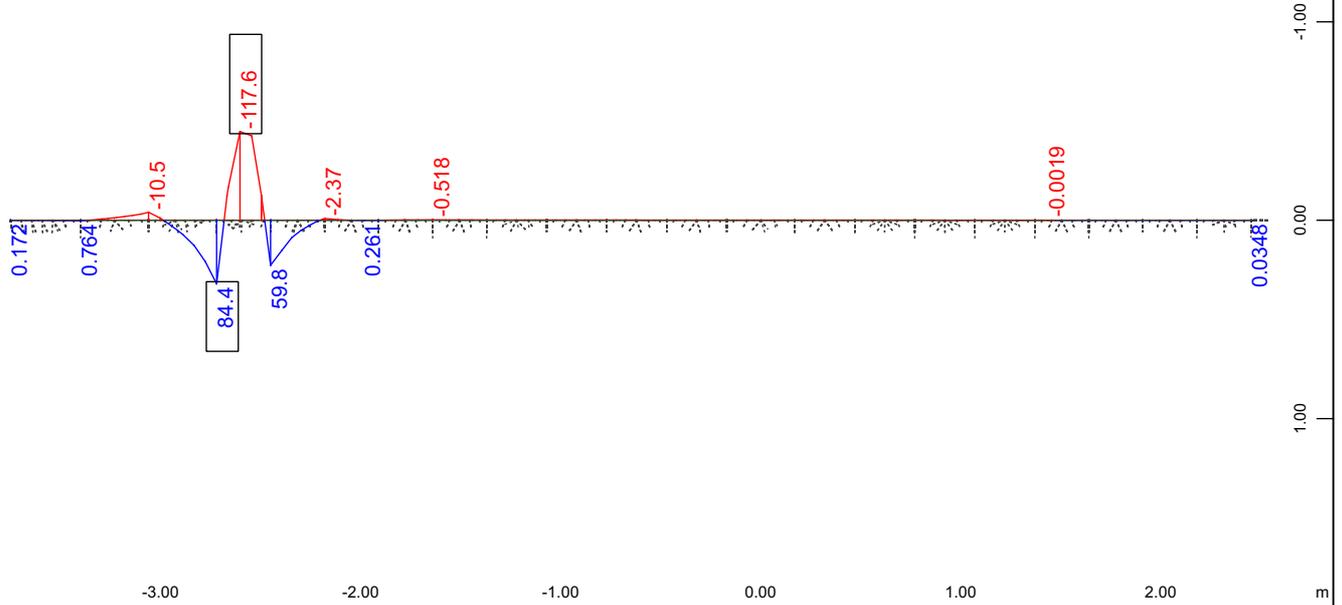
.Verformung der Steifen entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 4
 Knotenverschiebung in global Z
 , 1 cm im Raum = 2.29 mm
 ↕ , nichtlinearer Lastfall 2 sum_PZ= 40.00 kN
 (Max=0.374)
 M 1 : 40

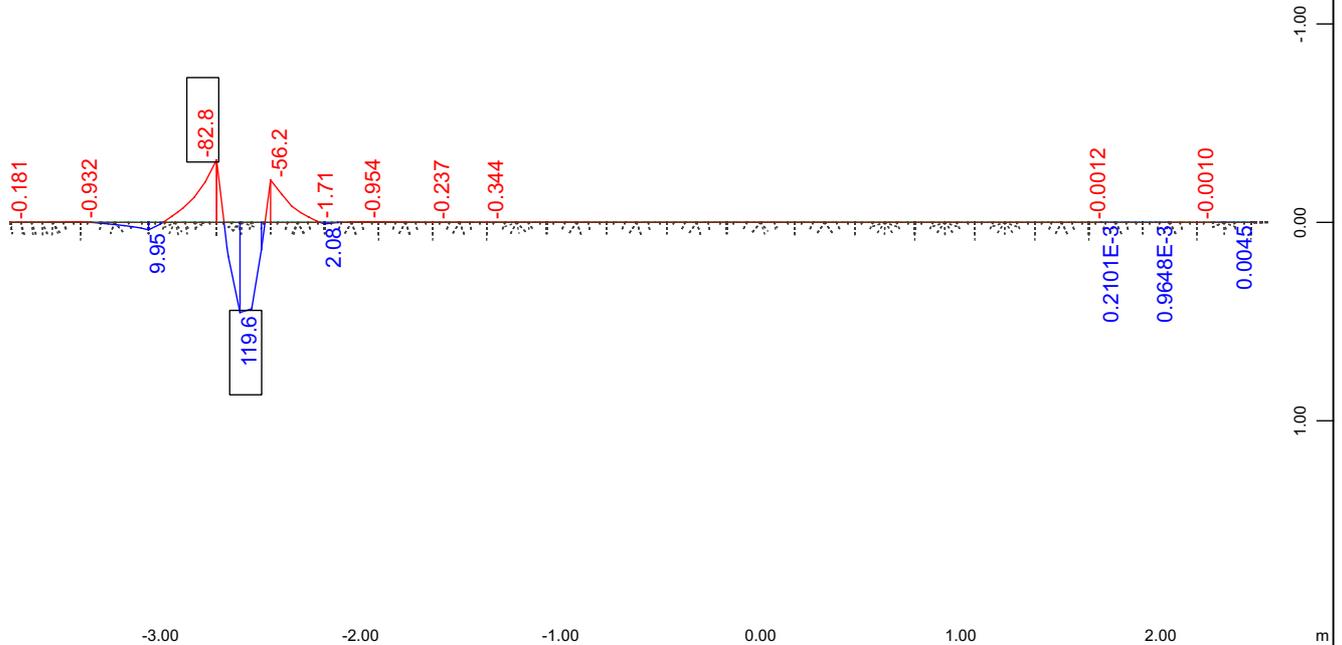
Beimerstetten

Spannungen im Deckblech oben entlang der Messachse



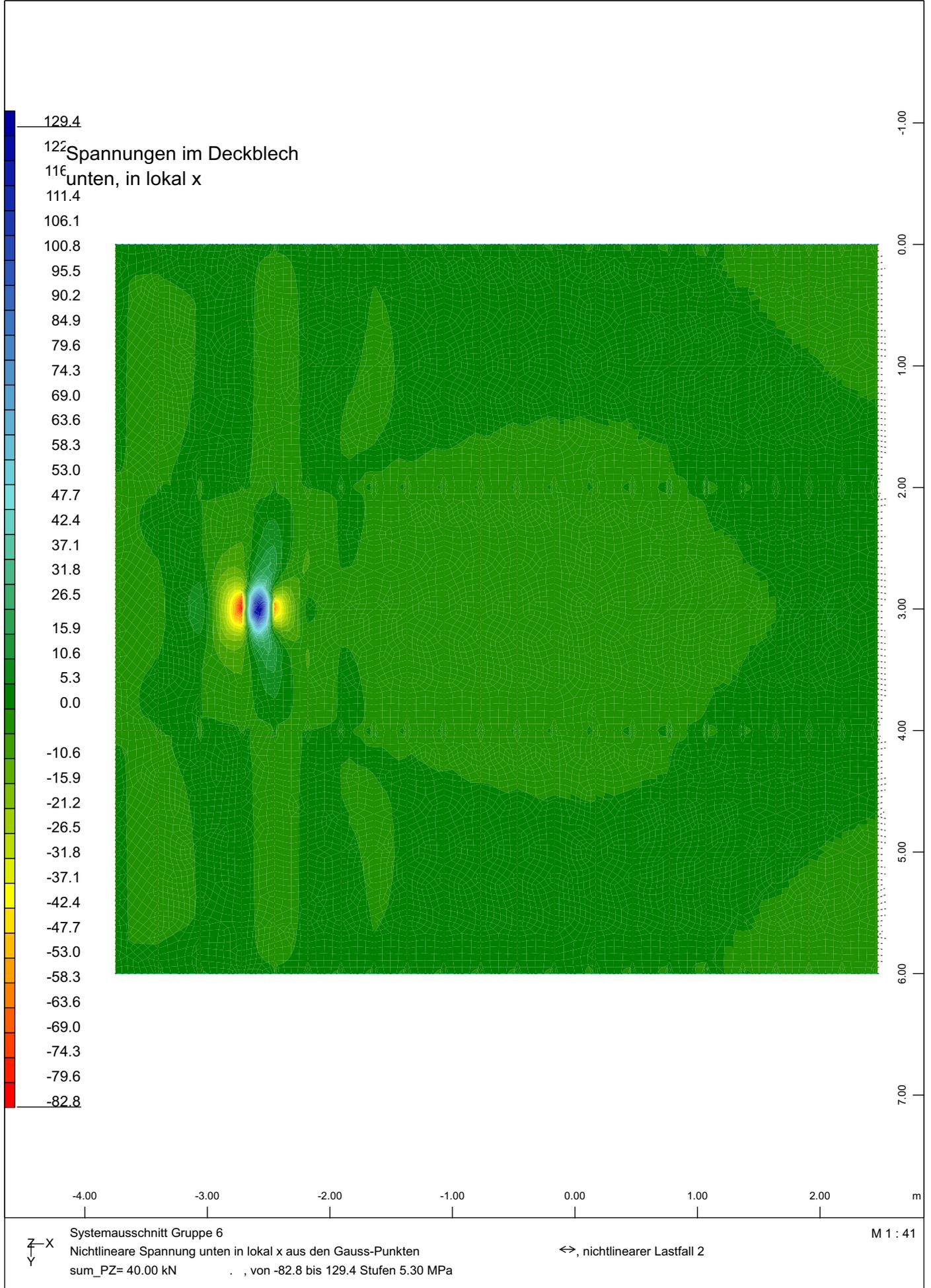
Systemausschnitt Gruppe 6
 Nichtlineare Spannung oben in lokal x aus den Gauss-Punkten \leftrightarrow , nichtlinearer Lastfall 2
 sum_PZ= 40.00 kN , 1 cm im Raum = 100.0 MPa (Min=-117.6) (Max=84.4) M 1 : 38

Spannungen im Deckblech unten entlang der Messachse



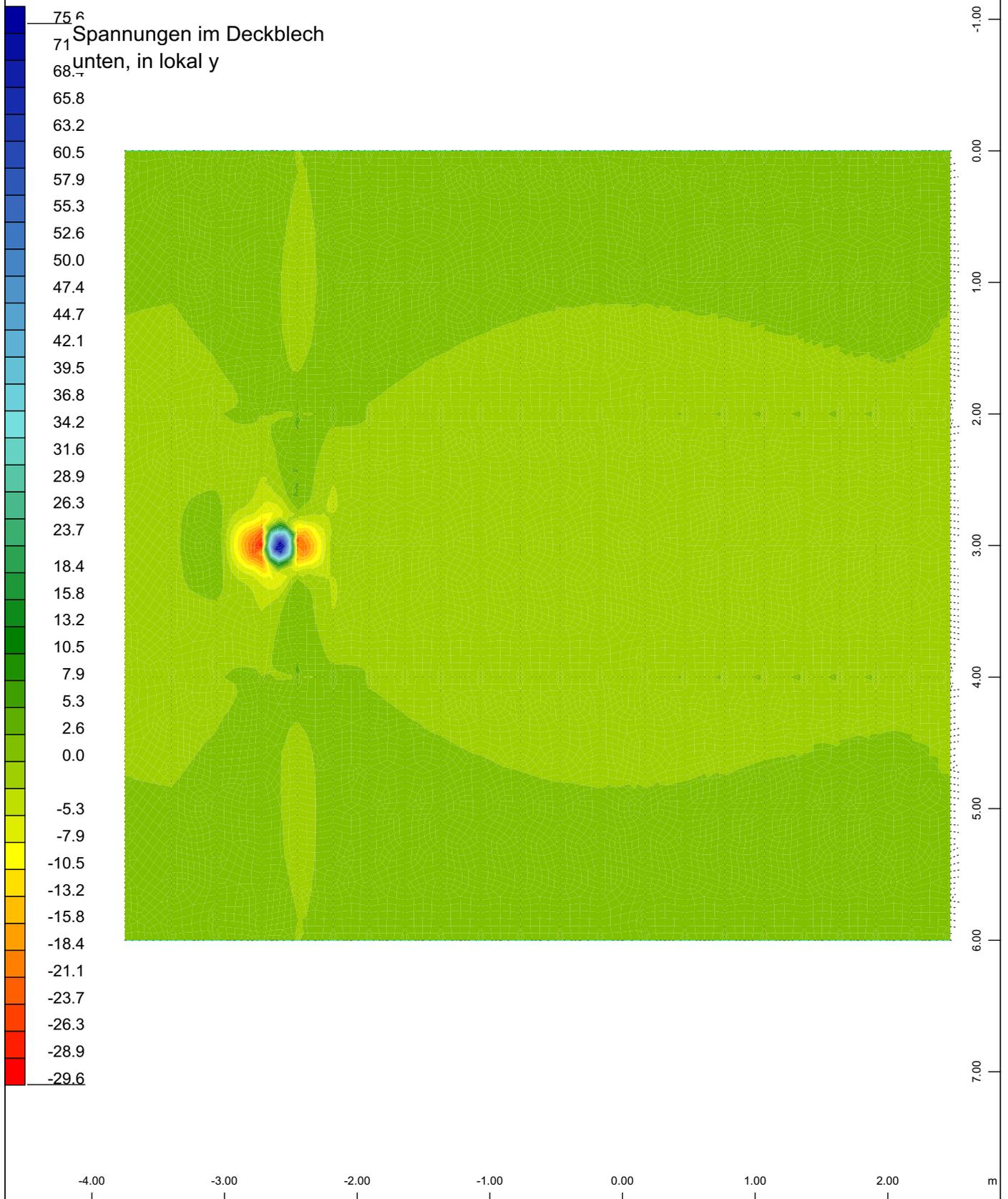
Systemausschnitt Gruppe 6
 Nichtlineare Spannung unten in lokal x aus den Gauss-Punkten \leftrightarrow , nichtlinearer Lastfall 2
 sum_PZ= 40.00 kN , 1 cm im Raum = 100.0 MPa (Min=-82.8) (Max=119.6) M 1 : 38

Beimerstetten



Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten, nur Stahl
Spannungen im Deckblech in lokal x
Presse über Detail 1, zwischen Steifen, P = 40 kN

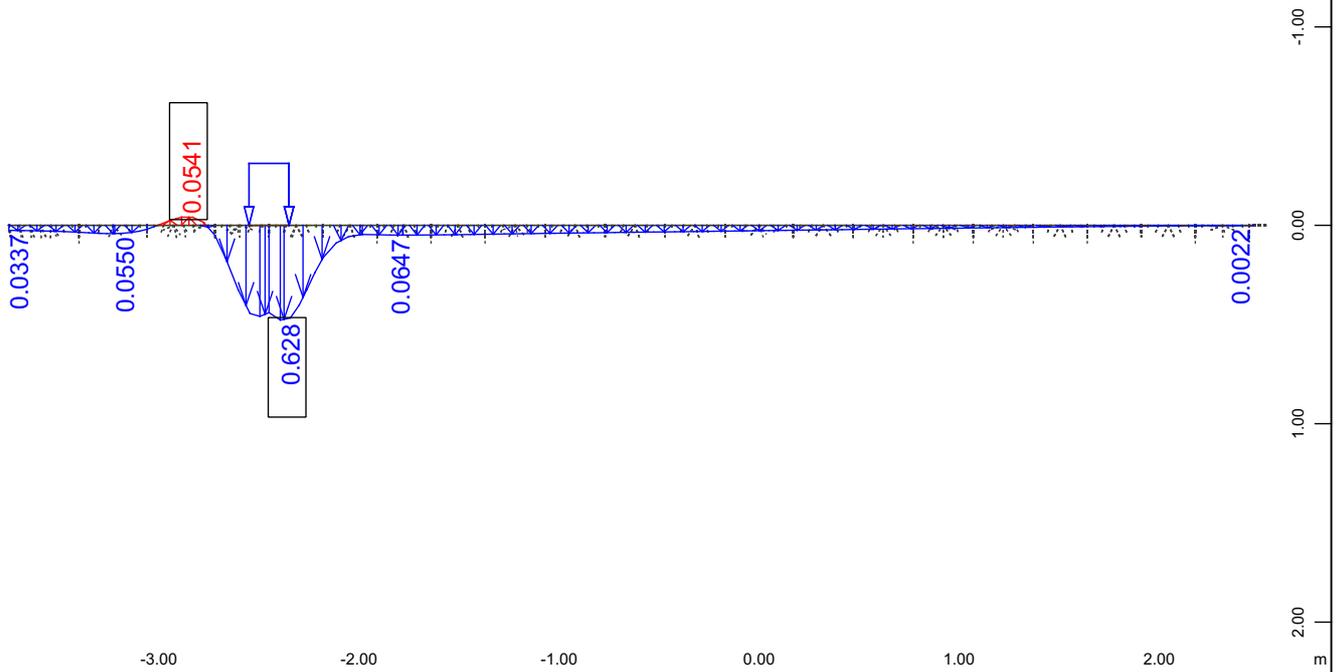


Systemausschnitt Gruppe 6
Nichtlineare Spannung unten in lokal y aus den Gauss-Punkten
sum_PZ= 40.00 kN , von -29.6 bis 75.6 Stufen 2.63 MPa
↕ , nichtlinearer Lastfall 2
M 1 : 41

Beimerstetten

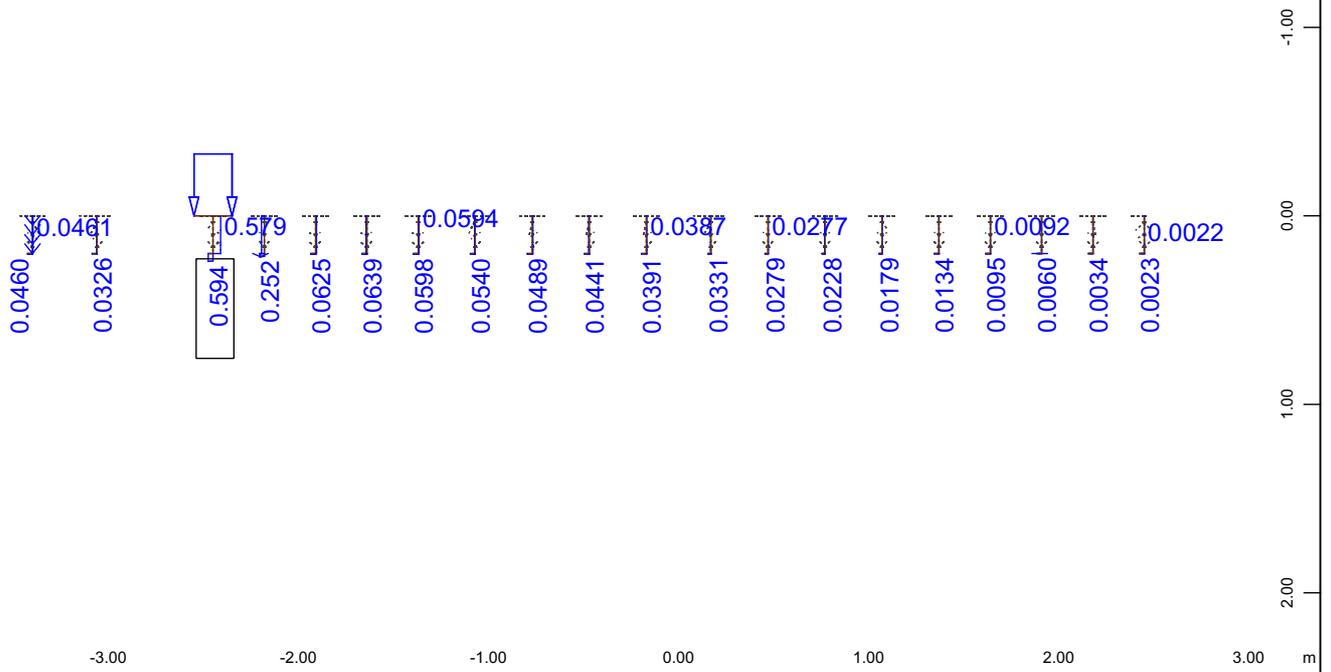
Faltwerkmodell Hohlkasten, nur Stahl
Spannungen im Deckblech in lokal y
Presse über Detail 1, zwischen Steifen, P = 40 kN

Verformung des Deckblechs entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 6
 Knotenverschiebung in global Z
 , 1 cm im Raum = 0.500 mm
 ↕ , nichtlinearer Lastfall 3 sum_PZ= 47.00 kN
 (Min=-0.0541) (Max=0.628)
 M 1 : 38

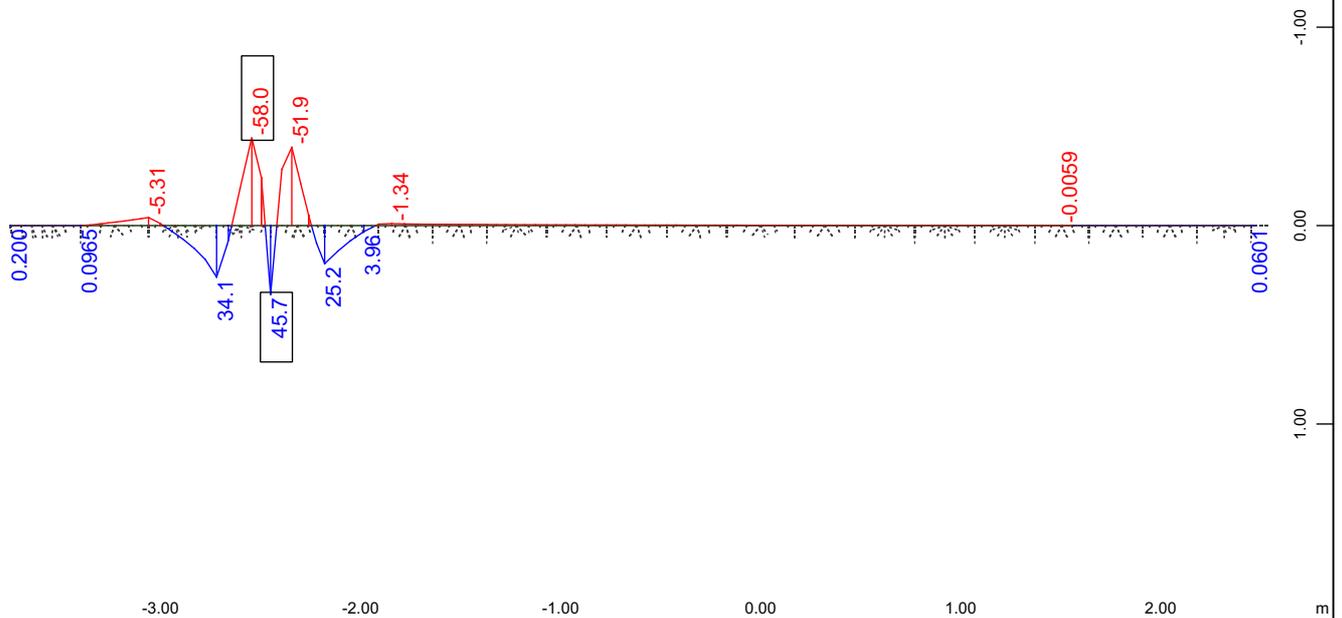
Verformung der Steifen entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 4
 Knotenverschiebung in global Z
 , 1 cm im Raum = 5.71 mm
 ↕ , nichtlinearer Lastfall 3 sum_PZ= 47.00 kN
 (Max=0.594)
 M 1 : 40

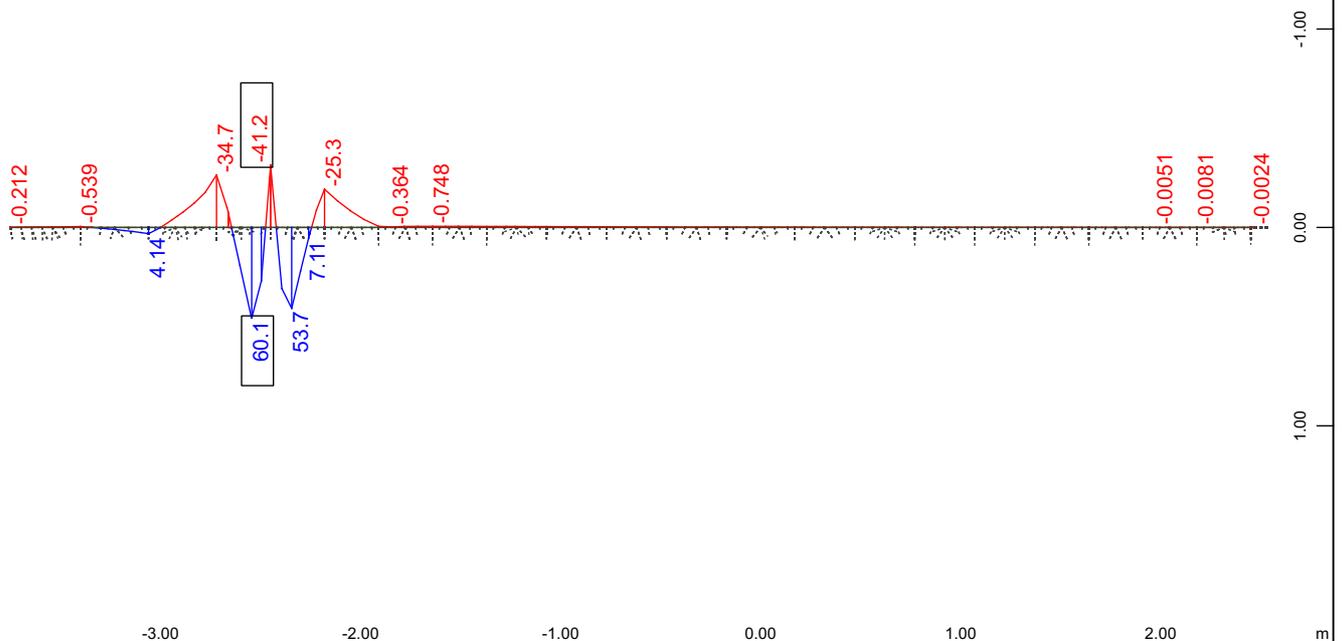
Beimerstetten

Spannungen im Deckblech oben entlang der Messachse



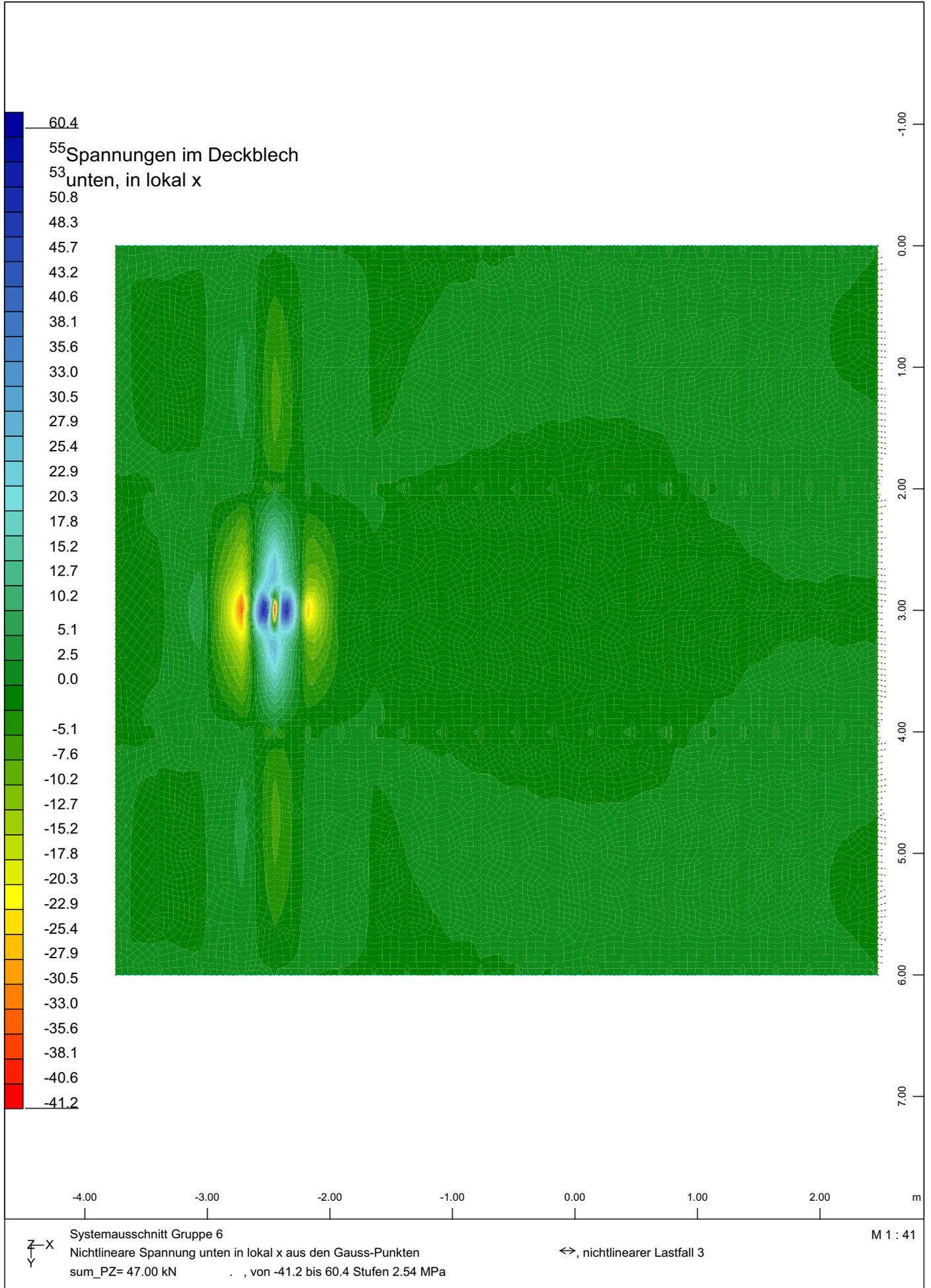
Systemausschnitt Gruppe 6 M 1 : 38
 Nichtlineare Spannung oben in lokal x aus den Gauss-Punkten ↔, nichtlinearer Lastfall 3
 sum_PZ= 47.00 kN , 1 cm im Raum = 50.0 MPa (Min=-58.0) (Max=45.7)

Spannungen im Deckblech unten entlang der Messachse



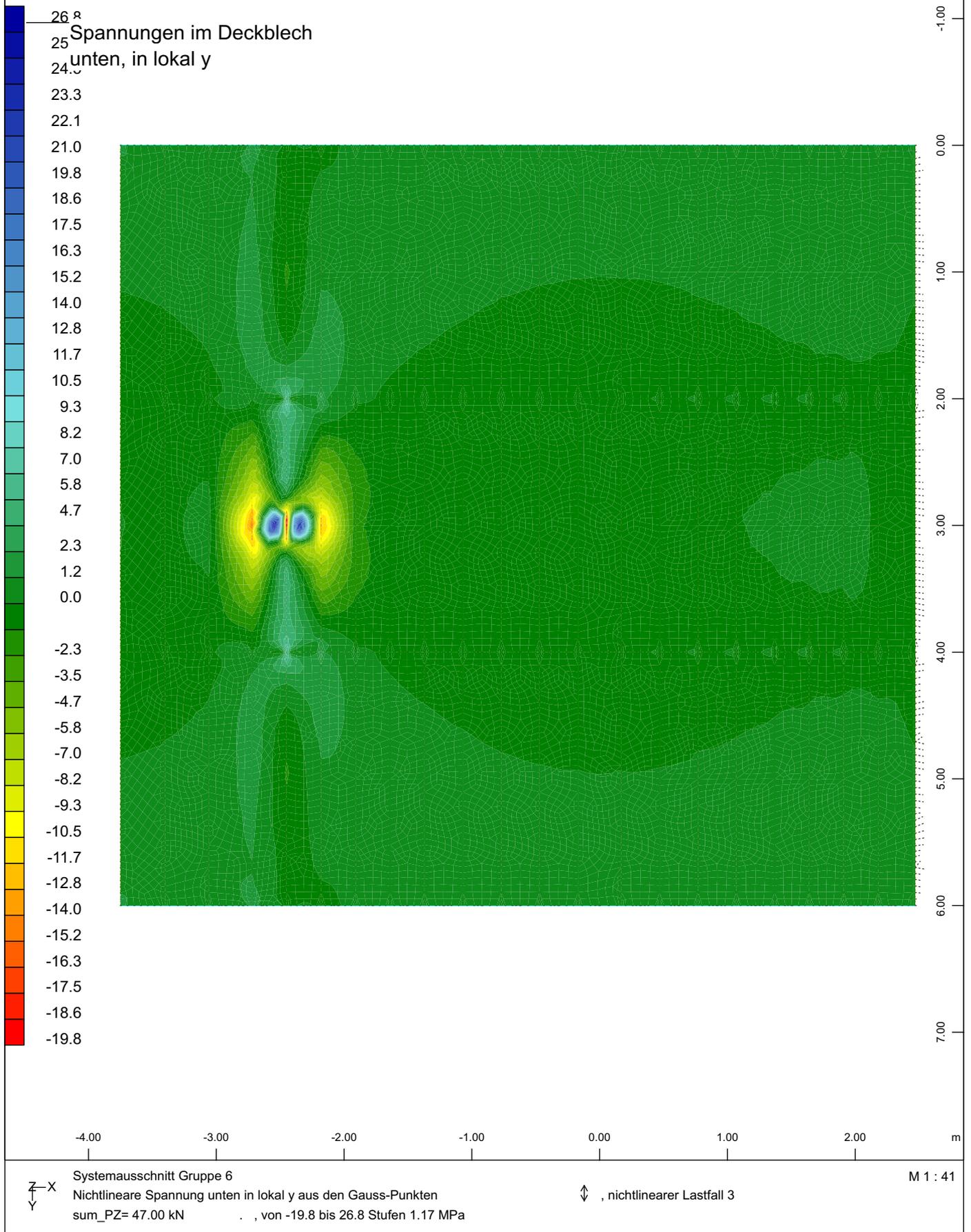
Systemausschnitt Gruppe 6 M 1 : 38
 Nichtlineare Spannung unten in lokal x aus den Gauss-Punkten ↔, nichtlinearer Lastfall 3
 sum_PZ= 47.00 kN , 1 cm im Raum = 50.0 MPa (Min=-41.2) (Max=60.1)

Beimerstetten



Beimerstetten

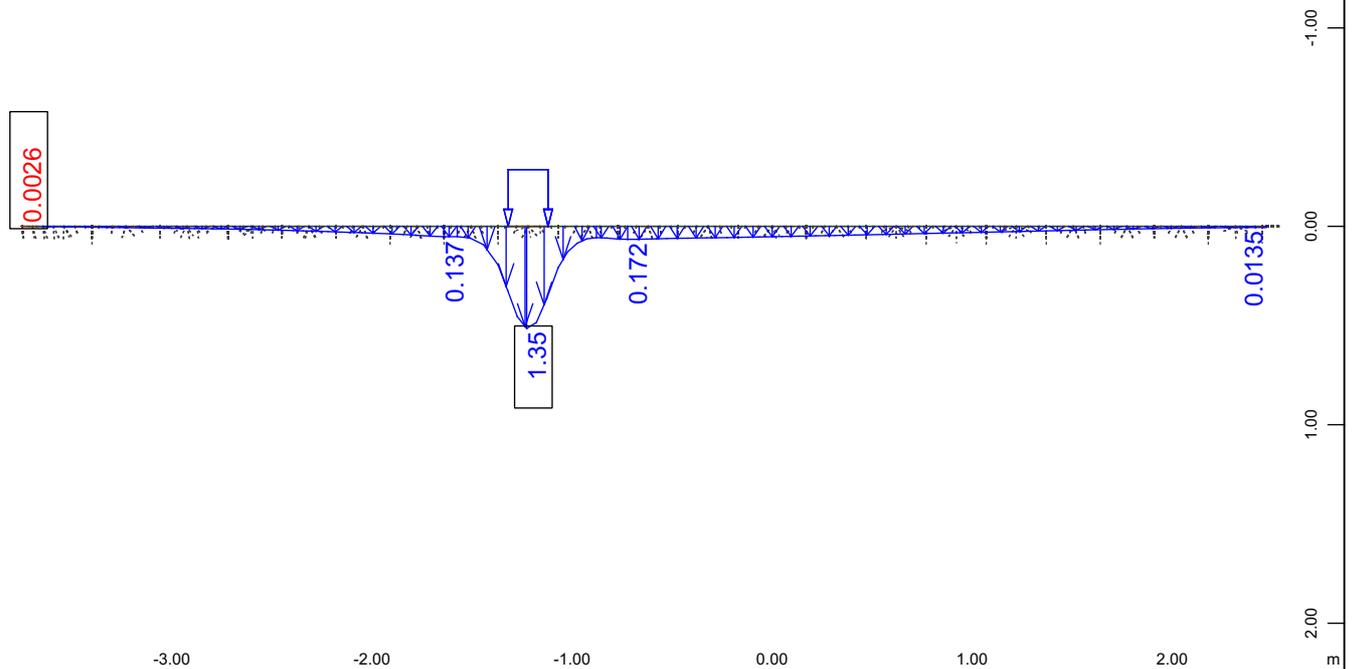
Faltwerkmodell Hohlkasten, nur Stahl
Spannungen im Deckblech in lokal x
Presse über Detail 1, auf Steife, P = 47 kN



Beimerstetten

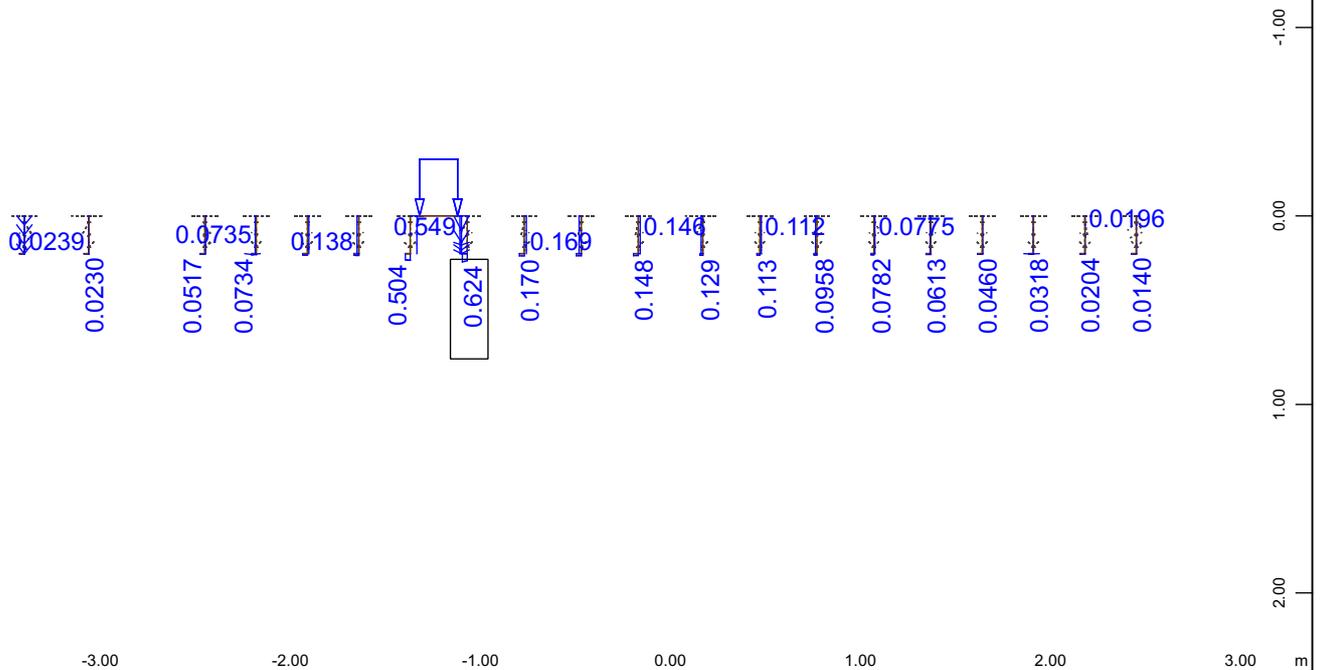
Faltwerkmodell Hohlkasten, nur Stahl
Spannungen im Deckblech in lokal y
Presse über Detail 1, auf Steife, P = 47 kN

Verformung des Deckblechs entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 6
 Knotenverschiebung in global Z
 , 1 cm im Raum = 1.00 mm
 ↕ , nichtlinearer Lastfall 4 sum_PZ= 43.00 kN
 (Min=-0.0026) (Max=1.35)
 M 1 : 38

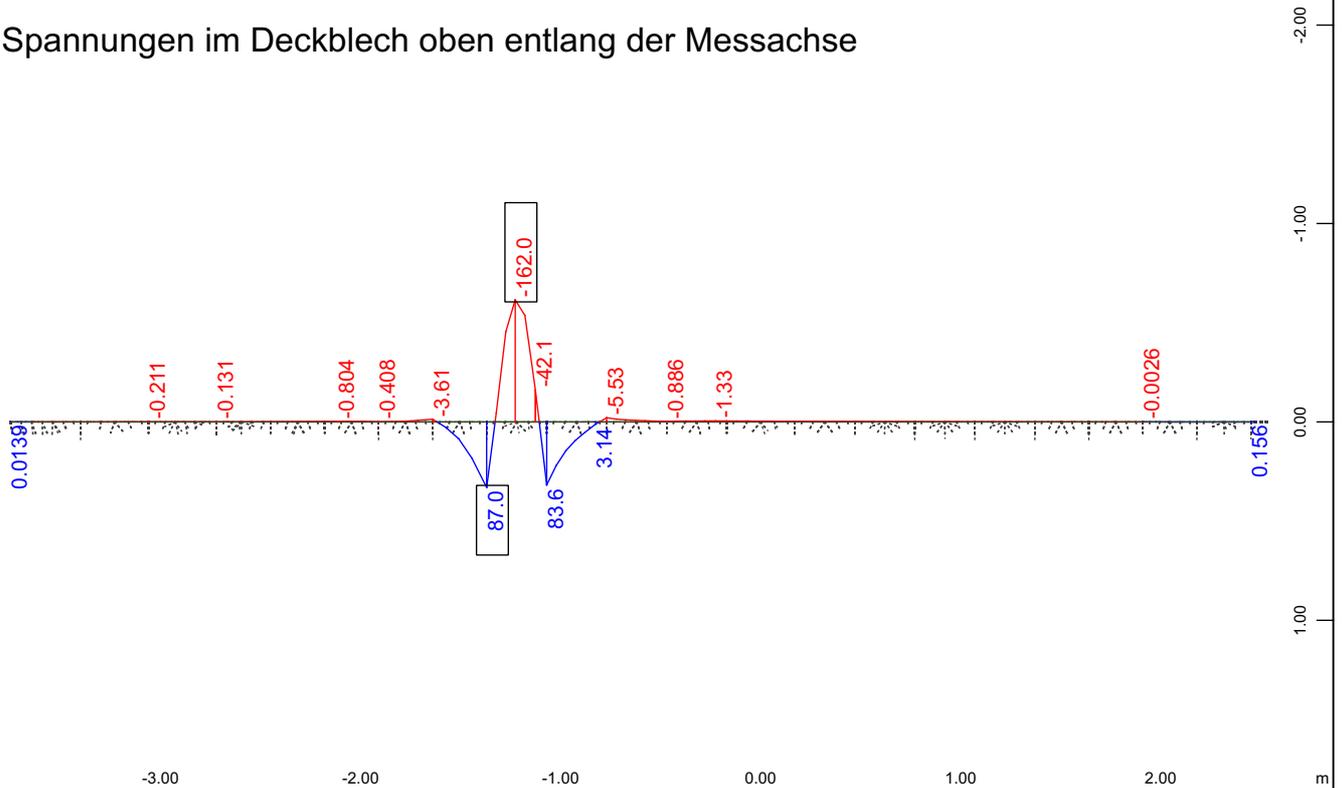
Verformung der Steifen entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 4
 Knotenverschiebung in global Z
 , 1 cm im Raum = 5.71 mm
 ↕ , nichtlinearer Lastfall 4 sum_PZ= 43.00 kN
 (Max=0.624)
 M 1 : 40

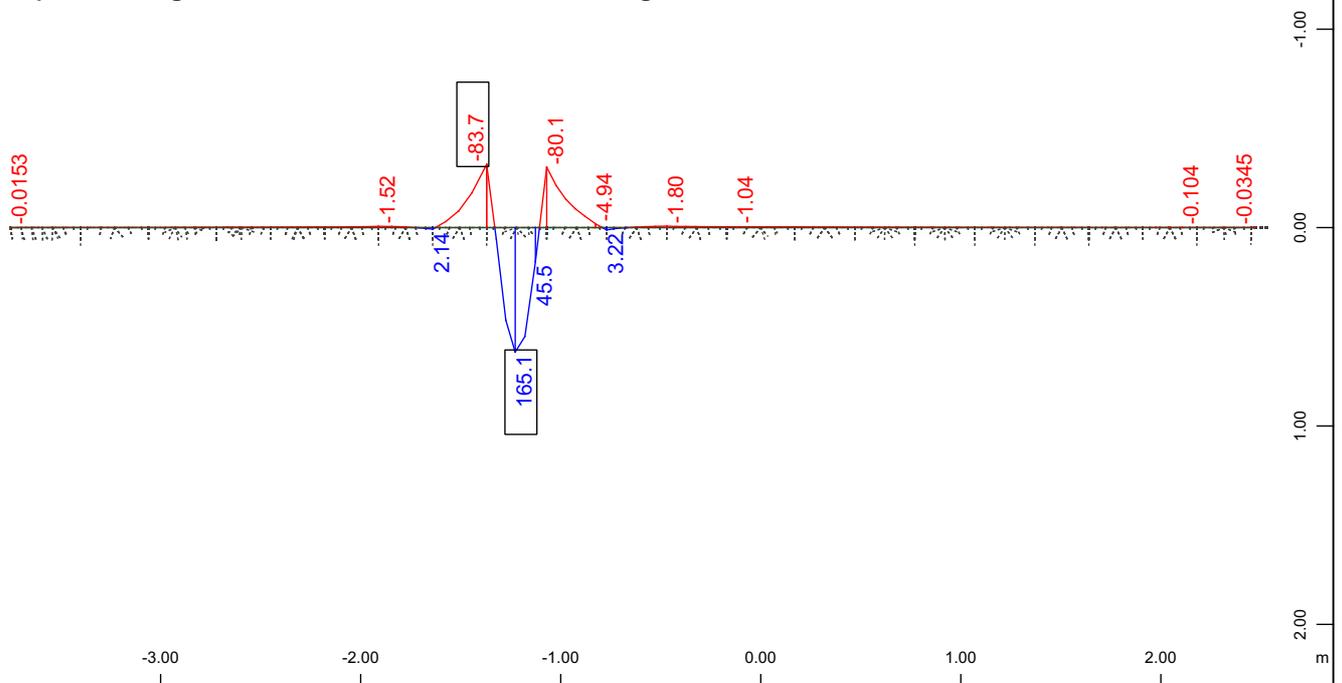
Beimerstetten

Spannungen im Deckblech oben entlang der Messachse



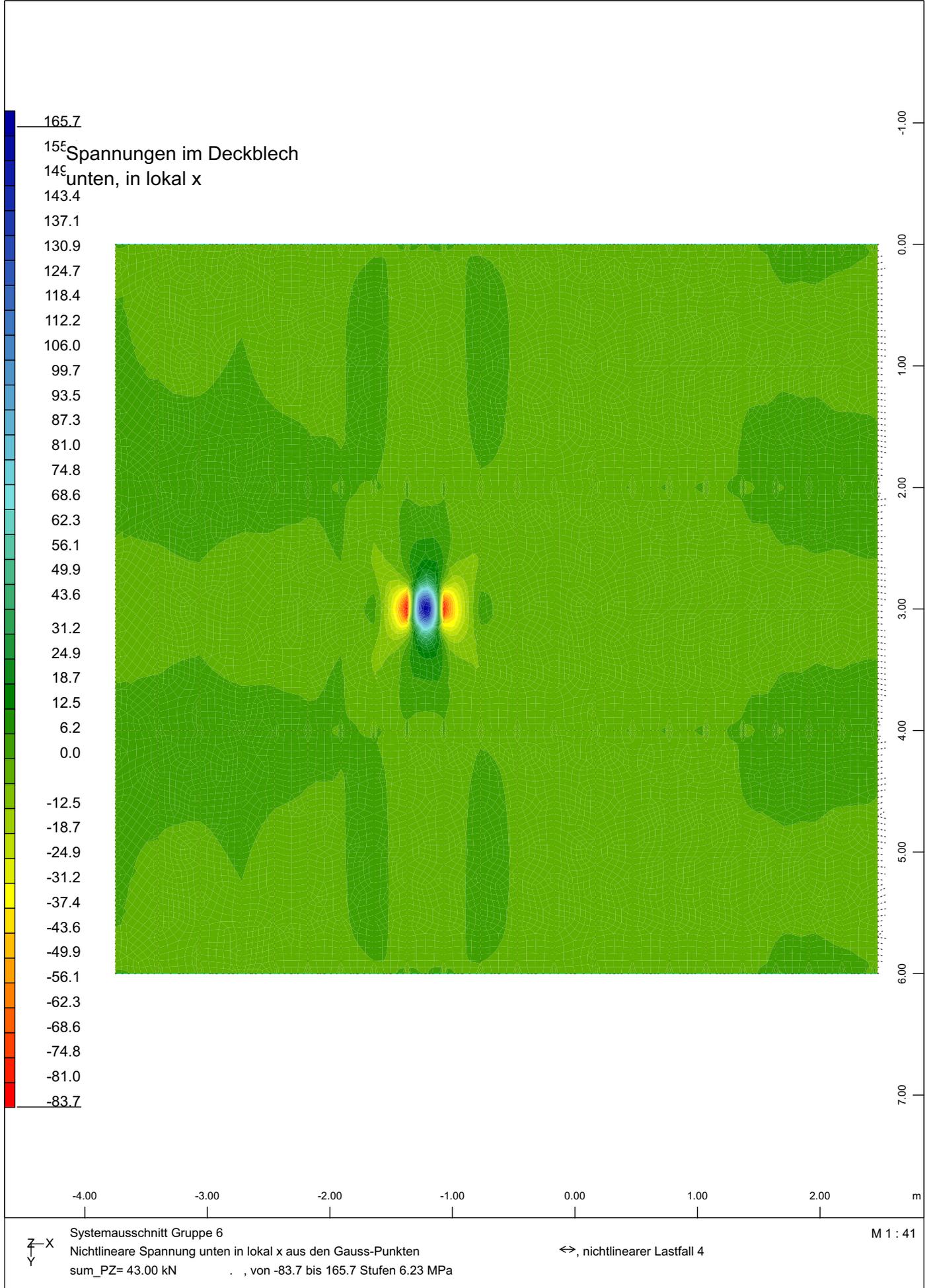
Systemausschnitt Gruppe 6
 Nichtlineare Spannung oben in lokal x aus den Gauss-Punkten ↔, nichtlinearer Lastfall 4
 sum_PZ= 43.00 kN , 1 cm im Raum = 100.0 MPa (Min=-162.0) (Max=87.0) M 1 : 38

Spannungen im Deckblech unten entlang der Messachse



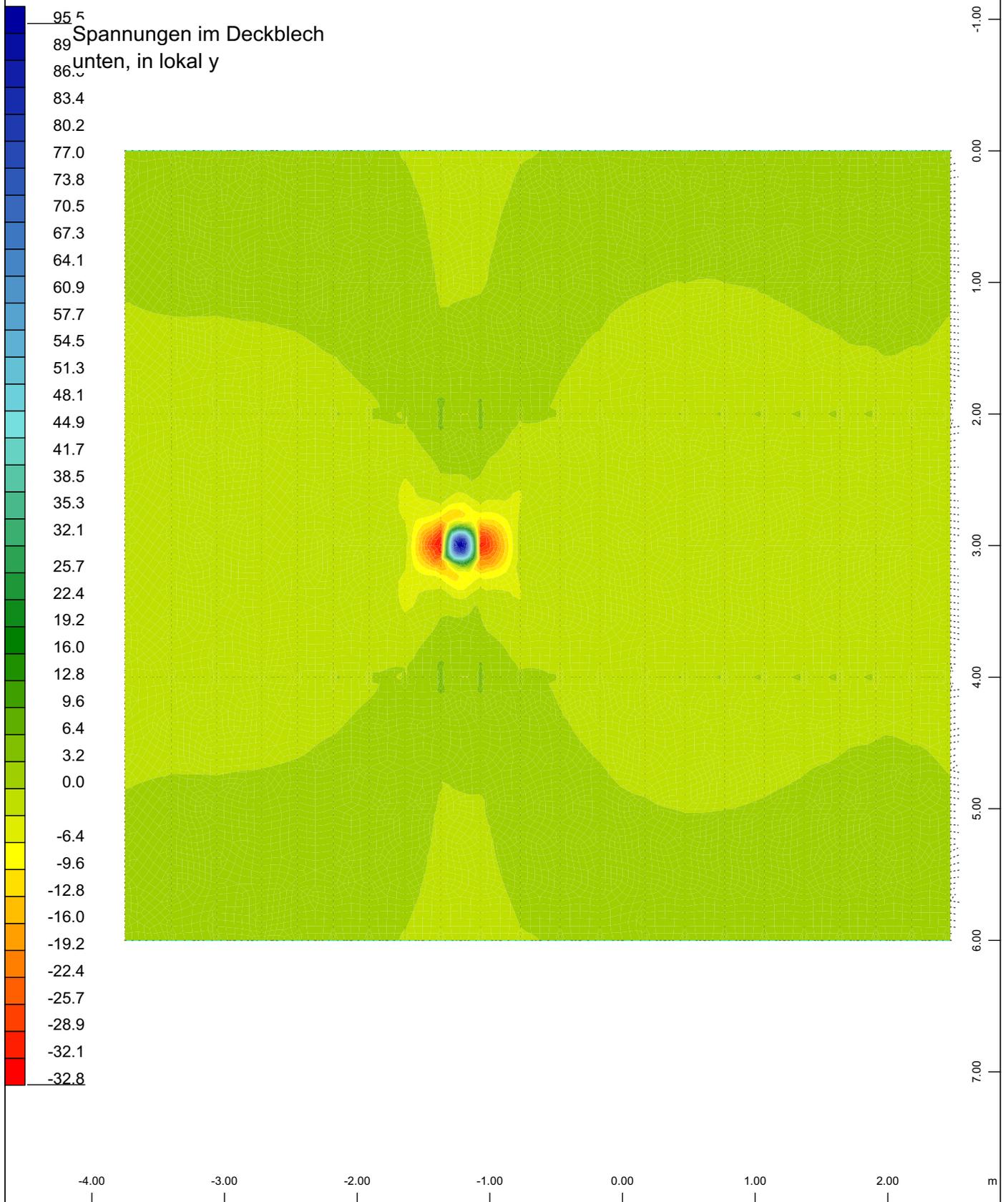
Systemausschnitt Gruppe 6
 Nichtlineare Spannung unten in lokal x aus den Gauss-Punkten ↔, nichtlinearer Lastfall 4
 sum_PZ= 43.00 kN , 1 cm im Raum = 100.0 MPa (Min=-83.7) (Max=165.1) M 1 : 38

Beimerstetten



Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten, nur Stahl
Spannungen im Deckblech in lokal x
Presse zwischen Detail 1 und 2, P = 43 kN



Spannungen im Deckblech
unten, in lokal y

- 95.5
- 89
- 86.3
- 83.4
- 80.2
- 77.0
- 73.8
- 70.5
- 67.3
- 64.1
- 60.9
- 57.7
- 54.5
- 51.3
- 48.1
- 44.9
- 41.7
- 38.5
- 35.3
- 32.1
- 25.7
- 22.4
- 19.2
- 16.0
- 12.8
- 9.6
- 6.4
- 3.2
- 0.0
- 6.4
- 9.6
- 12.8
- 16.0
- 19.2
- 22.4
- 25.7
- 28.9
- 32.1
- 32.8

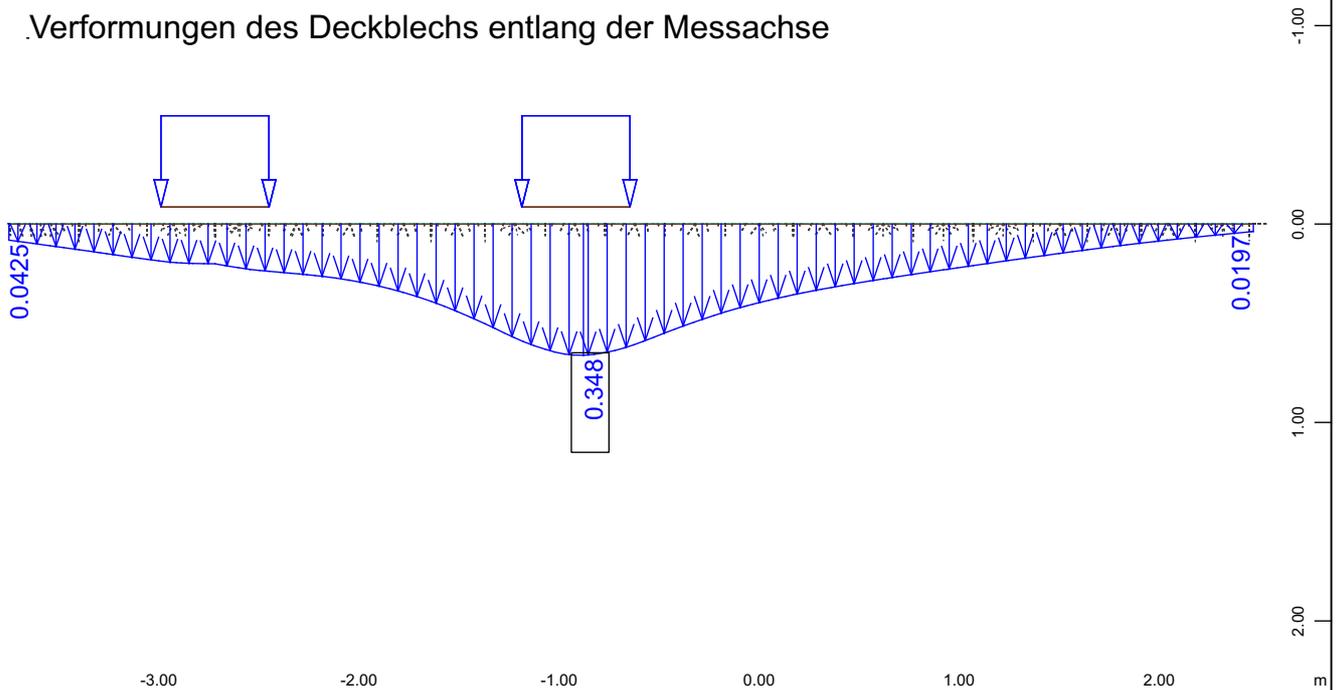
Systemausschnitt Gruppe 6
Nichtlineare Spannung unten in lokal y aus den Gauss-Punkten
sum_PZ= 43.00 kN , von -32.8 bis 95.5 Stufen 3.21 MPa
↕ , nichtlinearer Lastfall 4
M 1 : 41

Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten, nur Stahl
Spannungen im Deckblech in lokal y
Presse zwischen Detail 1 und 2, P = 43 kN

Berechnungsergebnisse der Versuchslasten, Fahrbahnbelag aus Beton

.Verformungen des Deckblechs entlang der Messachse



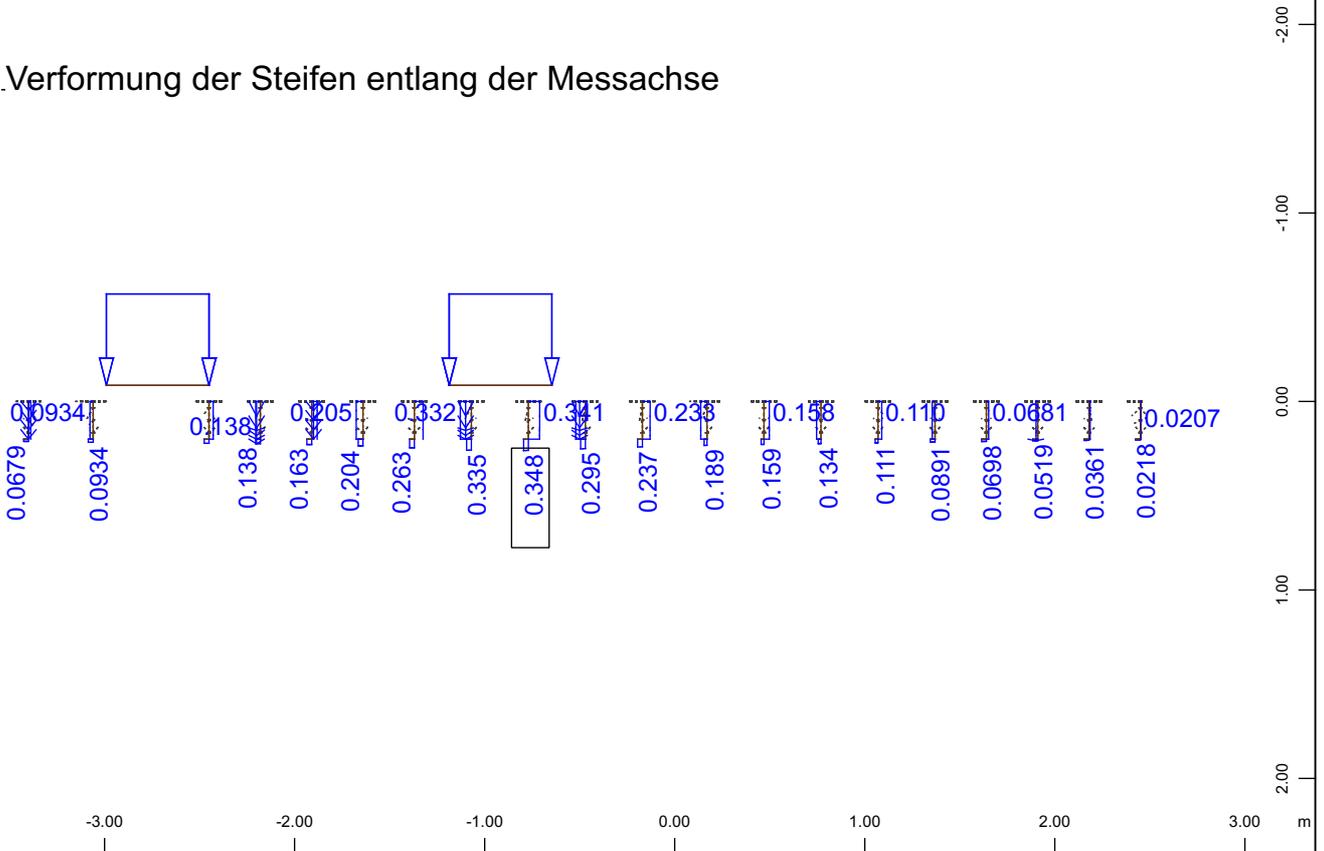
Y-X
Z

Systemausschnitt Gruppe 6
Knotenverschiebung in global Z
, 1 cm im Raum = 0.200 mm

↕ , nichtlinearer Lastfall 13 sum_PZ=100.96 kN
≧ (Max=0.348)

M 1 : 38

.Verformung der Steifen entlang der Messachse



Y-X
Z

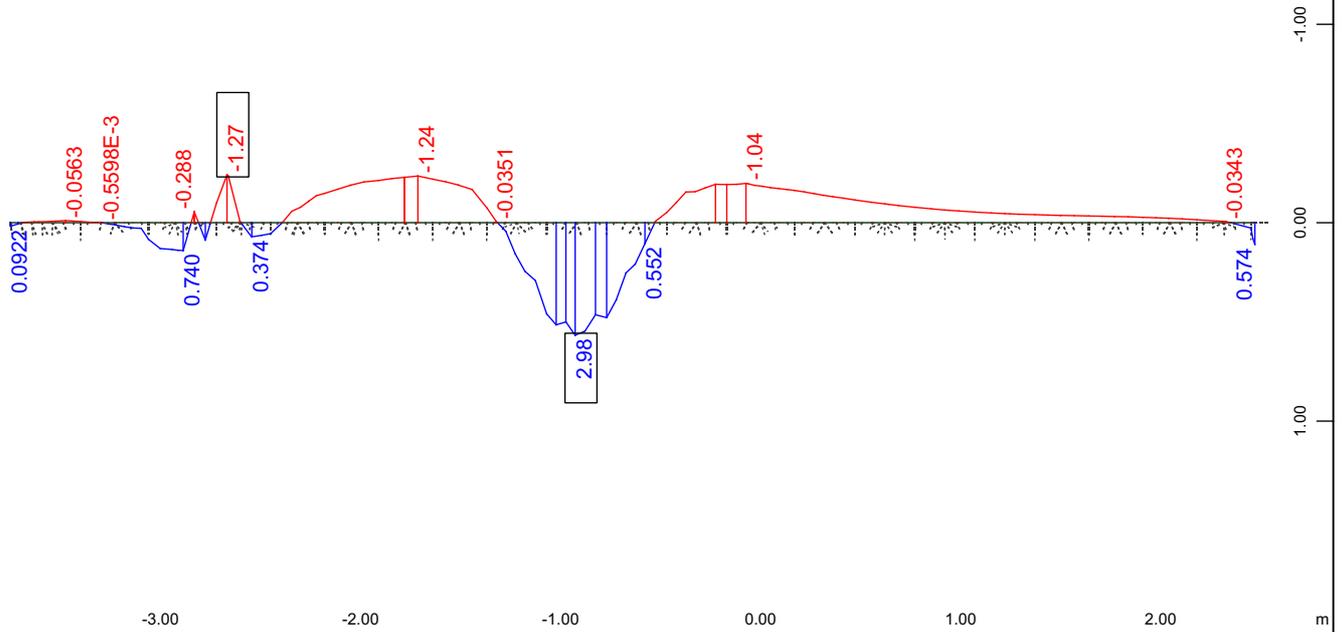
Systemausschnitt Gruppe 4
Knotenverschiebung in global Z
, 1 cm im Raum = 2.29 mm

↕ , nichtlinearer Lastfall 13 sum_PZ=100.96 kN
≧ (Max=0.348)

M 1 : 40

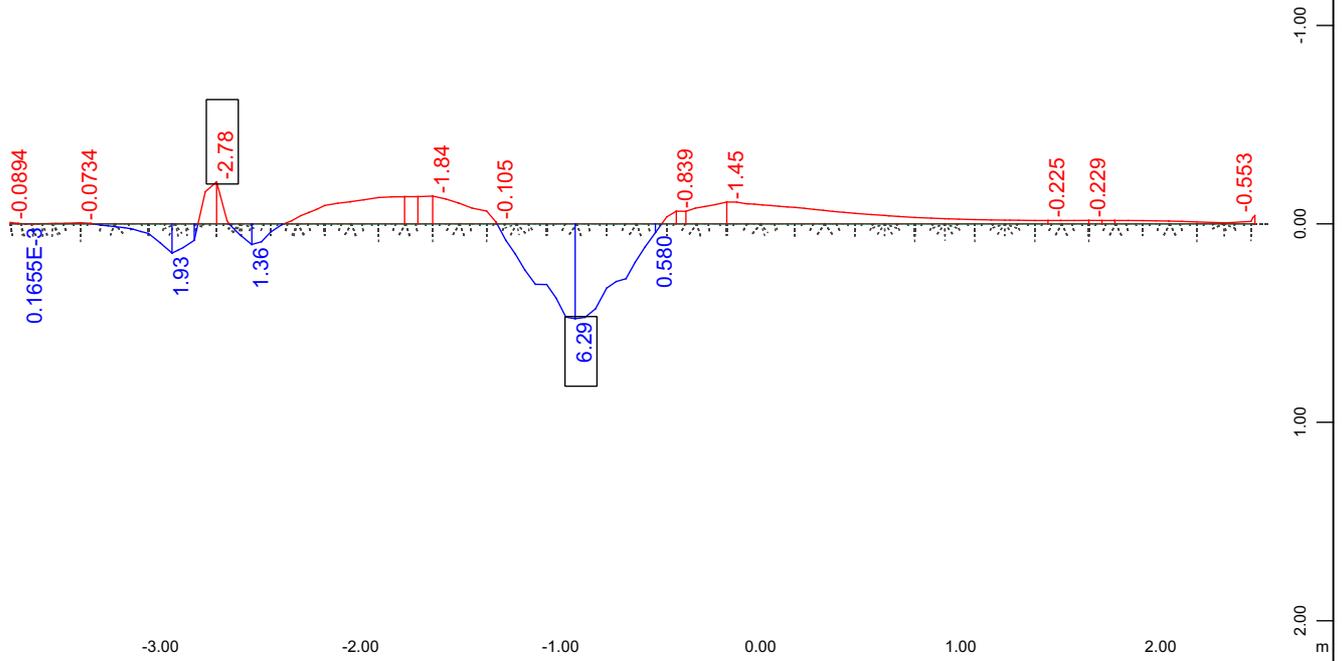
Beimerstetten

Spannungen im Deckblech oben entlang der Messachse



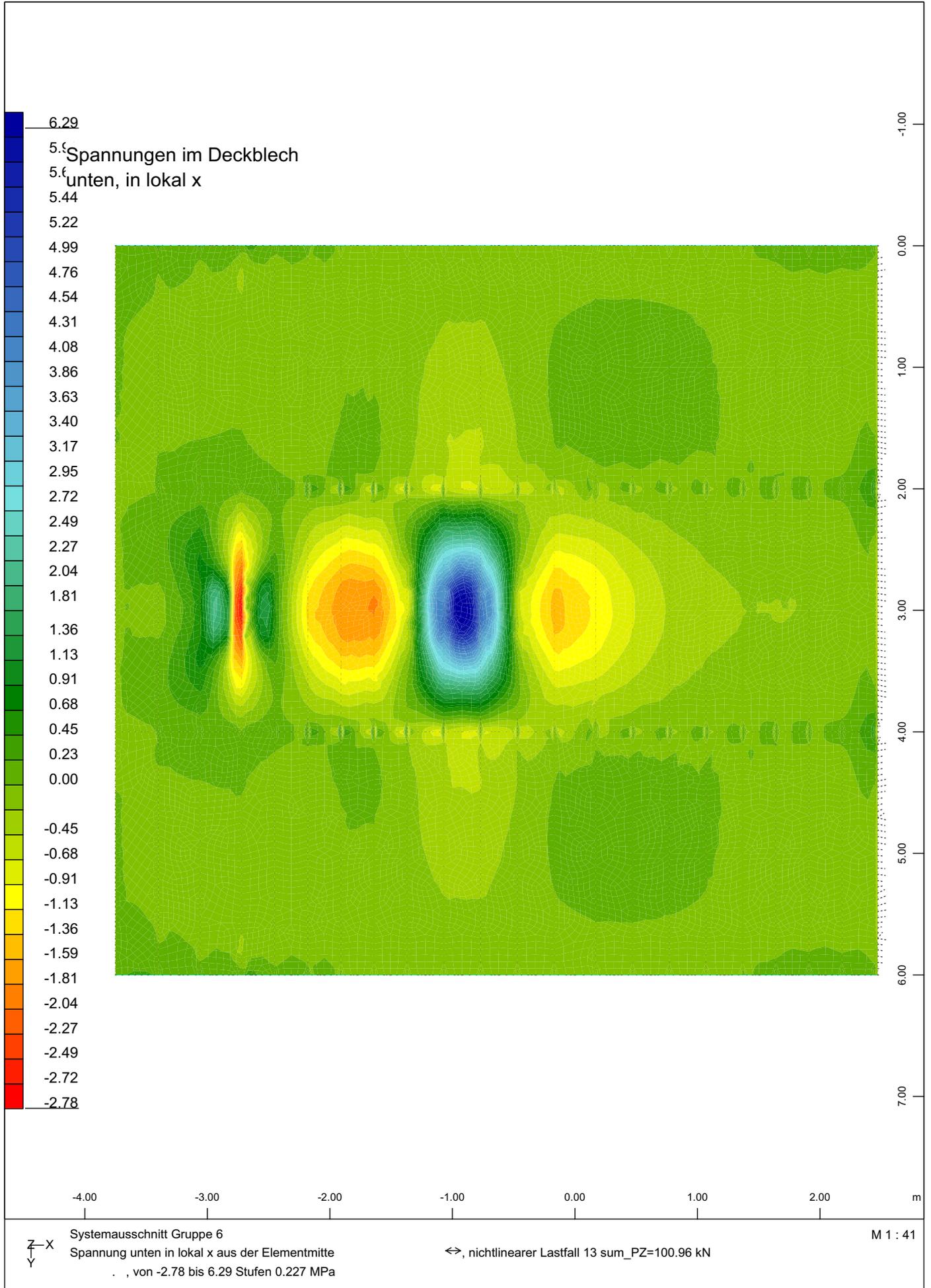
Systemausschnitt Gruppe 6
 Spannung oben in lokal x aus der Elementmitte
 ↳, nichtlinearer Lastfall 13 sum_PZ=100.96 kN
 ↳, 1 cm im Raum = 2.00 MPa (Min=-1.27) (Max=2.98) M 1 : 38

Spannungen im Deckblech unten entlang der Messachse



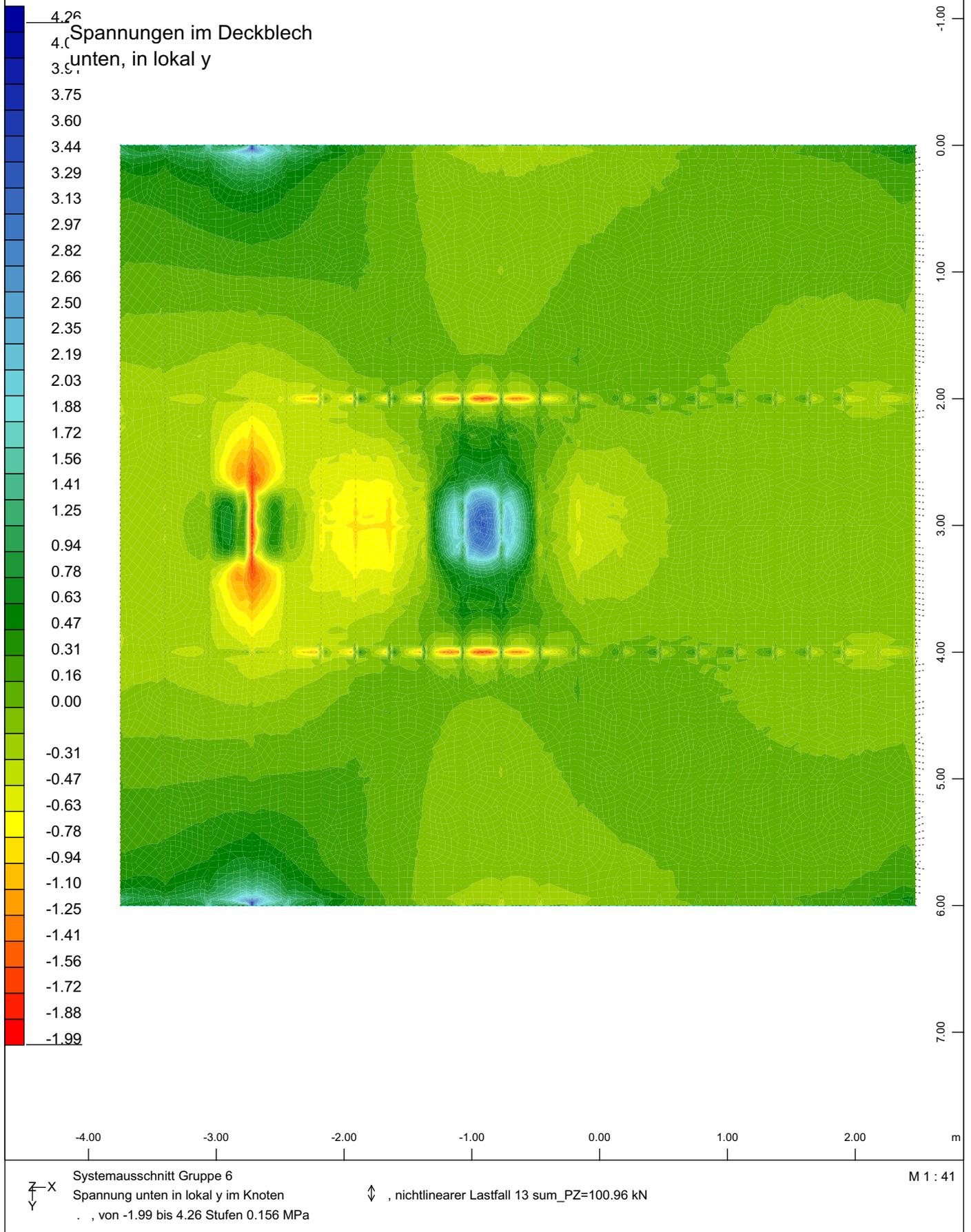
Systemausschnitt Gruppe 6
 Spannung unten in lokal x aus der Elementmitte
 ↳, nichtlinearer Lastfall 13 sum_PZ=100.96 kN
 ↳, 1 cm im Raum = 5.00 MPa (Min=-2.78) (Max=6.29) M 1 : 38

Beimerstetten



Beimerstetten

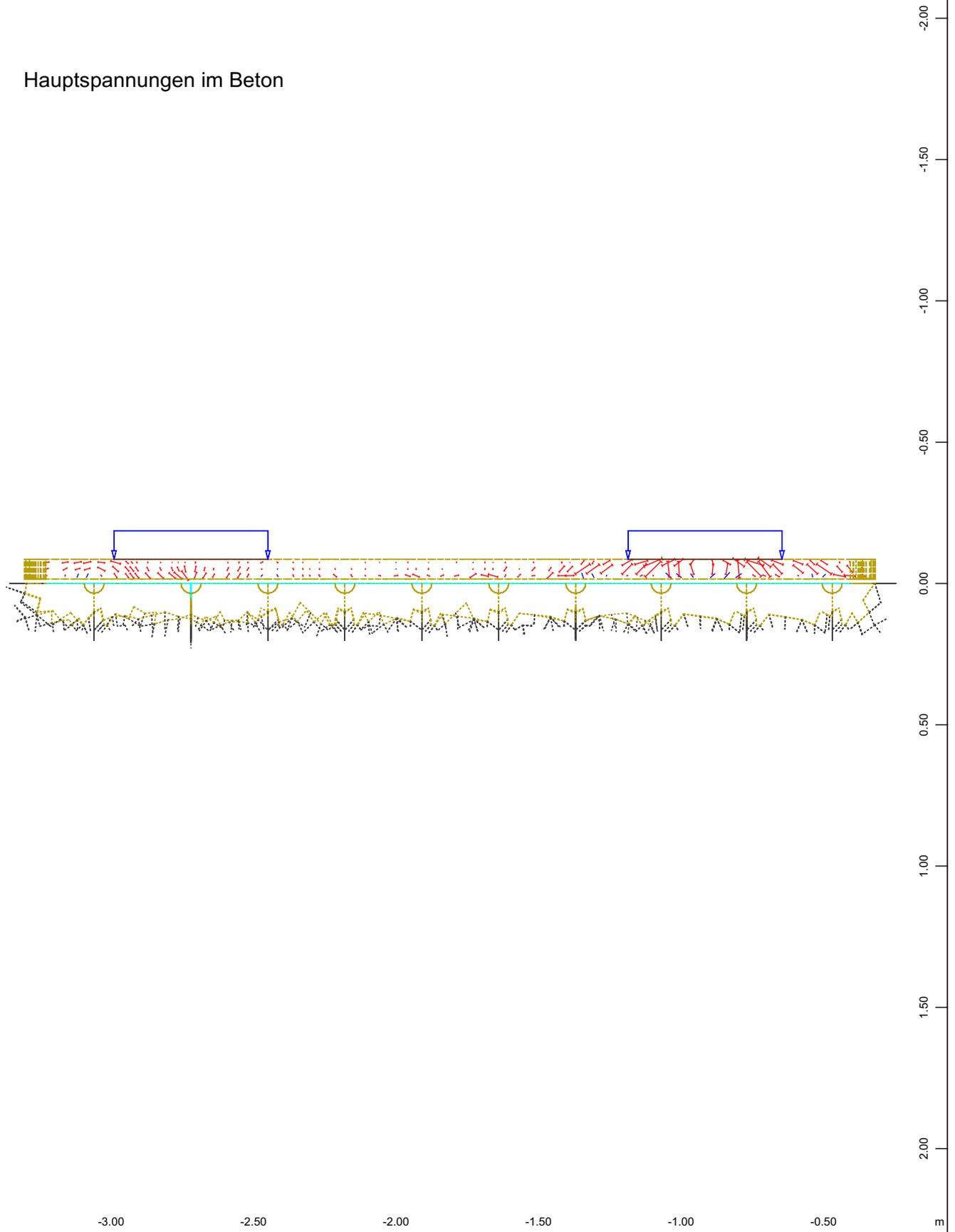
Faltwerkmodell Hohlkasten, Belag: Beton
Spannungen im Deckblech in lokal x
LKW über Detail 1



Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten, Belag: Beton
Spannungen im Deckblech in lokal y
LKW über Detail 1

Hauptspannungen im Beton

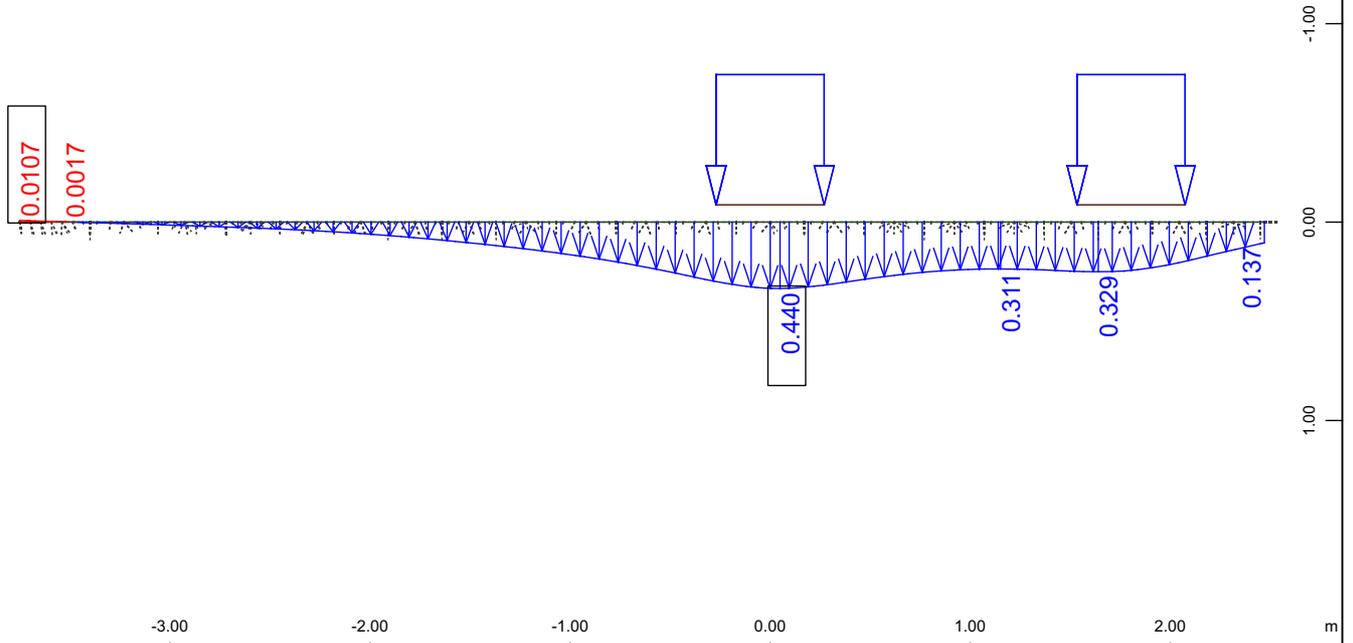


Systemausschnitt Flächenelemente, Volumenelemente, Randelemente M 1 : 19
 3D Hauptspannung II im Element, nichtlinearer Lastfall 13 sum_PZ=100.96 kN
 1 cm im Raum = 0.406 MPa += ——— ——— | (Min=-0.440) (Max=0.0607)

Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten, Belag: Beton
 Hauptspannungen im Beton
 LKW über Detail 1

Verformung des Deckblechs entlang der Messachse



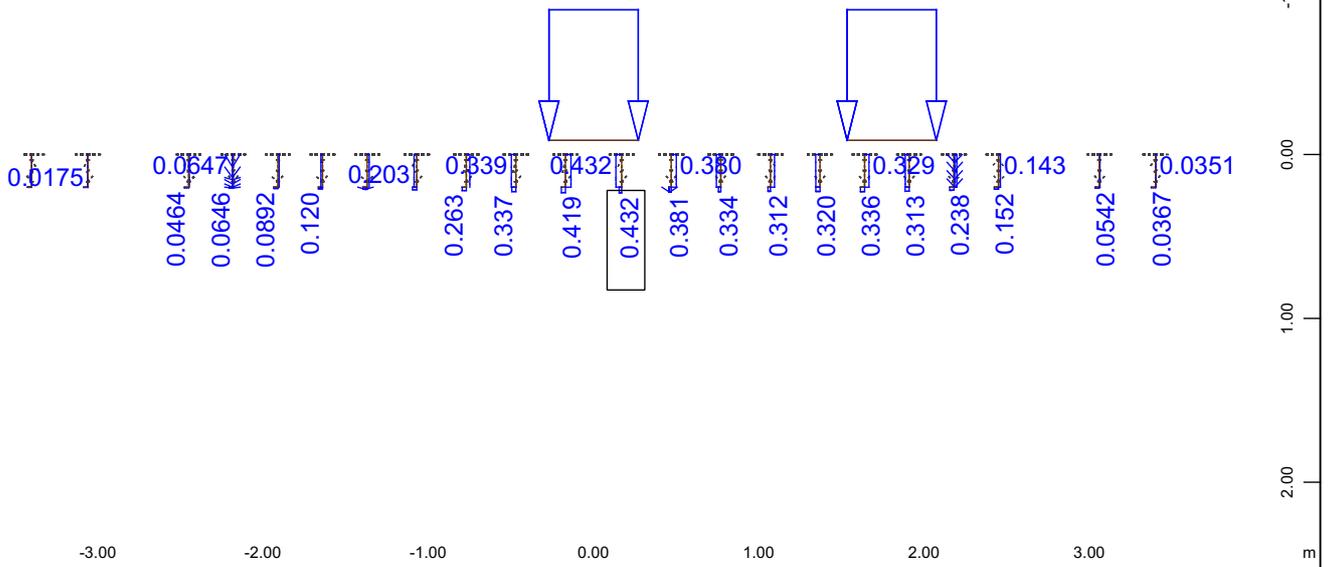
Y-X
Z

Systemausschnitt Gruppe 6
Knotenverschiebung in global Z
, 1 cm im Raum = 0.500 mm

↕ , nichtlinearer Lastfall 14 sum_PZ=100.96 kN
↗ (Min=-0.0107) (Max=0.440)

M 1 : 38

Verformung der Steifen entlang der Messachse



Y-X
Z

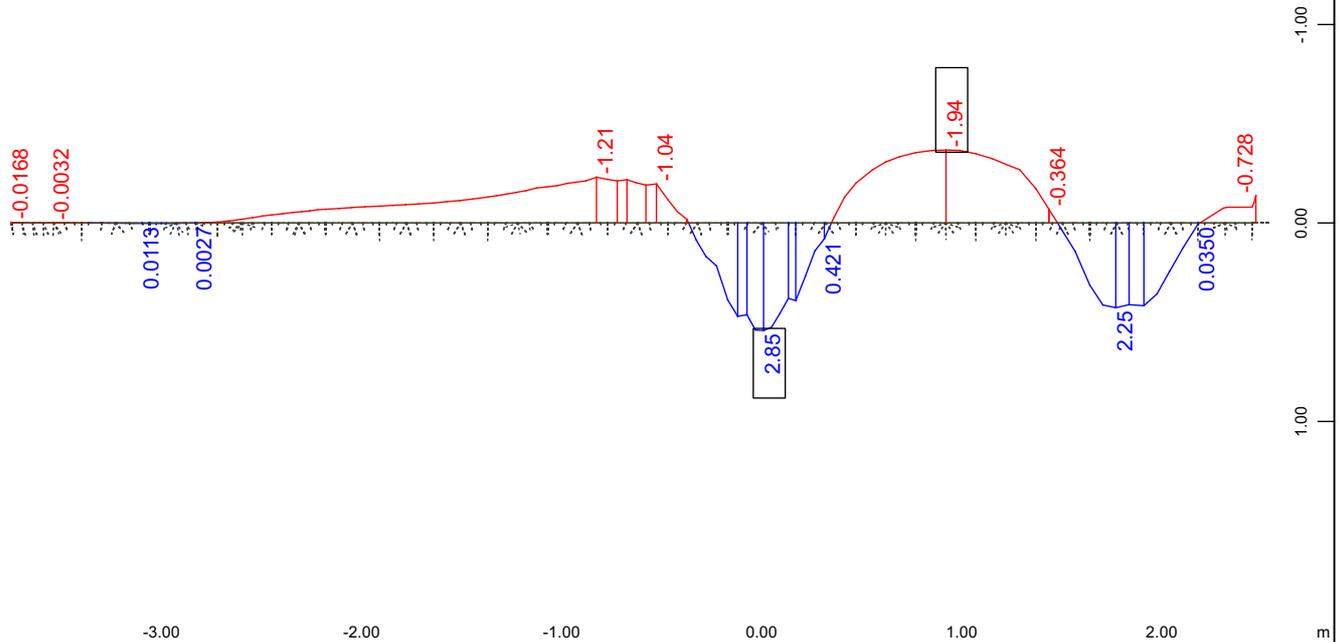
Systemausschnitt Gruppe 4
Knotenverschiebung in global Z
, 1 cm im Raum = 5.71 mm

↕ , nichtlinearer Lastfall 14 sum_PZ=100.96 kN
↗ (Max=0.432)

M 1 : 46

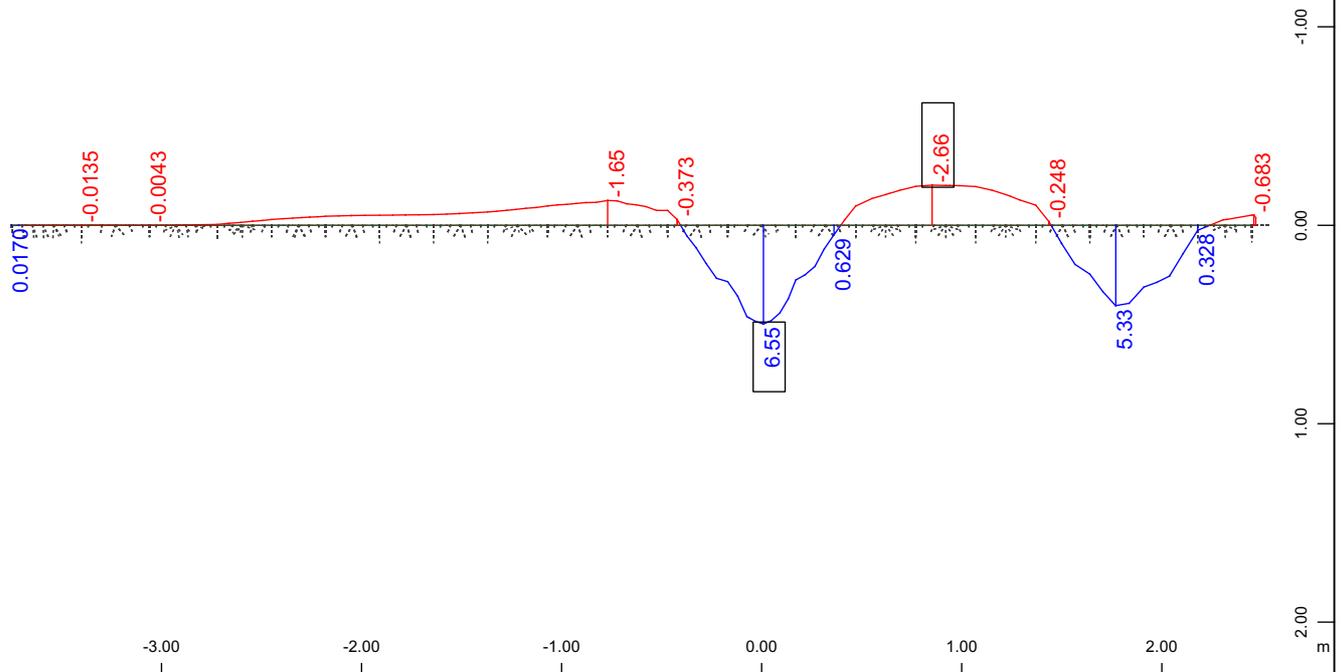
Beimerstetten

Spannungen im Deckblech oben entlang der Messachse



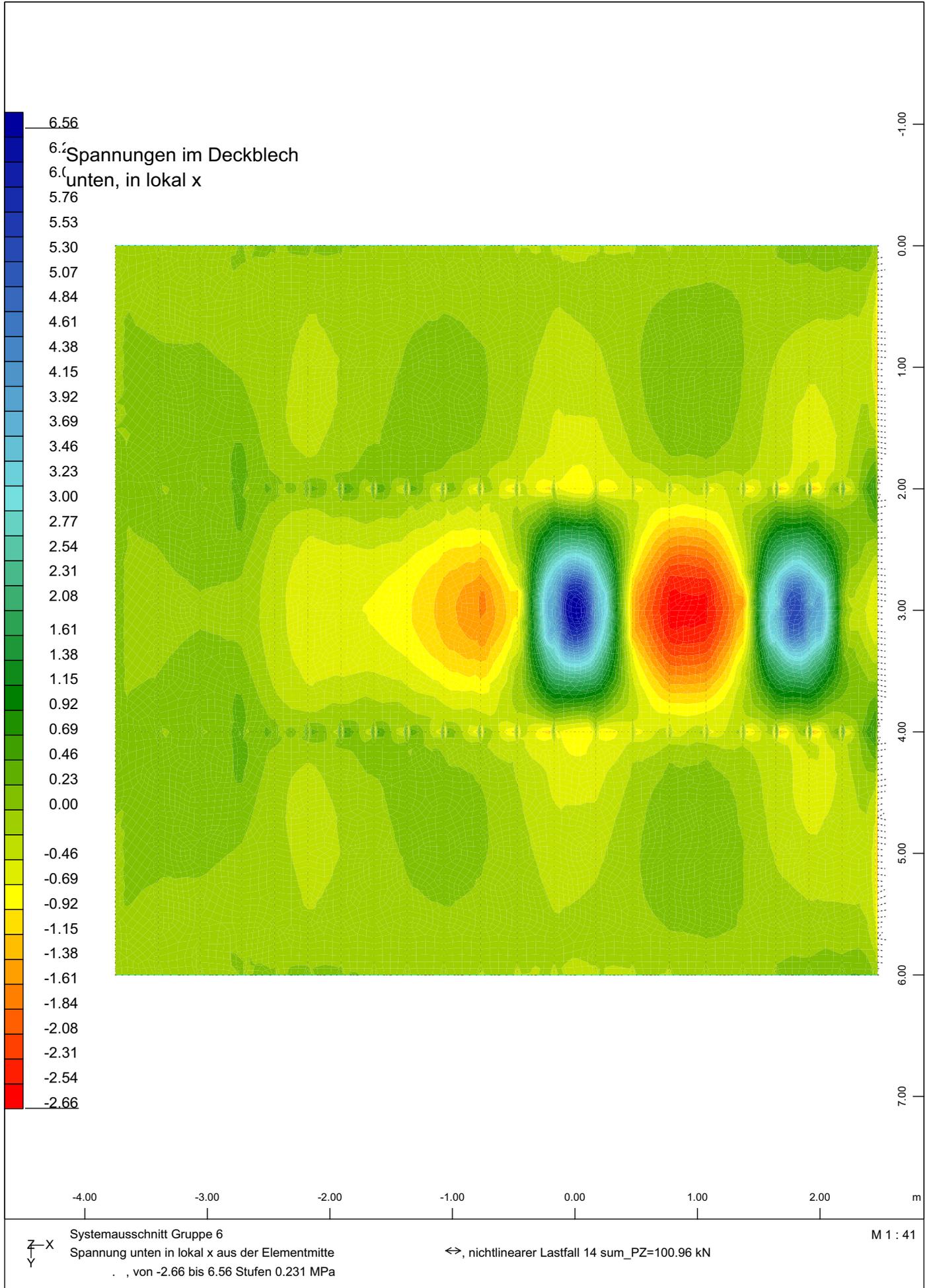
Systemausschnitt Gruppe 6
 Spannung oben in lokal x aus der Elementmitte
 ↳, 1 cm im Raum = 2.00 MPa (Min=-1.94) (Max=2.85)
 ↳, nichtlinearer Lastfall 14 sum_PZ=100.96 kN
 M 1 : 38

Spannungen im Deckblech unten entlang der Messachse



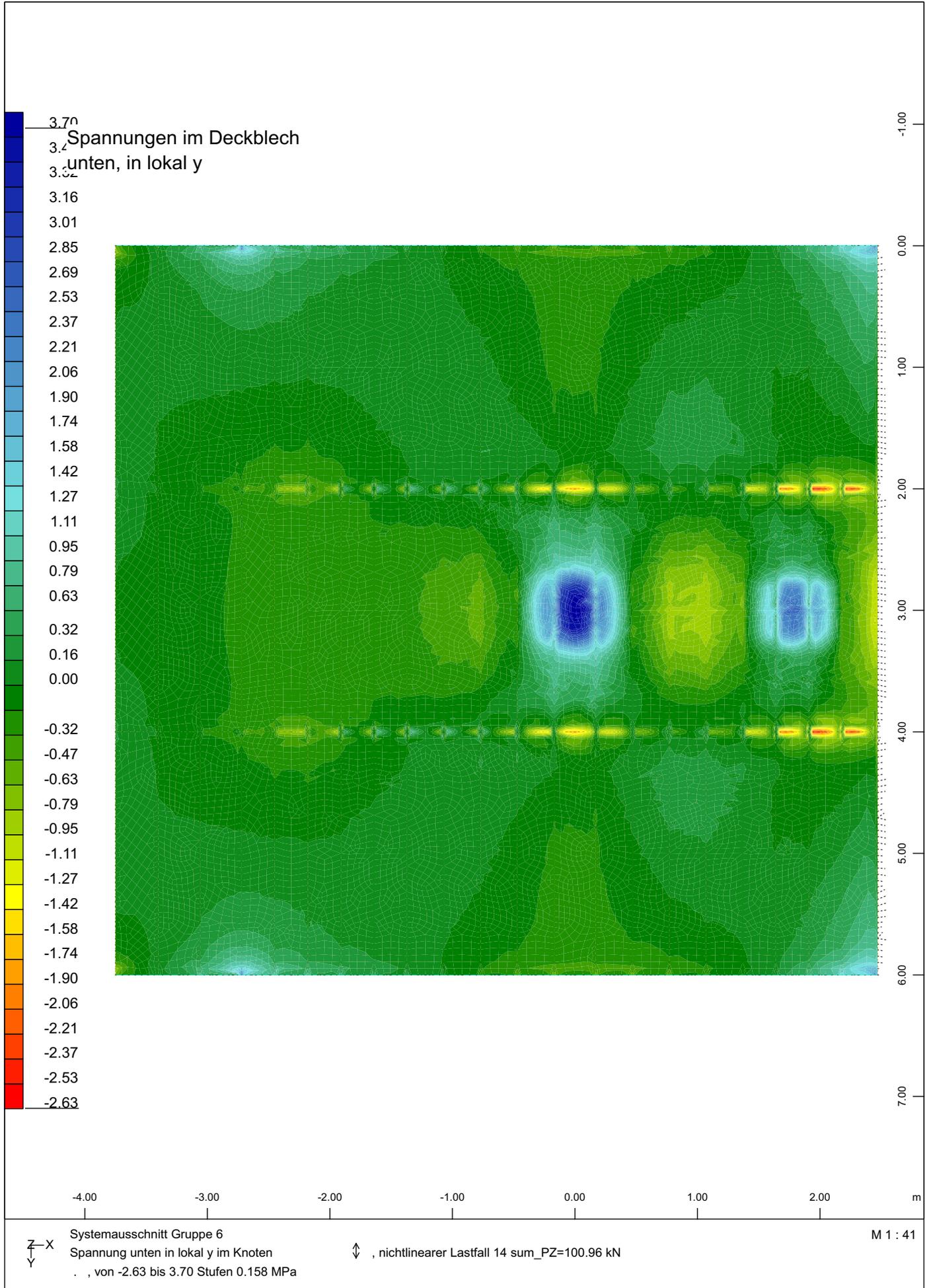
Systemausschnitt Gruppe 6
 Spannung unten in lokal x aus der Elementmitte
 ↳, 1 cm im Raum = 5.00 MPa (Min=-2.66) (Max=6.55)
 ↳, nichtlinearer Lastfall 14 sum_PZ=100.96 kN
 M 1 : 38

Beimerstetten



Beimerstetten

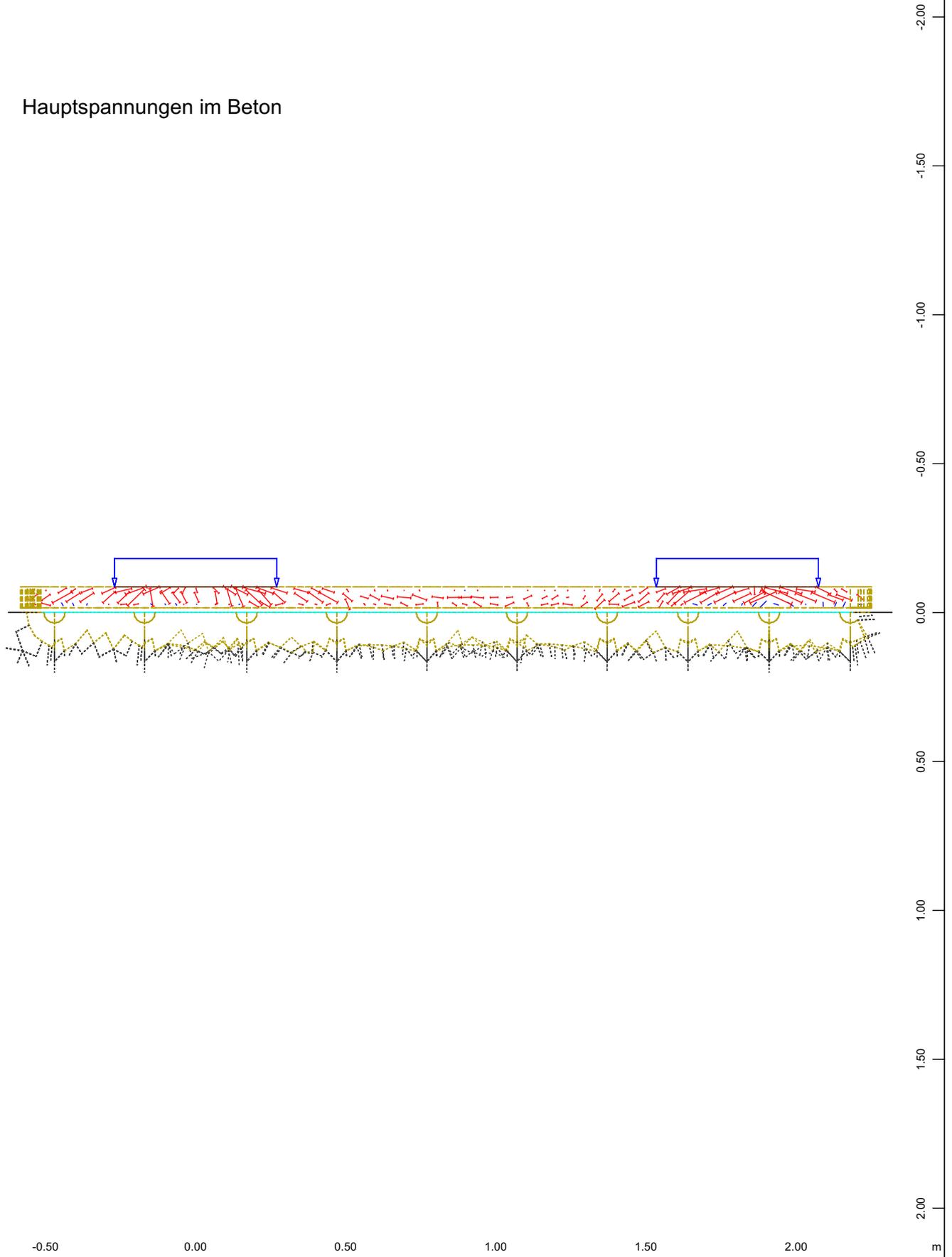
Faltwerkmodell Hohlkasten, Belag: Beton
Spannungen im Deckblech in lokal x
LKW über Detail 2



Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten, Belag: Beton
Spannungen im Deckblech in lokal y
LKW über Detail 2

Hauptspannungen im Beton

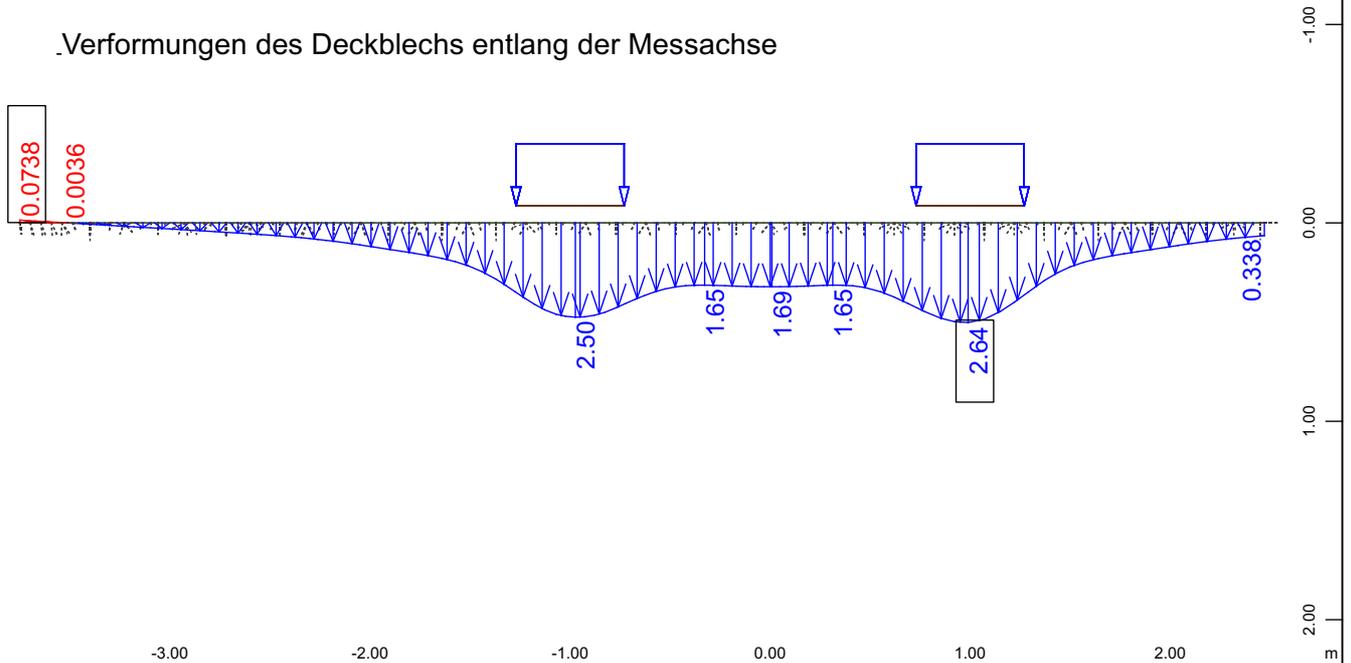


Systemausschnitt Flächenelemente, Volumenelemente, Randelemente
3D Hauptspannung II im Element, nichtlinearer Lastfall 14 sum_PZ=100.96 kN
1 cm im Raum = 0.406 MPa += ——— - = |———| (Min=-0.539) (Max=0.0671) M 1 : 18

Beimerstetten

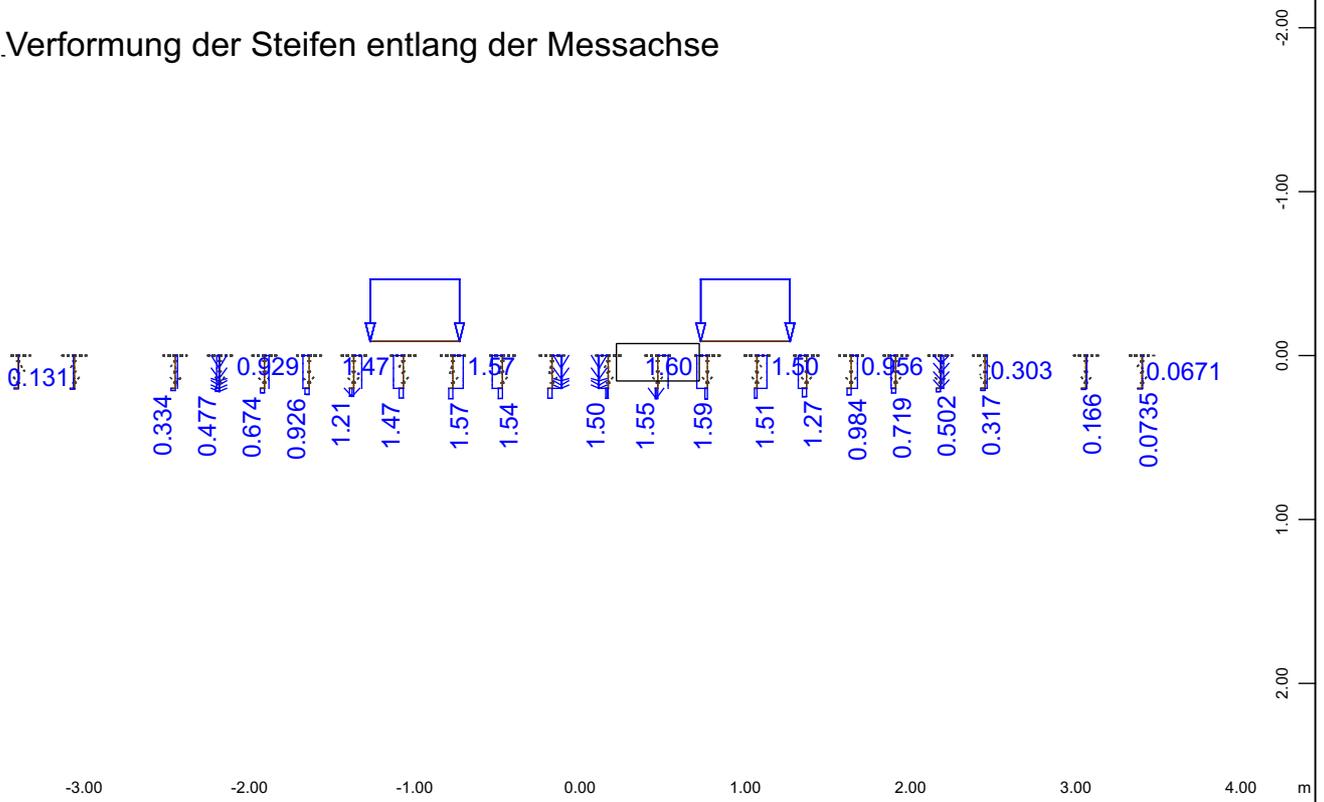
Berechnungsergebnisse der Vergleichslast (Ermüdungslastmodell 3) reiner Stahlquerschnitt

Verformungen des Deckblechs entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 6
 Knotenverschiebung in global Z
 cm im Raum = 2.00 mm \Rightarrow (Min=-0.0738) (Max=2.64)
 , nichtlinearer Lastfall 5 Ermüdungslastmodell 3 voll , 1
 M 1 : 38

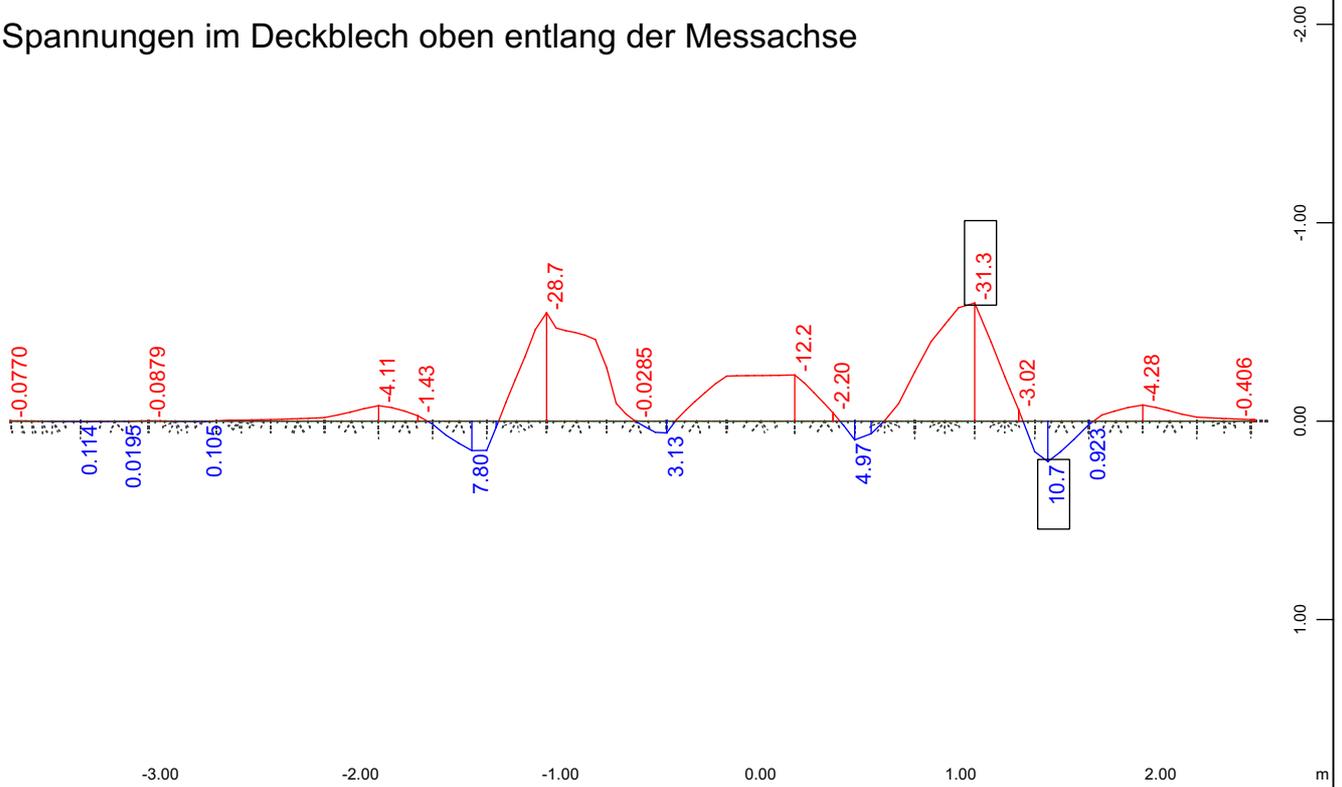
Verformung der Steifen entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 4
 Knotenverschiebung in global Z
 cm im Raum = 11.4 mm \Rightarrow (Max=1.60)
 , nichtlinearer Lastfall 16 Ermüdungslastmodell 3 voll , 1
 M 1 : 46

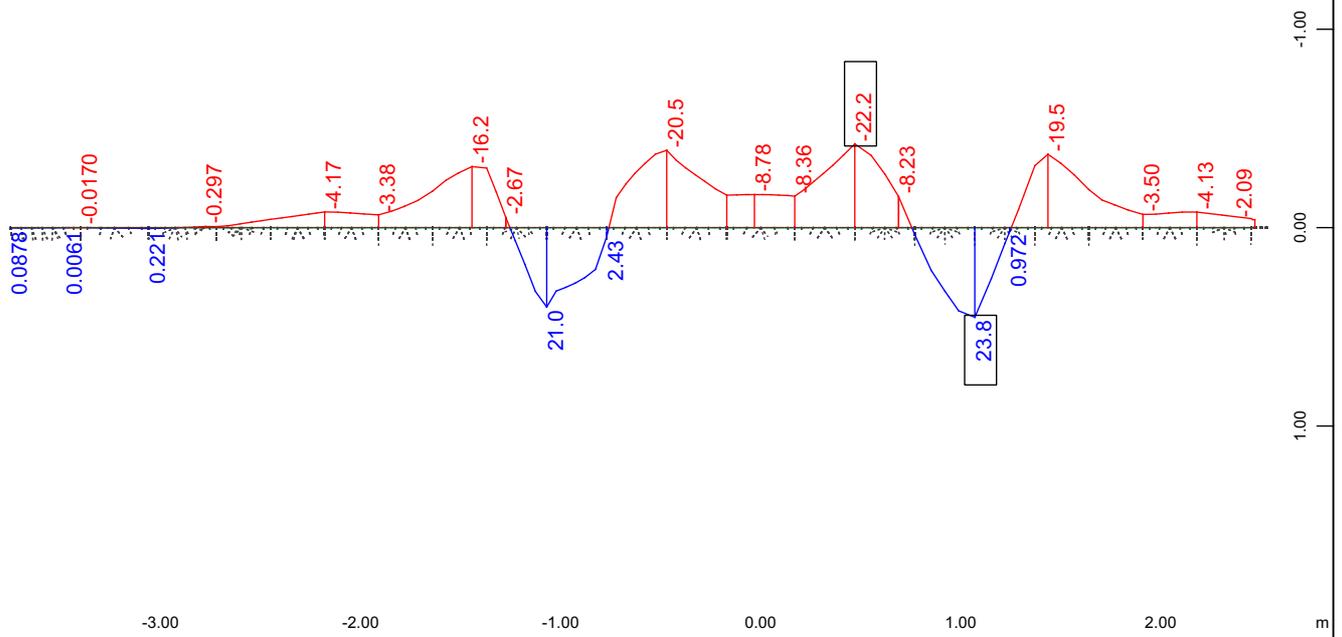
Beimerstetten

Spannungen im Deckblech oben entlang der Messachse



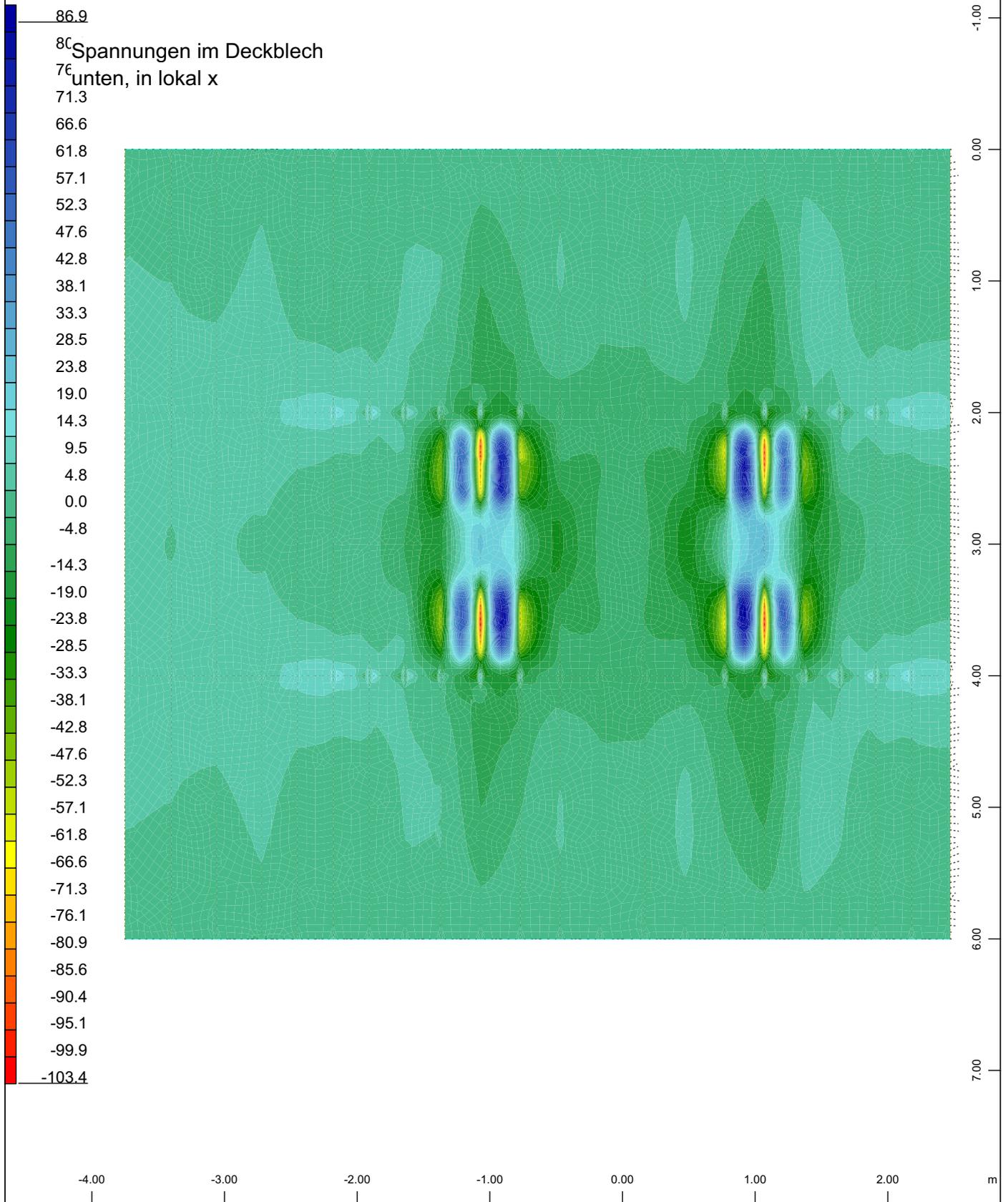
Systemausschnitt Gruppe 6
 Nichtlineare Spannung oben in lokal x aus den Gauss-Punkten
 Ermüdungslastmodell 3 voll , 1 cm im Raum = 20.0 MPa (Min=-31.3) (Max=10.7)
 ↔, nichtlinearer Lastfall 5
 M 1 : 38

Spannungen im Deckblech unten entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 6
 Nichtlineare Spannung unten in lokal x aus den Gauss-Punkten
 Ermüdungslastmodell 3 voll , 1 cm im Raum = 20.0 MPa (Min=-22.2) (Max=23.8)
 ↔, nichtlinearer Lastfall 5
 M 1 : 38

Beimerstetten



Spannungen im Deckblech
unten, in lokal x

- 86.9
- 71.3
- 66.6
- 61.8
- 57.1
- 52.3
- 47.6
- 42.8
- 38.1
- 33.3
- 28.5
- 23.8
- 19.0
- 14.3
- 9.5
- 4.8
- 0.0
- 4.8
- 14.3
- 19.0
- 23.8
- 28.5
- 33.3
- 38.1
- 42.8
- 47.6
- 52.3
- 57.1
- 61.8
- 66.6
- 71.3
- 76.1
- 80.9
- 85.6
- 90.4
- 95.1
- 99.9
- 103.4

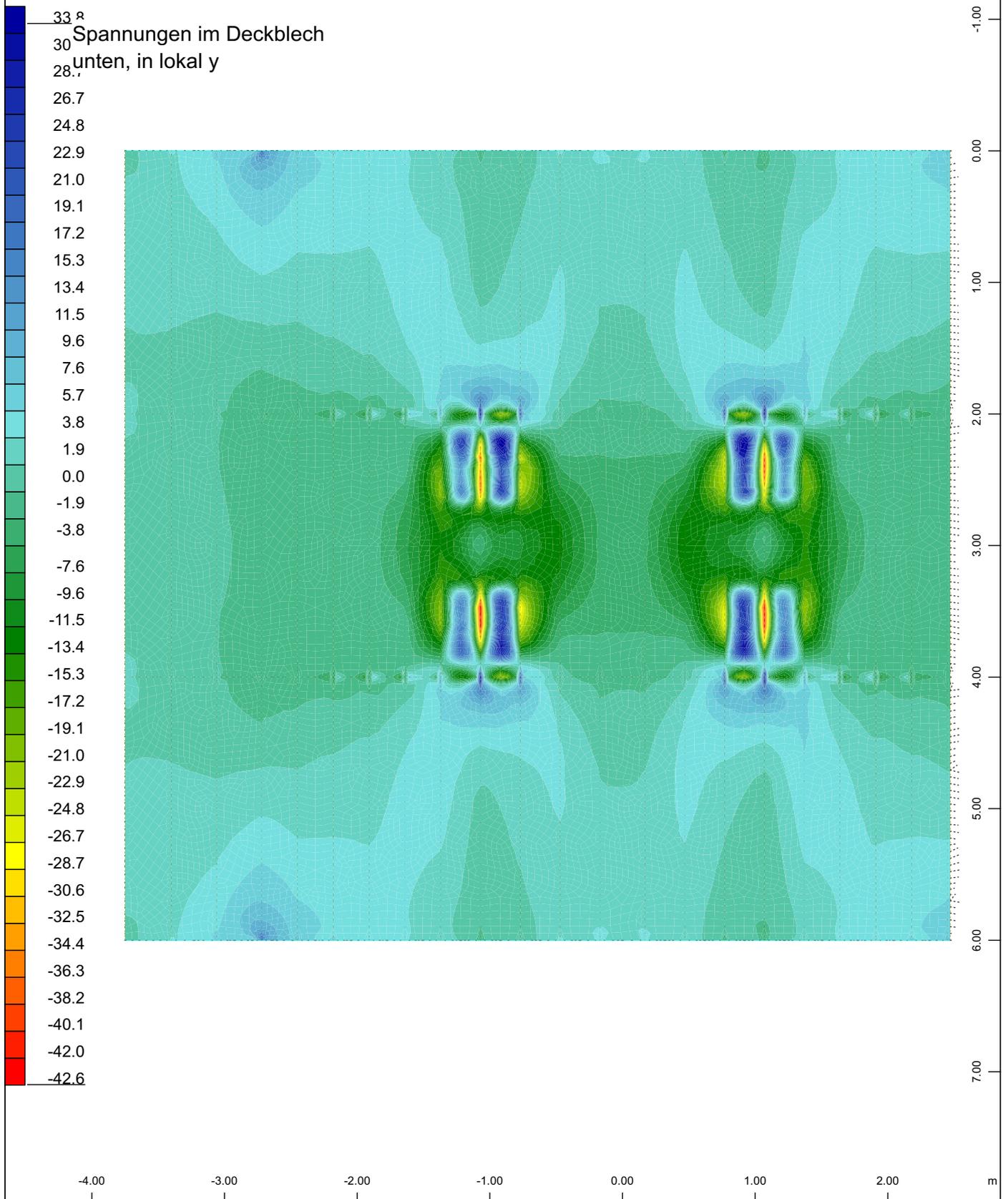


Systemausschnitt Gruppe 6
Nichtlineare Spannung unten in lokal x aus den Gauss-Punkten
Ermüdungslastmodell 3 voll , von -103.4 bis 86.9 Stufen 4.76 MPa

↔, nichtlinearer Lastfall 5

M 1 : 41

Beimerstetten



Systemausschnitt Gruppe 6
Nichtlineare Spannung unten in lokal y aus den Gauss-Punkten
Ermüdungslastmodell 3 voll , von -42.6 bis 33.8 Stufen 1.91 MPa

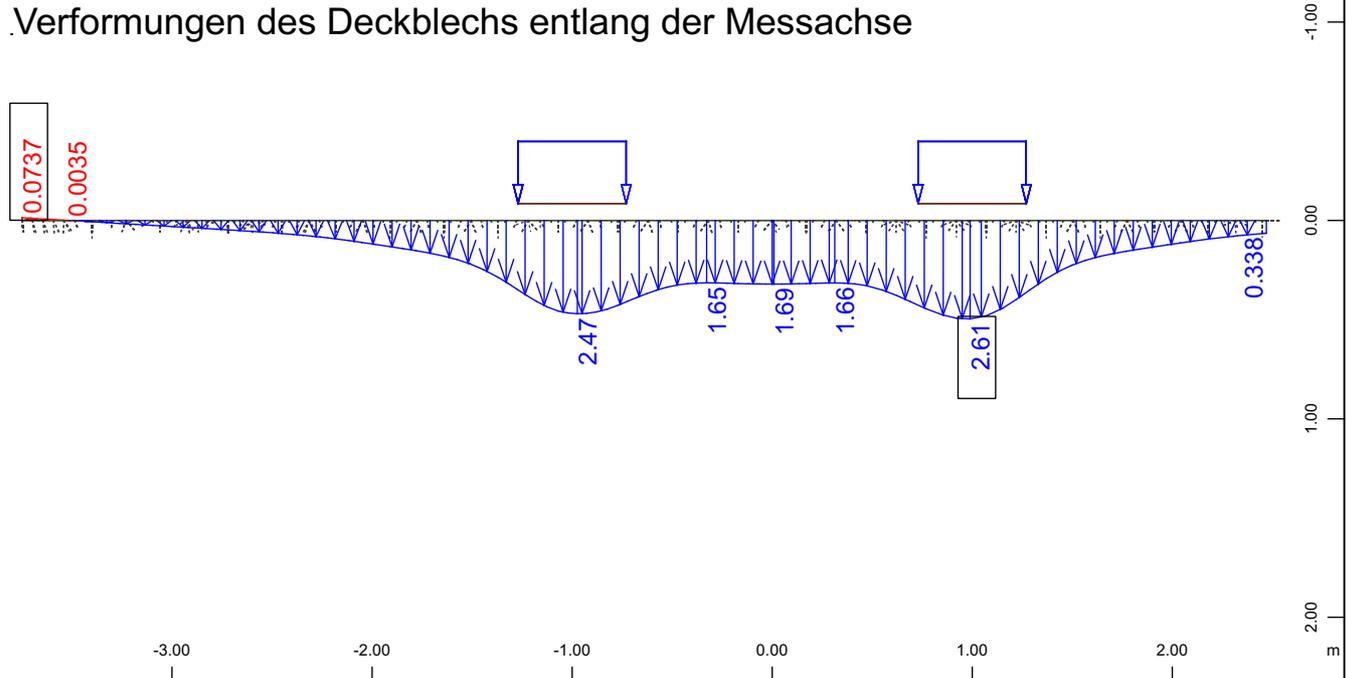
↕ , nichtlinearer Lastfall 5

M 1 : 41

Beimerstetten

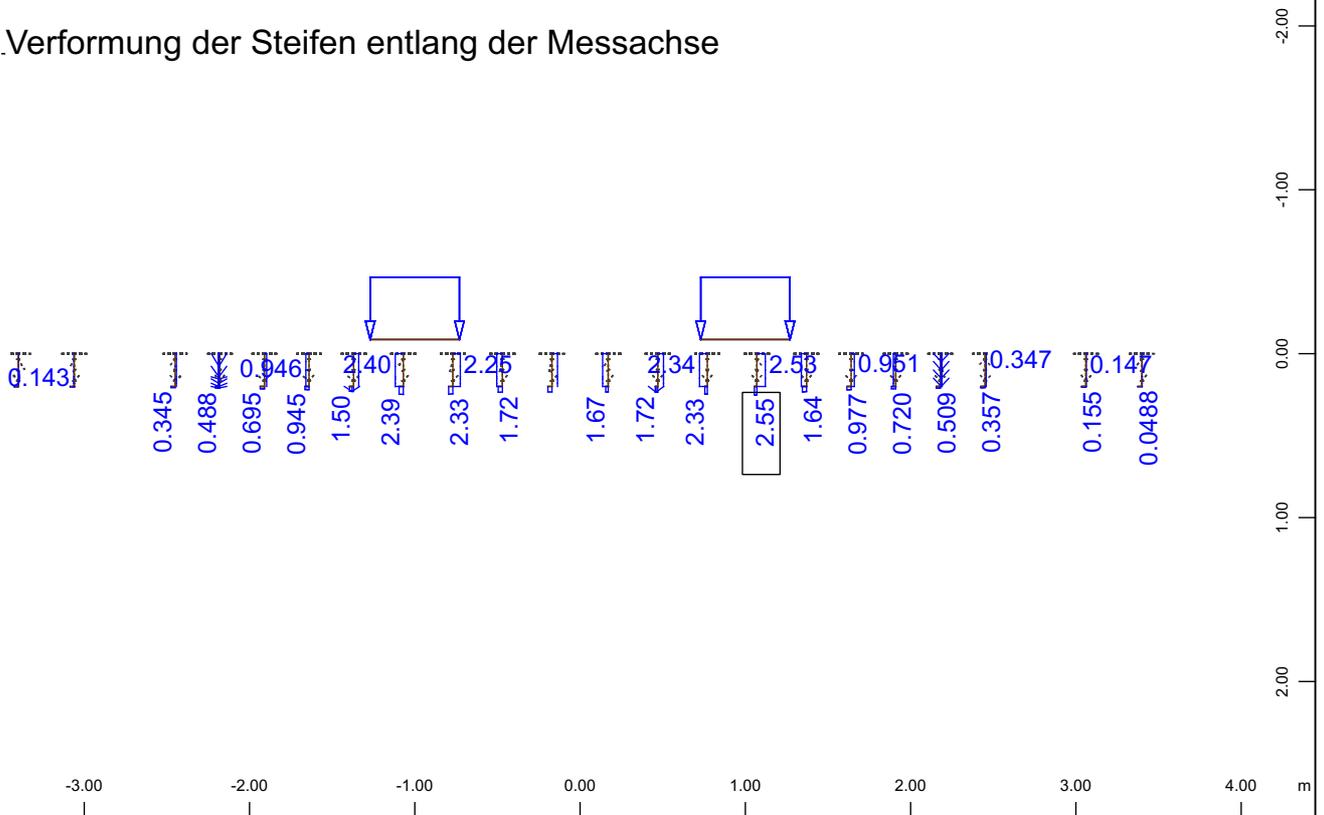
Berechnungsergebnisse der Vergleichslast (Ermüdungslastmodell 3) Asphaltbelag bei +50°C

Verformungen des Deckblechs entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 6
 Knotenverschiebung in global Z \updownarrow , nichtlinearer Lastfall 16 Ermüdungslastmodell 3 voll, 1
 cm im Raum = 2.00 mm \Rightarrow (Min=-0.0737) (Max=2.61) M 1 : 38

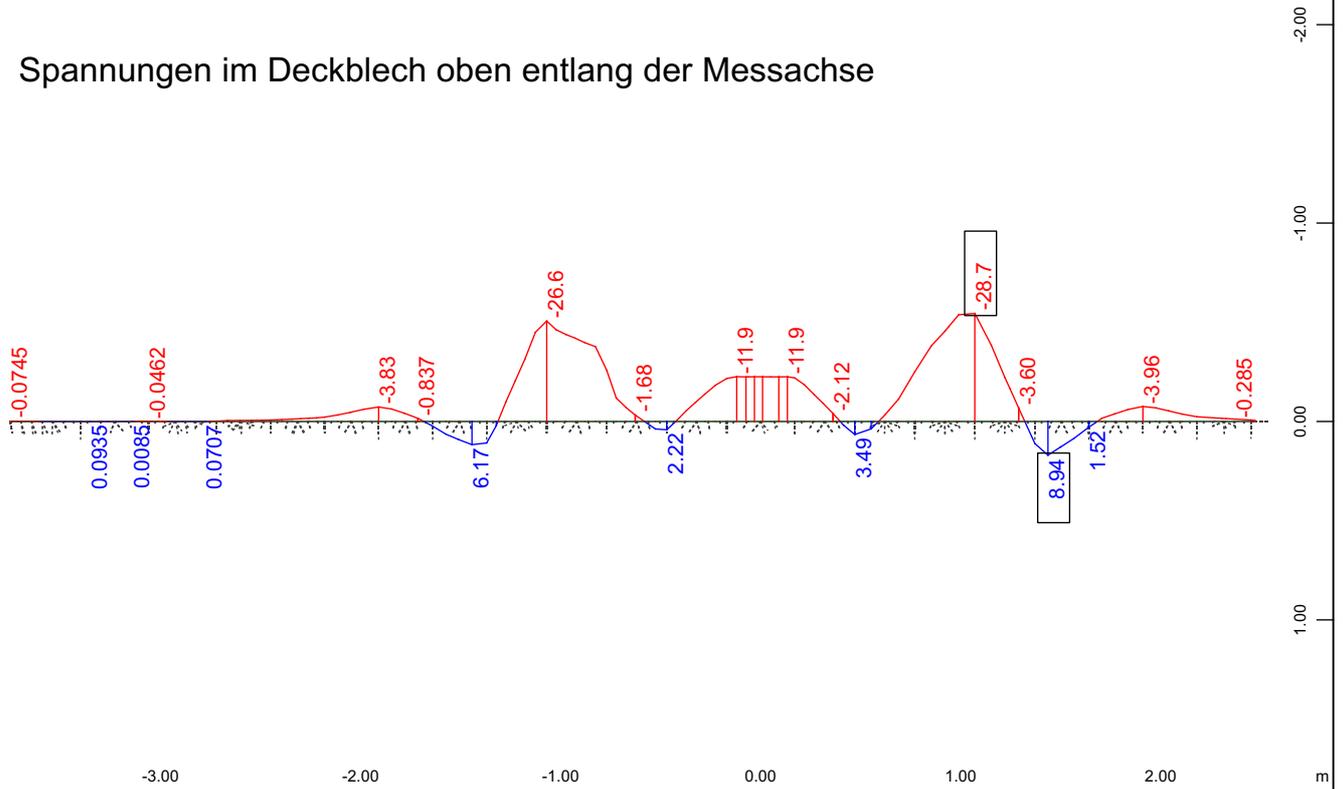
Verformung der Steifen entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 4
 Knotenverschiebung in global Z \updownarrow , nichtlinearer Lastfall 16 Ermüdungslastmodell 3 voll, 1
 cm im Raum = 22.9 mm \Rightarrow (Max=2.55) M 1 : 46

Beimerstetten

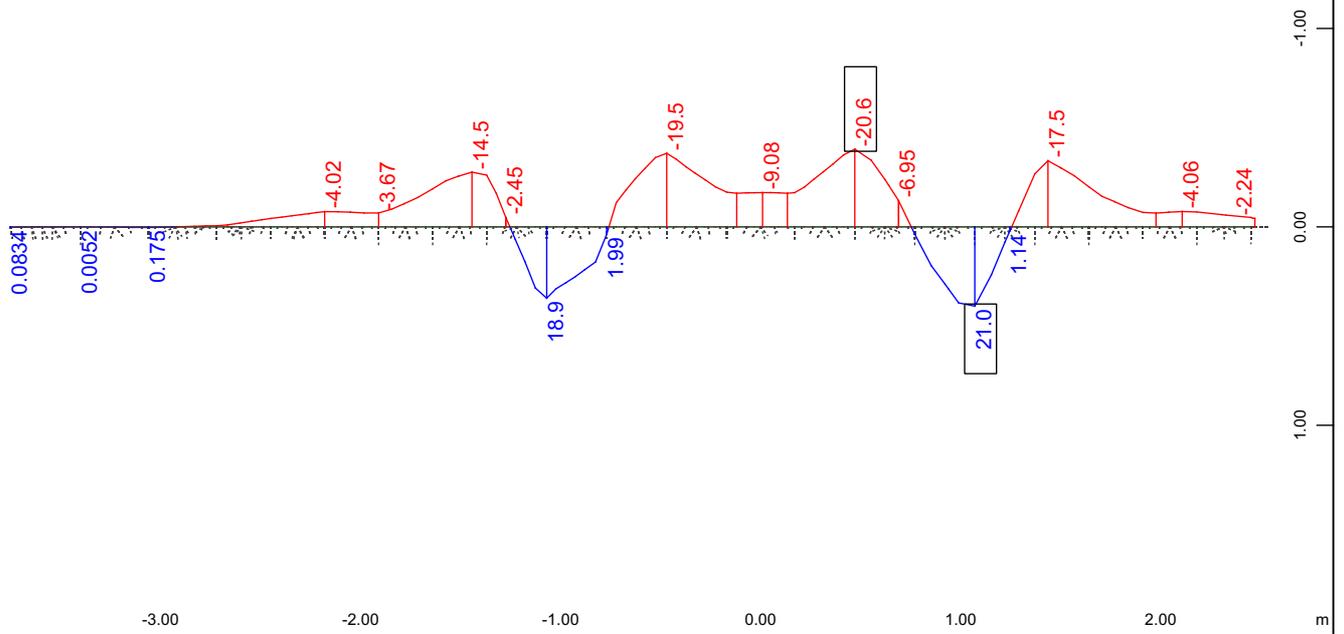
Spannungen im Deckblech oben entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 6
 Spannung oben in lokal x aus der Elementmitte ↔, nichtlinearer Lastfall 16
 Ermüdungslastmodell 3 voll , 1 cm im Raum = 20.0 MPa (Min=-28.7) (Max=8.94)

M 1 : 38

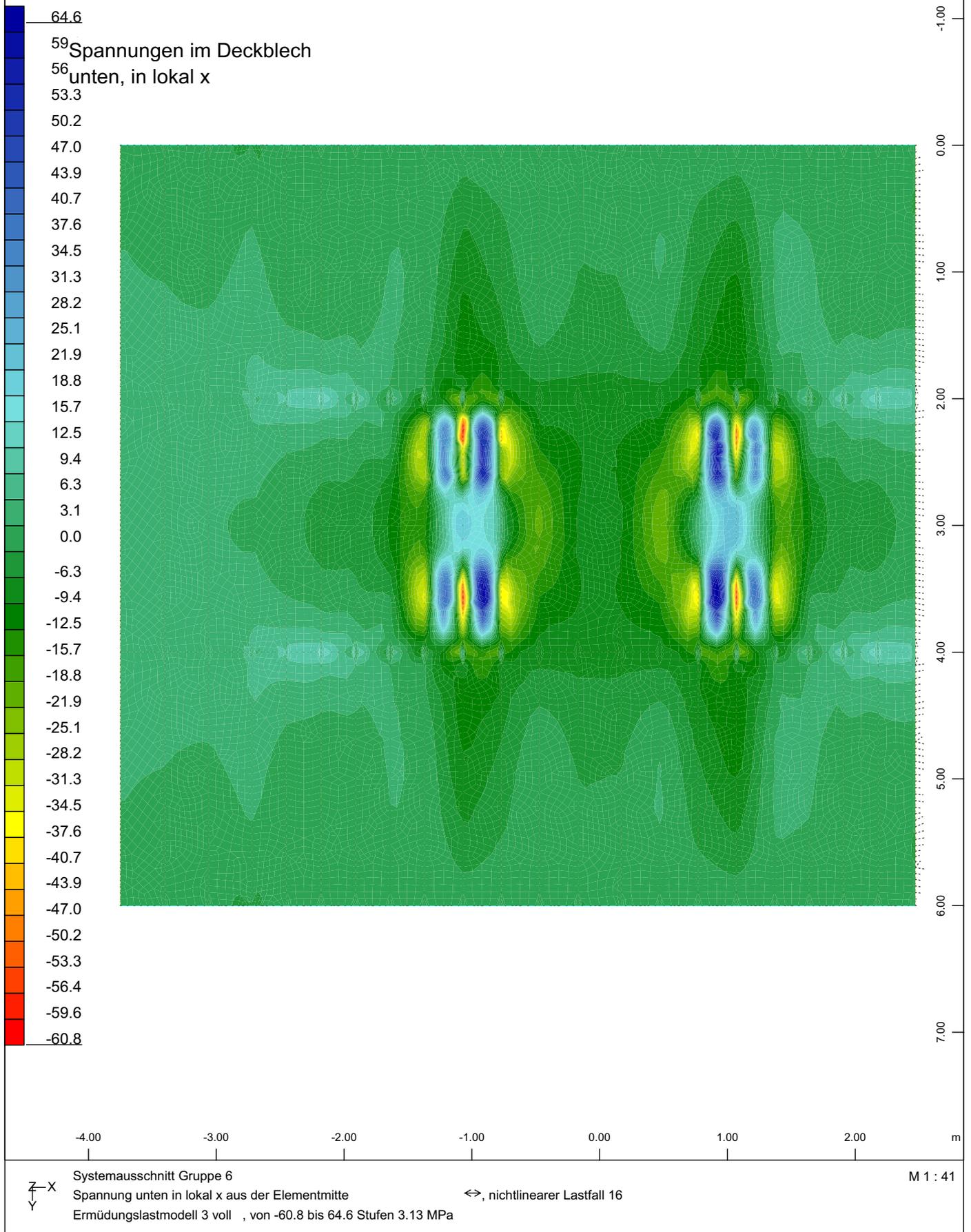
Spannungen im Deckblech unten entlang der Messachse



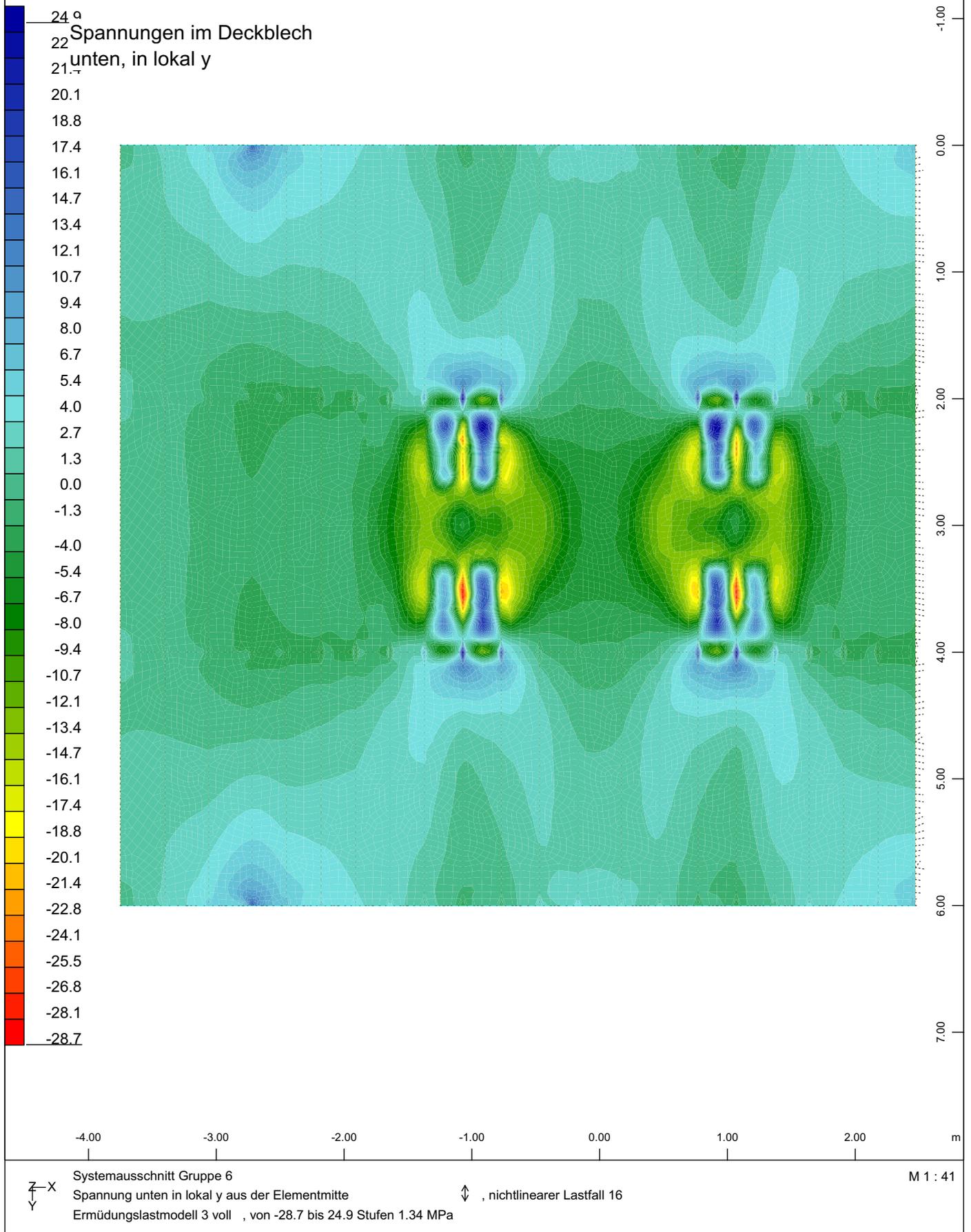
Systemausschnitt Gruppe 6
 Spannung unten in lokal x aus der Elementmitte ↔, nichtlinearer Lastfall 16
 Ermüdungslastmodell 3 voll , 1 cm im Raum = 20.0 MPa (Min=-20.6) (Max=21.0)

M 1 : 38

Beimerstetten



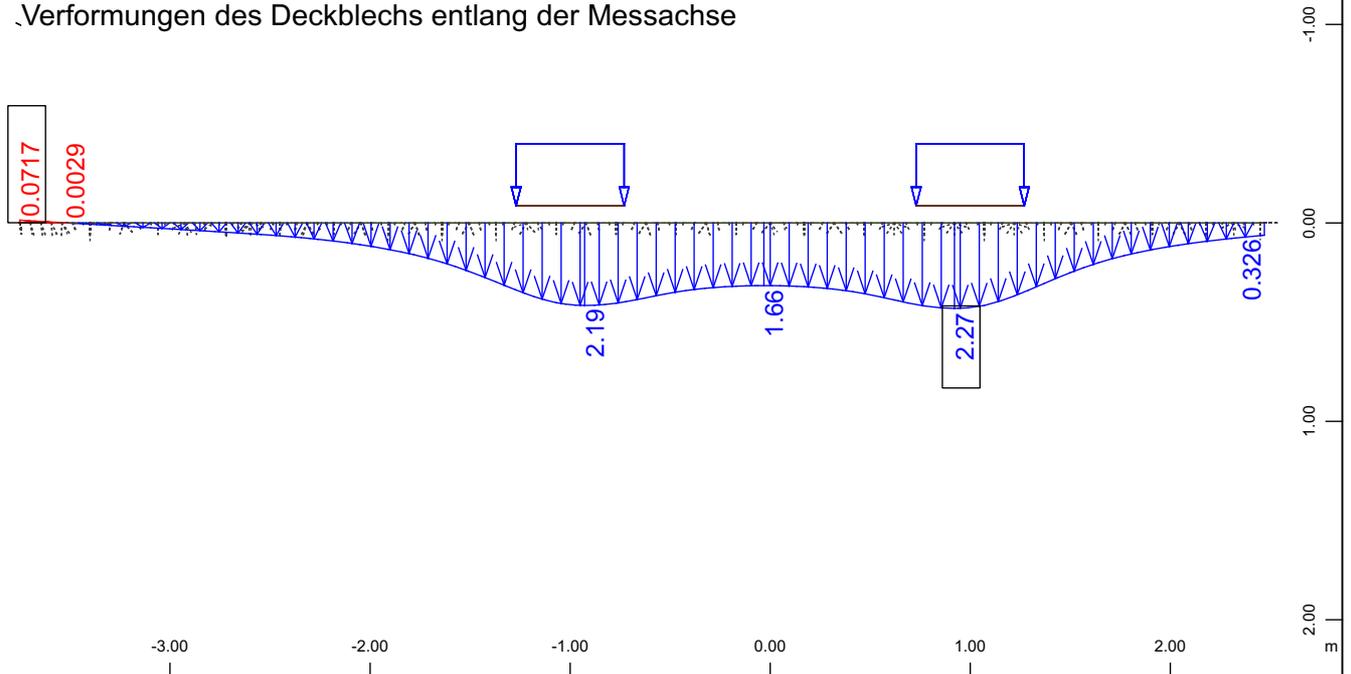
Beimerstetten



Beimerstetten

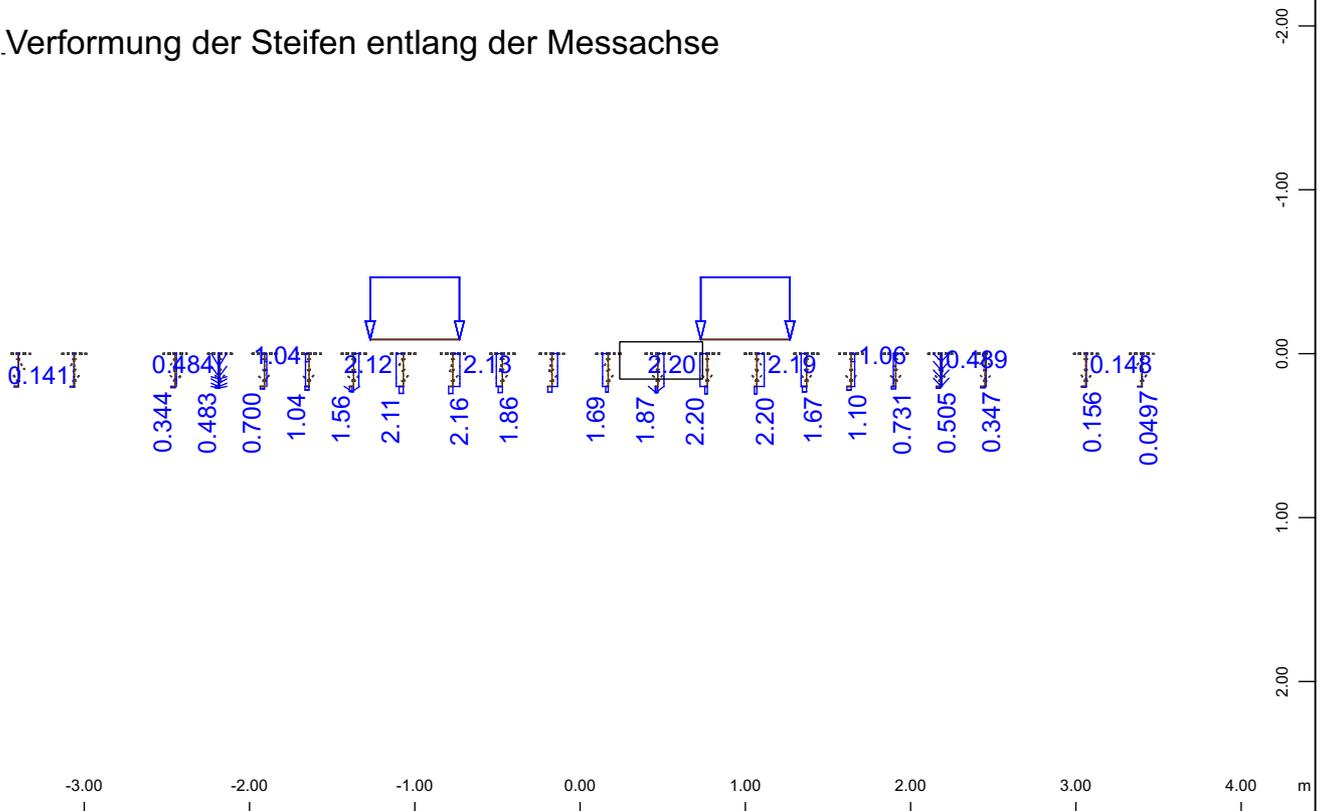
Berechnungsergebnisse der Vergleichslast (Ermüdungslastmodell 3) Asphaltbelag bei -10°C

Verformungen des Deckblechs entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 6
 Knotenverschiebung in global Z
 cm im Raum = 2.00 mm \Rightarrow (Min=-0.0717) (Max=2.27)
 , nichtlinearer Lastfall 16 Ermüdungslastmodell 3 voll , 1
 M 1 : 38

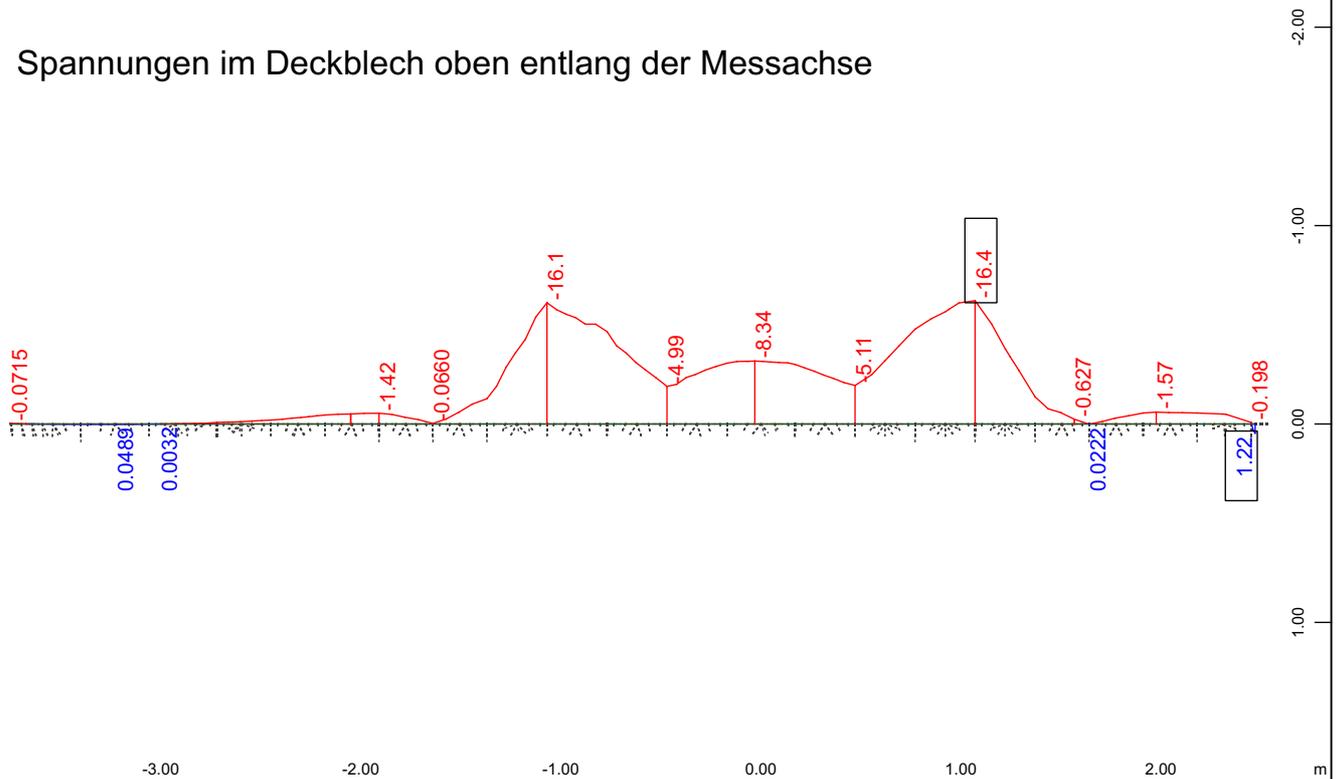
Verformung der Steifen entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 4
 Knotenverschiebung in global Z
 cm im Raum = 22.9 mm \Rightarrow (Max=2.20)
 , nichtlinearer Lastfall 16 Ermüdungslastmodell 3 voll , 1
 M 1 : 46

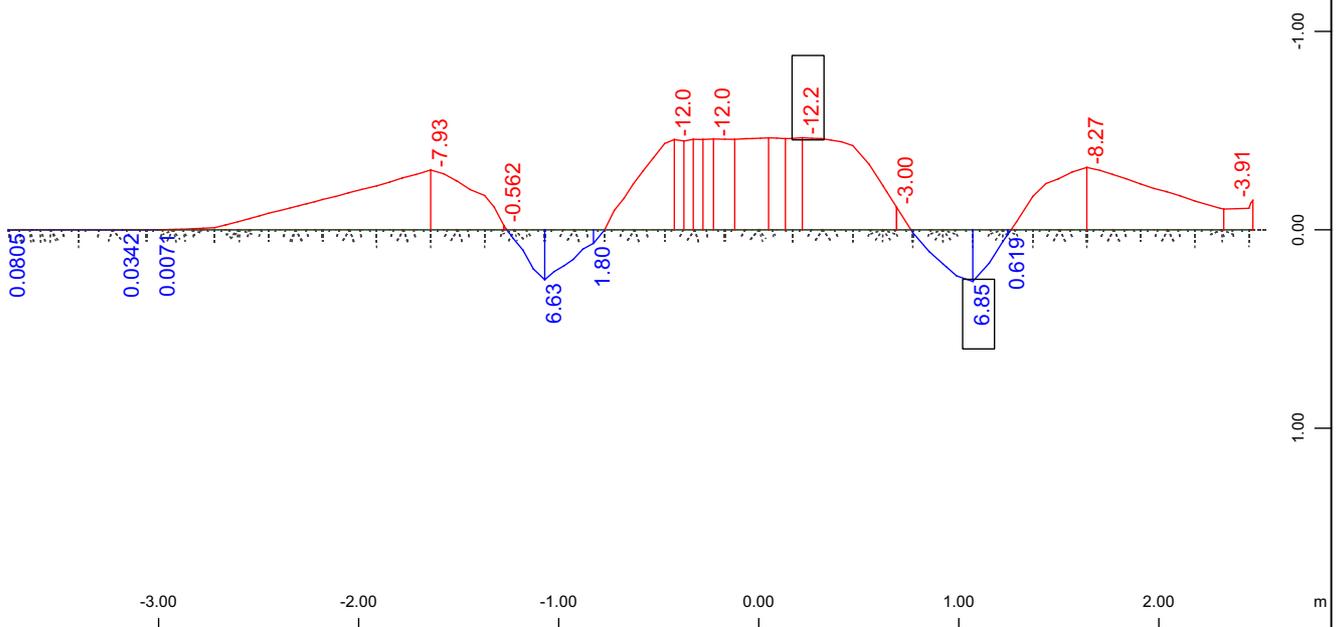
Beimerstetten

Spannungen im Deckblech oben entlang der Messachse



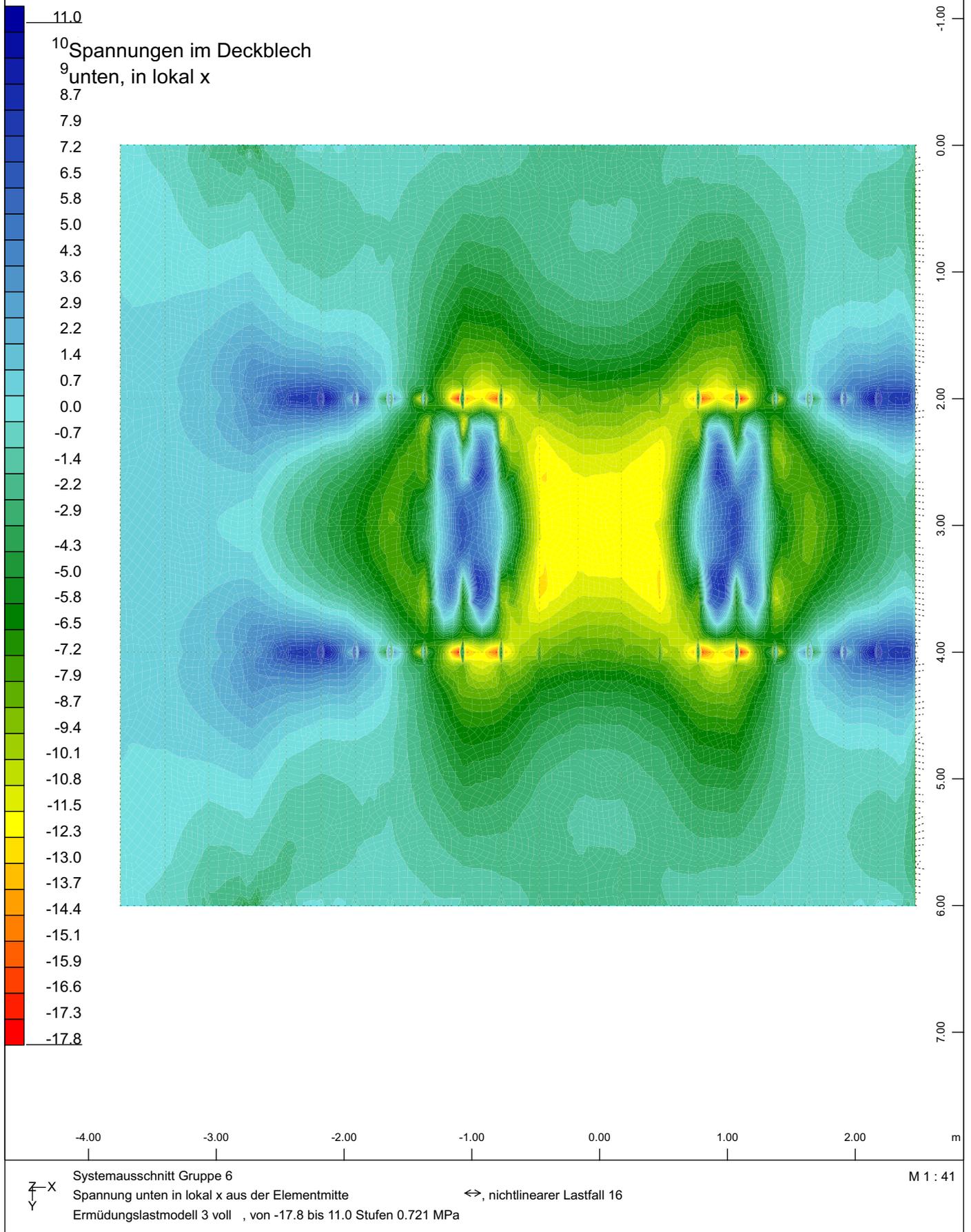
Systemausschnitt Gruppe 6
 Spannung oben in lokal x aus der Elementmitte ↔, nichtlinearer Lastfall 16
 Ermüdungslastmodell 3 voll , 1 cm im Raum = 10.0 MPa (Min=-16.4) (Max=1.22) M 1 : 38

Spannungen im Deckblech unten entlang der Messachse

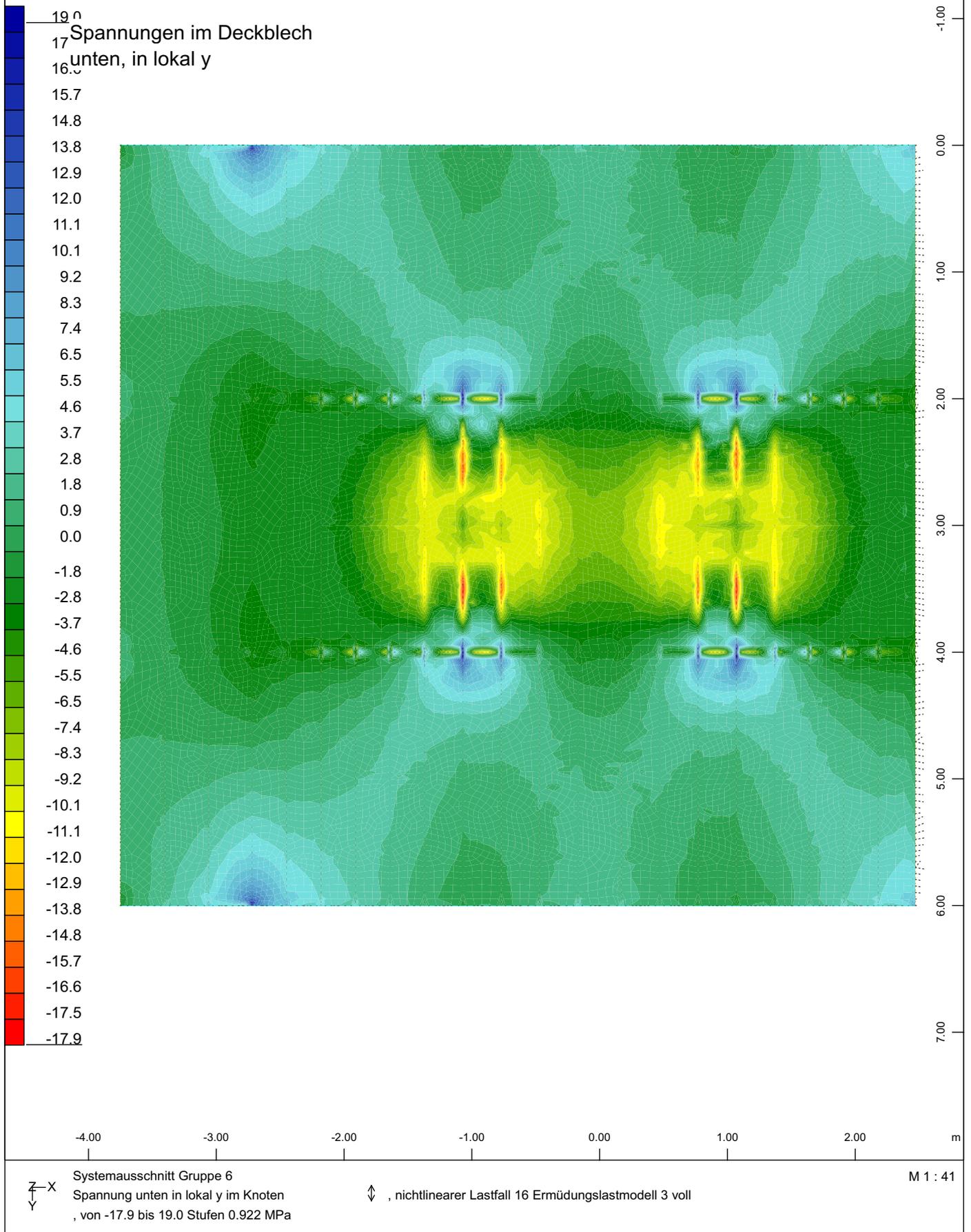


Systemausschnitt Gruppe 6
 Spannung unten in lokal x aus der Elementmitte ↔, nichtlinearer Lastfall 16
 Ermüdungslastmodell 3 voll , 1 cm im Raum = 10.0 MPa (Min=-12.2) (Max=6.85) M 1 : 38

Beimerstetten



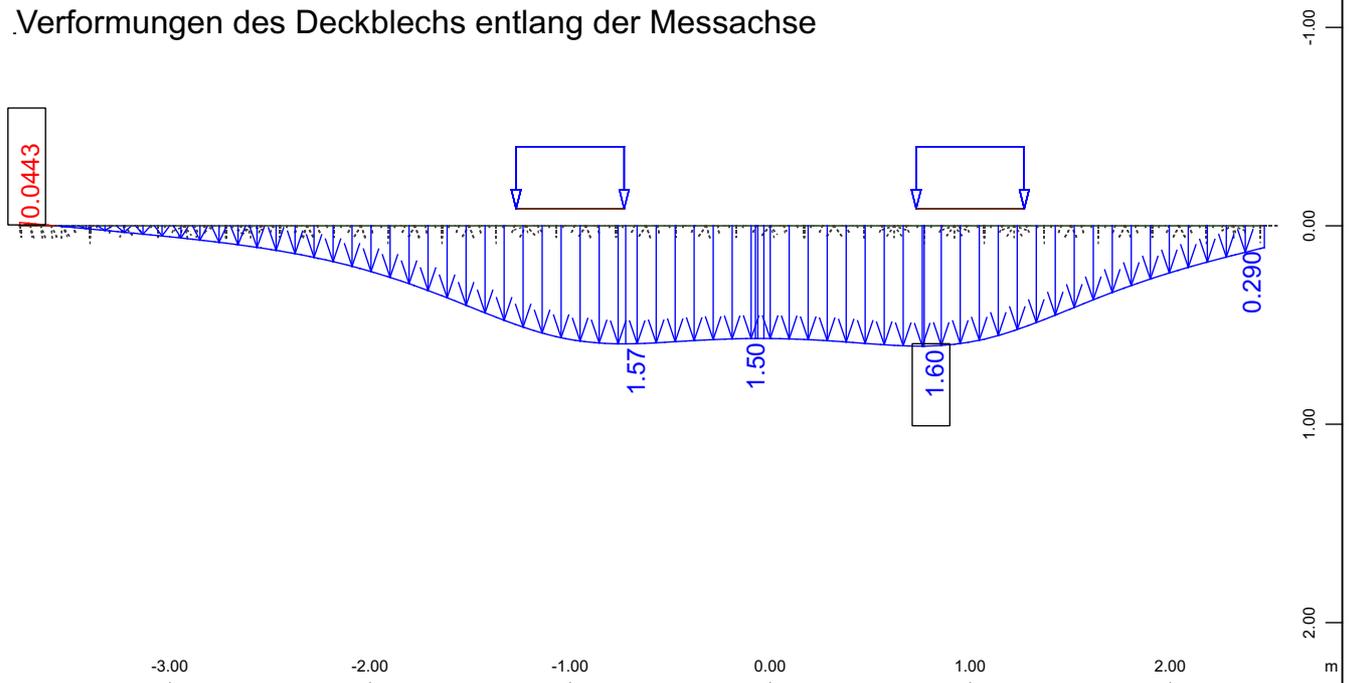
Beimerstetten



Beimerstetten

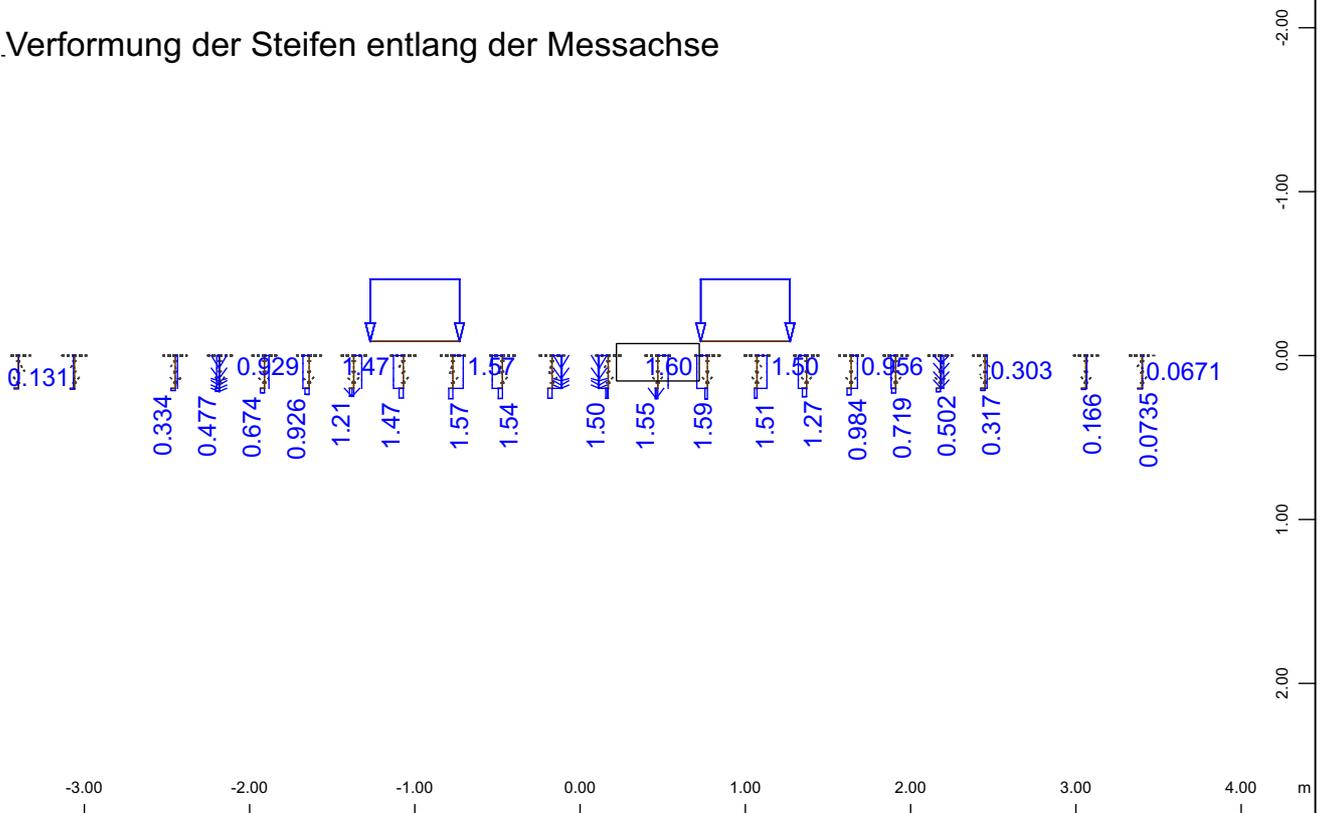
Berechnungsergebnisse der Vergleichslast (Ermüdungslastmodell 3) Fahrbahnbelag: Beton

Verformungen des Deckblechs entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 6
 Knotenverschiebung in global Z
 cm im Raum = 1.00 mm \Rightarrow (Min=-0.0443) (Max=1.60) \updownarrow , nichtlinearer Lastfall 16 Ermüdungslastmodell 3 voll, 1
 M 1 : 38

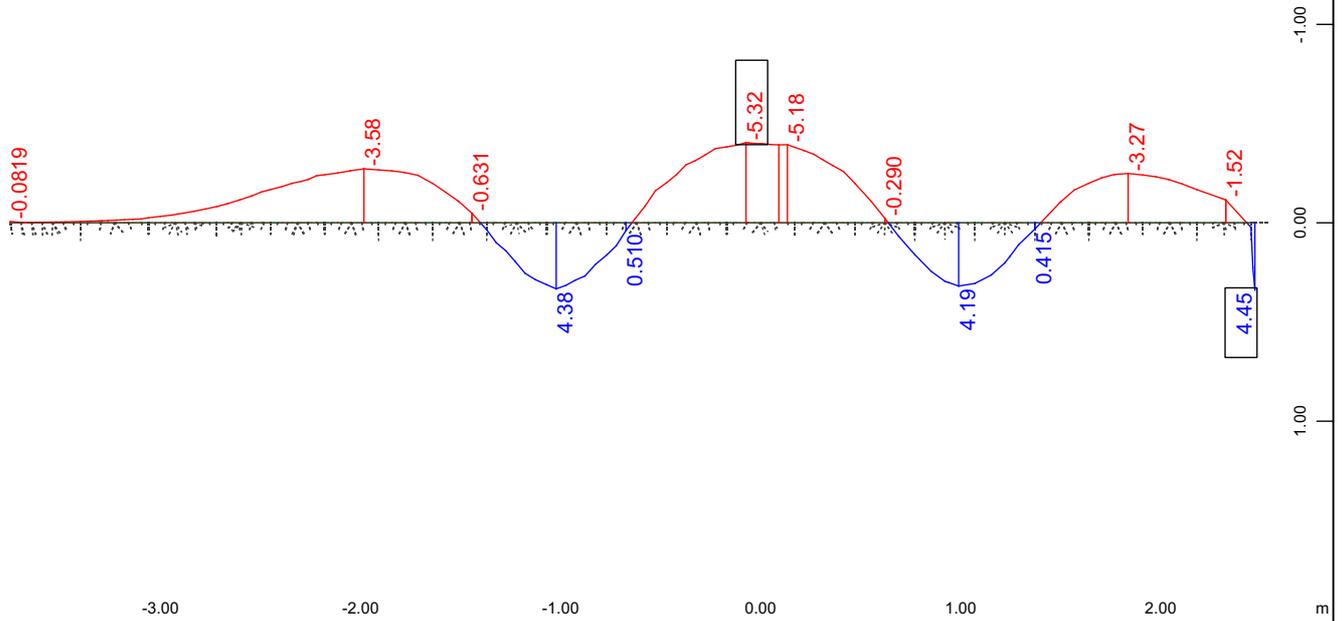
Verformung der Steifen entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 4
 Knotenverschiebung in global Z
 cm im Raum = 11.4 mm \Rightarrow (Max=1.60) \updownarrow , nichtlinearer Lastfall 16 Ermüdungslastmodell 3 voll, 1
 M 1 : 46

Beimerstetten

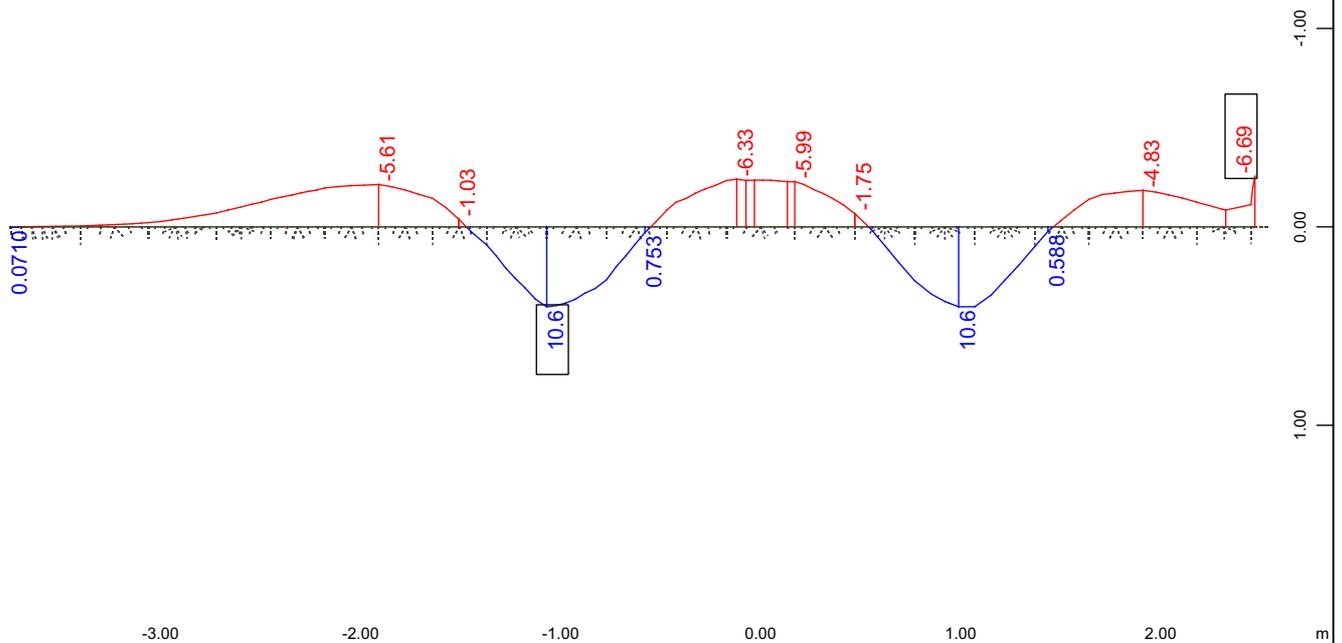
Spannungen im Deckblech oben entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 6
Spannung oben in lokal x aus der Elementmitte ↔, nichtlinearer Lastfall 16
Ermüdungslastmodell 3 voll , 1 cm im Raum = 5.00 MPa (Min=-5.32) (Max=4.45)

M 1 : 38

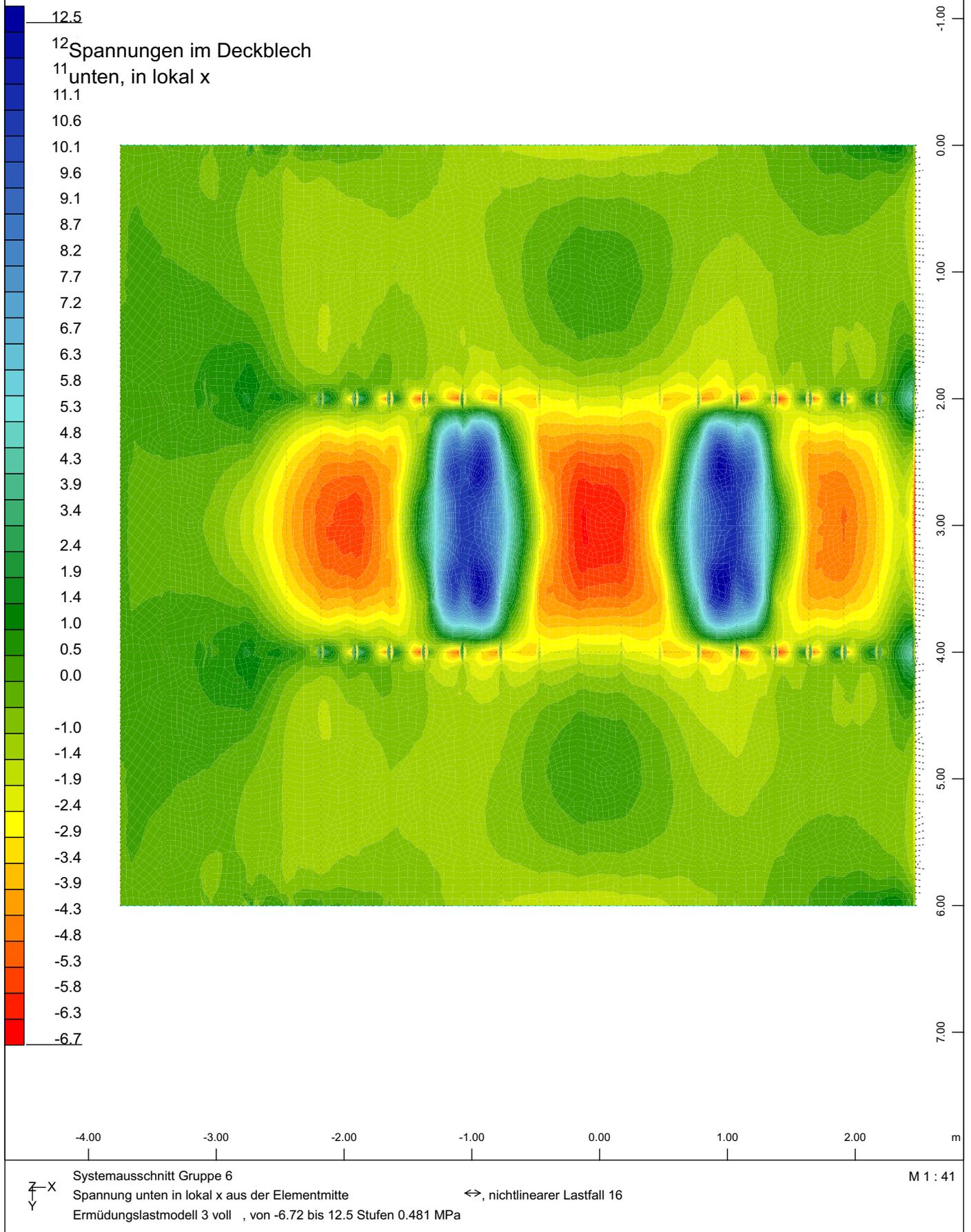
Spannungen im Deckblech unten entlang der Messachse



Systemausschnitt Gruppe 6
Spannung unten in lokal x aus der Elementmitte ↔, nichtlinearer Lastfall 16
Ermüdungslastmodell 3 voll , 1 cm im Raum = 10.0 MPa (Min=-6.69) (Max=10.6)

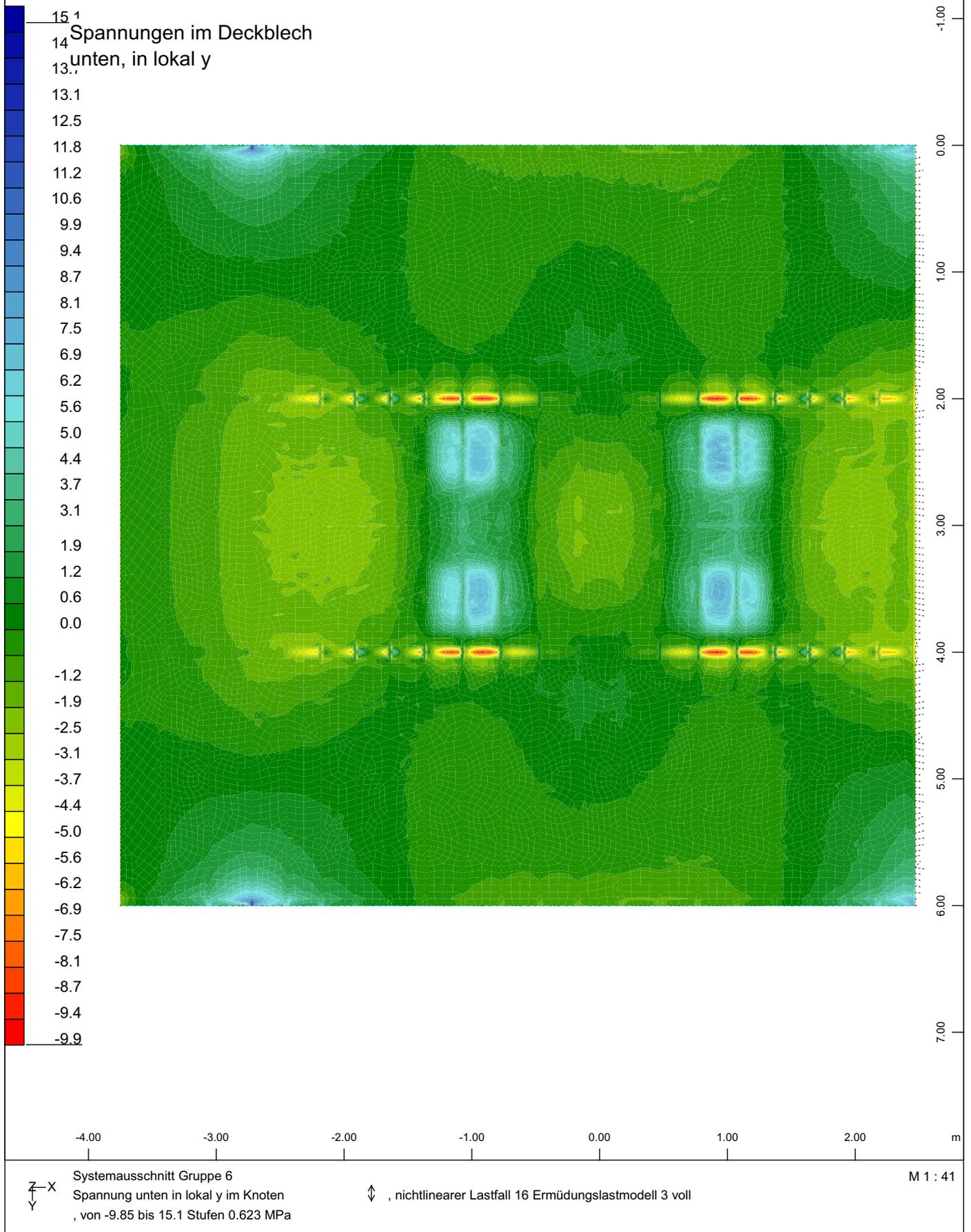
M 1 : 38

Beimerstetten



Beimerstetten

Faltwerkmodell Hohlkasten, Belag: Beton
Spannungen im Deckblech in lokal x
Ermüdungslastmodell 3

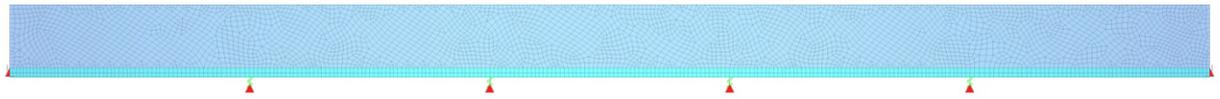


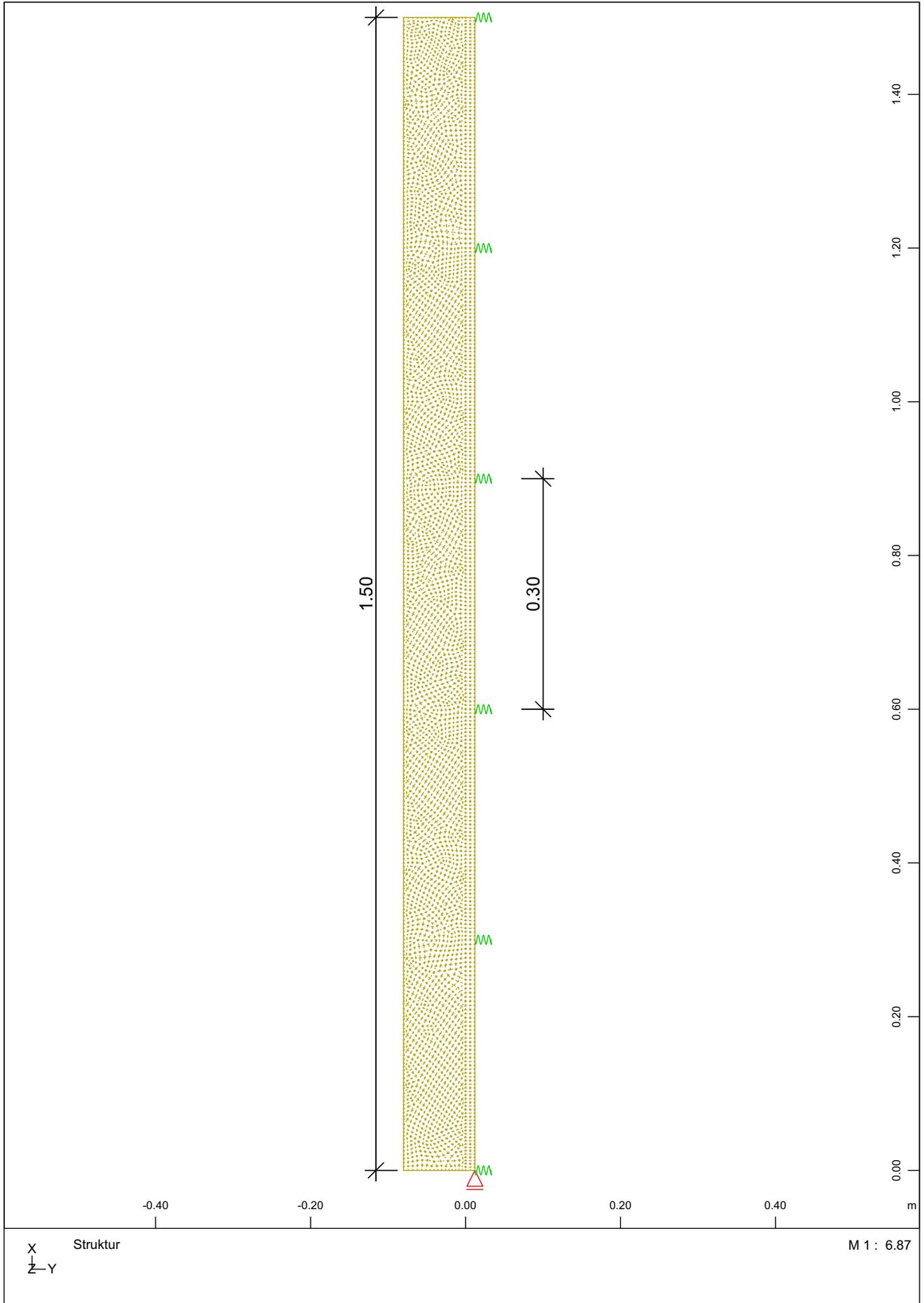
Beimerstetten

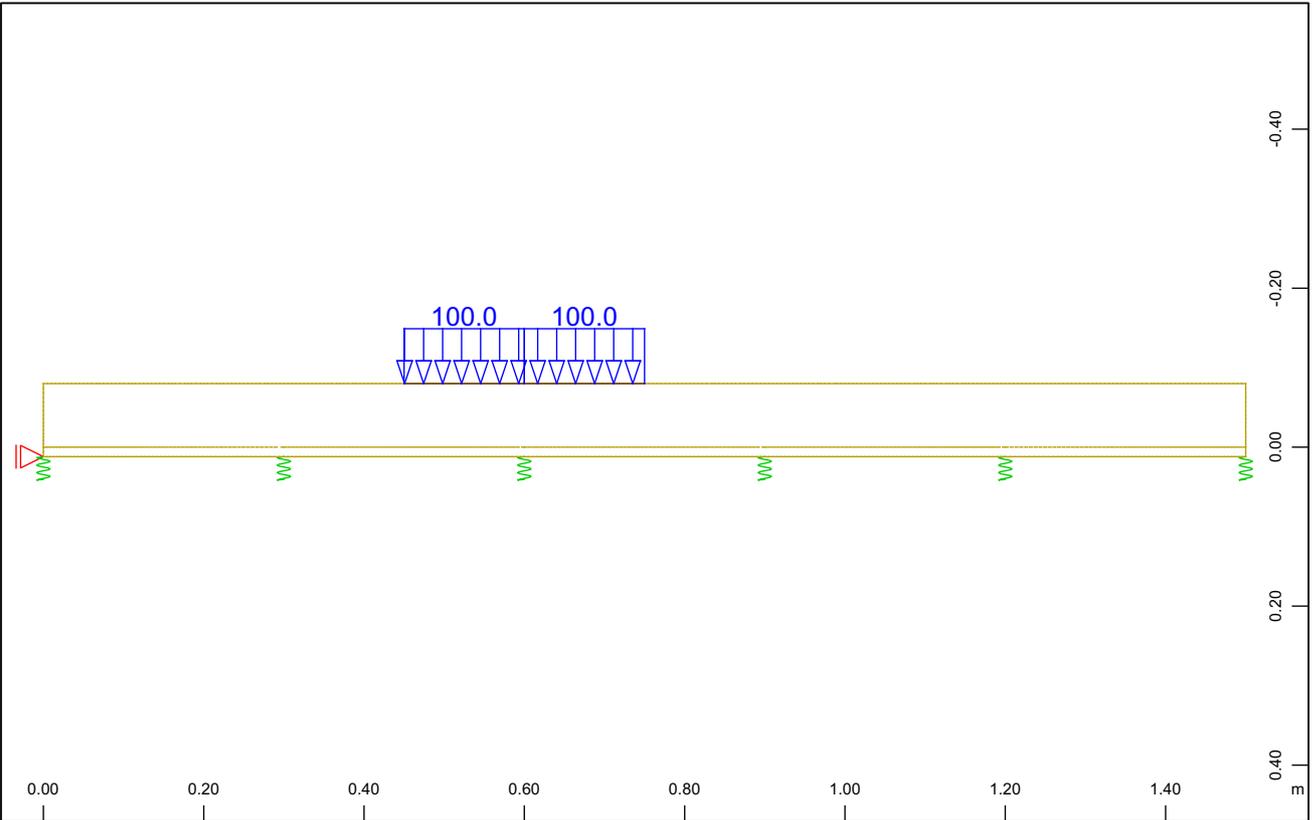
Faltwerkmodell Hohlkasten, Belag: Beton
Spannungen im Deckblech in lokal y
Ermüdungslastmodell 3

4. Querschnittsmodell Fahrbahn

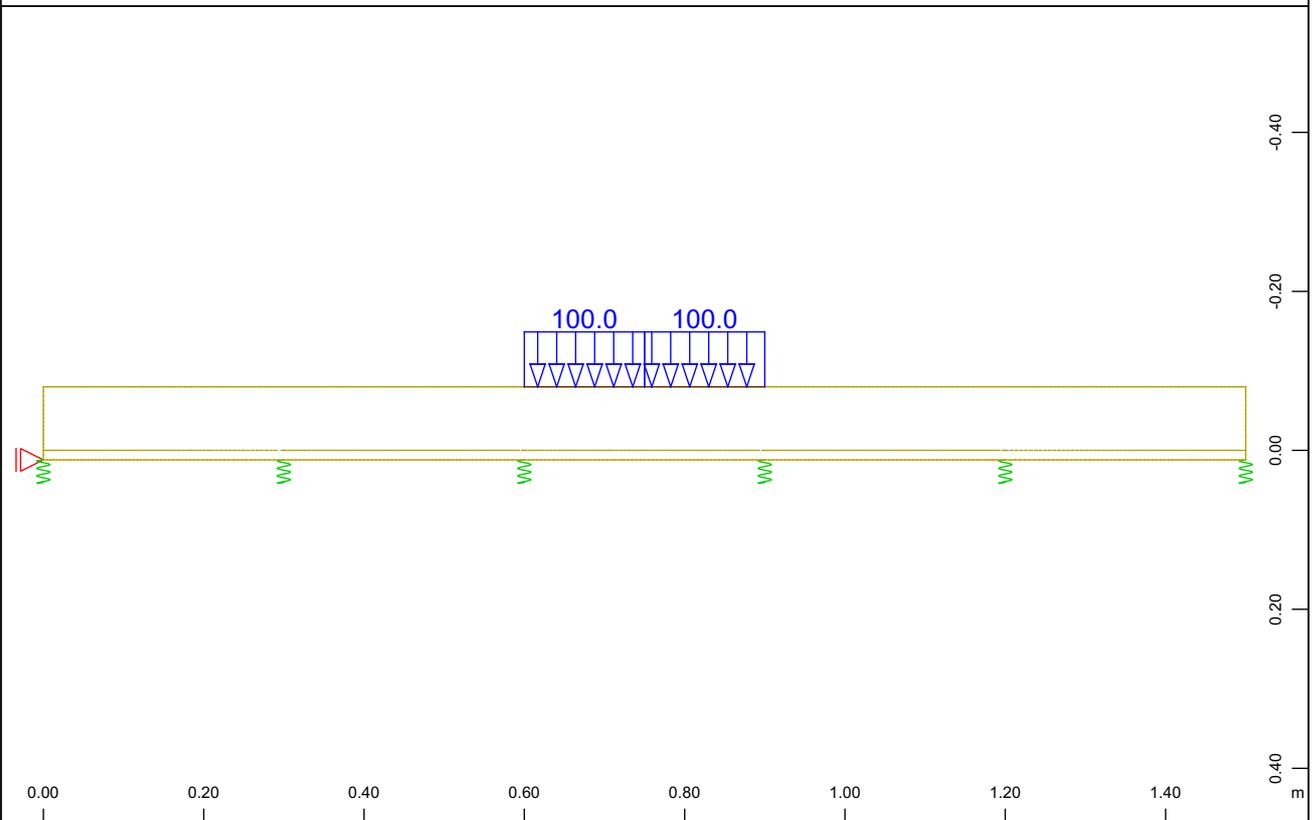
Elementart:	Flächenelemente	
Geometrie:	Länge	1,5 m
	Höhe	7,2 cm
	Abstand Federn	0,3 m
Belastung	Linienlast über Steife und zwischen Steifen	



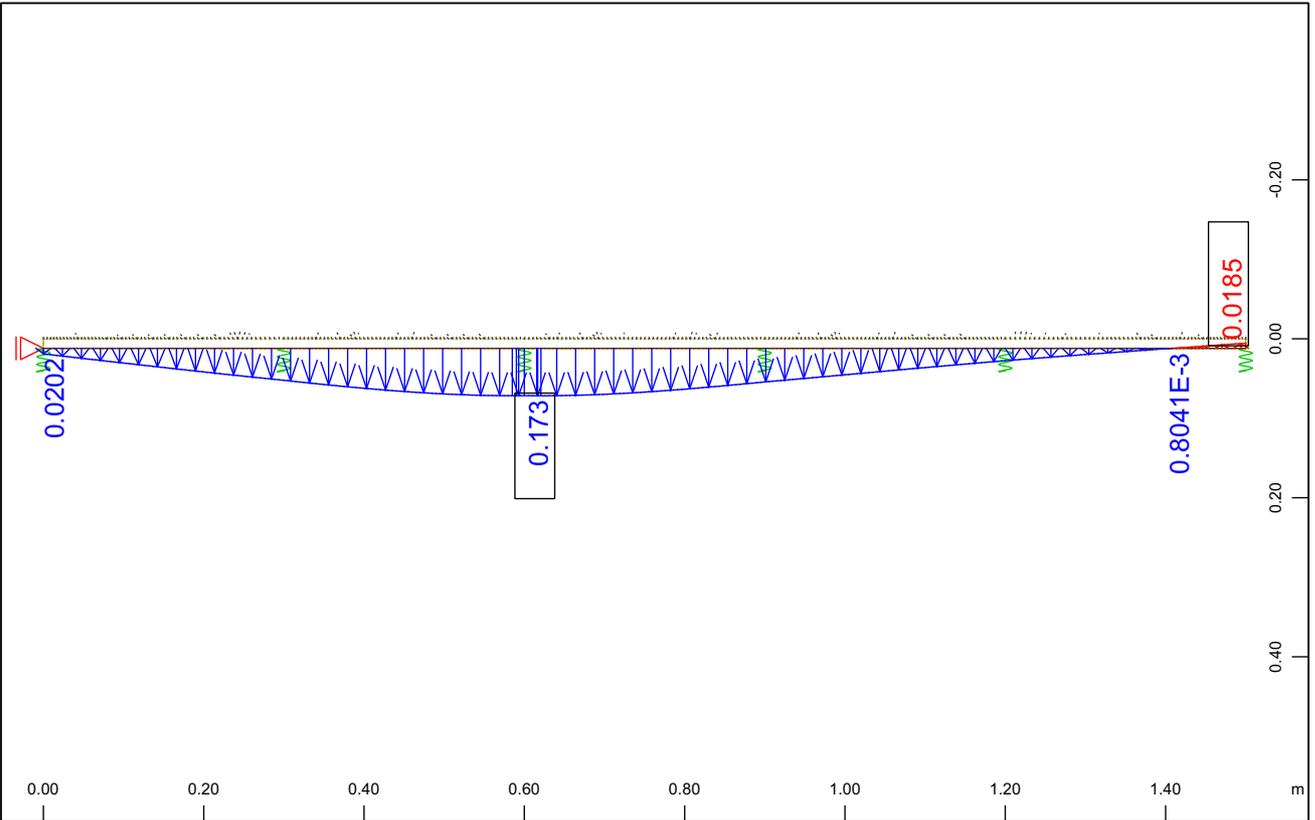




Alle Lasten, Lastfall 2 sum_PY= 30.00 kN , (1 cm im Raum = Unit) M 1 : 9.49
Freie Linienlast (Kraft) in global Y (Unit=137.5 kN/m)  (Max=100.0)



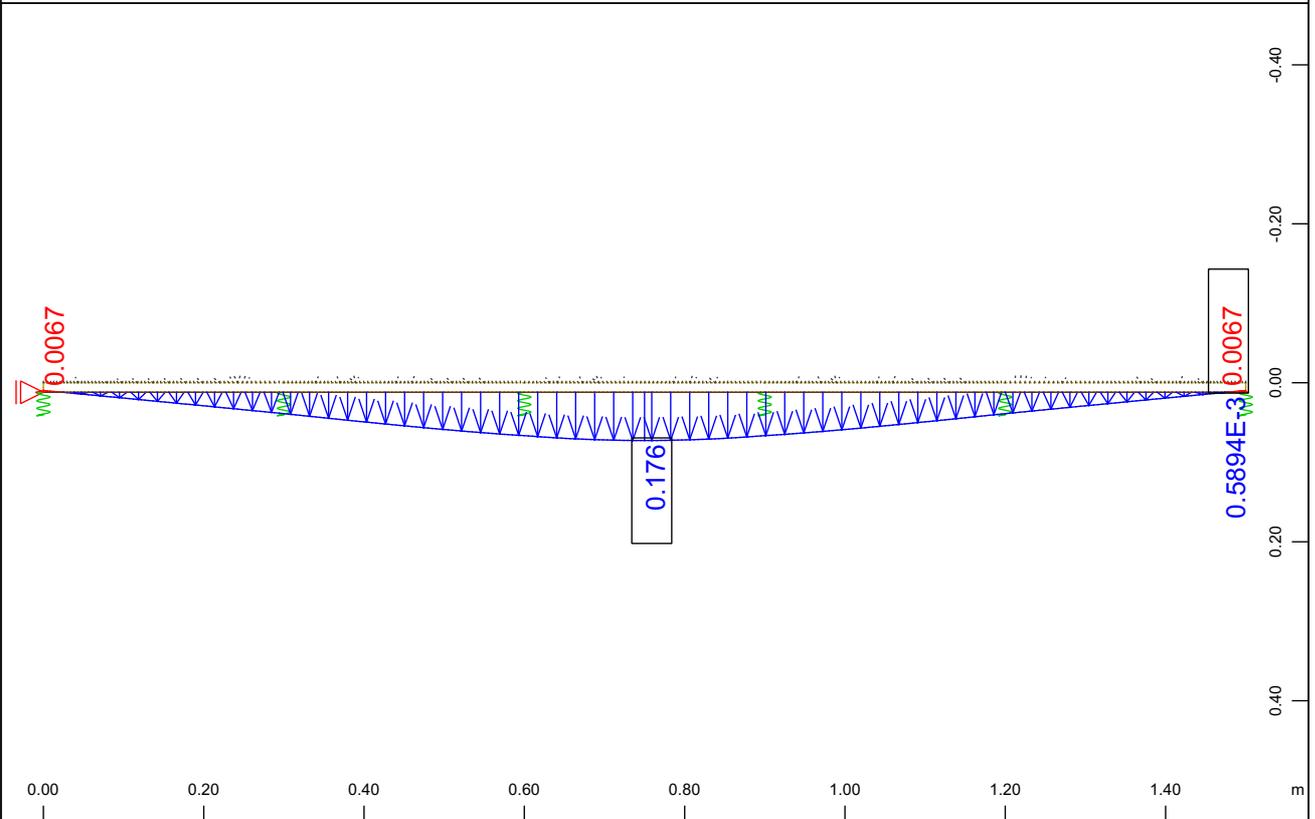
Alle Lasten, Lastfall 3 sum_PY= 30.00 kN , (1 cm im Raum = Unit) M 1 : 9.49
Freie Linienlast (Kraft) in global Y (Unit=137.5 kN/m)  (Max=100.0)



Systemausschnitt Gruppe 0 1
 Knotenverschiebung in global Y
 cm im Raum = 0.275 mm

↕ , Lastfall 2 sum_PY= 30.00 kN
 (Min=-0.0185) (Max=0.173)

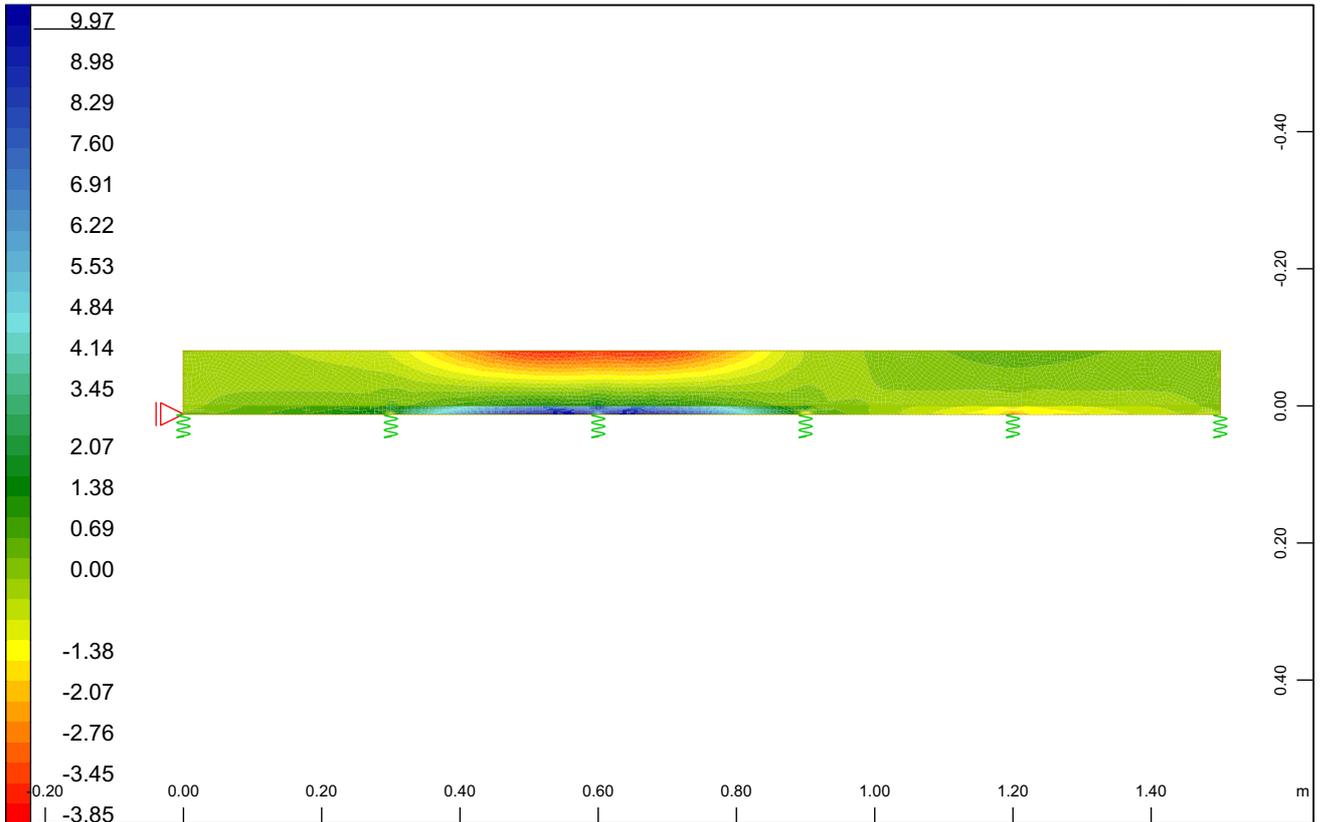
M 1 : 9.49



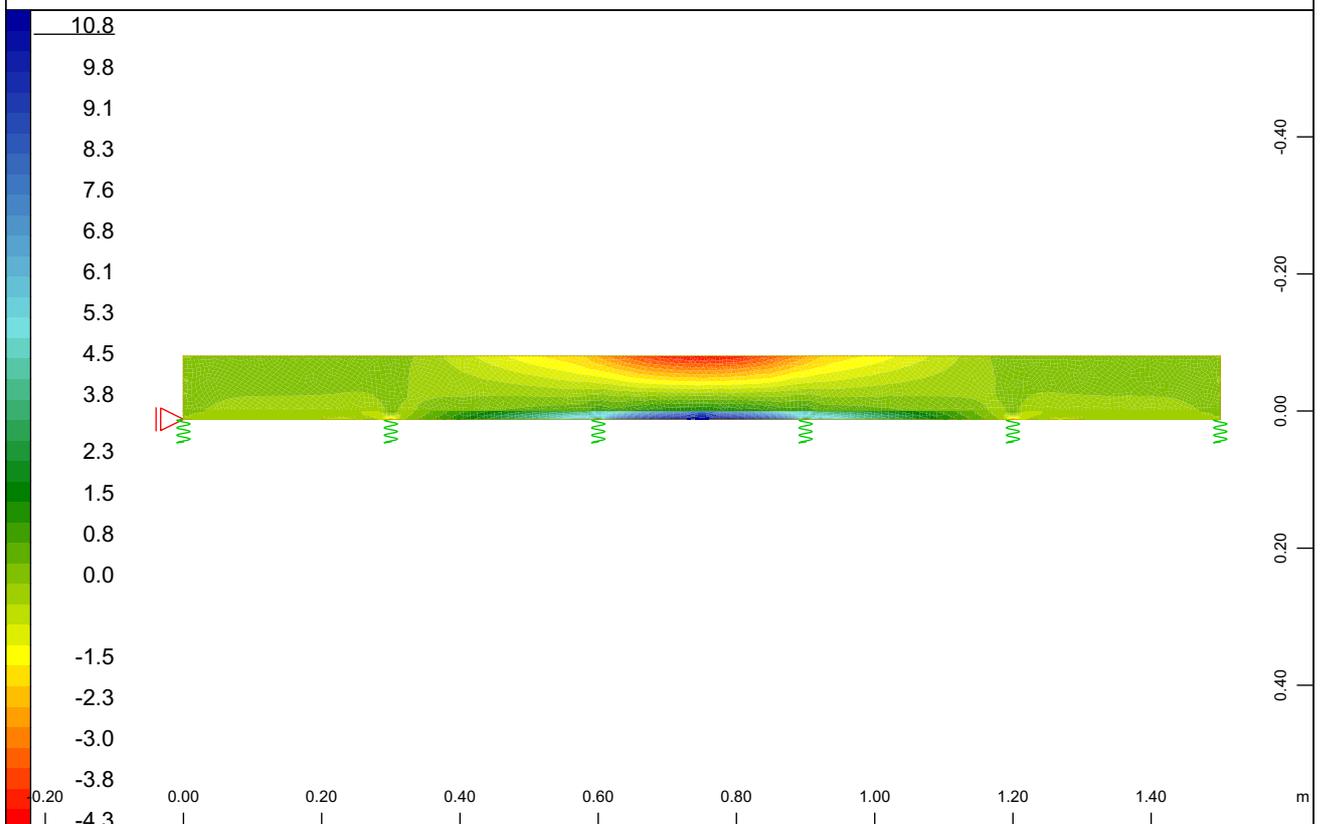
Systemausschnitt Gruppe 0 1
 Knotenverschiebung in global Y
 cm im Raum = 0.275 mm

↕ , Lastfall 3 sum_PY= 30.00 kN
 (Min=-0.0067) (Max=0.176)

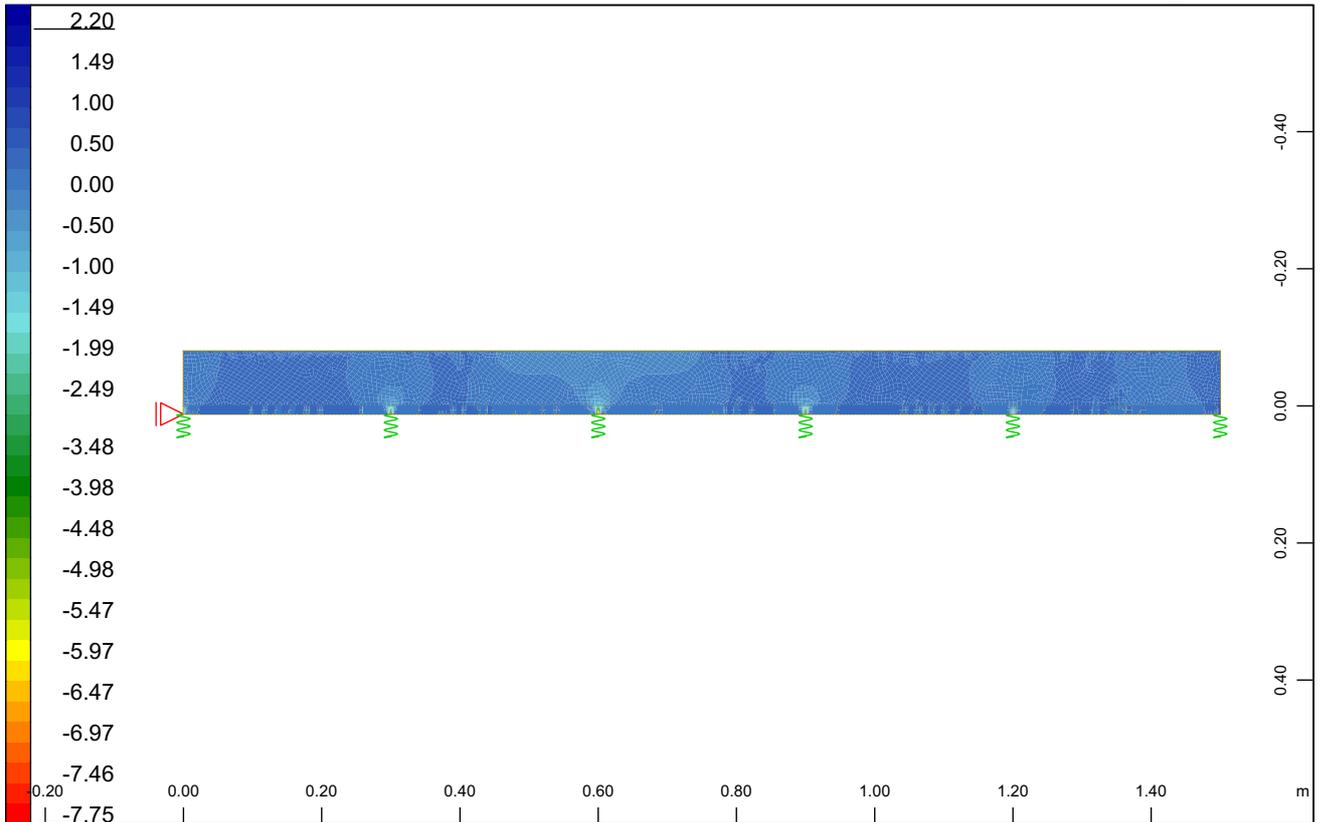
M 1 : 9.49



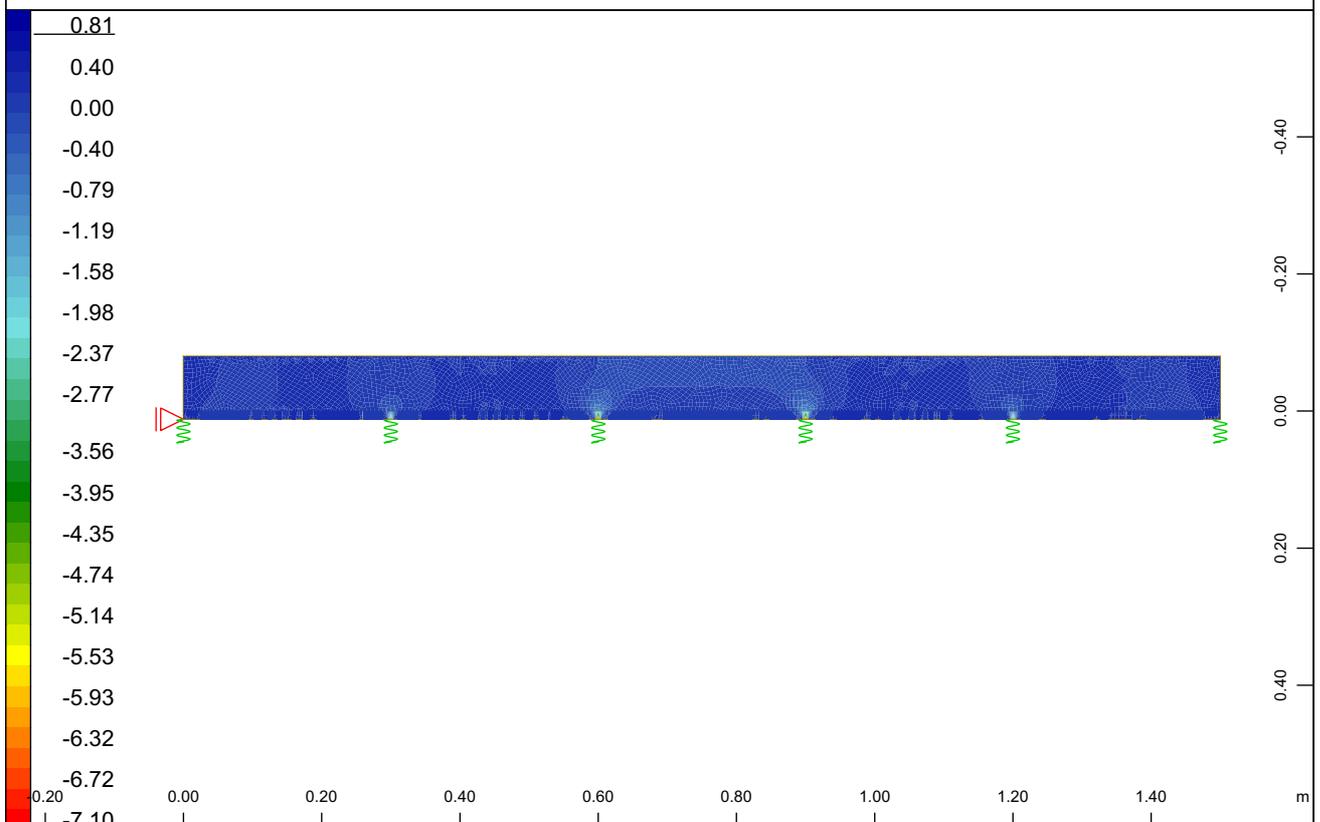
Spannung oben in lokal x im Knoten von -3.85 bis 9.97 Stufen 0.345 MPa
=>, Lastfall 2 sum_PY= 30.00 kN
M 1 : 11



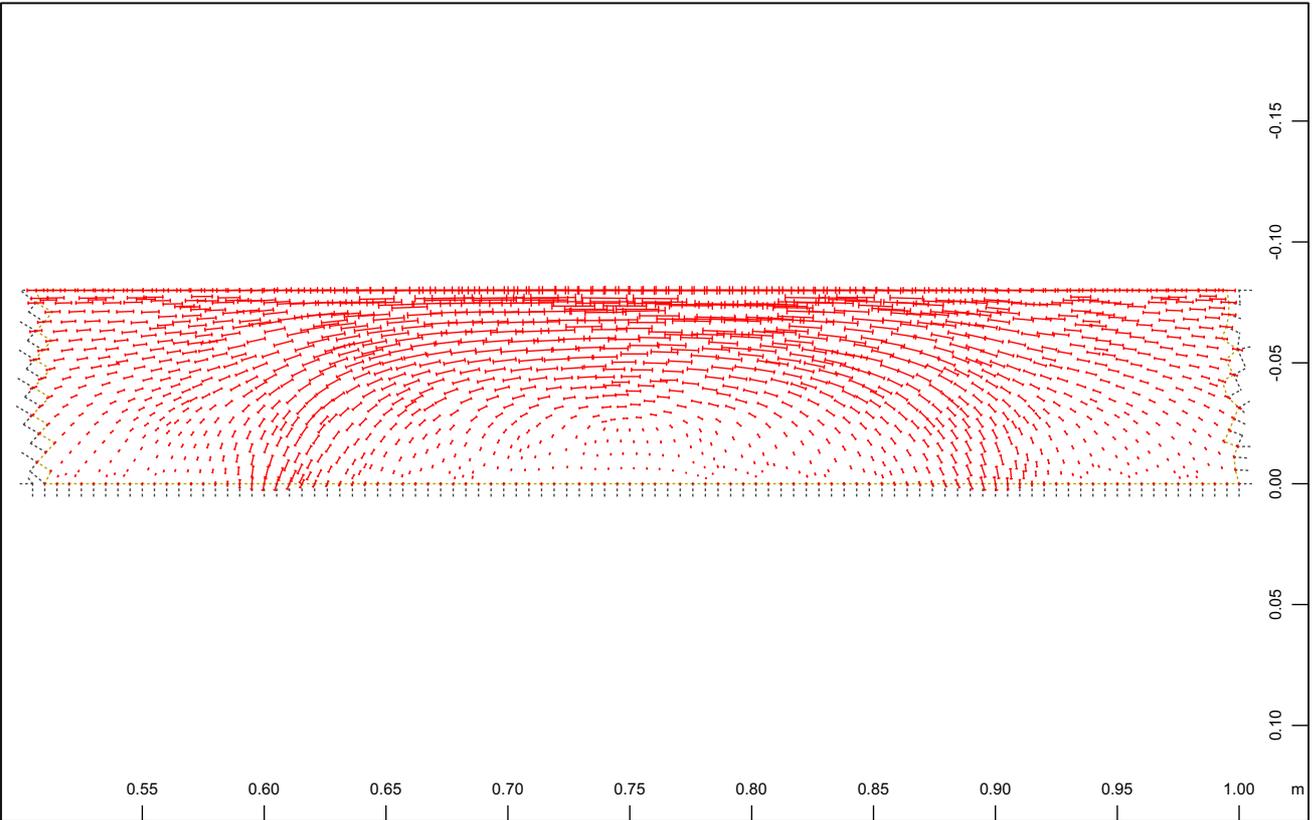
Spannung oben in lokal x im Knoten von -4.34 bis 10.8 Stufen 0.378 MPa
=>, Lastfall 3 sum_PY= 30.00 kN
M 1 : 11



Spannung oben in lokal y im Knoten \updownarrow , Lastfall 2 sum_PY= 30.00 kN . , M 1 : 11
von -7.75 bis 2.20 Stufen 0.249 MPa

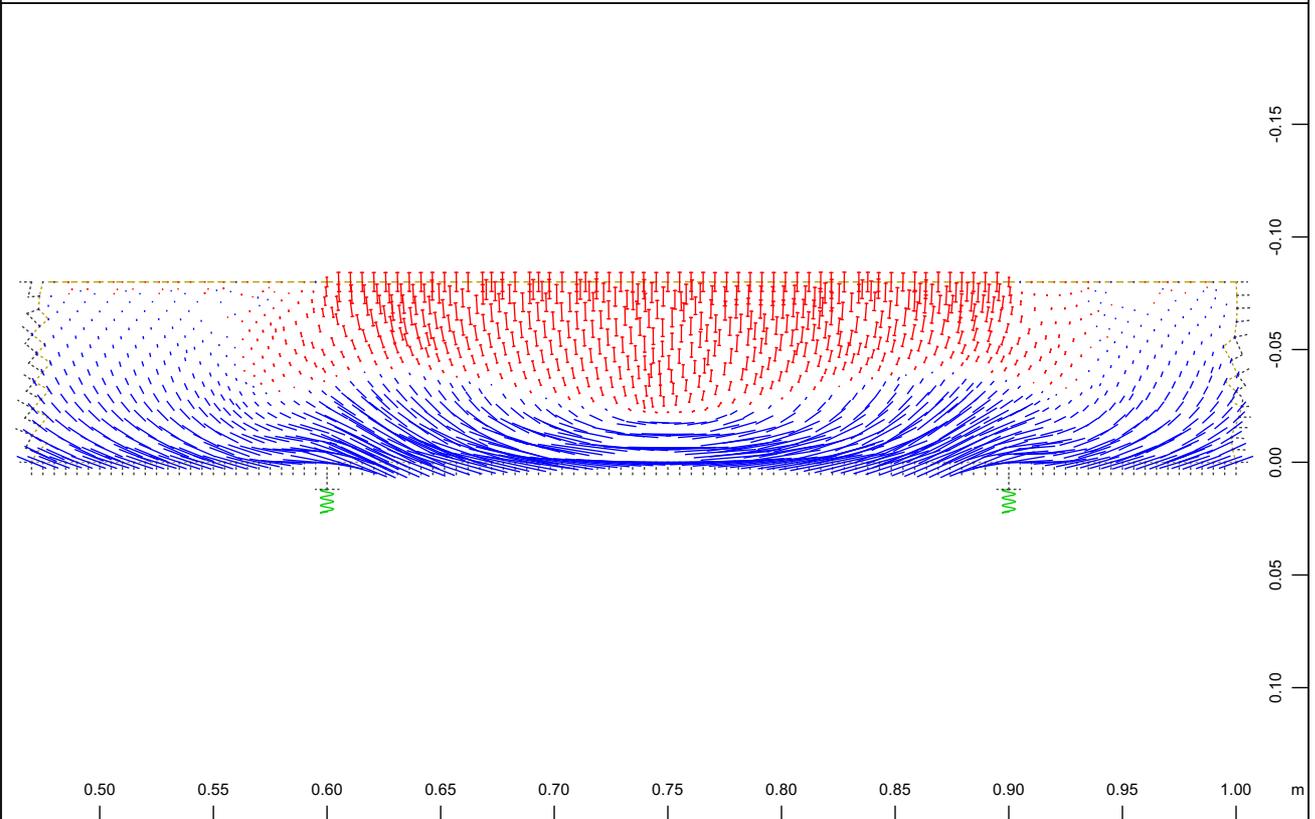


Spannung oben in lokal y im Knoten \updownarrow , Lastfall 3 sum_PY= 30.00 kN . , M 1 : 11
von -7.10 bis 0.807 Stufen 0.198 MPa



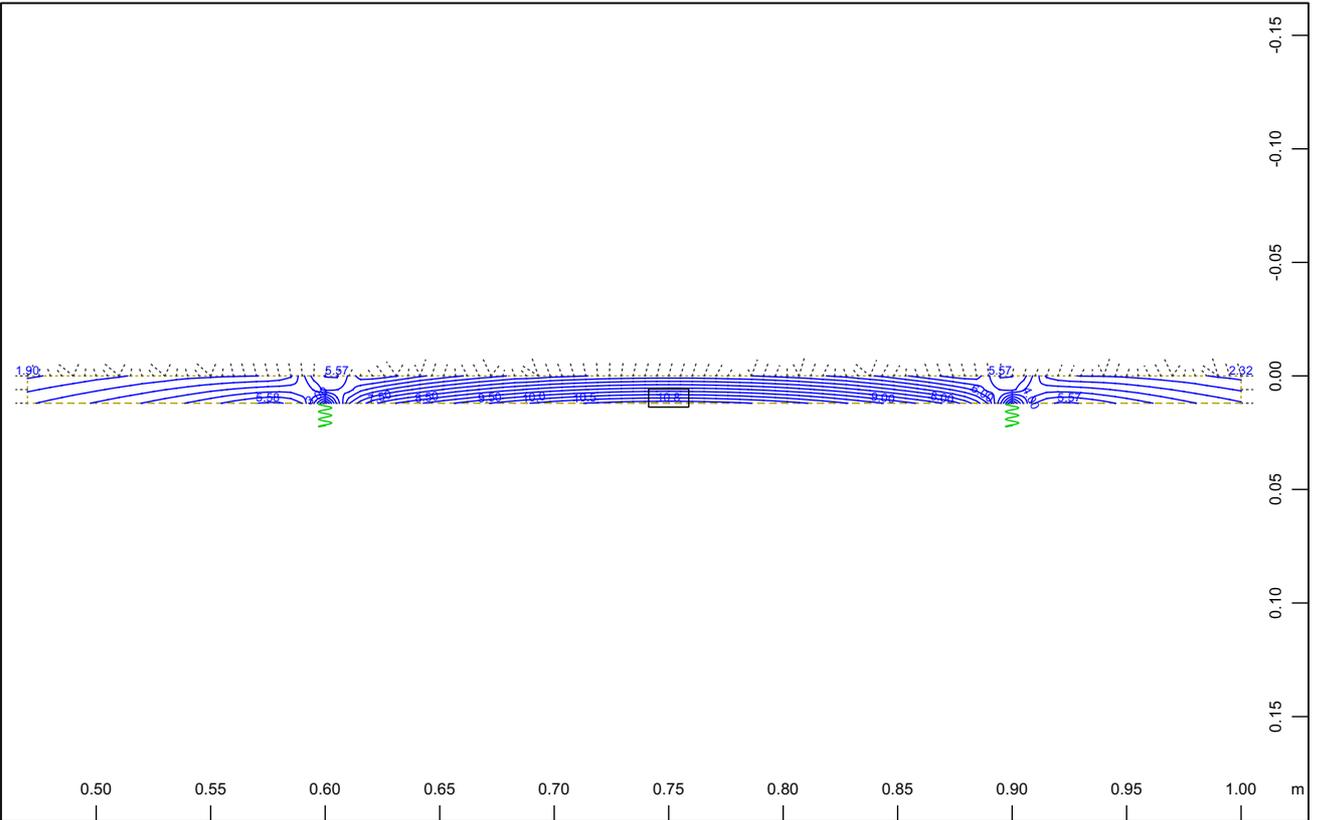
Systemausschnitt Gruppe 2
 Hauptspannung II oben im Knoten, Lastfall 3 sum_PY= 30.00 kN
 cm im Raum = 6.64 MPa += ——— - = | ——— (Min=-4.34) (Max=-0.0352)

M 1 : 3.12



Systemausschnitt Gruppe 0 2
 Hauptspannung I oben im Knoten, Lastfall 3 sum_PY= 30.00 kN
 im Raum = 1.33 MPa += ——— - = | ——— (Min=-0.359) (Max=1.58)

M 1 : 3.35



Z-X
Y

Systemausschnitt Gruppe 0 1
Hauptspannung I oben im Knoten
von 1.77 bis 10.8 Stufen 0.500 MPa

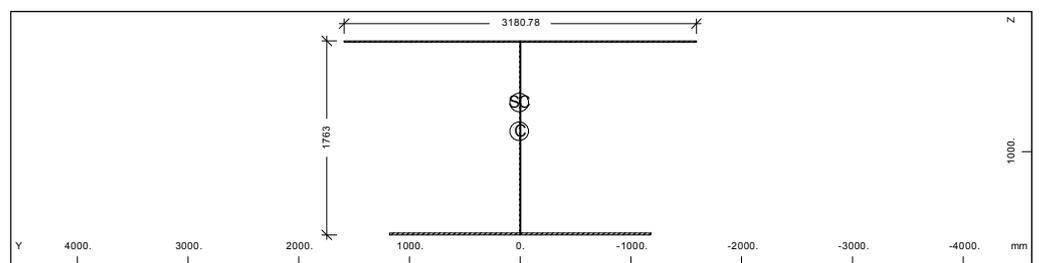
↔, Lastfall 3 sum_PY= 30.00 kN

M 1 : 3.32

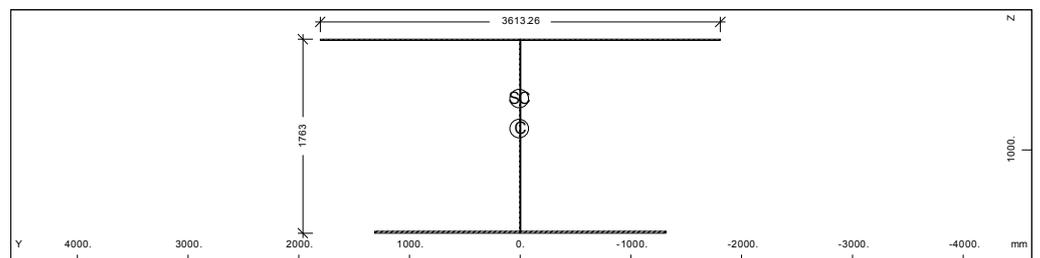
2. Globales Stabmodell

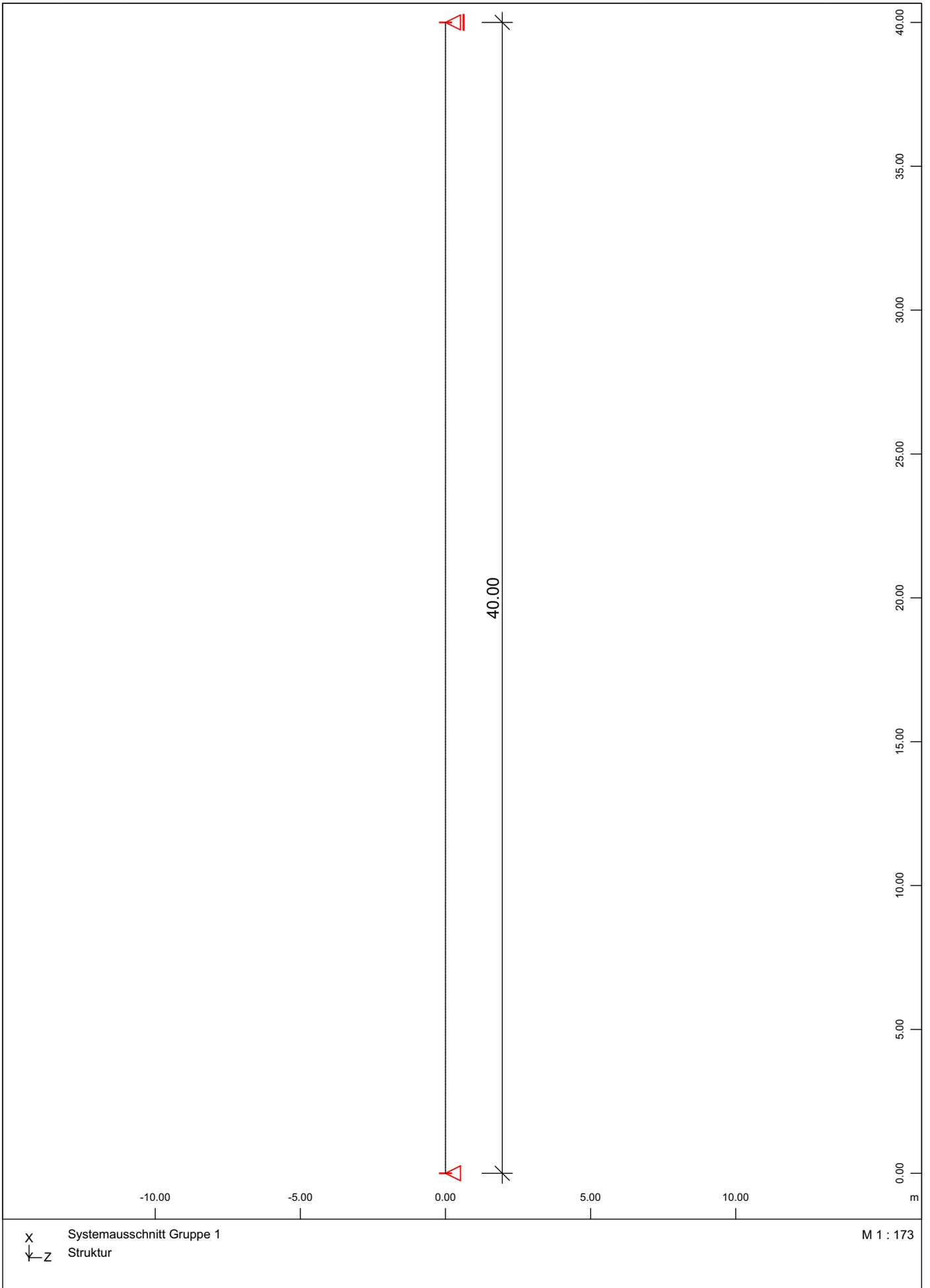
Elementart:	Stabelemente	
Geometrie:	Einfeldträger	40 m Spannweite
	Breite	3,2 – 3,6 m
Belastung	Linienlast und 2 Einzellasten in Feldmitte	
Stahl-Querschnitte		

Am Auflager



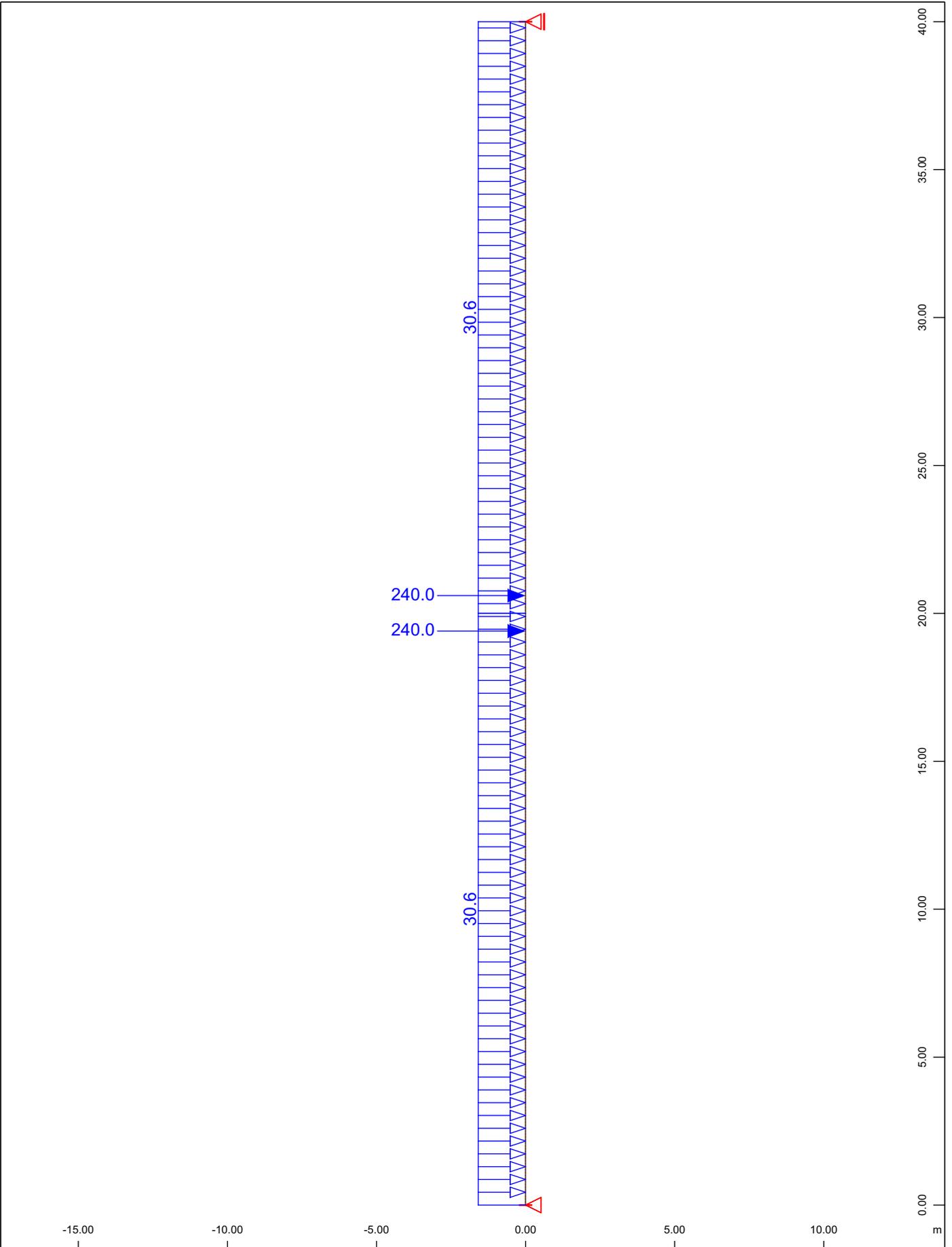
Im Feld





Beimerstetten

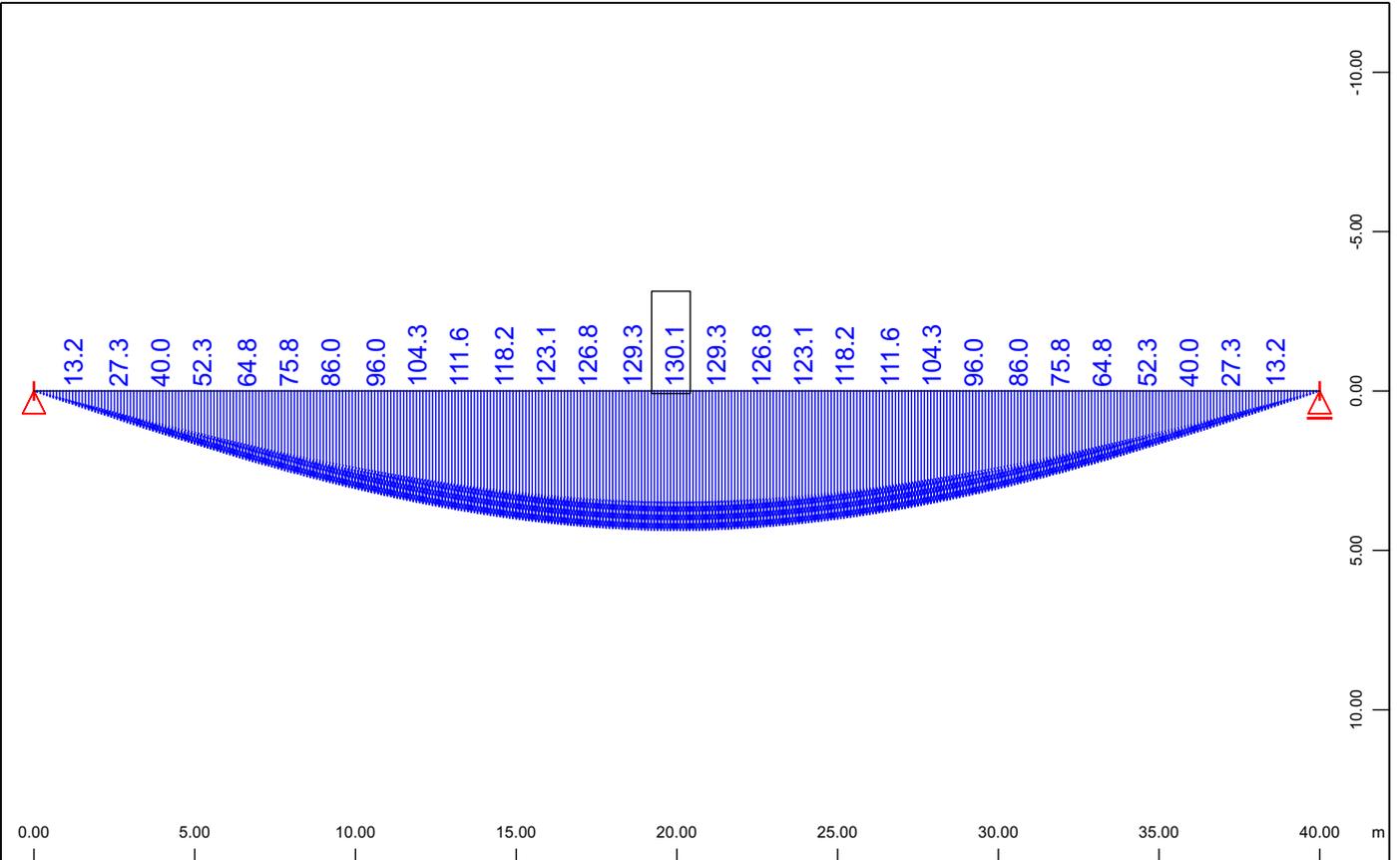
Globales Stabmodell
Geometrie



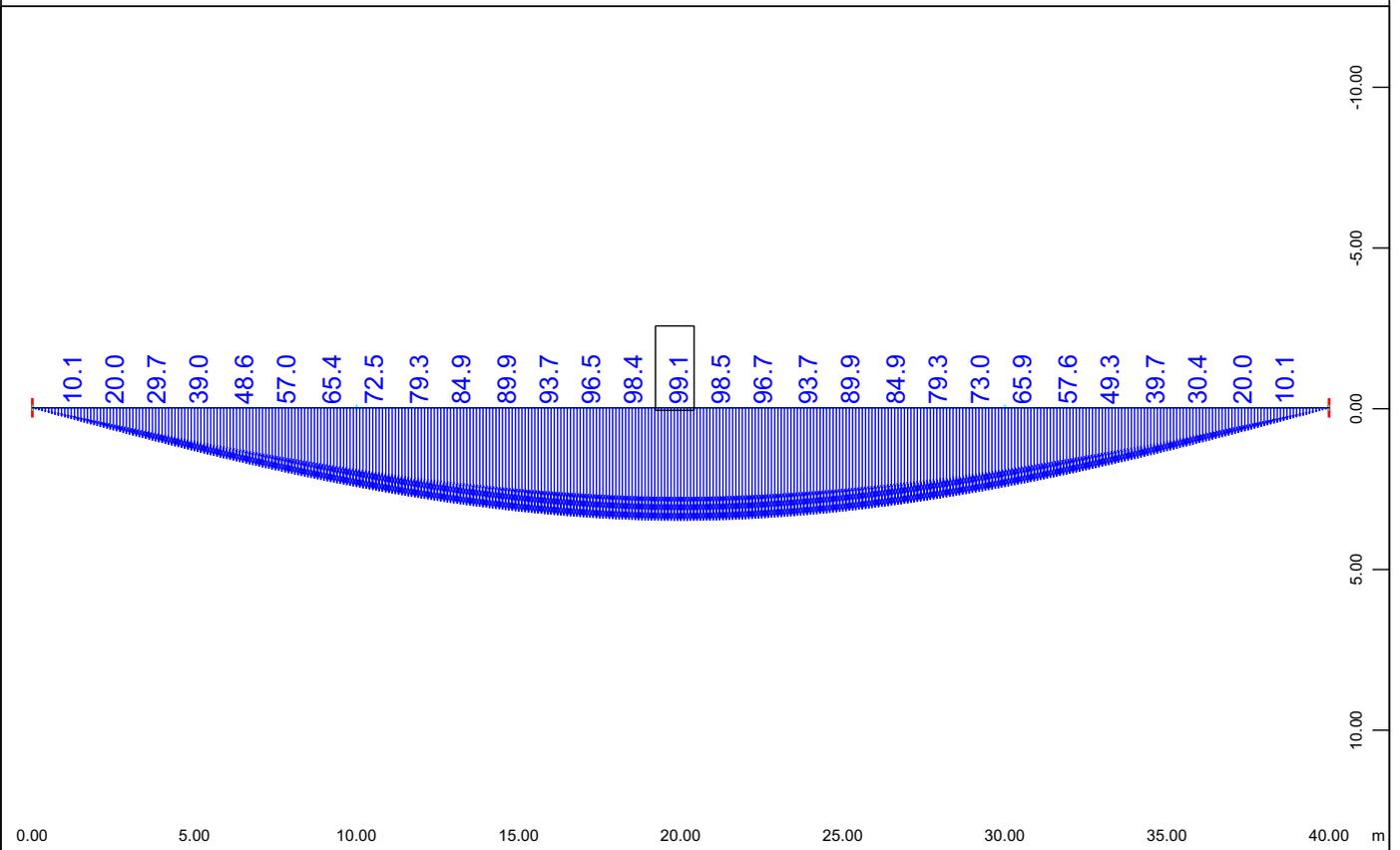
X	Systemausschnitt Gruppe 1	M 1 : 173
└─Z	Einzellast, Lastfall 1 sum_PZ=1702.7 kN Linienlast, Lastfall 1 sum_PZ=1702.7 kN	. . , (1 cm im Raum = Unit) (Kraft) in g . . , (1 cm im Raum = Unit) (Kraft) in g

Beimerstetten

Globales Stabmodell
Geometrie
Belastung



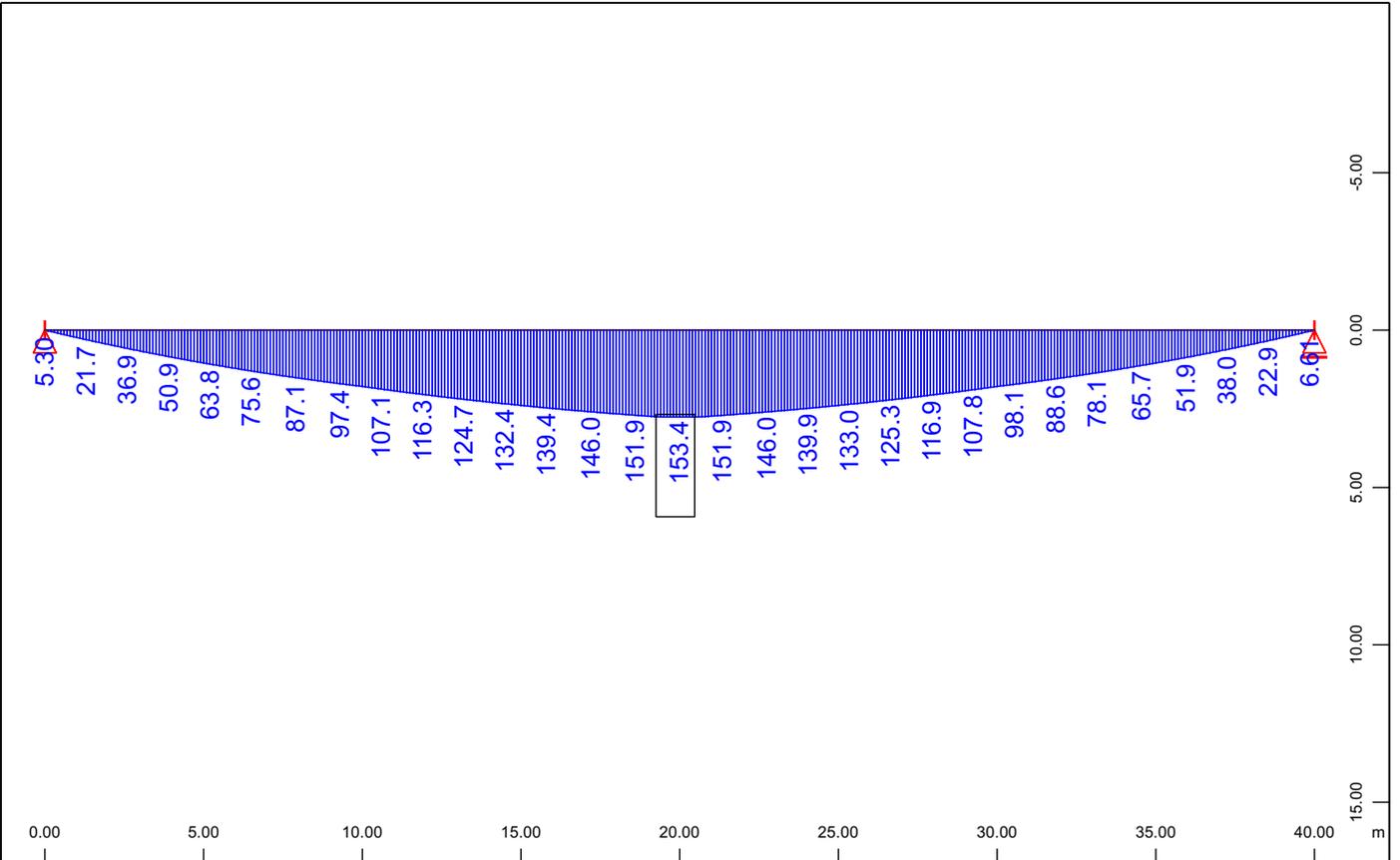
Systemausschnitt Gruppe 1
 Knotenverschiebung in global Z, Lastfall 1 sum_PZ=1702.7 kN
 M 1 : 236
 , 1 cm im Raum =



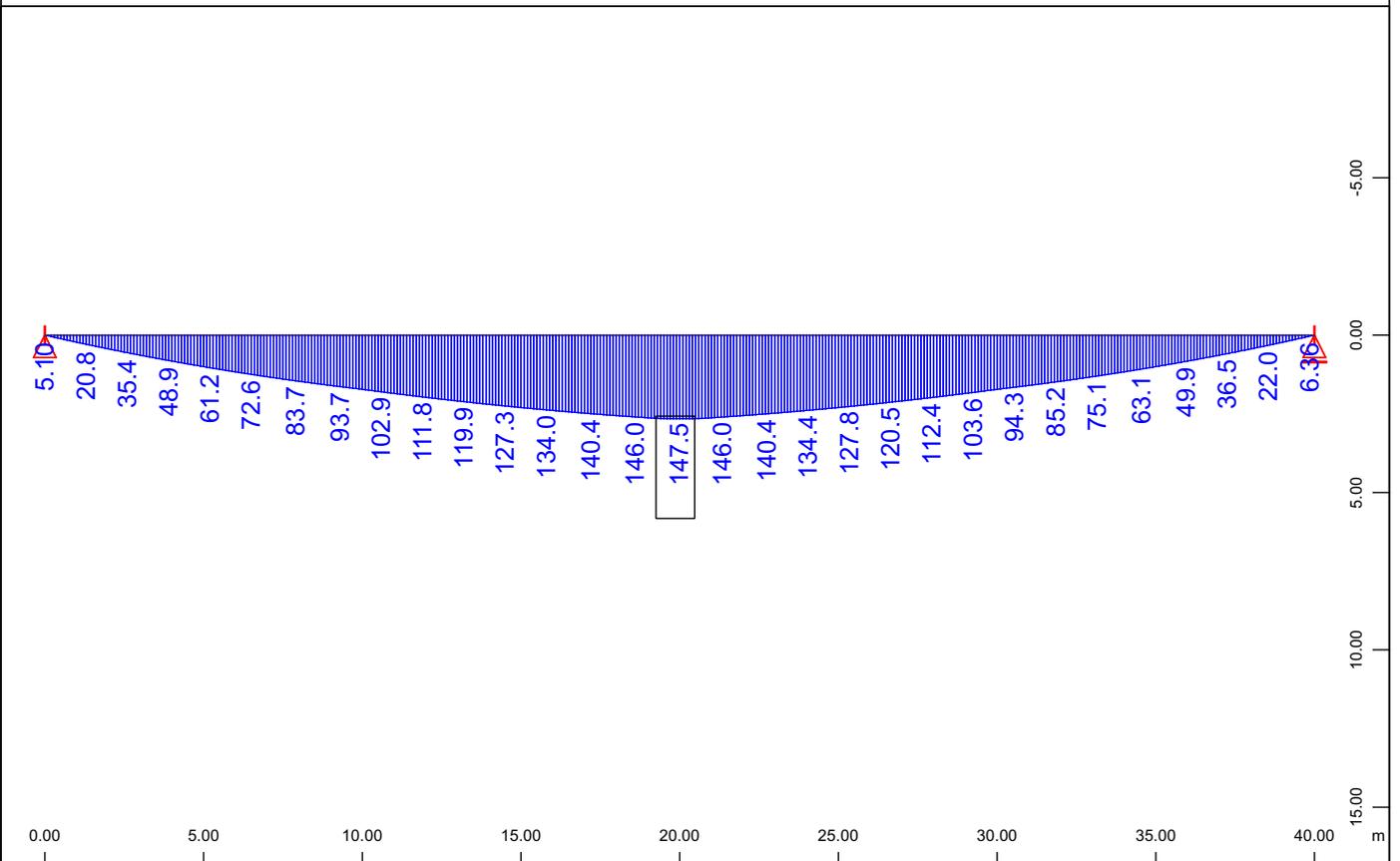
Systemausschnitt Gruppe 13
 Knotenverschiebung in global Z, Lastfall 3 sum_PZ=1702.7 kN
 M 1 : 234
 , 1 cm im Raum =

Beimerstetten

Globales Stabmodell
 Geometrie
 Durchbiegung

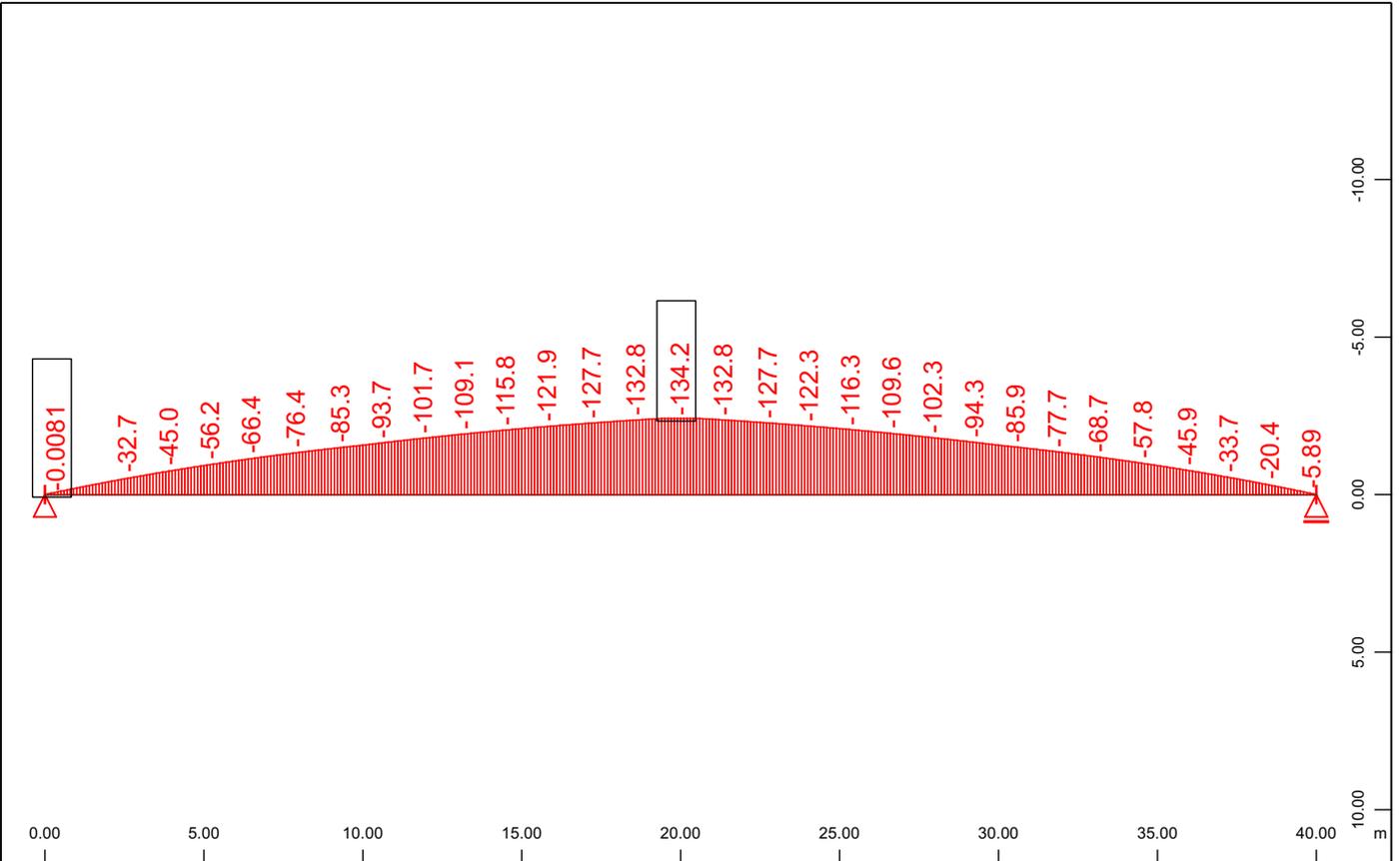


Systemausschnitt Gruppe 1
 Stabelemente , Maximale Zugspannung, Bemessungsfall 20 MAX-AQB-S, Punkt 2 , 1 cm im Raum = 1
 M 1 : 239

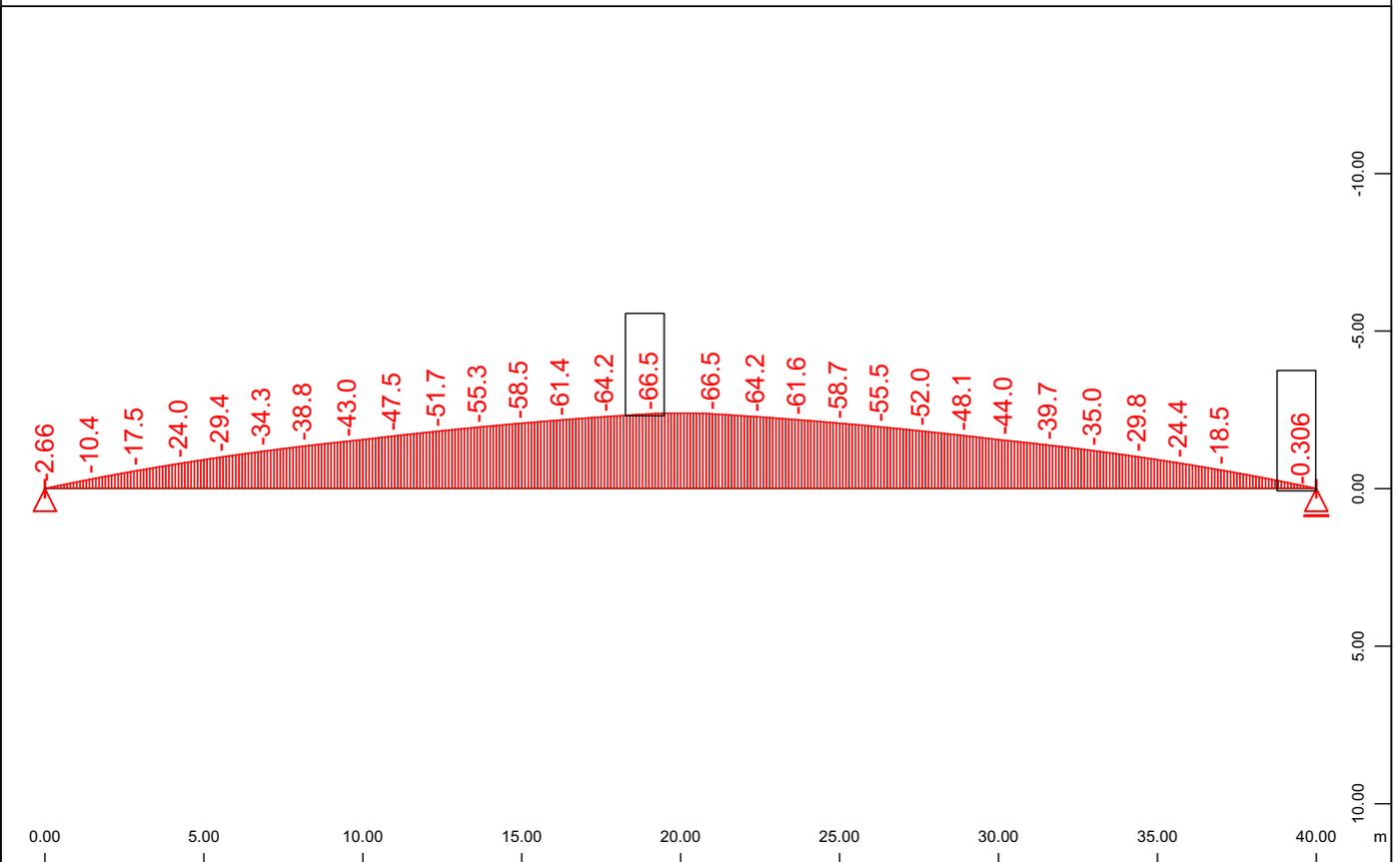


Systemausschnitt Gruppe 3
 Stabelemente , Maximale Zugspannung, Bemessungsfall 20 MAX-AQB-S, Punkt 2 , 1 cm im Raum = 1
 M 1 : 239

Beimerstetten

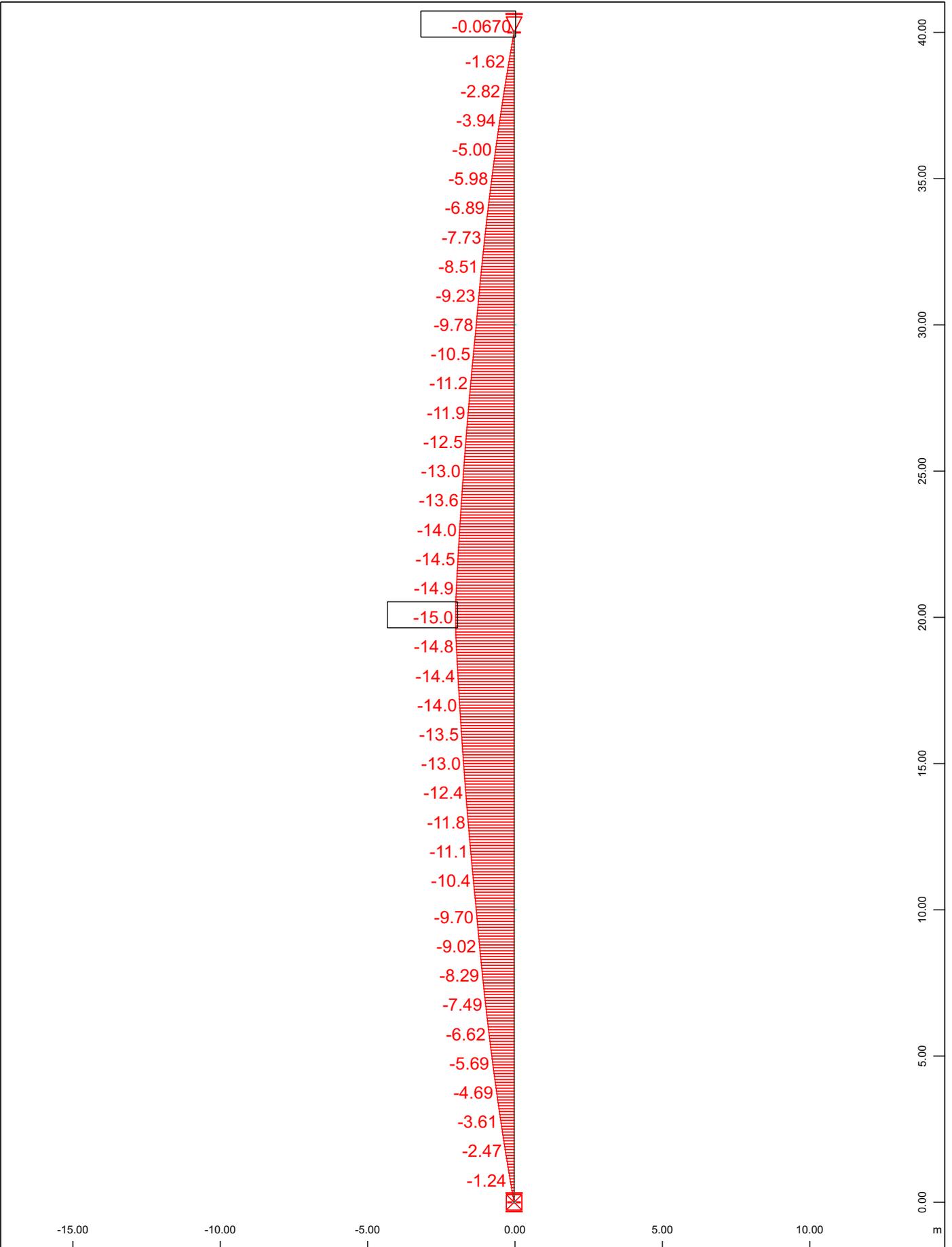


Systemausschnitt Gruppe 1
 Stabelemente , Maximale Druckspannung, Bemessungsfall 20 MAX-AQB-S, Punkt 1 , 1 cm im Raum = M 1 : 239



Systemausschnitt Gruppe 3
 Stabelemente , Maximale Druckspannung, Bemessungsfall 20 MAX-AQB-S, Punkt 1 , 1 cm im Raum = M 1 : 239

Beimerstetten



X Systemausschnitt Gruppe 12 13
└─Z Stabelemente , Maximale Druckspannung, Bemessungsfall 20 MAX-AQB-S, Punkt 3 , 1 cm im Raum =

M 1 : 175

Beimerstetten

Globales Stabmodell
Geometrie
Druckspannungen im Beton