



DIPLOMARBEIT
Master Thesis

**Parameterstudien unterschiedlicher Netzgeometrien mit Optimierung des
Hängernetzes im Kämpferbereich für eine Netzbogenbrücke**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs/ einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn.
Josef FINK

E212

Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau

Ao.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn.
Francesco AIGNER

E212

Institut für Tragkonstruktionen - Stahlbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

B.Sc.
Alexander PISAN

Mat.Nr. 0526348

Anton Langer Gasse 29
1130 Wien

B.Sc.
Clemens SCHWEIGHOFER

Mat.Nr. 0525694

Thurngasse 11/23
1090 Wien

B.Sc.
Markus WEIDINGER

Mat.Nr. 0526495

Ignazgasse 18/5
1120 Wien

Wien, am

Danksagung

An dieser Stelle wollen wir uns bei allen Personen bedanken, die uns im Verlauf des Studiums und während der Ausarbeitung dieser Diplomarbeit betreut und unterstützt haben.

Besonderer Dank gilt Herrn Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Josef Fink, der uns dieses überaus interessante und praxisrelevante Thema der Arbeit vorgeschlagen und uns eine gemeinsame Bearbeitung ermöglicht hat.

Des Weiteren bedanken wir uns bei Ao.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Francesco Aigner, der uns zu jeder Zeit für Fragen und Anregungen zur Verfügung gestanden ist.

Ein spezieller Dank geht an das Ingenieurbüro PCD-ZT GmbH, welches uns seine Planungsunterlagen zur Verfügung gestellt hat, insbesondere an Herrn Dipl.-Ing. Alexander Oplustil, der uns mit Anregungen und Überlegungen aus der Bauingenieur Praxis unterstützt hat.

Großer Dank gebührt unseren Familien, die uns ein sorgenfreies Studium ermöglicht haben und unsere Fortschritte an der Universität stets mit regem Interesse verfolgt haben.

Abschließend wollen wir uns bei all unseren Freundinnen und Freunden, die das Studentenleben mit uns genossen haben, bedanken.

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	8
2	Einleitung	9
3	Geschichtliche Entwicklung	10
4	Tragwirkung	14
5	Entwurf	17
5.1	Allgemeines	17
5.2	Bogen	17
5.3	Versteifungsträger und Fahrbahn	19
5.4	Hänger	21
5.5	Windverband	21
6	Netzgenerierung von Netzwerkbogenbrücken	22
6.1	Allgemeines	22
6.2	Die Variablen der Hängeranordnung	24
6.3	Die Anzahl der Hänger pro Set und der Abstand der Hänger untereinander	25
6.4	Neigungswinkel und Positionierung der Hänger	28
6.5	Bogenstich, Steifigkeiten und Krümmung	30
7	Generierungsvorschriften für die Hängeranordnung	31
7.1	Allgemeines	31
7.2	Das Rautennetz	31
7.3	Die radiale Hängeranordnung	33
7.4	Konstante Neigungsänderung	38
7.5	Konstante untere Knotenabstände im mittleren Brückenteil	40
7.6	Zusammenfassung	41
8	Bemessung	42
9	Konstruktion	44
10	Ausführungsbeispiele	47
10.1	Fehmarnsundbrücke (1963) [10]	47
10.2	Brücke über den Fluss Dziwna in Wolin (2003) [9]	48

10.3	Providence River Bridge (2007) [10]	50
10.4	Eisenbahnüberführung „Flora“ über den Mittlandkanal (2006) [2]	51
11	Projektbeschreibung	53
11.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	56
11.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	57
11.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT-GmbH	58
12	Statisches System und Modellbildung	59
12.1	Schein-E-Modul der Hänger	61
13	Lastannahmen	63
13.1	Verkehrslasten	63
13.1.1	Lastmodell 71	63
13.1.1.1	Lastverteilung in Längsrichtung für die globale Tragwerksberechnung	63
13.1.2	Lastmodell SW/2	64
13.1.3	Dienstgehwege	65
13.1.4	Exzentrizität der Vertikallasten	65
13.2	Ständige Lasten	66
13.2.1	Näherungsweise Ermittlung des Eigengewichts der Stahlkonstruktion	66
13.2.2	Ermittlung des Eigengewichts der orthotropen Platte	67
13.2.3	Schotterbett	67
13.2.4	Schienen, Schienenbefestigung und Schwellen	68
13.2.5	Sonstige Ausbaulasten	68
13.3	Dynamische Beiwerte	69
13.4	Ermittlung der Verkehrslastgruppen EN 1-2, 6.8.2	71
13.5	Teilsicherheitsbeiwerte EN 1990/A1	72
13.6	Querverteilung der Lasten	72
13.7	Lastfallbezeichnungen und Lastfallkombinationen	73
13.7.1	Ständige Lasten	73
13.7.2	Verkehrslasten	73
13.7.3	Lastfallkombinationen	75

14	Auswertung der Ergebnisse der berechneten Netzgeometrien	78
14.1	Zielsetzung	78
14.2	Zusammenfassung der Ergebnisse im Grenzzustand der Ermüdung (FLS).....	78
14.2.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	79
14.2.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	84
14.2.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT	89
14.2.4	Interpretation und Bewertung der Ergebnisse	93
14.3	Zusammenfassung der Ergebnisse im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)	100
14.3.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	100
14.3.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	108
14.3.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT	116
14.3.4	Interpretation und Bewertung der Ergebnisse	124
15	Betrachtung weiterer Netzgeometrien	127
15.1	Zielsetzung	127
15.2	Modifikation der konstanten Hängerneigungsänderung.....	128
15.3	Zusammenfassung der Ergebnisse im Grenzzustand der Ermüdung (FLS).....	130
15.3.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	130
15.3.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	132
15.3.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT	133
15.3.4	Interpretation und Bewertung der Ergebnisse	135
15.4	Zusammenfassung der Ergebnisse im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)	139
15.4.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	139
15.4.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	140
15.4.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT	142
16	Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse.....	145
17	Neues Nachweiskonzept für die Hänger im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	148
17.1	Nachweis Teil 1: Nachweis der Hänger gegen Ausfall	149
17.2	Nachweis Teil 2: Nachweis des Tragwerks.....	149
18	Optimierung der Kämpferbereiche	151

18.1	Einleitung	151
18.2	Zusätzliches Gewicht.....	153
18.2.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	157
18.2.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	164
18.2.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD-ZT.....	170
18.2.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	175
18.3	Vorspannung	177
18.3.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	180
18.3.1.1	Vorspannung ohne Hilfsstütze mit Sicherung des VT gegen Abheben	180
18.3.1.2	Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben	184
18.3.1.3	Vorspannung mit Hilfsstütze	187
18.3.1.4	Ergebnisauswertung	190
18.3.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	194
18.3.2.1	Vorspannung ohne Hilfsstütze und mit Sicherung des VT gegen Abheben.....	194
18.3.2.2	Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben	197
18.3.2.3	Vorspannung mit Hilfsstütze	200
18.3.2.4	Ergebnisauswertung	204
18.3.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD-ZT.....	207
18.3.3.1	Vorspannung ohne Hilfsstütze und mit Sicherung des VT gegen Abheben.....	207
18.3.3.2	Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben	211
18.3.3.3	Vorspannung mit Hilfsstütze	214
18.3.3.4	Ergebnisauswertung	218
18.3.4	Weitere Ideen für Vorspannkonzpte	221
18.3.4.1	Gemeinsames Vorspannen der ersten beiden Hänger	221
18.3.4.2	Mitvorspannen der flachen Hänger im Kämpferbereich	224
18.3.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	227
18.4	Variation der Steifigkeiten im Kämpferbereich	229
18.4.1	Erhöhung der Steifigkeit des Bogens	229
18.4.2	Verminderung der Steifigkeit des Bogens.....	234
18.4.3	Variation der Steifigkeit des Versteifungsträgers.....	235

18.4.4	Praktische Anwendung.....	239
19	Nachweis der Hängernetzgeometrien.....	244
19.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	244
19.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	249
19.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD-ZT	253
20	Zusammenfassung.....	258
21	Literaturverzeichnis.....	260
22	Abbildungsverzeichnis	262
23	Diagrammverzeichnis	272
24	Tabellenverzeichnis.....	277
	Anhang A: Berechnung der Querverteilung der Lasten	
	Anhang B: Querschnittswerte	
	Anhang C: Eingabedaten und Berechnung einer Netzgeometrie in RSTAB	
	Anhang D: Auswertung der Normalkrafteinflusslinien der Hänger	
	Anhang E: Aufteilung der Aufgaben auf die Diplomanden	

1 Abstract

Network arch bridges combine the structural benefits of a truss bridge with those of a tied arch bridge. The inclined hangers cross each other at least twice and are combined to form a lattice-like network. Thus a much stiffer structure is obtained. The arrangement, angle and number of hangers are critical to the efficiency of the structure.

At the beginning of the master thesis historical development, structural behavior, design and construction of network arch bridges are discussed.

Subsequently a parameter study on three different hanger assemblies for a specific project is performed. The main goal is to find an economic geometry, in which there are no pressure forces in the hangers.

In the final part of the thesis the end of the span, at which the hangers behave differently than in the internal part of the span, is analyzed and different solutions are presented.

2 Einleitung

„Netzwerkbögen sind die schlankesten und leichtesten Bogenbrücken der Welt“ [1]

Netzwerkbogenbrücken vereinen die statischen Vorteile einer Fachwerkbrücke mit denen einer Stabbogenbrücke. Hierbei werden im Gegensatz zu herkömmlichen Stabbogenbrücken die Hänger geneigt und zu einem fachwerkartigen Netz kombiniert. Es werden deutlich mehr Hänger mit geringeren Querschnitten angeordnet, die so angebracht werden, dass sie sich mehrmals kreuzen. Dadurch wird eine deutlich steifere Konstruktion als bei Stabbogenbrücken geschaffen. Die Anordnung, Neigung und Anzahl der Hänger sind entscheidend für die Effizienz des Tragwerks.

Auf Grund des statisch optimalen Systems kann eine geringere Bauhöhe für den Bogen und Versteifungsträger erzielt werden. Es entsteht ein deutlich leichteres Erscheinungsbild des Brückentragwerks, was eine größere Freiheit der architektonischen Gestaltung zulässt.

In Verbindung mit dem feinen, kaum wahrzunehmenden Hängernetz entsteht so eine ausgesprochen wirtschaftliche Konstruktion, die auf Grund des transparenten Tragwerkes auch ästhetischen Anforderungen leicht genügen kann und sich mit geringer Beeinflussung des städtebaulichen Umfeldes oder der Landschaft in die Umgebung einfügt.

Zu Beginn der Diplomarbeit wird auf geschichtliche Entwicklung, Tragwirkung, Entwurf und Konstruktion einer Netzwerkbogenbrücke eingegangen. Es werden Möglichkeiten für den Entwurf eines für das Tragwerk entscheidenden Hängernetzes erläutert und Ausführungsbeispiele beschrieben.

Anschließend wird für ein konkretes Bauvorhaben eine Parameterstudie an drei unterschiedliche Hängeranordnungen durchgeführt. Ziel ist es eine wirtschaftliche Netzgeometrie zu finden, bei der es zu keinen Druckkräften in den Hängern kommt.

Im letzten Teil wird der Kämpferbereich, in dem sich die Hänger wesentlich anders verhalten als in mittleren Bereich des Bogens, analysiert und unterschiedliche Lösungsvorschläge erarbeitet.

3 Geschichtliche Entwicklung

Der Wiener Josef Langer entwickelte 1859 den bis heute noch üblichen Stabbogen, der in der Folge auch Langer'scher Balken genannt wird. Der Langer'sche Balken ist ein Brückenüberbau mit einem in sich verankerten Bogen, wobei die Fahrbahn, welche mit vertikalen Hängern am Bogen befestigt ist, als Zugband dient. 1881 wurde die erste Brücke dieser Art in Graz gebaut (Abbildung 1).

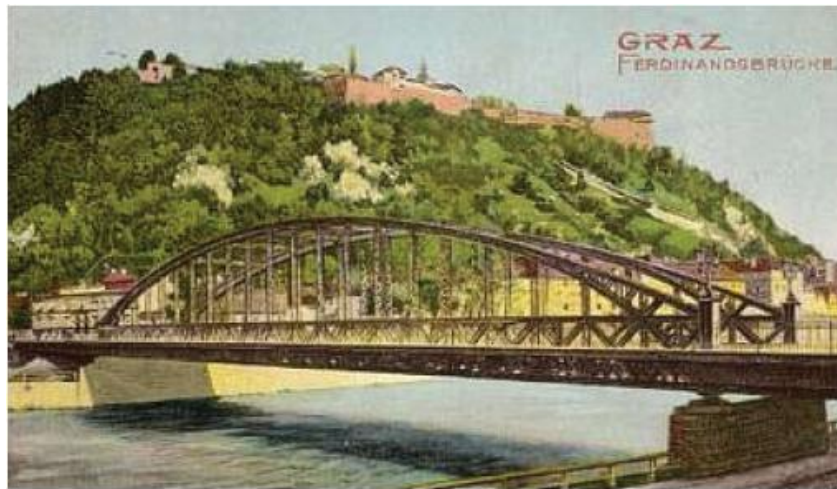


Abbildung 1 Ferdinandsbrücke in Graz [2]

Nahezu zeitgleich näherte man sich durch Weiterentwicklung und Variationen von Fachwerkbrücken bereits dem Tragprinzip der Netzwerkbogenbrücke an. So wurde 1878 in Riesa durch Claus Koepeke ein Brückenzug aus Fachwerkbrücken mit einem bogenförmigen Obergurt hergestellt. Dieses Brückentragwerk erreichte bereits eine Stützweite von $3 \times 101,4$ m und wurde gleichzeitig als Straßen- und Eisenbahnbrücke auf nebeneinanderliegenden Überbauten ausgeführt (Abbildung 2). Durch rautenförmig gekreuzte Diagonalen wurde eine gleichzeitige Abtragung von Druck- und Zugkräften erreicht. Die Tragwirkung der Konstruktion entsprach der eines Fachwerks, dessen statische Höhe an den Biegemomentenverlauf angepasst ist. Aus diesem Grund wird dieses Tragsystem auch als Bogenfachwerk bezeichnet.



Abbildung 2 Alte Elbebrücke in Riesa (Sachsen, Deutschland) [3]

Durch diese Ausführungsvariante wurden die Vorteile des Bogens mit seiner guten Fähigkeit der Abtragung von hohen Druckkräften im Bogen bei symmetrischer Last und die Vorteile des Fachwerks unter Biegebeanspruchung bei asymmetrischer Last bereits sehr gut kombiniert.

Anfang des 20. Jahrhunderts wurde die Idee der netzwerkartigen Ausfachung wieder aufgegriffen und durch den Dänen F. Nielsen mit dem Langer'schen Balken kombiniert. Hintergrund für die Suche nach neuen Tragwerksformen war das Streben nach immer größeren Spannweiten. In den damals verwendeten Eisenbetonbögen kam es ab Spannweiten von über 100 m zu einer empfindlichen Erhöhung der resultierenden Biegemomente, was zu konstruktiven Schwierigkeiten führte. 1926 erfolgte die Patentanmeldung für einen Stabbogen mit v-förmig geneigten Hängern als Zugstangen.

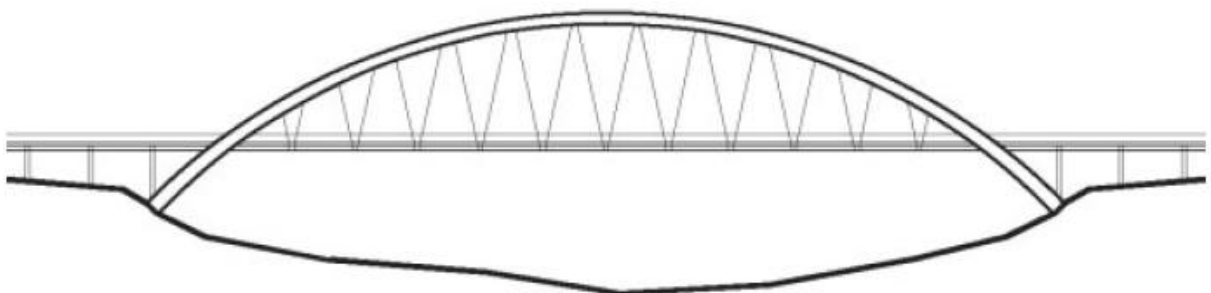


Abbildung 3 Pont de Castelmoron, Nielsen 1933 [2]

Nielsen hatte erkannt, dass im Vergleich zum Langer'schen Balken die Biegemomente im Bogen und Versteifungsträger durch geneigte Hänger kleiner werden. In der Folge wurden viele solcher Brücken, die als Nielsen-Brücken bezeichnet werden, in Skandinavien gebaut.

Die bekannteste Nielsen Brücke, genannt Pont de Castelmoron (Abbildung 3), mit einer Stützweite von 143 m wurde in Frankreich errichtet.

Mitte des 20. Jahrhunderts erfolgte der letzte Schritt zur Entwicklung der Netzwerkbogenbrücke durch den Norweger Per Tveit. Er verdichtete das Hängernetz durch mehrfache Kreuzung. Somit wurde ein optimiertes fachwerkähnliches Tragverhalten erzielt, das zu geringeren Biegemomenten im Bogen und in dem Versteifungsträger führte. Für die Ausführung des Untergurts sah Tveit zur Abtragung der hohen Zugkräfte zentrisch angeordnete Spannglieder in einer Betonplatte vor. 1963 wurden zwei von ihm entworfene Brücken dieses neuen Brückentyps im norwegischen Steinkjer, $l_{ST}=80\text{m}$, und über den Bolstadstraumen, $l_{ST}=84\text{m}$, errichtet.



Abbildung 4 Brücke über den Bolstadstraumen [2]

Im selben Jahr wurde die erste große Brücke, die Fehrmansundbrücke in Deutschland, mit einer Stützweite von 248,4 m errichtet.

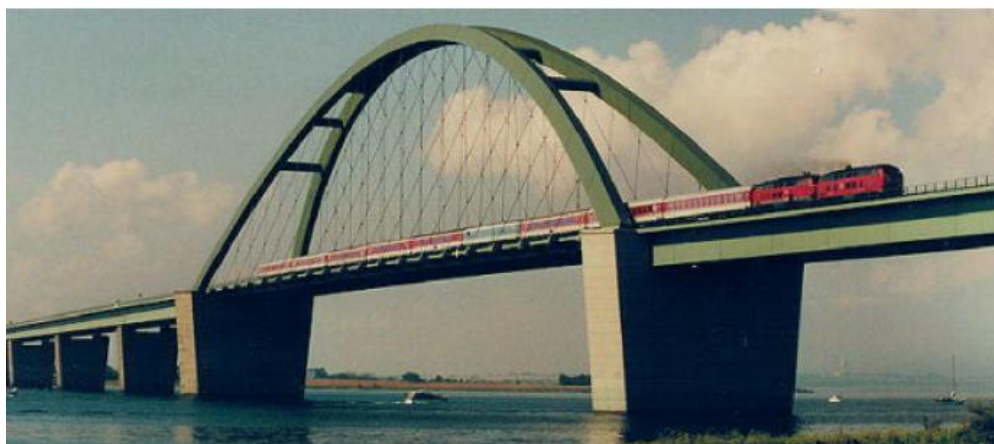


Abbildung 5 Brücke über den Fehmarnsund [2]

In den folgenden Jahren wurden mehrere Netzbogenbrücken in Japan mit Spannweiten über 250 m errichtet, wo sie bis heute als Nielsen-Lohse Brücken bezeichnet werden. [3]

Bis zum Ende des 20. Jahrhunderts wurde danach in Deutschland trotz der Vorteile der Netzbogenbrücke keine weitere Brücke dieser Bauart mehr gebaut. In den letzten Jahren ist es aber wieder vermehrt gelungen, Bauherrn von den Vorteilen dieser Bauart zu überzeugen. [2]

4 Tragwirkung

Die globale Tragwirkung einer Netzwerkbogenbrücke entspricht der eines Bogens mit Zugband. Dies entspricht der Tragwirkung einer Stabbogenbrücke. Der Bogen übernimmt Druckkräfte und die daraus resultierenden, im Auflagerbereich wirkenden Bogenschubkräfte. Diese werden als Zugkräfte in den Versteifungsträger eingeleitet und müssen von diesem aufgenommen werden. Der wesentliche Unterschied zwischen Stabbogenbrücken und Netzwerkbogenbrücken besteht nur in der Anordnung der Hänger.

Bei einer herkömmlichen Stabbogenbrücke werden die Hänger vertikal angeordnet. Netzwerkbogenbrücken haben hingegen geneigte, in verschiedenen Ebenen angeordnete Hänger, die sich an mehreren Stellen kreuzen. Dadurch wird die Hängeranzahl erhöht und es ergeben sich kleinere Abstände zwischen den Anschlusspunkten an Untergurt und Bogen. Neben der Hängerneigung sind die Abstände ein entscheidendes Kriterium für die Effizienz der Brücke.

Die verbesserte Tragwirkung der Netzwerkbogenbrücke gegenüber dem Langer'schen Balken zeigt sich vor allem bei halbseitiger Belastung. Bei gleichmäßiger Belastung, z.B. aus Eigengewicht, weist die Stabbogenbrücke nur sehr geringe Verformungen auf. Bei halbseitiger Last kommt es hingegen zu einem seitlichen Ausweichen des Bogens und zum Ausfall von Hängern (Abbildung 6).

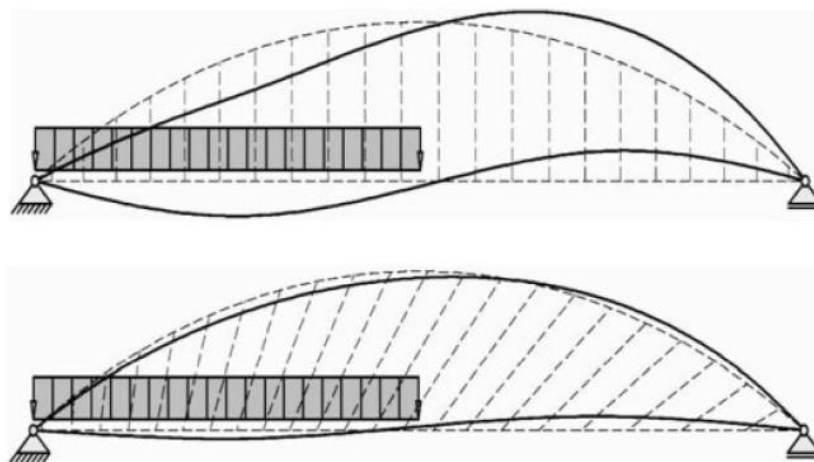


Abbildung 6 Seitliches Ausweichen des Bogens [2]

Da durch die Hängeranordnung bei einer Netzwerkbogenbrücke eine schubsteife Verbindung zwischen Bogen und Untergurt entsteht, wird bei halbseitiger Belastung das Risiko für ein seitliches Ausweichen des Bogens minimiert. Es stellt sich somit ein fachwerkartiges Trag-

verhalten ein, wobei Bogen und Versteifungsträger die Gurte darstellen. Man spricht daher auch von einem kombinierten Tragprinzip von Fachwerkträger und Stabbogen.

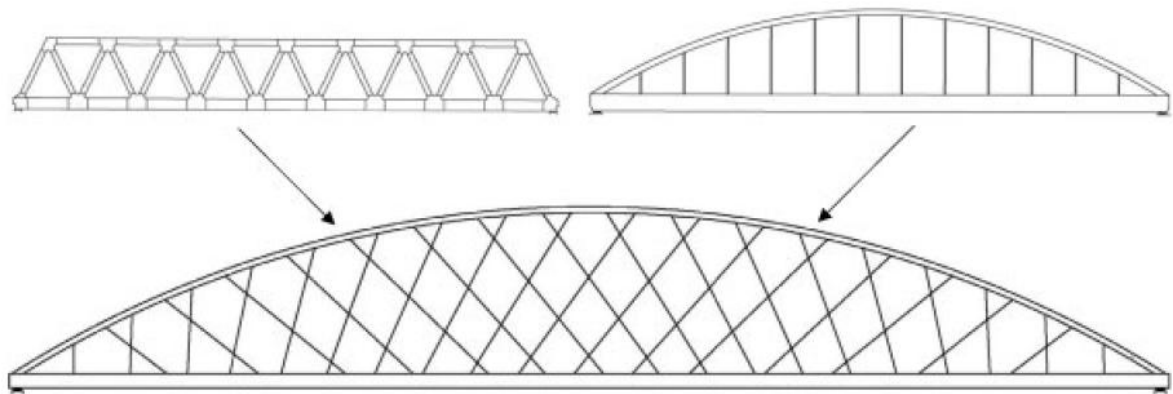


Abbildung 7 Kombiniertes Tragprinzip von Fachwerkträger und Stabbogen [2]

Auch bei Betrachtung der Biegemomente in Bogen und Versteifungsträger zeigt sich, dass diese durch eine geneigte Hängeranordnung, vor allem bei halbseitiger Belastung, deutlich reduziert werden können. Im Untergurt werden die Momente bis auf ca. 15% im Vergleich zur herkömmlichen Stabbogenbrücke verringert, im Bogen auf ca. 60%. Dies lässt sich wiederum durch die schubsteife Verbindung bzw. durch den geringeren Hängerabstand erklären.

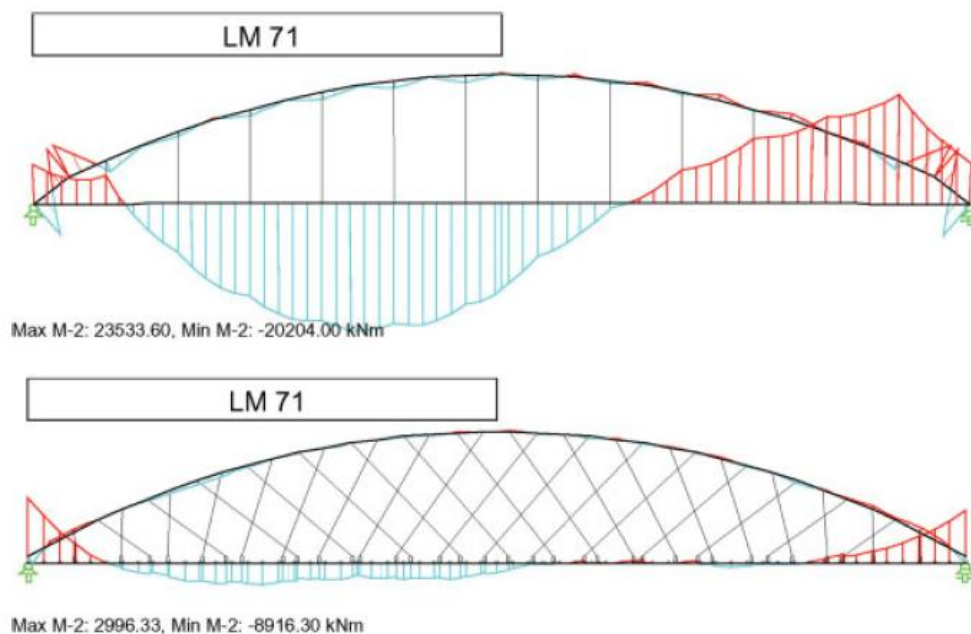


Abbildung 8 Stabbogen und Netzwerkbogen: Biegemomente infolge Eigengewicht und halbseitiger Verkehrslast [2]

Durch die schräge Anordnung der Hänger wird die Knicklast der Bögen deutlich erhöht, denn die elastische Stützung wirkt hier in der Ausweichrichtung des Bogens. Weiters kann die Dehnsteifigkeit des Versteifungsträgers durch die spitzen Winkel der Hänger zusätzlich zur Stützung des Bogens herangezogen werden.

In seinem Manuskript über den Netzwerkbogen [1] liefert Per Tveit, der als Erfinder dieses Brückentyps gilt, einen anschaulichen Vergleich zwischen einer herkömmlichen Stabbogenbrücke und einem Tragwerk, welches als Netzwerkbogenbrücke ausgebildet wurde, und unterstreicht somit die statischen als auch die daraus resultierenden wirtschaftlichen Vorteile.

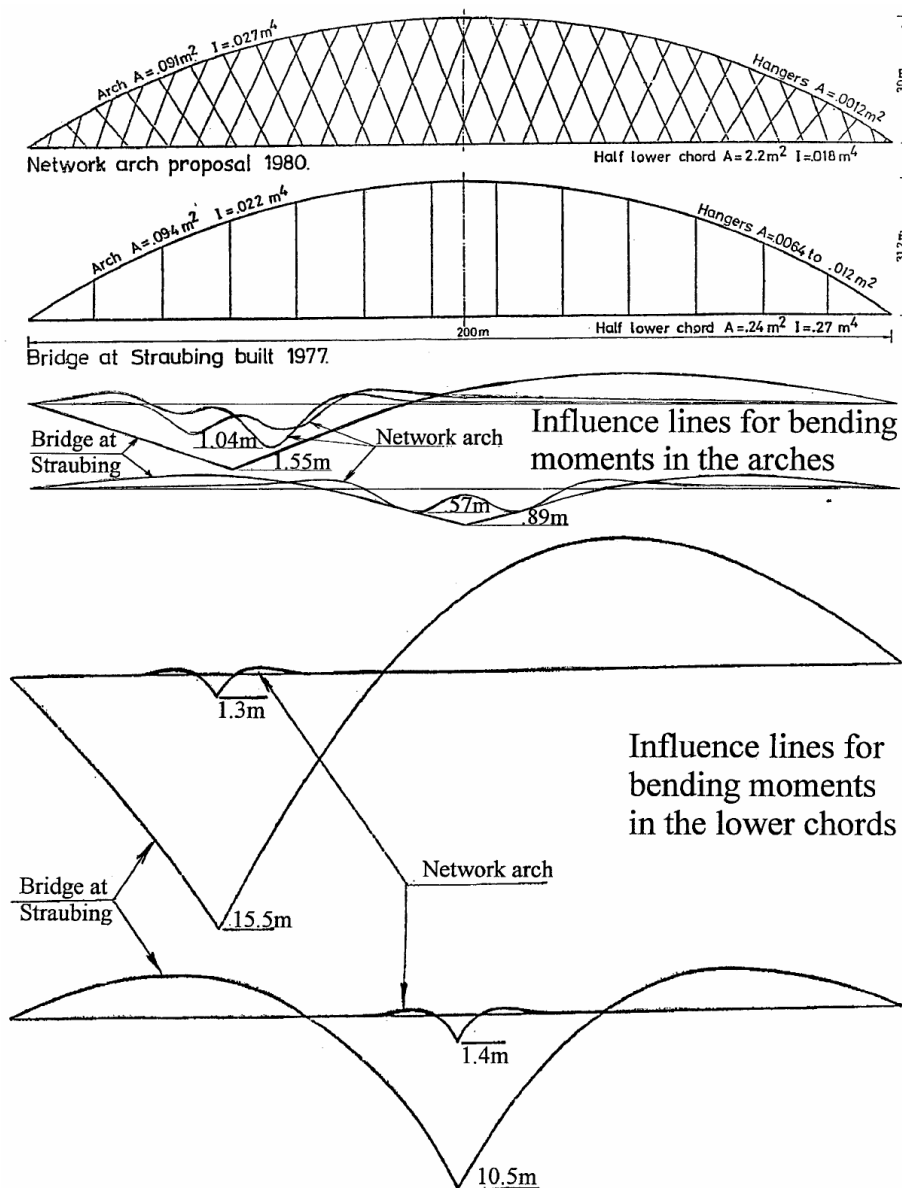


Abbildung 9 Vergleich der Querschnittsflächen, Steifigkeiten und Biegemomenten – Einflusslinien im Bogen und Versteifungsträger zwischen einer Netzwerkbogenbrücke und einer herkömmlichen Stabbogenbrücke [1]

5 Entwurf

5.1 Allgemeines

In der Entwurfsphase sollte, wie auch bei jedem anderem Brückentyp, versucht werden, das Tragwerk möglichst gut der Umgebung anzupassen und auf eventuelle Bedürfnisse des Bauherrn Rücksicht zu nehmen. Als wirtschaftlich sinnvoller Einsatzbereich hat sich für Straßenbrücken eine Länge zwischen 55 und 300 m bzw. für Eisenbahnbrücken zwischen 80 und 300 m herauskristallisiert. Örtliche Lastkonzentrationen und die Einspannung in den Bogenfußpunkten führen bei kurzen Spannweiten zu Störbereichen und Unregelmäßigkeiten in der Normalkrafteinflusslinie der Hänger. Bei längeren Spannweiten haben die örtlichen Effekte kaum mehr Auswirkungen, wodurch sich Netzwerkbogenbrücken hervorragend für große Stützweiten eignen. Die obere Grenze ergibt sich aus den Anforderungen an die Montage.

Die Geometrie des Hängernetzes ist der wesentliche Parameter beim Entwurf einer Netzwerkbogenbrücke. Die Problematik der Netzgenerierung wird im folgenden Kapitel 6 ausführlich erläutert. Da das Hängernetz aber auch von der Ausbildung und den Steifigkeiten von Bogen und Versteifungsträger abhängt, wird versucht die Entwurfsmöglichkeiten für diese im Folgenden zu erläutern.

5.2 Bogen

Die Ausführung der Bögen entspricht weitgehend jener bei Stabbogenbrücken. Die Form des Bogens sollte einen Kreisbogen beschreiben, da dieser aufgrund der annähernd radialen Belastung der Stützlinie am nächsten kommt. Weitere Vorteile sind die einfachere Fertigung, gleichmäßige Normalkraftverteilung im mittleren Bereich und gleiche maximale Momente in Bogen und Versteifungsträger [4]. Eine Verkleinerung der Momente kann durch eine Reduzierung des Kreisradius im Portalbereich erzielt werden.

Als Bogenstich sollte ungefähr $1/7$ bis $1/9$ der Spannweite festgelegt werden. Die Steifigkeit des Bogens sollte wie beim Stabbogen zirka $1/8$ bis $1/10$ – in Abhängigkeit von der Netzgeometrie – der Steifigkeit des Versteifungsträgers betragen. Eine vom Kämpferbereich abnehmende Bogenhöhe unterstreicht den Kraftverlauf visuell und kann statisch vorteilhaft sein.

Der Querschnitt des Bogens kann entweder als geschweißter Hohlkasten oder, nach einem Vorschlag von Tveit, als gewalztes Breitflanschprofil ausgeführt werden (Abbildung 10). Die Querschnittsform des geschweißten Hohlkastens zählt bei Stabbogenbrücken zur Standard-

ausführung und hat sich auch schon bei Netzwerkbogenbrücken aus konstruktiven Gründen bewährt. Die Variante der gewalzten Breitflanschprofile bietet sich an, da durch die Hängernordnung die Momente im Bogen wesentlich reduziert werden und somit vor allem eine Normalkraftbeanspruchung vorliegt. Die Profile sollten um 90° verdreht eingebaut werden, da die Biegemomente aus der Bogenebene infolge Winds meist größer sind. Im Portalbereich kann jedoch aufgrund der größeren Knicklänge (Endportalkonstruktion Abbildung 5) ein geschweißter Hohlkasten nötig werden. Die Vorteile des gewalzten Breitflanschprofils liegen vor allem im verringerten Schweißaufwand und in einem einfachen Hängeranschluss (siehe auch Kapitel 9, Abbildung 37). Welcher Querschnitt gewählt wird, sollte letztendlich aufgrund von wirtschaftlichen Überlegungen erfolgen, wobei sich bei ausgeführten Projekten eine starke Tendenz Richtung geschweißtem Hohlkasten zeigt.

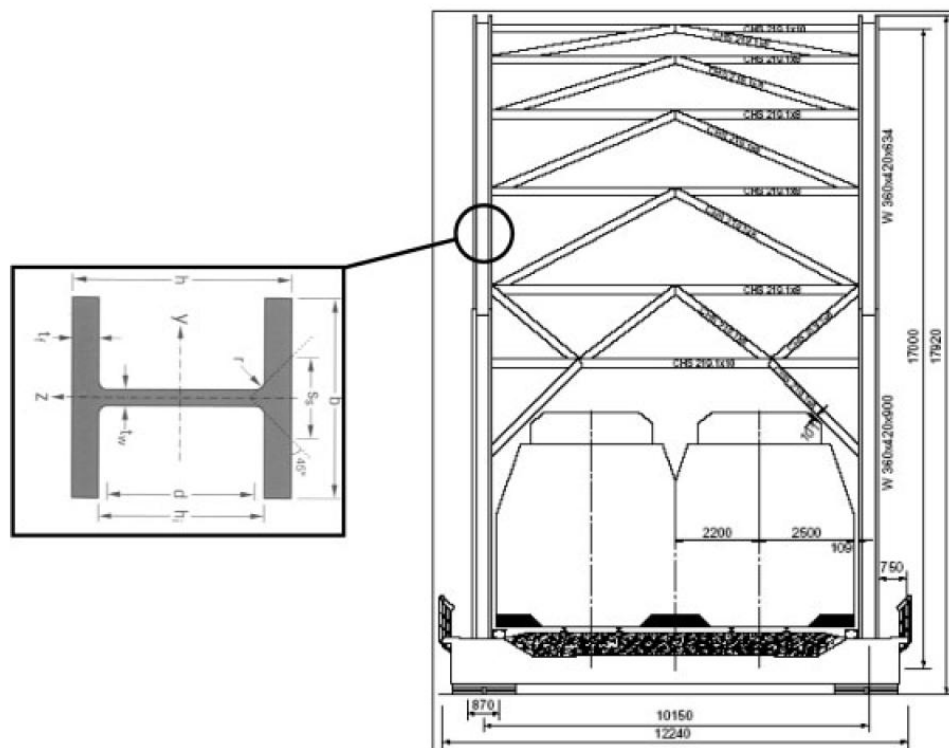


Abbildung 10 Ausführung des Bogens als gewalztes Breitflanschprofil [3]

5.3 Versteifungsträger und Fahrbahn

Für die Ausführung des Versteifungsträgers und der Fahrbahn bieten sich mehrere Möglichkeiten:

- Versteifungsträger
 - Kastenprofile
 - I-Profile
 - Spannbetonuntergurte
- Fahrbahn
 - Orthotrope Platte
 - Betonplatte
 - Verbundplatte

Die Ausbildung des Untergurts als H-Profil beschränkt sich auf eingleisige Eisenbahnbrücken, da die Querschnitte sehr torsionsweich sind. Bei zweigleisigen Brücken sind geschweißte Hohlkastenprofile besser geeignet. Beide Konstruktionsmöglichkeiten wurden schon bei etlichen Stabbogenbrücken eingesetzt. Ihre Vorteile liegen im einfachen und bewährten Hängeranschluss und in der simpleren Montage (Abbildung 11).

Spannbetonuntergurte haben sich vor allem durch eine sehr schlanke Ausbildung, die eingesparte Menge an Baustahl und die hohe Dauerhaftigkeit bewährt. *„Die Längs- und Querbiegemomente werden bei dieser Untergurtvariante vom Stahlbetonquerschnitt und die Zugkraft aus Bogenschub wird von Spannstählen aufgenommen“* [3]. Des Weiteren zeigte sich auch das höhere Gewicht als vorteilhaft hinsichtlich des Tragverhaltens von Netzwerkbogenbrücke, da Druckkräfte in den Hängern vermieden werden können (siehe auch Kap.6). Die zusätzlichen Erschwernisse bei der Montage und die hinsichtlich des Ermüdungsnachweises konstruktiv ungünstigen Hängeranschlüsse haben jedoch dazu geführt, dass man von dieser Konstruktionsvariante heutzutage Abstand nimmt (Abbildung 12).

Prinzipiell kann im Vergleich zur Stabbogenbrücke die Konstruktionshöhe des Versteifungsträgers aufgrund der verringerten Momente wesentlich reduziert werden. In manchen Fällen kann sogar die Querträgerdimensionierung für die Bauhöhe des Untergurts maßgebend sein. Üblicherweise wird die Fahrbahnplatte in Form einer orthotropen Platte ausgeführt. In diesem Fall sind nur Versteifungsträger aus Stahl einsetzbar.

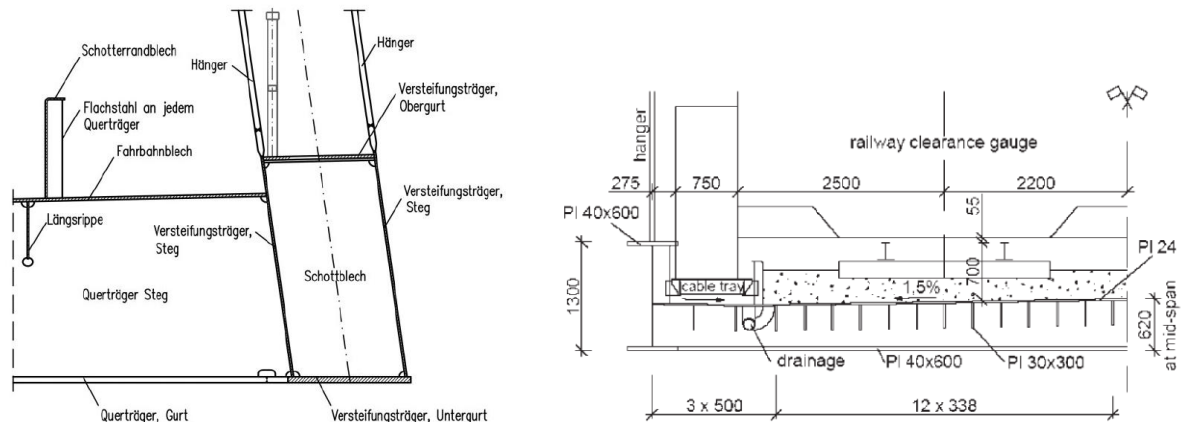


Abbildung 11 Beispiele für Kastenprofil [5] und I-Profil [3] mit orthotroper Platte

Eine interessante Alternative sind massive Fahrbahnplatten. Diese können sowohl in Kombination mit stählernen Untergurten als auch mit Spannbetonuntergurten ausgeführt werden. Bei Spannbetonuntergurten kann die Fahrbahnplatte entweder quer vorgespannt oder schlaff bewehrt werden. Abhängig von der Fahrbahnbreite kann bei Kasten- oder I-Profilen die massive Unterkonstruktion als schlaff bewehrte Platte („Verbunduntergurt“) oder längsspannend über stählerne Querträger ausgeführt werden (Abbildung 13). Der Anschluss an die Stahlprofile erfolgt über Kopfbolzendübel, die eine ausreichende Schubkraftübertragung in der Verbundfuge gewährleisten sollen.

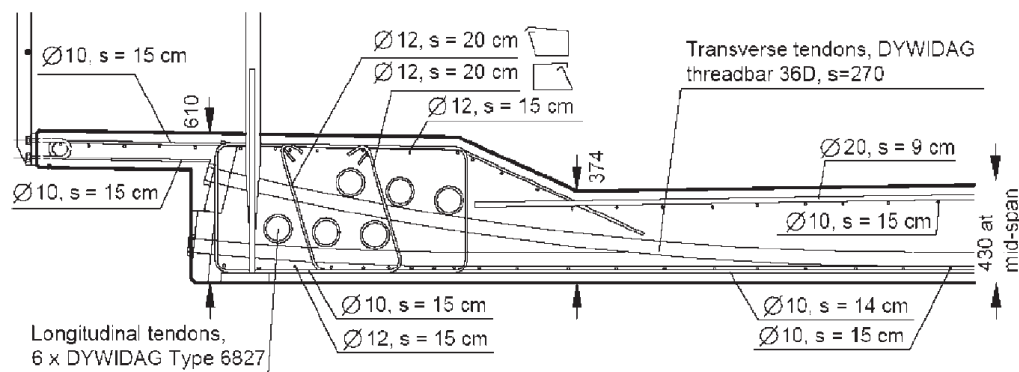


Abbildung 12 Beispiel für einen Spannbetonuntergurt mit quer vorgespannter massiver Fahrbahnplatte [3]

Die wirtschaftlichere Lösung sind oftmals orthotrope Platten, da bei massiven Fahrbahnplatten die Montage sehr aufwendig ist. Ein Verbunduntergurt stellt jedoch einen guten Kompromiss dar, da er die Vorteile von beiden Konstruktionsvarianten verbindet. „Die Montage ohne Betonplatte ist vergleichbar mit einer reinen Stahlvariante, und die nachträgliche betonierte Platte liefert das erforderliche Eigengewicht, um Hängerausfälle zu verhindern“ [3].

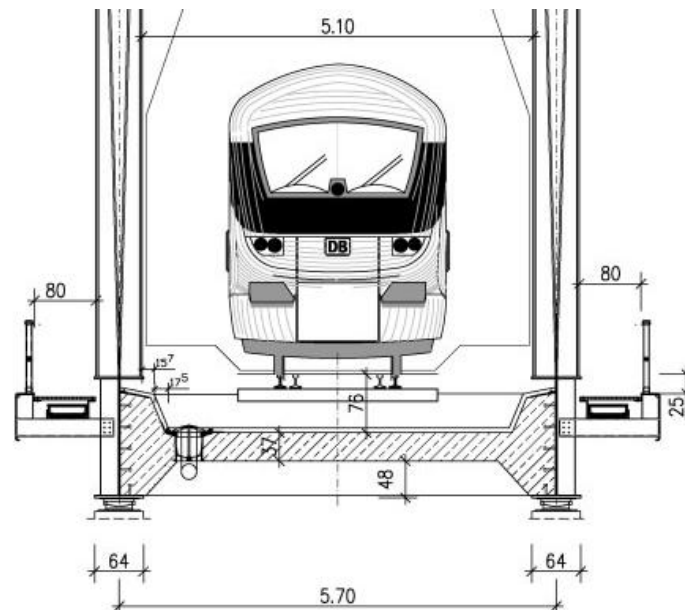


Abbildung 13 Beispiel für ein I-Profil mit schlaff bewehrter Platte (Verbunduntergurt) [2]

5.4 Hänger

Die Hänger können entweder als Flachstahl-, Rundstahlhänger oder vollverschlossene Seile ausgeführt werden. Bei in den letzten Jahren gebauten Netzbogenbrücken wurden vor allem Hänger aus Flach- und Rundstahl eingesetzt, da sie eine höhere Ermüdungsfestigkeit und einfacher auszuführende Anschlüsse haben.

Rundstahlhänger haben sich speziell bei Straßenbrücken bewährt. Bei Eisenbahnbrücken wurden aufgrund der erforderlichen ermüdungsgerechten Konstruktion bisher nur Flachstahlhänger eingesetzt. Diese sind im Gegensatz zu Hängern mit runden Vollquerschnitten auch in größeren Längen lieferbar und können problemlos durch einen Vollstoß verbunden werden.

5.5 Windverband

Für die Ausführung des Windverbandes bei Netzbogenbrücken stehen dieselben Möglichkeiten zur Verfügung wie bei Stabbogenbrücken. Besonders Einzelriegel aus Hohlkastenprofilen, basierend auf dem Prinzip eines Viereendeel-Trägers, haben sich als eine wirtschaftliche und einfach auszuführende Konstruktion erwiesen. Alternativen stellen die klassischen Windverbände, wie K-Fachwerke, Rautenfachwerke oder Strebenfachwerke dar. Darüber hinaus hat es sich bewährt, die Bögen gegeneinander geneigt herzustellen.

6 Netzgenerierung von Netzwerkbogenbrücken

6.1 Allgemeines

Es ist offensichtlich, dass das Hängernetz als wesentlicher Bestandteil einer Netzwerkbogenbrücke das gesamte Tragverhalten definiert. Die Anordnung der Hänger entscheidet über die Effizienz und in weiterer Folge über die Wirtschaftlichkeit der gesamten Struktur. Eine schlechte oder ungünstige Anordnung der Hänger kann dazu führen, dass die gewünschten statischen Vorteile nicht ausgenützt werden können, und stellt somit die Wahl des Brückentyps in Frage. Sowohl die Anzahl als auch die geometrische Lage der einzelnen Hänger haben Einfluss auf die Schnittgrößenverläufe in Ober- und Untergurt, bestimmen die maximalen Hängerkräfte und wirken sich auf deren Schwingbreite aus. Daraus lässt sich ableiten, dass im Zuge der Planung einer Netzwerkbogenbrücke der Entwicklung der Netzgeometrie größte Aufmerksamkeit zu schenken ist. Ziel ist das Auffinden einer für das jeweilige Projekt „optimalen“ Hängeranordnung. Davon hängen Wirtschaftlichkeit, Qualität und Ausführbarkeit des Entwurfes ab.

Besonders wichtig ist das Verhalten der Hänger hinsichtlich einseitiger Verkehrsbelastungen, da die Gefahr besteht, dass in einzelnen Hängern Druckkräfte entstehen. Aufgrund ihrer schlanken Querschnitte können die Hänger diese Druckkräfte nicht aufnehmen, knicken aus und entziehen sich so ihrer Mitwirkung an der Lastabtragung. Dies ist von Nachteil für die gesamte Konstruktion. In der Konsequenz muss die Netzgeometrie möglichst so gewählt werden, dass keine resultierenden Druckkräfte in einzelnen Hängern auftreten können. Die Problematik wird in Abbildung 14 ersichtlich, in der die Normalkrafteinflusslinien von zwei Hängern dargestellt sind.

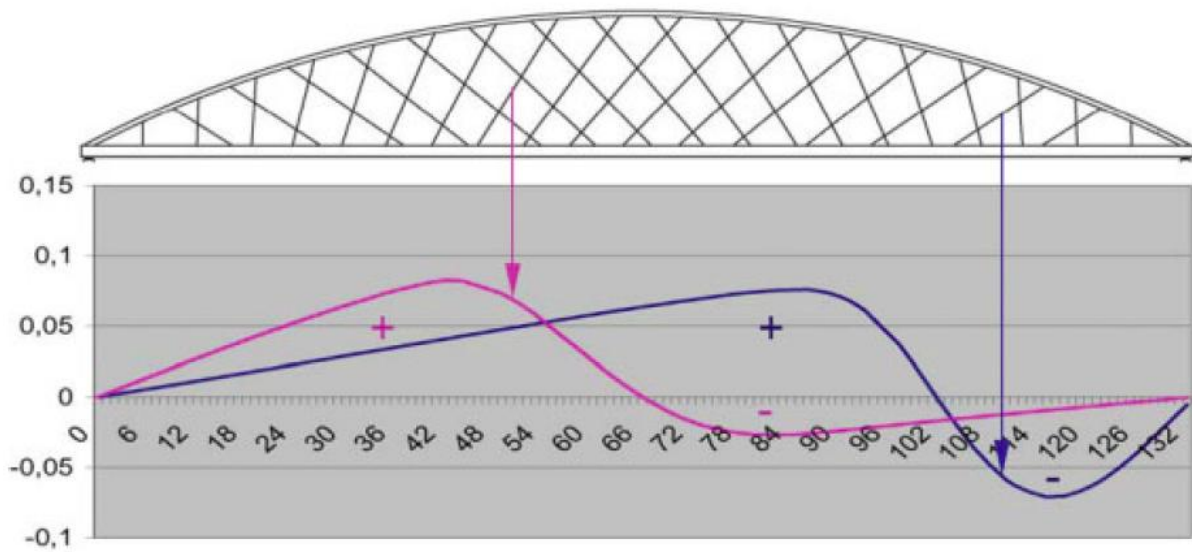


Abbildung 14 Normalkraft-Einflusslinien für zwei Hänger [2]

Jede der Einflusslinien besitzt sowohl einen positiven als auch einen negativen Bereich. Der positive Anteil ist flächenmäßig immer größer. Daraus ist leicht abzulesen, dass eine in Brückenlängsrichtung gleichmäßig verteilte Last, z.B.: Lasten zufolge Eigengewicht, immer resultierende Zugkräfte in den Hängern hervorruft. Im Gegensatz dazu bewirken Verkehrslasten im negativen Bereich der Einflusslinien eine Druckkraft im betrachteten Hänger. „Ein Hängerausfall infolge Druckbeanspruchung wird nur dann vermieden, wenn die Zugkraft infolge Eigengewichts größer als die Druckkraft infolge dieser begrenzten Verkehrslast ist.“ [2]

Um die optimale Netzgeometrie zu finden, müssen im Vorfeld die gewünschten Eigenschaften definiert werden. Benjamin Brunn und Frank Schanack geben in [6] einen guten Hinweis, welche Attribute eine gute Hängeranordnung zu erfüllen hat:

„Die Eigenschaften einer guten Hängeranordnung, und damit das Ziel einer jeden Suche nach einer Hängeranordnung in einem konkreten Projekt, können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Kleine Biegemomente in den Gurten
- Annähernd gleiche maximale Hängerkräfte
- Kein Hängerausfall
- Günstige Anordnung der Hängerknoten in Hinblick auf andere Bauteile
- Kleine Schwingbreite der Schnittgrößen
- Den Baumethoden angepasst
- Dauerhaft, ökologisch, wirtschaftlich.“ [6]

Darüber hinaus sollte die gewählte Hängeranordnung zu einer gleichmäßigen, ästhetischen Netzgeometrie führen und geometrische Forderungen, wie z.B.: Einhaltung der notwendigen Durchtrittsfenster durch das Hängernetz, erfüllen. An dieser Stelle muss festgehalten werden, dass es nicht möglich ist, alle Forderungen in gleichem Maße zu befriedigen. Zwar bedingt die Erfüllung eines Attributes oftmals die eines anderen, z.B führt die Suche nach einem möglichst kleinen globalen Biegemoment gleichzeitig zur Vermeidung von Hängerausfällen, was wiederum zu kleinen Spannungsschwingbreiten führt. Andererseits steht die Forderung nach einer kleinen negativen Einflussfläche zur Vermeidung einer resultierenden Druckkraft in dem Hänger im Widerspruch mit dem Wunsch nach möglichst geringen Hängernormalkräften, was eine kleine positive Einflussfläche voraussetzt.

Folglich ist es also notwendig, die einzelnen Attribute in ihrer Bedeutung zu gewichten. Das Auffinden einer guten Hängeranordnung stellt, wie unschwer zu erkennen ist, einen relativ aufwendigen Optimierungsprozess dar, dem eine große Anzahl an Zielgrößen und Variablen zu Grunde liegt.

6.2 Die Variablen der Hängeranordnung

Um die Geometrie der Hängeranordnung ausreichend genau zu beschreiben, wird in [6] vorgeschlagen, praktischerweise folgende 4 Variable zu verwenden:

- Die Anzahl der Hängersets
- Die Anzahl der Hänger je Set
- Die Abstände der Hänger untereinander
- Den Neigungswinkel eines jeden Hängers

Die Parameter, die sich von Projekt zu Projekt unterscheiden und somit die Variablen der Hängeranordnung im Wesentlichen beeinflussen, sind:

- Die Lage der Hänger entlang des Bogens
- Die Lage der Hänger entlang des Untergurtes
- Die Anzahl der Hänger und die Spannweite des Brückentragwerks
- Der Bogenstich und die Bogenkrümmung
- Das Verhältnis von Verkehrs- zu ständiger Last
- Die Form und Anordnung der Belastung
- Der Radius des Bogens
- Das Steifigkeitsverhältnis von Bogen und Fahrbahn

Als Hängerset werden alle Hänger mit dem gleichen Neigungssinn definiert, siehe Abbildung 15.

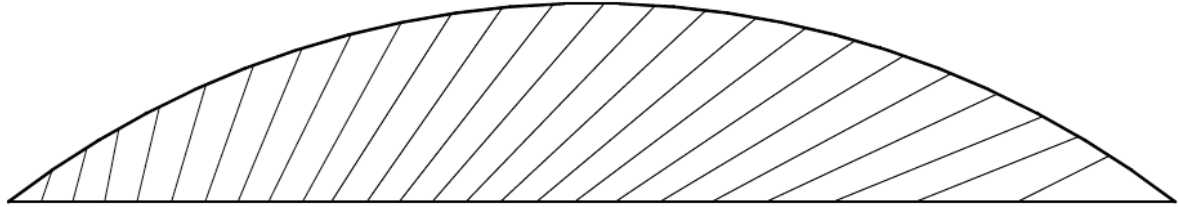


Abbildung 15 Hänger mit dem gleichen Neigungssinn bilden ein Hängerset [6]

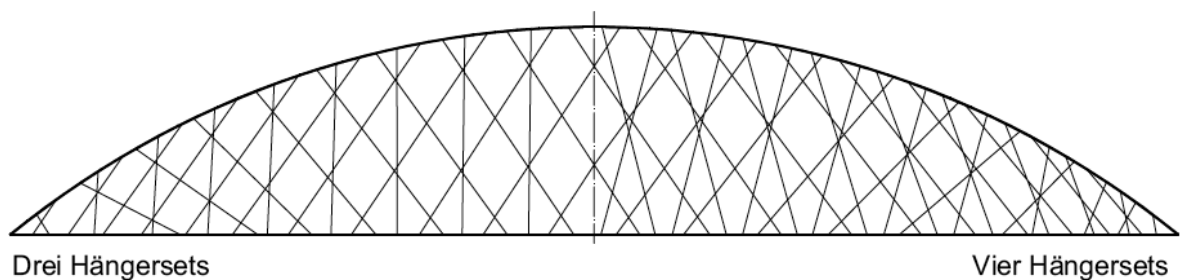


Abbildung 16 Die Netzgeometrie bei drei bzw. vier Hängersets [6]

In der Regel kommen zwei Hängersets mit gegengleichem Neigungssinn zum Einsatz. Die Wirkung der Hänger ist vergleichbar mit einer kontinuierlichen elastischen Stützung (Winkler-Bettung) des Bogens und der Fahrbahnplatte. Über Netzgeometrien, bei denen mehr als zwei Hängersets zum Einsatz kommen, ist wenig bekannt. Zwar würden sich Verbesserungen bei der Abtragung von großen Einzellasten ergeben, da sich daran immer mehr als 2 Hänger beteiligen würden und die Steifigkeit der elastischen Unterstützung eine Steigerung erfahren würde, derselbe Effekt lässt sich jedoch durch steilere Hänger oder größere Durchmesser deutlich kostengünstiger erzielen.

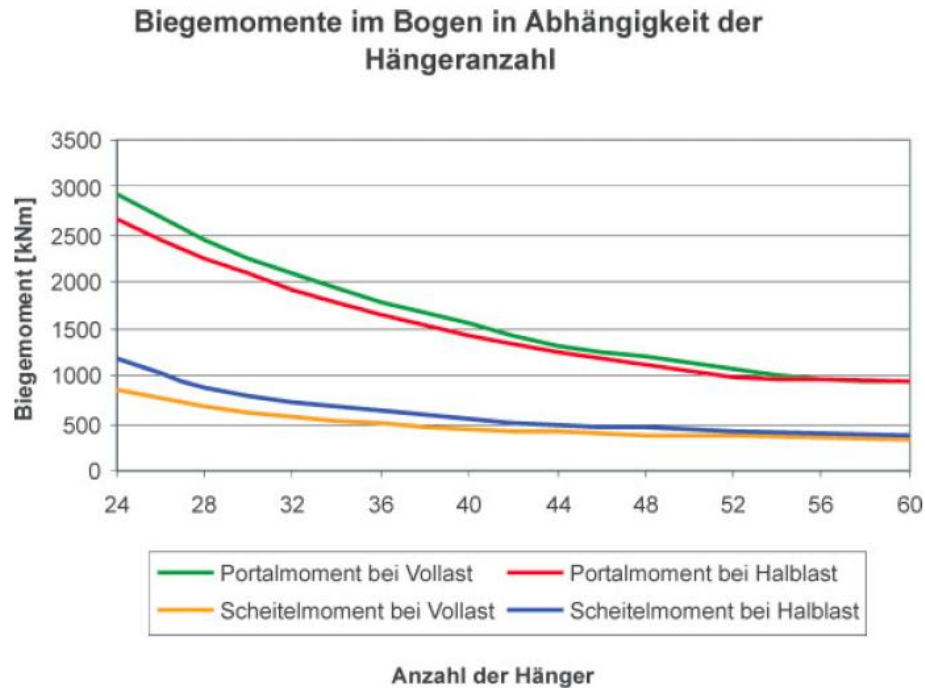
6.3 Die Anzahl der Hänger pro Set und der Abstand der Hänger untereinander

Eine erhöhte Hängeranzahl führt zu Verbesserungen im Tragverhalten der Konstruktion. Wie bereits erwähnt, nimmt mit der Hängeranzahl die elastische Unterstützung der Gurte zu. Die Steifigkeit der Konstruktion steigt. Dies hat positive Auswirkungen auf die Knicklast des Bogens. Eine größere Hängeranzahl bedingt des Weiteren geringere Abstände zwischen den einzelnen Hängern. Folglich reduzieren sich die lokalen Biegemomente und Querkräfte in Bogen und Versteifungsträger. Die negativen Auswirkungen durch fehlende Hänger, sei es durch Hängerausfall oder im Falle eines Unfalles, werden ebenfalls reduziert.

Ein wichtiger, wenn nicht sogar der wesentliche Faktor bei der Bestimmung der Hängeranzahl im Tragwerk sind die mit der Anzahl an Hängern steigenden Gesamtkosten. Diese werden von dem steigenden Materialbedarf und den steigenden Lohnkosten für die Fertigung, Montage und Justierung der Hänger hervorgerufen. Reduziert werden die Gesamtkosten durch den sogenannten Wiederholungseffekt. Besitzen die Hänger konstante Durchmesser und sind die Anschlussdetails ähnlich, so sinkt der Stückpreis mit zunehmender Anzahl. Um ein wirtschaftliches Tragwerk zu entwerfen, ist es also notwendig, die Vorteile einer erhöhten Hängeranzahl den damit verbundene Kosten gegenüberzustellen.

Diesbezüglich wurden in [7] interessante Untersuchungen angestellt. Es wird gezeigt, dass sowohl die maximalen Hängerkräfte als auch die Biegemomente im Bogen und die Schwingbreite der Hängerkräfte nicht proportional, sondern asymptotisch mit steigender Hängeranzahl abnehmen (Abbildung 18).

Daraus lässt sich ableiten, dass ab einer gewissen Hängeranzahl die erzielbaren Vorteile durch die steigenden Gesamtkosten aufgewogen werden. In seinem Artikel in [3] kommt Stephan Teich zu derselben Schlussfolgerung (Abbildung 17). Aus den Diagrammen ist ersichtlich, dass es ab einer Hängeranzahl zwischen 48 und 50 zu keiner weiteren deutlichen Reduzierung der Biegemomente mehr kommt. Sinnvolle Werte, auf die die Hängeranzahl in Abhängigkeit von der Spannweite der Brücke zu begrenzen ist, können der Tabelle in Abbildung 17 entnommen werden. Zusätzlich wird die Hängeranzahl von den Abständen zwischen den einzelnen Hängern beeinflusst. Die Analyse der Hängerabstände am Bogen und der Spannweite in 16 ausgeführten Netzwerkbogenstraßenbrücken [6] zeigt, dass sich der Abstand der Hängerknoten in der Regel in einem Bereich von 2,50 bis 4,0 m bewegt.



Spannweite [m]	100	150	200	250
Hängeranzahl	36-46	38-48	40-50	42-52

Abbildung 17 Einfluss der Hängeranzahl auf die resultierenden Biegemomente/Sinnvolle Hängeranzahl [3]

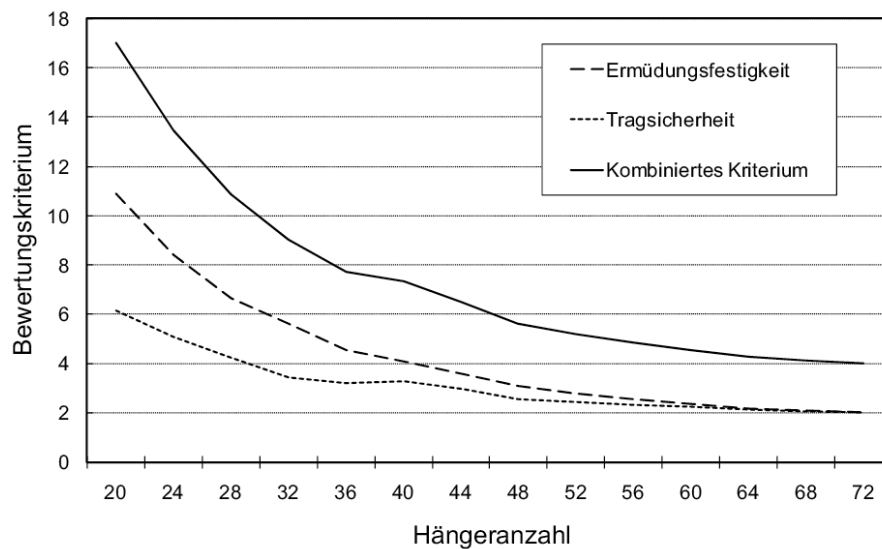


Abbildung 18 Bewertung der Beanspruchung eines Netzwerkbogens in Abhängigkeit der Hängeranzahl, Spannweite 100 m, Bogenstich 17 m, Kreuzungswinkel 41° [6]

Es ist jedoch zu beachten, dass die konzentrierten Einzellasten bei Straßenbrücken deutlich geringer sind als bei Eisenbahnbrücken. Folglich sind die resultierenden Biegemomente kleiner und für größere Spannweiten, bei denen die Querschnitte ohnehin kräftiger ausgebildet werden, können größere Knotenabstände zugelassen werden. Anders verhält sich dies bei

Eisenbahnbrücken. Die höheren konzentrierten Einzellasten erfordern geringere Hängerabstände, um die Biegemomente in den Gurten möglichst klein zu halten. Als erste Näherung für den Vorentwurf geben Benjamin Brunn und Frank Schanack [6] folgende Faustformel zur Bestimmung der Hängeranzahl n_H in jedem der beiden Hängersets in Abhängigkeit von der jeweiligen Spannweite s (m) an:

$$n_H = \frac{s}{6}$$

Diese Formel liefert lediglich einen Anfangswert für den Tragwerksentwurf. Eine Parameterstudie im weiteren Planungsverlauf bleibt erforderlich.

Bezüglich der Hängerabstände hat sich gezeigt, dass es günstig ist, die oberen Hängerknoten in gleichen Abständen entlang des Bogens auszuteilen. Das hat zur Folge, dass in jedem Hängerknoten nur ein Hänger anschließt und die Neigungsrichtung von Knoten zu Knoten wechselt. So erhält man die zuvor bereits erwähnte kontinuierliche gegenseitige elastische Stützung des Bogens und des Versteifungsträgers. Darüber hinaus gestaltet sich die konstruktive Ausbildung der Knoten wesentlich einfacher, wenn nur jeweils ein Hänger je Knoten anschließt. Man erzielt die kleinstmöglichen Knotenabstände und somit auch die kleinsten lokalen Biegemomente.

6.4 Neigungswinkel und Positionierung der Hänger

„Betrachtet man den Neigungswinkel und die Position jedes Hängers als eigenständige Variable, so wird der Entwurfsprozess schnell unübersichtlich und unwirtschaftlich.“ [6]

Aus diesem Grund wurden einige Generierungsvorschriften entwickelt, welche zu Netzgeometrien führen, die die Attribute einer guten Hängeranordnung weitestgehend erfüllen. Auf die unterschiedlichen Generierungsvorschriften und ihre jeweiligen Vor- und Nachteile wird später eingegangen werden. Dennoch lassen sich ganz allgemeine Aussagen über das Verhalten der Hänger bezüglich ihrer Position und ihrer Neigungswinkel treffen. Wie zu Beginn des Kapitels erläutert, besteht die Gefahr eines Hängerausfalles infolge resultierender Druckkräfte, hervorgerufen durch halbseitige Verkehrslasten. Die Hänger fallen aus und beteiligen sich nicht mehr an der Tragwirkung (Abbildung 19).

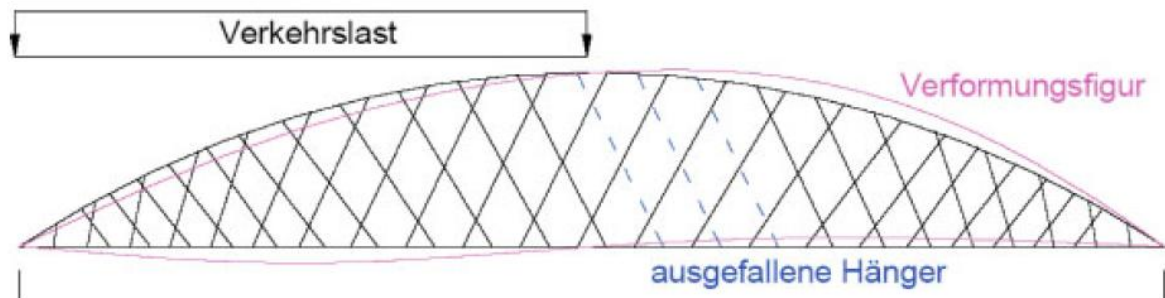


Abbildung 19 Verformungsfigur unter halbseitiger Belastung [3]

Bei zu steilen Hängern kommt es zu so vielen Hängerausfällen, dass die Biegemomente im Bogen sehr stark ansteigen und sich das Tragwerk wie ein herkömmlicher Stabbogen mit vertikalen Hängern verhält. Diesem Problem kann man auf unterschiedliche Art und Weise begegnen. Untersuchungen haben gezeigt, dass sich der Normalkrafteinflusslinienverlauf durch Anpassung der Hängergeometrie günstig beeinflussen lässt. Das Verhältnis von positiver zu negativer Teilfläche der Normalkrafteinflusslinie eines Hängers wird mit zunehmend flacherer Hängerneigung größer (Abbildung 14). Mit einer flacheren Hängerneigung sinkt also das Risiko eines Hängerausfalles. Zusätzlich werden die Spannungsschwingbreiten positiv beeinflusst. Die Ermüdungsfestigkeit des Tragwerks steigt. Mit einem flacheren Neigungswinkel steigt allerdings auch gleichzeitig die maximale Hängerkraft an. Erforderliche Hängerquerschnitte und Anschlussdetails vergrößern sich. Oft wird eine veränderliche Hängerneigung gewählt. Zusammenfassend lässt sich sagen:

„Die Neigungswinkel des ersten und letzten Hängers sowie der Neigungszuwachs eines jeden Hängers sollten so gewählt werden, dass die Hänger nur so flach wie nötig geneigt werden, dass keine Druckkräfte in ihnen resultieren.“ [2]

Per Tveit präsentiert in seinen Publikationen [1] Diagramme, die helfen sollen, einen geeigneten Neigungswinkel für die Hänger zu bestimmen, um einen Ausfall zu vermeiden. Die Neigung wird in Abhängigkeit der Lage des Hängers in der Konstruktion (Abszissenwert) und in Abhängigkeit vom Verhältnis der Verkehrslast zur ständigen Last (Ordinatenwert) angegeben (Abbildung 20).

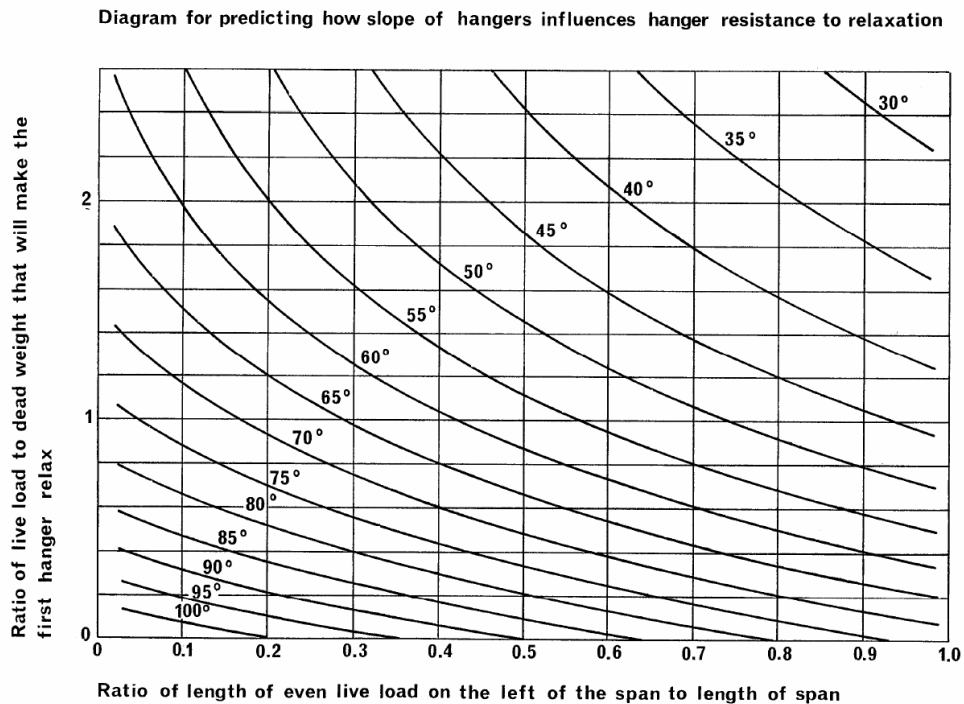


Abbildung 20 Diagramm zur Abschätzung geeigneter Neigungswinkel der Hänger zur Vermeidung von Hängerausfall [1]

Wie man aus dem obigen Diagramm entnehmen kann, ist das Verhältnis der Verkehrslast zur ständigen Last von zentraler Bedeutung. Daraus leitet sich eine weitere Variante ab, dem Ausfall von Hängern zu begegnen.

Es wird versucht, eine Art Vorspannung durch ausreichend große Eigenlasten zu erzielen. Daher kann sich der Einsatz einer Verbundplatte anstelle der in der Regel ausgeführten orthotropen Platte als sinnvoll erweisen. Eine zusätzliche Ballastierung durch z.B.: Schotter ist ebenfalls denkbar. Zu beachten ist, dass höheres Eigengewicht auch mit negativen Auswirkungen verbunden ist. Die Normalkräfte in allen Bauteilen steigen an. Dieser Variante sind also sowohl wirtschaftliche als auch technische Grenzen gesetzt.

6.5 Bogenstich, Steifigkeiten und Krümmung

Aufgrund der speziellen Netzgeometrie kommt es in Netzwerkbogenbrücken zu stark reduzierten resultierenden Biegemomenten im Bogen und im Versteifungsträger. Daher benötigen diese Bauteile weitaus geringere Biegesteifigkeiten in Bogenebene. Besonders deutlich sichtbar wird das durch die reduzierte Bauhöhe des Versteifungsträgers. Die Verhältnisse der Steifigkeiten, der geeignete Bogenstich sowie die Bogenkrümmung sind wie in Kapitel 5.2 und 5.3 beschrieben zu wählen.

7 Generierungsvorschriften für die Hängeranordnung

7.1 Allgemeines

Aufgrund der vielen zu berücksichtigenden Variablen und Parameter gestaltet sich das Auffinden und Entwerfen eines geeigneten Hängernetzes schwierig. Im Lauf der Zeit wurden einige Generierungsvorschriften entwickelt, die es möglich machen, eine erste Annäherung an die endgültige Hängeranordnung zu erhalten. Die vielen Randbedingungen, die sich von Projekt zu Projekt ändern, machen es meist dennoch notwendig, das so gefundene Hängernetz im Laufe der Planung manuell anzupassen.

Anfangs wird das klassische Rautennetz erläutert. Anschließend wird auf drei Generierungsvorschriften näher eingegangen, die es erleichtern sollen, eine Hängeranordnung aufzufinden, die möglichst alle Attribute einer guten Netzgeometrie zu erfüllen vermag.

7.2 Das Rautennetz

Das Rautennetz besteht aus 2 Hängersets, deren Hänger alle die gleiche Neigung aufweisen. Die Idee zu dieser Netzgeometrie basiert auf den von Nielsen entworfenen Brücken und ist die erste erforschte Hängeranordnung. Abbildung 21 zeigt einen von Nielsen zum Patent angemeldeten Brückenentwurf, der als Grundlage für das Rautennetz diente.

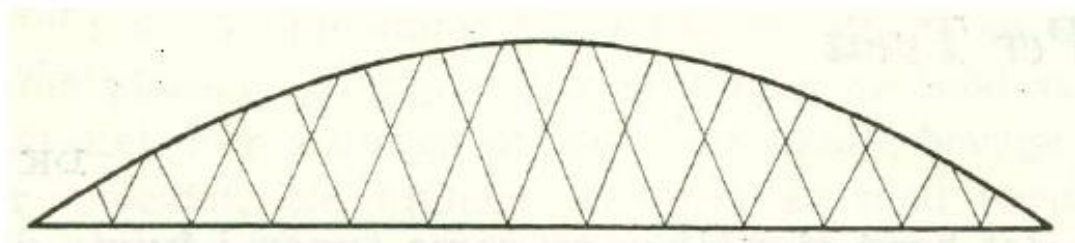


Abbildung 21 Brückenentwurf von Nielsen [1]

Als Ausführungsbeispiel aus jüngerer Vergangenheit sei die Netzwerkbogenbrücke über den Fluss Dzwina bei Wolin in Polen genannt (Abbildung 22).

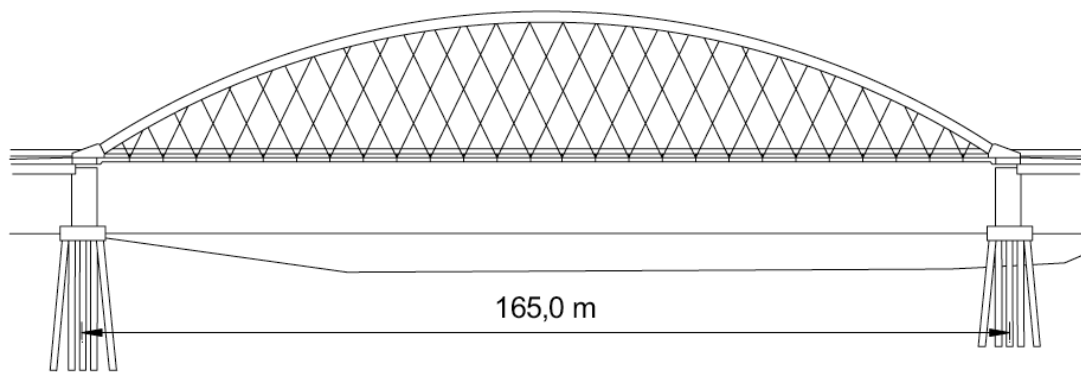


Abbildung 22 Das Rautennetz der Brücke über den Fluss Dziwna bei Wolin, Polen [6]

In einem Rautennetz werden immer zwei Hänger mit unterschiedlichem Neigungssinn in einem unteren Knotenpunkt vereint. Für die oberen Knotenpunkte ergibt sich zwangsläufig eine unregelmäßige Verteilung entlang des Bogens. Neigungswinkel zwischen 50° und 55° führen zu den geringsten Verformungen im Tragwerk und liefern die geringsten Biegemomente im Bogen und Versteifungsträger. Dennoch kann das Rautennetz einigen Ansprüchen, die an eine gute Hängeranordnung gestellt werden, nicht genügen. Die unregelmäßige Anordnung der Hänger entlang des Bogens wirkt sich nachteilig auf dessen Stabilität bezüglich Knicklast und auch negativ auf die resultierenden lokalen Biegemomente aus. Darüber hinaus unterliegen die maximalen Hängernormalkräfte großen Schwankungen.

Zwar ist die Anordnung der Hänger in einem Rautennetz mit optischen Vorteilen verbunden, nach heutigem Wissensstand über das statische Tragverhalten von Netzwerkbogenbrücken aber nicht mehr unbedingt zu empfehlen.

Abbildung 23 zeigt eine Weiterentwicklung des Rautennetzes, bei der bereits auf einige in 6 erwähnte Punkte Rücksicht genommen wurde. Die Hängerneigung ist zwar noch konstant, aber die Austeilung erfolgt derart, dass gleichmäßige Hängerabstände am Bogen entstehen.



Abbildung 23 Weiterentwickelter Brückenentwurf mit konstanter Hängerneigung und konstanten Hängerabständen entlang des Bogens [3]

7.3 Die radiale Hängeranordnung

Die Generierungsvorschrift der radialen Hängeranordnung wurde im Rahmen von [7] aus einer ausführlichen Parameterstudie heraus entwickelt. Sie ist das Ergebnis eines Optimierungsprozesses und erfüllt die Forderungen nach möglichst geringen maximalen Hängerkräften, geringen Biegemomenten und Spannungsschwingbreiten recht gut.

Um Biegemoment und Verformungen im Bogen möglichst gering zu halten, ist es notwendig, dass die Drucklinie möglichst mit der Bogenmittellinie zusammenfällt. Aus der Baustatik ist bekannt, dass eine radial gerichtete Linienlast in einem Kreisbogen (Abbildung 24) lediglich Normalkräfte hervorruft. Der Kreisbogen stellt für diese Art der Belastung die ideale Form einer Stützlinie dar.

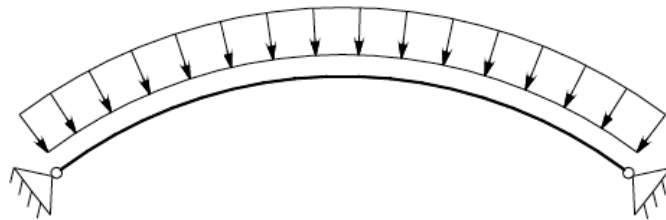


Abbildung 24 Bogen unter radialer Gleichlast [7]

Beim Netzwerkbogen werden die Kräfte durch die Hänger in den Bogen eingetragen. Die gleichmäßig verteilte radiale Belastung wird durch Einzelkräfte ersetzt. Diese greifen in regelmäßigen Abständen am Bogen an und sind ebenfalls radial orientiert (Abbildung 25).

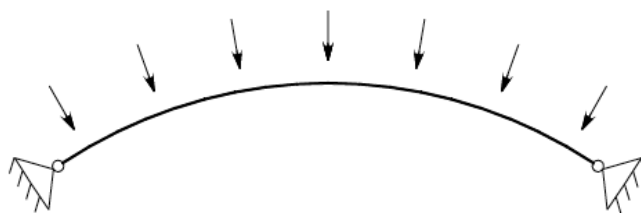


Abbildung 25 Bogen unter n radial orientierten Einzellasten [7]

Für eine unendlich große Anzahl an Einzellasten, stellt der Kreisbogen folglich ebenfalls einen Stützlinienbogen dar. Daraus leitet sich die Idee der radialen Hängeranordnung ab. Ist der Bogen kreisförmig wie in [1] empfohlen und bilden alle Hänger einen konstanten Winkel mit dem Bogen, so erhält man eine nahezu radiale Orientierung der Hänger und somit eine nahezu radiale Belastung des Bogens. Abbildung 26 und Abbildung 27 zeigen die Definition der radialen Hängeranordnung. Ist die Hängerzahl einmal festgelegt, verbleibt der Hänger-

Bogen-Winkel als einzige Variable dieser Netzgeometrie. Es existiert derzeit keine analytische Methode, mit der der Winkel zwischen Hänger und Bogen bestimmt werden kann. Der optimale Winkel ist für jedes Projekt neu zu bestimmen.

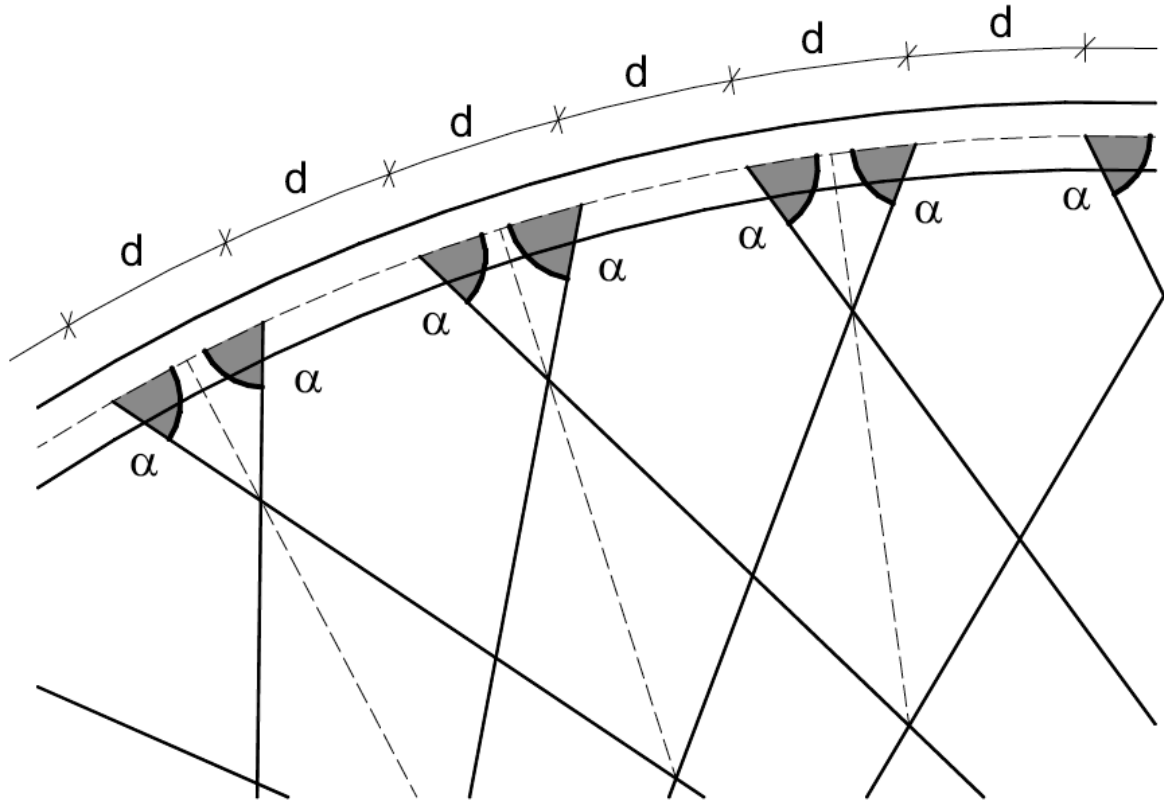


Abbildung 26 Definition der radialen Hängeranordnung [6]

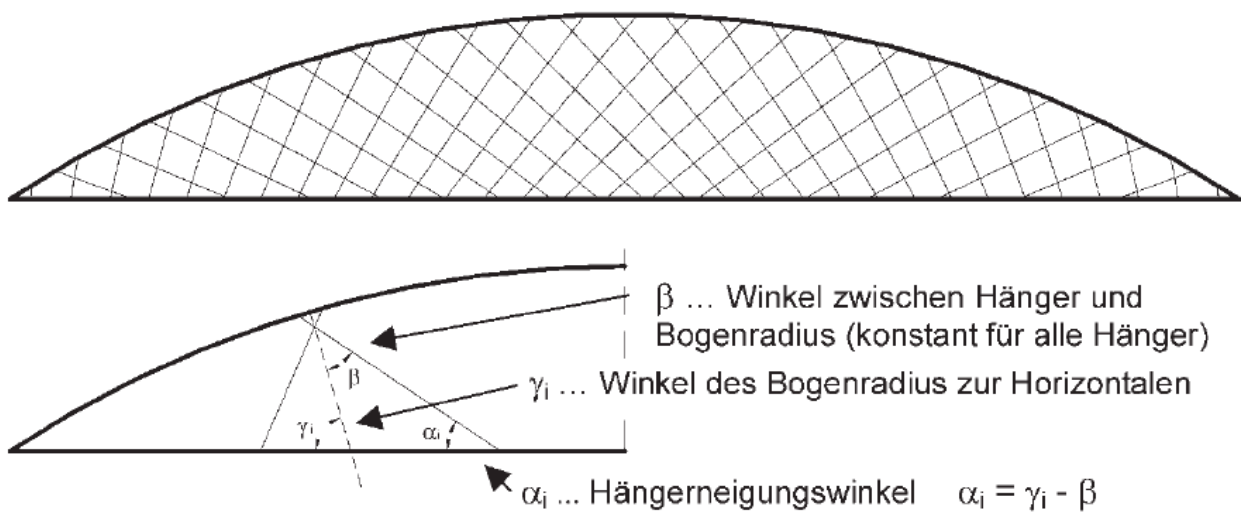


Abbildung 27 Beispiel für eine Netzgeometrie mit radialer Hängeranordnung/Variablen der radialen Hängeranordnung [3]

Aufgrund bestehender Projekte und Forschungsarbeiten werden in [6] aber folgende Anhaltspunkte für die Wahl eines geeigneten Winkels gegeben werden:

- Der Winkel zwischen Hänger und Bogen kann Werte von 45° bis 65° annehmen.
- Berechnungen haben gezeigt, dass für einen Winkel zwischen 55° und 60° die günstigste Schnittgrößenverteilung zu erwarten ist.
- Je geringer die Hängeranzahl gewählt wird, desto kleiner sollte der Winkel sein. Die Hänger sind folglich flacher geneigt.
- Ein großes Verhältnis von Verkehrs- zu ständiger Last erfordert ebenfalls kleinere Winkel und somit flachere Hänger.
- Um die Spannungsschwingbreiten möglichst gering zu halten, ist ein kleinerer Winkel zu wählen.
- Mit zunehmender Spannweite verkleinert sich das Verhältnis von Verkehrs- zu ständiger Last automatisch. Der Winkel zwischen Hänger und Bogen kann größer gewählt werden. Die Hänger sind steiler.
- Damit die Länge der Hänger zu den Brückenenden hin nicht zu groß wird, ist es sinnvoll, den Hänger-Bogen-Winkel in diesen Bereichen etwas zu vergrößern.

Besonderes Augenmerk ist den Bogenenden zu schenken. Diese stellen aufgrund der Einspannung des Bogens in die Fahrbahn einen Störbereich dar, in dem das generierte Netz auf jeden Fall manuell angepasst werden muss.

Das Problem soll anhand der von Benjamin Brunn und Frank Schanack in [7] berechneten Brücke erläutert werden. Für die Hänger im Störbereich ergeben sich weitaus höhere maximale Normalkräfte als für die restlichen Hänger im Tragwerk. Als direkte Folge erhöhen sich auch die Biegemomente im Bogen. Dies kann durch die Verformungsfigur des Netzwerk Bogens (Abbildung 28) erklärt werden. Diese weist im Bereich der Brückenenden sowohl eine Gegenbiegung als auch eine konvexe Durchbiegung auf.

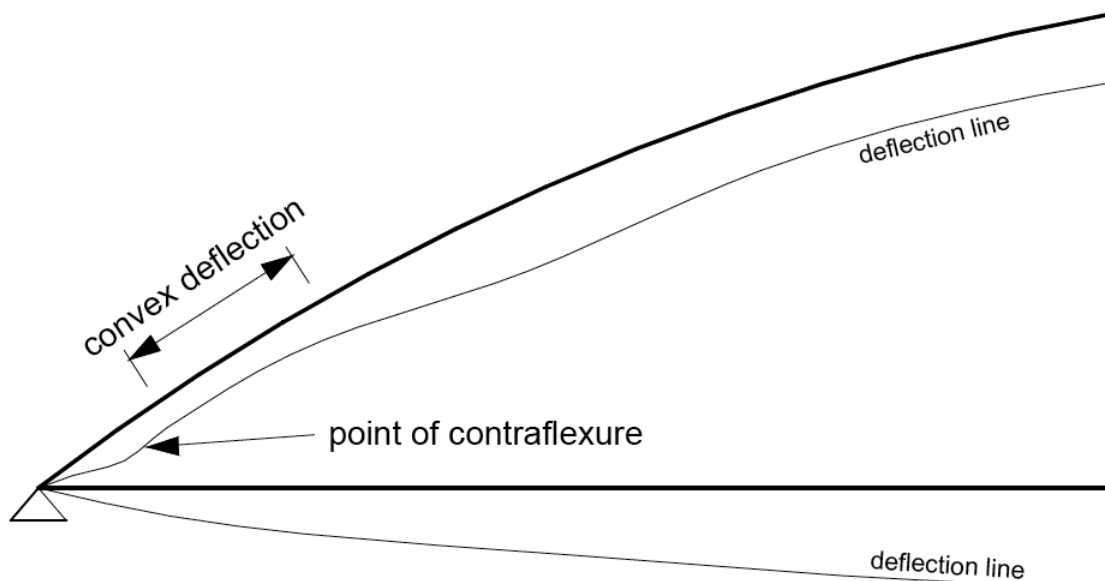


Abbildung 28 Verformungsfigur des Bogens Gegenbiegung und konvexer Durchbiegung [7]

Ziel ist es nun, die Netzgeometrie im Störbereich derart zu modifizieren, dass die erhöhte Normalkraft in den Hängern auf den durchschnittlichen Wert der übrigen Hänger im Tragwerk reduziert wird. Im folgenden Beispiel wird vorgeschlagen, die Hängerabstände im Störbereich zu verringern und sowohl die unteren als auch oberen Hängeranschlüsse in Richtung der konvexen Störzone zu verschieben. In der Folge teilen sich die erhöhten Kräfte auf mehrere Hänger auf und die maximale resultierende Normalkraft in den einzelnen Hängern nimmt ab. Auch die lokalen Biegemomente im Bogen werden auf ein verträgliches Maß gesenkt. Abbildung 29 und Abbildung 30 zeigen die ursprüngliche Netzgeometrie und resultierende maximale Biegemomente im Bogen im Vergleich mit der manuell angepassten Hängeranordnung im Störbereich.

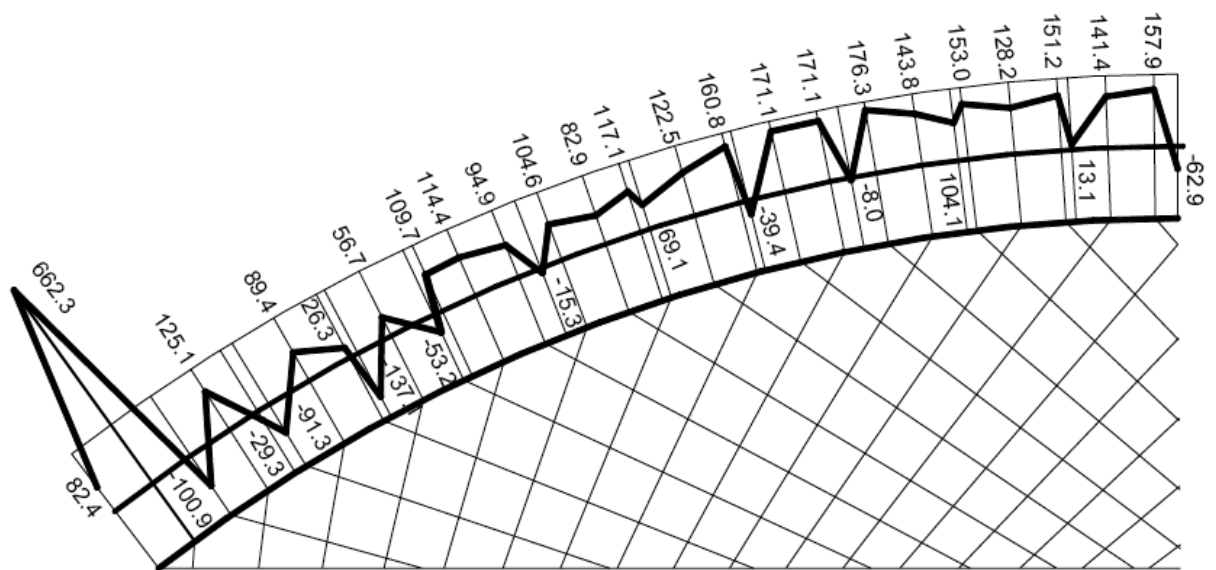


Abbildung 29 Resultierende Biegemomente im Bogen vor manueller Anpassung der Hängeranordnung im Störbereich [7]

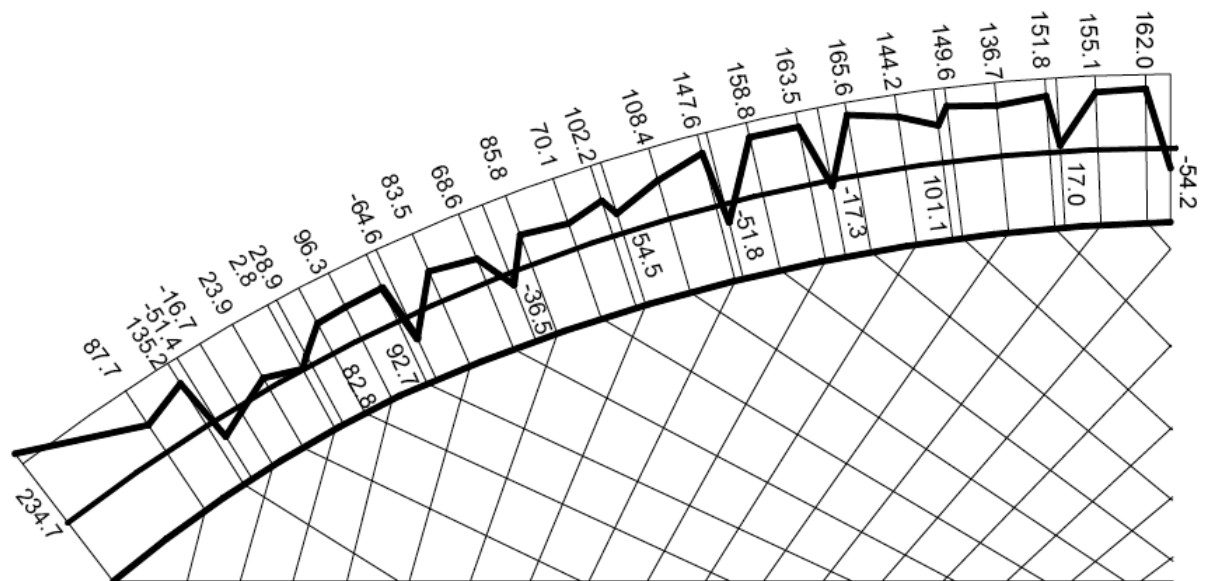
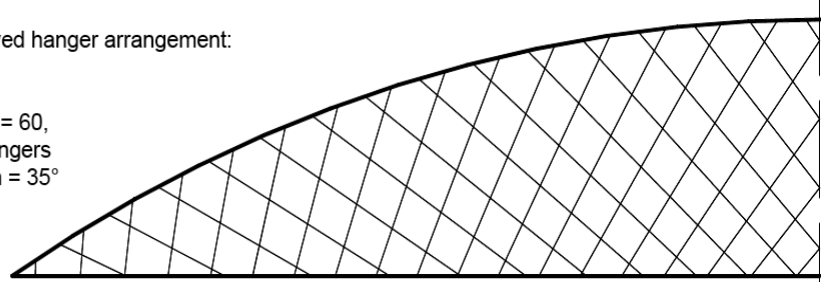


Abbildung 30 Resultierende Biegemomente im Bogen nach manueller Anpassung der Hängeranordnung im Störbereich [7]

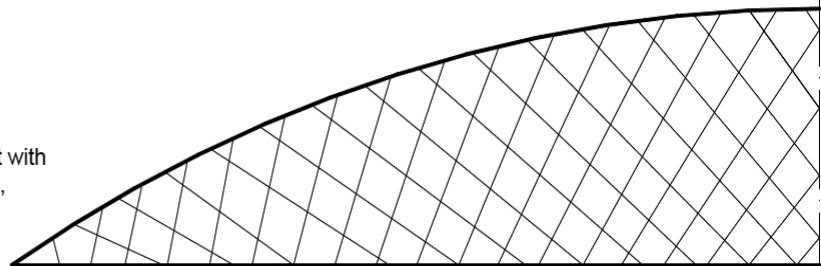
Abbildung 31 aus [8] zeigt eine Hängeranordnung gemäß der radialen Hängeranordnung vor und nach der manuellen Anpassung an den Bogenenden. Im Beispiel wurden zusätzlich die Neigungsrichtung des ersten Hängers umgekehrt und die Hänger etwas steiler angeordnet.

Network arch according to improved hanger arrangement:

span = 160 m, rise = 24 m,
 number of hanger per arch plane = 60,
 cross angle between radii and hangers
 at first intersection below the arch = 35°



Same network arch as above, but with
 adapted arrangement at the ends,
 (calculated in RACK [27])



G

Abbildung 31 Variante zur Anpassung der Hängeranordnung im kritischen Bereich [8]

In beiden Fällen wurde durch geringfügige Modifikation der Netzgeometrie eine Hängeranordnung im Störbereich gefunden, für die die maximalen resultierenden Normalkräfte und Biegemomente nicht zu sehr von den durchschnittlichen Schnittgrößen im restlichen Tragwerk abweichen. Dies ermöglicht ein wirtschaftlicheres Resttragwerk.

Mit der beschriebenen Generierungsvorschrift wurden zahlreiche Netzwerkbogenbrücken entworfen, die allesamt gute Ergebnisse hinsichtlich der Hängerkräfte und der Biegemomente in Bogen und Versteifungsträger erzielen.

7.4 Konstante Neigungsänderung

Eine weitere sinnvolle Variante, um eine Netzgeometrie zu erhalten, die die geforderten Eigenschaften einer guten Hängeranordnung weitestgehend erfüllt, besteht in der konstanten Neigungsänderung der Hänger. Die wesentlichen Parameter, welche diese Anordnung beschreiben, sind der gewählte Startwinkel und die Winkeländerung zwischen den einzelnen Hängern. Die Hänger sind variabel angeordnet, wobei die Neigung der von unten nach oben links geneigten Hänger kontinuierlich zunimmt und die der rechtsgeneigten Hänger in demselben Maße abnimmt. Der Abstand zwischen den Hängern am Bogen ist wieder konstant zu wählen. Abbildung 32 zeigt die Definition eines Hängernetzes mittels einer konstanten Neigungsänderung zwischen Hänger und Fahrbahnplatte.

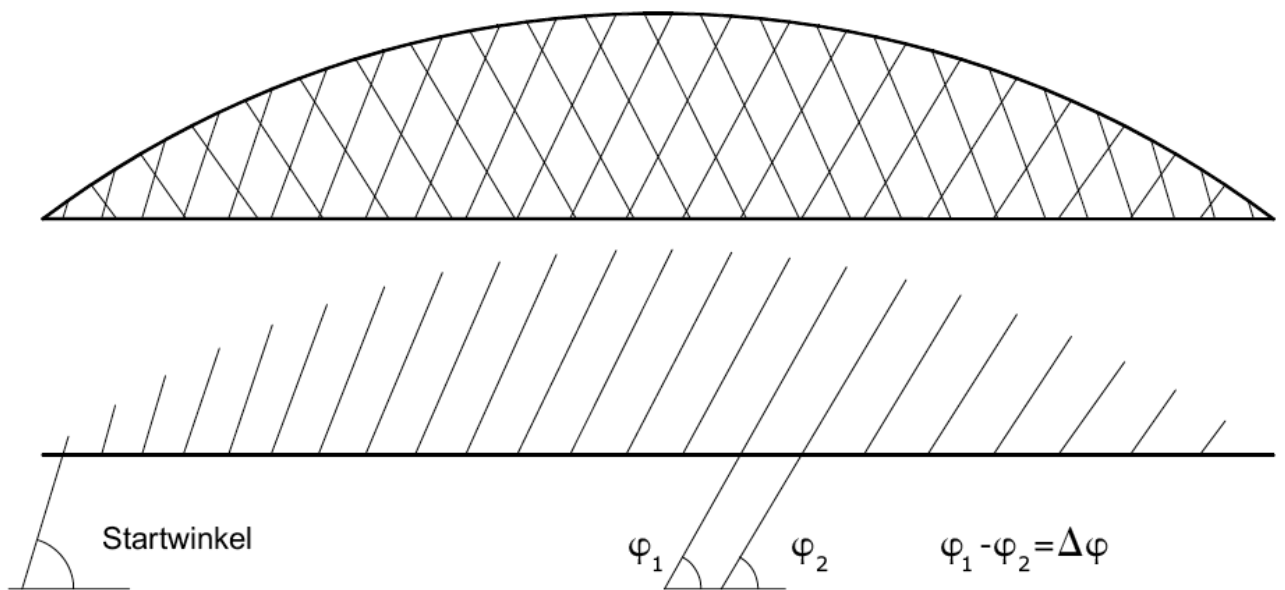


Abbildung 32 Definition eines Hängernetzes mittels einer konstanten Neigungsänderung zwischen Hängern und Fahrbahnplatte [6]

Diese Hängeranordnung stellt eine Weiterentwicklung der von Per Tveit in seinen beiden ersten Netzwerkbogenbrücken entwickelten Netzgeometrie dar. In den beiden Brücken wurden 13 bzw. 15 Hänger je Set angeordnet. Der Neigungsunterschied zwischen aufeinanderfolgenden Hängern ist mit ungefähr $1,75^\circ$ konstant. Der Startwinkel zwischen der Fahrbahn und dem ersten und steilsten Hänger beträgt 74° . Mit seiner Hängeranordnung erzielt Tveit gleichmäßig verteilte maximale Hängernormalkräfte und erfüllt somit eine der wesentlichen Forderungen einer guten Anordnung der Hänger [1].

Die wesentlichen Verbesserungen der in [7] entwickelten Generierungsvorschrift bestehen in der Optimierung des Startwinkels und der konstanten Winkeländerung im Hinblick auf die resultierenden maximalen Schnittgrößen in den Hängern. Wählt man konstante Startwinkel und Winkeldekremente, so erhält man in Abhängigkeit der Hängernzahl je Set einen anderen Endwinkel. In [6] wird vorgeschlagen, den Neigungswinkel des mittleren Hängers festzulegen und anschließend das Winkeldekrement $\Delta\varphi$ in Abhängigkeit der Hängernzahl n_H und des Startwinkels φ_0 zu bestimmen. Parameterstudien in [7] haben gezeigt, dass für einen Winkel des mittleren Hängers, der zwischen 56° bis 60° liegt, optimale Ergebnisse zu erwarten sind. Der Startwinkel sollte immer ungefähr 80° betragen. Mit diesen Richtwerten kann folglich die Winkeländerung leicht berechnet werden:

$$\Delta\varphi = \frac{2 * (\varphi_0 - 58^\circ)}{n_H}$$

φ_0 ...Startwinkel (80°) und

n_H ...Anzahl der Hänger pro Set

Die Formel liefert gute Anfangswerte für den Optimierungsprozess bei der Suche nach einer optimalen Hängeranordnung. Anzumerken ist, dass genau wie bei der radialen Hängeranordnung im Bereich der Einspannung des Bogens in die Fahrbahnplatte Störbereiche zu erwarten sind und das Hängernetz entsprechend manuell anzupassen ist.

7.5 Konstante untere Knotenabstände im mittleren Brückenteil

Bei dieser Generierungsvariante handelt es sich um zwei Entwürfe für Brückenspannweiten von 200 m, die von per Tveit anlässlich des IABSE-Kongresses von 1980 in Wien entworfen wurden. [1]

Die Hängerabstände im mittleren Teil der Fahrbahn werden konstant gewählt. Bei der ersten Netzgeometrie 200A (Abbildung 33, links) entsprechen die Abstände der oberen Hängerknoten entlang des Bogens den unteren. Bei der zweiten Netzvariante 200B (Abbildung 33, rechts) beträgt der untere Knotenabstand lediglich 97,6% des oberen Abstandes. Im jeweils verbleibenden Teil der Brücke wurden die Knotenabstände entlang des Versteifungsträgers derart gewählt, dass die resultierenden maximalen Hängernormalkräfte möglichst konstant sind.

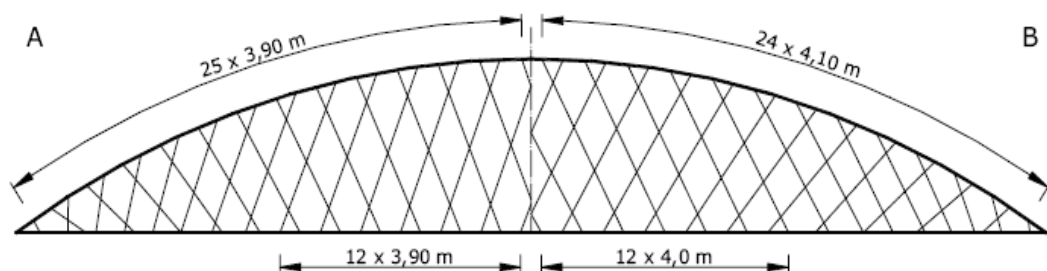


Abbildung 33 Hängernetze Wien 200A und Wien 200B für Spannweiten von 200 m [1]

Die beiden Hängeranordnungen wurden mit besonderem Augenmerk auf möglichst kleine Biegemomente im mittleren Bogenabschnitt generiert. In [7] waren ähnliche Netzgeometrien Gegenstand von Untersuchungen. Es hat sich gezeigt, dass Netze mit konstanten Abständen im mittleren Bereich des Tragwerkes zwar geringfügig bessere Ergebnisse liefern als eine

Hängeranordnung mit konstanter Neigungsänderung, aber hinter der radialen Hängeranordnung zurückbleiben.

Tveit schlägt für den Fall der Anwendung seiner Netzentwürfe vor, diese einfach maßstäblich an die Spannweiten des konkret vorliegenden Projektes anzupassen.

7.6 Zusammenfassung

Wenn heute bei der Suche nach einem geeigneten Tragwerk die Wahl auf eine Netzwerkbogenbrücke fällt, so kommen in der Regel 2 Hängersets zum Einsatz. Die Hängeranzahl je Set kann in Abhängigkeit von der Spannweite gewählt werden, ohne durch die anderen Variablen der Hängeranordnung beeinflusst zu werden. Die Erfahrung zeigt, dass sich die Hängerabstände üblicherweise in einem Bereich von 2,5 m bis 4,0 m bewegen. Um den aufwendigen Prozess der Suche nach einer optimalen Netzgeometrie zu vereinfachen und zu beschleunigen, wurden diverse Generierungsmöglichkeiten entwickelt, die eine gute Ausgangsbasis für eine Hängeranordnung liefern.

Es ist jedoch anzumerken, dass es durchaus notwendig ist, die so entworfenen Anordnungen der Hänger manuell nachzujustieren. Besonders der Bereich der Einspannung des Bogens in die Fahrbahnplatte stellt einen Störbereich dar, in dem die Hängerkräfte bzw. Biegemomente im Bogen stark variieren können. In [6] werden die unterschiedlichen Netzvariationen hinsichtlich mehrerer Kriterien, wie z.B.: einfache Handhabung, kleine maximale Biegemomente etc. bewertet. Dabei kristallisieren sich die in 7.3, 7.4, 7.5 beschriebenen Hängeranordnungen als besonders geeignet heraus.

Kriterium	A	B	C	D	E
Gleichförmige maximale Hängerkräfte	-1	1	2	2	1
Kleine Schwingbreiten	0	1	1	1	1
Kleine maximale Biegemomente	0	1	1	1	2
Stützung des Bogens	-1	1	2	1	1
Einfache Handhabung	2	-1	2	2	1
Durchschnittsnote (je höher desto besser)	0	0,6	1,6	1,4	1,2
A Rautennetz B Diagramme nach <i>Per Tveit</i> C Radiale Hängeranordnung D Konstante Neigungsänderung E Konstante Hängerabstände					

Abbildung 34 Bewertung der verschiedenen Hängeranordnungen [6]

8 Bemessung

Die Bemessung des Tragwerks hat nach aktuell gültigen Normen zu erfolgen.

Der wichtigste Aspekt der statischen Berechnung ist die Auffindung eines optimalen Hängernetzes. Daher ist es wichtig, ein möglichst detailgetreues Modell zu verwenden, da nur so zuverlässige Vorhersagen zu den Hängerkräften möglich sind. *„Besonders Augenmerk sollte auf die feinere Modellierung im Bereich der Bogenfußpunkte gelegt werden.“* [2]

Bei der Bemessung des Bogens ist der Stabilitätsnachweis in der Bogenebene aufgrund der kurzen Knicklängen, die sich aus den kleinen Hängerabständen ergeben, meist nicht maßgebend. Einzig im Portalbereich ist der Knicknachweis aus der Bogenebene ausschlaggebend, sodass Querschnittsverstärkungen nötig werden können.

Eine Superposition der Lastfälle ist nicht möglich, da ein nichtlineares Tragverhalten vorliegt. Daher sollte für jedes zu bemessende Bauteil, speziell aber für die maximale Normalkraft in den Hängern, die maßgebende Laststellung mit der Hilfe von Einflusslinien untersucht werden.

Weiters sind die verschiedenen Montagezustände zu berücksichtigen. In diesen entspricht das Tragverhalten meist nicht dem im Endzustand, wodurch es notwendig werden kann, Verstärkungen bzw. Aussteifungen anzubringen. Rechnerisch sollte außerdem berücksichtigt werden, dass zuerst Bogen und Untergurt hergestellt werden und erst nach dem Freisetzen des Bogens die Hänger montiert werden. Genauso sollte das Freisetzen des Versteifungsträgers von den Hilfsstützen berücksichtigt werden.

Windinduzierte Schwingungen der Hänger sind ebenfalls nachzuweisen. Die maßgebenden Phänomene sind je nach Querschnitt unterschiedlich: für Rundstahlhänger wirbelerregte bzw. regen-windinduzierte Schwingungen und für Flachstahlhängern wirbelerregte Schwingungen bzw. Galloping. Versuche im Windkanal haben gezeigt, dass bei Hängern aus Flachstahl ein Breiten-Dicken-Verhältnis von $b/d \geq 3$ besser sogar ≥ 4 sinnvoll ist. Zur Dämpfung der windinduzierten Schwingungen von Hängern ist es möglich, diese an ihren Kreuzungspunkten zu koppeln und so wirkungsvoll zu verstimmen (Abbildung 35). Alternativ lassen sich wie bei Stabbogenbrücken Dämpfer oder Seilverspannungen einbauen.

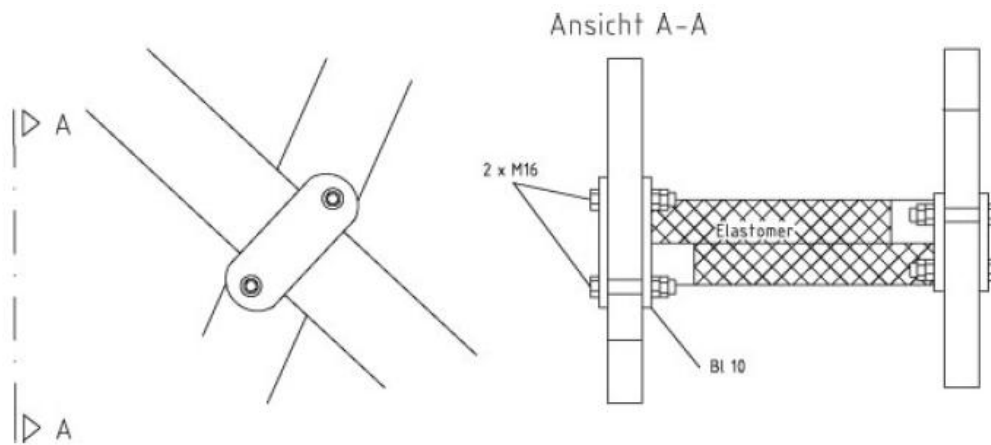


Abbildung 35 Elastomerelement zur Kopplung der Hänger gegen widerregte Schwingungen [2]

9 Konstruktion

Hängeranschlüsse an Bogen und Untergurt sollten so konstruiert werden, dass eine einfache und schnelle Montage möglich ist und die statischen Anforderungen erfüllt sind. Je nach Ausführung des Untergurts bzw. des Bogens sind natürlich auch die Hängeranschlüsse unterschiedlich. Wichtig ist es jedoch, die sich kreuzenden Hänger aneinander vorbeizuführen. Dafür bieten sich prinzipiell folgende Möglichkeiten: Erstens können die Hänger genau in der Bogenebene angeschlossen und leicht gekrümmt werden, zweitens können die Hänger exzentrisch angeschlossen werden und drittens besteht die Möglichkeit, dass die Hänger in zwei Ebenen angeordnet werden. Letztere bietet sich vor allem dann an, wenn Hohlkastenprofile verwendet werden, da die Hänger einfach an die Stege angeschweißt werden können. Auf folgenden Abbildungen (Abbildung 36, Abbildung 37, Abbildung 38, Abbildung 39, Abbildung 11) sollen exemplarisch mögliche Ausführungsvarianten des Anschlusses an Bogen und Versteifungsträger gezeigt werden:

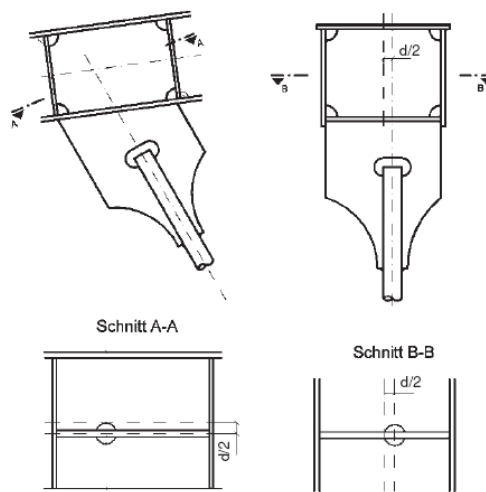


Abbildung 36 Anschlussmöglichkeiten an einen Bogen mit Hohlkastenprofil [3]

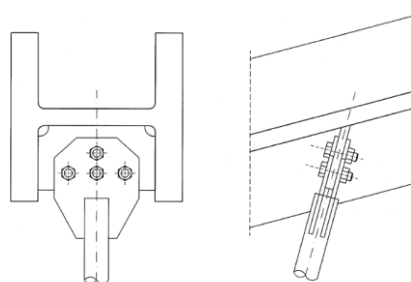


Abbildung 37 Anschlussmöglichkeit für einen Bogen mit gewalztem Breitflanschprofil

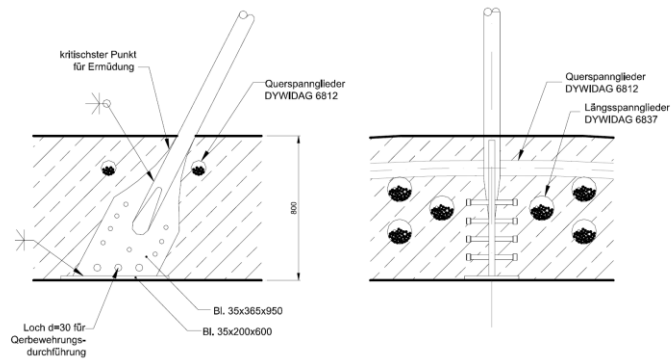


Abbildung 38 Anschlussmöglichkeit bei Betonuntergurt



Abbildung 39 Anschlussmöglichkeiten für einen Versteifungsträger mit I-Profil

Die Montage von Netzwerkbogenbrücken erfolgt meist nicht in der Endlage. Die endgültige Position wird erst nach Abschluss der Vormontage durch Heben, Verschieben, Verschwimmen oder Verfahren hergestellt. Durch das veränderte Tragverhalten während des Transports können Druckkräfte in den Hängern auftreten. Um das zu verhindern, hat es sich in den letzten Jahren bewährt, nicht wie bei Stabbogenbrücken üblich, einzelne Hänger durch Baubehelfe auszusteifen, sondern Bauhilfsstützen, die sowieso für die Montage des Bogens nötig sind, so zwischen Bogen und Versteifungsträger vorzuspannen, dass stets Zugkräfte in den Hängern sind.

Hinsichtlich der Montage sind vor allem Netzwerkbogenbrücken mit Spannbetonuntergurt interessant. Um das Tragwerk transportfähig zu halten, wird meist ein temporärer Stahluntergurt hergestellt. Auf diesem wird, wenn sich die Brücke in ihrer endgültigen Lage befindet, die Schalung befestigt und der Betonuntergurt gegossen. Alternativ kann entweder versucht werden, abhängig vom Gesamtgewicht der Brücke, die Konstruktion als Ganzes einzuheben oder, falls die Gegebenheiten es zulassen, das Brückentragwerk auf einem Lehrgerüst herzustellen.

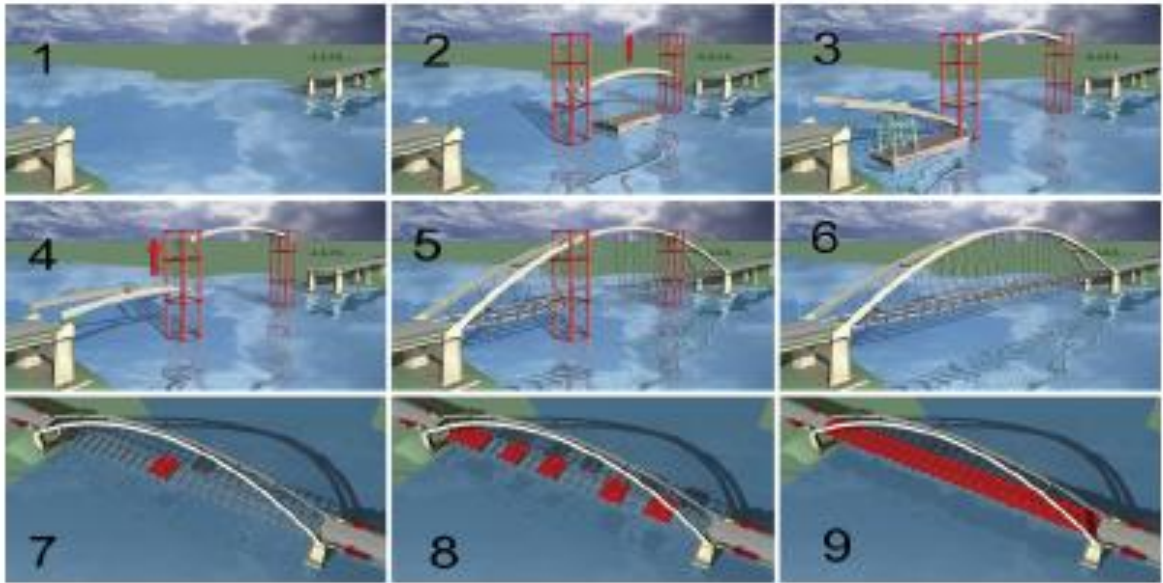


Abbildung 40 Montage der Brücke über den Fluss Dziwna [9]



Abbildung 41 Montagezustände verschiedener Brücken [5]

10 Ausführungsbeispiele

10.1 Fehmarnsundbrücke (1963) [10]



Abbildung 42 Die Fehmarnsundbrücke [<http://www.reisecenter-fehmarn.de>]

Die Fehmarnsundbrücke (Abbildung 42) verbindet die Ostseeinsel Fehmarn und das Festland bei Grossenbrode in Deutschland. Die Brücke ist 963 m lang und eine Kombination aus Straßen- und Eisenbahnbrücke. Sie überquert den 1300 m langen Fehmarnsund und weist eine lichte Höhe von 23 m auf. Der Bogen überspannt 248 m und besitzt eine Scheitelhöhe von 45 m. Die 21 m breite Fahrbahn, welche sich auf dem Untergurt befindet, wurde als orthotrope Fahrbahnplatte ausgeführt.



Abbildung 43 Bau der Fehmarnsundbrücke [<http://www.reisecenter-fehmarn.de>]

Die Netzwerkbogenbrücke wurde von den Ingenieuren G. Fischer, T. Jahnke und P. Stein der „Gutehoffnungshütte Sterkrade AG“ geplant. Die architektonische Gestaltung der Brücke erfolgte durch den Architekten Gerd Lohmer. Am 30. April 1963 wurde die Fehmarnsundbrücke eingeweiht. Wie bei jeder Bogenbrücke dauerte die Bauzeit länger als bei anderen Brückentypen, dies ist darin begründet, dass zuerst die Bögen gebaut werden mussten. Erst danach konnte die aufwendige Hängerkonstruktion montiert werden.

Nach ihrer Inbetriebnahme wurde die Brücke von der nationalen und internationalen Presse als Weltneuheit und der Bogen als technische Sensation gefeiert. Seitdem hat sich die Brücke als Wahrzeichen für die Region Schleswig-Holstein entwickelt. Im Jahr 1999 wurde die Brücke aufgrund des öffentlichen, geschichtlichen, kulturellen und künstlerischen Interesses unter Denkmalschutz gestellt.

10.2 Brücke über den Fluss Dziwna in Wolin (2003) [9]



Abbildung 44 Brücke in Wolin [<http://erwin-rosenthal.de/vorpommern/Die%20Stadt%20Wollin.htm>]

Im Dezember 2003 wurde die neue Umfahrungsstraße des historischen Zentrums von Wolin eröffnet. Den wichtigsten Teil der Straße bildet die stählerne Netzwerkbogenbrücke über den Fluss Dziwna.

Als Inspiration für die Brücke diente die Fehmarnsundbrücke in Deutschland. Trotz der architektonischen Ähnlichkeiten weist die Brücke von Wolin deutliche Unterschiede in der Konstruktion auf. Die Länge des Bogenfelds beträgt 170 m, wobei die Spannweite 165 m beträgt. Bei der Fahrbahnplatte handelt es sich um eine Verbundkonstruktion. Die Breite beträgt 12 m.

Die Brücke besteht aus zwei geneigten Bögen mit kastenförmigen Querschnitten der Abmessung 1,00 x 1,80 m. Die Stichhöhe beträgt 24 m.



Abbildung 45 Unterseite Brücke, Wolin [<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=361474>]

Das statische System der Brücke besteht aus einem konventionellen Bogen mit schräg abgehängten Tragseilen, die die Fahrbahnplatte tragen, welche zusätzlich als Zugband dient. Die Fahrbahnplatte besteht aus einem Stahlrost, der kraftschlüssig mit einer 24 cm starken Stahlbetonplatte verbunden ist. Den Rost bilden zwei 86 cm hohe Randbalken, ein 64 cm hoher Längsträger und 90 cm hohe Querträger, die über die Platte hinausragen und an deren Enden die Verankerungen für die Hänger angebracht sind.



Abbildung 46 Fahrbahnplatte und Bogen [<http://www.trekearth.com/gallery/photo683334.htm>]

Um die Dehnungen infolge Bogenschubs in der Betonplatte zu minimieren, wurden interne Spannglieder vorgesehen. Die Bogenkämpfer, die die Verbindung der Fahrbahn mit dem Bogen darstellen, wurden in Stahlbetonbauweise ausgeführt. Die Hänger bestehen aus um-

hüllten Seilen mit einem Durchmesser von 41 mm und sind in zwei versetzt zueinander liegenden Ebenen angeordnet. Die Doppelpfeiler-Stahlbetonstützen tragen die Lasten in einen Pfeilerrost ab, der aus 43 Pfählen mit einem Durchmesser von 1,20 m besteht. Die Längen der Pfähle liegen zwischen 15 m und 22 m.

Der Ausführung der Brücke ging eine ausführliche statische Untersuchung voraus, welche zwei unterschiedliche Fahrbahn- und 3 verschiedene Netzvarianten umfasste. Schlussendlich fiel die Wahl auf ein System mit sich kreuzenden Hängern. Der Nachteile der vielen und unterschiedlichen Anschlüsse und der damit verbundenen Kosten wurde bewusst in Kauf genommen und durch eine wirtschaftlichere Bemessung der Gesamtkonstruktion aufgewogen.

10.3 Providence River Bridge (2007) [10]



Abbildung 47 Providence River Bridge [<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Barrier-Providence.jpg>]

Die Providence River Bridge stellt eine wichtige Verkehrsverbindung der Innenstadt von Providence, Rhode Island, mit dem Umland dar. Mit der Verlegung der Autobahn nach Süden wird die Verkehrskapazität deutlich erhöht und die Innenstadt von Providence wiederbelebt. Die Providence River Bridge wurde bereits im Dezember 2007 für den Verkehr freigegeben, die Autobahn wird voraussichtlich 2012 fertiggestellt.

Bei einer Spannweite von 122 m und einer Breite von 30 m weist die Netzwerkbogenbrücke eine Masse von 2500 Tonnen auf. Insgesamt wurden 3 Bögen ausgeführt und die Hänger so angeordnet, dass sie in gleichen Abständen an den Versteifungsträger anschließen.

Erwähnenswert ist der Herstellungsprozess der Brückenkonstruktion. Die Montage der Stahlkonstruktion erfolgte im nahegelegenen North Kingston. Anschließend wurde das fertigges-

tellte Brückentragwerk mit Hilfe von Schwerlastkränen und Pontons in das 24 km wärts gelegene Providence verschifft und in seine Endlage gebracht.



Abbildung 48 Verschiffung des fertiggestellten Brückentragwerks
[<http://www.fhwa.dot.gov/publications/focus/07dec/03.cfm>]

10.4 Eisenbahnüberführung „Flora“ über den Mittlandkanal (2006) [2]

Die im Jahr 2006 über den Mittlandkanal westlich von Haldensleben errichtete eingleisige Eisenbahnüberführung zeigt deutlich, wie effektiv Netzwerkbogen für mittlere und große Eisenbahnbrücken sein können. Neben gestalterischen Vorteilen hat das Tragwerk gegenüber der ursprünglich geplanten herkömmlichen Stabbogenbrücke eine Reduzierung der Stahltonnage bei gleichem Bogenstich und unveränderter Werkstoffgüte zur Folge.

Die Spannweite der Brücke beträgt 132,6 m. Als Schlankheit wurde $1/7$ der Spannweite gewählt, was einen Bogenstich von 19,85 m ergibt. Die Bögen wurden kreisförmig und im Scheitelpunktbereich zusammengeführt gestaltet. Die Querschnitte des Haupttragwerks konnten sehr filigran ausgeführt werden, woraus sich eine hohe Transparenz der Brücke ergibt. Als Bogenquerschnitt wurden Hohlkasten mit den konstanten Abmessungen 70 cm x 70 cm verwendet. Der Versteifungsträger wurde als geschweißtes I-Profil mit einer Höhe von 170 cm hergestellt. Die Stegbleche wurden so geneigt, dass sie sich in einer Ebene mit den Bögen befinden. Als Fahrbahnkonstruktion wurde wie auch bei Stabbogenbrücken üblich eine orthotrope Platte gewählt. Das Hängernetz ist symmetrisch und besteht aus 34 Hängern mit Flachstahlquerschnitt und Hängerwinkel, die zwischen 37° und 89° variieren. Am Bogen werden die fallenden Hänger am inneren und die steigenden Hänger am äußeren Stegblech angeschweißt, um eine Berührung der Hänger zu vermeiden. Die Anschlüsse selbst wurden ermüdungsgerecht konstruiert. An zumindest einem Kreuzungspunkt im unteren Drittel wurden die Hänger mittels Elastomerelementen gekoppelt, um die winderregten Schwingungen zu reduzieren.

Trotz der schlanken Ausführung konnten die Durchbiegung und die Endtangentialwinkel des Netzbogenbogens unter halbseitiger Belastung deutlich gegenüber der Brückenvariante als herkömmliche Stabbogenbrücke reduziert werden. Mit den für die Eisenbahnüberführung „Flora“ entwickelten Konstruktionsdetails konnten daher zwei weitere Brücken geplant werden.

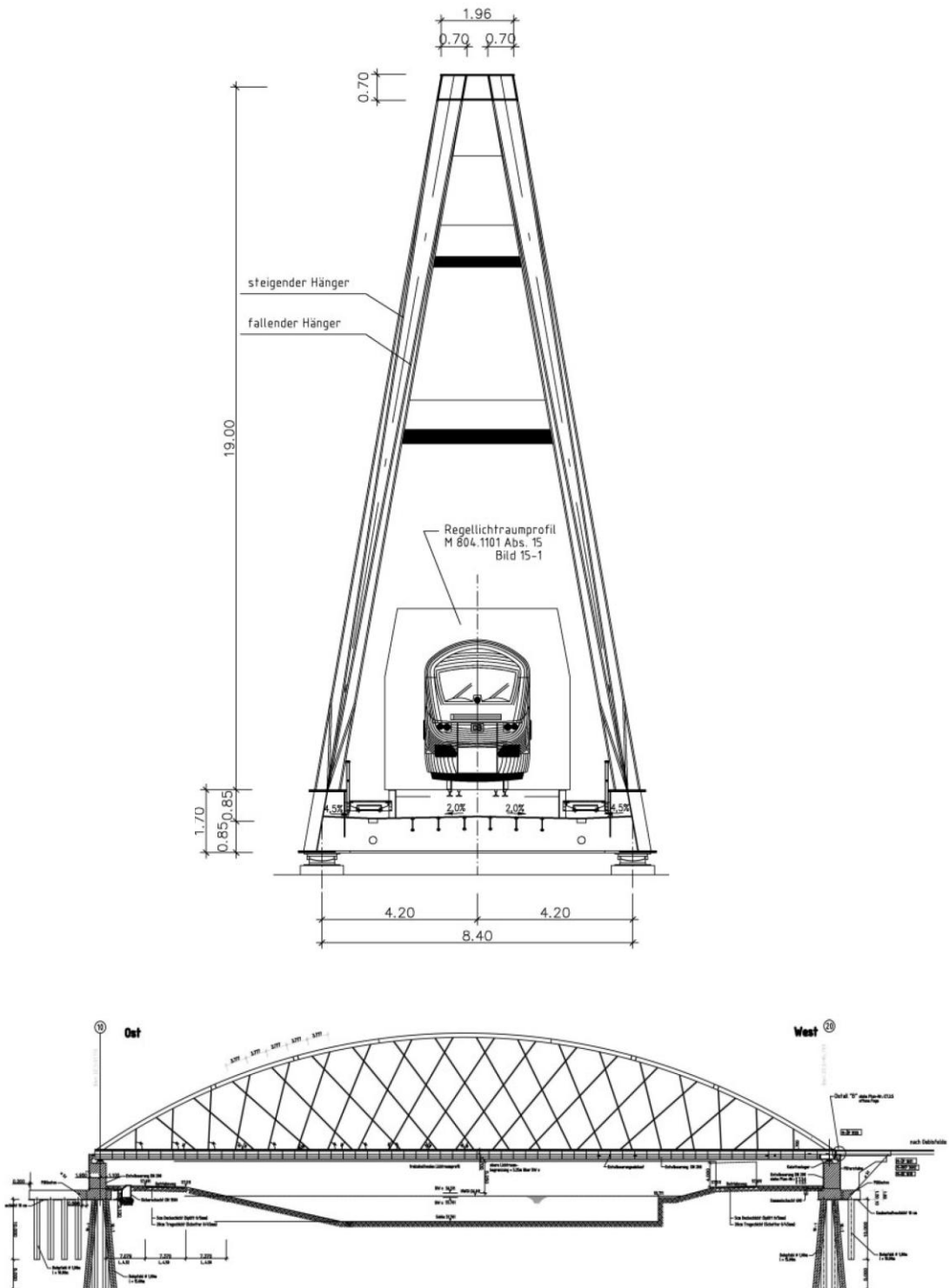


Abbildung 49 Längs- und Querschnitt der Eisenbahnüberführung „Flora“ über den Mittlandkanal [2]

11 Projektbeschreibung

Im Rahmen der Diplomarbeit sollen im ersten Schritt unterschiedliche Hängernetzgeometrien für Netzwerkbogenbrücken untersucht und miteinander verglichen werden. Im zweiten Schritt wird besonderes Augenmerk auf die Kämpferbereiche der Bogenbrücken gelegt, da diese, wie in 7.3 erläutert, Störbereiche darstellen, in denen sowohl die Hängernormalkräfte als auch die Biegemomente in Bogen und Versteifungsträger deutlich von denen in der Brückenmitte abweichen. Alle Berechnungen werden praxisnahe an einem sich derzeit in Planung befindlichen Tragwerk durchgeführt. Der folgende Auszug aus dem technischen Bericht des mit der Planung beauftragten Ingenieurbüros PCD-ZT GmbH soll einen groben Überblick über das Projekt liefern.

„Um die Rahmenbedingungen (Lichte Höhe, konstantes Längsgefälle) für die Querung der Verbindung Ostbahn-Flughafenschnellbahn mit dem Zentralverschiebebahnhof (ZVBf.) zu ermöglichen ist es erforderlich die Verbindung in Hochlage zu führen.

Durch die enge Bebauung (Nahelage zum Umformerwerk) bzw. schleifende Querung mit der S7 erfolgt dies durch eine Brückenkette.

Die ca. 283 m lange Brückenkette besteht aus insgesamt vier Objekten mit zwei Netzwerkbogenbrücken aus Stahl über den Gleisanlagen (Ostbahn, Zentralverschiebebahnhof, Nordschleife und Flughafenschnellbahn S7), einem kurzem Stahlbetonverbindungstragwerk zwischen den beiden Bogenbrücken und einem dreifeldrigen Stahlbetontragwerk bis über den Radweg auf Höhe Ailecgasse. Beim dreifeldrigen Durchlauftragwerk sind die mittleren Pfeiler am Tragwerk eingespannt bzw. die Randfelder längsverschieblich und querfest gelagert.[...]

Netzwerkbogentragwerke aus Stahl (S5.1 und S5.3):

Die beiden Tragwerke sind als Netzwerkbogen bzw. als Bogenbrücke mit gekreuzten Hängern konzipiert und werden als reines Stahltragwerk mit geschlossener Fahrbahn (orthotrope Platte) und Schotterbett ausgeführt.

Beim Objekt S5.1 wird die Bogenform durch einen Kreisbogen mit einem Radius von $R \sim 93$ m und einem Bogenstich von $s \sim 19$ m beschrieben.

Beim Objekt S5.3 wird die Bogenform einen Kreisbogen mit einem Radius von $R \sim 77$ m und einem Bogenstich von $s \sim 14$ m beschrieben.

Jedes einzelne Netzwerkbogentragwerk besteht aus zwei Bögen und zwei Versteifungsträgern, wobei die Bögen mit den Versteifungsträgern mittels geneigten Hängern verbunden werden.

Die Hänger sind so angeordnet, dass sie sich in der Brückenansicht untereinander mindestens zweimal kreuzen.

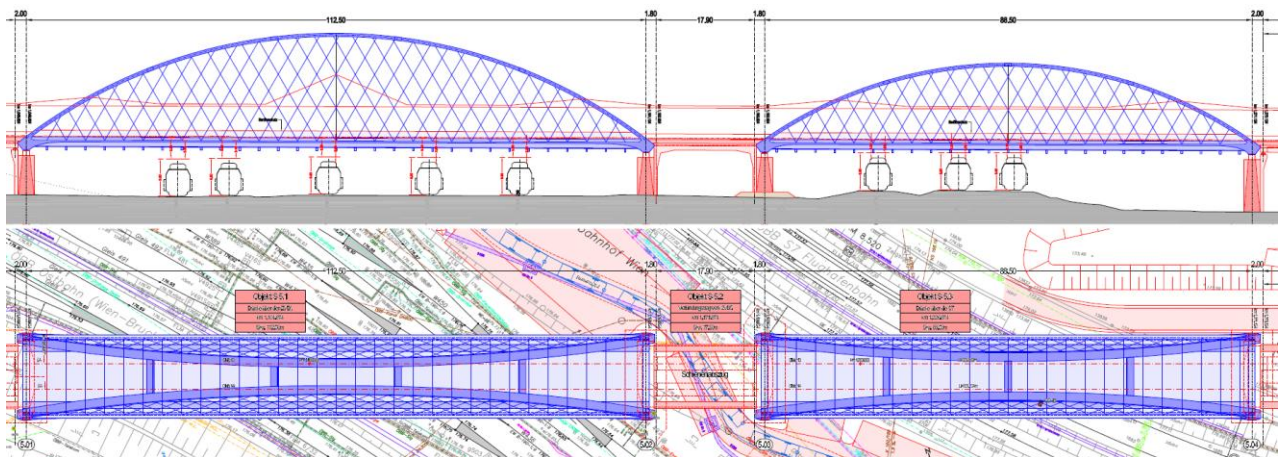


Abbildung 50 Netzwerkbogentragwerk S5.1 und S5.3 in Grundriss und Aufriss

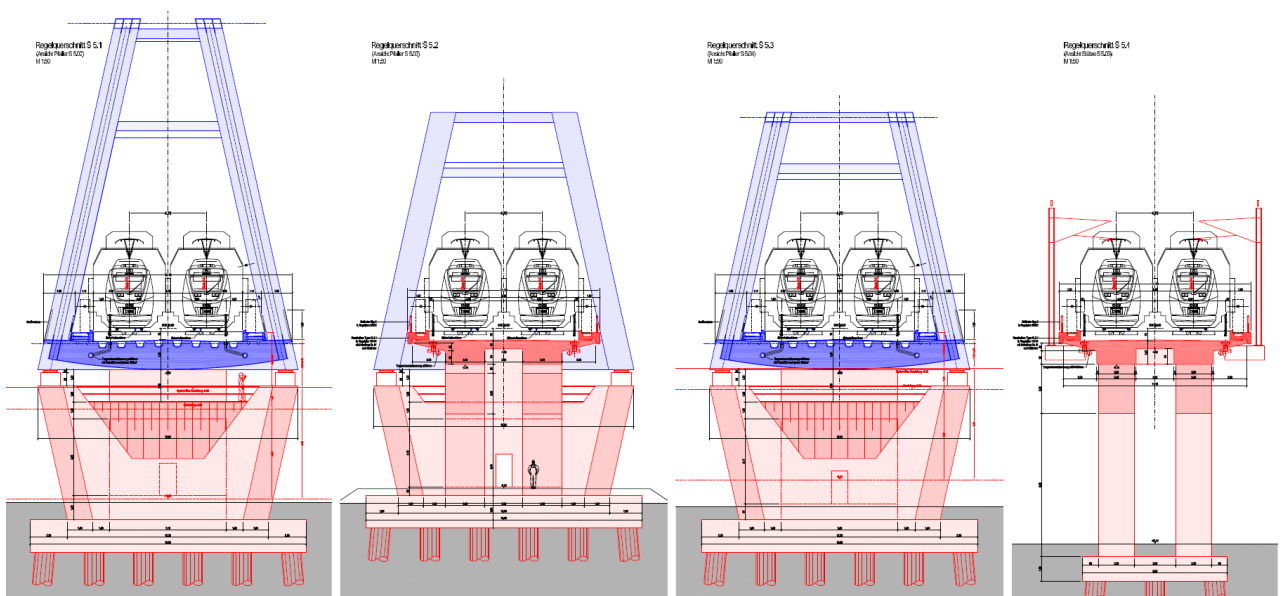


Abbildung 51 Unterschiedliche Querschnitte der Brückentragwerke

Zur Erhöhung der Seitenstabilität und aus ästhetischen Gründen werden die kastenförmigen Bögen mit einem Winkel von $\alpha \sim 12,5^\circ$ gegeneinander gelehnt. Weiters werden die beiden Bögen mittels biegesteif angeschlossener Querträger miteinander verbunden. Die Aussteifung der Bögen senkrecht zur Bogenebene erfolgt somit durch Rahmenwirkung (Vierendeelträger). Die beiden Versteifungsträger sind durch die orthotrope Fahrbahn miteinander verbunden. Die orthotrope Fahrbahn besteht aus Querträgern (Abstand $a \sim 3,5$ m) und Trapezhohlsteinfen.

Montage: Beide Netzwerkbogenbrücken werden jeweils in Niveaulage neben den Gleisanlagen zusammgebaut und in die Endlage über eine Verschiebbahn eingedreht.“ [11]

Anhand des größeren der beiden Tragwerke S5.1 sollen 3 unterschiedliche Netzgeometrien erprobt werden. Zur Anwendung kommt dabei einerseits die in 7.3 beschriebene radiale Hängeranordnung und andererseits die in 7.4 vorgestellte Variante mit konstanter Hängerneigungsänderung. Bei der dritten Anordnung handelt es sich um eine Abwandlung der Hängeranordnung mit konstanter Neigungsänderung der Hänger, die durch das Ingenieurbüro PCD ZT-GmbH aus Wien im Rahmen ihrer Projektentwicklung für das oben beschriebene Bauvorhaben entworfen wurde.

Ein wichtiges Entwurfskriterium für das Projekt sind die Lieferlängen der zur Anwendung kommenden Rundstahlhänger. Diese werden mittels speziell geschmiedeten und zugeschnittenen „Paddeln“ an den Versteifungsträgern angeschlossen. Eine solche Konstruktion ist überaus vorteilhaft in Hinblick auf die Ermüdungsfestigkeit. Es ist möglich, dieses Produkt in einem Stück zu liefern, derzeit jedoch nur in Längen von bis zu 24 m. Bei der Wahl der günstigsten Netzgeometrie ist auf dieses konstruktive Kriterium Rücksicht zu nehmen.

Für Netzbogenbrücken mit einer Spannweite von 100 m wird in Abbildung 17 eine Hängeranzahl zwischen 36 und 46 vorgeschlagen. Die Berechnungen der 3 Netzgeometrien erfolgen für unterschiedliche Entwurfparameter der einzelnen Varianten innerhalb dieser Grenzen für 36, 38, 40, 42, 44 und 46 Hänger. Daraus ergeben sich die folgenden Stückzahlen der Hänger je Hängerset von 18-23.

Folgend werden die drei Netzvarianten für das ausgewählte Projekt beschrieben.

11.1 Variante 1: Radiale Hängeranordnung

Als einziger variabler Entwurfparameter verbleibt der Hänger-Bogen-Winkel α . (Abbildung 26). Wie in 7.3 beschrieben, sind für Winkel zwischen 56° - 60° optimale Ergebnisse zu erwarten. So ergeben sich in Summe 30 unterschiedliche Netzgeometrien, die untersucht werden.

$n_H =$	18				
$\alpha =$	56°	57°	58°	59°	60°
$n_H =$	19				
$\alpha =$	56°	57°	58°	59°	60°
$n_H =$	20				
$\alpha =$	56°	57°	58°	59°	60°
$n_H =$	21				
$\alpha =$	56°	57°	58°	59°	60°
$n_H =$	22				
$\alpha =$	56°	57°	58°	59°	60°
$n_H =$	23				
$\alpha =$	56°	57°	58°	59°	60°
$n_H \dots$ Anzahl der Hänger je Set					

Tabelle 1 Hängeranzahl je Set und Hänger-Bogen-Winkel für die radiale Hängeranordnung.

Für die Generierung des Netzes wird der Bogen in $n_H + 1$ Teile geteilt. Anschließend werden die Teilabschnitte geviertelt. So erhält man mit dem letzten bzw. ersten Viertelpunkt eines jeden Bogensegmentes die Anschlusspunkte der Hänger. Diese werden mit dem entsprechenden Hänger-Bogen-Winkel konstruiert. Es ergibt sich folgende Netzgeometrie.

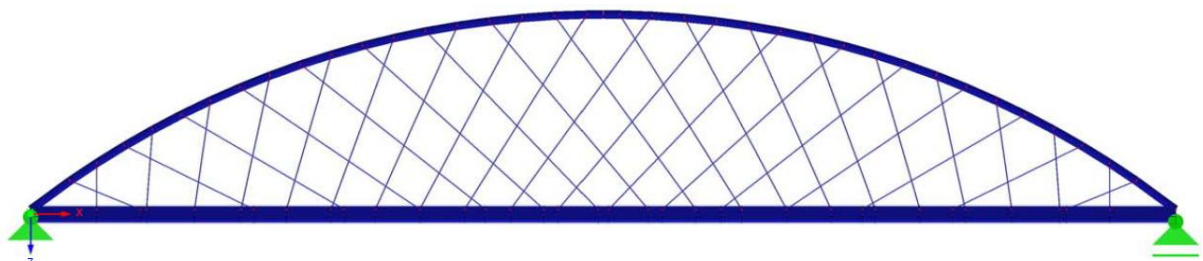


Abbildung 52 Netzgeometrie der radialen Hängeranordnung bei 36 Hängern und $\alpha = 56^\circ$

11.2 Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung

Bei konstanter Hängerneigungsänderung können der Startwinkel φ_0 und der Neigungswinkel φ der Hänger in Brückenmitte variiert werden (Abbildung 32). In Abhängigkeit dieser beiden Parameter berechnet sich das Winkeldekrement $\Delta\varphi$, um welches sich die Neigung der Hänger konstant ändert, nach der Formel in 7.4. Der Startwinkel φ_0 sollte immer 80° betragen (siehe 7.4) und bleibt für alle Netzvarianten unverändert. Der Neigungswinkel φ wird für jede Hängeranzahl in 1-Gradschritten von 56° - 60° variiert. Es ergeben sich 30 unterschiedliche Netzgeometrien.

$n_H=$	18				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$\varphi_0=$	80°	80°	80°	80°	80°
$\Delta\varphi=$	$2,67^\circ$	$2,56^\circ$	$2,44^\circ$	$2,33^\circ$	$2,22^\circ$
$n_H=$	19				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$\varphi_0=$	80°	80°	80°	80°	80°
$\Delta\varphi=$	$2,53^\circ$	$2,42^\circ$	$2,32^\circ$	$2,21^\circ$	$2,11^\circ$
$n_H=$	20				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$\varphi_0=$	80°	80°	80°	80°	80°
$\Delta\varphi=$	$2,40^\circ$	$2,30^\circ$	$2,20^\circ$	$2,10^\circ$	$2,00^\circ$
$n_H=$	21				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$\varphi_0=$	80°	80°	80°	80°	80°
$\Delta\varphi=$	$2,29^\circ$	$2,19^\circ$	$2,10^\circ$	$2,00^\circ$	$1,90^\circ$
$n_H=$	22				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$\varphi_0=$	80°	80°	80°	80°	80°
$\Delta\varphi=$	$2,18^\circ$	$2,09^\circ$	$2,00^\circ$	$1,91^\circ$	$1,82^\circ$
$n_H=$	23				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$\varphi_0=$	80°	80°	80°	80°	80°
$\Delta\varphi=$	$2,09^\circ$	$2,00^\circ$	$1,91^\circ$	$1,83^\circ$	$1,74^\circ$
$n_H \dots$ Anzahl der Hänger je Set					

Tabelle 2 Hängeranzahl je Set, Startwinkel φ_0 , Winkeldekrement $\Delta\varphi$ und Winkel der Hänger in Brückenmitte φ für die konstante Hängerneigungsänderung.

Für die Netzgenerierung wurde der Bogen in $2n_H+1$ Abschnitte geteilt. Beginnend mit dem Startwinkel von 80° wurden die Hänger, jeweils um das Winkeldekrement gedreht, in den Hängeranschlusspunkten konstruiert. Es ergibt sich folgendes Netzbild.

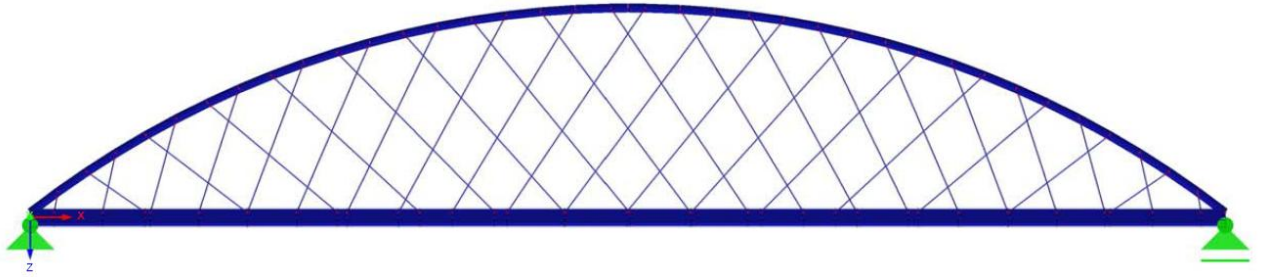


Abbildung 53 Netzgeometrie für eine konstante Hängerneigungsänderung bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ$

11.3 Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT-GmbH

Bei dieser Netzvariante handelt es sich um eine Abwandlung der in 11.2 beschriebenen konstanten Hängerneigungsänderung. Es stehen dieselben Entwurfparameter zur Variation zur Verfügung. Diese werden gleich gewählt, sodass sich die Parameter wie in Tabelle 2 ergeben. Der wesentliche Unterschied zur oben beschriebenen Netzgeometrie besteht in der Anordnung der Hänger entlang des Bogens. Im Gegensatz zu Variante 2, bei der sich die Hänger knapp unterhalb des Anschlusses an den Bogen kreuzen, werden für Variante 3 immer zwei gegenseitig geneigte Hänger in einem Punkt auf der Schwerachse des Bogens zusammengeführt. Zur Austeilung der Hänger wird der Bogen in $2n_H+4$ Abschnitte unterteilt. Es ergibt sich folgende Hängeranordnung.

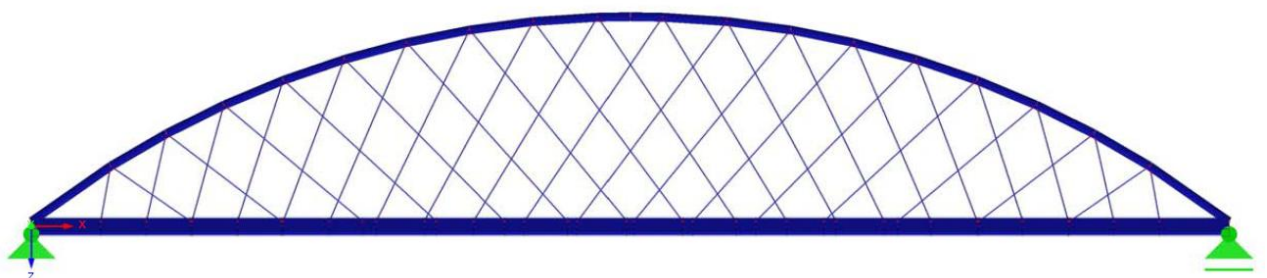


Abbildung 54 Netzgeometrie für eine Hängerneigungsänderung nach PCD-ZT bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ$

12 Statisches System und Modellbildung

Die Berechnungen erfolgen an einem 2D-Modell für eine Bogenebene mit Hilfe der Ingenieursoftware RSTAB7 der Firma DLUBAL.

Das statische System wird entsprechend der Einreichplanung der PCD-ZT GmbH gebildet. Die Systemlänge beträgt 112,5 m, bei einem Bogenstich von 19,2 m. Daraus ergibt sich ein f/l -Verhältnis von 1:5,9. Bei dem Bogen handelt es sich um einen Kreisbogen. Für die Modellierung wird dieser durch Geraden zwischen den einzelnen Hängerknoten angenähert. Die Anschlüsse der Hänger an Bogen und Versteifungsträger werden mit Exzentern, entsprechend den Abständen der tatsächlichen Anschlusspunkte zu den Schwerachsen der Gurte, modelliert. Die Exzenter werden als starre Kopplung eingegeben. Alle restlichen Stäbe, einschließlich der Hänger, werden als biegesteife Balkenstäbe abgebildet.

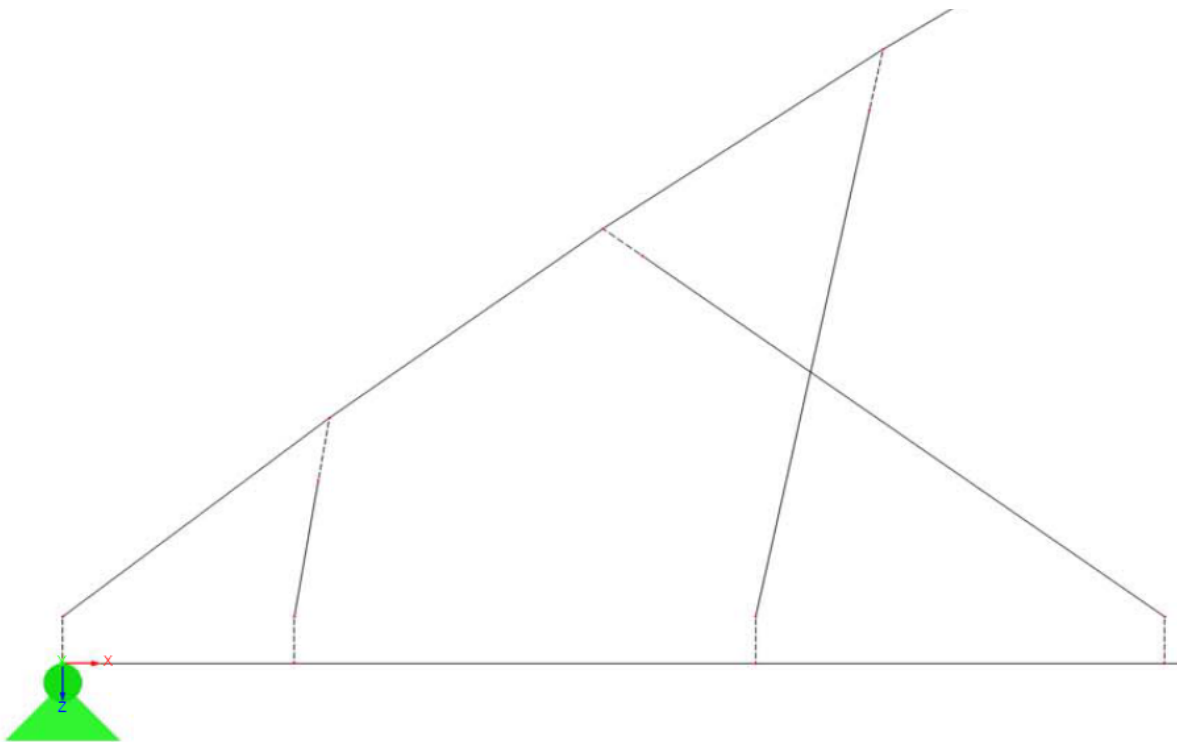


Abbildung 55 Statisches System im Auflagerbereich mit Exzentern und geraden Stäben, die den Bogen abbilden

Die Querschnitte werden ebenfalls der von PCD-ZT zur Verfügung gestellten Vorstatik entnommen. Dabei kommen ausschließlich Rundstähle mit einem Durchmesser von 130 mm und einer Stahlgüte von S460 für die Hänger zum Einsatz. Die genauen Querschnittswerte und Abmessungen des Bogens und Versteifungsträgers, die eine Stahlgüte von S355 aufweisen,

können dem Anhang B entnommen werden. Es ergibt sich ein Steifigkeitsverhältnis von $EI_{\text{Bogen}}/EI_{\text{VT}}$ von 1:2,6.

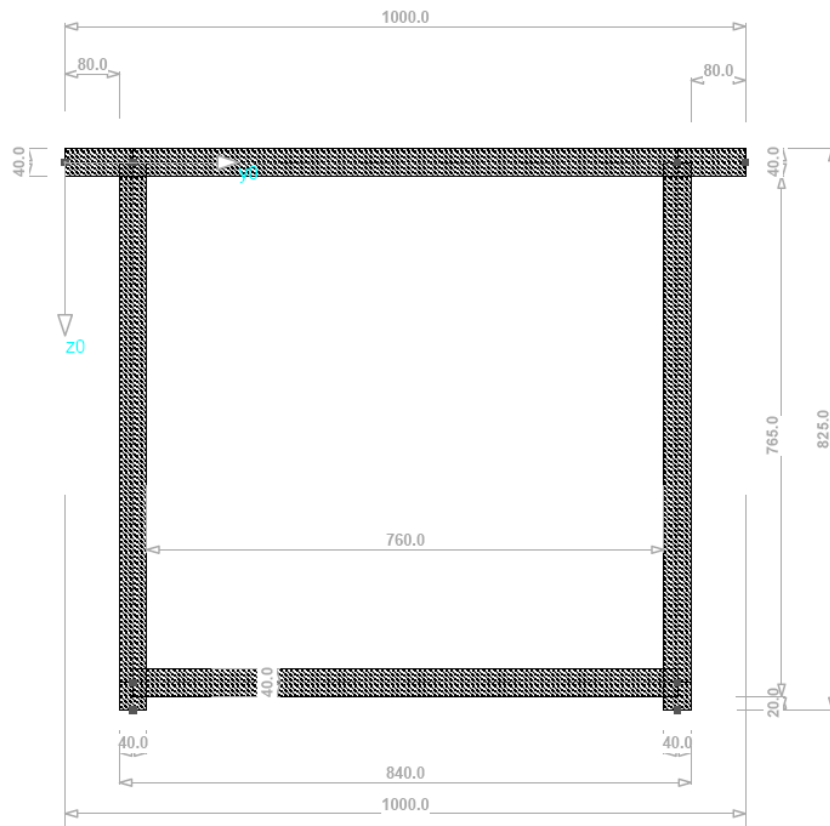


Abbildung 56 Bogenquerschnitt

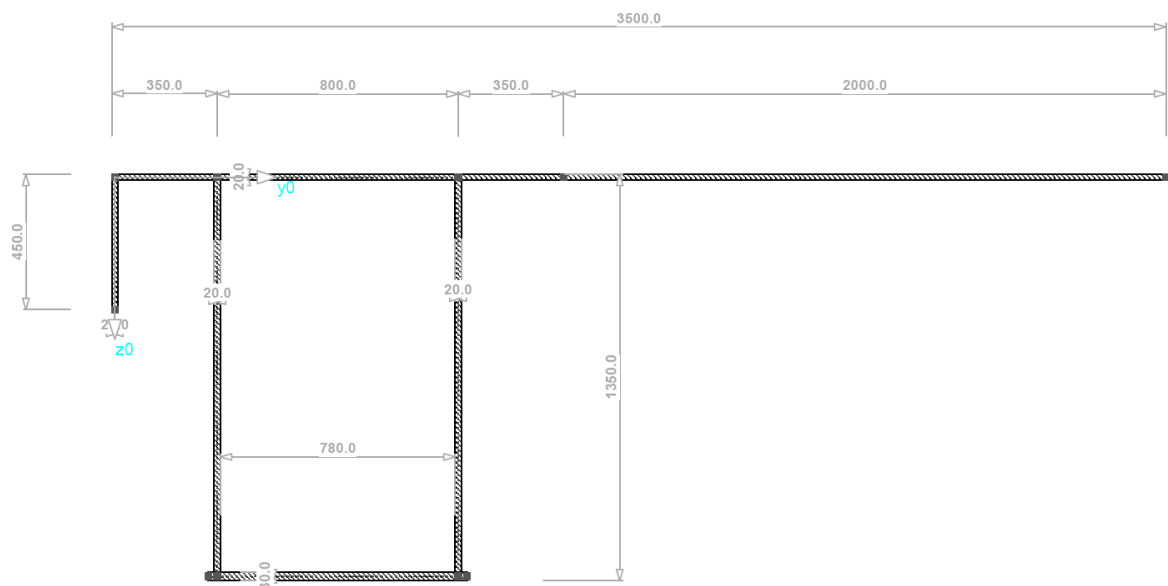


Abbildung 57 Versteifungsträger

12.1 Schein-E-Modul der Hänger

Unter dem Schein-E-Modul versteht man den E-Modul von Seilen bzw. seilartigen Elementen unter Berücksichtigung des Durchhangs.

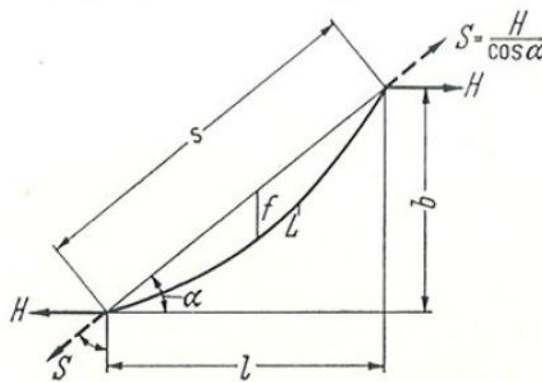


Abbildung 58 Darstellung des Seildurchhangs und Bezeichnung der Systemgrößen [12]

Bei entsprechend großen Seillängen erfährt der E-Modul eine empfindliche Abminderung infolge des Durchhangs. Diese kann wie in [12] hergeleitet, in Abhängigkeit von Seillänge, Gewicht und Spannung berechnet werden.

$$E_i = \frac{E_e}{1 + \frac{(\gamma * l)^2}{12 * \sigma^3} * E_e}$$

E_e ...E-Modul, elastischer Anteil [kN/cm²]

γ ...Wichte [kN/cm³]

σ ...Spannung im Querschnitt [kN/cm²]

l ...projizierte Länge der Sehne, $l=s*\cos\alpha$ [cm]

Mit der Formel wurde für unterschiedliche Längen und Spannungen der Schein-E-Modul berechnet.

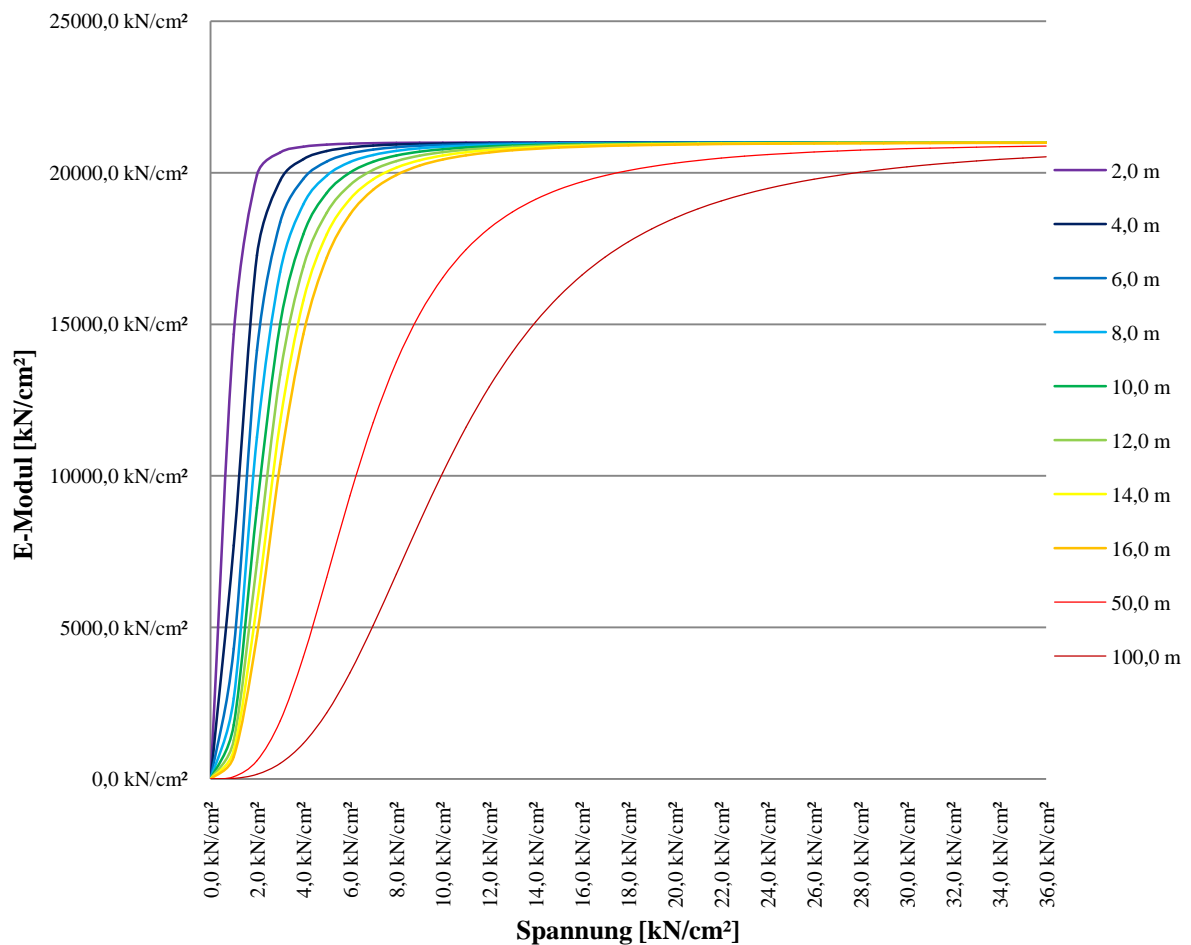


Diagramm 1 Schein-E-Modul der Hänger für unterschiedliche Längen und Spannungen

Für alle entworfenen Geometrien ergeben sich projizierte Längen der Sehnern unter 16,0 m. Für die betrachteten Lastfälle ist davon auszugehen, dass die Spannungen im Querschnitt der Hänger größer als 12,0 kN/cm² sind. Unter diesen Voraussetzungen ist aus dem Diagramm klar ersichtlich, dass der Durchhang der Hänger eine vernachlässigbare Auswirkung auf deren E-Modul hat. Für die Berechnungen wird folglich der elastische E-Modul angesetzt.

13 Lastannahmen

13.1 Verkehrslasten

Es werden lediglich Lasten die für die Dimensionierung und Generierung des Hängernetzes von Bedeutung sind berücksichtigt.

13.1.1 Lastmodell 71

Das Lastmodell 71 [13] stellt den statischen Anteil der Einwirkungen aus normalem Eisenbahnverkehr dar und wirkt als Vertikallast auf das Gleis. EN 1-2, 6.3.2(1)

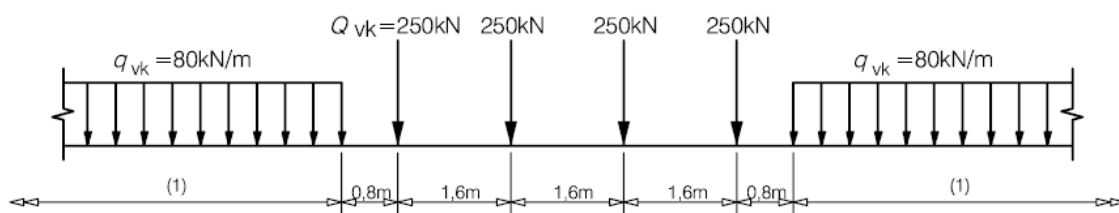


Abbildung 59 Lastmodell 71 und charakteristische Werte der Vertikallasten für ein Gleis, EN 1991-2: 2003, Abb.6.2

Die charakteristischen Werte der Abbildung 59 sind auf Strecken mit einem gegenüber dem normalen Verkehr schwereren oder leichteren Verkehr mit einem Beiwert α zu multiplizieren. Die mit dem Faktor α multiplizierten Lasten werden als „klassifizierte Vertikallasten“ bezeichnet. EN 1-2, 6.3.2(1)P

Laut nationalem Anhang ÖNORM B 1991-2: 2004 sind bei den ÖBB, falls nicht anders festgelegt, in der Regel alle Brücken in Normalspurbahnen für $\alpha = 1,21$ und Lastmodell 71 zu bemessen. Für den Ermüdungsnachweis ist $\alpha = 1,00$ anzusetzen. ÖN B 1-2, 4.2.2.1

13.1.1.1 Lastverteilung in Längsrichtung für die globale Tragwerksberechnung

Für die globale Tragwirkung werden die 4 Einzellasten des Lastmodells 71 in eine gleichmäßig verteilte Linienlast über eine Länge von 6,40 m

umgerechnet. Man erhält eine Gleichlast von 156,25 kN/m. Diese wird wie in Abbildung 60 dargestellt in zwei Anteile zu 80kN/m bzw. 76,25 kN/m aufgeteilt.

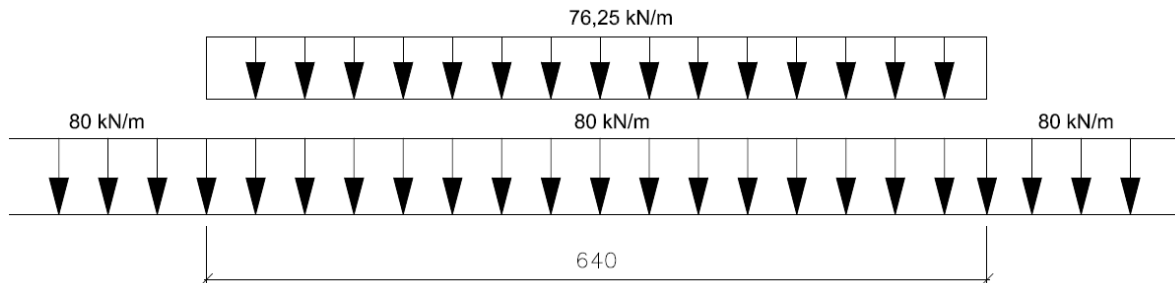


Abbildung 60 Aufteilung des LM71 für die globale Tragwerksberechnung

Eine solche Verteilung der Einzellasten ist, wie die Verläufe der Hängereinflusslinien in 18.2 zeigen, ausreichend genau.

13.1.2 Lastmodell SW/2

Laut nationalem Anhang ÖNORM B 1991-2: 2004 sind bei den ÖBB, falls nicht anders festgelegt, in der Regel alle Brücken in Normalspurbahnen für Lastmodell SW/2 zu bemessen. Das Lastmodell SW/2 stellt den statischen Anteil von Schwerverkehr dar. Die Lastanordnung ist entsprechend Abbildung 61 mit den charakteristischen Werten der Vertikallasten anzunehmen.

EN 1-2, 6.3.3

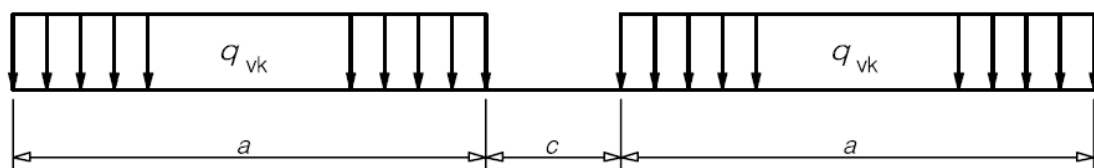


Abbildung 61 Lastmodell SW, EN 1991-2: 2003, Abb.6.2

Lastmodell	q_{vk} in kN/m	a in m	c in m
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Abbildung 62 Charakteristische Werte der Vertikallasten der Lastmodelle SW für ein Gleis, EN 1991-2: 2003, Tab.6.1

13.1.3 Dienstgehewege

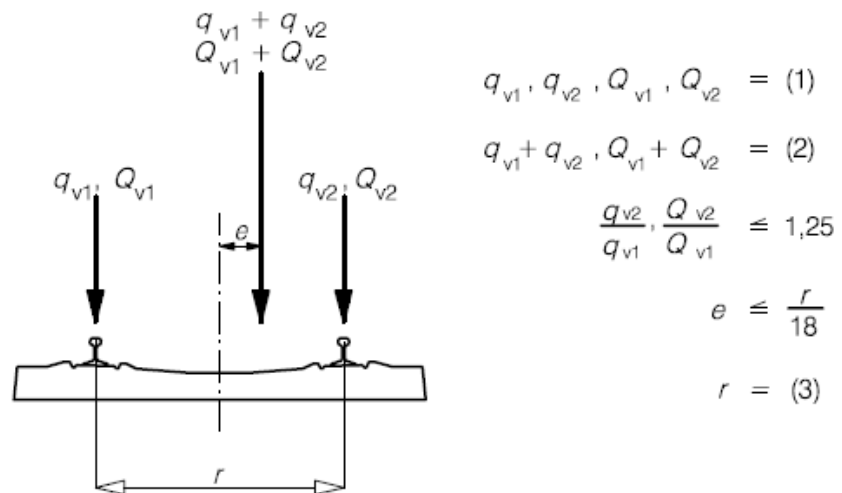
Lasten aus Fuß- und Radverkehr werden durch eine gleichmäßig verteilte Belastung mit einem charakteristischen Wert von 5 kN/m² berücksichtigt.

EN 1-2, 6.3.7

13.1.4 Exzentrizität der Vertikallasten

Die seitliche Exzentrizität der Vertikallasten ist bei den Lastmodell 71 durch ein Verhältnis der beiden Radlasten aller Achsen von 1,25 auf irgendeinem Gleis zu berücksichtigen. Die resultierende Exzentrizität e ist in folgendem Bild angegeben.

EN 1-2, 6.3.5 (1)



Legende

- (1) gleichmäßig verteilte Streckenlasten und Einzellasten auf jeder Schiene wie beschrieben
- (2) LM71 (und SW/0 wenn erforderlich)
- (3) Radabstand in Querrichtung

Abbildung 63 Exzentrizität der Vertikallasten, EN 1991-2: 2003, Abb.6.3

Laut nationalem Anhang ist bei Normalspuren mit $r=1,50$ m zu rechnen.

Daraus ergibt sich eine Exzentrizität $e=8,3$ cm.

ÖN B 1-2, 5.2.2.2

Laut nationalem Anhang ÖNORM B 1991-2: 2004 ist weiters bei offenen Fahrbahnen für alle Lastmodelle eine Abweichung der Gleislage von 10 cm zu berücksichtigen.

ÖN B 1-2, 4.2.7

Für das Lastmodell 71 ist folglich eine Gesamtexzentrizität von $e=18,3$ cm zu berücksichtigen. Beim Lastmodell SW/2 ist hingegen nur mit einer Abweichung von $e=10$ cm je Seite zu rechnen.

13.2 Ständige Lasten

13.2.1 Näherungsweise Ermittlung des Eigengewichts der Stahlkonstruktion

Das Eigengewicht der Stahlkonstruktion wird vorab mit den von Herzog in [14] entwickelten Formel abgeschätzt. Für herkömmliche Stabbogenbrücken wird folgende Formel für das Gewicht je Gleis angegeben:

$$g_S = 2,1 + 0,033 * L_B \text{ [t/m]}$$

Für eine Stützweite L_B von 112,5m bei jeweils 2 Gleisen ergeben sich folgende Werte:

$L_B =$	112,50 m	$g_S =$	11,63 t/m
		$g_S =$	116,25 kN/m
		$G_S =$	1307,81 t

13.2.2 Ermittlung des Eigengewichts der orthotropen Platte

Die Annahmen für das Eigengewicht der orthotropen Platte werden wie folgt getroffen:

Deckblech			
t=	20 mm	g=	1,57 kN/m ²
γ=	78,5 kN/m ³		
Schottertrogbegrenzungsblech			
t=	20 mm	g=	1,26 kN/m
l=	0,8 m		
γ=	78,5 kN/m ³		
Trapezstreifen			
t=	20 mm	g=	0,84 kN/m
A=	0,011 m ²		
γ=	78,5 kN/m ³		
Querträger			
Untergurt:			
t _G =	40 mm	A=	0,028 m ²
b=	700 mm		
Stegblech:			
h _{Rand} =	1200 mm	t _S =	20 mm
h _{Mitte} =	1800 mm	A=	0,030 m ²
h _m =	1500 mm		
Gesamt:			
A _{Ges} =	0,058 m ²	G _{Ges} =	1905 kN
Anzahl=	31		
l=	13,5 m	g=	8,5 kN/m
γ=	78,5 kN/m ³		
Kabeltrogabdeckblech			
t=	5 mm	g=	0,47 kN/m ²
γ=	78,5 kN/m ³		
Kabeltrogbegrenzungsblech			
t=	12 mm	g=	0,52 kN/m
l=	0,55 m		
γ=	78,5 kN/m ³		

Tabelle 3 Ermittlung des Eigengewichts der orthotropen Fahrbahnplatte

13.2.3 Schotterbett

Die Nennhöhe (Regeldicke) des Schotterbettes beträgt 55cm, sofern in Spezialfällen kein anderer Wert angegeben ist.

ÖN B 1-2, 4.3 (2)

Mit einer Wichte γ von 20kN/m^3 ergibt sich eine Flächenlast g_{SB} von 11kN/m^2 .

EN 1-1-1, Tab.A.6

Die oberen und unteren charakteristischen Werte der Schotterbetthöhe sollten anhand einer Abweichung von $\pm 30\%$ der Nennhöhe bestimmt werden.

EN 1-1-1, 5.2.3(2)

$$g_{\text{SB}} = 11,00 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{SB}+30} = 14,30 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{SB}-30} = 7,70 \text{ kN/m}^2$$

Da bei Netzbogenbrücken die ständigen Lasten von entscheidender Bedeutung für die Tragwirkung sind, ist in diesem speziellen Fall eine Schotterbetthöhe von 55 cm immer zu gewährleisten. Die Abweichung von $\pm 30\%$ der Nennhöhe wird für die Berechnungen nicht berücksichtigt. Auf einen Abzug des Schotters für das Volumen der Schwellen wird ebenfalls verzichtet.

13.2.4 Schienen, Schienenbefestigung und Schwellen

Die Gewichte pro Gleis und Länge werden entsprechen EN 1-1-1, Tab.A.6 festgelegt.

2 Schienen UIC60	1,20 kN/m
Vorgespannte Betonschwellen mit Schienenbefestigung	4,80 kN/m

13.2.5 Sonstige Ausbaulasten

Die sonstigen Ausbaulasten sind das Brückengeländer, die Unterschottermatte, die Abdichtung und die Kabeltrogebelegung.

Das Eigengewicht des Brückengeländers wird mit rund $0,4\text{ kN/lfm}$ angenommen. Zur Sicherung wird ein Berührschutz bestehend aus einer Stahlkonstruktion und VSG-Glas angebracht. Dieser hat eine zusätzliche Belastung von $1,0\text{ kN/lfm}$ zur Folge.

Des weitem wird eine Unterschottermatte mit einem Eigengewicht von $6,5 \text{ kg/m}^2$ pro 10 mm und einer Dicke von 20 mm eingebaut. Dies ergibt eine Flächenlast von $0,13 \text{ kN/m}^2$.

Als Abdichtung wird ein Dünnbelag (6mm) mit eingestreutem Quarzsand verwendet. Bei einer Wichte von 25 kN/m^3 und einer Dicke von 6 mm berechnet sich das zusätzliche Gewicht zu $0,15 \text{ kN/m}^2$.

Für die Kabeltrogbelastung wird angenommen, dass der Kabeltrog zur Hälfte mit Kabeln befüllt ist. Die Höhe des Kabeltrogs beträgt 17 cm. Das Gewicht der Kabel wird mit 25 kN/m^3 abgeschätzt. Daraus ergibt sich eine Flächenlast von $2,2 \text{ kN/m}^2$.

13.3 Dynamische Beiwerte

Die statische Berechnung ist mit den Lastmodellen LM71 und, wenn erforderlich, Lastmodellen SW durchzuführen. Die Ergebnisse sind mit dem dynamischen Beiwert Φ zu multiplizieren.

EN 1-2, 6.4.3 (1)P

Der dynamische Beiwert Φ ist entweder mit Φ_2 oder Φ_3 gemäß der Instandhaltungsqualität des Gleises anzusetzen.

EN 1-2, 6.4.5.2 (2)

Für Projekte der ÖBB ist, falls kein dynamischer Beiwert festgelegt ist, Φ_2 anzuwenden.

ÖNB 1-2, 4.2.3.2.1

Der Beiwert Φ_2 für sorgfältig instand gehaltene Gleise berechnet sich wie folgt:

$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82$$

mit: $1,0 \leq \Phi_2 \leq 1,67$

Dabei ist L_Φ die „maßgebende“ Länge (zu Φ gehörende Länge), in m, wie in ÖNORM EN 1991-2: 2003 Tabelle 6.2 angegeben.

Für das Tragwerk 1 mit einer Spannweite von 112,5 m ergeben sich die dynamischen Beiwerte wie folgt:

Fall	Bauteil	Lst,n	L_Φ	L_Φ	Φ_2
5.4	Bogen	112,50 m	halbe Stützweite	56,25 m	1,02
5.4	Versteifungsträger von Langerschen Balken	112,50 m	halbe Stützweite	56,25 m	1,02
5.6	Hänger (in Verbindung mit Versteifungsträger)	112,50 m	halbe Stützweite	56,25 m	1,02

Tabelle 4 Dynamische Beiwerte Φ_2 für das Tragwerk

Im Fall 5.6 Hänger (in Verbindung mit Versteifungsträgern) gibt die ÖNORM EN 1991-2: 2003 für die zu verwendende maßgebende Länge folgendes an. Als L_{Φ} ist der 4fache Hängerabstand in Längsrichtung anzusetzen. Dieser Wert bezieht sich jedoch auf herkömmliche Stabbogenbrücken. Bei Netzwerkbogenbrücken sind die Abstände der Hänger untereinander deutlich geringer, sodass mit dem nach Eurocode ermittelten Φ_2 -Wert die dynamischen Einwirkungen auf die Hänger überschätzt würden. In [7] wählen Frank Schanack und Benjamin Brunn auf Anraten von Per Tveit eine maßgebende Länge L_{Φ} , die der halben Stützweite des Tragwerks entspricht. Für das vorliegende Projekt wird dieselbe Annahme getroffen.

13.4 Ermittlung der Verkehrslastgruppen EN 1-2, 6.8.2

Die Gleichzeitigkeit der Belastung kann im Hinblick auf die Lastgruppen berücksichtigt werden. Jede dieser Lastgruppen, die sich gegenseitig ausschließen, sollte in Kombination mit Nicht-Verkehrslasten als einzelne veränderliche charakteristische Einwirkung angesehen werden.

EN 1-2, 6.8.2(1)

Anzahl Gleise auf Bauwerk			Lastgruppen			Vertikalkräfte			Horizontalkräfte			Bemerkungen	
1	2	>= 3	Anzahl belastete Gleise	Lastgruppe	belastetes Gleis	LM71 SW/0 HSLM	SW/2	unbel. Zug	Anfahren Bremsen	Fliehkraft	Seitenstoß		
			1	gr11	T1	1,00			1,00	0,50	0,50	max. vertikal 1 mit max. längs	
			1	gr12	T1	1,00			0,50	1,00	1,00	max. vertikal 2 mit max. quer	
			1	gr13	T1	0,50			1,00	0,50	0,50	max. längs *)	
			1	gr14	T1	0,50			0,50	1,00	1,00	max. quer	
			1	gr15	T1				1,00		1,00	1,00	Seitenstab. mit "unbel. Zug"
			1	gr16	T1			1,00		1,00	0,50	0,50	SW/2 mit max. längs *)
			1	gr17	T1			1,00		0,50	1,00	1,00	SW/2 mit max. quer *)
			2	gr21	T1	1,00			1,00	0,50	0,50	max. vertikal 1 mit max. längs	
					T2	1,00			1,00	0,50	0,50		
			2	gr22	T1	1,00			0,50	1,00	1,00	max. vertikal 2 mit max. quer	
					T2	1,00			0,50	1,00	1,00		
			2	gr23	T1	0,50			1,00	0,50	0,50	max. längs *)	
					T2	0,50			1,00	0,50	0,50		
			2	gr24	T1	0,50			0,50	1,00	1,00	max. quer	
					T2	0,50			0,50	1,00	1,00		
			2	gr26	T1			1,00		1,00	0,50	0,50	SW/2 mit max. längs *)
					T2	1,00			1,00	0,50	0,50		
2	gr27	T1			1,00		0,50	1,00	1,00	SW/2 mit max. quer *)			
		T2	1,00			0,50	1,00	1,00					
			>=3	gr31	Ti	0,75			0,75	0,75	Zusätzlicher Lastfall		

Dominierender Anteil der entsprechenden Einwirkung

Zu betrachten beim Bemessen eines eingleisigen Tragwerks (Lastgruppen 11-17)

Zu betrachten beim Bemessen eines zweigleisigen Tragwerks (Lastgruppen 11-27 außer 15).
Jedes der beiden Gleise ist sowohl als T1 oder T2 zu betrachten.

Zu betrachten beim Bemessen eines drei- oder mehrgleisigen Tragwerks (Lastgruppen 11-31 außer 15).
Irgendein Gleis ist als T1 anzusetzen, irgendein anderes Gleis als T2, alle anderen Gleise sind unbelastet.
Zusätzlich ist Lastgruppe 31 als ein zusätzlicher Lastfall zu betrachten, bei dem alle ungünstigen Gleise Ti belastet sind.

*) Windeinwirkungen brauchen nicht mit Lastgruppe kombiniert werden.

Tabelle 5 Nachweis der Lastgruppen für Eisenbahnverkehr (charakteristische Werte der mehrteiligen Einwirkungen), EN 1991-2: 2003, Tab.6.1

Für die Untersuchung der Netzgeometrie werden keine horizontal gerichteten Kräfte angesetzt. Von Interesse sind die maximalen bzw. minimalen Schnittgrößen in den Hängern, dem Bogen und dem Versteifungsträger. Daraus ergeben sich die folgenden zu berücksichtigenden Lastgruppen: gr21, gr26.

13.5 Teilsicherheitsbeiwerte EN 1990/A1

Ständige Einwirkungen		$\gamma_{G,inf}$	$\gamma_{G,sup}$	Dokument	
Eigengewicht Konstruktion		1,00	1,35	EN 1990/A1	Tab. A.2.4 (B)
Veränderliche Einwirkungen		$\gamma_{Q,inf}$	$\gamma_{Q,sup}$	Dokument	
LM71		1,00	1,45	EN 1990/A1	Tab. A.2.4 (B)
SW/2		1,00	1,20	EN 1990/A1	Tab. A.2.4 (B)

Tabelle 6 Teilsicherheitsbeiwerte für ständige und veränderliche Einwirkungen gemäß ÖNORM EN 1990/A1

Zusammen mit den Lastklassenbeiwerten α und den dynamischen Beiwerten Φ_2 ergeben sich folgende Faktoren für die Berechnung des Grenzzustands der Tragfähigkeit bzw. der Gebrauchstauglichkeit.

Für das Lastmodell 71:

- LM71 für FLS: $\gamma^*\alpha = 1,00*1,00 = 1,00$
- LM71 für ULS: $\gamma^*\alpha* \Phi_2 = 1,45*1,21*1,02 = 1,79$

Für das Lastmodell SW/2:

- SW/2 für FLS: $\gamma^*\alpha = 1,00*1,00 = 1,00$
- SW/2 für ULS: $\gamma^*\alpha* \Phi_2 = 1,20*1,00*1,02 = 1,22$

13.6 Querverteilung der Lasten

Um die Belastung und in weiterer Folge die Schnittgrößen des Versteifungsträgers, des Bogens und der Hänger ermitteln zu können, muss zuvor die Querverteilung aller Lasten berechnet werden. Dies erfolgt an einem Einfeldträger, dessen Abmessungen denen der Querträger der orthotropen Fahrbahnplatte entsprechen. So lässt sich die Auswirkung exzentrischer Verkehrslasten und exzentrischer Gleislage leicht abbilden. Mit den so ermittelten Auflagerkräften wird der Versteifungsträger belastet und die Untersuchung der unterschiedlichen Hängernetzgeometrien durchgeführt. Die Berechnung der Querverteilung der Last ist Anhang A zu entnehmen.

13.7 Lastfallbezeichnungen und Lastfallkombinationen

Die Ermittlung der Belastung in Brückenlängsrichtung ist *Anhang A: Berechnung der Querverteilung der Last* zu entnehmen.

Die Eingabe der Lasten in Brückenlängsrichtung, sowie die Kombination und Überlagerung der einzelnen Lastfälle sind im *Anhang C: Eingabedaten und Berechnung einer Netzgeometrie in RSTAB* zu finden.

13.7.1 Ständige Lasten

- **LF1-EG:** Der Lastfall umfasst das Eigengewicht des Bogens, der Hänger und des Versteifungsträgers.
- **LF2-EG Fahrbahnplatte:** Das Eigengewicht der Fahrbahnplatte (Deckblech, Längssteifen etc.) sowie alle weiteren Ausbaulasten (Schotterbett, Schwellen, Schienen etc.) werden zu einer gleichmäßig verteilten Streckenlast von 87,08 kN/m zusammengefasst.

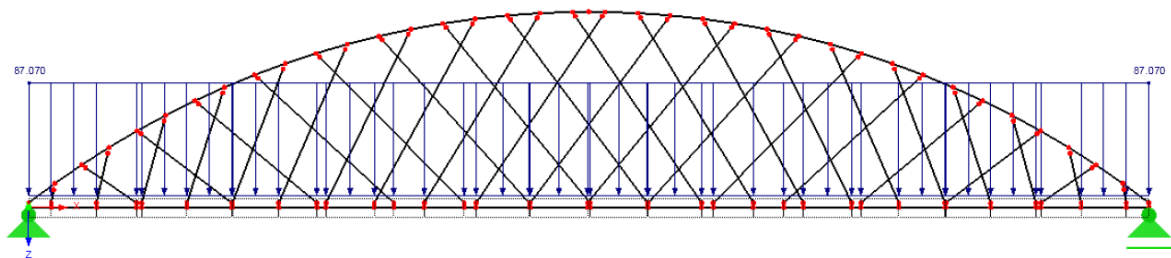


Abbildung 64 LF2-Eigengewicht der Fahrbahnplatte

13.7.2 Verkehrslasten

- **LF100-LF156: Wanderlasten FA1.** Der Gleichlastanteil von **55,01 kN/m** des LM 71 auf Gleis 1 mit einer Ausmitte von $e=+183$ mm wird in 57 Lastpakete unterteilt, die anschließend in einer Lastfallkombination ungünstig miteinander überlagert werden.
- **LF200-LF258: Wanderlasten FA2.** Der zweite Lastanteil von **52,43 kN/m** des LM 71 auf Gleis 1 mit einer Lastausmitte von $e=+183$ mm und einer Länge von 6,40 m wird in 59 Laststellungen alle 2 m auf den Versteifungsträger aufgebracht. Die unterschiedlichen Laststellungen werden anschließend in einer Lastfallkombination einander ausschließend überlagert.

- **LF300-LF356: Wanderlasten FA3.** Der Gleichlastanteil von **54,52 kN/m** des LM 71 auf Gleis 1 mit einer Ausmitte von $e=+100$ mm wird in 57 Lastpakete unterteilt, die anschließend in einer Lastfallkombination ungünstig miteinander überlagert werden.
- **LF400-LF458: Wanderlasten FA4.** Der zweite Lastanteil von **51,96 kN/m** des LM 71 auf Gleis 1 mit einer Lastausmitte von $e=+100$ mm und einer Länge von 6,40 m wird in 59 Laststellungen alle 2 m auf den Versteifungsträger aufgebracht. Die unterschiedlichen Laststellungen werden anschließend in einer Lastfallkombination einander ausschließend überlagert.
- **LF500-LF556: Wanderlasten FA5.** Der Gleichlastanteil von **27,16kN/m** des LM 71 auf Gleis 2 mit einer Ausmitte von $e=+183$ mm wird in 57 Lastpakete unterteilt, die anschließend in einer Lastfallkombination ungünstig miteinander überlagert werden.
- **LF600-LF658: Wanderlasten FA6.** Der zweite Lastanteil von **25,89kN/m** des LM 71 auf Gleis 1 mit einer Lastausmitte von $e=+183$ mm und einer Länge von 6,40 m wird in 59 Laststellungen alle 2 m auf den Versteifungsträger aufgebracht. Die unterschiedlichen Laststellungen werden anschließend in einer Lastfallkombination einander ausschließend überlagert.
- **LF700-LF756: Wanderlasten FA7.** Der Gleichlastanteil von **26,67kN/m** des LM 71 auf Gleis 2 mit einer Ausmitte von $e=+100$ mm wird in 57 Lastpakete unterteilt, die anschließend in einer Lastfallkombination ungünstig miteinander überlagert werden.
- **LF800-LF858: Wanderlasten FA8.** Der zweite Lastanteil von **25,42kN/m** des LM 71 auf Gleis 1 mit einer Lastausmitte von $e=+100$ mm und einer Länge von 6,40 m wird in 59 Laststellungen alle 2 m auf den Versteifungsträger aufgebracht. Die unterschiedlichen Laststellungen werden anschließend in einer Lastfallkombination einander ausschließend überlagert.

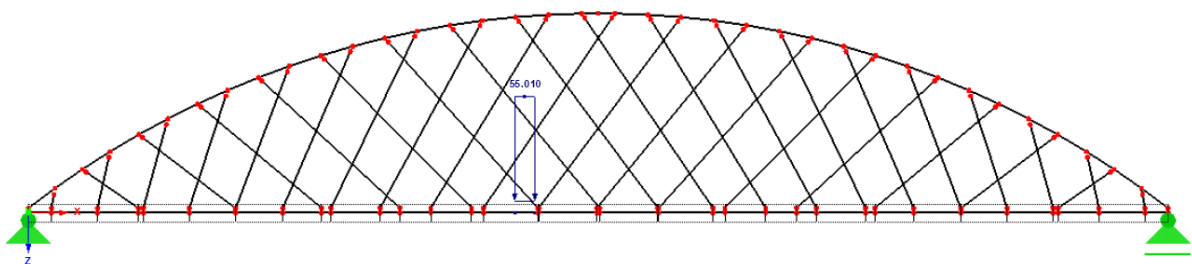


Abbildung 65 Exemplarische Darstellung der Lastpakete der Lastfälle 100-458

- **LF900-LF955: Wanderlasten FA9.** Das Lastmodell SW/2 auf Gleis 1 mit einer Ausmitte von $e=+100$ mm und einer Last von **102,22kN/m** wird in 56 Laststellungen in Schritten von 1 m auf den Versteifungsträger aufgebracht. Die unterschiedlichen Laststellungen werden anschließend in einer Lastfallkombination einander ausschließend überlagert.
- **LF1000-LF1055: Wanderlasten FA10.** Das Lastmodell SW/2 auf Gleis 2 mit einer Ausmitte von $e=+100$ mm und einer Last von **50,00kN/m** wird in 56 Laststellungen in Schritten von 1 m auf den Versteifungsträger aufgebracht. Die unterschiedlichen Laststellungen werden anschließend in einer Lastfallkombination einander ausschließend überlagert.

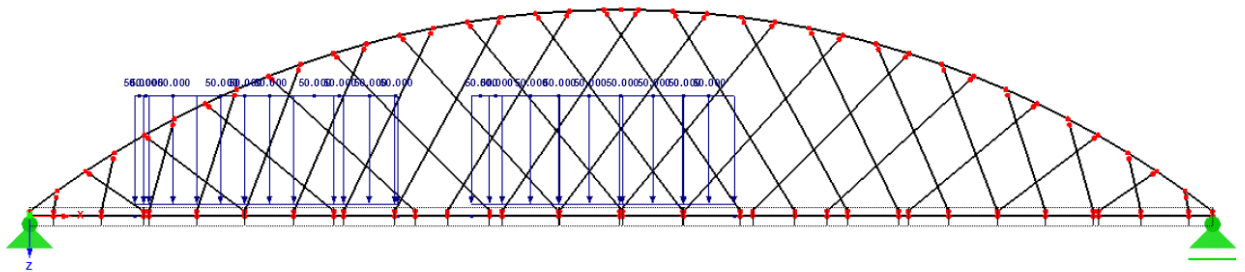


Abbildung 66 Exemplarische Darstellung des Lastmodells SW/2 der Lastfälle 500-655

13.7.3 Lastfallkombinationen

- **LK1-Ständige Lasten FLS.** LF1 und LF2 werden für den Grenzzustand der Ermüdung (Fatigue Limit State) ungünstig überlagert. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_Q beträgt 1,00.
- **LK2-Ständige Lasten ULS.** LF1 und LF2 werden für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (Ultimate Limit State) ungünstig überlagert. Je nachdem ob die ständigen Lasten günstig oder ungünstig wirken, wird der Teilsicherheitsbeiwert γ_Q mit 1,00 bzw. 1,35 festgelegt.
- **LK10-LM71_Gl.1 (Gleichlast); $e=+183$ mm.** Es erfolgt die ungünstige Überlagerung der Lastfälle **LF100-LF156: Wanderlasten FA1.**
- **LK11-LM71_Gl.1 (Einzellasten); $e=+183$ mm.** Es erfolgt die einander ausschließende Überlagerung der Lastfälle **LF200-LF258: Wanderlasten FA2.**
- **LK12-LM71_Gl.1 (Gleichlast); $e=+100$ mm.** Es erfolgt die ungünstige Überlagerung der Lastfälle **LF300-LF356: Wanderlasten FA3.**

- **LK13-LM71_Gl.1 (Einzellasten); e=+100 mm.** Es erfolgt die einander ausschließende Überlagerung der Lastfälle **LF400-LF458: Wanderlasten FA4.**
- **LK14-LM71_Gl.1; FLS.** Die Lastfallkombinationen **LK12** und **LK13** werden für den Grenzzustand der Ermüdung ungünstig überlagert.
- **LK15-LM71_Gl.1; ULS.** Die Lastfallkombinationen **LK10** und **LK11** werden für den Grenzzustand der Tragfähigkeit ungünstig überlagert.
- **LK16-LM71_Gl.2 (Gleichlast); e=+183 mm.** Es erfolgt die ungünstige Überlagerung der Lastfälle **LF500-LF556: Wanderlasten FA5.**
- **LK17-LM71_Gl.2 (Einzellasten); e=+183 mm.** Es erfolgt die einander ausschließende Überlagerung der Lastfälle **LF600-LF658: Wanderlasten FA6.**
- **LK18-LM71_Gl.2 (Gleichlast); e=+100 mm.** Es erfolgt die ungünstige Überlagerung der Lastfälle **LF700-LF756: Wanderlasten FA7.**
- **LK19-LM71_Gl.2 (Einzellasten); e=+100 mm.** Es erfolgt die einander ausschließende Überlagerung der Lastfälle **LF800-LF858: Wanderlasten FA8.**
- **LK20-LM71_Gl.2; FLS.** Die Lastfallkombinationen **LK18** und **LK19** werden für den Grenzzustand der Ermüdung ungünstig überlagert.
- **LK21-LM71_Gl.2; ULS.** Die Lastfallkombinationen **LK16** und **LK17** werden für den Grenzzustand der Tragfähigkeit ungünstig überlagert.
- **LK22-SW/2_Gl.1; e=+100 mm; FLS.** Die Lastfälle **LF900-LF955: Wanderlasten FA9** werden einander ausschließend überlagert und mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten für den Grenzzustand der Ermüdung multipliziert.
- **LK23-SW/2_Gl.1; e=+100 mm; ULS.** Die Lastfälle **LF900-LF955: Wanderlasten FA9** werden einander ausschließend überlagert und mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten für den Grenzzustand der Tragfähigkeit multipliziert.
- **LK24-SW/2_Gl.2; e=+100 mm; FLS.** Die Lastfälle **LF1000-LF1055: Wanderlasten FA10** werden einander ausschließend überlagert und mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten für den Grenzzustand der Ermüdung multipliziert.
- **LK25-SW/2_Gl.2; e=+100 mm; ULS.** Die Lastfälle **LF1000-LF1055: Wanderlasten FA10** werden einander ausschließend überlagert und mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten für den Grenzzustand der Tragfähigkeit multipliziert.
- **LK100-gr21_FLS.** Mit den Lastfallkombinationen **LK14** und **LK20** wird die Verkehrslastgruppe gr21(Lastmodell 71 auf Gleis 1 und auf Gleis 2) für den Grenzzustand der Ermüdung gebildet.

- **LK101-gr21_ULS.** Mit den Lastfallkombinationen **LK15** und **LK21** wird die Verkehrslastgruppe gr21 (Lastmodell 71 auf Gleis 1 und auf Gleis 2) für den Grenzzustand der Tragfähigkeit gebildet.
- **LK102-gr26_Gl.1_FLS.** Mit den Lastfallkombinationen **LK14** und **LK24** wird die Verkehrslastgruppe gr26 (Lastmodell 71 auf Gleis 1 und SW/2 auf Gleis 2) für den Grenzzustand der Ermüdung gebildet.
- **LK103-gr26_Gl.1_ULS.** Mit den Lastfallkombinationen **LK15** und **LK25** wird die Verkehrslastgruppe gr26 (Lastmodell 71 auf Gleis 1 und SW/2 auf Gleis 2) für den Grenzzustand der Tragfähigkeit gebildet.
- **LK104-gr26_Gl.2_FLS.** Mit den Lastfallkombinationen **LK20** und **LK22** wird die Verkehrslastgruppe gr26 (Lastmodell 71 auf Gleis 2 und SW/2 auf Gleis 1) für den Grenzzustand der Ermüdung gebildet.
- **LK105-gr26_Gl.2_ULS.** Mit den Lastfallkombinationen **LK21** und **LK23** wird die Verkehrslastgruppe gr26 (Lastmodell 71 auf Gleis 2 und SW/2 auf Gleis 1) für den Grenzzustand der Tragfähigkeit gebildet.
- **LK200- FLS.** Kombination der ständigen Lasten und der maßgebenden Verkehrslastgruppe für den Grenzzustand der Ermüdung.
- **LK201- ULS.** Kombination der ständigen Lasten und der maßgebenden Verkehrslastgruppe für den Grenzzustand der Tragfähigkeit.

14 Auswertung der Ergebnisse der berechneten Netzgeometrien

14.1 Zielsetzung

Das oberste Ziel der Parameterstudie, die 90 Netze umfasst, ist es, für das gegebene Tragwerk eine Netzgeometrie zu finden, bei der möglichst kein Hängerausfall auftritt. In einem weiteren Schritt wird als zusätzliches Bewertungskriterium die Forderung nach einer gleichmäßigen Schnittgrößenverteilung eingeführt.

Erhält ein Hänger im Grenzzustand der Ermüdung (FLS) Druckkräfte, so ist dies als Hängerausfall zu definieren. Die Forderung nach Vermeidung von Auftreten von Druckkräften im FLS rührt daher, dass günstigere Spannungsschwingbreiten zu erwarten sind, wenn diese nicht zwischen einem positiven und negativen Spannungsniveau stattfinden.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) können prinzipiell Druckkräfte auftreten, sofern der Stabilitätsnachweis für den betreffenden Stab erbracht werden kann. Es ist jedoch davon auszugehen, dass aufgrund der großen Schlankheit der Hänger in Brückenmitte dieser Nachweis nur schwer erfüllt werden kann. Auf diese Problematik wird in 17 näher eingegangen.

14.2 Zusammenfassung der Ergebnisse im Grenzzustand der Ermüdung (FLS)

Für die anfängliche Betrachtung und Bewertung der unterschiedlichen Netzgeometrien werden ein Regel- und ein Störbereich definiert. Der Störbereich umfasst die jeweils ersten und letzten drei Hänger, bei denen erhöhte Normalkräfte zu erwarten sind. Diese werden der Vollständigkeit halber in den Diagrammen dargestellt, jedoch nicht für die Bewertung herangezogen. Für die Bewertung hinsichtlich Hängerausfalls im FLS erweisen sich folglich jene Netze als besonders günstig, bei denen kein Hänger im Regelbereich Druckkräfte aufzunehmen hat und die Normalkraftschwingbreiten möglichst gering sind. Für die Ergebnisauswertung wird jeweils nur eines der beiden Hängersets betrachtet, da es sich um ein symmetrisches Tragsystem handelt. Gewählt wird jenes, bei dem die Hänger von links nach rechts fallend angeordnet sind. Zu Beginn werden die unterschiedlichen Netzgeometrien einzeln analysiert und anschließend einander gegenübergestellt, um Vor- und Nachteile verdeutlichen zu können.

14.2.1 Variante 1: Radiale Hängeranordnung

Für die erste Bewertung der Netze werden die minimalen Normalkräfte in den Hängern betrachtet.

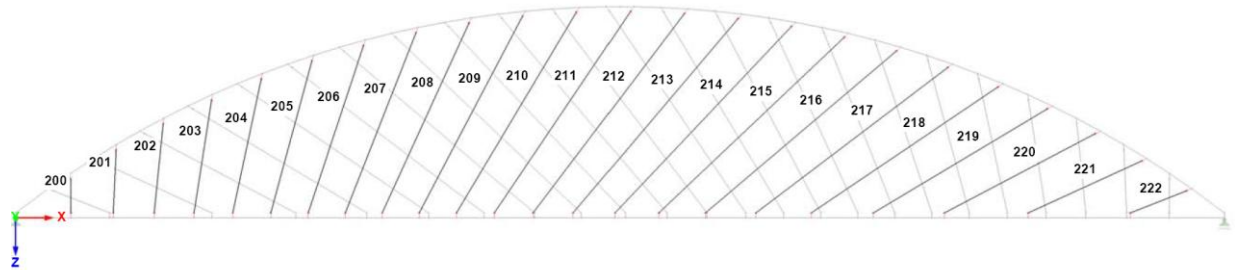


Abbildung 67 Nummerierung des untersuchten Hängernetzes, exemplarisch für 46 Hänger

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die radiale Hängeranordnung mit 36, 38, 40, 42, 44 und 46 Hängern bei unterschiedlichen Hänger-Bogen-Winkel dargestellt.

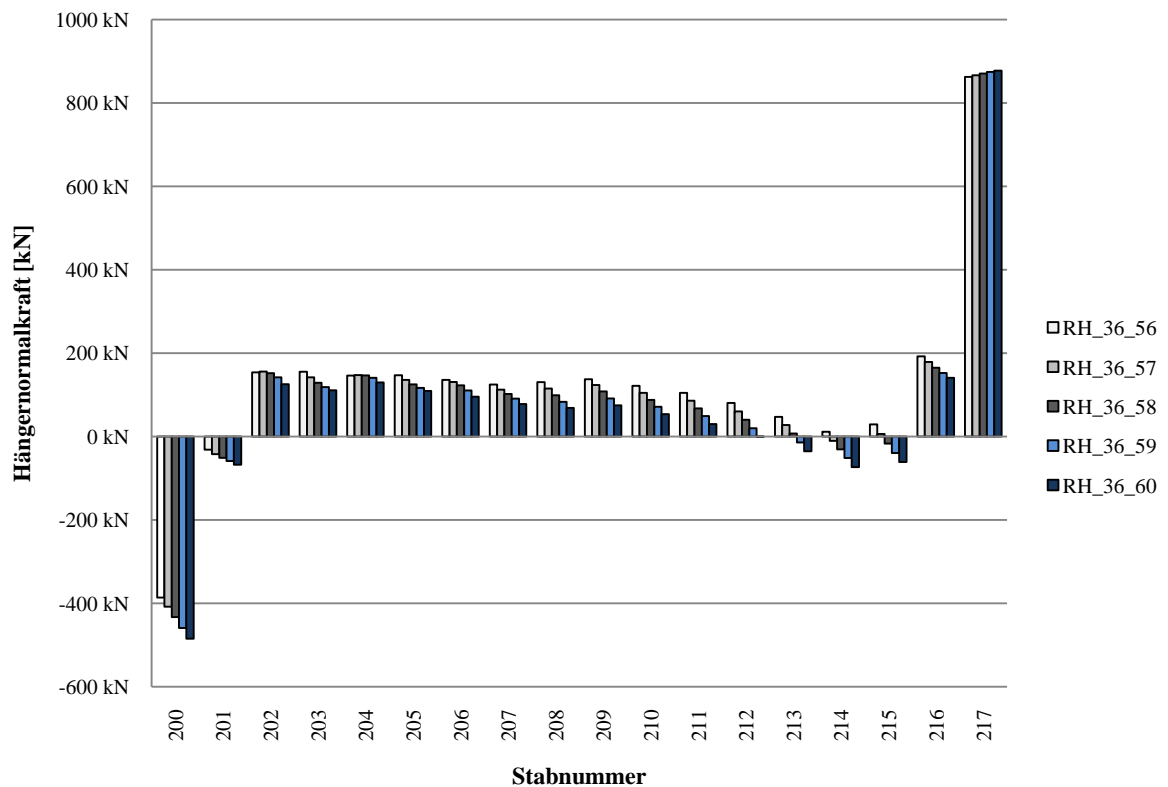


Diagramm 2 Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$

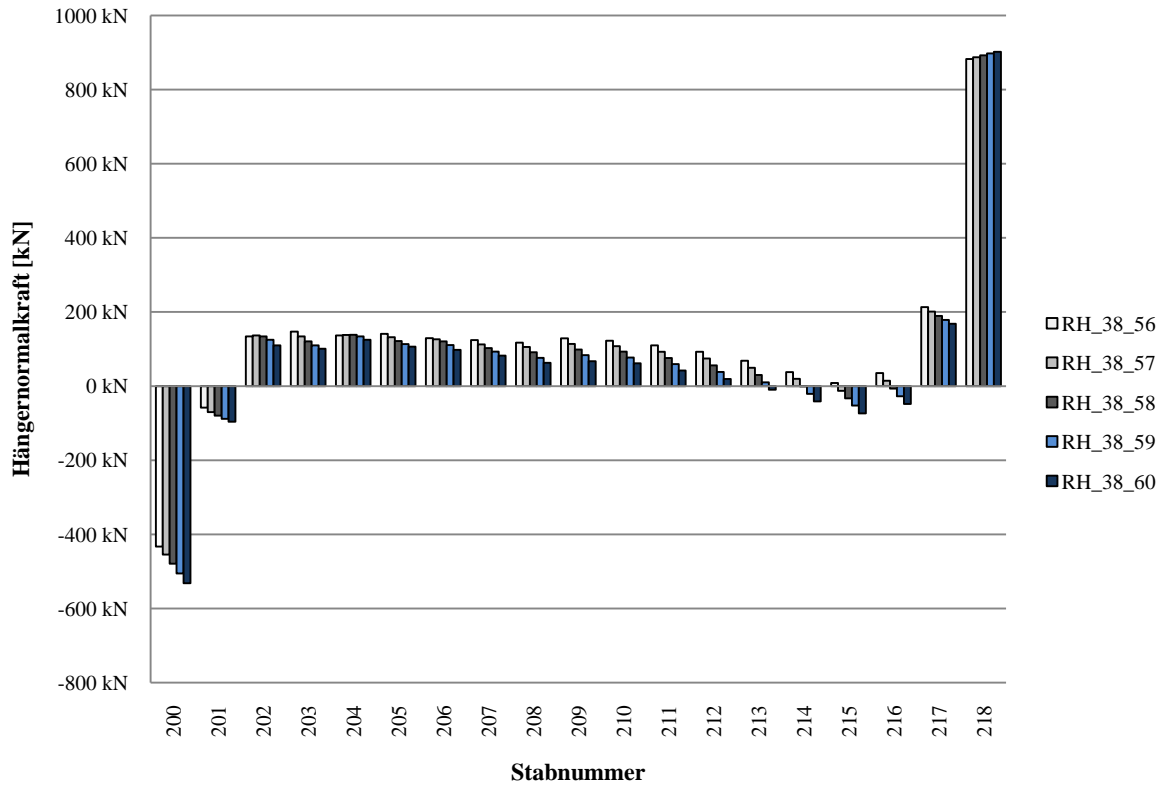


Diagramm 3 Minimale Hängernormalkräfte bei 38 Hängern und $\alpha=56^{\circ}$ - 60°

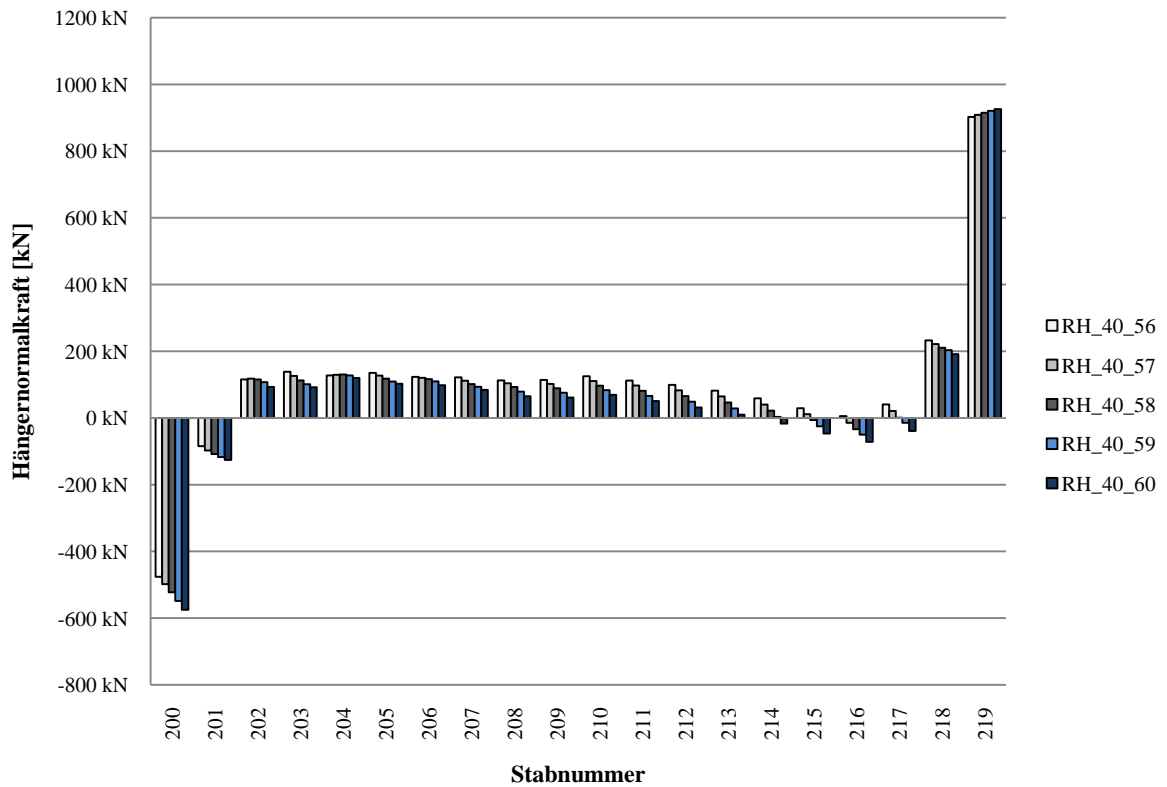


Diagramm 4 Minimale Hängernormalkräfte bei 40 Hängern und $\alpha=56^{\circ}$ - 60°

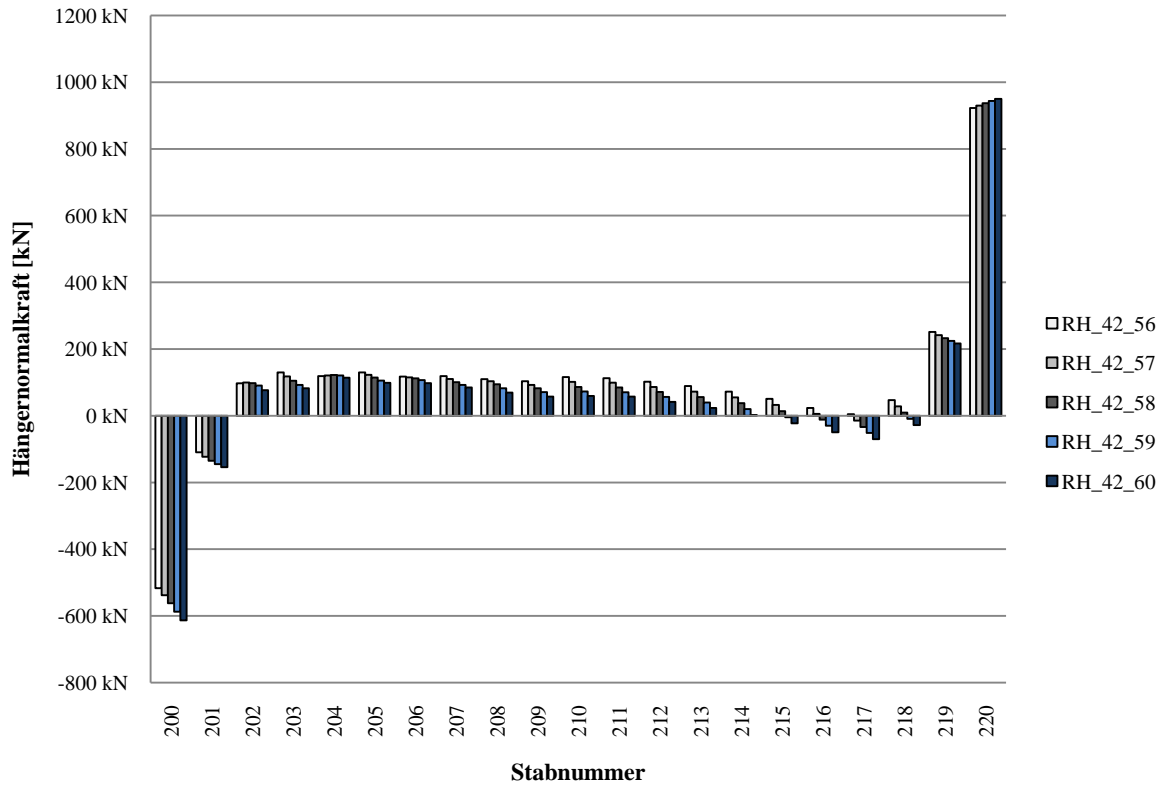


Diagramm 5 Minimale Hängernormalkräfte bei 42 Hängern und $\alpha=56^{\circ}$ - 60°

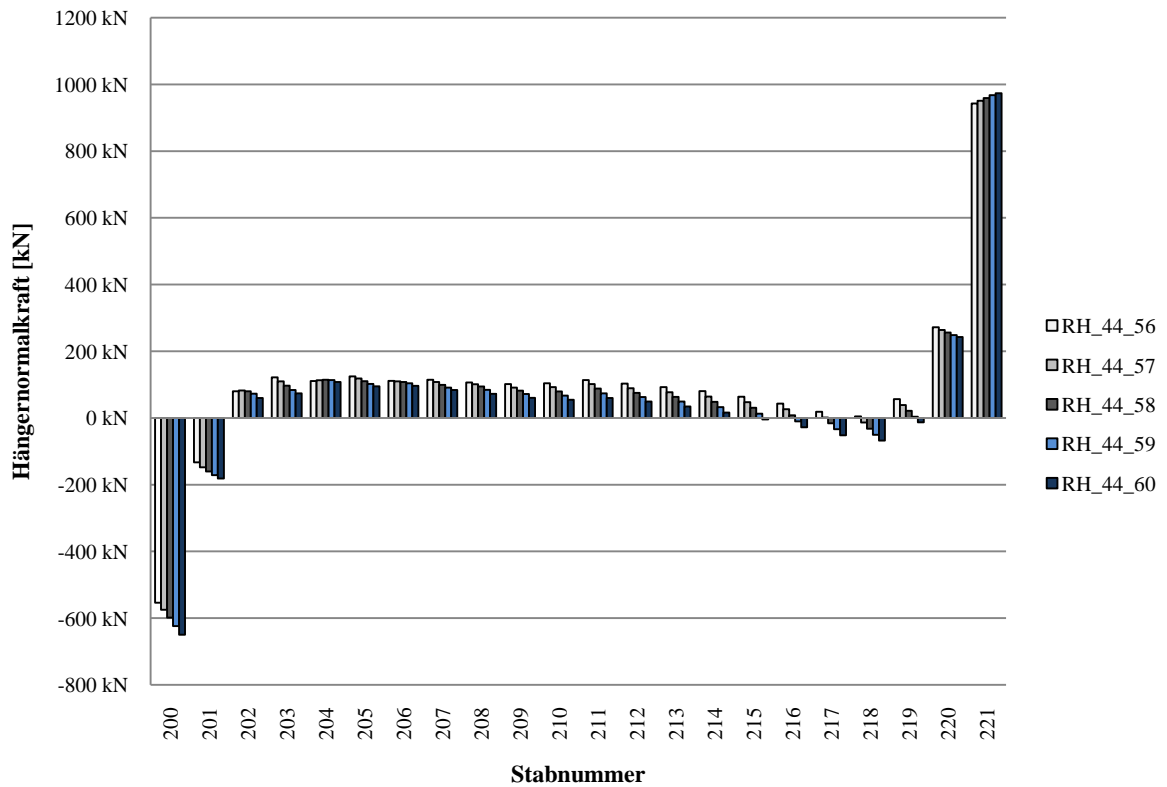


Diagramm 6 Minimale Hängernormalkräfte bei 44 Hängern und $\alpha=56^{\circ}$ - 60°

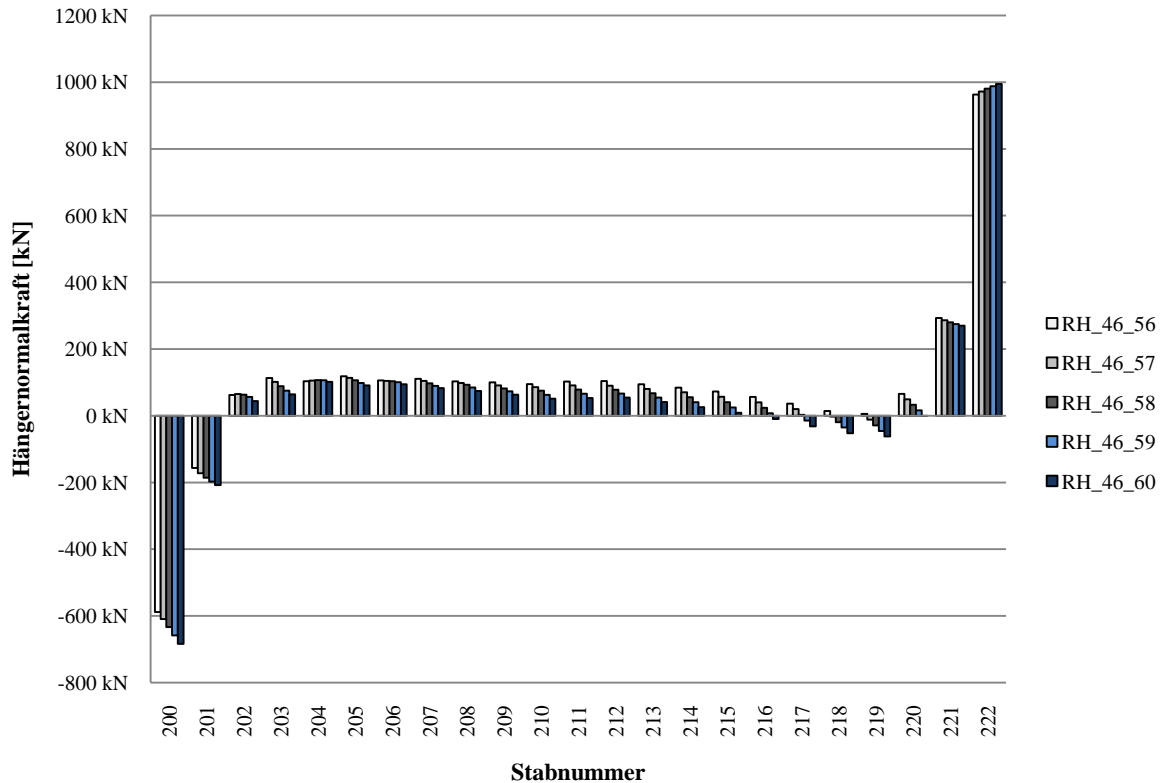


Diagramm 7 Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\alpha=56^\circ$ - 60°

Aus den Diagrammen wird klar ersichtlich, dass ein eindeutiger Zusammenhang zwischen den resultierenden Normalkräften und dem jeweils gewählten Winkel besteht. Es zeigt sich, dass ab einem Hänger-Bogen-Winkel von 57° , unabhängig von der Hängeranzahl, ein Hängerausfall im Regelbereich nicht zu vermeiden ist. Dieser tritt immer am Ende des Regelbereiches auf. Je steiler der Winkel, desto mehr Hänger weisen in diesem Bereich Druckkräfte auf. Fällt bei einem Winkel von 57° lediglich ein Hänger aus, so ist bei einem Winkel von 60° , abhängig von der Hängeranzahl, bereits mit Ausfällen von 3-4 Hängern zu rechnen.

Im Störbereich unterscheiden sich die Hängernormalkräfte eklatant von denen im Regelbereich, wobei es im ersten und letzten Hänger zu Extremwerten kommt. Die ersten beiden Hänger erhalten bei allen Anordnungsvarianten Druckkräfte und fallen somit aus. Der dritte Hänger weist immer eine Zugkraft auf, die mit zunehmendem Winkel geringer wird. In den letzten beiden Hängern treten bei allen Netzgeometrien große Zugkräfte auf. Der drittletzte Hänger erhält in Abhängigkeit von Hängeranzahl und Hänger-Bogen-Winkel Zug- bzw. Druckkräfte.

Es zeigt sich, dass mit zunehmendem Winkel zwischen Bogen und Hänger, unabhängig von der gewählten Hängeranzahl, vermehrt Hängerausfälle im Regelbereich auftreten.

Zusätzlich ist zu erkennen, dass eine größere Hängeranzahl die Problematik im Störbereich verschärft. Die Hänger wandern aufgrund der höheren Anzahl immer näher zum Kämpfer und erhalten dadurch größere Kräfte.

14.2.2 Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung

Für die erste Bewertung der Netze werden die minimalen Normalkräfte in den Hängern betrachtet.

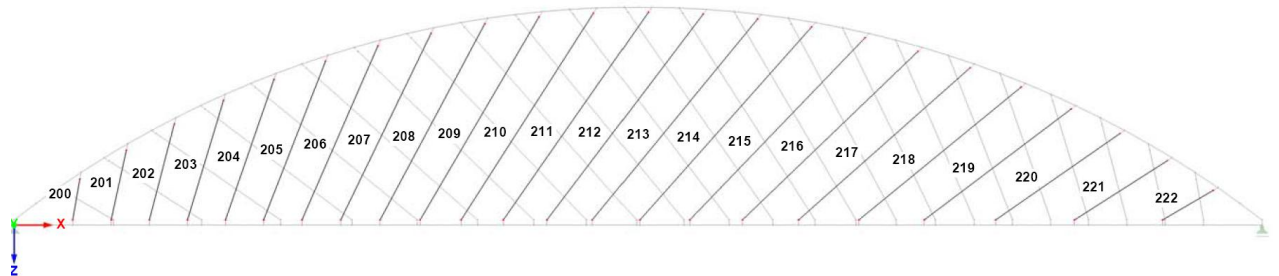


Abbildung 68 Nummerierung des untersuchten Hängernetzes, exemplarisch für 46 Hänger

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die konstante Hängerneigungsänderung mit 36, 38, 40, 42, 44 und 46 Hängern bei unterschiedlichen Hängerwinkeln dargestellt.

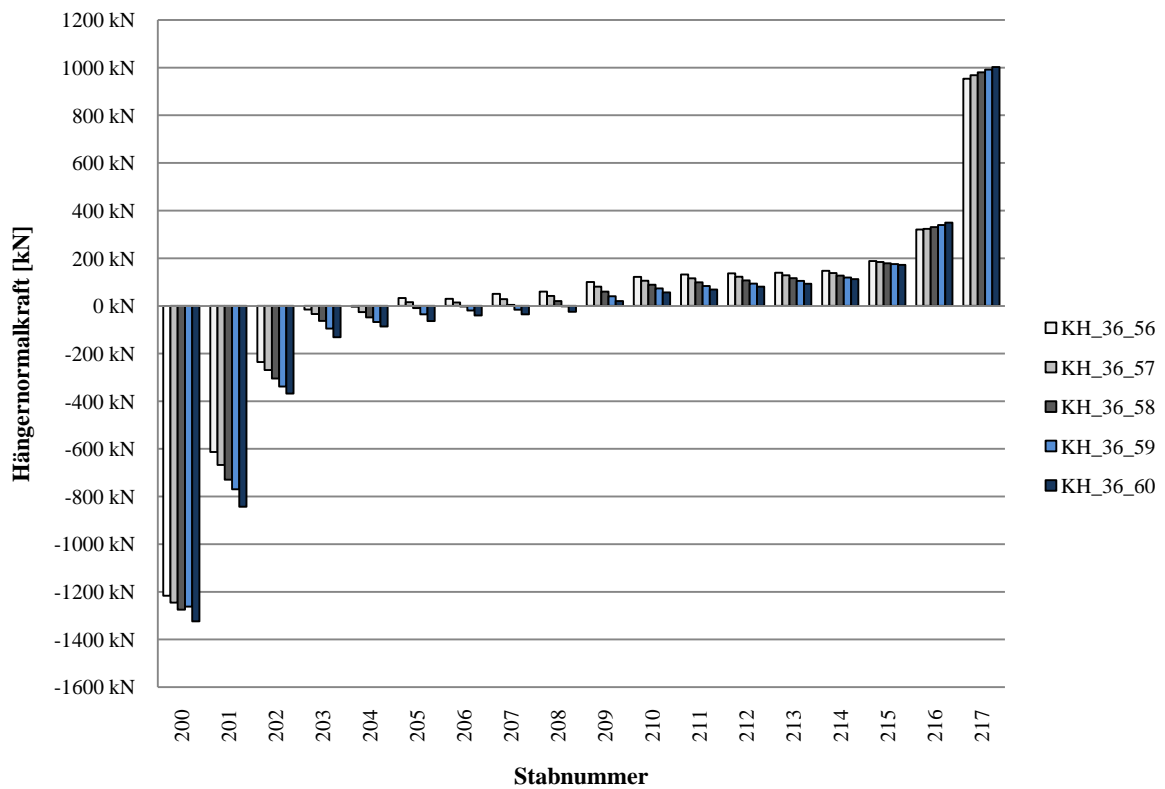


Diagramm 8 Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

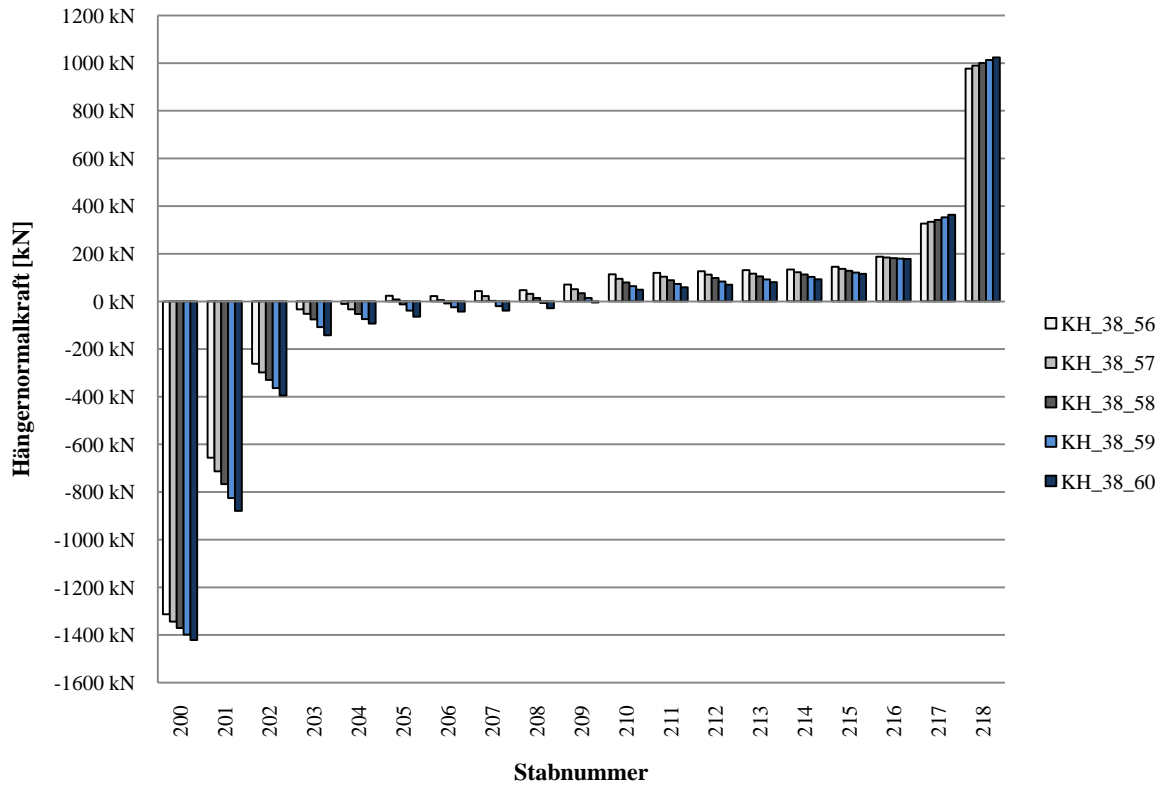


Diagramm 9 Minimale Hängernormalkräfte bei 38 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

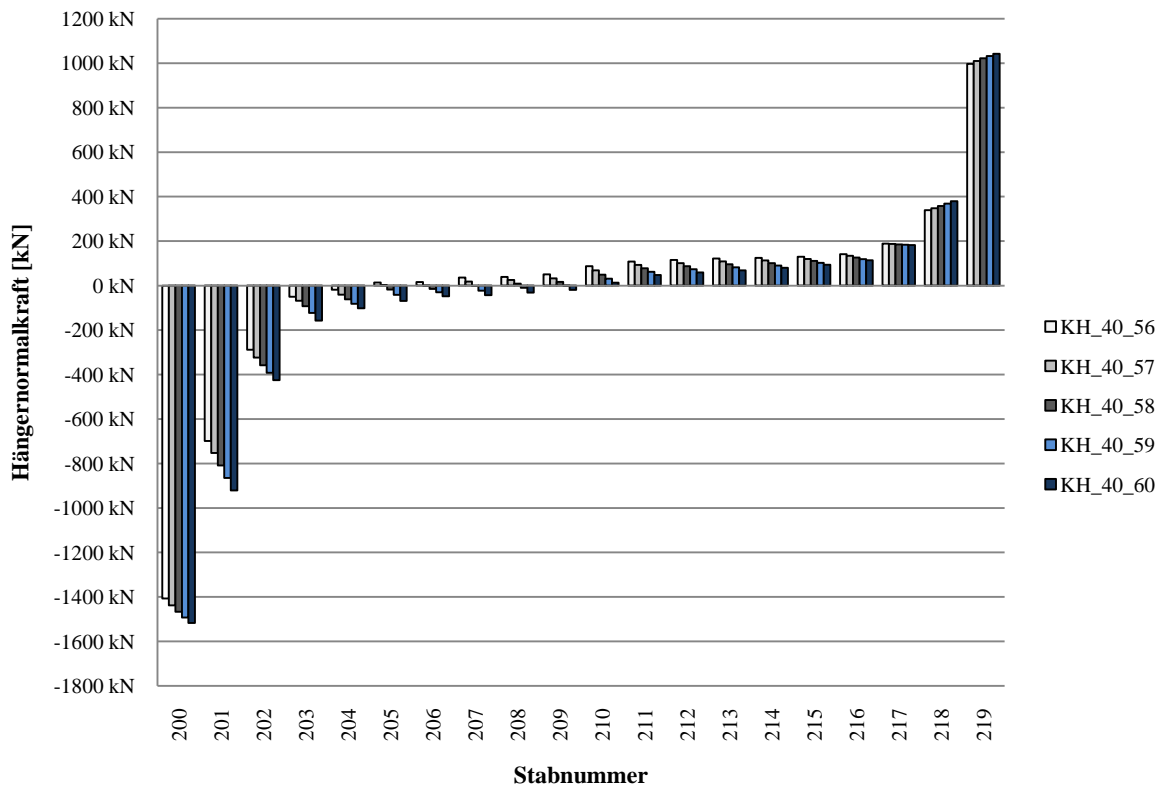


Diagramm 10 Minimale Hängernormalkräfte bei 40 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

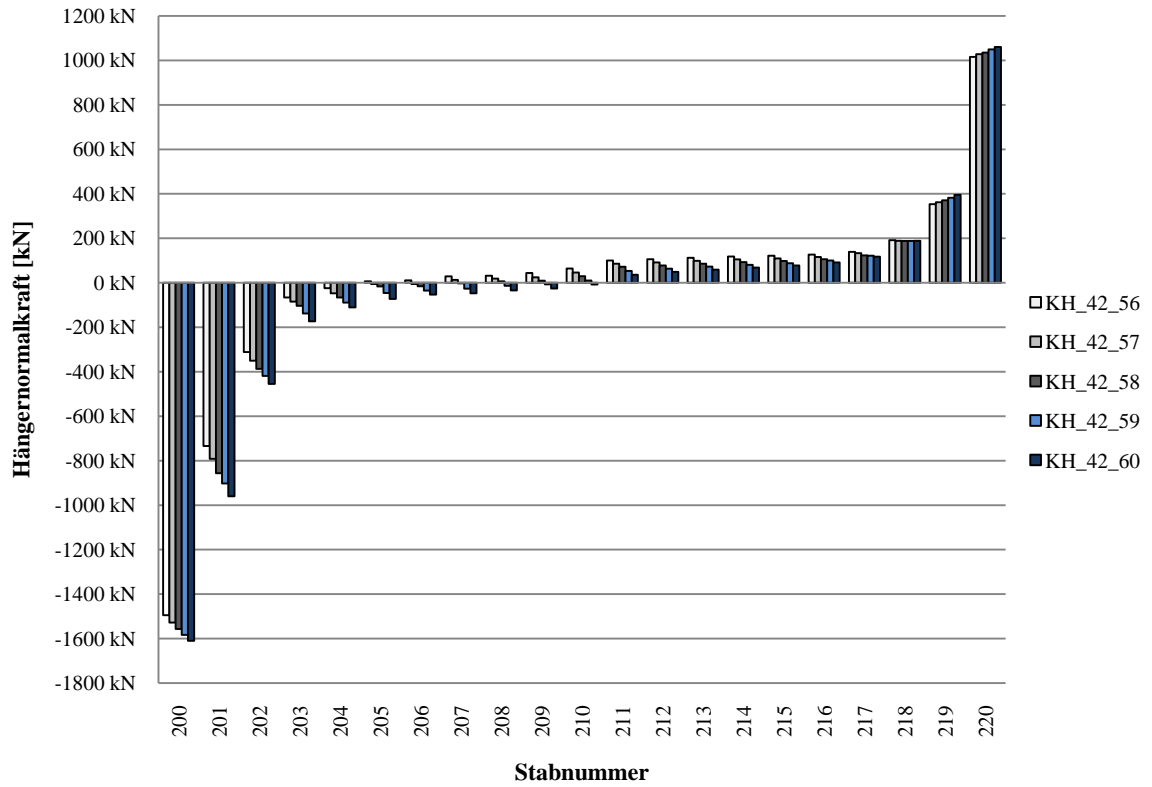


Diagramm 11 Minimale Hängernormalkräfte bei 42 Hängern und $\varphi=56^{\circ}-60^{\circ}$

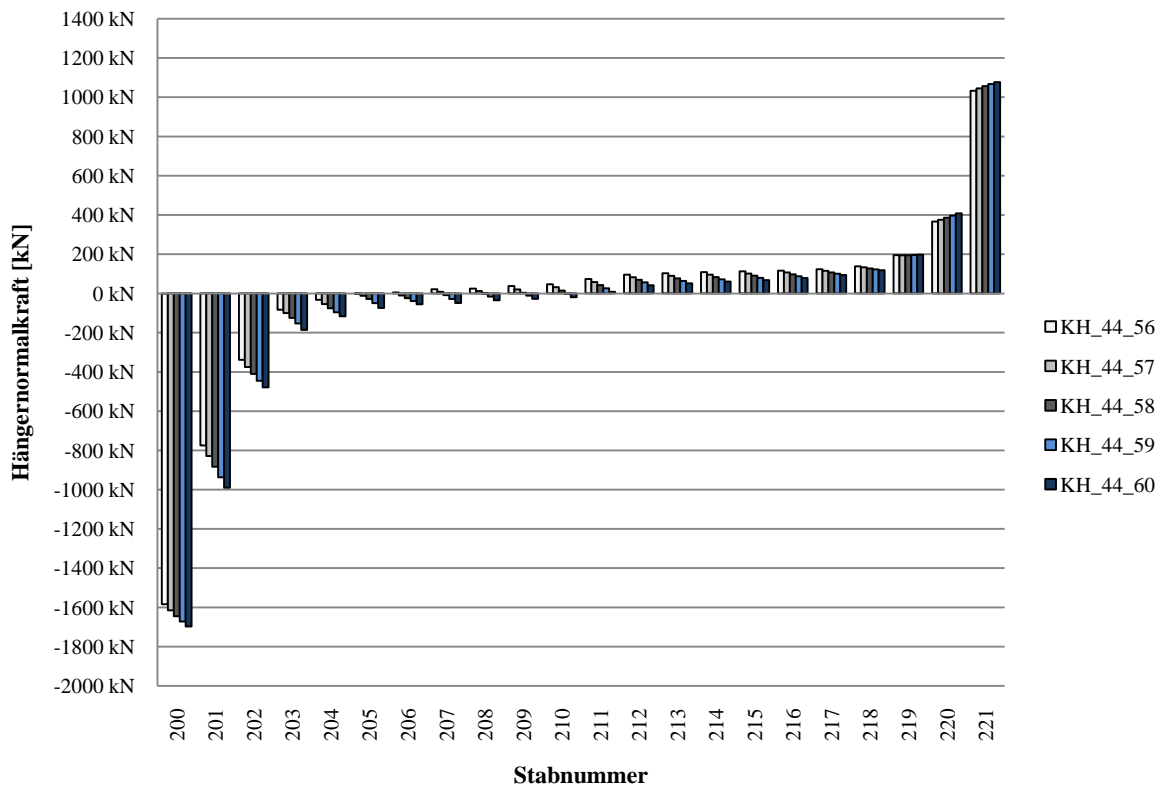


Diagramm 12 Minimale Hängernormalkräfte bei 44 Hängern und $\varphi=56^{\circ}-60^{\circ}$

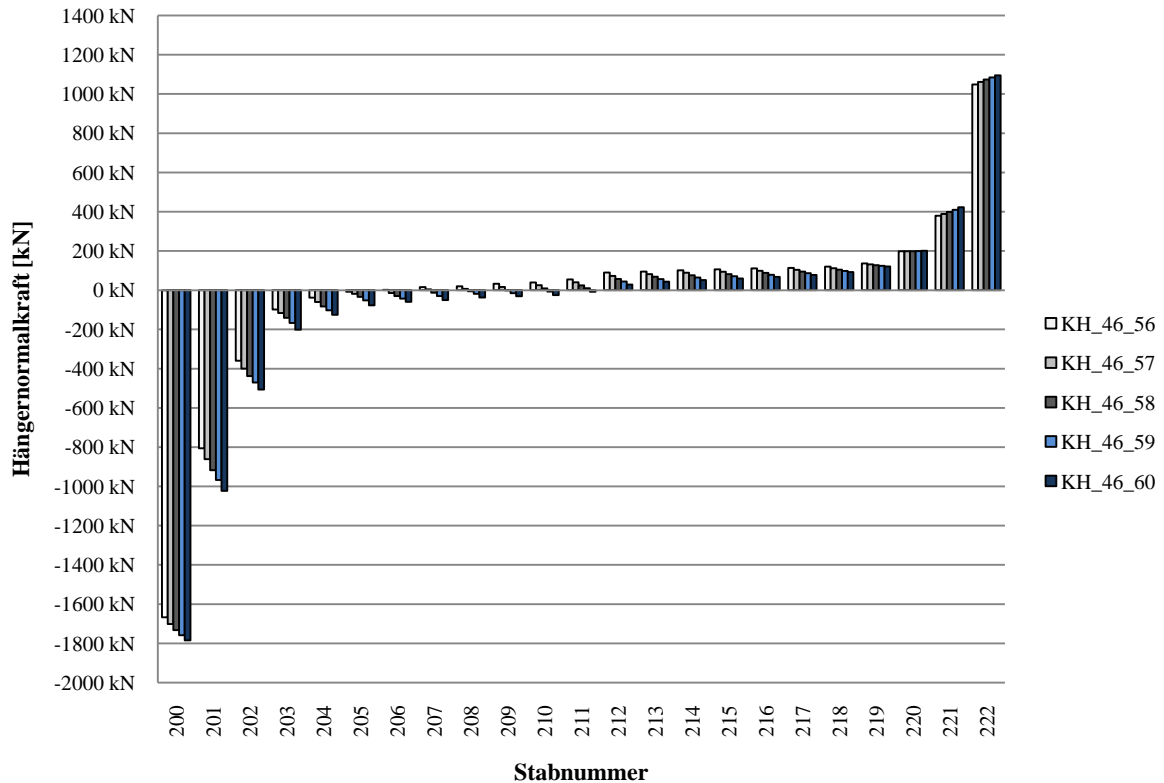


Diagramm 13 Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

Aus den Diagrammen wird klar ersichtlich, dass ein eindeutiger Zusammenhang zwischen den resultierenden Normalkräften und dem jeweils gewählten Winkel besteht. Für alle Netzvariationen zeigt sich, unabhängig von der Hängeranzahl, dass es zu mindestens zwei Hängerausfällen im Regelbereich kommt. Dieser tritt immer am Anfang des Regelbereiches auf und pflanzt sich Richtung Brückenmitte fort, je steiler die Winkel sind. Die resultierenden Druckkräfte steigen ebenfalls mit zunehmender Hängerneigung. Fallen bei einem Winkel von 56° zwei Hänger aus, so ist bei einem Winkel von 60° bereits mit einem Ausfall von mindestens der Hälfte aller Hänger zu rechnen. Dieser Effekt hängt nicht mit der gewählten Hängeranzahl zusammen.

Im Störbereich unterscheiden sich die Hängernormalkräfte in ihrer Größe deutlich von jenen im Regelbereich. Die ersten drei Hänger erhalten bei allen Anordnungsvarianten Druckkräfte und fallen somit aus, wobei der erste kurze Hänger (Stab 200) sich deutlich ungünstiger verhält als die übrigen. Seine Druckkraft ist nahezu doppelt so groß wie die des Stabes 201. In den letzten drei Hängern treten bei allen Netzgeometrien Zugkräfte auf. Auch hier fällt die Normalkraft des letzten Hängers wesentlich größer aus als bei den beiden Stäben davor.

Unabhängig von der gewählten Hängeranzahl zeigt sich, dass mit zunehmendem Winkel vermehrt Hängerausfälle im Regelbereich auftreten.

Zusätzlich ist zu erkennen, dass eine größere Hängeranzahl die Problematik im Störbereich verschärft. Die Hänger wandern aufgrund der höheren Anzahl immer näher zum Kämpfer und erhalten dadurch größere Kräfte.

14.2.3 Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT

Für die erste Bewertung der Netze werden die minimalen Normalkräfte in den Hängern betrachtet.

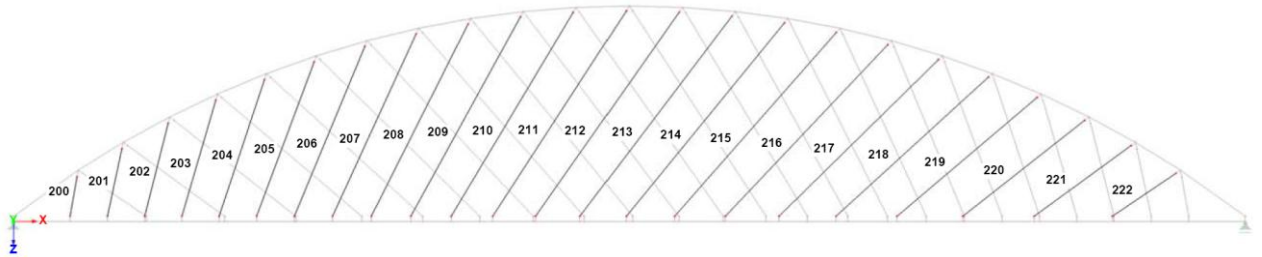


Abbildung 69 Nummerierung des untersuchten Hängernetzes, exemplarisch für 46 Hänger

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Variante 3 mit 36, 38, 40, 42, 44 und 46 Hängern bei unterschiedlichen Hängerwinkeln dargestellt.

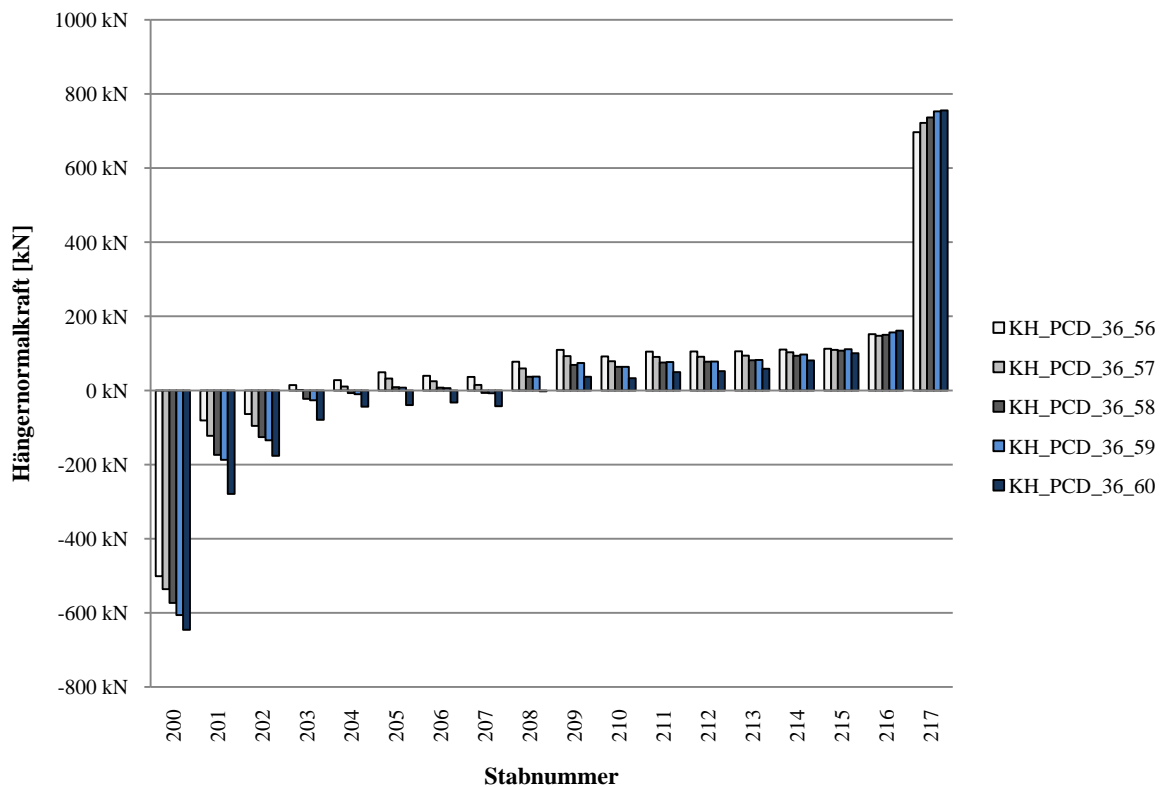


Diagramm 14 Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

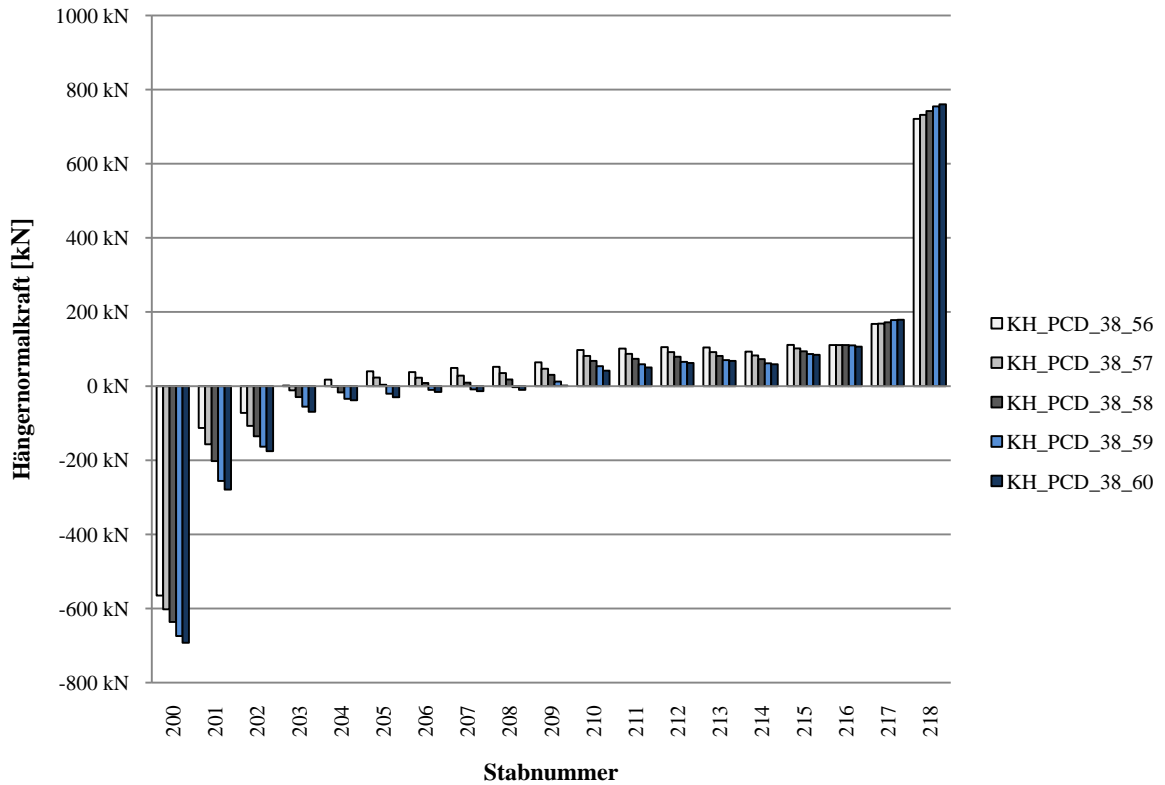


Diagramm 15 Minimale Hängernormalkräfte bei 38 Hängern und $\phi=56^\circ-60^\circ$

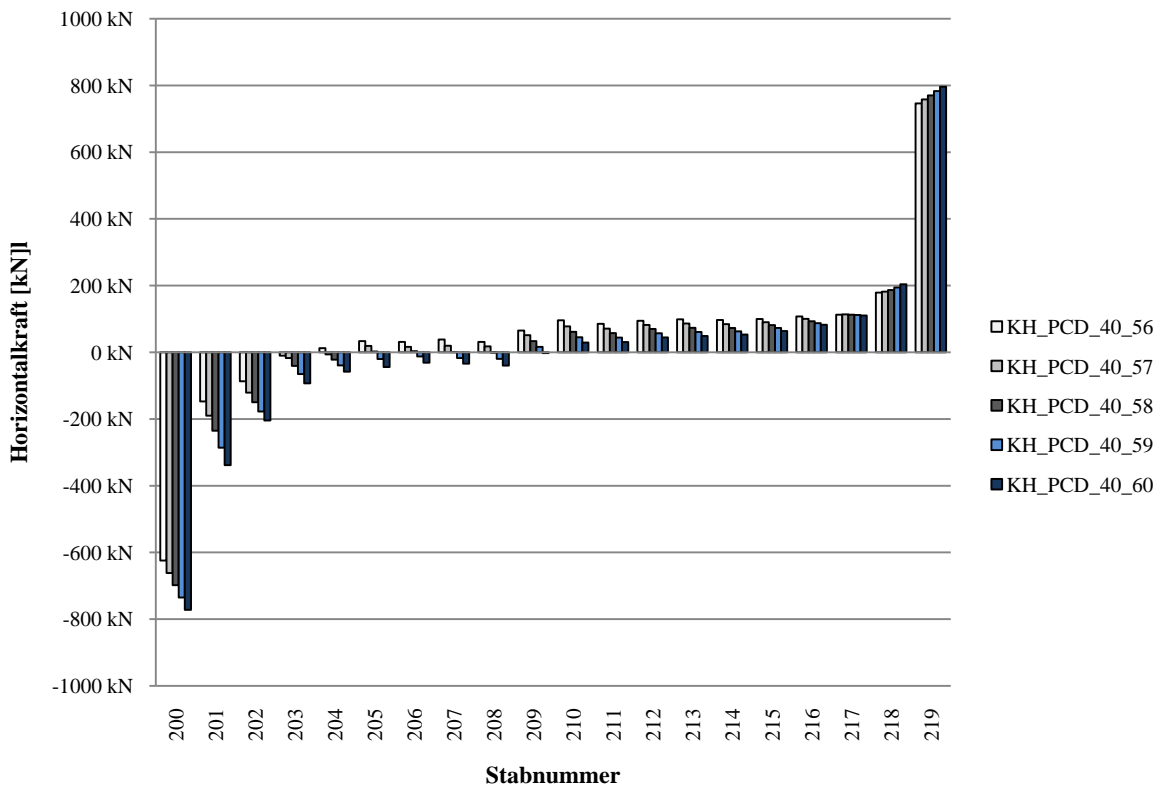


Diagramm 16 Minimale Hängernormalkräfte bei 40 Hängern und $\phi=56^\circ-60^\circ$

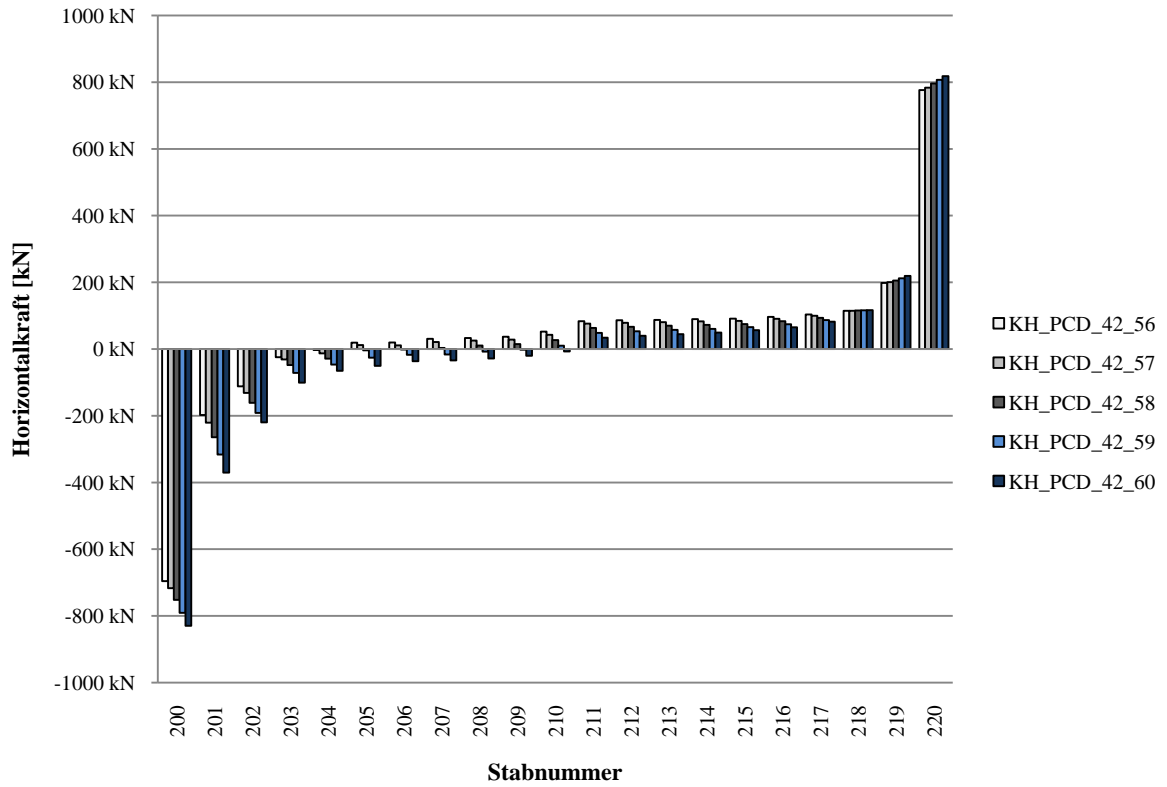


Diagramm 17 Minimale Hängernormalkräfte bei 42 Hängern und $\varphi=56^{\circ}-60^{\circ}$

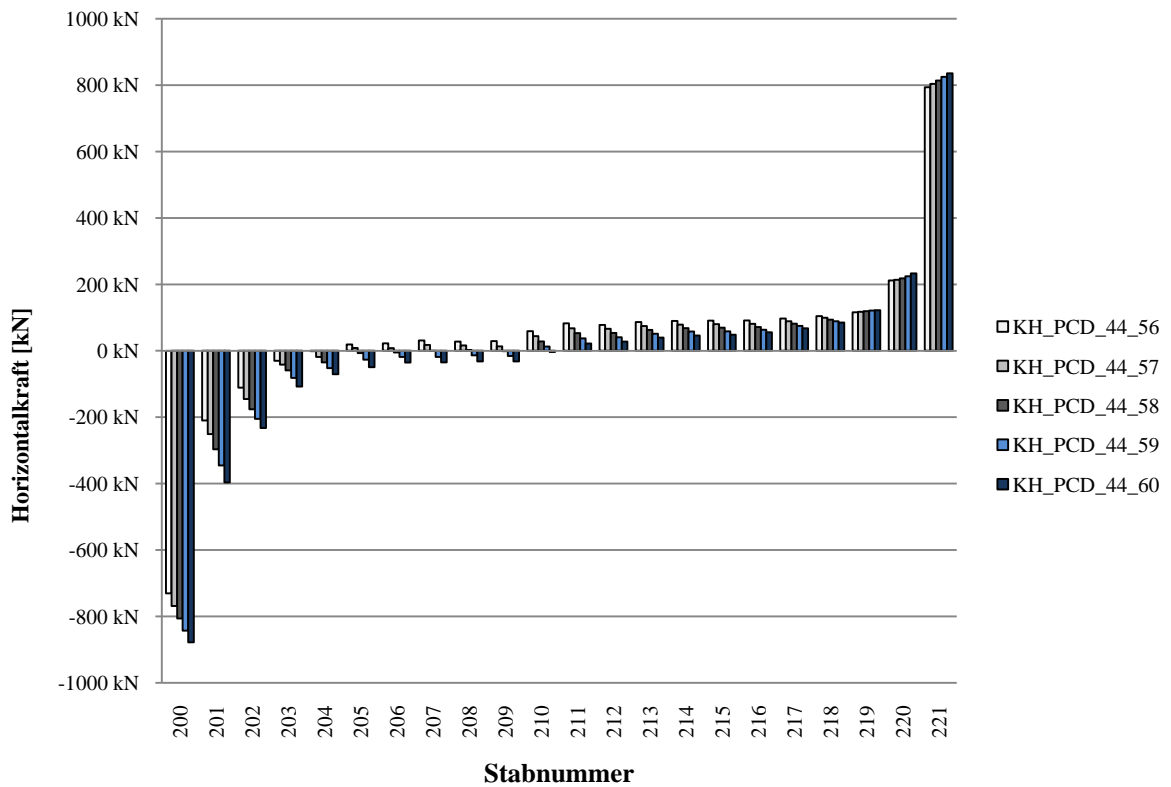


Diagramm 18 Minimale Hängernormalkräfte bei 44 Hängern und $\varphi=56^{\circ}-60^{\circ}$

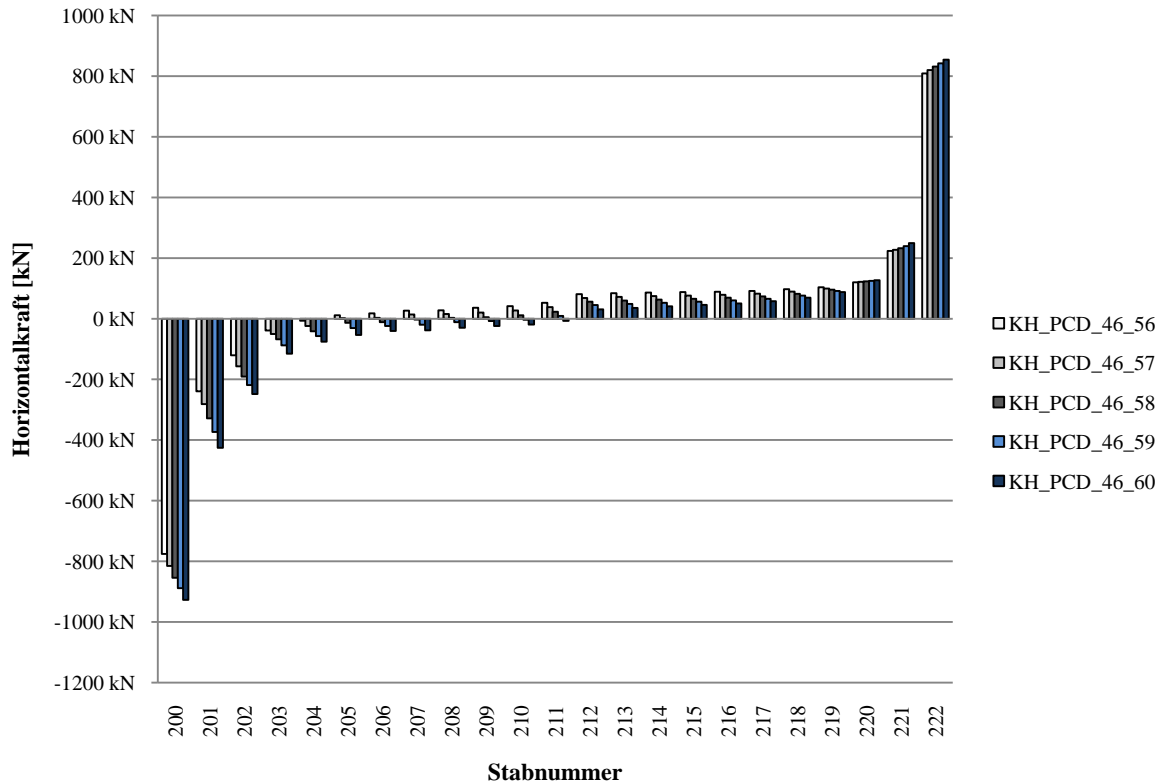


Diagramm 19 Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^{\circ}$ - 60°

Aus den Diagrammen wird klar ersichtlich, dass ein eindeutiger Zusammenhang zwischen den resultierenden Normalkräften und dem jeweils gewählten Winkel besteht. Es zeigt sich, dass ab einem Winkel von 57° , unabhängig von der Hängeranzahl, ein Hängerausfall im Regelbereich nicht zu vermeiden ist. Dieser tritt immer am Anfang des Regelbereiches auf und pflanzt sich Richtung Brückenmitte fort, je steiler die Winkel sind. Die resultierenden Druckkräfte steigen ebenfalls mit zunehmender Hängerneigung. Fällt bei einem Winkel von 57° ein Hänger aus, so ist bei einem Winkel von 60° , bereits mit einem Ausfall von mindestens der Hälfte aller Hänger zu rechnen. Dieser Effekt hängt nicht mit der gewählten Hängeranzahl zusammen.

Im Störbereich unterscheiden sich die Hängernormalkräfte in ihrer Größe deutlich von jenen im Regelbereich. Die ersten drei Hänger erhalten bei allen Anordnungsvarianten Druckkräfte und fallen somit aus, wobei der erste kurze Hänger (Stab 200) sich deutlich ungünstiger verhält als die übrigen. Seine Druckkraft ist nahezu doppelt so groß wie die des Stabes 201. In den letzten drei Hängern treten bei allen Netzgeometrien Zugkräfte auf. Auch hier fällt die Normalkraft des letzten Hängers wesentlich größer aus als bei den beiden Stäben davor.

Unabhängig von der gewählten Hängeranzahl zeigt sich, dass mit zunehmendem Winkel vermehrt Hängerausfälle im Regelbereich auftreten.

Zusätzlich ist zu erkennen, dass eine größere Hängeranzahl die Problematik im Störbereich verschärft. Die Hänger wandern aufgrund der höheren Anzahl immer näher zum Kämpfer und erhalten dadurch größere Kräfte.

14.2.4 Interpretation und Bewertung der Ergebnisse

Bei allen 3 Varianten ist das gleiche Verhalten erkennbar. Je steiler die Hänger angeordnet werden, desto mehr Hänger fallen aus.

Für Variante 2 kann auch mit dem flachsten der untersuchten Winkel ein Hängerausfall im Regelbereich nicht vermieden werden. Bei Variante 1 und Variante 3 hingegen gelingt es, bei einem Winkel von 56° die Problematik von Druckkräften in den Hängern auf die Störbereiche zu beschränken.

Zieht man nun die Vermeidung von Hängerausfällen als das Bewertungskriterium heran so kommt bei allen Varianten nur das Netz mit der flachsten Hängeranordnung für eine Anwendung in Frage. Anschließend werden die minimalen Normalkräfte und Normalkraftschwingbreiten im FLS für jede Netzgeometrie bei einem Winkel α bzw. φ von 56° bei den unterschiedlichen Hängeranzahlen dargestellt.

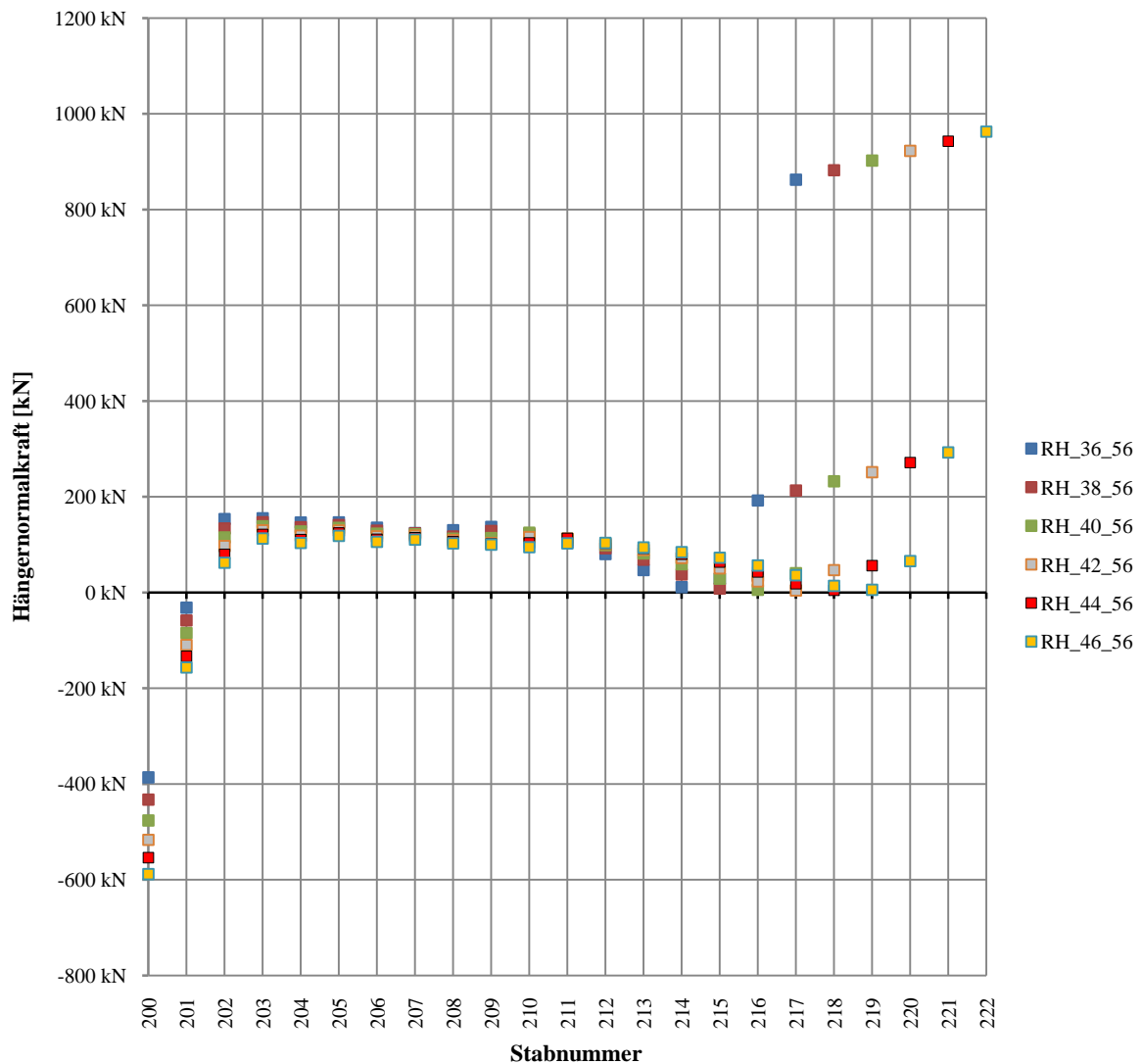


Diagramm 20 Minimale Hängernormalkräfte von Variante 1 bei einem Winkel $\alpha=56^\circ$ und unterschiedlichen Hängeranzahlen.

Bei der radialen Hängerneigung sind im Regelbereich kaum Unterschiede bezüglich minimaler Normalkräfte in den einzelnen Hängern zu sehen. Anders verhält sich dies im Störbereich. Je größer die Anzahl der Hänger, desto größer die resultierenden Druckkräfte in den Randhängern. Dies erklärt sich dadurch, dass mit steigender Hängeranzahl aufgrund der gleichmäßigen Anordnung der Hänger entlang des Bogens die Randhängern immer näher zum Kämpferbereich wandern und somit höhere Druckkräfte erhalten.

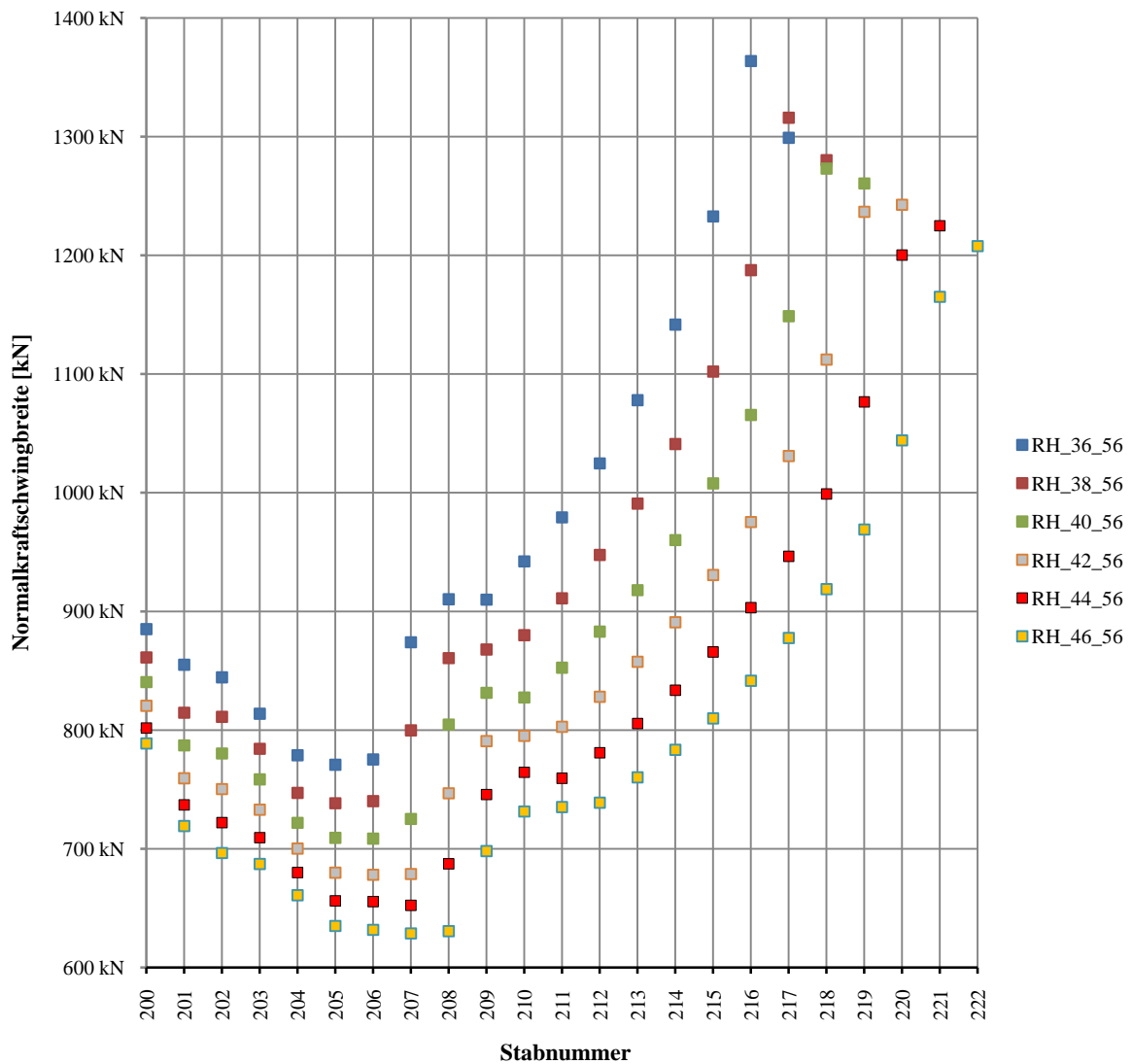


Diagramm 21 Normalkraftschwingbreite von Variante 1 bei einem Winkel $\alpha=56^\circ$ und unterschiedlichen Hängeranzahlen.

Diagramm 21 zeigt deutlich, dass die Normalkraftschwingbreite geringer wird, je mehr Hänger angeordnet werden. Die Schwingbreiten nehmen zunächst Richtung Brückenmitte hin ab, steigen jedoch ab Hänger 207/208 wieder signifikant an. Lediglich der letzte Hänger folgt diesem Trend nicht. Im Regelbereich ergibt sich ein Unterschied der Normalkraftschwingbreite von rund 200kN zwischen 36 und 46 Hängern.

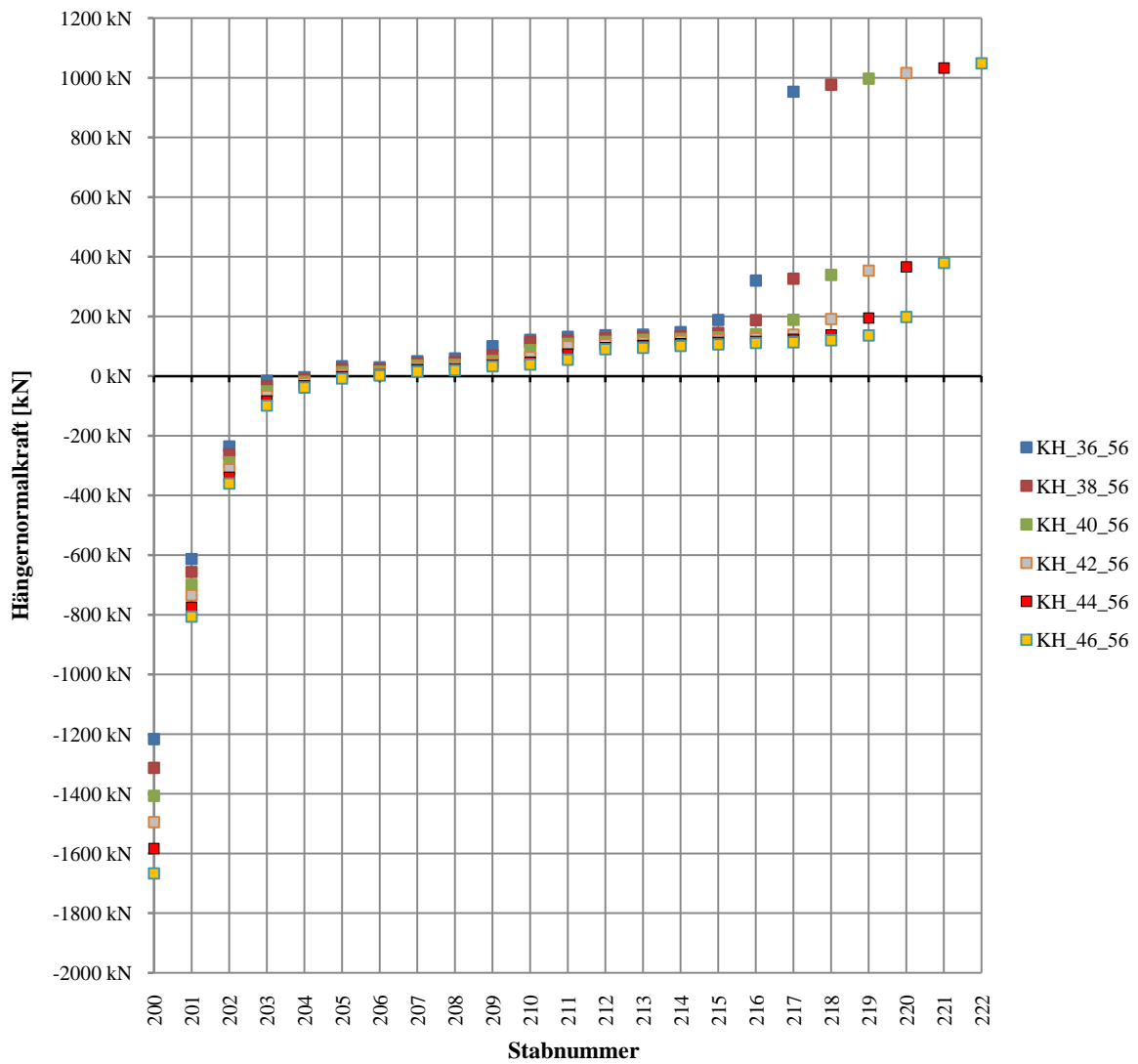


Diagramm 22 Minimale Hängernormalkräfte von Variante 2 bei einem Winkel $\varphi=56^\circ$ und unterschiedlichen Hängeranzahlen.

Bei der konstanten Hängerneigungsänderung sind im Regelbereich kaum Unterschiede bezüglich minimaler Normalkräfte in den einzelnen Hängern festzustellen. Anders verhält sich dies im Störbereich. Je größer die Anzahl der Hänger, desto größer die resultierenden Druckkräfte in den Randhängern. Dies erklärt sich dadurch, dass mit steigender Hängeranzahl aufgrund der gleichmäßigen Anordnung der Hänger entlang des Bogens die Randhänger immer näher zum Kämpferbereich wandern und somit höhere Druckkräfte erhalten.

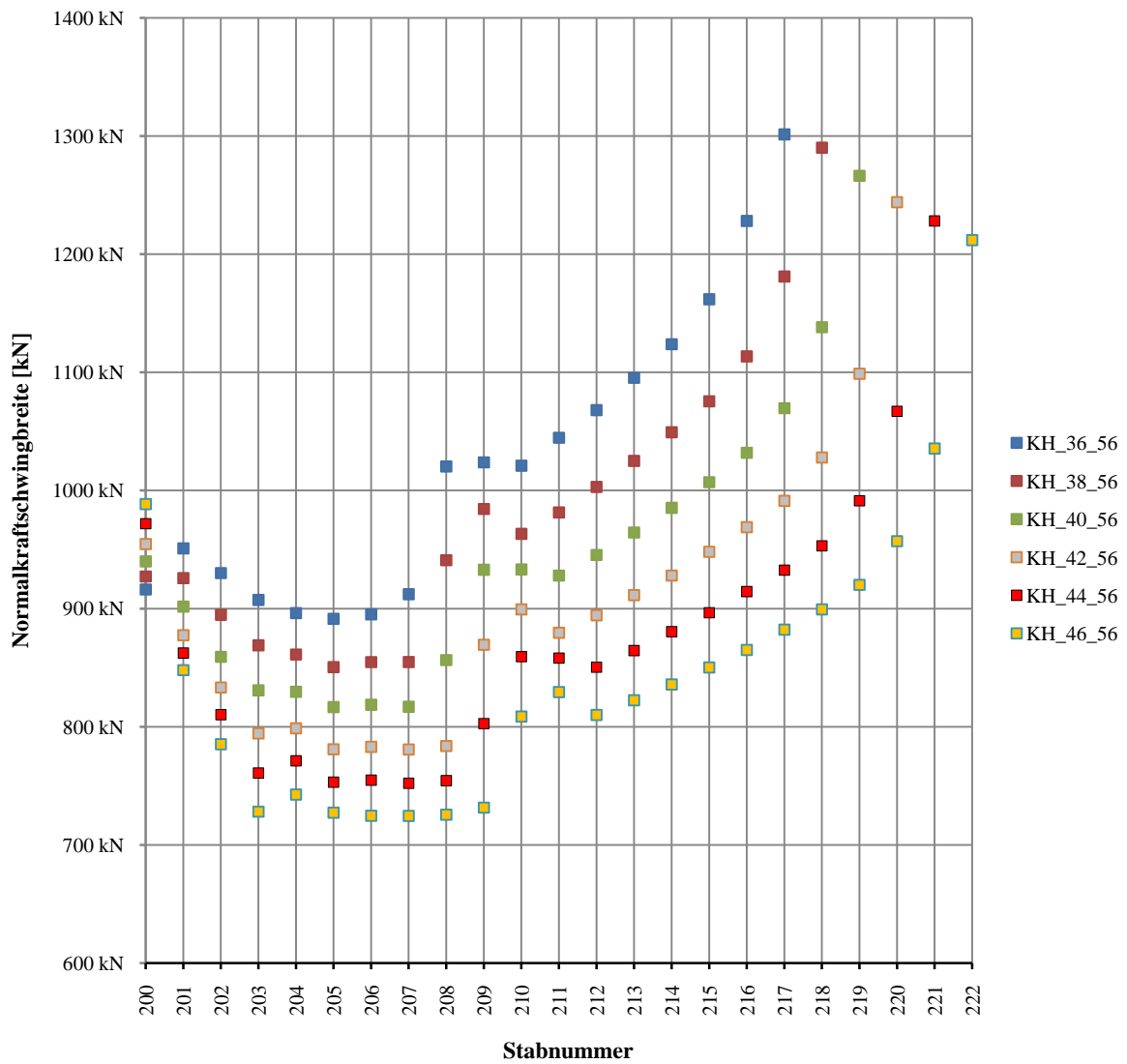


Diagramm 23 Normalkraftschwingbreite von Variante 2 bei einem Winkel $\varphi=56^\circ$ und unterschiedlichen Hängeranzahlen.

Diagramm 23 zeigt deutlich, dass die Normalkraftschwingbreite geringer wird, je mehr Hänger angeordnet werden. Die Schwingbreiten nehmen zunächst Richtung Brückenmitte hin ab, steigen jedoch ab Hänger 206-209 wieder signifikant an. Im Regelbereich ergibt sich ein Unterschied der Normalkraftschwingbreite von rund 200kN zwischen 36 und 46 Hängern.

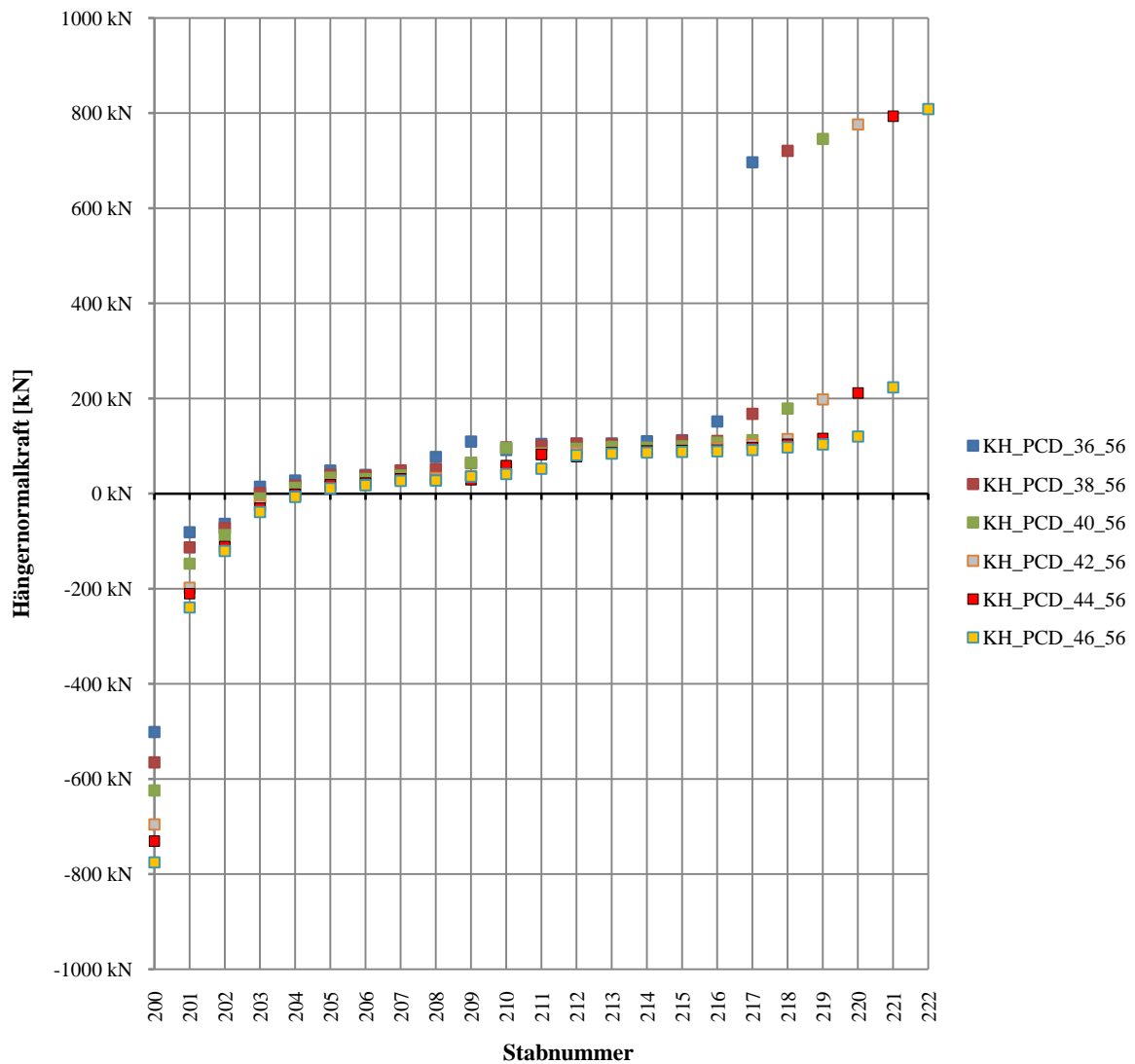


Diagramm 24 Minimale Hängernormalkräfte von Variante 3 bei einem Winkel $\varphi=56^\circ$ und unterschiedlichen Hängeranzahlen.

Bei der Abwandlung der konstanten Hängerneigungsänderung der PCD-ZT GmbH sind im Regelbereich nur marginale Unterschiede bezüglich minimaler Normalkräfte in den einzelnen Hängern festzustellen. Anders verhält sich dies im Störbereich. Je größer die Anzahl der Hänger, desto größer die resultierenden Druckkräfte in den Randhängern. Dies erklärt sich dadurch, dass mit steigender Hängeranzahl aufgrund der gleichmäßigen Anordnung der Hänger entlang des Bogens die Randhänger immer näher zum Kämpferbereich wandern und somit höhere Druckkräfte erhalten.

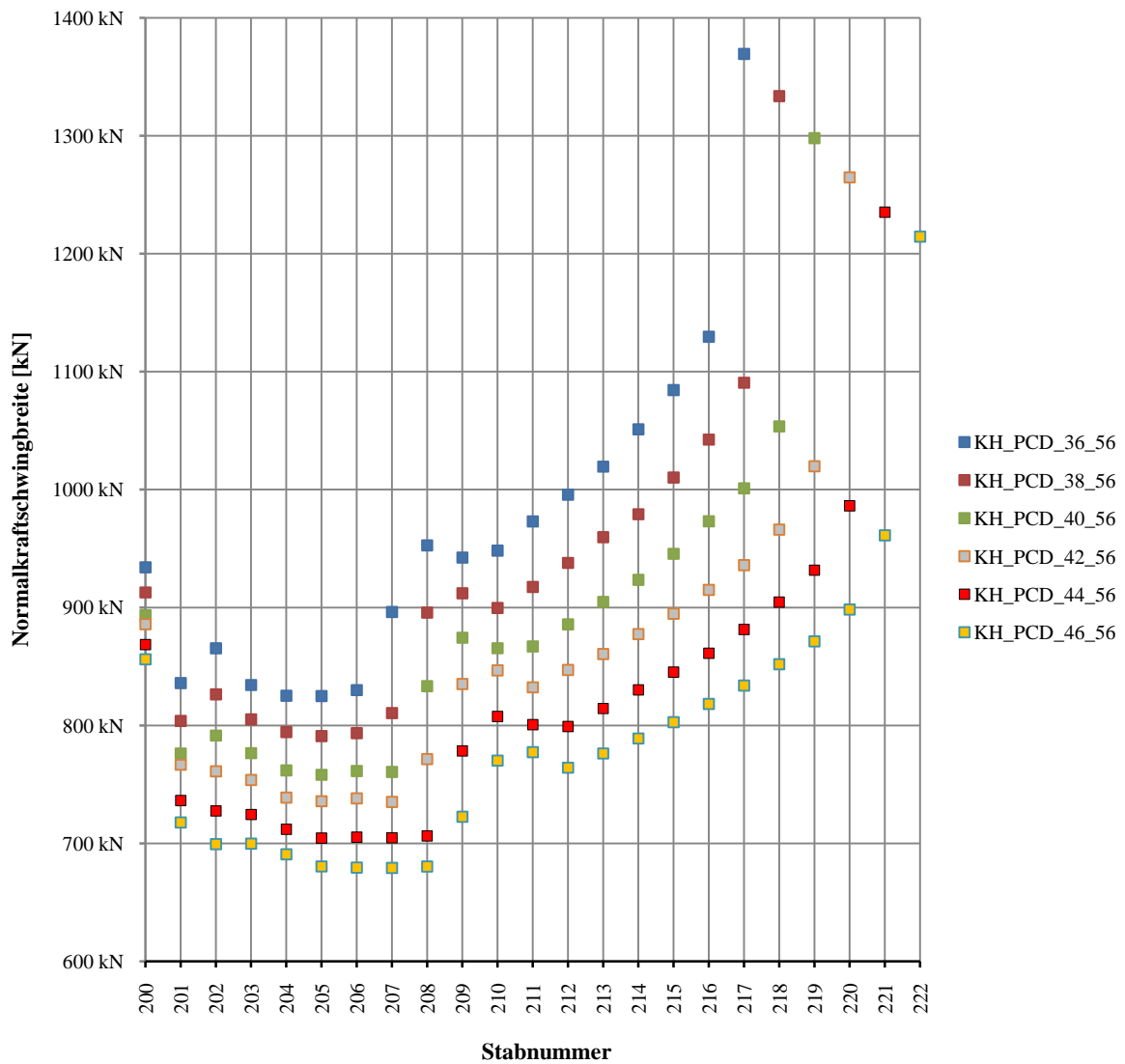


Diagramm 25 Normalkraftschwingbreite von Variante 3 bei einem Winkel $\varphi=56^\circ$ und unterschiedlichen Hängeranzahlen.

Diagramm 25 zeigt deutlich, dass die Normalkraftschwingbreite geringer wird, je mehr Hänger angeordnet werden. Die Schwingbreiten nehmen zunächst Richtung Brückenmitte hin ab, steigen jedoch ab Hänger 206-208 wieder signifikant an. Der letzte Hänger steigt im Vergleich zu denen davor überdurchschnittlich stark an. Im Regelbereich ergibt sich ein Unterschied der Normalkraftschwingbreite von rund 200kN zwischen 36 und 46 Hängern.

14.3 Zusammenfassung der Ergebnisse im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

Für die Betrachtung der unterschiedlichen Netzgeometrien wird ein Regel- und Störbereich wie in 14.2 definiert.

Für die Bewertung im ULS werden die einzelnen Netze bezüglich der maximal auftretenden Normalkräfte und deren Verteilung in den Hängern im Regelbereich untersucht. Je geringer und gleichmäßiger verteilt die Hängernormalkräfte sind, desto günstiger ist das Tragverhalten der jeweiligen Netzgeometrie.

Wie in 14.1 erwähnt, müssen Druckkräfte in den Hängern im ULS nicht zwingend vermieden werden, sofern für die betroffenen Stäbe der Stabilitätsnachweis erbracht werden kann.

Für die Ergebnisauswertung wird jeweils nur eines der beiden Hängersets (Abbildung 67, Abbildung 68 und Abbildung 69) betrachtet, da es sich um ein symmetrisches Tragsystem handelt. Gewählt wird jenes, bei dem die Hänger von links nach rechts fallend angeordnet sind. Zu Beginn werden die unterschiedlichen Netzgeometrien einzeln analysiert und anschließend einander gegenübergestellt, um Vor- und Nachteile verdeutlichen zu können.

14.3.1 Variante 1: Radiale Hängeranordnung

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die radiale Hängeranordnung bei 36, 38, 40, 42, 44 und 46 Hängern bei unterschiedlichen Hänger-Bogen-Winkeln dargestellt.

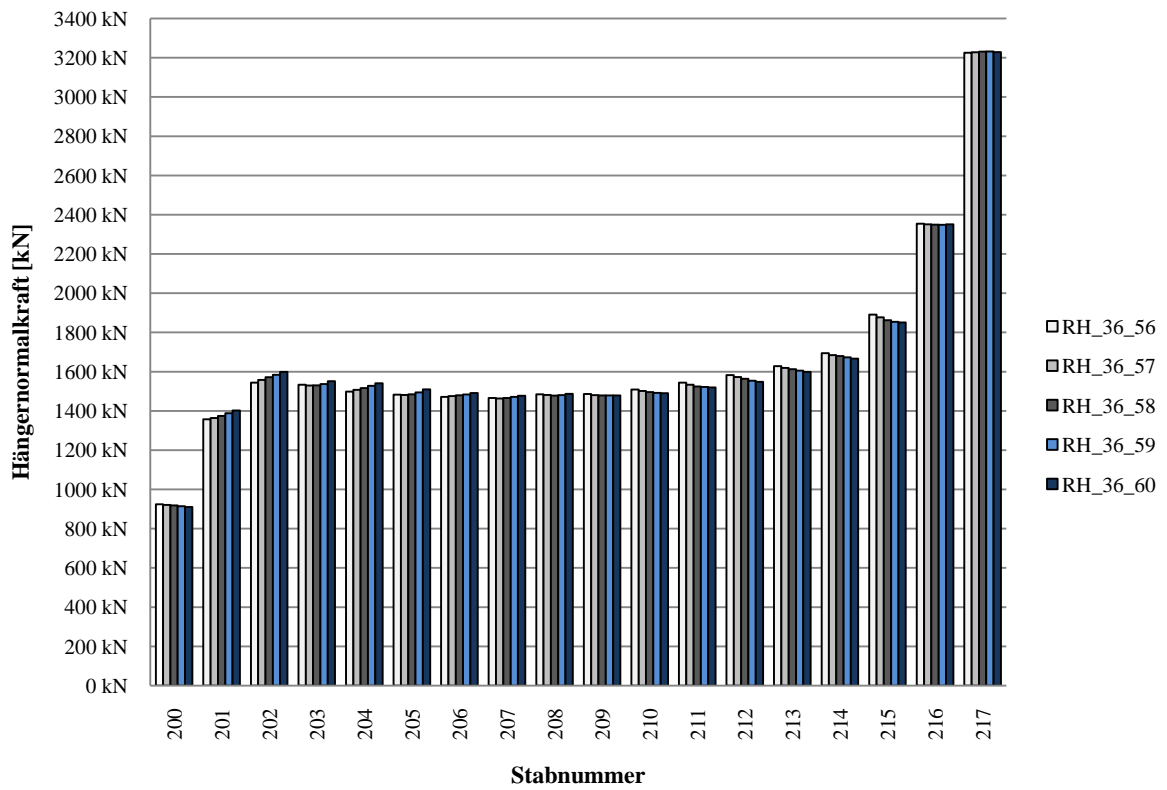


Diagramm 26 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 36 Hängern und $\alpha=56^{\circ}$ - 60°

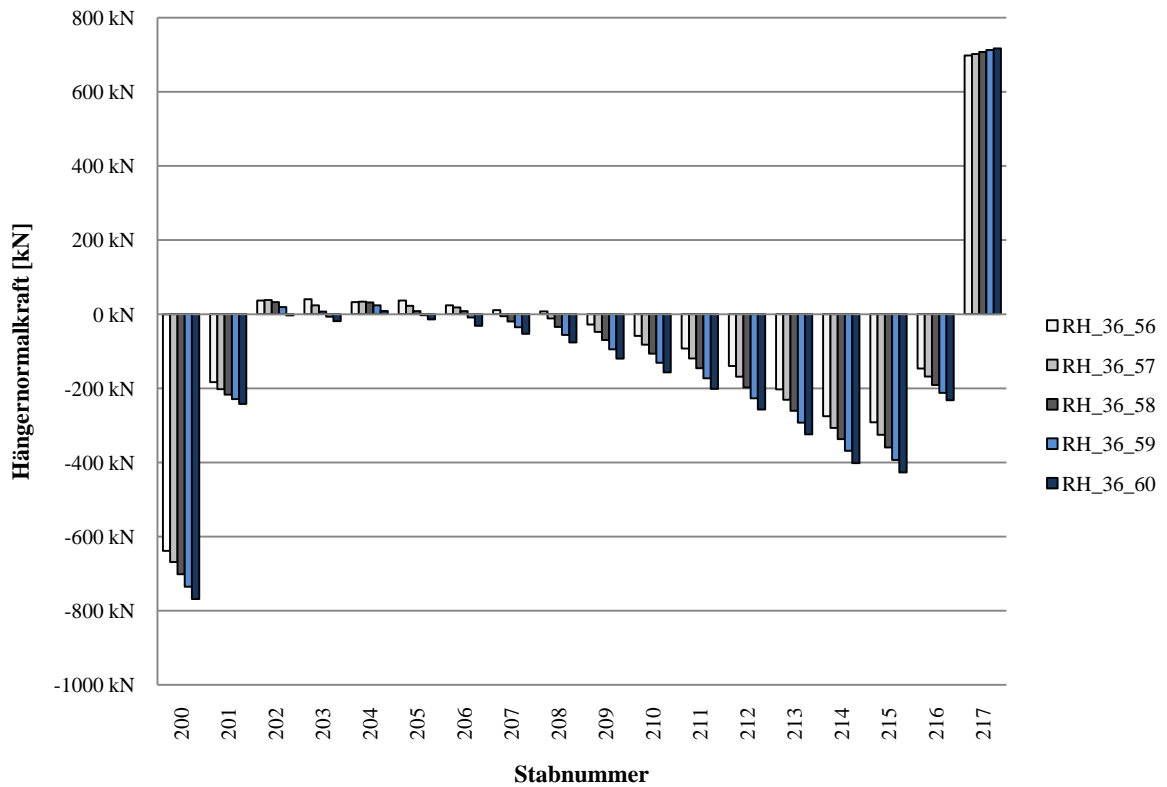


Diagramm 27 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 36 Hängern und $\alpha=56^{\circ}$ - 60°

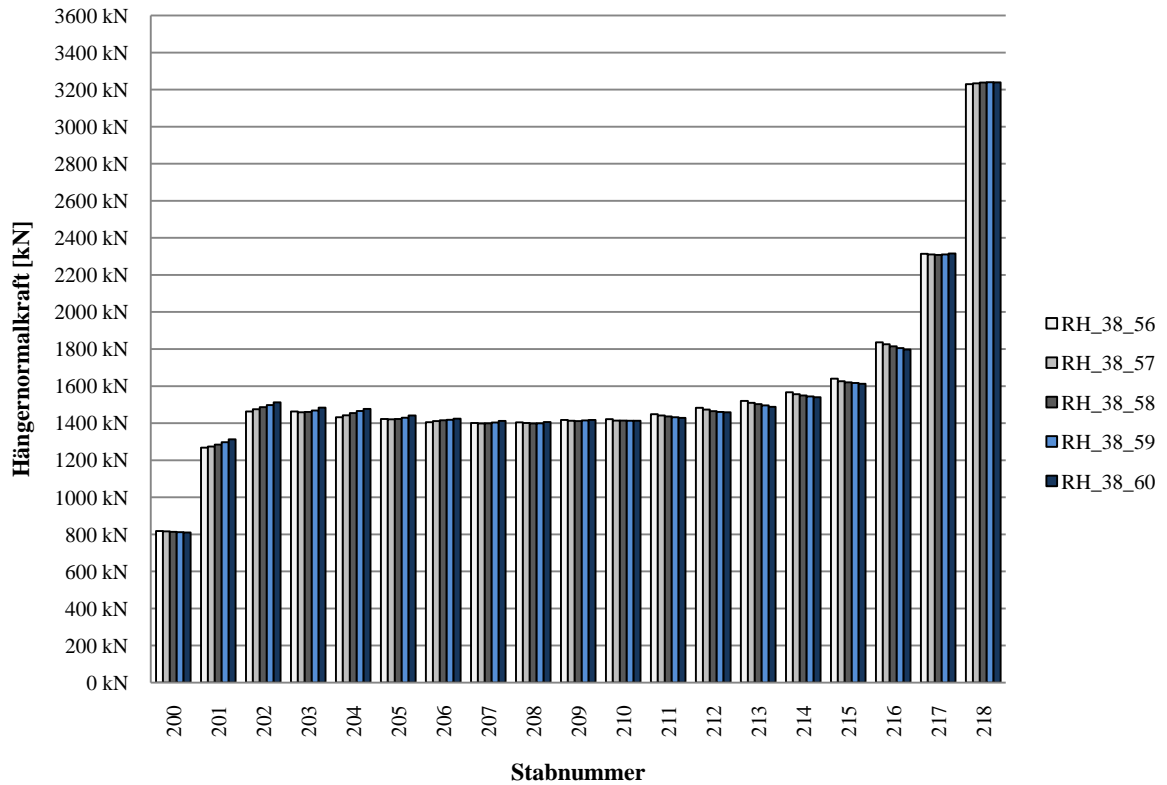


Diagramm 28 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 38 Hängern und $\alpha=56^{\circ}$ - 60°

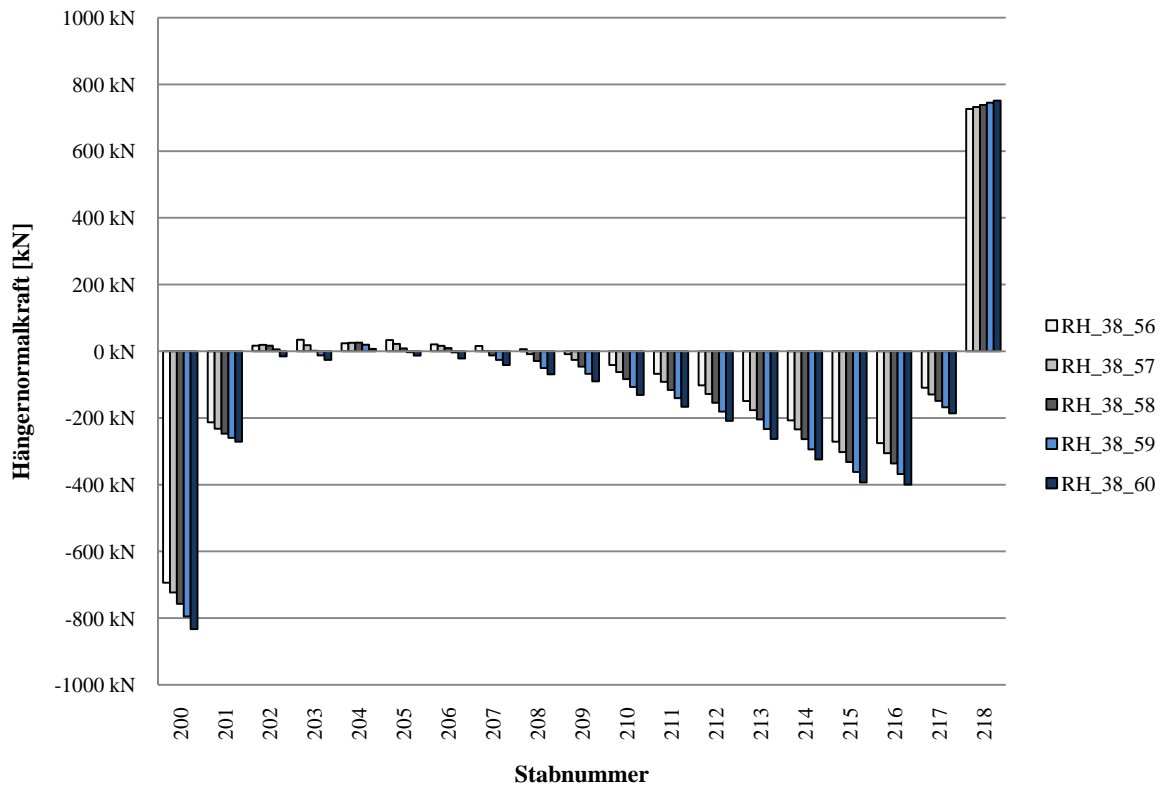


Diagramm 29 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 38 Hängern und $\alpha=56^{\circ}$ - 60°

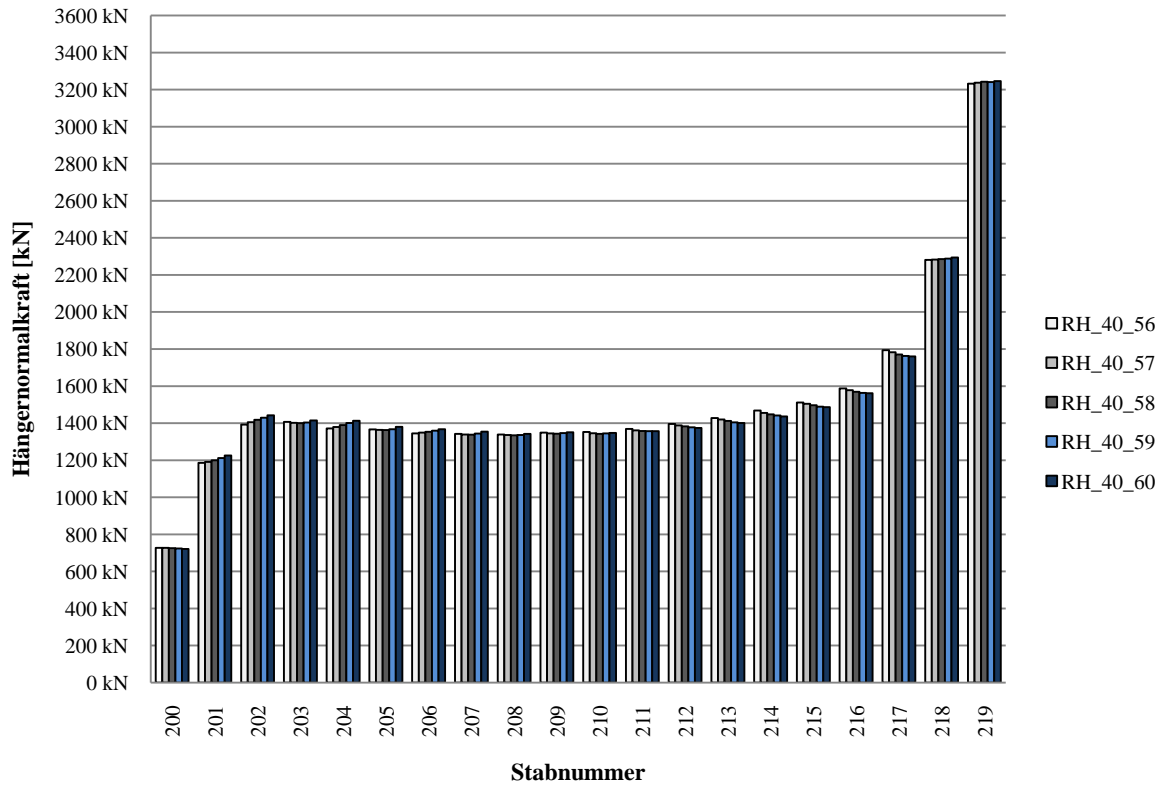


Diagramm 30 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 40 Hängern und $\alpha=56^{\circ}$ - 60°

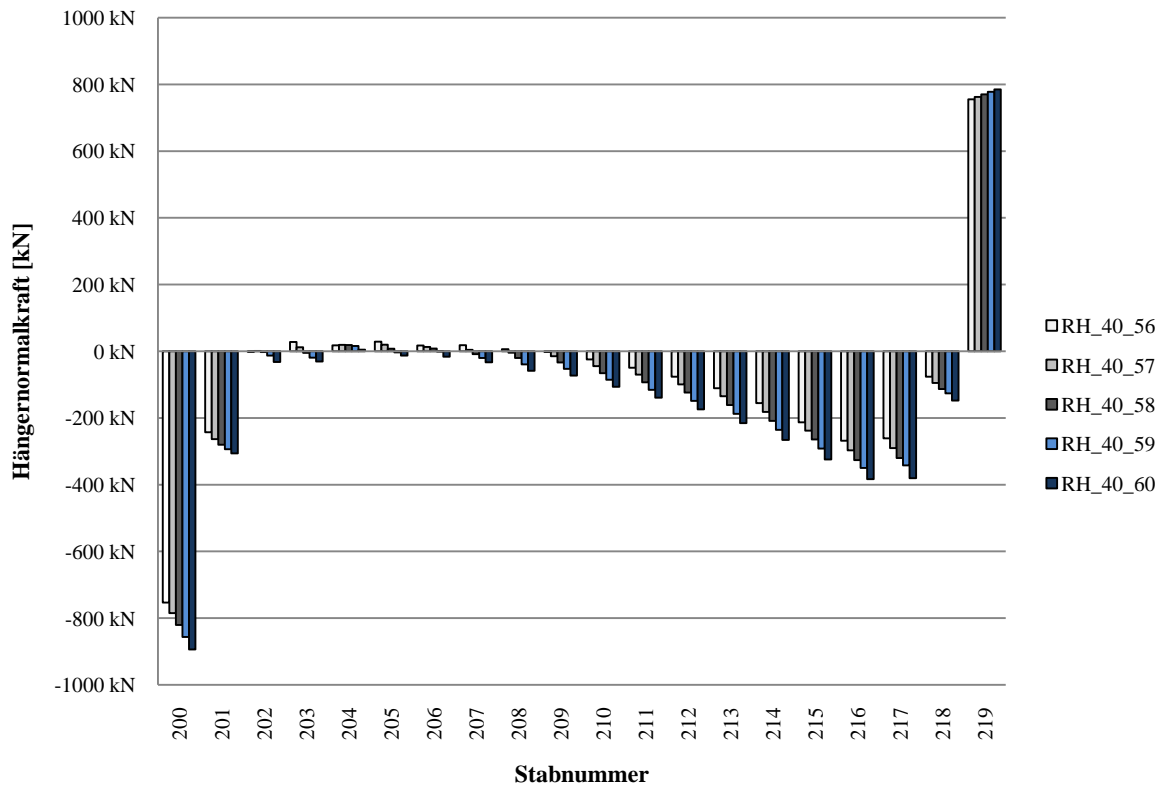


Diagramm 31 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 40 Hängern und $\alpha=56^{\circ}$ - 60°

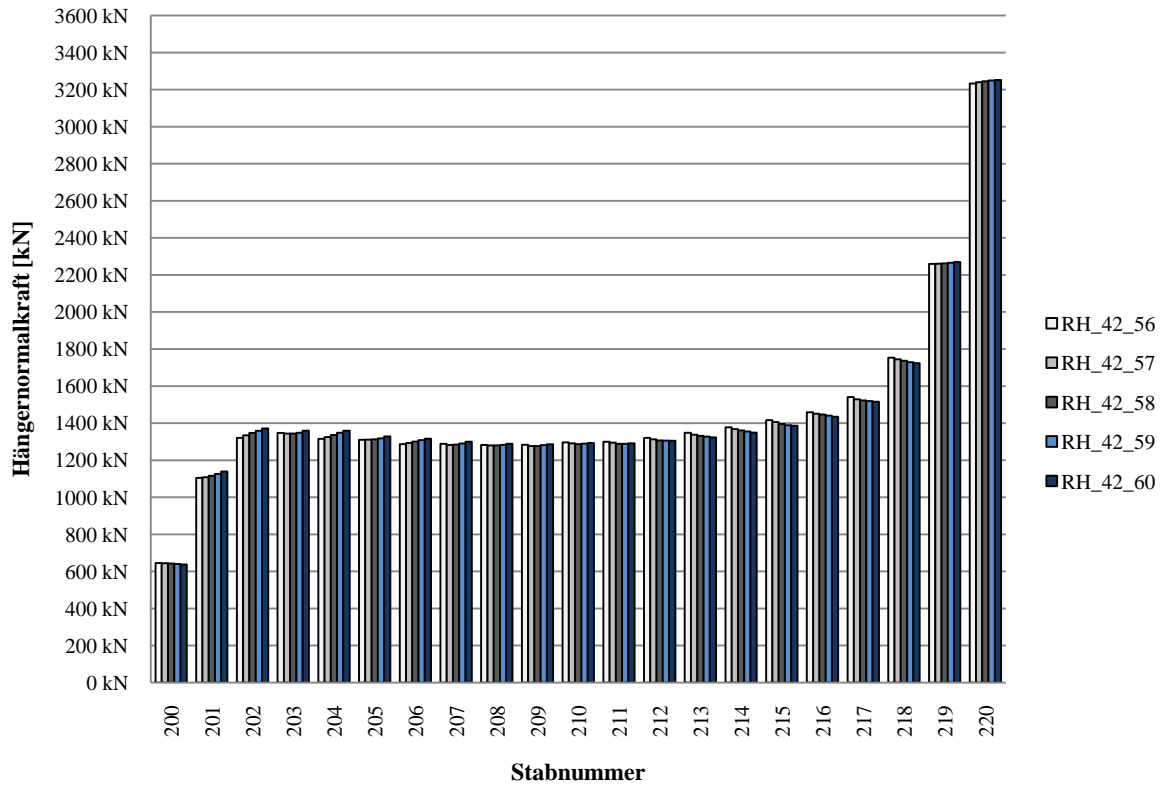


Diagramm 32 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 42 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$

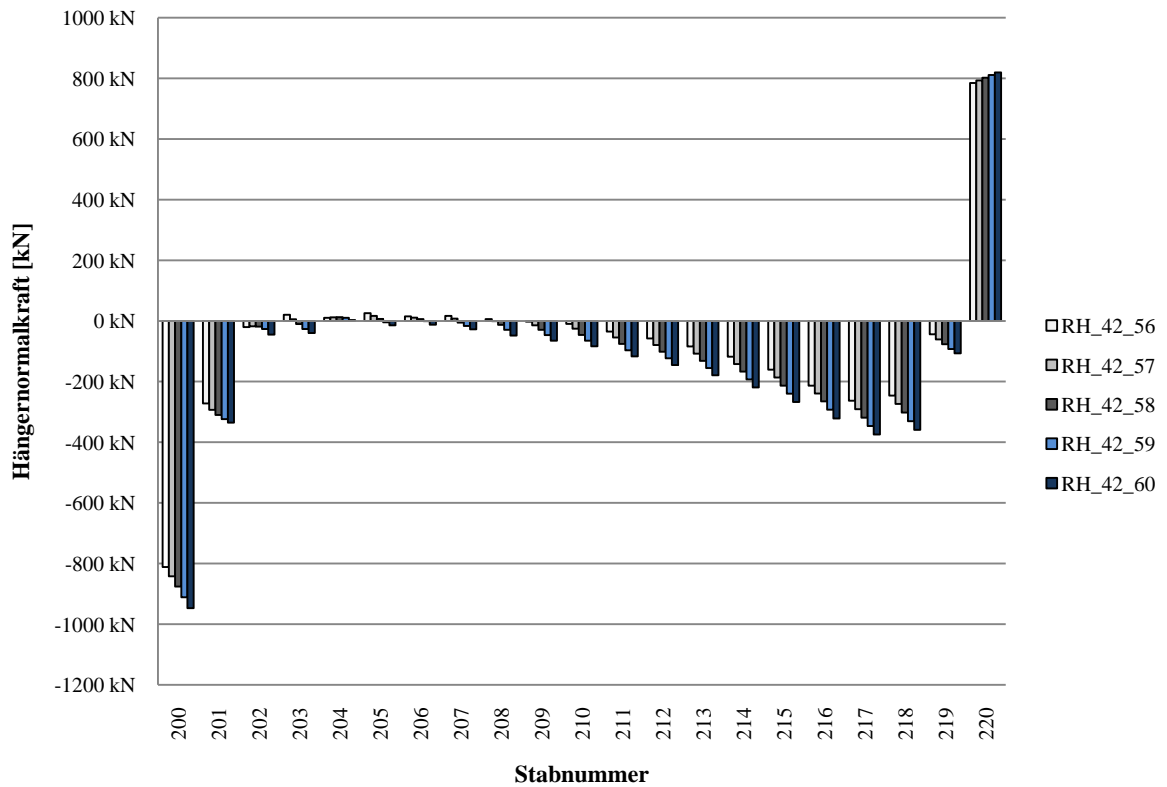


Diagramm 33 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 42 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$

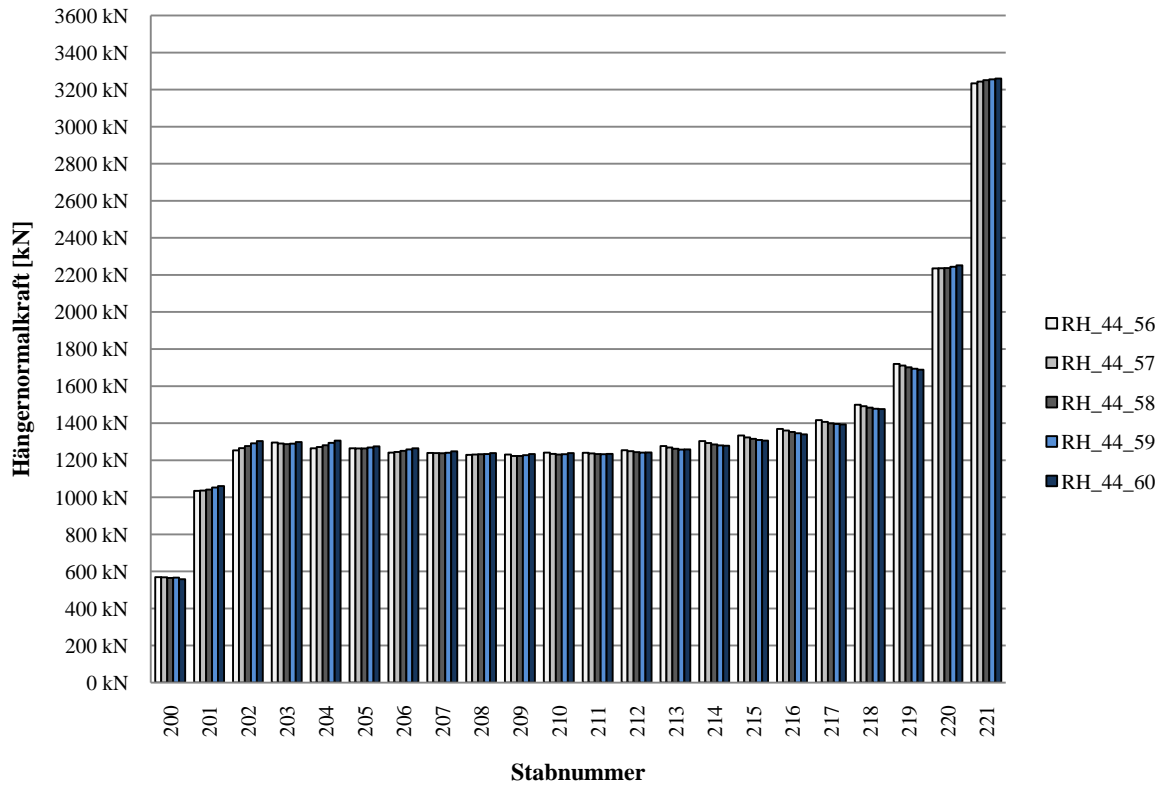


Diagramm 34 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 44 Hängern und $\alpha=56^{\circ}$ - 60°

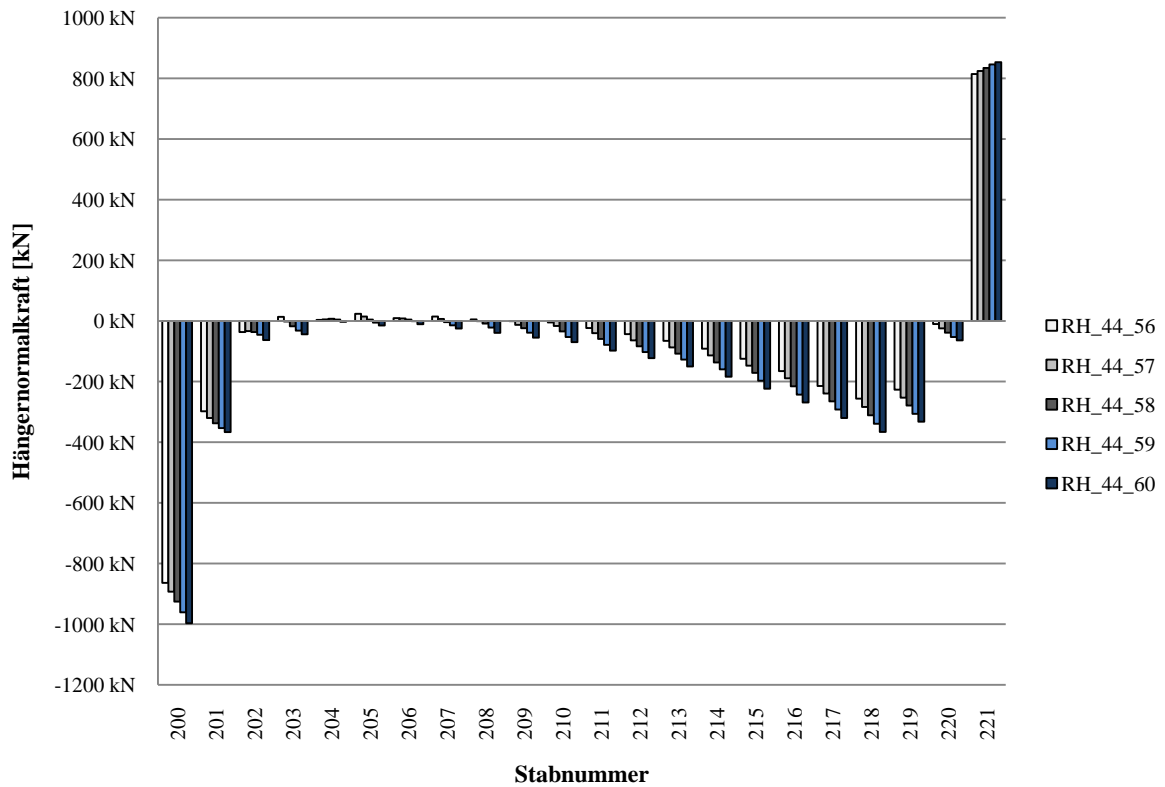


Diagramm 35 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 44 Hängern und $\alpha=56^{\circ}$ - 60°

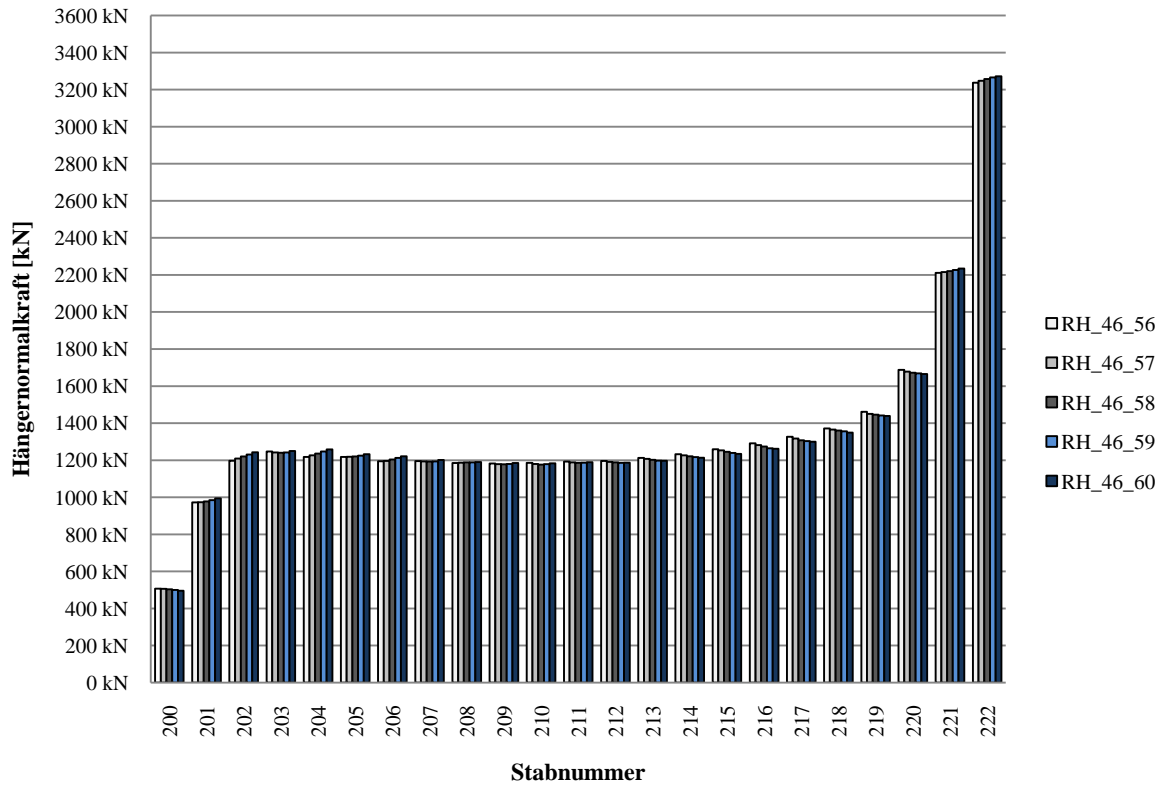


Diagramm 36 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 46 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$

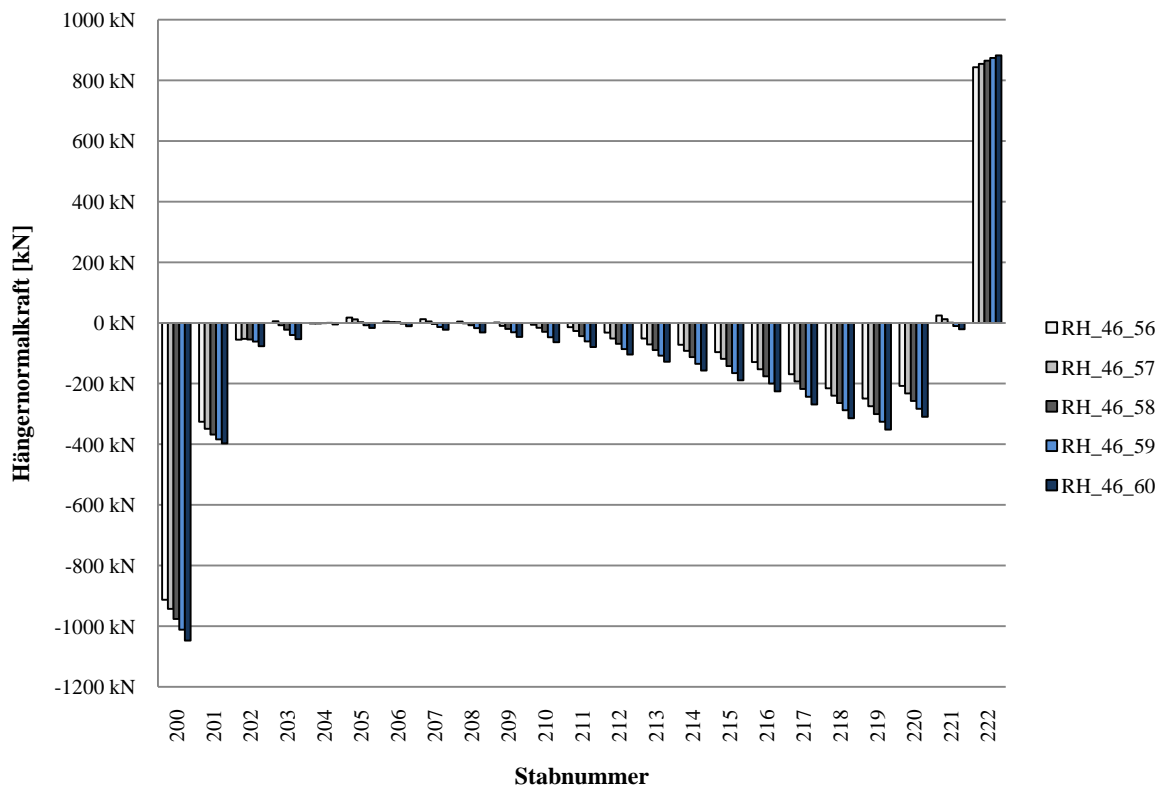


Diagramm 37 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 46 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$

Für die maximalen Hängernormalkräfte zeigt sich für jede Anzahl bei allen Winkeln eine sehr gleichmäßige Verteilung im Regelbereich. Mit zunehmender Hängeranzahl nimmt die Größe dieser Kräfte ab. Vergleicht man die Anordnung mit 36 Hängern mit jener mit 46, so zeigt sich eine Normalkraftdifferenz in der Größenordnung von rund 300kN je Hänger. Die im Regelbereich auftretenden mittleren Hängernormalkräfte N_m , die mit Hilfe des arithmetischen Mittelwertes berechnet wurden und die mittleren Abweichungen ΔN_m davon bei unterschiedlichen Anordnungen sind der Tabelle 7 zu entnehmen.

n=	36				
$\alpha=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1531,7 kN	1527,5 kN	1525,9 kN	1526,7 kN	1530,1 kN
$\Delta N_m=$	54,0 kN	50,5 kN	47,1 kN	44,0 kN	42,6 kN
n=	38				
$\alpha=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1463,5 kN	1459,0 kN	1457,6 kN	1458,6 kN	1461,8 kN
$\Delta N_m=$	54,8 kN	50,8 kN	47,8 kN	46,2 kN	45,1 kN
n=	40				
$\alpha=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1402,4 kN	1397,7 kN	1395,0 kN	1395,5 kN	1399,0 kN
$\Delta N_m=$	55,8 kN	53,1 kN	50,1 kN	47,2 kN	45,6 kN
n=	42				
$\alpha=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1344,9 kN	1340,2 kN	1338,4 kN	1339,5 kN	1342,3 kN
$\Delta N_m=$	56,0 kN	52,9 kN	50,4 kN	48,3 kN	46,7 kN
n=	44				
$\alpha=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1293,7 kN	1289,3 kN	1286,4 kN	1286,6 kN	1289,3 kN
$\Delta N_m=$	56,9 kN	53,9 kN	50,7 kN	49,2 kN	47,8 kN
n=	46				
$\alpha=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1245,3 kN	1241,5 kN	1239,3 kN	1238,9 kN	1240,9 kN
$\Delta N_m=$	57,1 kN	54,3 kN	51,5 kN	49,6 kN	48,7 kN

Tabelle 7 Mittlere Hängernormalkräfte und mittlere Abweichungen bei der radialen Hängeranordnung im Regelbereich

Für eine gewählte Hängeranzahl unterscheiden sich die mittleren Normalkräfte in Abhängigkeit des Winkels nur sehr gering. Die mittlere Abweichung fällt umso geringer aus, je steiler der Winkel ist, bewegt sich jedoch nur in einer Größenordnung von 3-5% und stellt somit kein aussagekräftiges Bewertungskriterium dar.

Ein anderes Verhalten zeigen die Hänger bezüglich der auftretenden minimalen Hängerkräfte. Diese sind über den Regelbereich ungleich verteilt. Wie in bei der Ermüdung erweist sich der Endbereich des Regelbereiches als problematisch. Bei keiner der gewählten Netzgeometrien gelingt es, hier Hängerdruckkräfte zu vermeiden. Wie für diese ein Nachweis zu führen ist, wird in 17 untersucht.

Die Störbereiche verhalten sich analog dem Grenzzustand der Ermüdung. Besonders der erste und der letzte Hänger eines jeden Sets weisen deutlich höhere Normalkräfte auf als die Übrigen. Auffallend ist, dass der letzte Hänger, unabhängig von Hängeranzahl und Winkel, immer eine Normalkraft im Bereich von 3200kN hat.

14.3.2 Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die konstante Hängerneigungsänderung bei 36, 38, 40, 42, 44 und 46 Hängern bei unterschiedlichen Winkeln dargestellt.

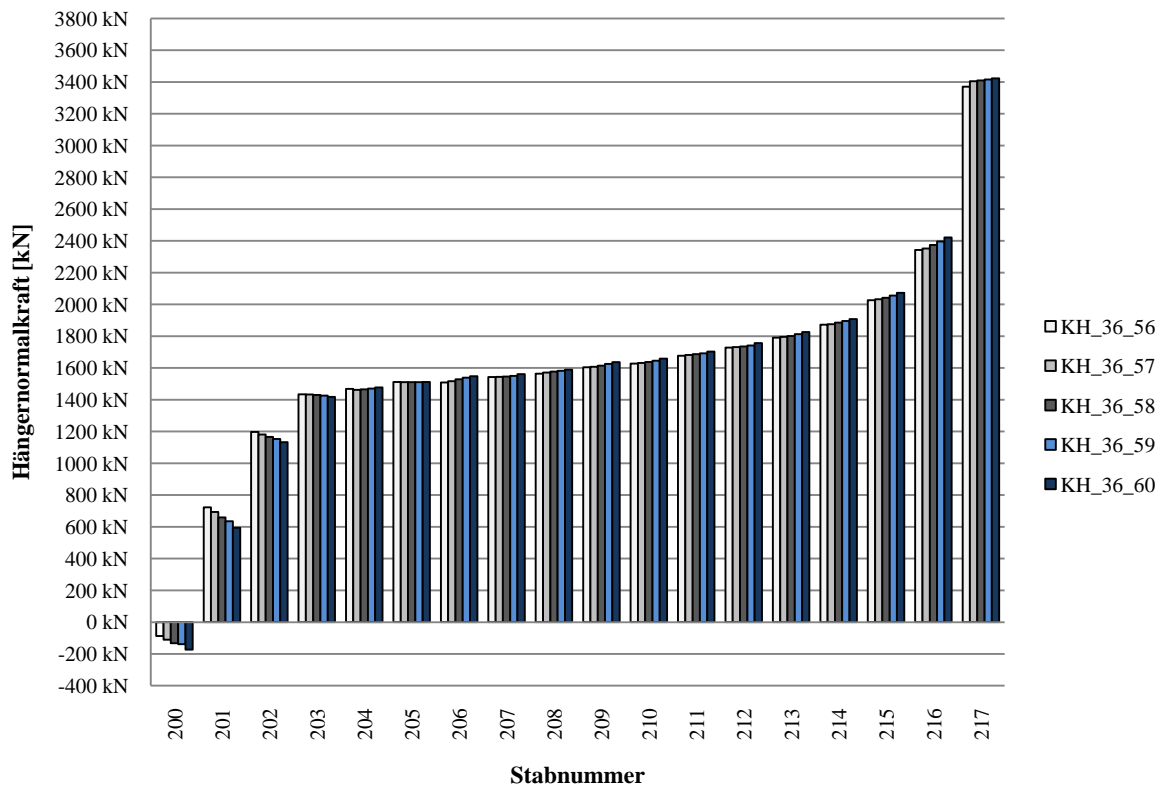


Diagramm 38 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

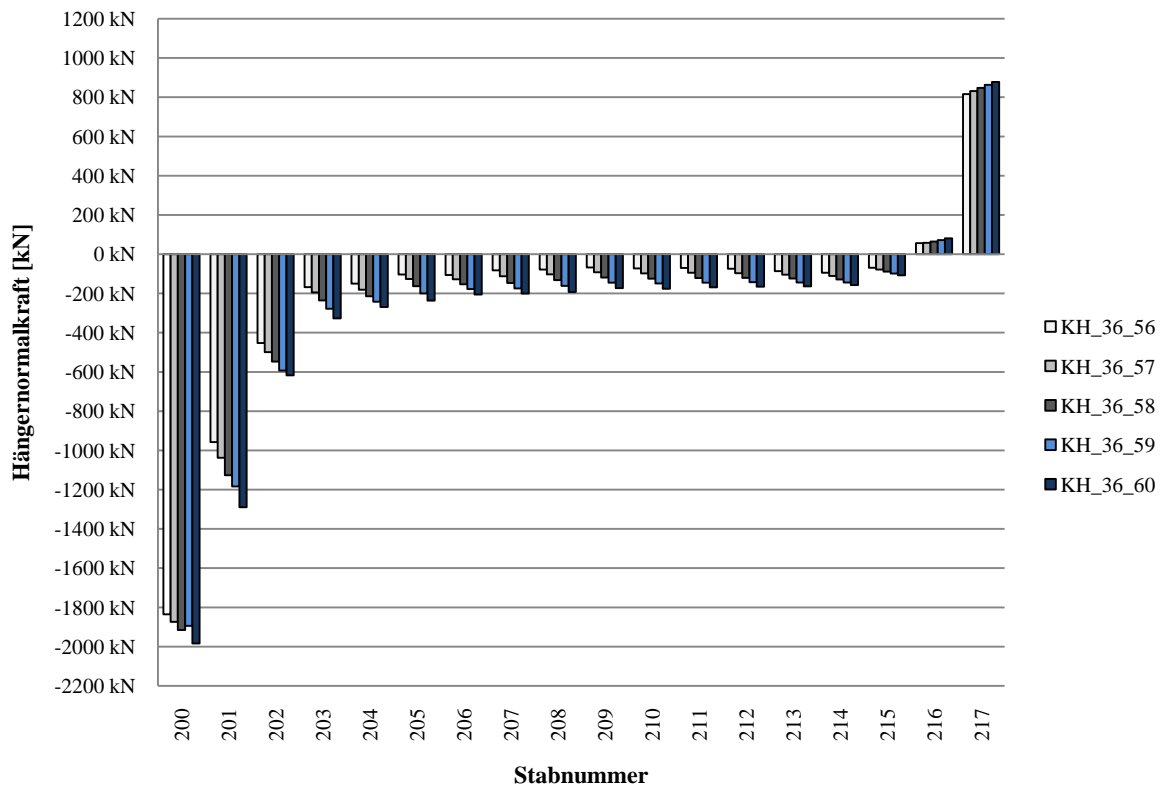


Diagramm 39 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

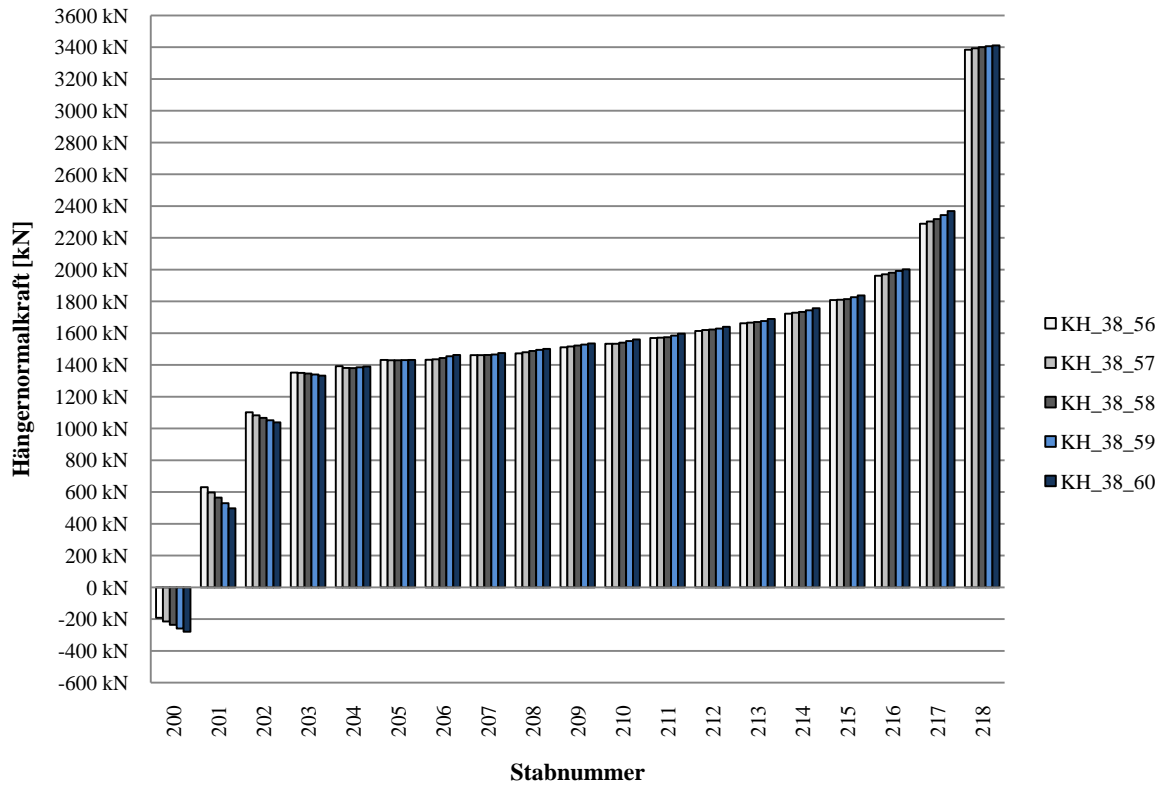


Diagramm 40 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 38 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

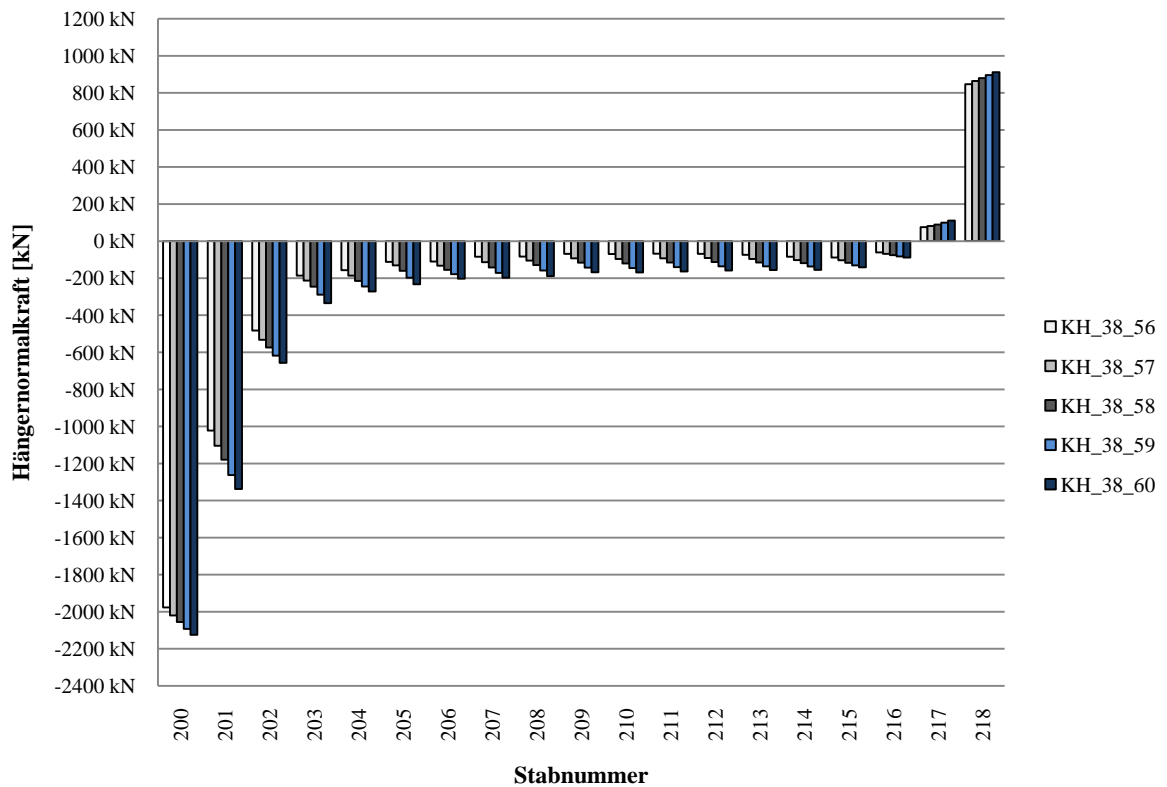


Diagramm 41 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 38 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

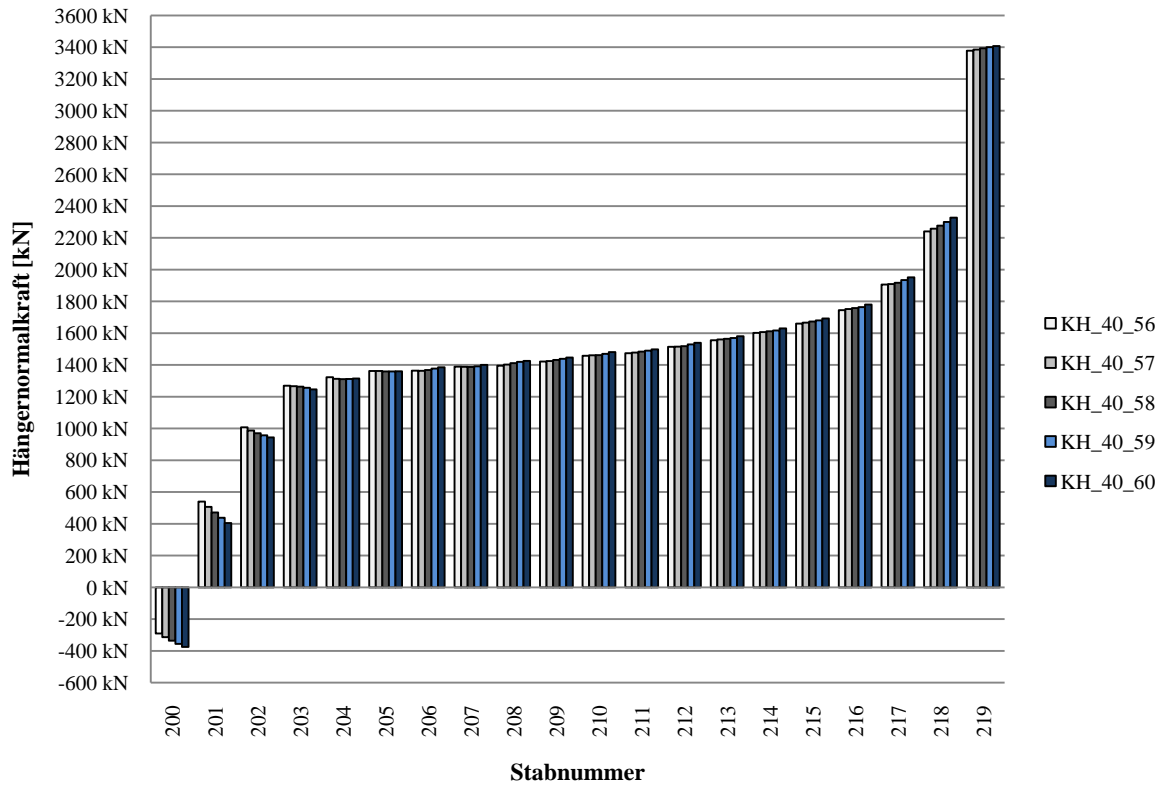


Diagramm 42 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 40 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

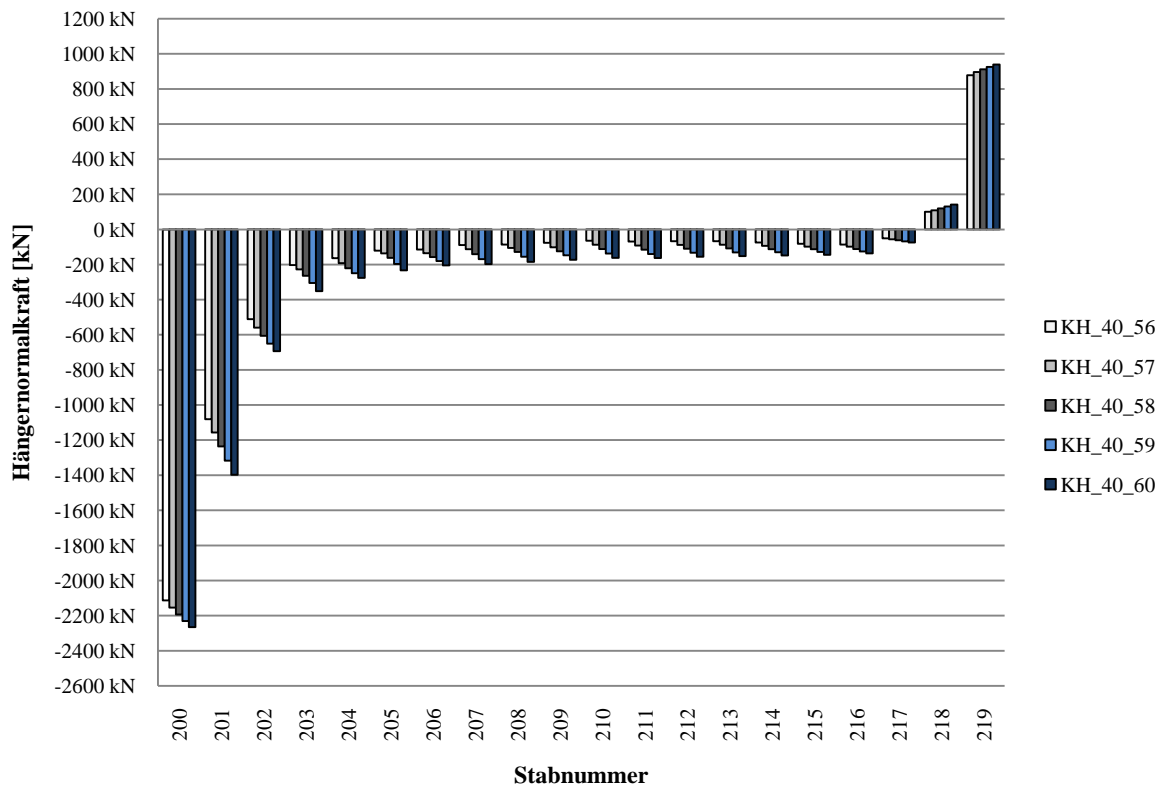


Diagramm 43 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 40 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

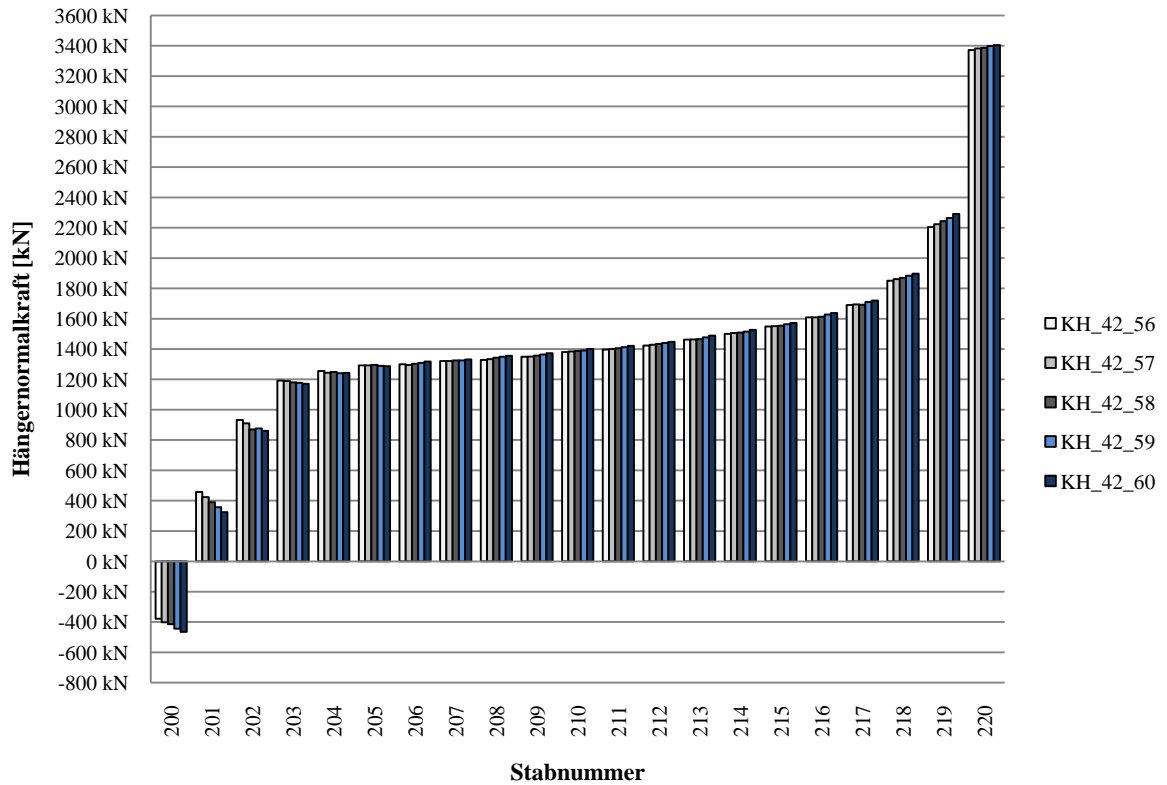


Diagramm 44 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 42 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

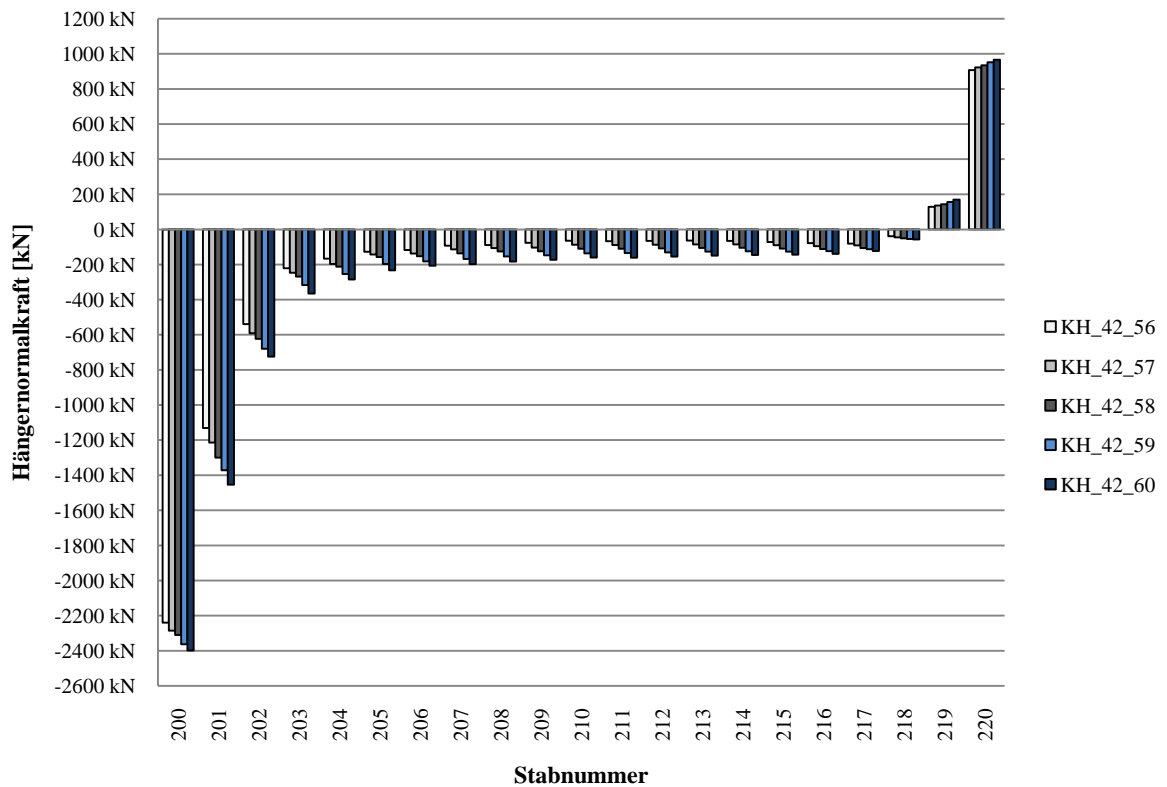


Diagramm 45 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 42 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

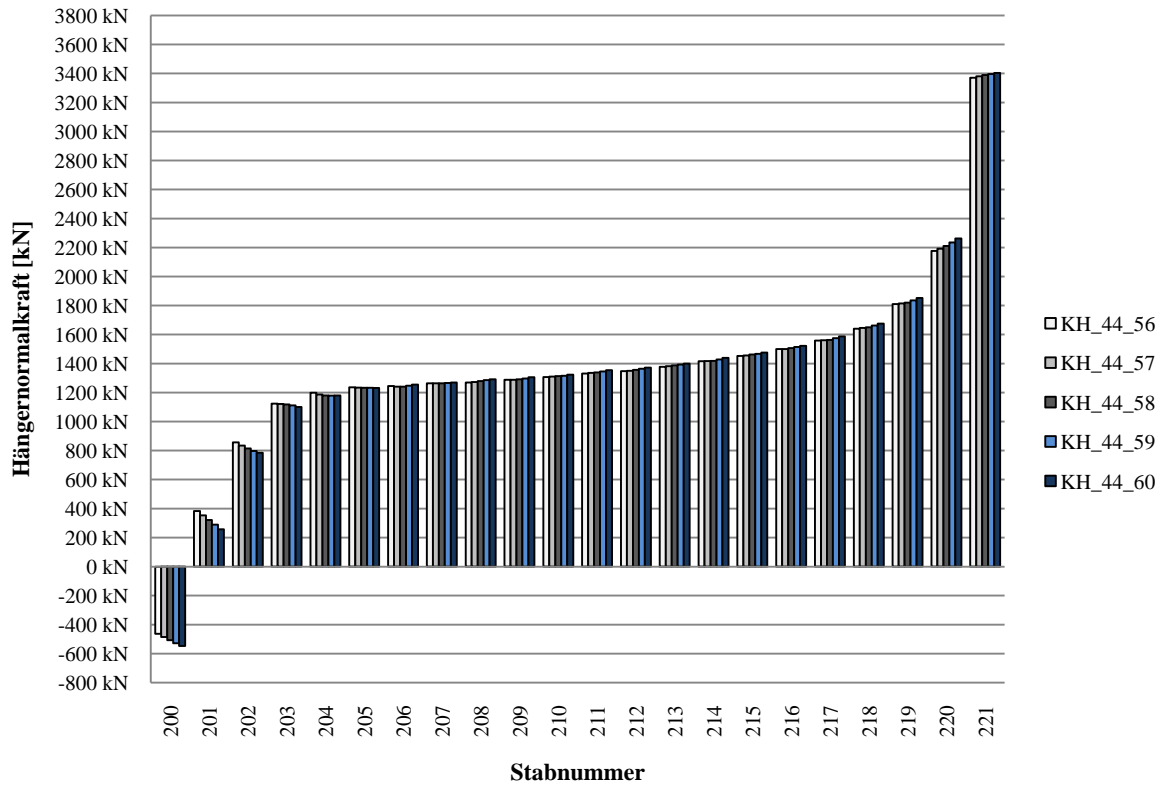


Diagramm 46 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 44 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

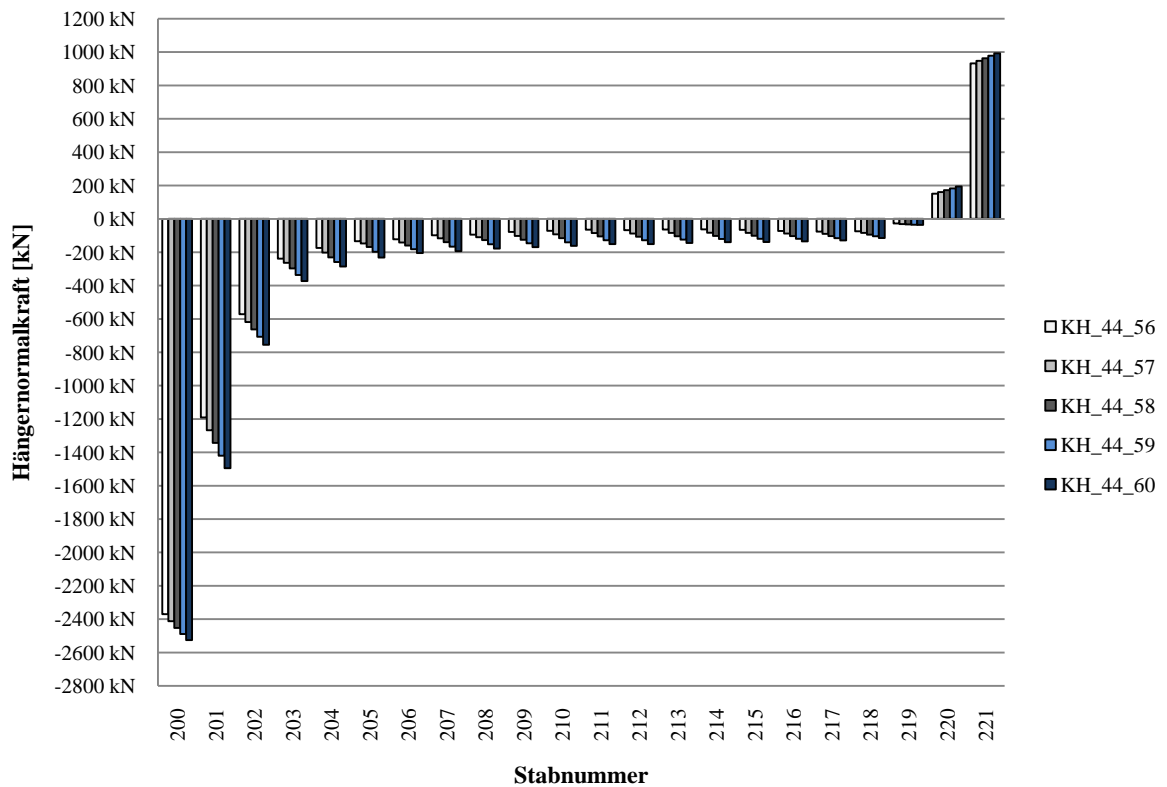


Diagramm 47 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 44 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

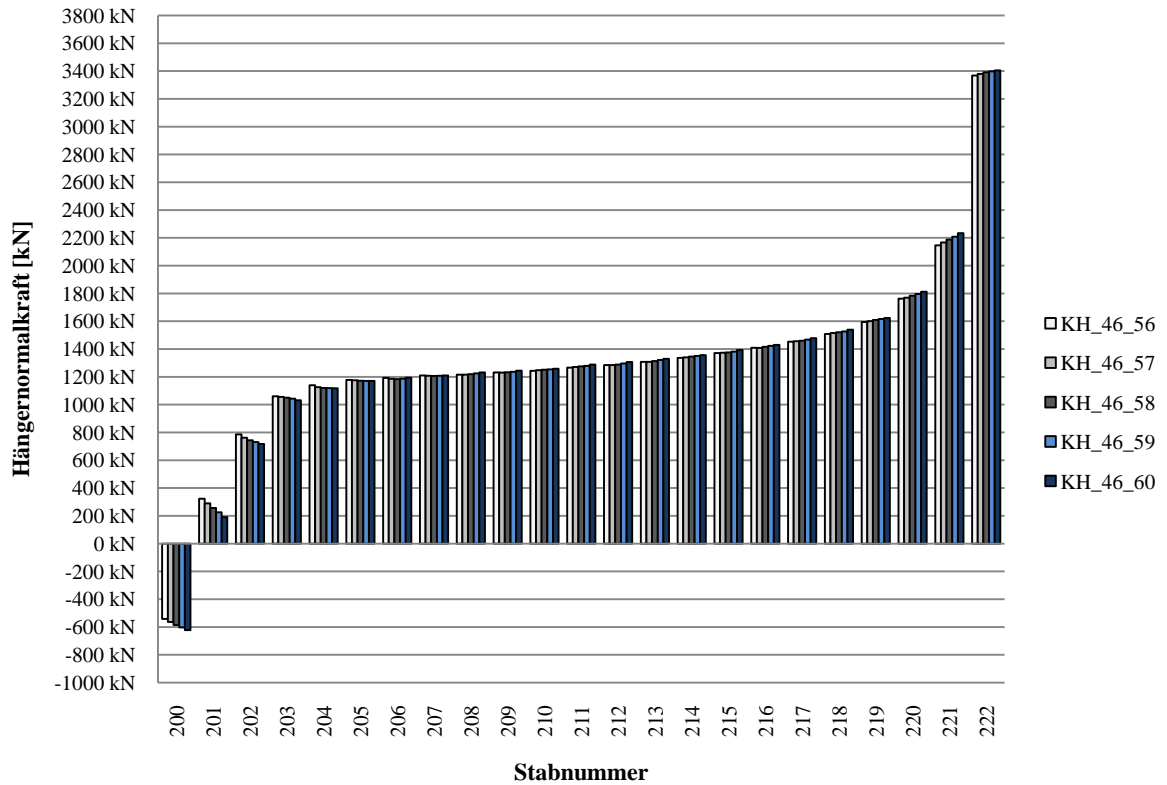


Diagramm 48 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

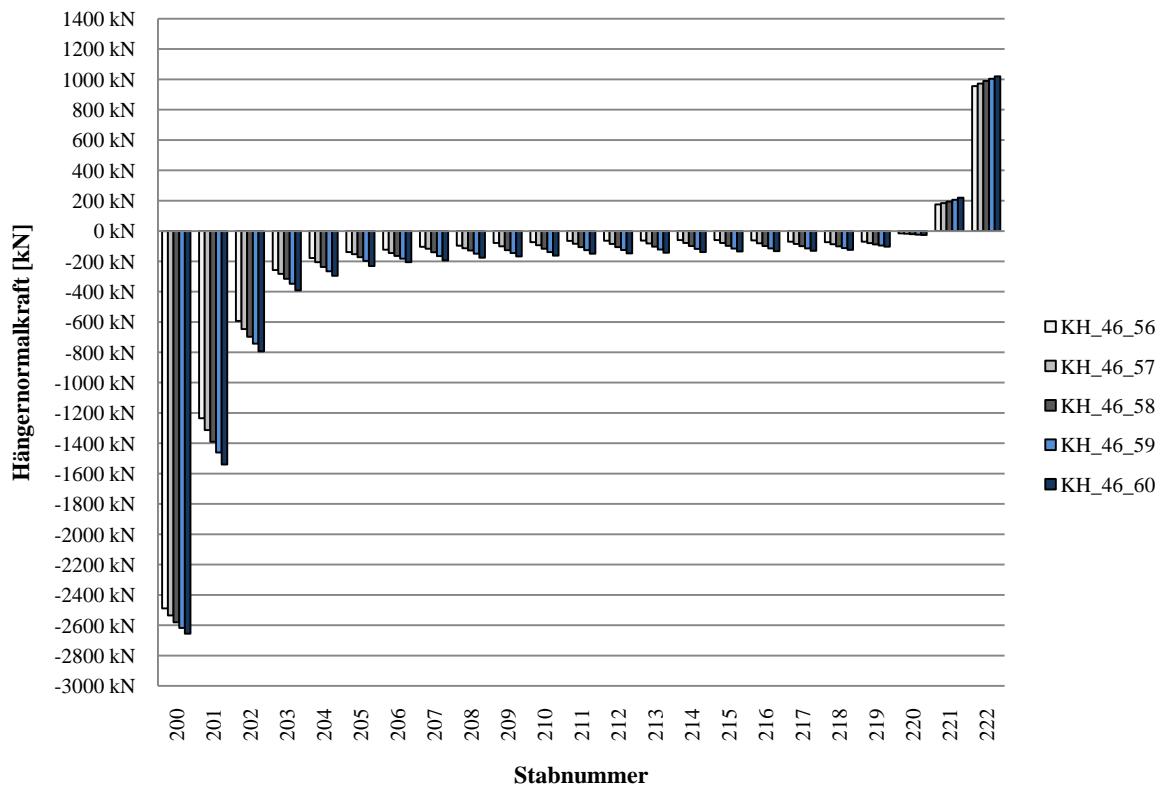


Diagramm 49 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

Für die maximalen Hängernormalkräfte zeigt sich für jede Anzahl bei allen Winkeln eine relativ gleichmäßige Verteilung im Regelbereich. Mit zunehmender Hängeranzahl nimmt die Größe dieser Kräfte ab. Vergleicht man die Anordnung mit 36 Hängern mit jener mit 46, so zeigt sich eine Normalkraftdifferenz in der Größenordnung von rund 330kN je Hänger. Die im Regelbereich auftretenden mittleren Hängernormalkräfte N_m , die mit Hilfe des arithmetischen Mittelwertes berechnet wurden und die mittleren Abweichungen ΔN_m davon bei unterschiedlichen Anordnungen sind der Tabelle 8 zu entnehmen.

n=	36				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1610,8 kN	1613,3 kN	1618,1 kN	1624,2 kN	1632,7 kN
$\Delta N_m=$	107,0 kN	108,1 kN	109,2 kN	111,2 kN	115,1 kN
n=	38				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1535,7 kN	1537,2 kN	1540,7 kN	1546,7 kN	1554,5 kN
$\Delta N_m=$	107,3 kN	109,3 kN	109,7 kN	112,2 kN	115,9 kN
n=	40				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1466,6 kN	1468,4 kN	1471,6 kN	1476,6 kN	1484,2 kN
$\Delta N_m=$	107,3 kN	109,8 kN	111,4 kN	112,9 kN	116,6 kN
n=	42				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1403,3 kN	1404,0 kN	1407,5 kN	1412,7 kN	1419,4 kN
$\Delta N_m=$	108,6 kN	110,5 kN	109,7 kN	114,4 kN	117,0 kN
n=	44				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1347,2 kN	1347,8 kN	1350,2 kN	1355,2 kN	1361,4 kN
$\Delta N_m=$	107,7 kN	109,7 kN	111,7 kN	114,8 kN	117,6 kN
n=	46				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1294,2 kN	1294,4 kN	1296,5 kN	1300,0 kN	1305,8 kN
$\Delta N_m=$	108,3 kN	110,8 kN	113,7 kN	116,0 kN	118,9 kN

Tabelle 8 Mittlere Hängernormalkräfte und mittlere Abweichungen bei der konstanten Hängerneigungsänderung im Regelbereich

Für eine gewählte Hängeranzahl unterscheiden sich die mittleren Normalkräfte in Abhängigkeit des Winkels nur geringfügig, fallen jedoch bei 56° am günstigsten aus. Die mittlere Abweichung fällt umso geringer aus, je flacher der Winkel ist, bewegt sich immer in einer Größenordnung von 7-9% und stellt somit kein aussagekräftiges Bewertungskriterium dar.

Ein ähnliches Verhalten zeigen die Hänger bezüglich der auftretenden minimalen Hängerkräfte. Wie bei der Ermüdung, treten Druckkräfte in den Hängern immer am Anfang des Regelbereiches auf und pflanzen sich Richtung Brückenmitte fort, je steiler die Winkel sind. Bei keiner der gewählten Netzgeometrien gelingt es, hier Hängerdruckkräfte zu vermeiden. Wie für diese ein Nachweis zu führen ist, wird in 17 untersucht.

Die Störbereiche verhalten sich analog dem Grenzzustand der Ermüdung. Besonders der erste und der letzte Hänger eines jeden Sets weisen deutlich höhere Normalkräfte auf als die übrigen. Im ersten Hänger kommt es in keinem Fall zu einer resultierenden Zugkraft. Auffallend ist, dass der letzte Hänger, unabhängig von der Hängeranzahl und Winkel, immer eine Normalkraft im Bereich von 3400kN hat.

14.3.3 Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die konstante Hängerneigungsänderung bei 36, 38, 40, 42, 44 und 46 Hängern bei unterschiedlichen Winkeln dargestellt.

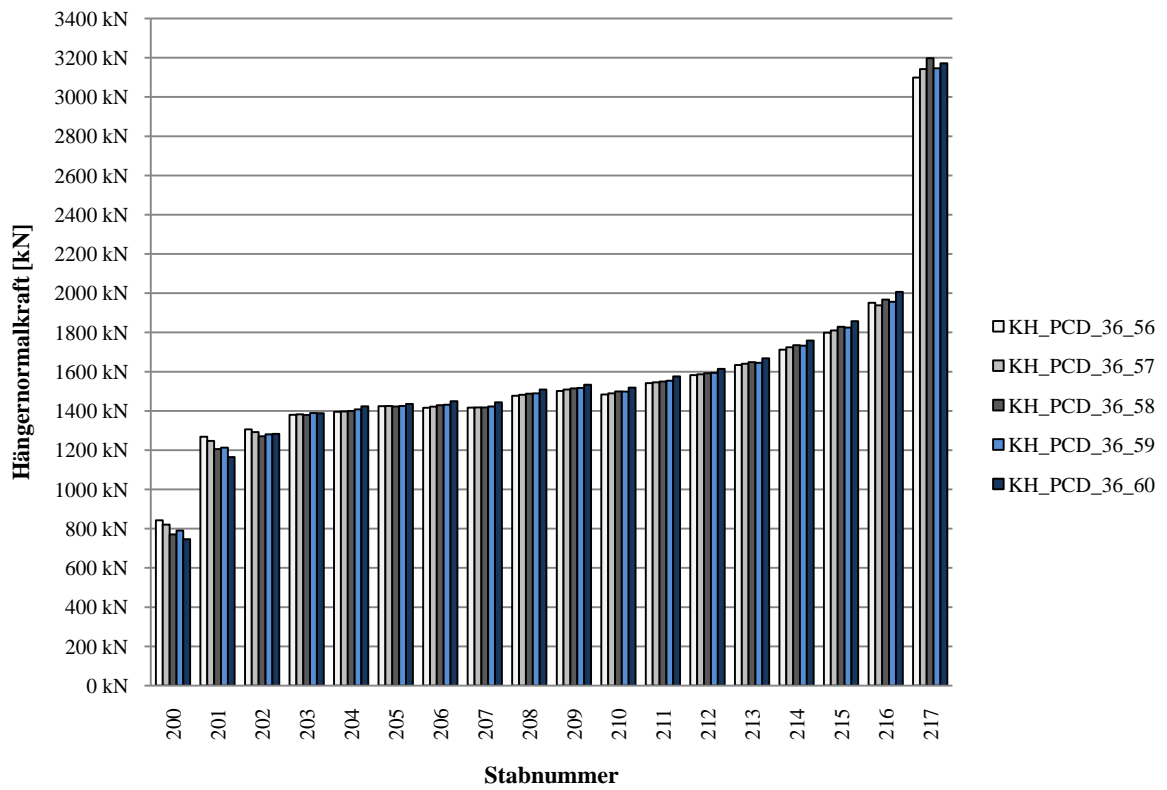


Diagramm 50 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

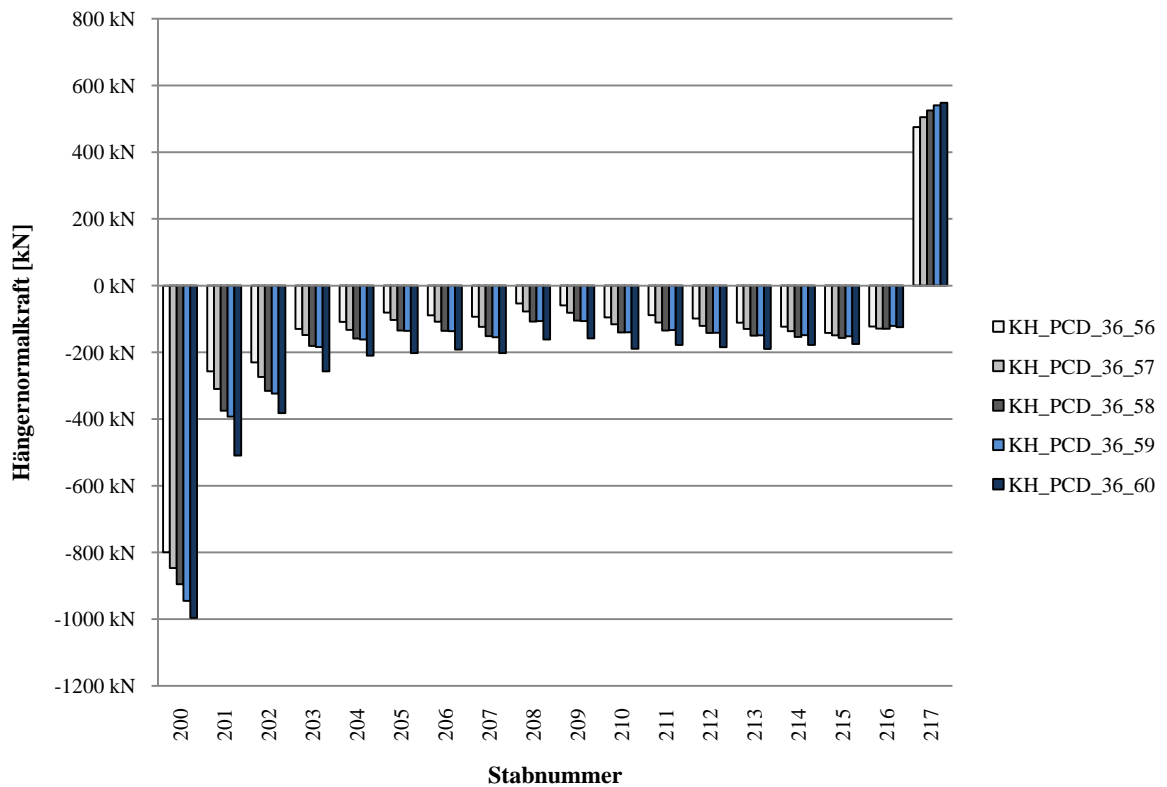


Diagramm 51 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

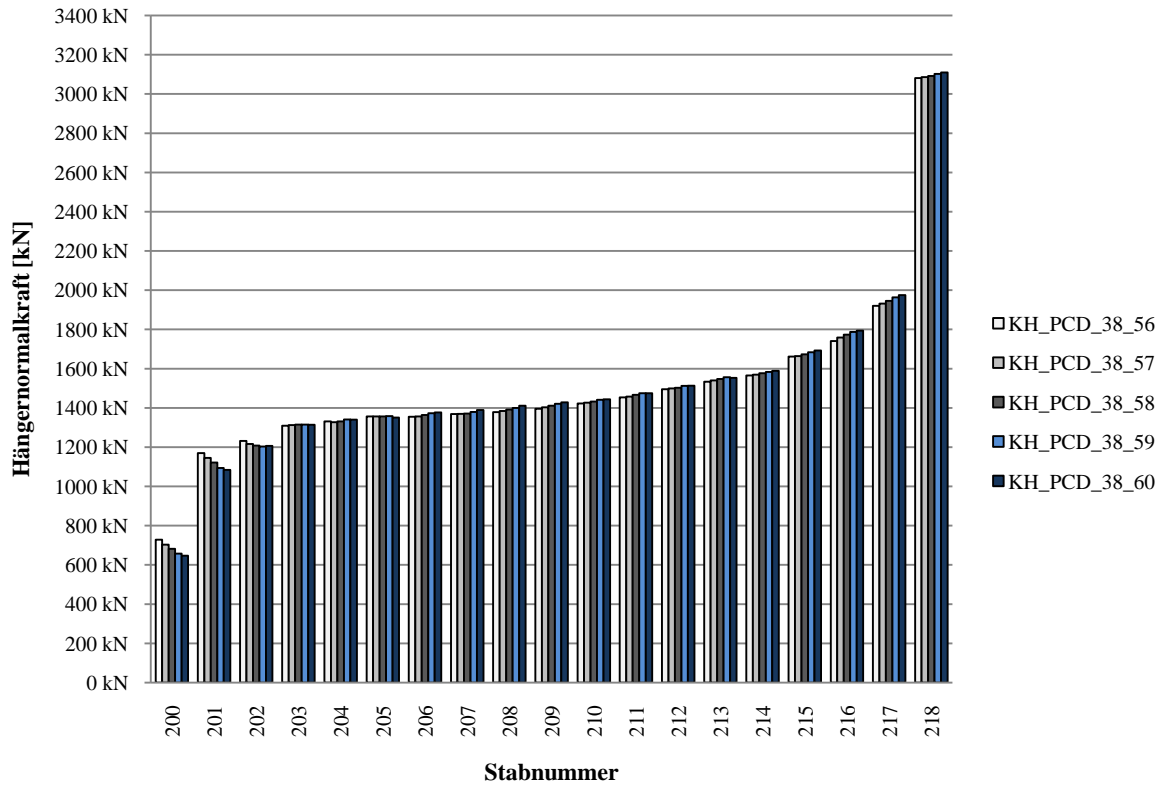


Diagramm 52 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 38 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

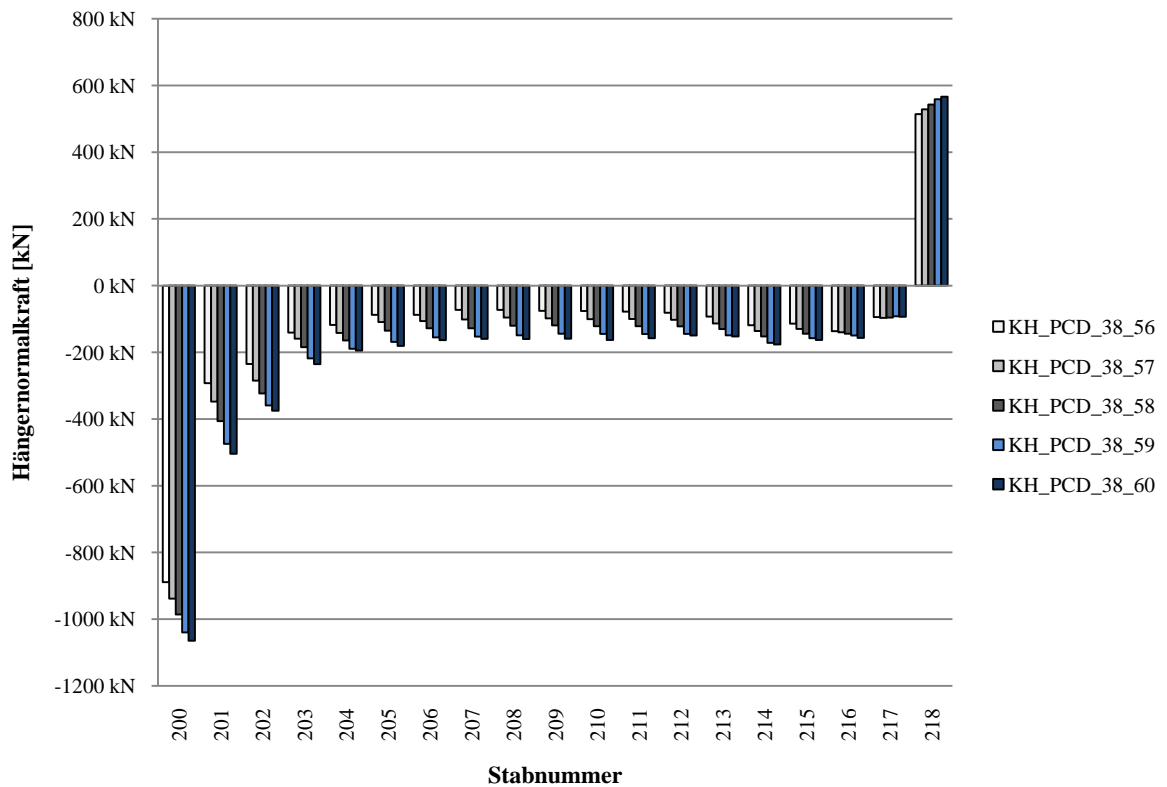


Diagramm 53 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 38 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

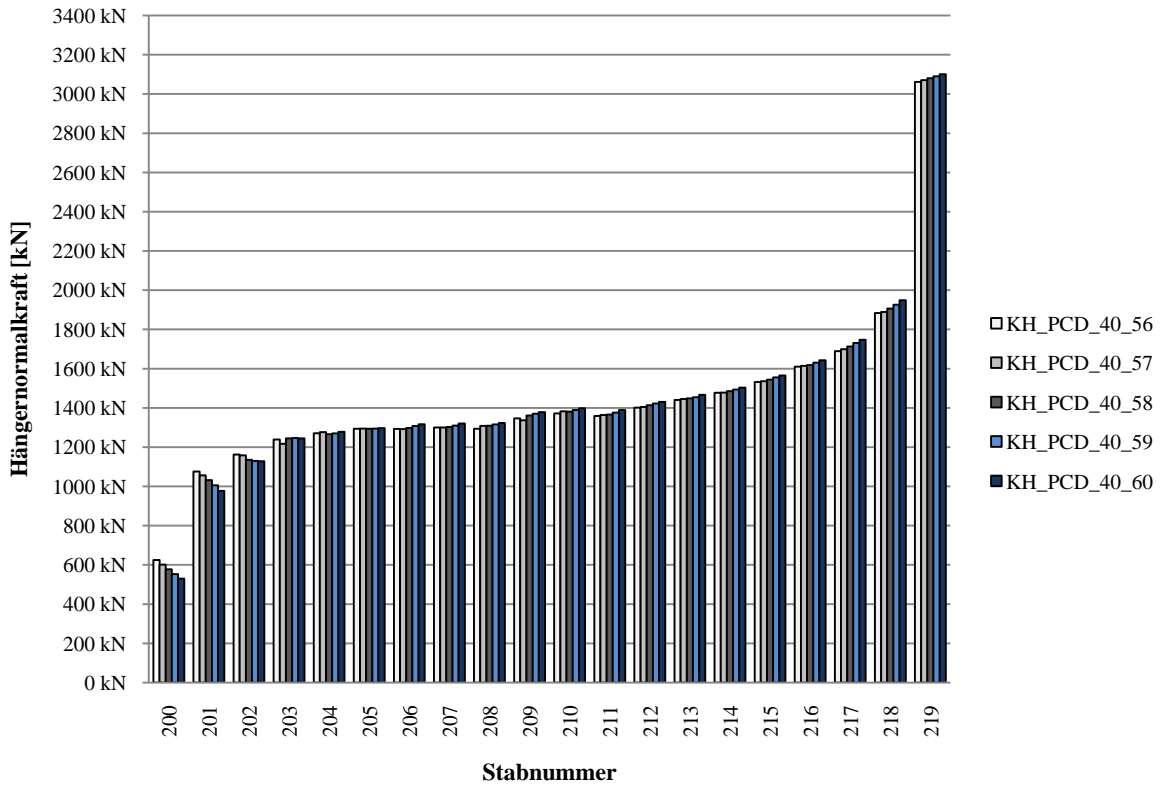


Diagramm 54 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 40 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

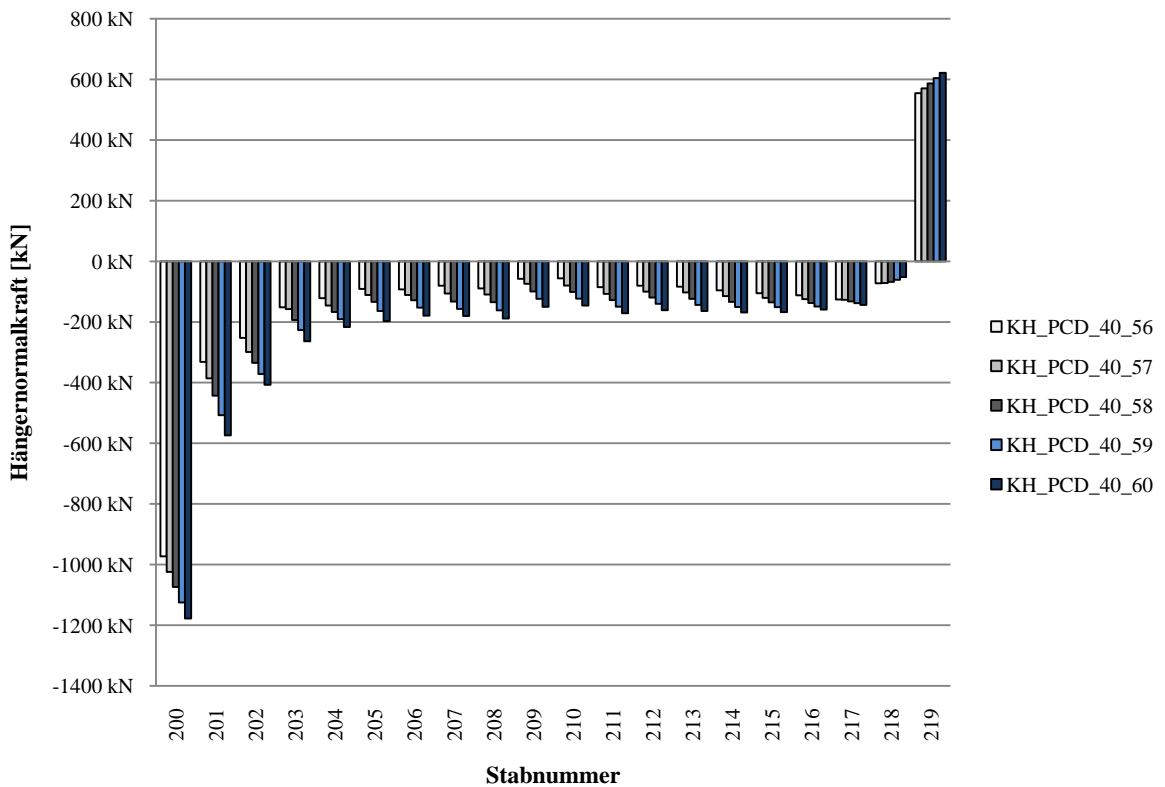


Diagramm 55 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 40 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

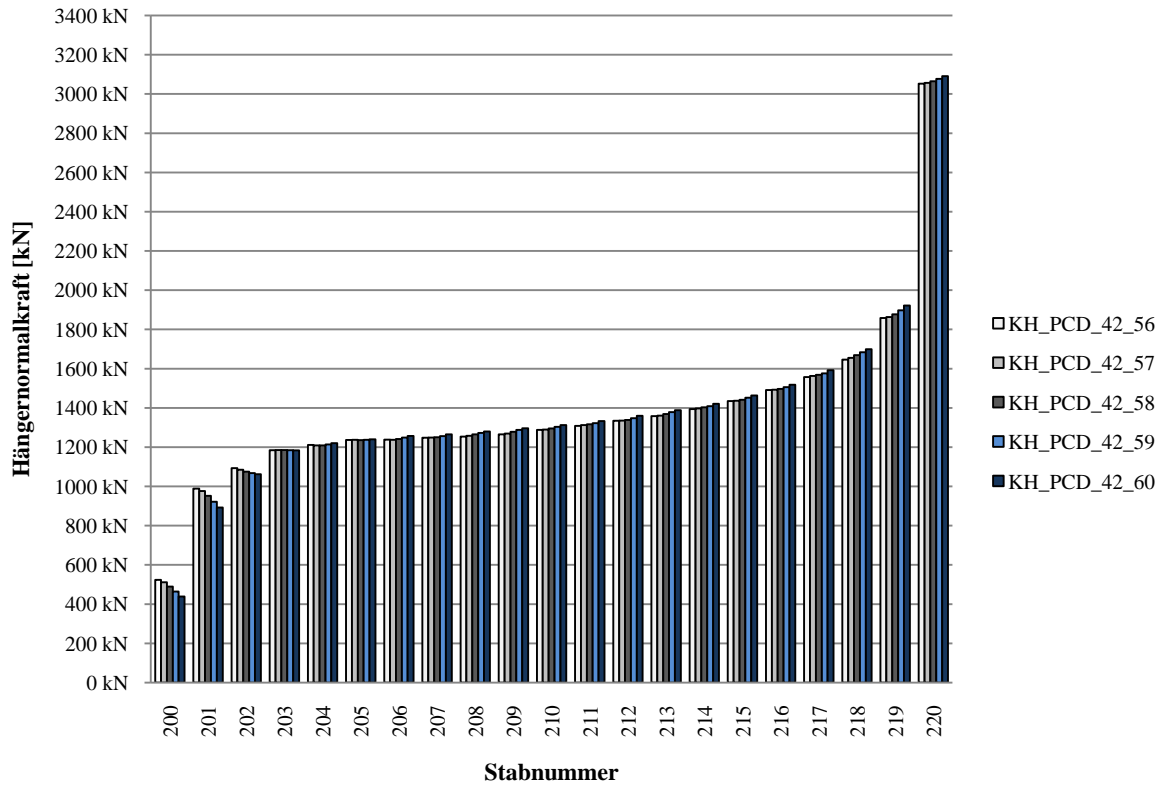


Diagramm 56 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 42 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

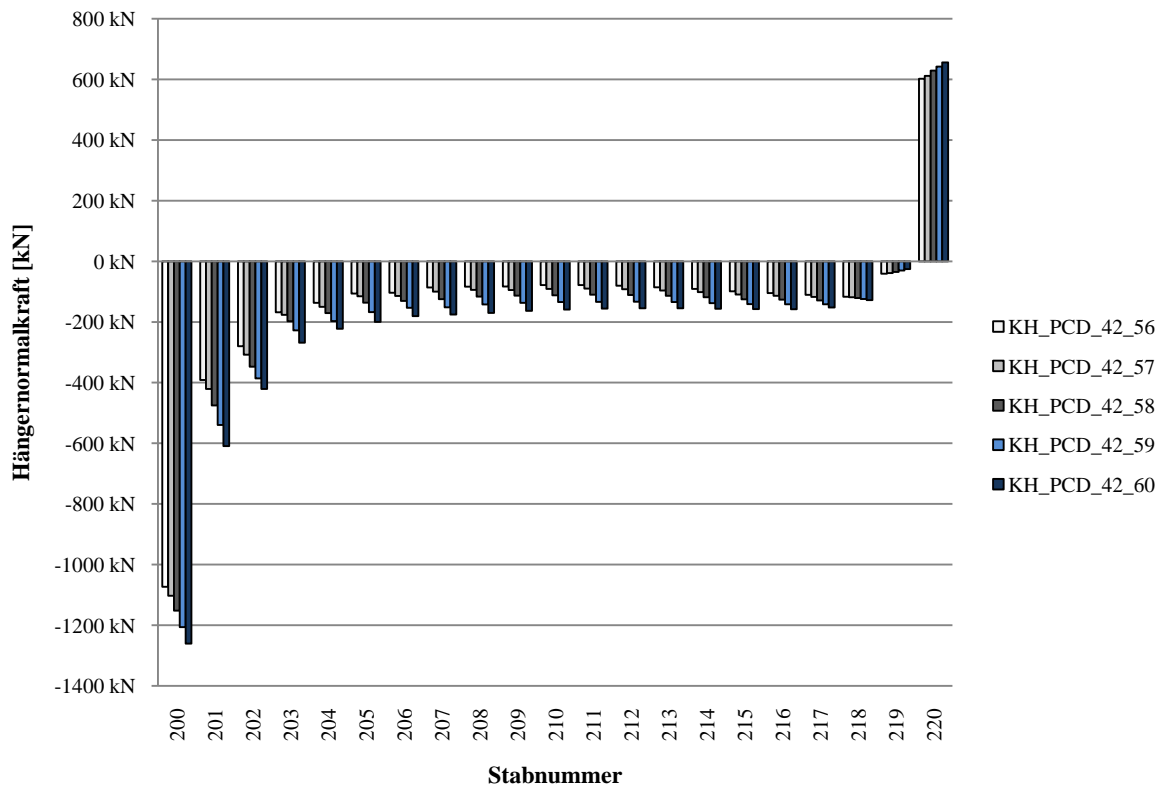


Diagramm 57 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 42 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

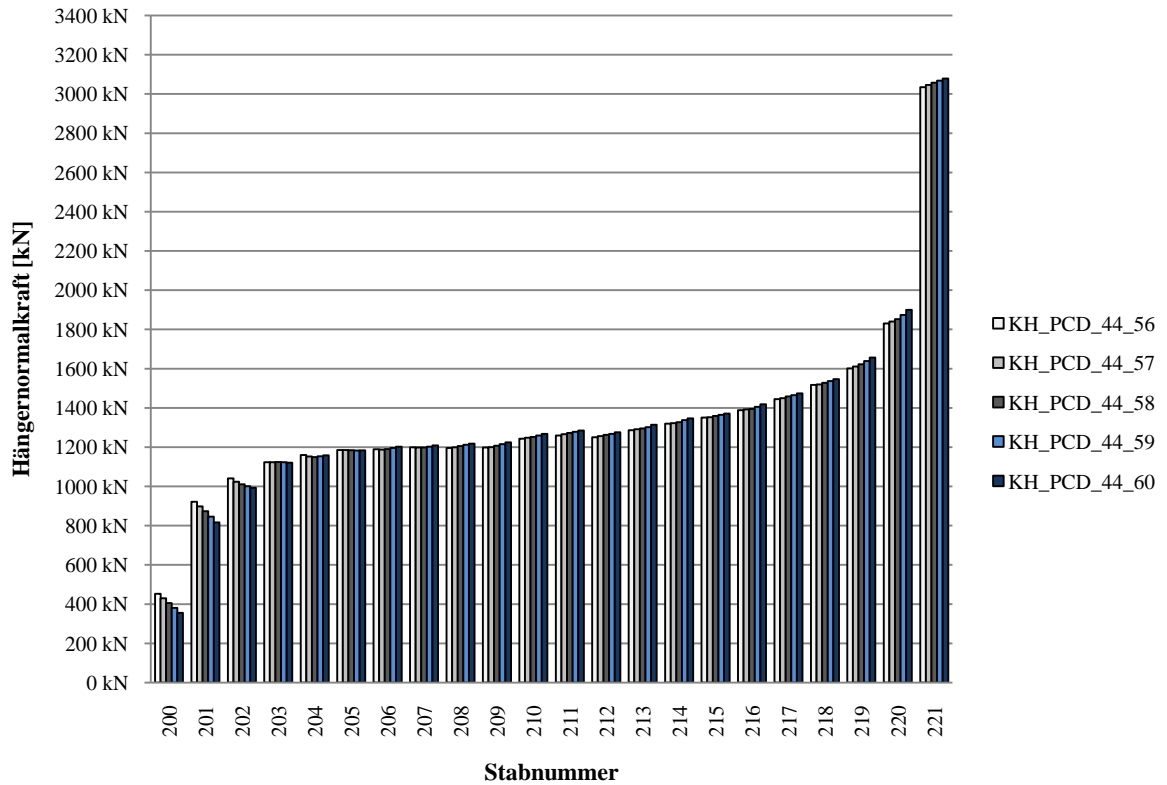


Diagramm 58 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 44 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

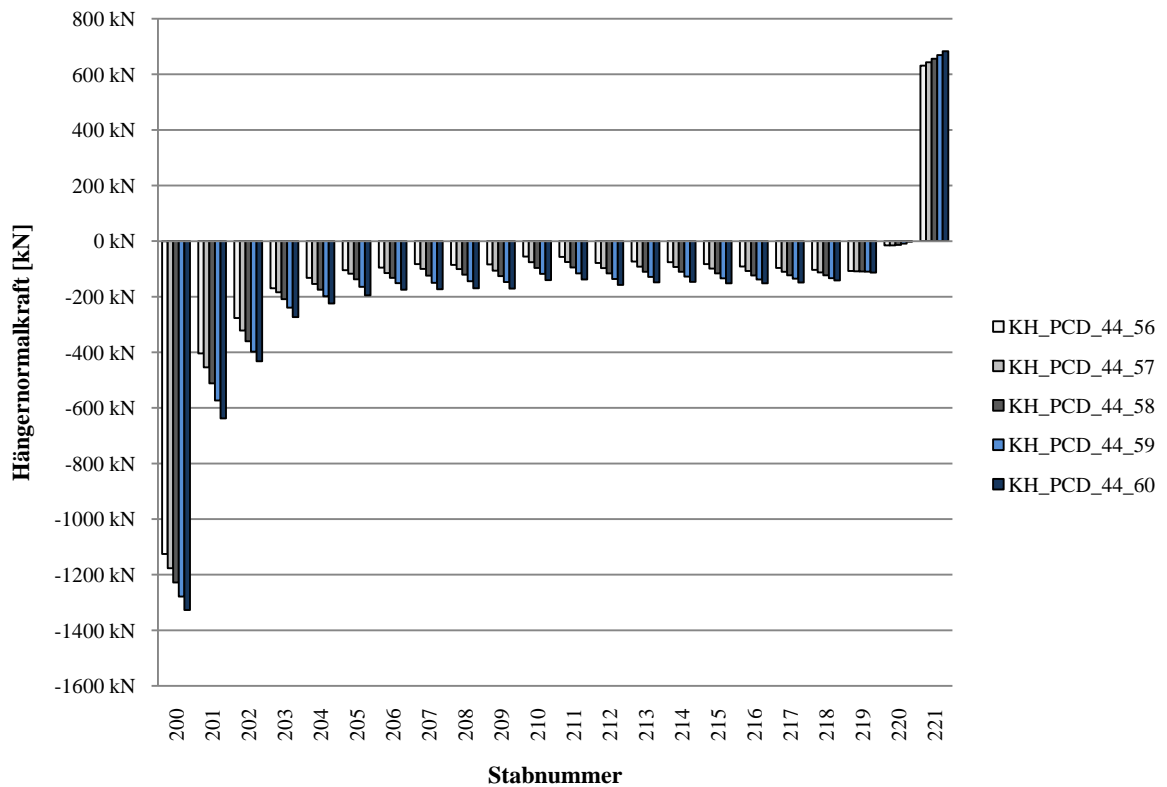


Diagramm 59 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 44 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

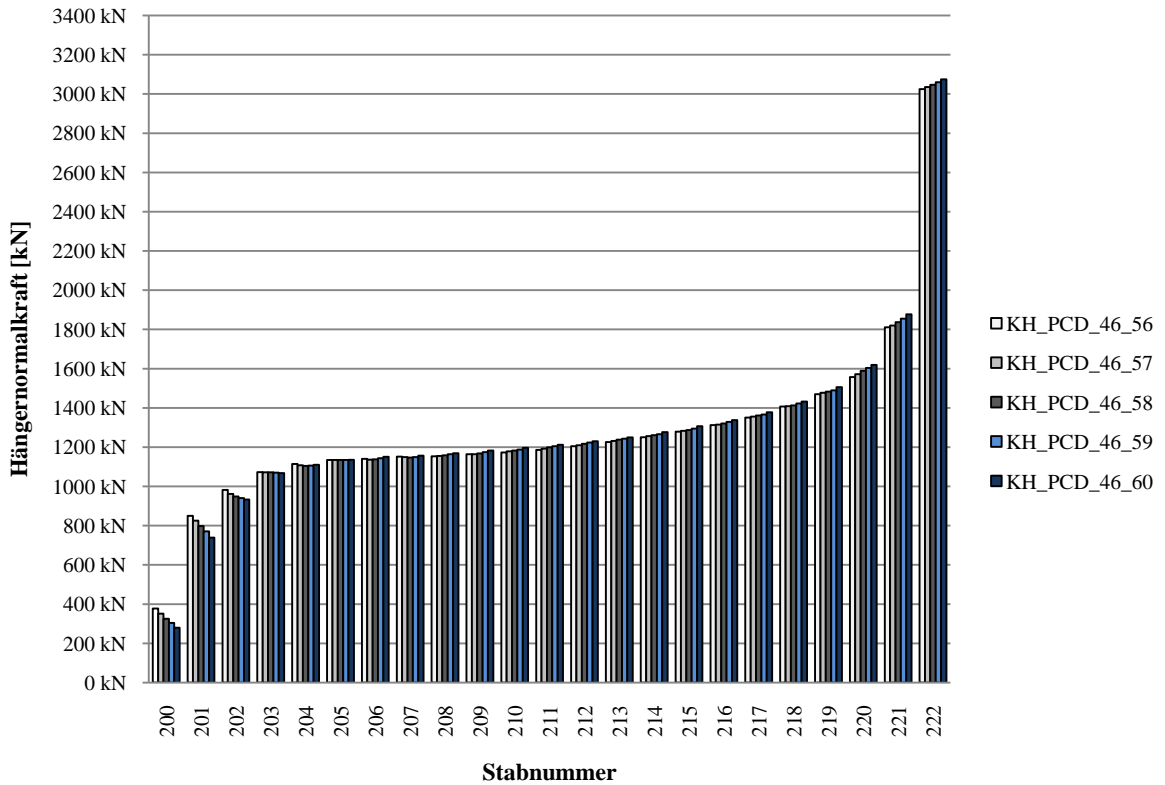


Diagramm 60 Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

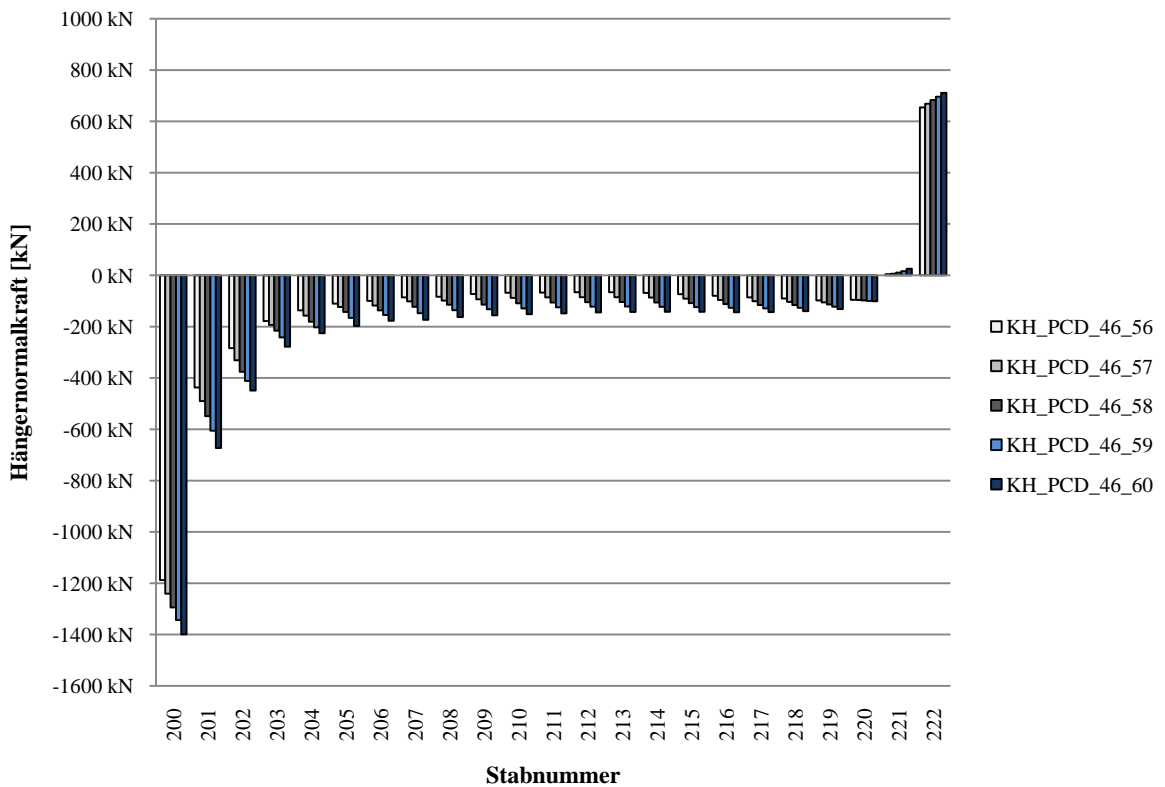


Diagramm 61 Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$

Für die maximalen Hängernormalkräfte zeigt sich für jede Anzahl bei allen Winkeln eine relativ gleichmäßige Verteilung im Regelbereich. Mit zunehmender Hängeranzahl nimmt die Größe dieser Kräfte ab. Vergleicht man die Anordnung mit 36 Hängern mit jener mit 46, so zeigt sich eine Normalkraftdifferenz in der Größenordnung von rund 280kN je Hänger. Die im Regelbereich auftretenden mittleren Hängernormalkräfte N_m , die mit Hilfe des arithmetischen Mittelwertes berechnet wurden und die mittleren Abweichungen ΔN_m davon bei unterschiedlichen Anordnungen sind der Tabelle 9 zu entnehmen.

n=	36				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1497,3kN	1501,9kN	1508,9kN	1506,4kN	1526,5kN
$\Delta N_m=$	80,9kN	82,8kN	83,0kN	84,8kN	86,2kN
n=	38				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1432,9kN	1436,0kN	1441,6kN	1449,1kN	1452,1kN
$\Delta N_m=$	83,9kN	84,7kN	85,9kN	87,0kN	86,4kN
n=	40				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1373,6kN	1375,0kN	1380,9kN	1388,4kN	1396,8kN
$\Delta N_m=$	84,8kN	87,2kN	86,6kN	87,9kN	89,4kN
n=	42				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1320,4kN	1322,1kN	1326,3kN	1333,1kN	1342,0kN
$\Delta N_m=$	86,6kN	87,0kN	87,9kN	89,3kN	92,1kN
n=	44				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1269,5kN	1271,6kN	1275,6kN	1281,5kN	1288,5kN
$\Delta N_m=$	86,3kN	87,3kN	88,8kN	90,4kN	92,6kN
n=	46				
$\varphi=$	56°	57°	58°	59°	60°
$N_m=$	1223,1kN	1225,1kN	1228,6kN	1233,5kN	1241,0kN
$\Delta N_m=$	86,5kN	88,5kN	90,0kN	91,3kN	94,0kN

Tabelle 9 Mittlere Hängernormalkräfte und mittlere Abweichungen bei der Hängeranordnung nach PCD-ZT GmbH im Regelbereich

Für eine gewählte Hängeranzahl unterscheiden sich die mittleren Normalkräfte in Abhängigkeit des Winkels nur geringfügig, fallen jedoch bei 56° am günstigsten aus. Die mittlere Abweichung fällt umso geringer aus, je flacher der Winkel ist, bewegt sich immer in einer Größenordnung von 5-7% und stellt somit kein aussagekräftiges Bewertungskriterium dar.

Ein ähnliches Verhalten zeigen die Hänger bezüglich der auftretenden minimalen Hängerkräfte. Wie bei der Ermüdung, treten Druckkräfte in den Hängern immer am Anfang des Regelbereiches auf und pflanzen sich Richtung Brückenmitte fort, je steiler die Winkel sind. Bei keiner der gewählten Netzgeometrien gelingt es, hier Hängerdruckkräfte zu vermeiden. Wie für diese ein Nachweis zu führen ist, wird in 17 untersucht.

Die Störbereiche verhalten sich analog dem Grenzzustand der Ermüdung. Besonders der erste und der letzte Hänger eines jeden Sets weisen deutlich höhere Normalkräfte auf als die übrigen. Auffallend ist, dass der letzte Hänger, unabhängig von Hängeranzahl und Winkel, immer eine Normalkraft im Bereich von 3200kN hat.

14.3.4 Interpretation und Bewertung der Ergebnisse

Das Verhalten der drei untersuchten Anordnungsvarianten ist ähnlich. Mit einer Steigerung der Hängeranzahl nehmen die mittleren Normalkräfte in den einzelnen Hängern ab. Die Abweichungen von der mittleren Normalkraft bleiben bei jeder Netzgeometrie unter 10%. Die Kräfte sind also bei allen Varianten gleichmäßig über den Regelbereich verteilt.

Bei den Varianten 2 und 3 ist erkennbar, dass bei einer flacheren Anordnung der Hänger die maximalen mittleren Hängernormalkräfte im Regelbereich etwas geringer ausfallen. Dieser Trend ist bei Variante 1 nicht erkennbar. Die mittleren Hängerkräfte schwanken in einem Bereich von maximal 10kN und ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Kraft und Winkel ist nicht feststellbar.

Was allen 3 Varianten gemein ist, ist das Verhalten bezüglich des Auftretens von Druckkräften im Regelbereich. Bei keiner Variante kann dies verhindert werden. Je größer der Winkel, umso mehr Hänger erhalten Druckkräfte und umso größer sind diese. Folglich ist eine möglichst flache Hängeranordnung, abgesehen von der Vermeidung von Hängerausfall im FLS, auch im ULS zwingend.

Es ist noch zu klären, ob durch die Anordnung von mehr Hängern die Querschnitte dieser verringert werden können. Dazu werden Biegemomente, die fast ausschließlich aus dem Eigengewicht resultieren, und die Normalkräfte zufolge aller Lasten in Hängermitte betrachtet. Es werden jene Hänger mit maximalen Biegemomenten bzw. maximalen Zugkräften untersucht. Betrachtet werden Anordnungen bei einem Winkel α bzw. φ von 56° , da dieser sich als am günstigsten erwiesen hat. Verglichen werden 36 mit 46 Hängern, da diese die Extremwerte der vorgeschlagenen Anzahl für Brücken von 100 m sind.

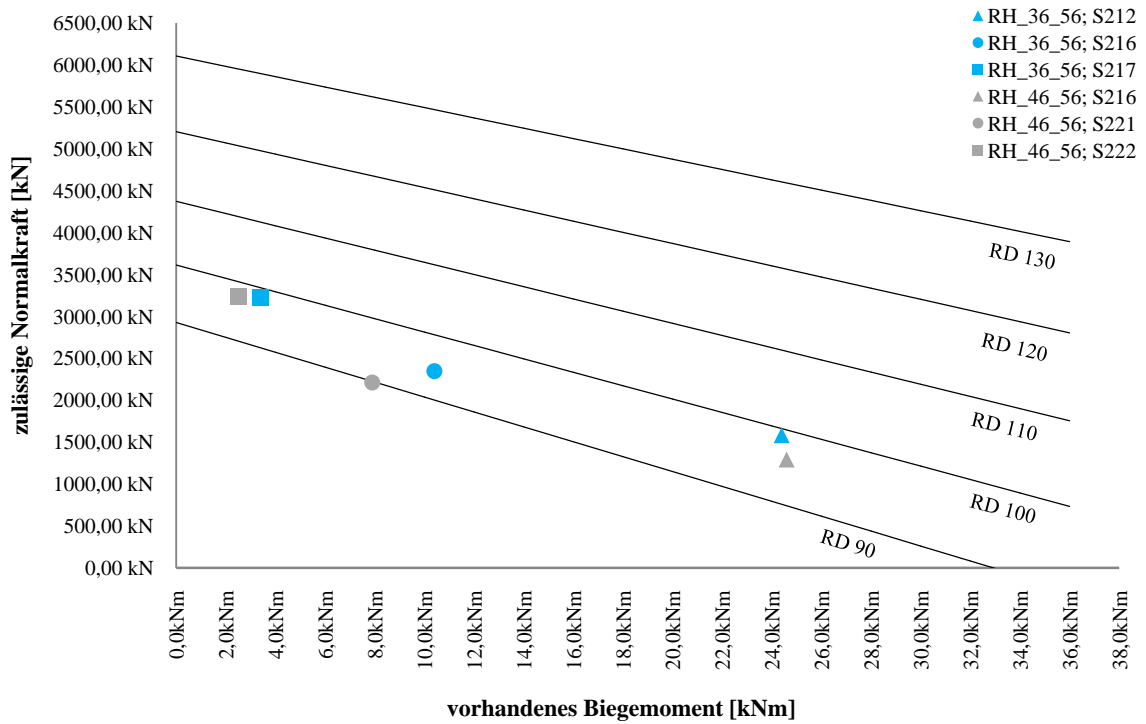


Diagramm 62 Momenten-Normalkraftdiagramm für Rundstähle; radiale Hängeranordnung

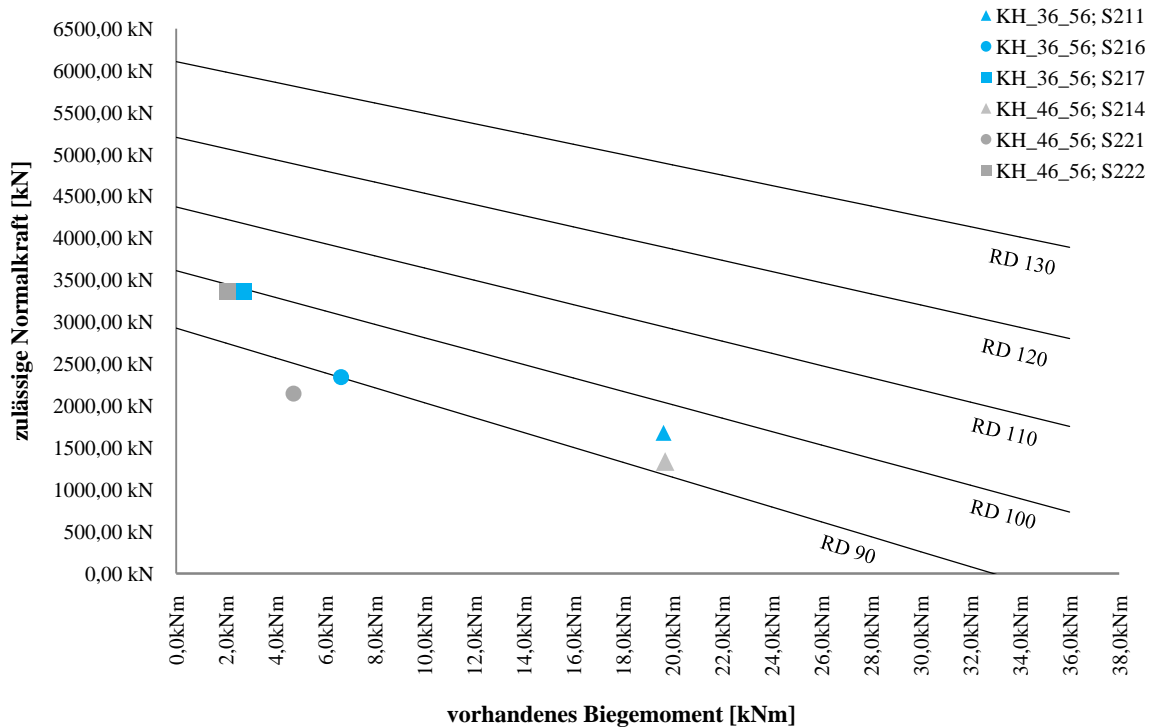


Diagramm 63 Momenten-Normalkraftdiagramm für Rundstähle; konstante Hängerneigungsänderung

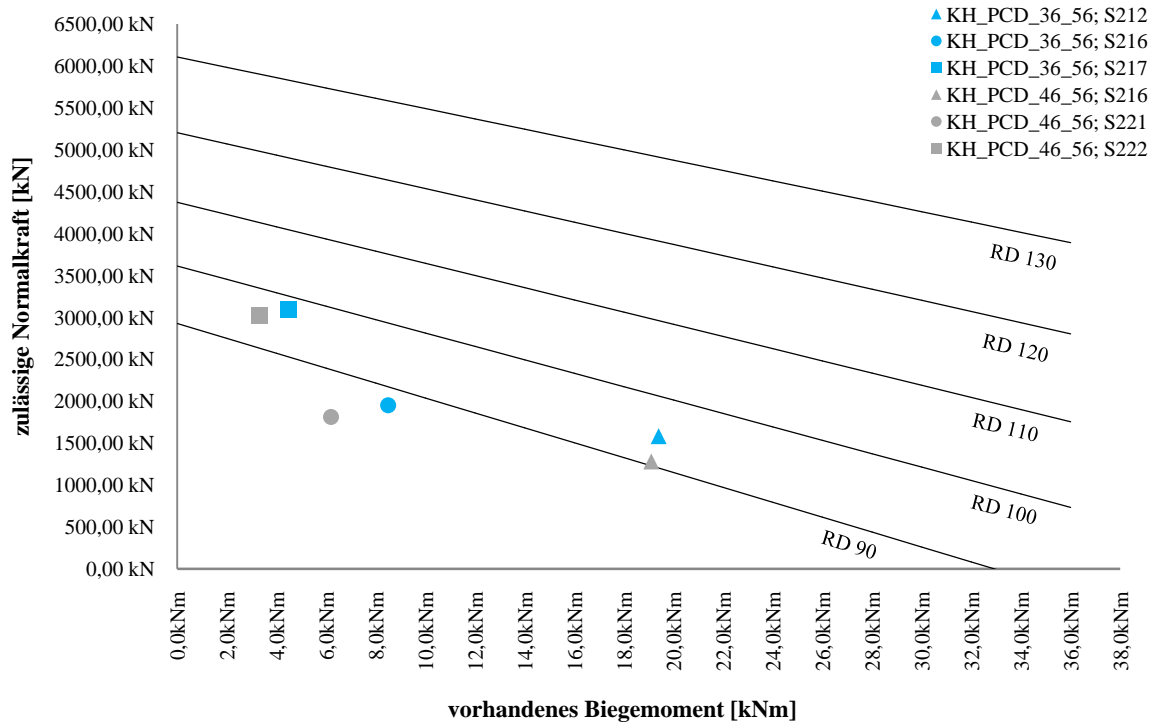


Diagramm 64 Momenten-Normalkraftdiagramm für Rundstähle; Hängeranordnung nach PCD-ZT

Alle drei Diagramme zeigen, dass in diesem speziellen Fall die Anordnung von 46 Hängern gegenüber 36 keinen Einfluss auf die Wahl des Hängerquerschnittes hat.

Im besten Fall ist es möglich, mit einer höheren Hängeranzahl genau einen Querschnittsprung zu erzielen. Für das gegebene Projekt scheint es logisch, eine Hängeranordnung mit 36 Hängern zu wählen, da auch mit 10 Hängern mehr je Set keine Einsparung beim Querschnitt der Hänger möglich ist. Im Einzelfall bleibt zu bewerten, ob der Mehraufwand bei Herstellung, Transport und Einbau und die damit verbundenen Kosten eine Anordnung von mehr als 36 Hängern rechtfertigen.

15 Betrachtung weiterer Netzgeometrien

15.1 Zielsetzung

Aufgrund der in Kapitel 14 gewonnenen Erkenntnisse sollen in weiterer Folge zusätzliche Netzgeometrien untersucht werden, um den Optimierungsprozess weiter voranzutreiben.

Wie in 14.2.4 und 14.3.4 beschrieben, erweist sich für alle drei unterschiedlichen Netzgeometrien, das Netz als besonders günstig, bei dem die Hängeranzahl 36 beträgt und der Winkel α bzw. φ mit 56° gewählt wurde.

Als Konsequenz daraus werden für jede der Varianten 4 weitere Netzgeometrien untersucht. Berechnet werden Anordnungen für 36 und 46 Hänger mit α bzw. φ von 50° und 54° . Diese Werte liegen auch innerhalb der optimierten Grenzen, die in dem Artikel [15] vorgeschlagen werden, der während der Berechnungen veröffentlicht wurde.

Es ergeben sich die folgenden Entwurfsparameter.

$n_H =$	18	
$\beta =$	50°	54°
$n_H =$	23	
$\beta =$	50°	54°
nH...Anzahl der Hänger je Set		

Tabelle 10 Hängeranzahl je Set und Hänger-Bogen-Winkel für die zusätzlichen Netze bei radialer Hängeranordnung

$n_H =$	18		
$\varphi =$	50°	54°	56°
$\varphi_0 =$	80°	80°	80°
$\Delta\varphi =$	$3,33^\circ$	$2,89^\circ$	$2,67^\circ$
$n_H =$	23		
$\varphi =$	50°	54°	56°
$\varphi_0 =$	80°	80°	80°
$\Delta\varphi =$	$2,61^\circ$	$2,26^\circ$	$2,09^\circ$
nH...Anzahl der Hänger je Set			

Tabelle 11 Hängeranzahl je Set, Startwinkel φ_0 , Winkeldekrement $\Delta\varphi$ und Winkel der Hänger in Brückenmitte φ für die zusätzlichen Netze bei Variante 2 und Variante 3

15.2 Modifikation der konstanten Hängerneigungsänderung

Wie die Berechnungen in 14 gezeigt haben, verhält sich der erste fallende Stab (200) eines jeden Netzes äußerst ungünstig. Er erhält in allen Grenzzuständen ausschließlich hohe Druckkräfte. Dies begründet sich darin, dass der Stab aufgrund der Generierungsvariante des Netzes sehr nahe des Kämpferbereiches zu liegen kommt. Für die weiteren Berechnungen wird die in 11.2 beschriebene Generierungsvorschrift leicht modifiziert. Der Bogen wird in $2 \cdot (n_H + 1) + 1$ Teile geteilt. Der erste fallende Hänger schließt nun im dritten Teilungspunkt am Bogen an. Somit kommt der Randhänger in einer größeren Entfernung zum Kämpfer zu liegen und das Netz beginnt wie Variante 1 mit einem liegenden Hänger.



Abbildung 70 Netzgeometrie der konstanten Hängerneigungsänderung nach Modifikation der Netzgenerierung

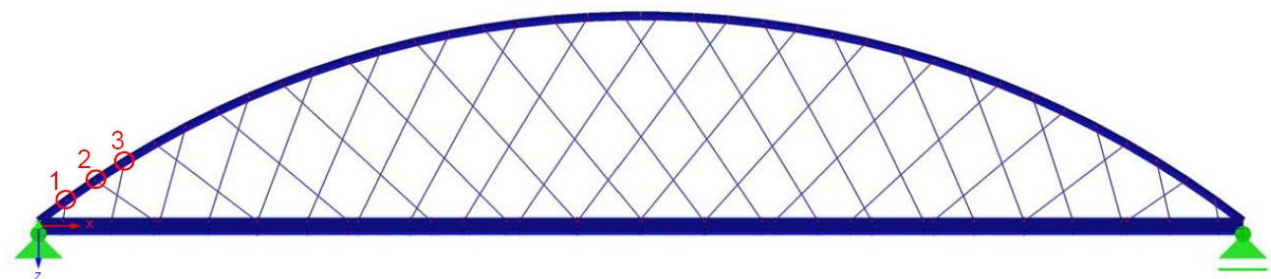


Abbildung 71 Netzgeometrie der konstanten Hängerneigungsänderung vor Modifikation der Netzgenerierung

Die folgenden Diagramme sollen die Vorteile der neuen Anordnung der Stäbe im Kämpferbereich verdeutlichen.

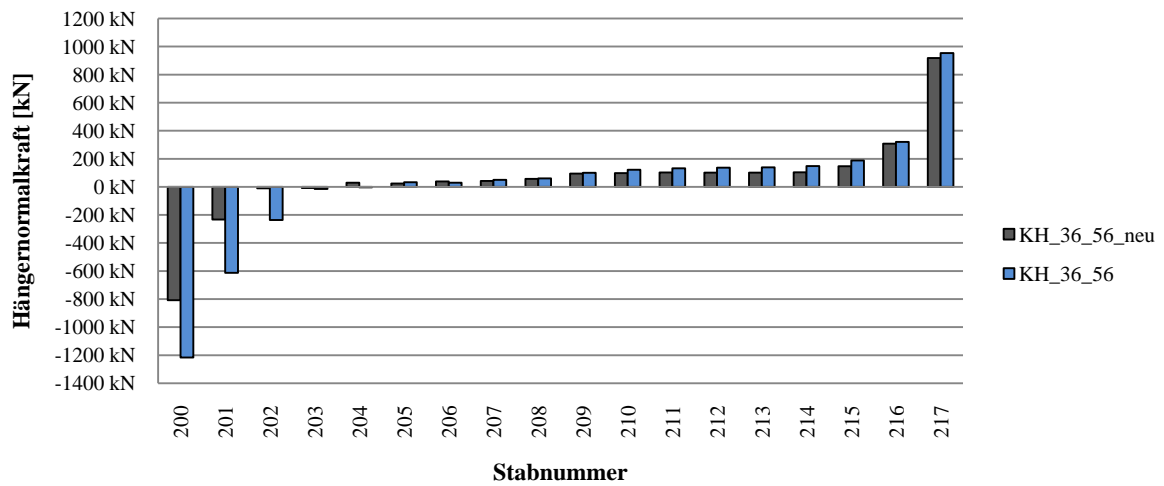


Diagramm 65 Minimale Hängernormalkräfte im FLS bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ$

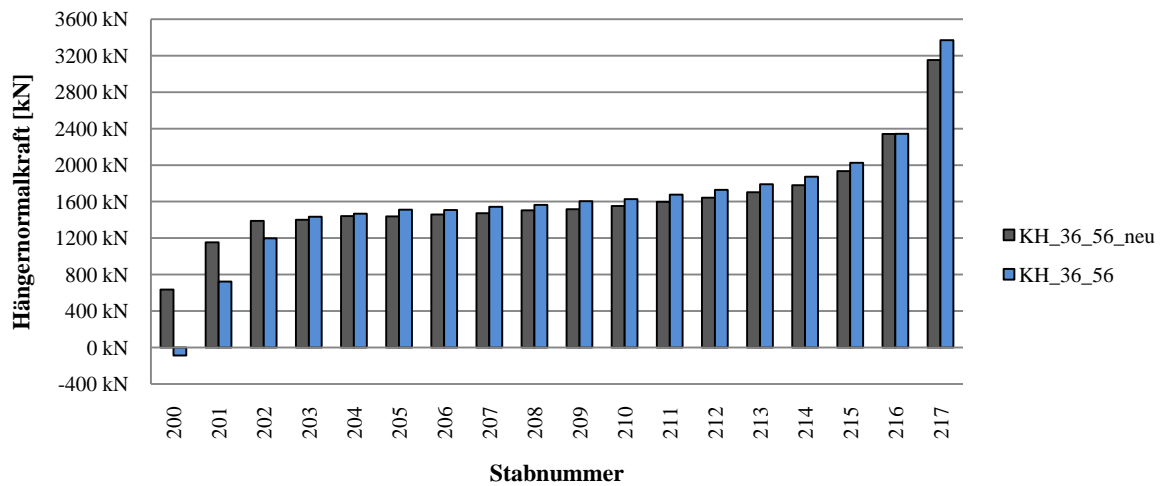


Diagramm 66 Maximale Hängernormalkräfte im ULS bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ$

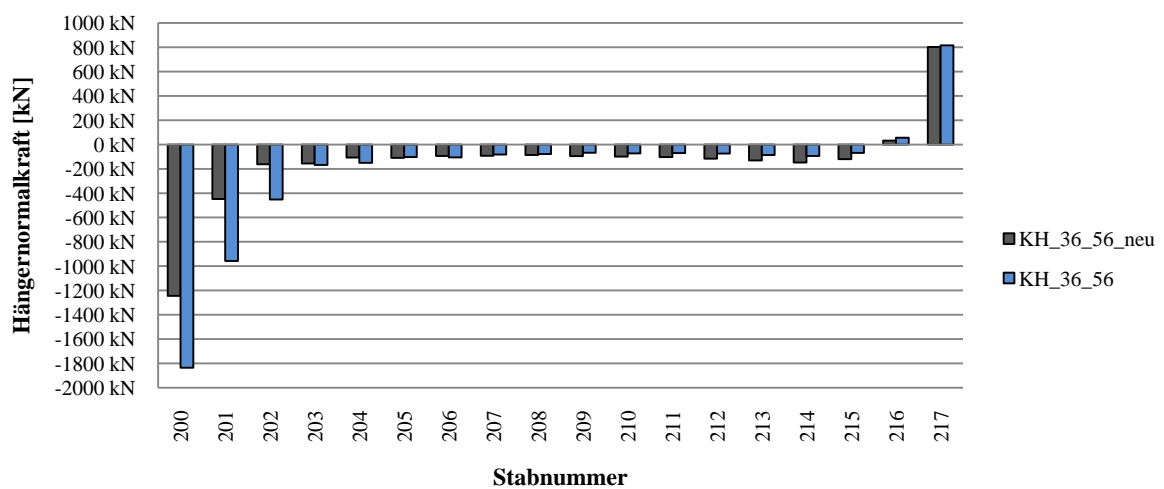


Diagramm 67 Minimale Hängernormalkräfte im ULS bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ$

Verglichen werden die Anordnungen vor und nach der Modifikation, bei 36 Hängern und einem Winkel von 56° bezüglich Hängerausfall im FLS und maximaler Hängernormalkräfte im ULS.

Im Grenzzustand der Ermüdung ist eine deutliche Verbesserung zu erkennen. Die Anzahl der ausfallenden Hänger im Regelbereich kann reduziert werden und auch die Problematik im Störbereich wird entschärft.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit stellt sich eine gleichmäßigere Verteilung der Hängerkraften im Regelbereich ein. Die mittlere maximale Normalkraft sinkt deutlich. Der erste Hänger, der zuvor lediglich Druckkräfte erhalten hat, weist nun eine Zugkraft von über 500kN auf. Die minimalen Hängerkraften im Störbereich werden stark reduziert und im Regelbereich nur geringfügig vergrößert.

Unabhängig von der gewählten Netzvariante lässt sich empfehlen, den Abstand des ersten Hängers eines jeden Hängersets zum Kämpfer größer zu wählen als den Abstand der Hänger innerhalb dieses Sets. Der Abstand zum Kämpfer wird als ein ganzzahliges Vielfaches des Abstandes der einzelnen Hänger innerhalb eines Netzes gewählt. In diesem Fall ergibt sich der Abstand als der dreifache Abstand der Hänger innerhalb des Netzes. Durch diese Art der Anordnung ergibt es sich, dass der am nächsten zum Kämpfer gelegene Stab der letzte eines jeden Hängersets ist.

Für die weiteren Berechnungen kommt ausschließlich die modifizierte Variante der konstanten Hängerneigungsänderung zur Anwendung.

Für Variante 1 und Variante 3 müssen keine Änderungen vorgenommen werden, da sie bereits ein günstigeres Verhalten in den Kämpferbereichen aufweisen.

15.3 Zusammenfassung der Ergebnisse im Grenzzustand der Ermüdung (FLS)

15.3.1 Variante 1: Radiale Hängeranordnung

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die radiale Hängeranordnung bei 36 und 46 Hängern und Hänger-Bogen-Winkeln von 56° , 54° und 50° dargestellt.

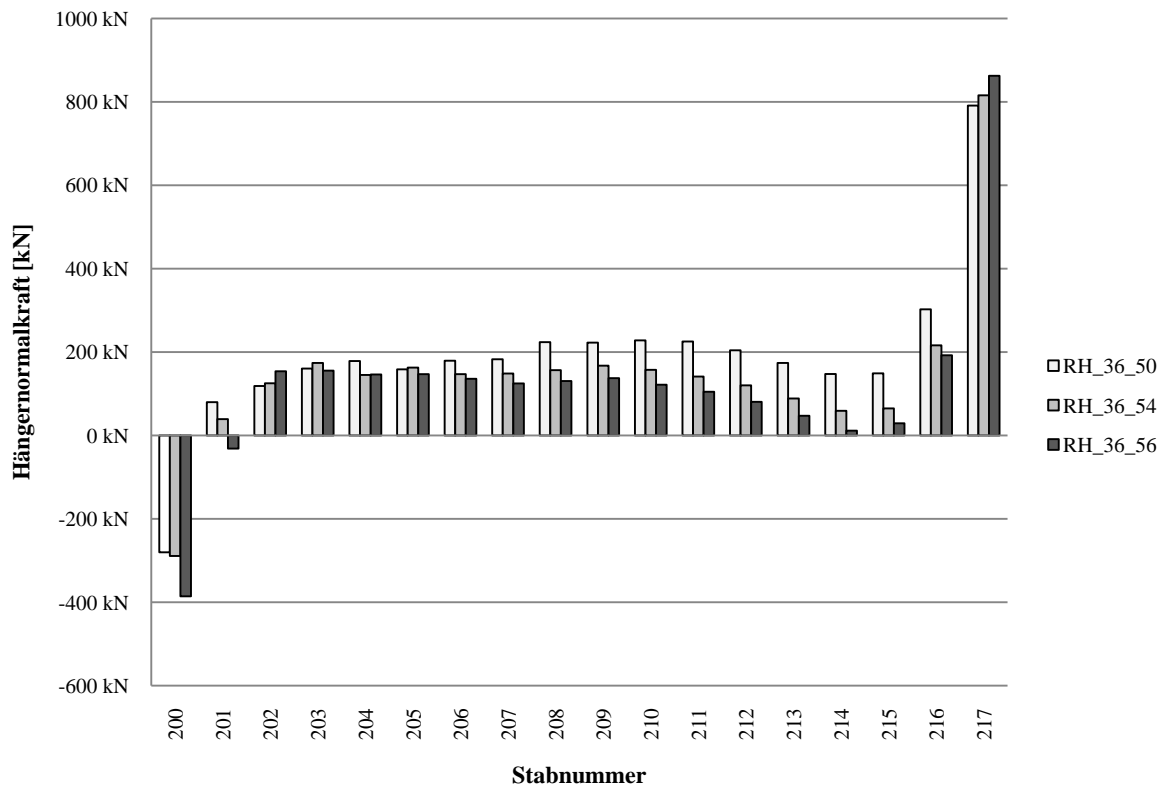


Diagramm 68 Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

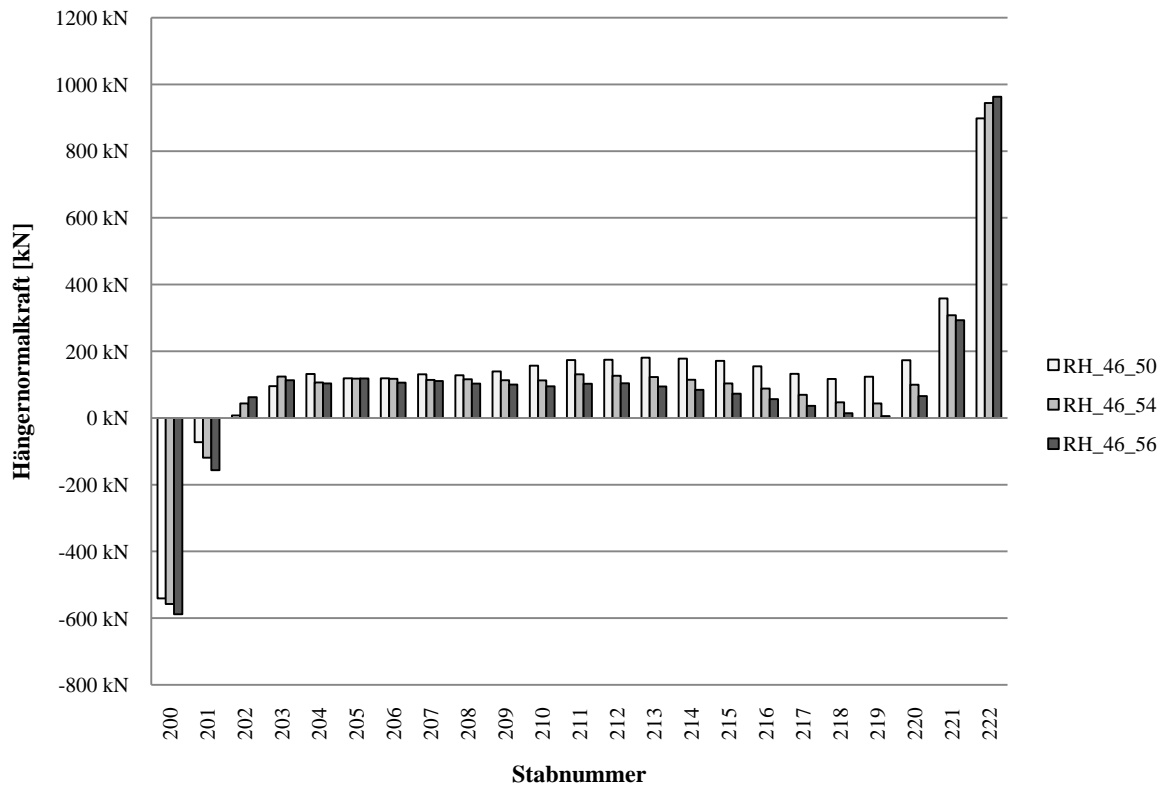


Diagramm 69 Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

Die zusätzlich untersuchten Netze weisen dieselben Charakteristika auf wie jene in 14. Aus den Diagrammen ist ersichtlich: Je kleiner der Winkel und je flacher die Hänger sind, desto leichter ist ein Hängerausfall zu vermeiden. Bei der radialen Hängeranordnung und den gewählten Winkeln lässt sich ein Hängerausfall im Regelbereich vollkommen ausschließen. Bei 36 Hängern reduziert sich selbst im Störbereich das Problem auf lediglich einen bzw. zwei Hänger. Eine Anordnung mit 46 Hängern zeigt ein ungünstigeres Verhalten. Hier fallen immer zwei Hänger im Störbereich aus.

15.3.2 Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die konstante Hängerneigungsänderung bei 36 und 46 Hängern und Winkeln von 56° , 54° und 50° dargestellt.

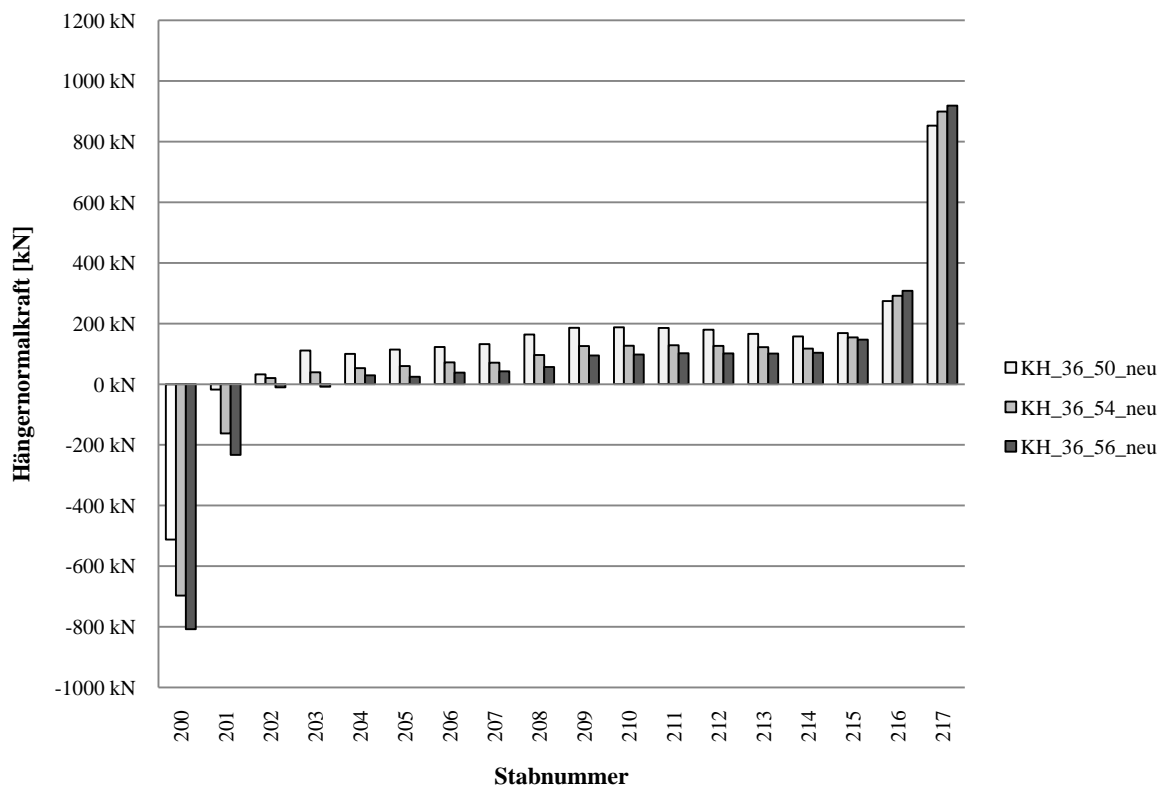


Diagramm 70 Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ$, 54° , 50°

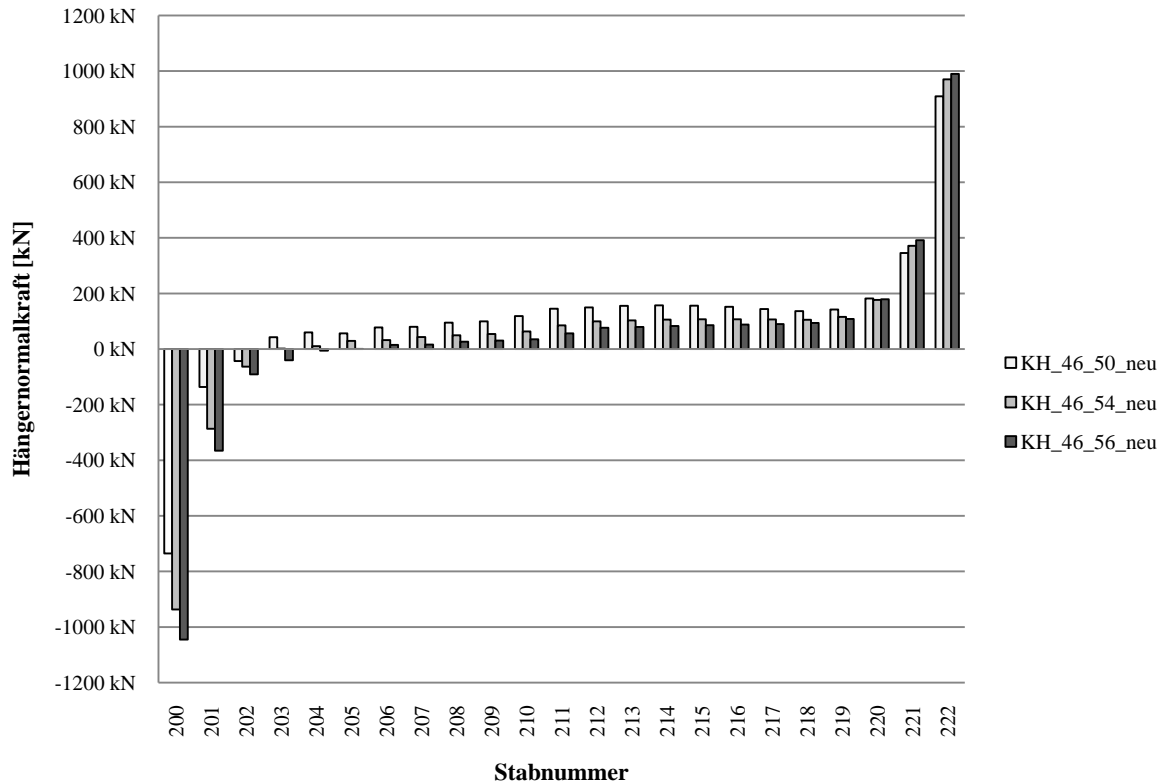


Diagramm 71 Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

Die zusätzlich untersuchten Netze weisen dieselben Charakteristika auf wie jene in 14.2.2. Aus den Diagrammen ist ersichtlich: Je kleiner der Winkel und je flacher die Hänger sind, desto leichter ist ein Hängerausfall zu vermeiden. Bei allen Hängeranzahlen mit Winkeln von 50° und 54° lässt sich ein Hängerausfall im Regelbereich vollkommen ausschließen. Bei 36 Hängern reduziert sich selbst im Störbereich das Problem auf lediglich zwei Hänger. Eine Anordnung mit 46 Hängern zeigt ein ungünstigeres Verhalten. Hier fallen alle Hänger im Störbereich aus.

15.3.3 Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die Hängeranordnung nach PCD ZT bei 36 und 46 Hängern und Winkeln von $56^\circ, 54^\circ$ und 50° dargestellt.

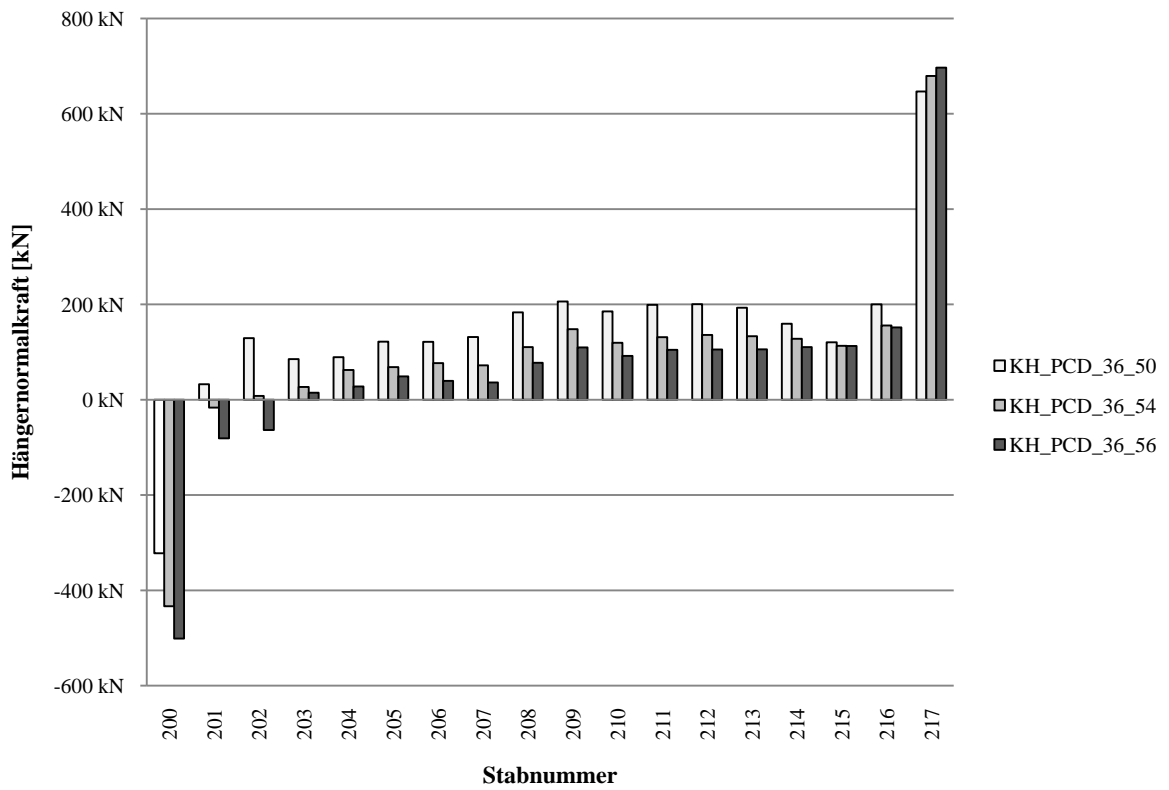


Diagramm 72 Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

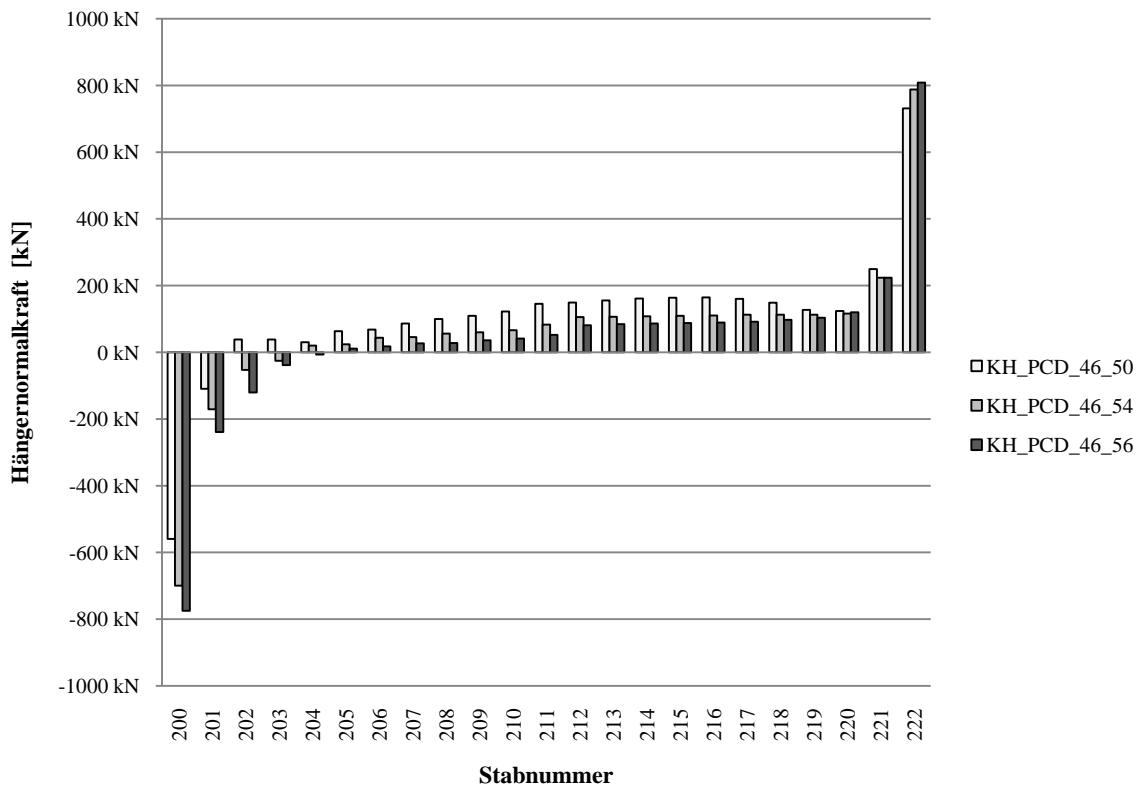


Diagramm 73 Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

Die zusätzlich untersuchten Netze weisen dieselben Charakteristika auf wie jene in 14.2.3. Aus den Diagrammen ist ersichtlich: Je kleiner der Winkel und je flacher die Hänger sind, desto leichter ist ein Hängerausfall zu vermeiden. Bei allen Hängeranzahlen und einem Winkel von 50° lässt sich ein Hängerausfall im Regelbereich vollkommen ausschließen. Für einen Hängewinkel von 54° bzw. 56° ist Hängerausfall im Regelbereich nur noch bei 36 Hängern zu vermeiden. Eine Hängeranzahl von 46 führt automatisch zu Hängerausfällen im Regelbereich. Bei 36 Hängern reduziert sich selbst im Störbereich das Problem auf lediglich einen bzw. zwei Hänger. Eine Anordnung mit 46 Hängern zeigt ein ungünstigeres Verhalten. Hier fallen zwei bzw. alle Hänger im Störbereich aus.

15.3.4 Interpretation und Bewertung der Ergebnisse

Vergleicht man die Ergebnisse und das Verhalten der neuen Netzvarianten mit dem aus 14.2.4, so zeigt sich ein verbessertes Tragverhalten in allen Bereichen.

Bei 36 Hängern und einem Winkel von 54° bzw. 50° gelingt es bei allen drei Varianten, die Problematik eines Hängerausfalls auf den Störbereich einzugrenzen. Für diesen müssen weitere Untersuchungen durchgeführt werden, um konstruktive Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen, die einem Hängerausfall auch in diesem Bereich entgegenwirken.

Für die Anordnungen bei 46 Hängern verbessert sich das Tragverhalten ebenfalls gegenüber den ursprünglich berechneten Netzen. Dennoch erweisen sich 46 Hänger als etwas ungünstiger als 36.

Prinzipiell liefern aber alle neuen Geometrien ein günstiges Tragverhalten bezüglich Hängerausfalls.

Zusätzlich werden, um weiter differenzieren zu können, die Normalkraftschwingbreiten im FLS für jede Netzgeometrie bei einem Winkel α bzw. φ von 54° und 50° bei den unterschiedlichen Hängeranzahlen dargestellt.

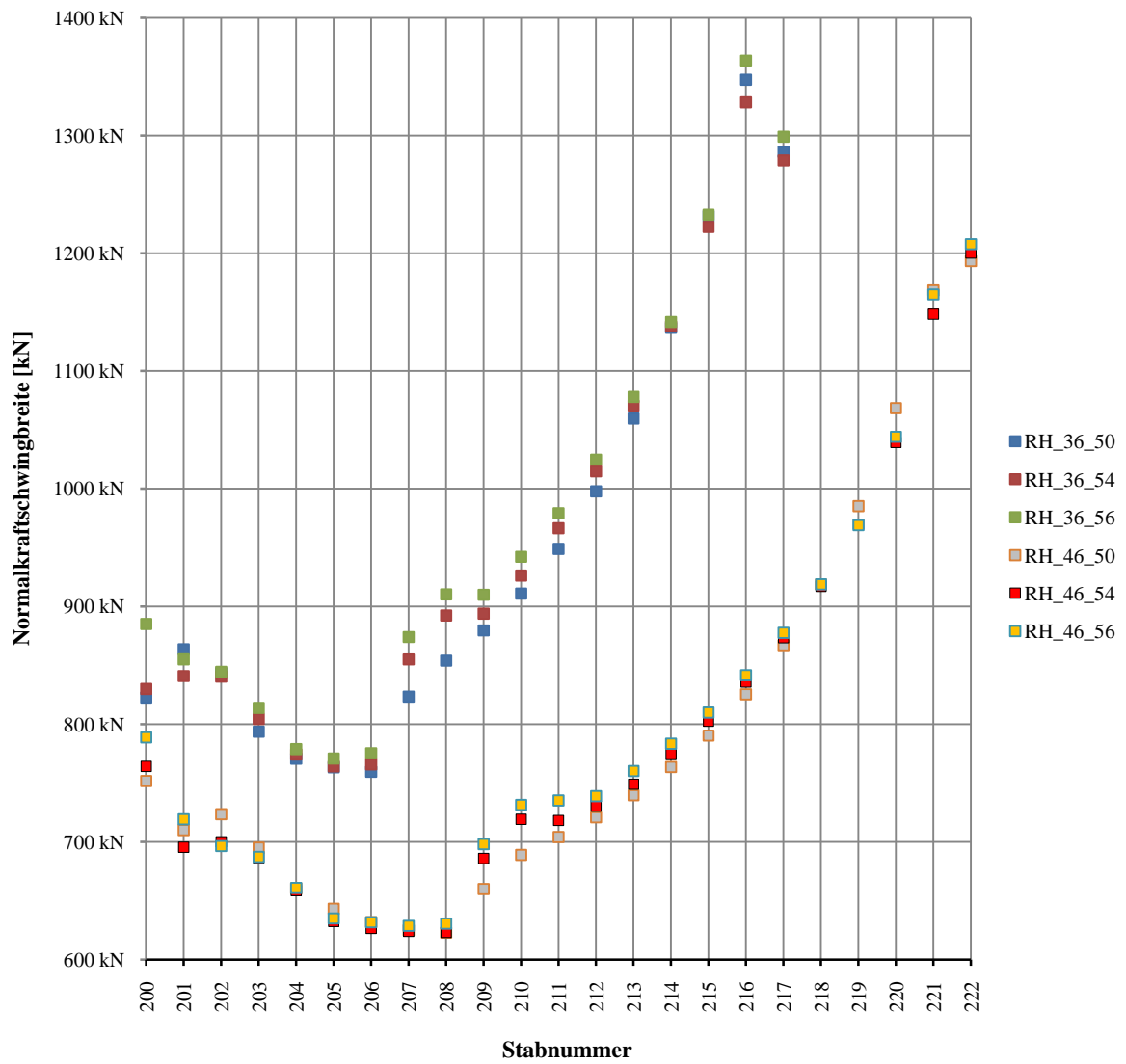


Diagramm 74 Normalkraftschwingbreite von Variante 1 bei einem $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$ und einer Hängeranzahl von 36 bzw. 46

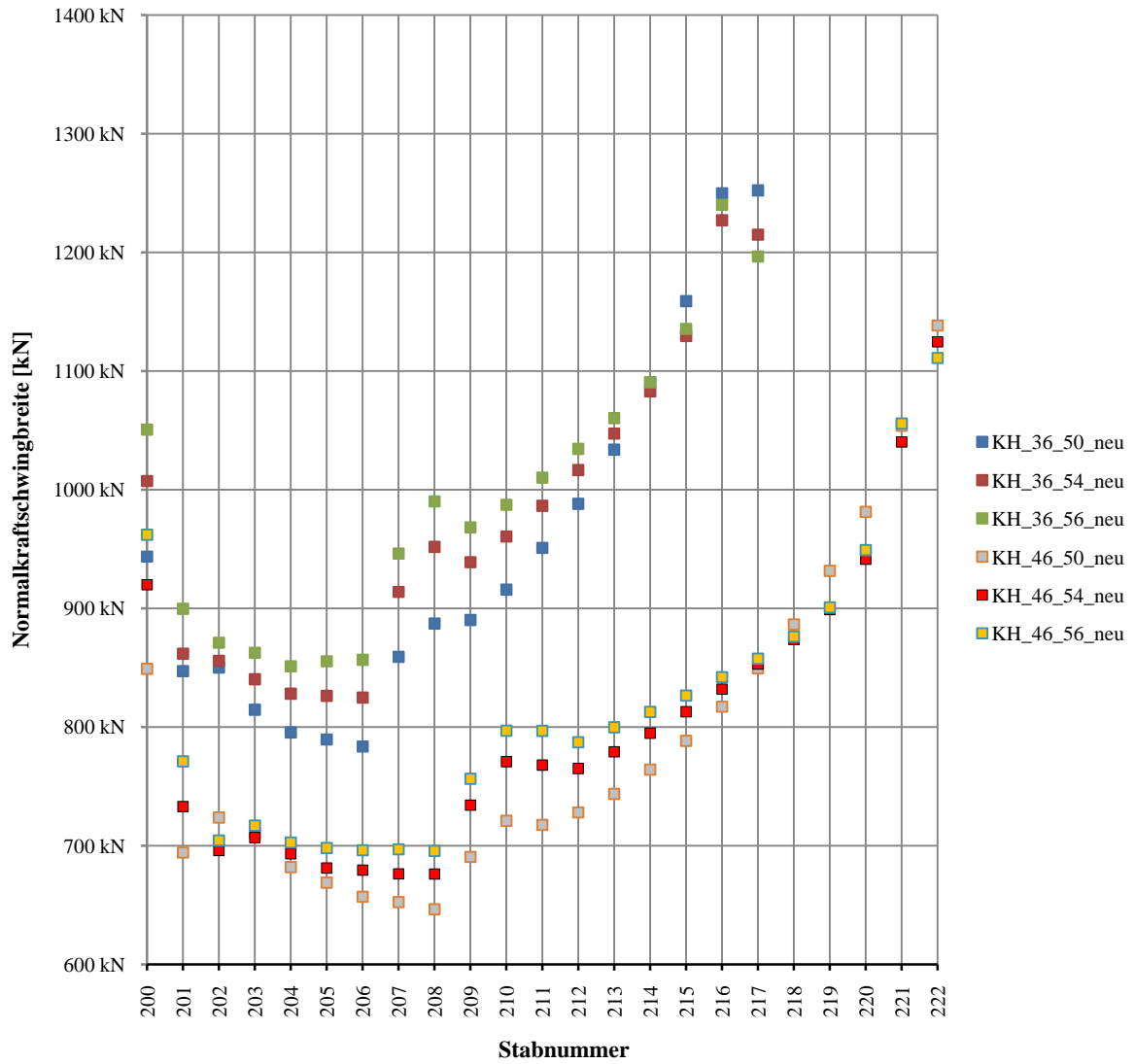


Diagramm 75 Normalkraftschwingbreite von Variante 2 bei einem $\alpha=56^\circ$, 54° , 50° und einer Hängeranzahl von 36 bzw. 46

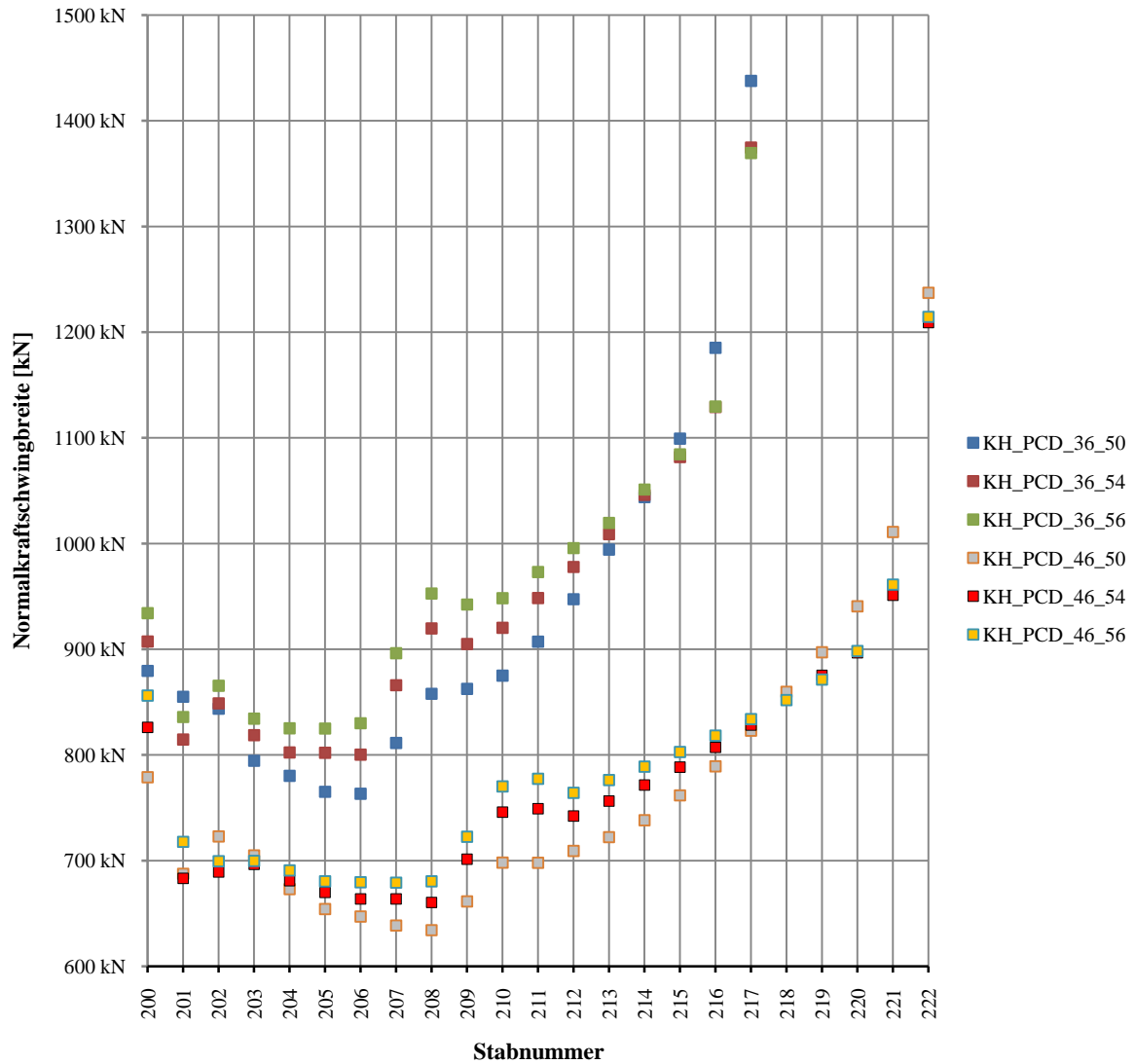


Diagramm 76 Normalkraftschwingbreite von Variante 3 bei einem $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$ und einer Hängeranzahl von 36 bzw. 46

Für alle Netzvarianten ist aus den obigen Diagrammen erkennbar, dass die Normalkraftschwingbreiten bei der Anordnung von 46 Hängern deutlich günstiger ausfallen. Im Regelbereich führt ein flacherer Winkel zu einem besseren Verhalten.

15.4 Zusammenfassung der Ergebnisse im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

15.4.1 Variante 1: Radiale Hängeranordnung

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die radiale Hängeranordnung bei 36 bzw. 46 Hängern bei Hänger-Bogen-Winkeln von 56° , 54° und 50° dargestellt.

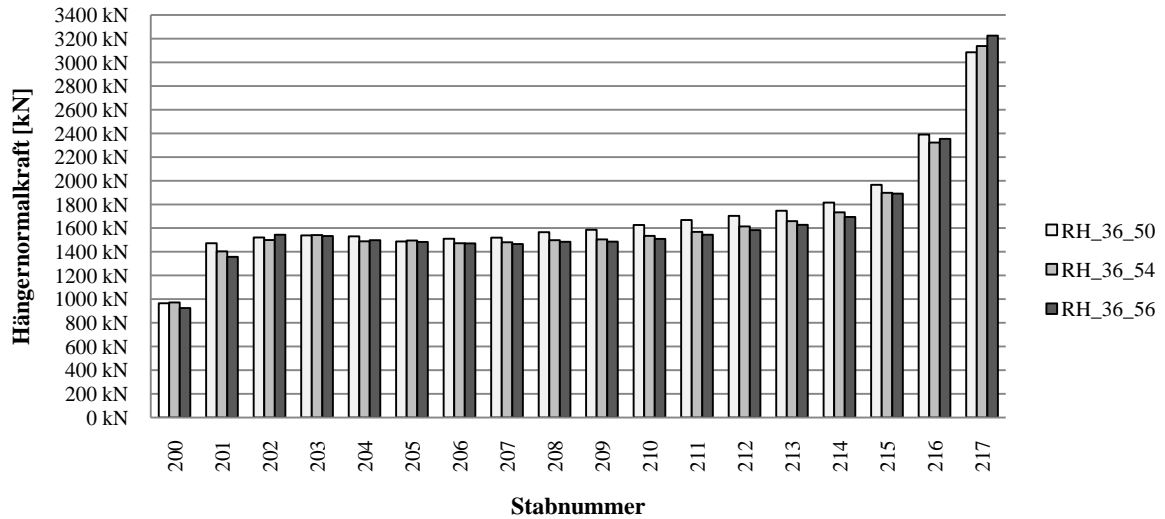


Diagramm 77 Maximale Hängernormkräfte bei 36 Hängern und $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

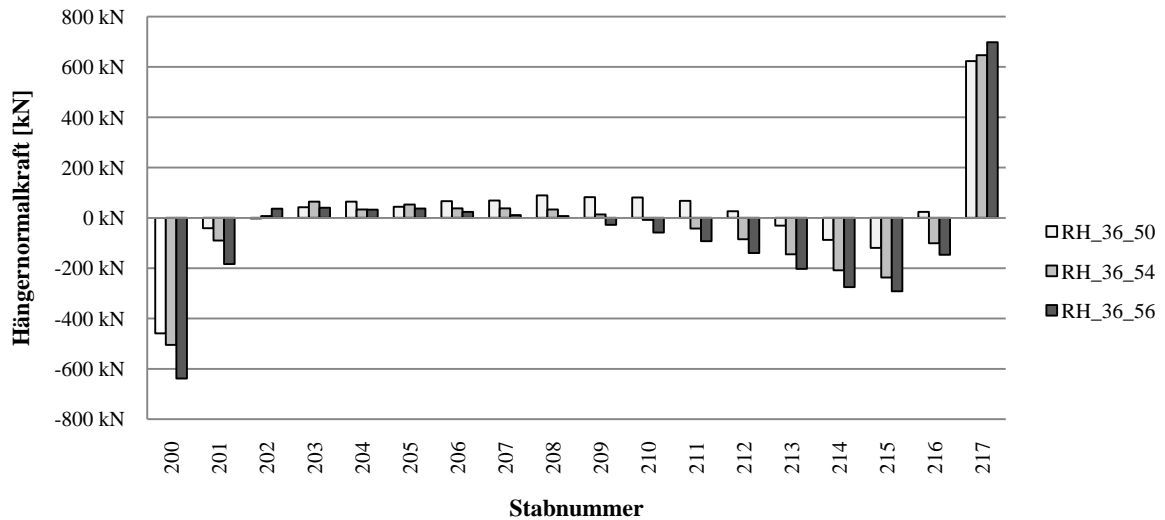


Diagramm 78 Minimale Hängernormkräfte bei 36 Hängern und $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

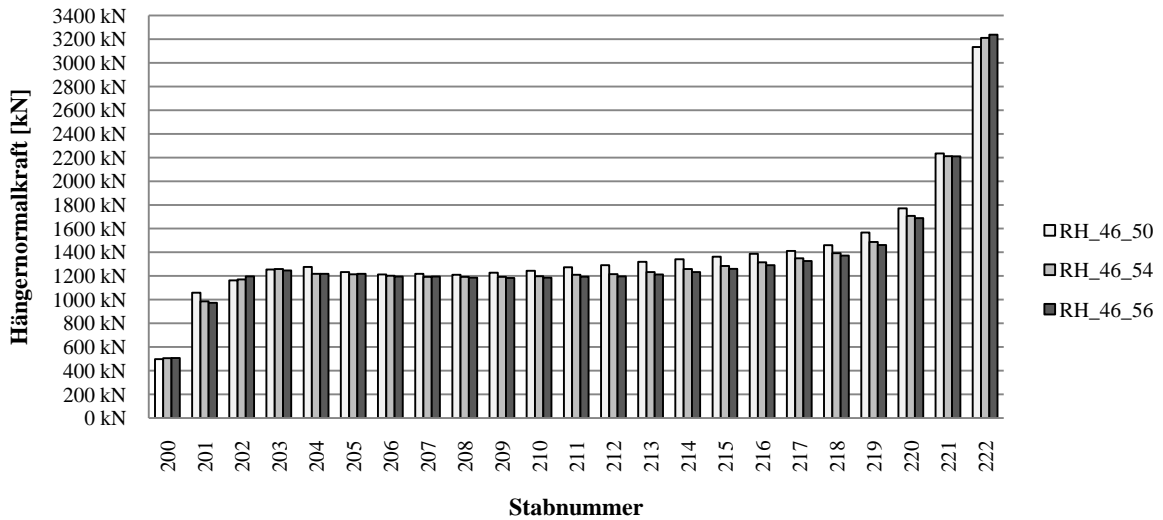


Diagramm 79 Maximale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

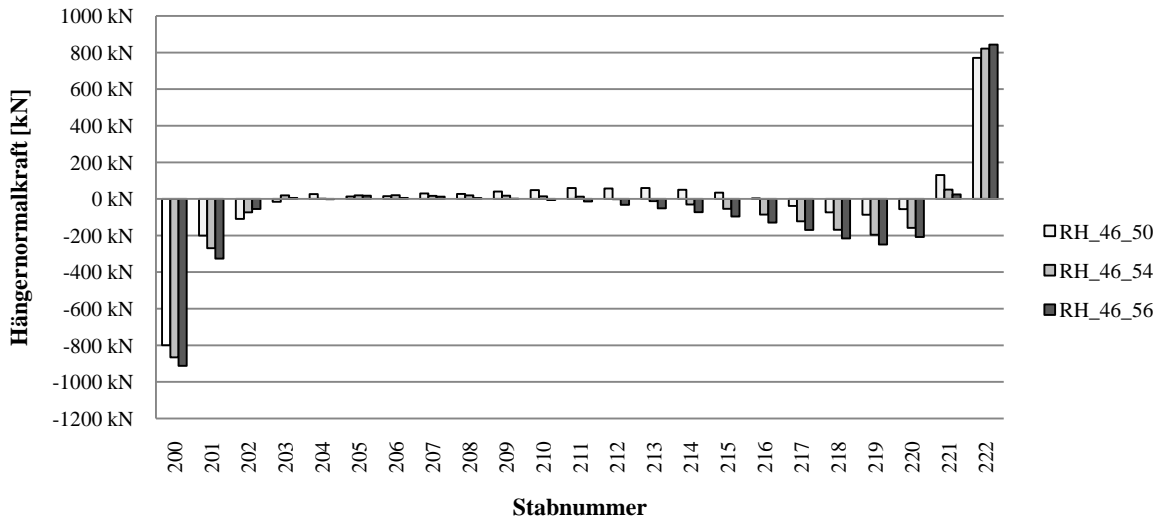


Diagramm 80 Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

In den Diagrammen lassen sich dieselben Beobachtungen machen wie in 14.3.1. Eine möglichst flache Anordnung ist auch im ULS im Hinblick auf die Vermeidung von resultierenden Druckkräften in den Hängern günstig.

Die mittleren maximalen Normalkräfte im Regelbereich steigen mit fallendem Winkel leicht an.

15.4.2 Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung

Nachfolgend werden die Ergebnisse für die konstante Hängerneigungsänderung bei 36 bzw. 46 Hängern für Winkeln von $56^\circ, 54^\circ$ und 50° dargestellt.

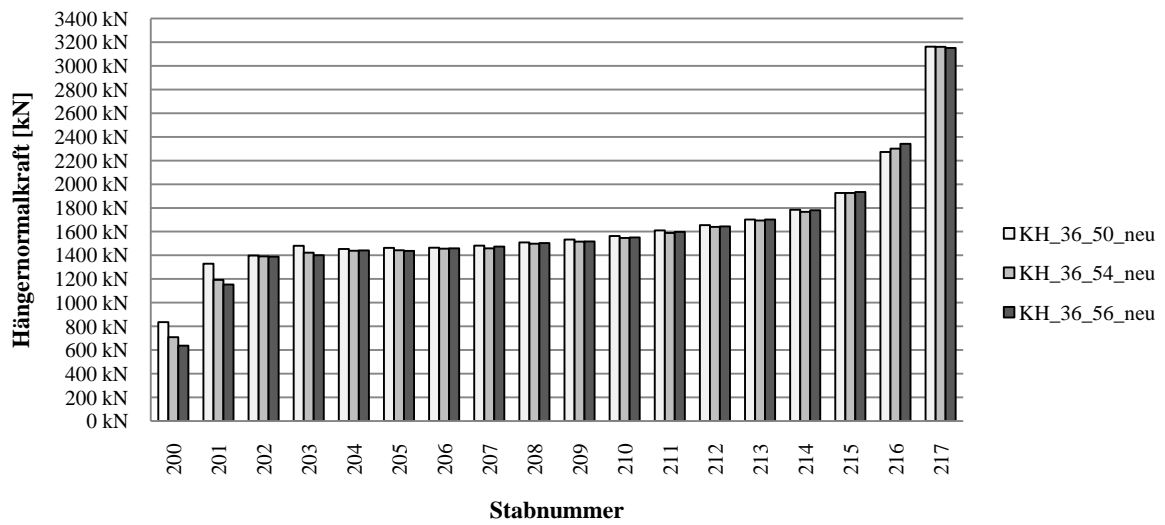


Diagramm 81 Maximale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

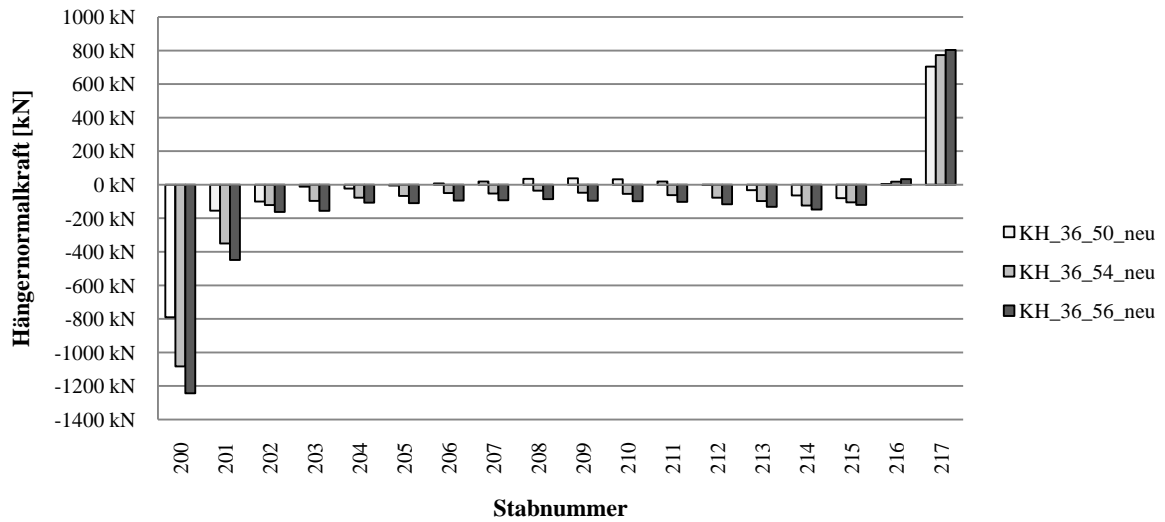


Diagramm 82 Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

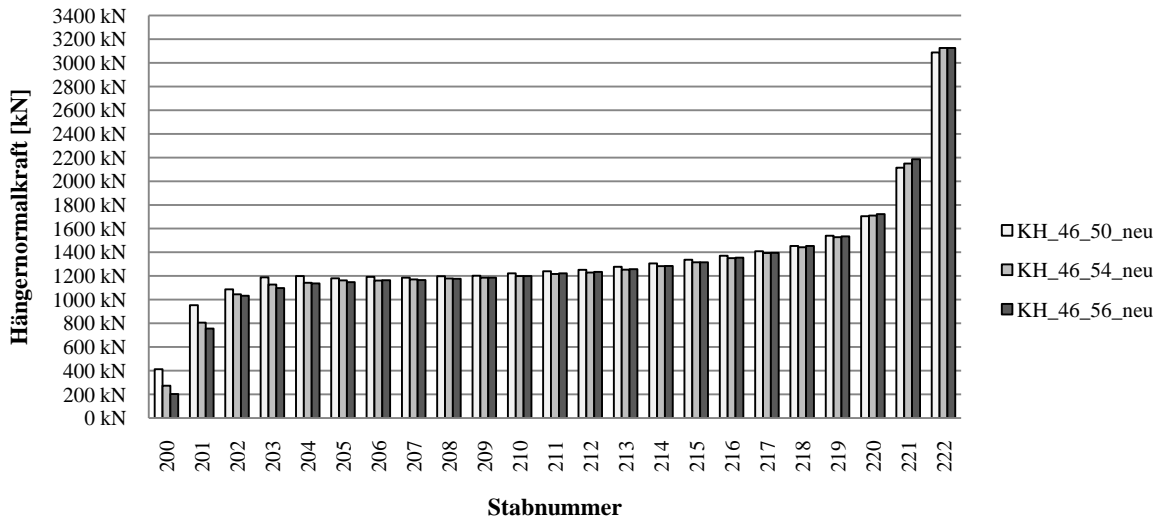


Diagramm 83 Maximale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

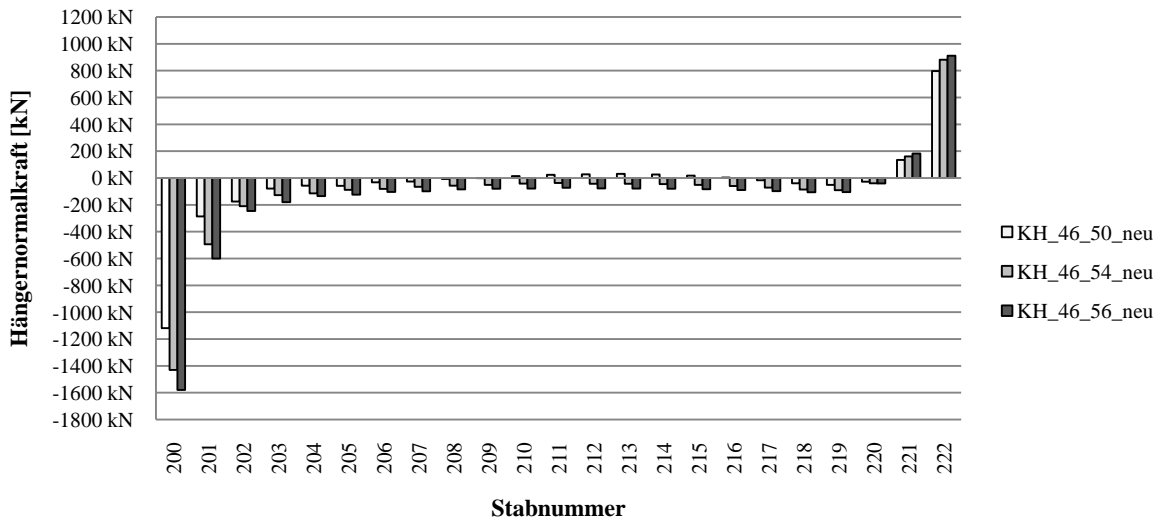


Diagramm 84 Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

In den Diagrammen lassen sich dieselben Beobachtungen machen wie in 14.3.2. Eine möglichst flache Anordnung ist auch im ULS im Hinblick auf die Vermeidung von resultierenden Druckkräften in den Hängern günstig.

Die mittleren maximalen Normalkräfte im Regelbereich steigen mit fallendem Winkel leicht an.

15.4.3 Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT

Nachfolgend werden die Ergebnisse für Variante 3 bei 36 bzw. 46 Hängern für Winkeln von $56^\circ, 54^\circ$ und 50° dargestellt.

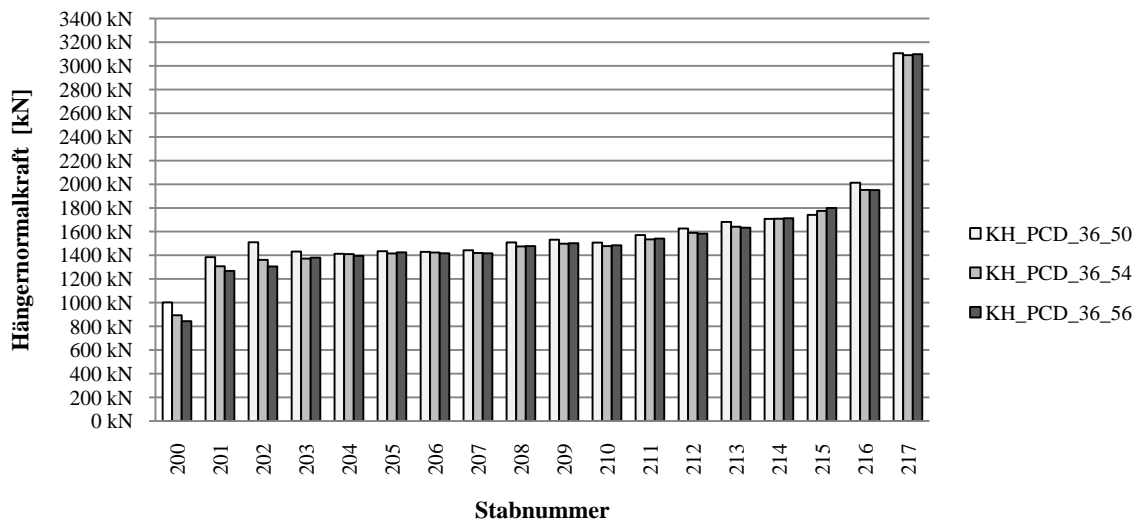


Diagramm 85 Maximale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

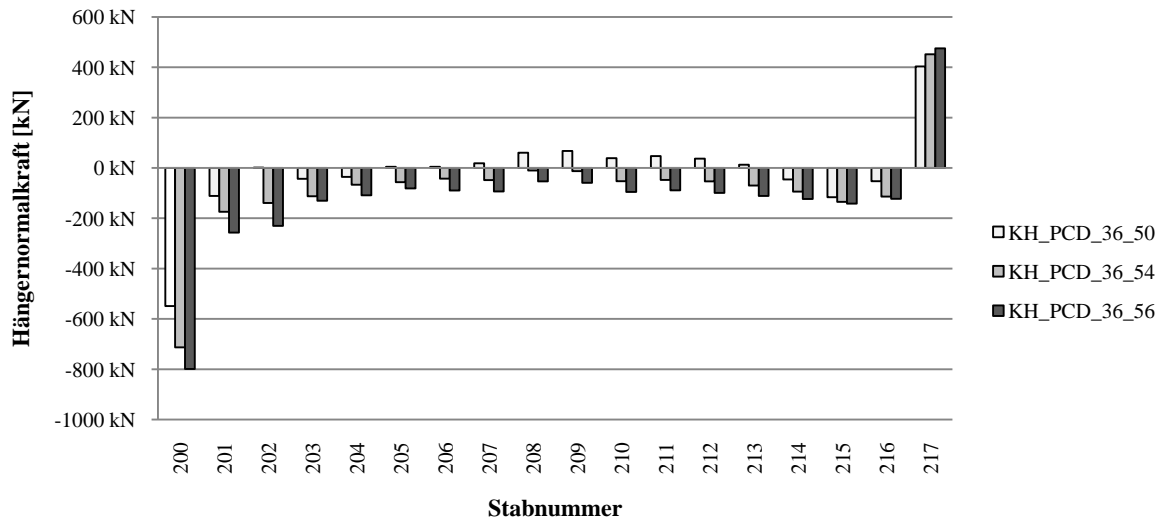


Diagramm 86 Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

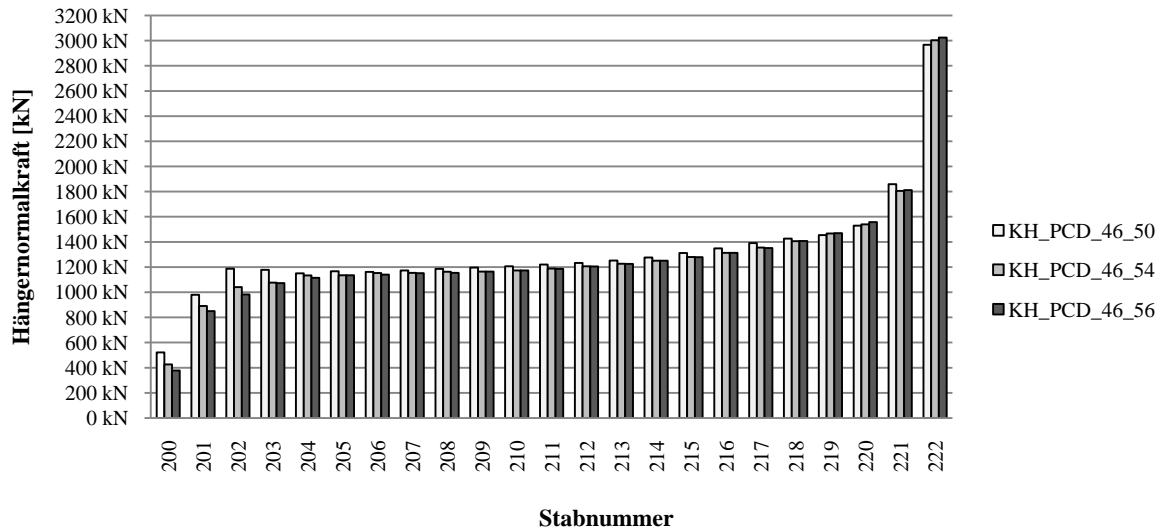


Diagramm 87 Maximale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

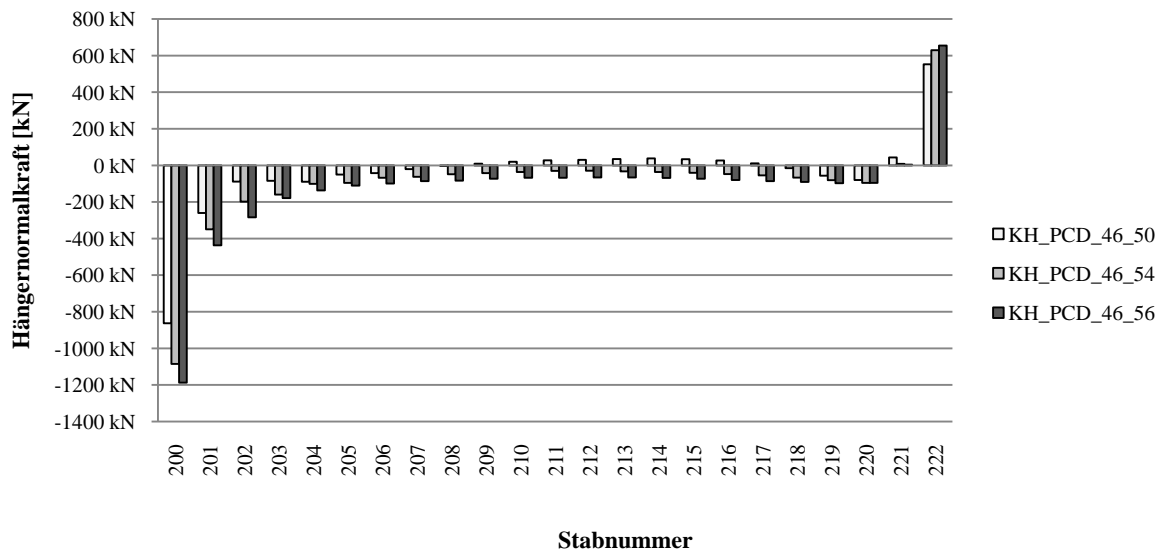


Diagramm 88 Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$

In den Diagrammen lassen sich dieselben Beobachtungen machen wie in 14.3.3. Eine möglichst flache Anordnung ist auch im ULS im Hinblick auf die Vermeidung von resultierenden Druckkräften in den Hängern günstig.

Die mittleren maximalen Normalkräfte im Regelbereich steigen mit fallendem Winkel leicht an.

16 Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse

Auf Basis der in 14 und 15 gewonnenen Erkenntnisse wird für jede der drei Varianten eine Netzgeometrie gewählt, die das günstigste Tragverhalten im Grenzzustand der Tragfähigkeit und im Grenzzustand der Ermüdung aufweist.

Für die radiale Hängeranordnung wird das Netz mit 36 Hängern und einem Hänger-Bogen-Winkel von 56° gewählt, da bei Geometrien mit einem kleineren Winkel die Lieferlängen von 24 m, wie in 3 beschrieben, überschritten würden. Eine Anordnung von zusätzlichen Hängern macht keinen Sinn, da sie zu keinen Einsparungen bei den Querschnitten führt.

Bei der konstanten Hängerneigungsänderung fällt die Wahl auf ein Netz mit 36 Hängern und einem Winkel von 54° . Zwar verhält sich die Netzvariante bei geringeren Winkeln noch günstiger, jedoch würden auch hier die Lieferlängen für die Rundstahlhänger überschritten. Eine Reduzierung des Querschnittes bei der Anordnung von mehr Hängern ist ebenfalls nicht möglich.

Für die Variante 3 „Hängeranordnung nach PCD-ZT“ kommt die Netzgeometrie mit 36 Hängern und einem Winkel von 54° zur Anwendung. Dieses Netz wird mit derselben Begründung wie bei Variante 2 verwendet.

Die drei gewählten Varianten werden im Folgenden einander gegenübergestellt.

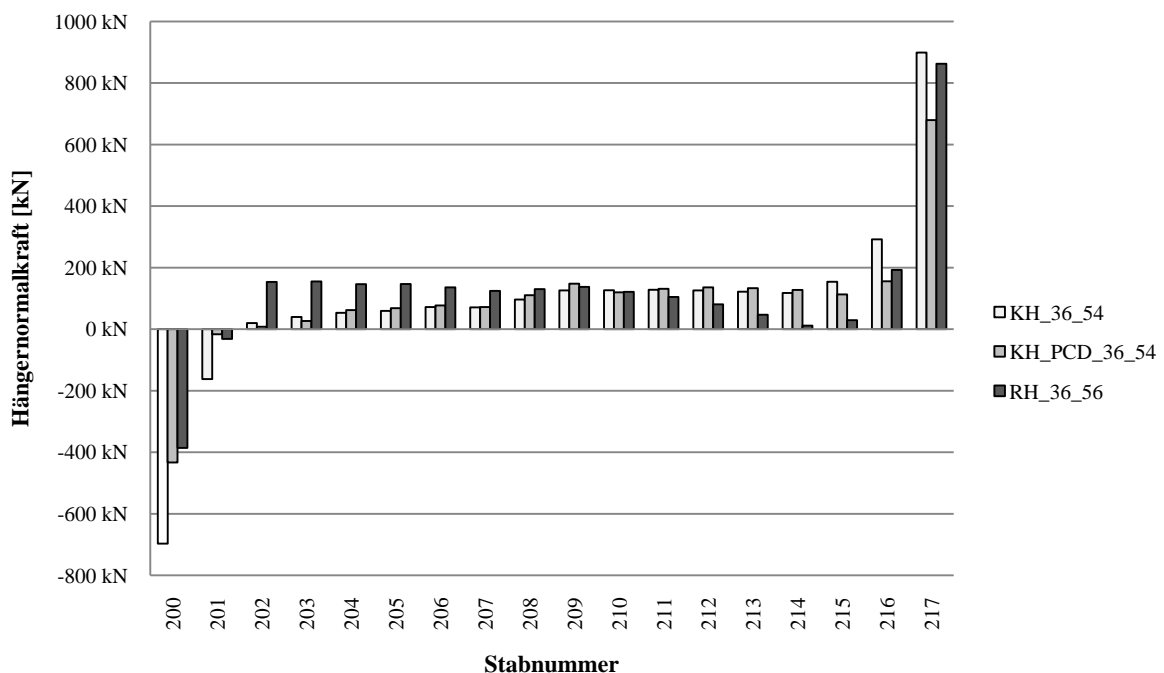


Diagramm 89 Minimale Hängernormalkräfte im FLS für die ausgewählten Netzgeometrien

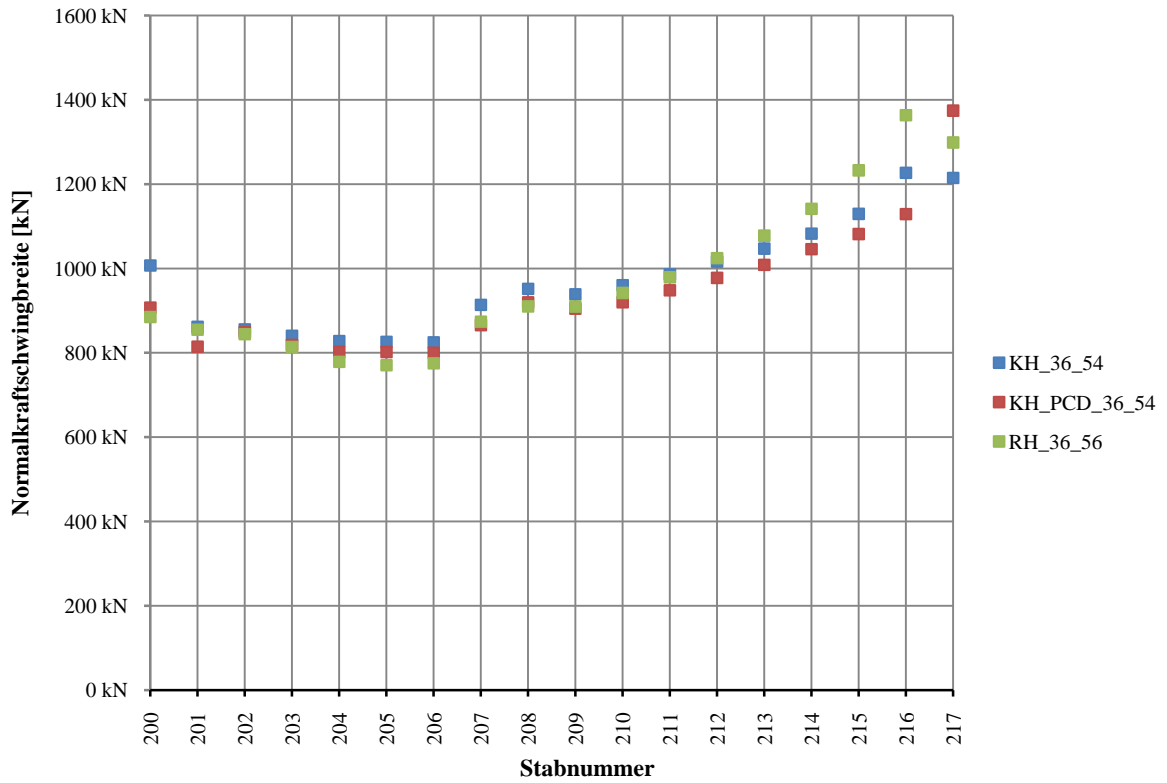


Diagramm 90 Normalkraftschwingbreiten im FLS für die ausgewählten Netzgeometrien

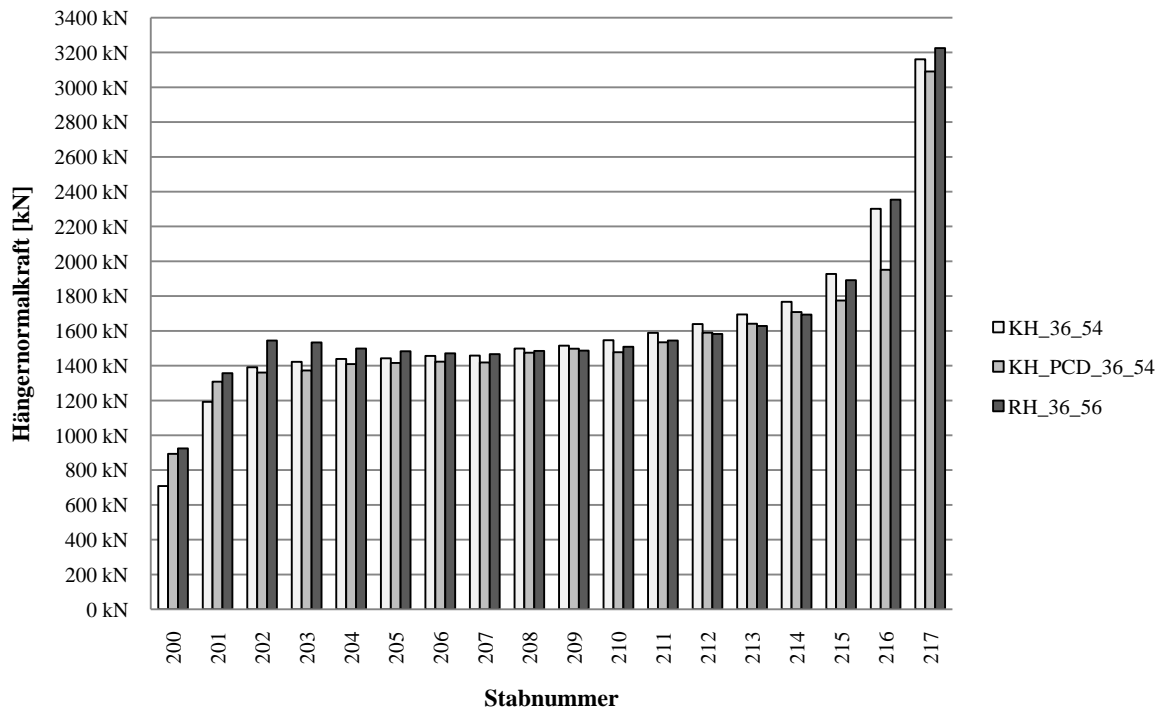


Diagramm 91 Maximale Hängernormalkräfte im ULS für die ausgewählten Netzgeometrien

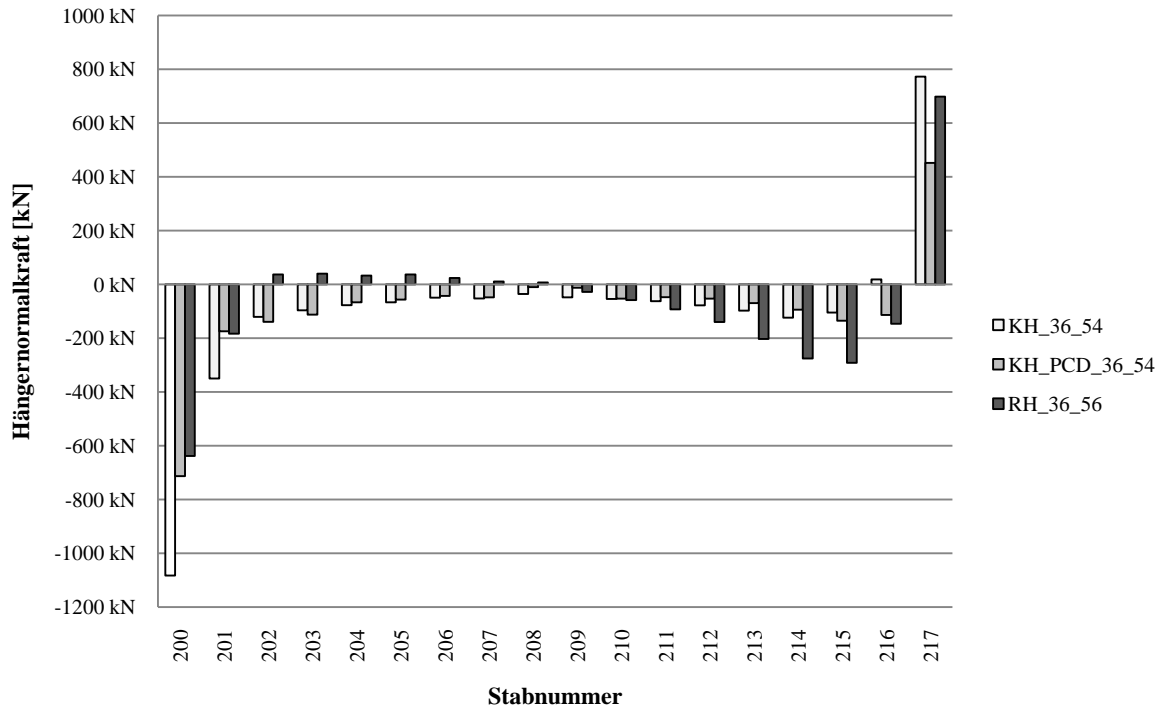


Diagramm 92 Minimale Hängernormalkräfte im ULS für die ausgewählten Netzgeometrien

Aus Diagramm 89 wird ersichtlich, dass es bei allen drei Hängeranordnungen gelingt, das Problem des Hängerausfalls auf die ersten zwei Hänger im Störbereich zu reduzieren. Auffallend ist, dass der Wert der Druckkraft im ersten Hänger bei Variante 2 deutlich größer ausfällt als bei den beiden anderen.

Die Normkraftschwingbreiten sind im Regelbereich annähernd gleich groß. Die maximale Schwingbreite tritt bei Variante 1 und 3 im letzten Hänger, bei Variante 2 im vorletzten Hänger eines Sets auf und fällt bei der konstanten Hängerneigungsänderung am geringsten aus.

Bezüglich der maximalen Hängernormalkräfte im Grenzzustand der Tragfähigkeit verhalten sich alle drei Netzanordnungen sehr ähnlich. Die Kräfte sind im Regelbereich gleichmäßig verteilt und zeigen im Störbereich vergleichbare Abweichungen. Bei keinem der Netze ist es zu vermeiden, dass unter Traglast Druckkräfte in den Hängern im Regelbereich auftreten. Variante 2 und 3 weisen im gesamten Regelbereich Druckkräfte auf, Variante 3 lediglich im Endbereich des Regelbereichs. Diese fallen dafür umso größer aus. Auf die Problematik der Druckkräfte in den Hängern im ULS wird in 17 eingegangen.

Anschließend werden für die drei Netzgeometrien Optimierungsvorschläge für die Kämpferbereiche erarbeitet.

17 Neues Nachweiskonzept für die Hänger im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Für die Vorbemessung der unterschiedlichen Netzgeometrien wurden alle Hänger als biege-
steife Balkenstäbe abgebildet, um eine nichtlineare Berechnung mit druckschlaffen Stäben zu
vermeiden. Die Hänger sind für die maximal resultierenden Zugkräfte im ULS zu dimensio-
nieren. Wie die Auswertung der Diagramme in 14 und 15 zeigt, ist es bei allen gewählten
Netzgeometrien nicht zu vermeiden, dass Hänger im ULS auch Druckkräfte aufweisen kön-
nen. Da es sich bei den Hängern um sehr schlanke Bauteile handelt, ist es nicht möglich, wie
in 14.3 vorgeschlagen, einen Knicknachweis bzw. einen Stabilitätsnachweis für Druck und
Biegung zu führen. Es scheint daher sinnvoll, den Hängerausfall nicht mehr wie in 14.1 für
den Grenzzustand der Ermüdung, sondern wie nachfolgend beschrieben zu definieren.

Es ist notwendig, ein neues Nachweiskonzept für die Hänger in Netzwerkbogenbrücken zu
erarbeiten, mit dem die Tragfähigkeit des Gesamtsystems nachgewiesen werden kann.

Der Nachweis besteht aus zwei Teilen:

Im ersten Teil wird nachgewiesen, dass keiner der Hänger unter der folgenden Lastkombina-
tion Druckkräfte aufweist und somit ausfällt.

$$F_d = \gamma_G * F_{G,k} + \gamma_Q * F_{Q,k} + \gamma_P * F_{P,k}$$

γ_G Teilsicherheitsbeiwert für ständige Lasten

γ_Q Teilsicherheitsbeiwert für Verkehrslasten

γ_P Teilsicherheitsbeiwert für Vorspannung

$F_{G,k}$ charakteristischer Wert aller ständig vorhandenen Lasten

$F_{Q,k}$ charakteristischer Wert aller Lasten, die Druckkräfte in einem Hänger bewirken kön-
nen. Für Eisenbahnbrücken sind die klassifizierten Lasten anzusetzen (inkl. α und Φ).

$F_{P,k}$ charakteristischer Wert der Vorspannkkräfte

Für den zweiten Teil des Nachweises wird untersucht, ob Hänger auf Traglastniveau Druck-
kräfte erhalten. Dazu sind die maßgebenden Laststellungen zu ermitteln. Die Hänger, welche
unter einer betrachteten Laststellung Druckkräfte aufweisen, werden aus dem Tragwerk ent-
fernt und das System wird erneut berechnet. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis kein
Hänger mehr eine negative Normalkraft besitzt. So ergibt sich ein Tragwerk mit einer gerin-
geren Hängeranzahl, das die maßgebenden Nachweise im ULS für alle Bauteile erfüllen
muss. Während des Berechnungsvorganges darf die gewählte Laststellung nicht verändert

werden. Erfüllt das gewählte System beide Teile des Nachweiskonzeptes, so ist eine ausreichende Tragfähigkeit des Bauwerks gewährleistet.

17.1 Nachweis Teil 1: Nachweis der Hänger gegen Ausfall

Um den Nachweis führen zu können sind im Vorfeld die Teilsicherheitsbeiwerte für ständige Lasten und Verkehrslasten zu definieren.

Für die ständigen Lasten und Vorspannung sind die Teilsicherheitsbeiwert γ_G , γ_P nach Tabelle 6 zu wählen, da eine Vorspannung im Stahlbau wie ständige Lasten zu behandeln ist. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_Q für Verkehrslasten muss für diesen Nachweis so festgelegt werden, dass für die charakteristischen Verkehrslasten eine ausreichende rechnerische Sicherheit gegen das Auftreten von Druckkräften in den Hängern gegeben ist. Es wird vorgeschlagen den ersten Teil des Nachweises mit einem Teilsicherheitsbeiwert γ_Q von mindestens 1,10 auf der Einwirkungsseite zu führen.

Der Nachweis kann aufgrund der in 18.1 erläuterten Problematik vorerst nur für die Hänger im Regelbereich erbracht werden. Die Randhänger erhalten immer Druckkräfte. Es müssen zusätzliche Maßnahmen im Kämpferbereich getroffen werden. Diese werden in 18 untersucht und müssen so gewählt werden, dass der Nachweis auch für die Randhänger erbracht werden kann. Es entsteht eine Netzgeometrie bei der in jedem Hänger ausschließlich Zugkräfte auftreten.

17.2 Nachweis Teil 2: Nachweis des Tragwerks

Der Nachweis des Tragwerks wird im Grenzzustand der Tragfähigkeit mit den in 13.5 aufgelisteten Teilsicherheitsbeiwerten geführt. Untersucht werden die jeweils ungünstig wirkenden Laststellungen für die einzelnen Hänger. Erhält ein Hänger eine Druckkraft, so entzieht er sich der Mitwirkung am Gesamtsystem. Die jeweils ungünstigste Laststellung wird durch Betrachtung der Einflusslinien der Hänger ermittelt. Für eine erste Abschätzung ist es ausreichend das Verhalten des Tragwerks bei Verkehrslasten über ein Viertel, die Hälfte bzw. Dreiviertel der Brückenlänge zu analysieren.

Für die Berechnung werden die Hänger als druckschlaffe Biegestäbe modelliert. Die ständigen Lasten und Verkehrslasten werden zu Lastfallgruppen kombiniert, was eine nichtlineare Berechnung des Systems ermöglicht. So lassen sich für jede beliebige Laststellung jene Hänger ermitteln, die sich einer Tragwirkung am Gesamtsystem entziehen.

Die Tragfähigkeit ist gewährleistet, wenn die notwendigen Nachweise für alle Bauteile und alle Laststellungen erbracht sind.

Nachfolgend wird exemplarisch für das Netz mit konstanter Hängerneigungsänderung, bei einer Verkehrsbelastung im ersten Viertel des Tragwerks, die Vorgehensweise gezeigt.

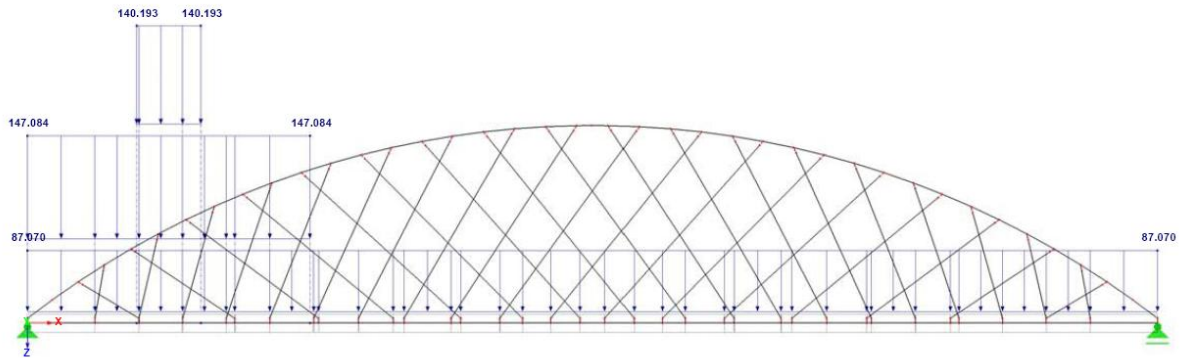


Abbildung 72 Lastfallgruppe: Ständige Lasten und LM71 auf Gl.1 und Gl.2



Abbildung 73 Normalkräfte in Hängerset 1 nach nichtlinearer Berechnung

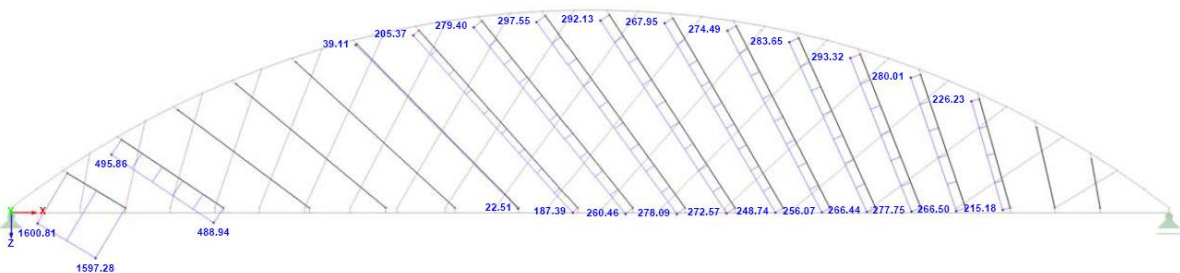


Abbildung 74 Ausfallende Hänger des Netzes nach nichtlinearer Berechnung der Lastfallgruppe

In Abbildung 74 lassen sich die ausfallenden Hänger eindeutig identifizieren.

Für die Dimensionierung der Bauteile müssen die Extremwerte der Schnittkräfte aller Berechnungen im ULS herangezogen werden.

Das neue Nachweiskonzept wird in 19 an den drei ausgewählten Netzgeometrien erprobt.

18 Optimierung der Kämpferbereiche

18.1 Einleitung

Die Berechnungen in 14 und 15 haben gezeigt, dass sich das Verhalten jener Hänger, die nahe der Kämpferbereiche des Bogens liegen, deutlich von denen in Brückenmitte unterscheidet. Am Anfang eines jeden Hängersets kommt es zu Druckkräften und am Ende zu erhöhten Zugkräften. Die Problematik lässt sich besonders gut anhand der Einflusslinien der betroffenen Hänger veranschaulichen.

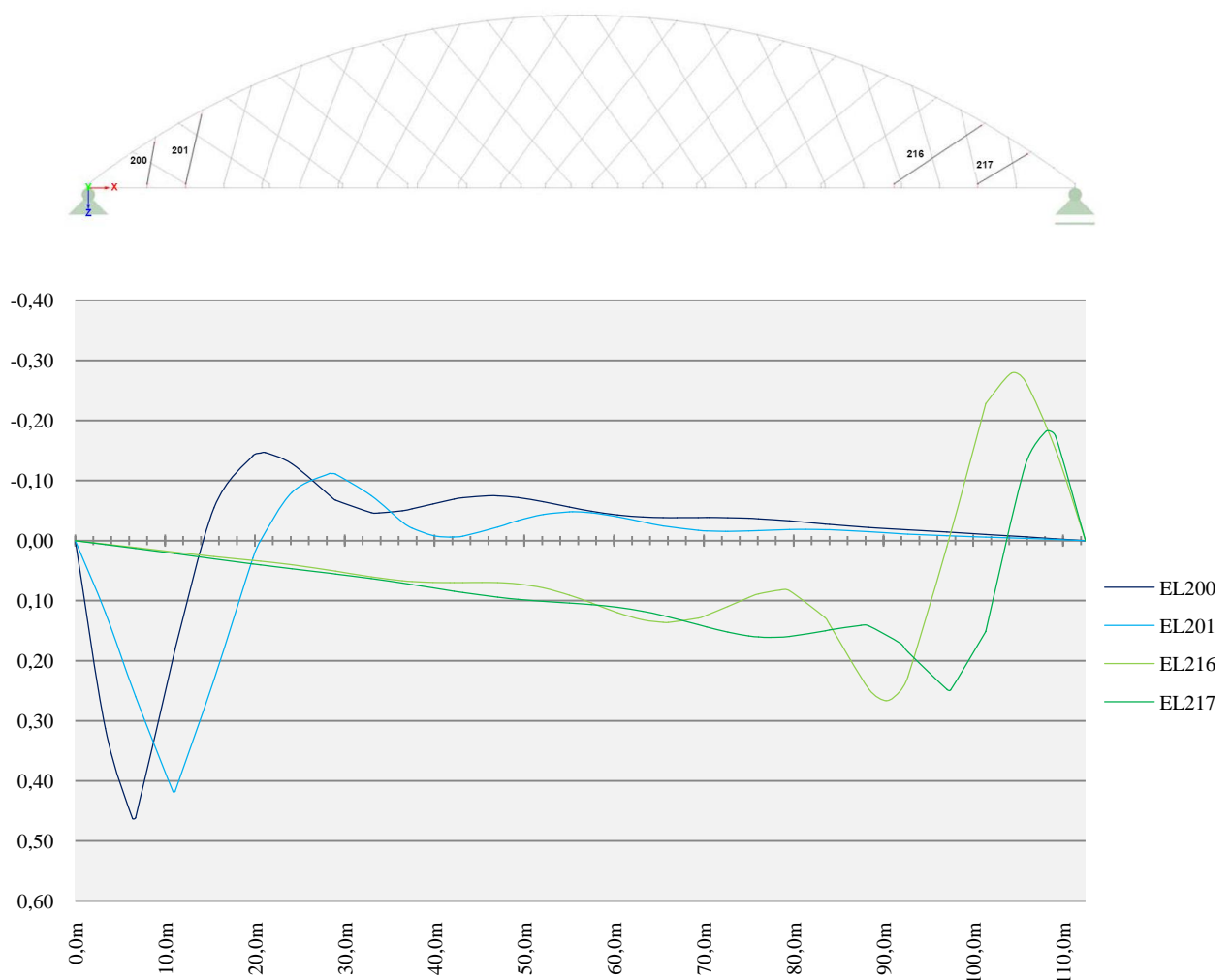


Abbildung 75 Einflusslinien der Randhänger bei der konstanten Hängerneigungsänderung bei 36 Hängern und $\varphi=54^\circ$

Es werden exemplarisch die Randhänger der konstanten Hängerneigungsänderung bei 36 Hängern und einem Winkel φ von 54° betrachtet. In 14.1 wurde das Ziel gesetzt, eine Netz-

anordnung zu finden, bei der keiner der Hänger im Grenzzustand der Ermüdung Druckkräfte aufzunehmen hat. Mit der Wahl einer geeigneten Hängeranzahl und günstiger Winkel gelingt es für alle drei Varianten, dieses Ziel im Regelbereich zu erreichen. Anders verhält sich dies für die Kämpfer- bzw. Störbereiche. Wie aus Diagramm 89 ersichtlich, ist es zwar möglich, die Problematik von Druckkräften in den Hängern auf die ersten Randhänger zu reduzieren, die vollkommene Vermeidung von Hängerausfällen in diesem Bereich ist jedoch nicht möglich. Aus dem Verlauf der Einflusslinien ist klar ersichtlich, warum in den ersten Hängern Druck- und in den letzten Hängern Zugkräfte auftreten müssen. Für die Hänger 200 und 201 des Hängersets verlaufen die Einflusslinien zum größten Teil im negativen Bereich. Daraus ergibt sich ein sehr kleines Verhältnis von positiver zu negativer Fläche unter der Einflusslinie, was zur Folge hat, dass die Randhänger sogar unter einer gleichmäßig über die Brückenlänge verteilten Last, wie dem Eigengewicht der Fahrbahn, Druckkräfte erhalten. Erhöht werden diese durch die Verkehrslasten.

Vollkommen anders verhalten sich die letzten Hänger eines Sets. Für die Hänger 216 und 217 verlaufen die Einflusslinien zum größten Teil im positiven Bereich. Daraus ergibt sich ein sehr großes Verhältnis von positiver zu negativer Fläche unter der Einflusslinie und die Hänger haben hohe Zugkräfte aufzunehmen. Selbst eine ungünstige Verkehrslaststellung bewirkt keine Druckkräfte in diesem Bereich, da die Zugkräfte zufolge ständiger Lasten so hoch sind, dass die Druckkräfte kompensiert werden.

Die resultierenden Druckkräfte in den Anfangshängern machen es nun notwendig, zusätzliche Maßnahmen zu treffen, um Hängerausfälle ausschließen zu können. Des Weiteren scheint es günstig, wenn möglich, auch die maximalen Zugkräfte in den Endhängern eines Sets zu reduzieren, da diese deutlich über denen im Regelbereich liegen und einen größeren Querschnitt notwendig machen können.

Im Weiteren werden unterschiedliche Varianten, den Problemen im Kämpferbereich zu begegnen, untersucht.

18.2 Zusätzliches Gewicht

Wie bereits in 6.1 beschrieben, hat das Eigengewicht der Konstruktion einen wesentlichen Einfluss auf die resultierenden Kräfte in den Hängern. Jede der Einflusslinien besitzt sowohl einen positiven als auch einen negativen Bereich. Für die Hänger im Regelbereich ist der positive Anteil flächenmäßig immer größer. Daraus ist leicht abzulesen, dass eine in Brückenlängsrichtung gleichmäßig verteilte Last, z.B. Lasten zufolge Eigengewicht, immer resultierende Zugkräfte in den Hängern hervorruft. Im Gegensatz dazu bewirken Verkehrslasten im negativen Bereich der Einflusslinien eine Druckkraft im betrachteten Hänger. Es ist daher zweckmäßig, darauf zu achten, dass das Eigengewicht der Konstruktion ausreichend groß ist, um resultierende Druckkräfte in den Hängern zu vermeiden. Hier liegt der Nachteil einer orthotropen Fahrbahnplatte. Sie stellt eine verhältnismäßig leichte Konstruktionsvariante dar. Daraus resultiert ein kleines Verhältnis von ständigen Lasten zu Verkehrslasten. Zwar können im Grenzzustand der Ermüdung Druckkräfte im gesamten Regelbereich vermieden werden, im Grenzzustand der Tragfähigkeit jedoch nicht. Als Alternative bietet sich daher an, die Fahrbahn als Verbundkonstruktion auszuführen. Aufgrund des höheren Eigengewichts dieser Konstruktionsvariante entsteht ein höheres Verhältnis von ständigen Lasten zu Verkehrslasten und Druckkräfte in den Hängern lassen sich sogar im Grenzzustand der Tragfähigkeit ausschließen. Um dies zu demonstrieren, werden die drei in 16 ausgewählten Netzvarianten mit der Eigengewichtslast einer Verbundkonstruktion berechnet. Für die Betonplatte wird eine Dicke von 40 cm angenommen. Mit einer Wichte von 25 kN/m^3 und einer Breite der Brücke von 13,5 m ergibt sich eine Last von $114,4 \text{ kN/m}$. Von dem bisherigen Eigengewicht der orthotropen Fahrbahnplatte wird das Gewicht des Deckblechs und der Längsrippen abgezogen und das der Betonplatte addiert. So erhält man ein neues Eigengewicht der gesamten Fahrbahnkonstruktion je Bogenebene von rund 130 kN/m gegenüber dem bisherigen Gewicht von $87,07 \text{ kN/m}$.

In den folgenden Diagrammen werden für alle Netze die resultierenden Hängerkräfte im ULS und FLS für beide Konstruktionsvarianten gegenübergestellt.

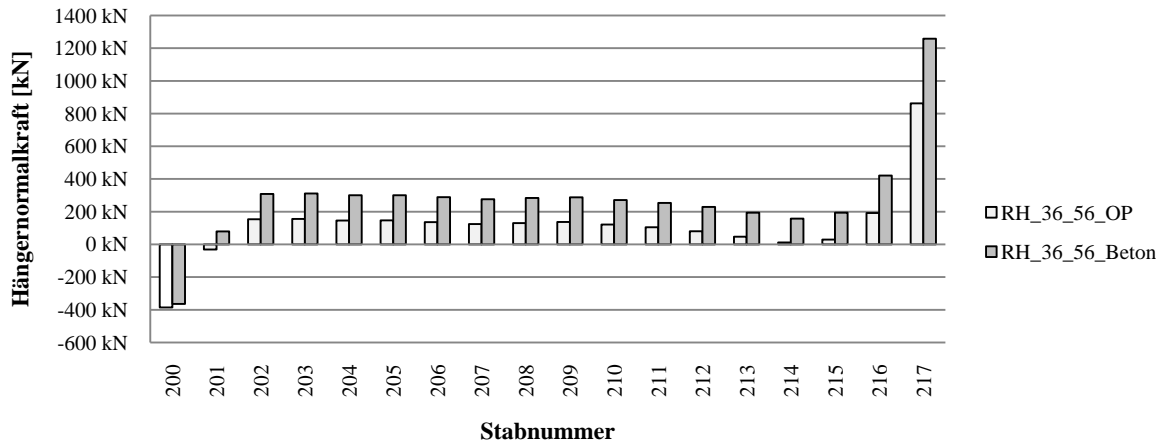


Diagramm 93 Minimale Hängerkräfte im FLS; Radiale Hängeranordnung

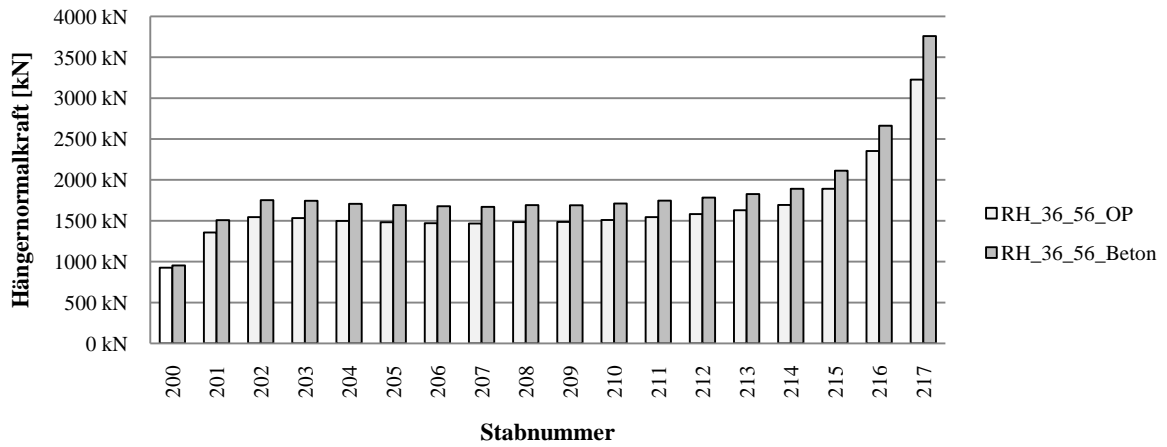


Diagramm 94 Maximale Hängerkräfte im ULS; Radiale Hängeranordnung

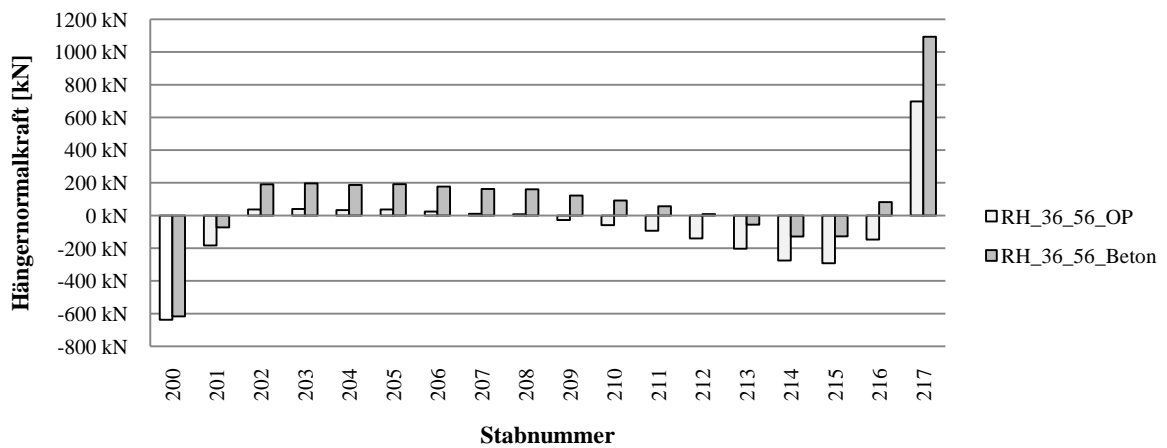


Diagramm 95 Minimale Hängerkräfte im ULS; Radiale Hängeranordnung

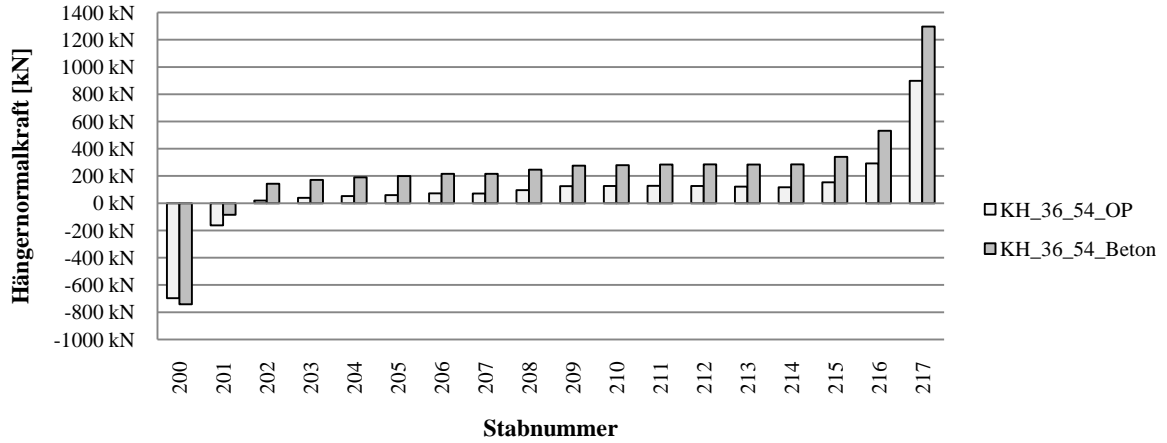


Diagramm 96 Minimale Hängerkräfte im FLS; Konstante Hängerneigungsänderung

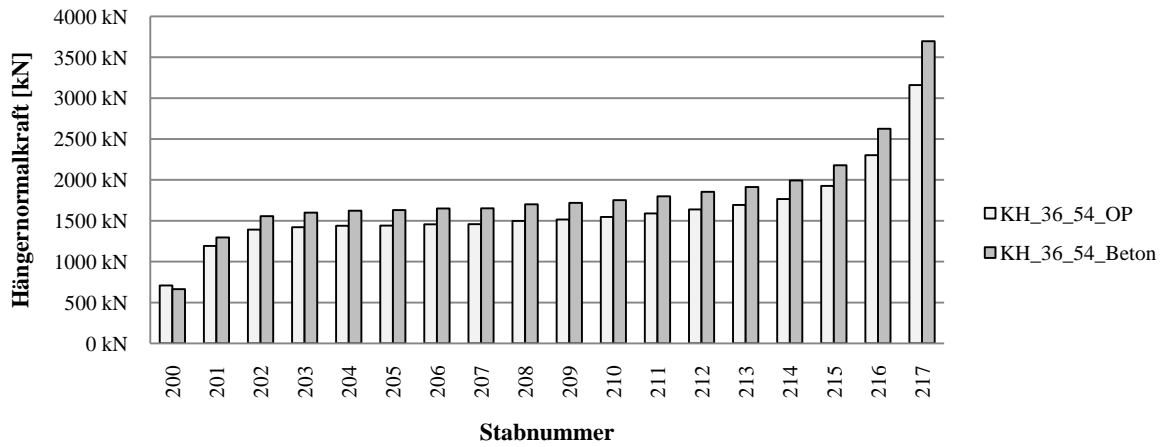


Diagramm 97 Maximale Hängerkräfte im ULS; Konstante Hängerneigungsänderung

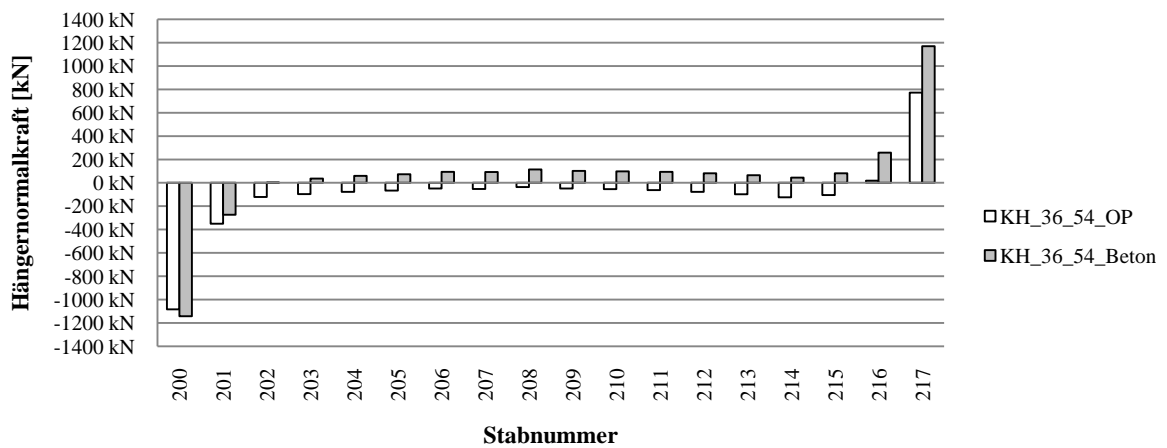


Diagramm 98 Minimale Hängerkräfte im ULS; Konstante Hängerneigungsänderung

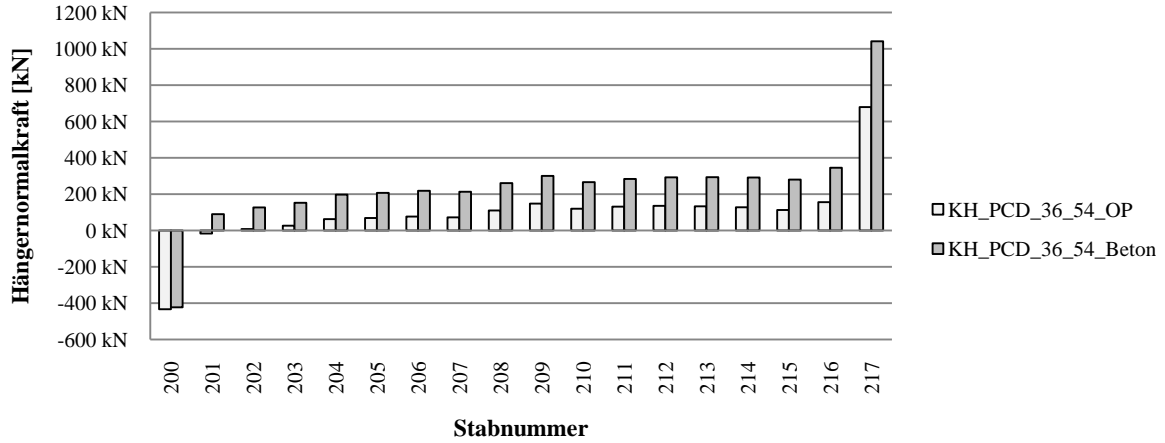


Diagramm 99 Minimale Hängerkräfte im FLS; Hängeranordnung nach PCD-ZT

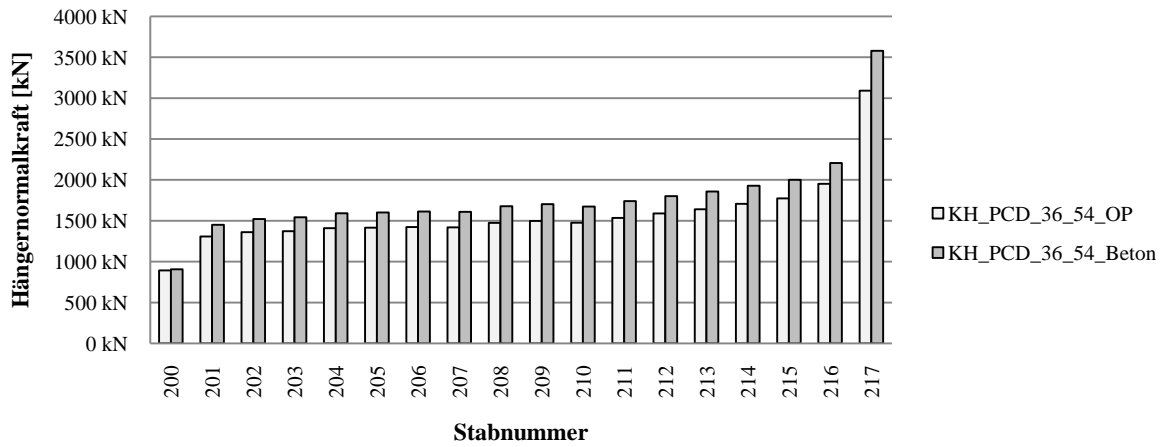


Diagramm 100 Maximale Hängerkräfte im ULS; Hängeranordnung nach PCD-ZT

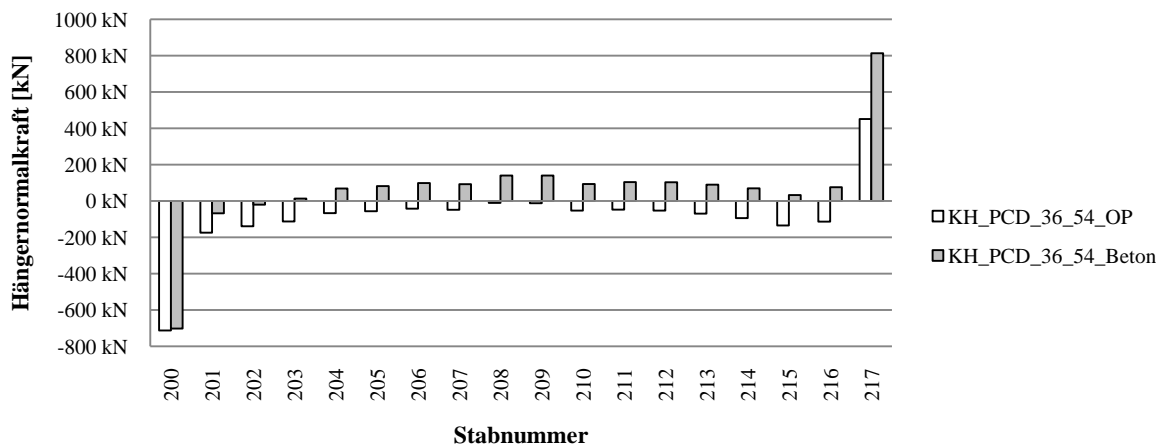


Diagramm 101 Minimale Hängerkräfte im ULS; Hängeranordnung nach PCD-ZT

Aus den Diagrammen ist ersichtlich, dass eine Konstruktionsvariante mit Verbundplatte für die Ergebnisse im Grenzzustand der Ermüdung keine entscheidenden Vorteile für den Regelbereich mit sich bringt. Im Kämpferbereich jedoch fällt bei der radialen Hängeranordnung und bei der Netzvariante nach PCD-ZT ein Hänger weniger aus. Der Hängerausfall des ersten Randhängers ist aufgrund der in 18.1 erläuterten Gegebenheiten nicht zu vermeiden.

Der entscheidende Vorteil der Verbundplatte offenbart sich im Grenzzustand der Tragfähigkeit. Bei Variante 2 und Variante 3 treten überhaupt keine Druckkräfte in den Hängern im Regelbereich auf, was sich günstig auf das Tragverhalten der Gesamtkonstruktion auswirkt. Darüber hinaus besteht keine Stabilitätsgefährdung der Hänger. Bei Variante 1 lässt sich die Anzahl der Hänger mit Druckkräften deutlich reduzieren. Die Höhe der verbleibenden Druckkräfte wird stark abgemindert.

Die durch das größere Eigengewicht bedingten höheren, maximalen Zugkräfte müssen von den Hängern aufgenommen werden können.

Weitere Überlegungen sind bezüglich der ausfallenden Randhänger anzustellen. Betrachtet man die Einflusslinien in Abbildung 75, so erkennt man, dass das Eigengewicht in Brückenmitte eine negative Auswirkung für die Randhänger hat, da Druckkräfte entstehen. Im Gegensatz dazu bewirkt das Eigengewicht im Randbereich Zugkräfte in diesen Hängern. Ein Versuch, dem Hängerausfall im Kämpferbereich entgegenzuwirken, besteht darin, die Verteilung des Eigengewichtes in Brückenlängsrichtung dem Verlauf der Einflusslinie der Randhänger anzupassen. Das Eigengewicht im Kämpferbereich muss so groß wie notwendig gewählt werden und das Eigengewicht im Regelbereich so klein wie möglich, damit in keinem Hänger Druckkräfte im Grenzzustand der Ermüdung auftreten. Dies kann zum Beispiel durch die Kombination einer Verbundkonstruktion in den Randbereichen mit einer orthotropen Platte in Brückenmitte erreicht werden. Diese Überlegung wird im Folgenden genauer untersucht und auf die drei ausgewählten Netzgeometrien angewandt. Eine andere Möglichkeit besteht darin, unter Beibehaltung der orthotropen Platte, den als Hohlkasten ausgeführten Versteifungsträger, lokal mit Ballastbeton zu verfüllen.

18.2.1 Variante 1: Radiale Hängeranordnung

Um die Länge des Randbereichs zu bestimmen, in dem die Konstruktion ein höheres Eigengewicht aufweisen soll, ist es notwendig, die Einflusslinien der Hänger zu analysieren.

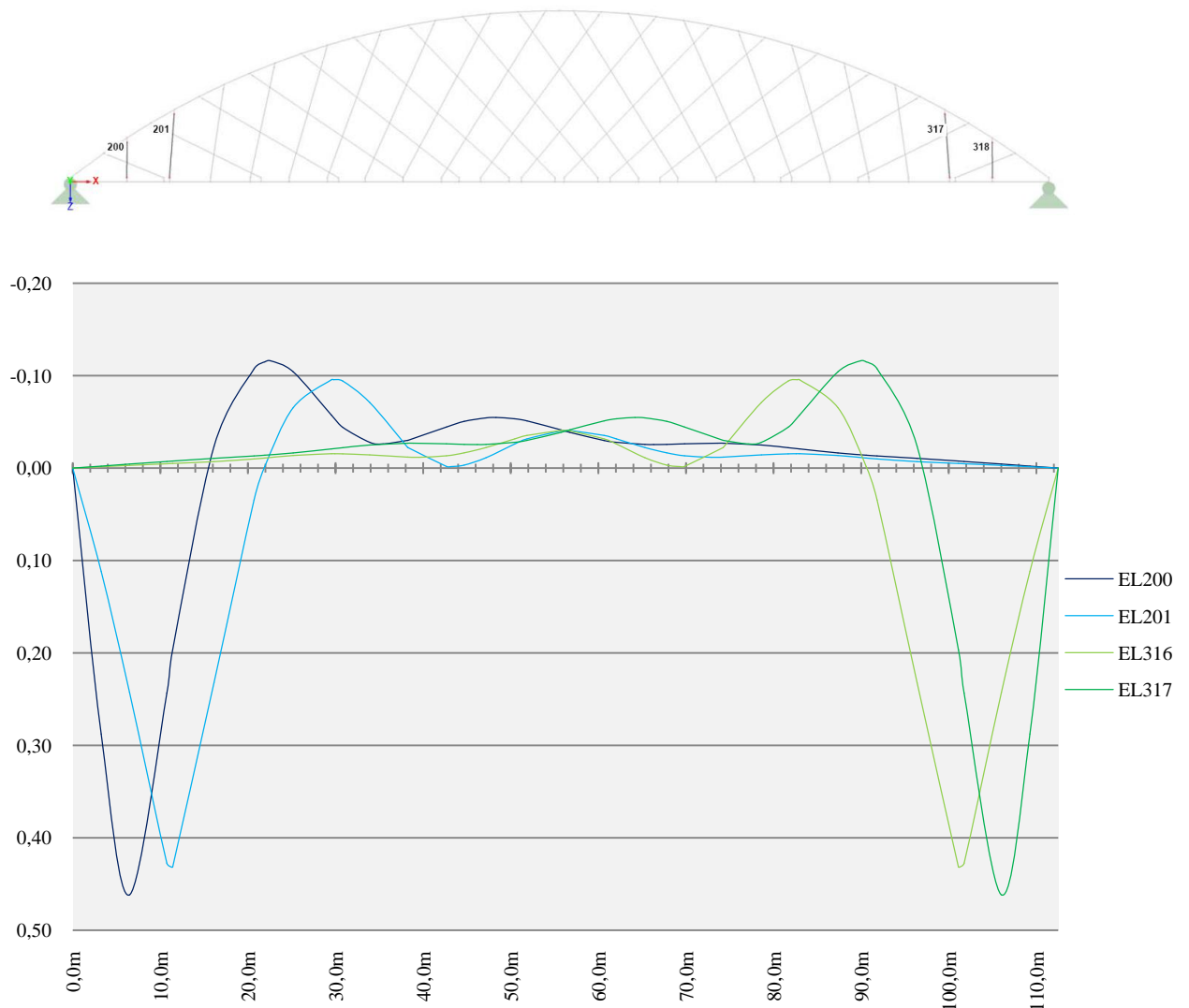


Abbildung 76 Einflusslinien der Hänger 200, 201, 316 und 317

Abbildung 76 zeigt die Einflusslinien der Randhänger, die im Grenzzustand der Ermüdung Druckkräfte erhalten. Die Idee besteht darin, in den Randbereichen, in denen die Einflusslinien der Hänger 200 bzw. 317 im positiven Bereich verlaufen, ein höheres Eigengewicht zu wählen. Die Länge des Randbereiches ergibt sich zu jeweils 15,6 m. Über diese Länge muss ein zusätzliches Gewicht aufgebracht werden, das ausreichend groß ist die resultierenden Druckkräfte zu kompensieren. Wie aus den Einflusslinien ersichtlich ist, beeinflusst diese zusätzliche Belastung die Hänger am jeweils anderen Brückenende so gut wie gar nicht. Durch die Auswertung der Einflusslinien mit Hilfe der Trapezformel und anschließender Anwendung des Solvers in Excel (siehe Anhang D) ergibt sich eine Last von mindestens 106kN/m.

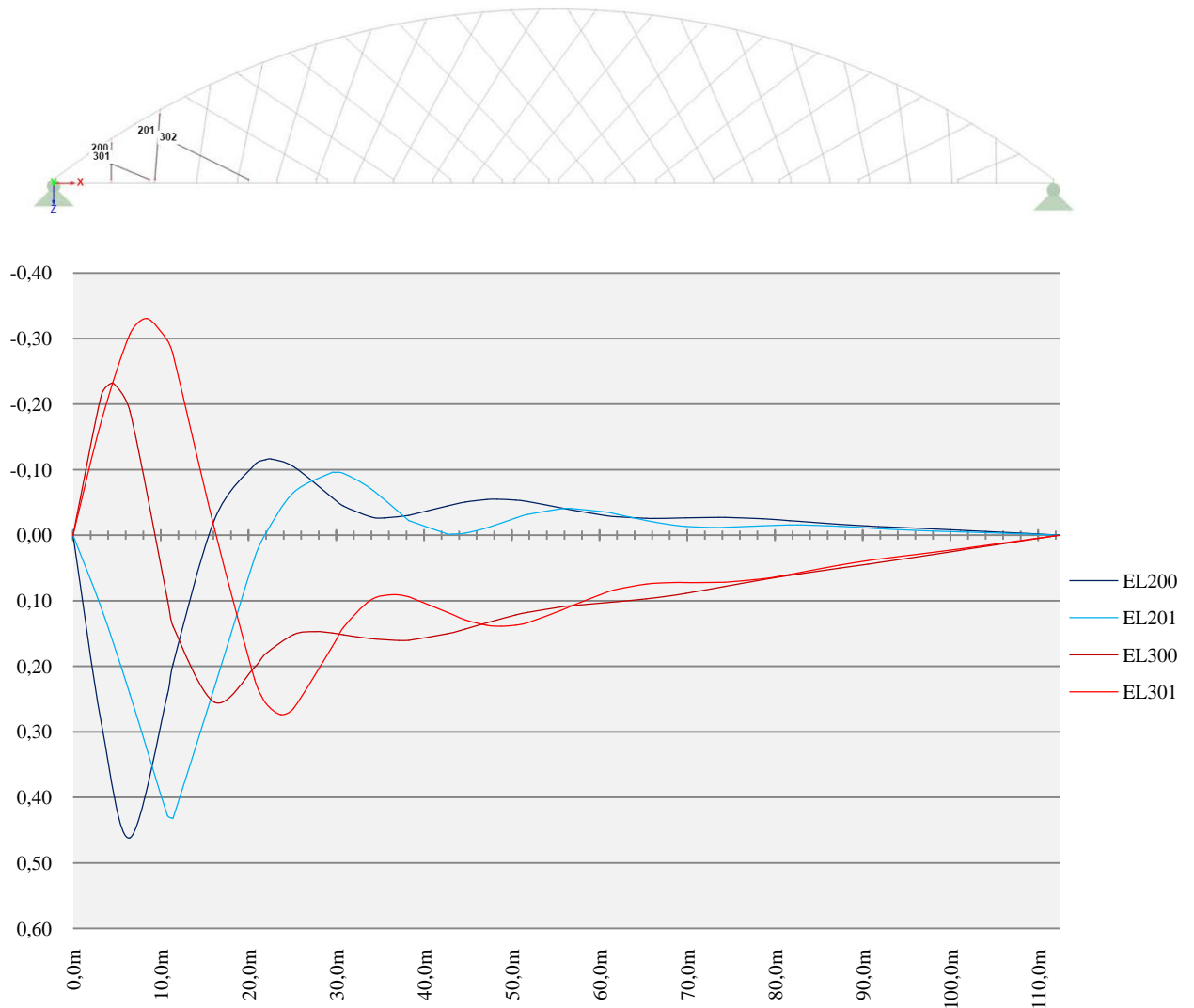


Abbildung 77 Einflusslinien der Hänger 200, 201, 300 und 301

Aus Abbildung 77 lässt sich die Auswirkung eines höheren Eigengewichts in den Randbereichen auf die letzten beiden flachen Hänger eines Sets, in denen stets hohe Zugkräfte auftreten, abschätzen. Dieses wird, da es im dem Bereich, in dem die Fläche unter der Einflusslinie negativ ist, positioniert ist, die maximalen Zugkräfte in den Hängern jedenfalls nicht verschlechtern. Die Zugkraft im vorletzten Hänger wird sogar deutlich abgemindert.

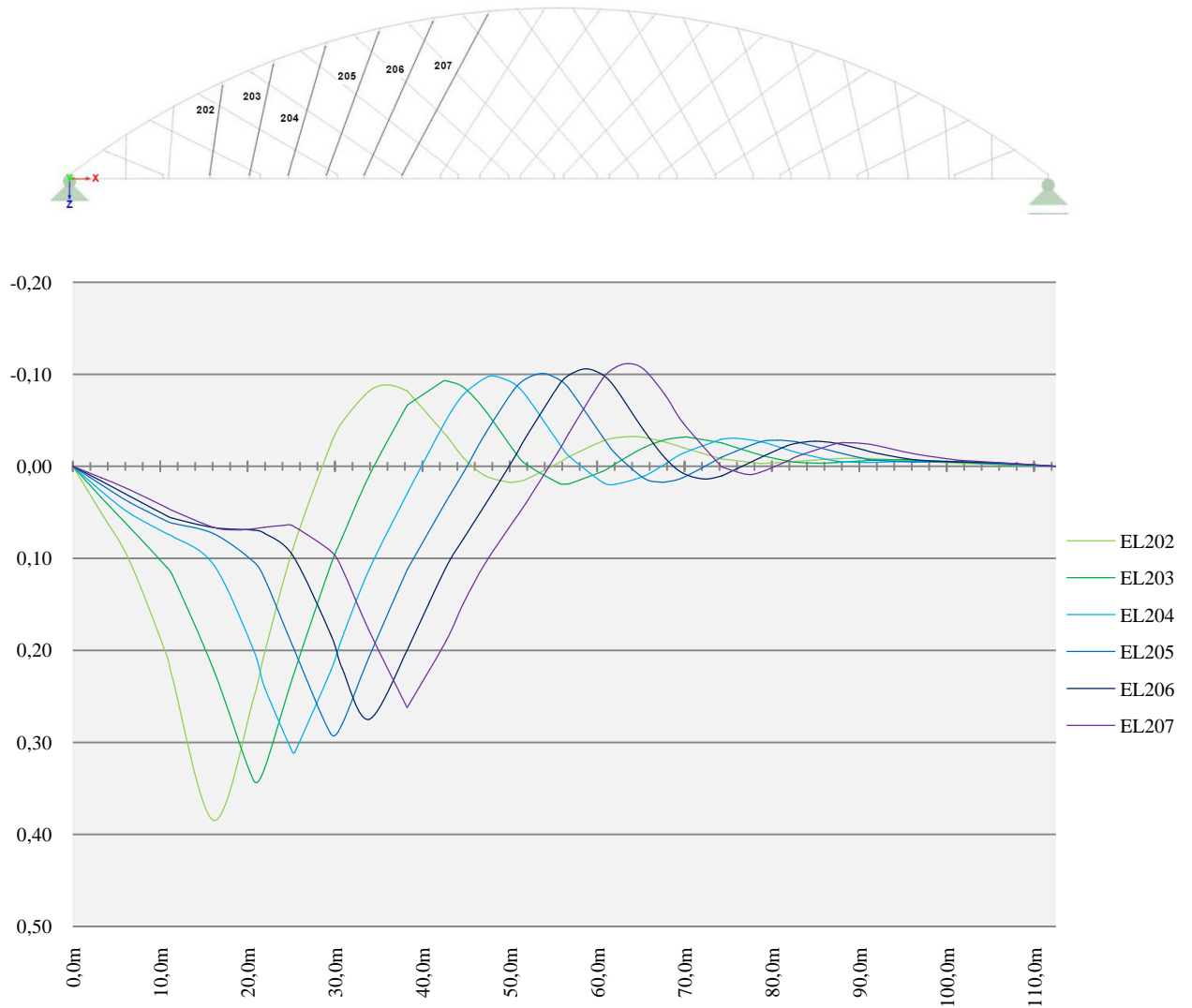


Abbildung 78 Einflusslinien der Hänger 202, 203, 204, 205, 206 und 207

Betrachtet man die Einflusslinien der Hänger 202 bis 207, zeigt sich, dass die positive Fläche unter der Einflusslinie stets größer ist als die negative. Folglich führt eine zusätzliche Last in den Randbereichen zu erhöhten Zugkräften in diesen Hängern.

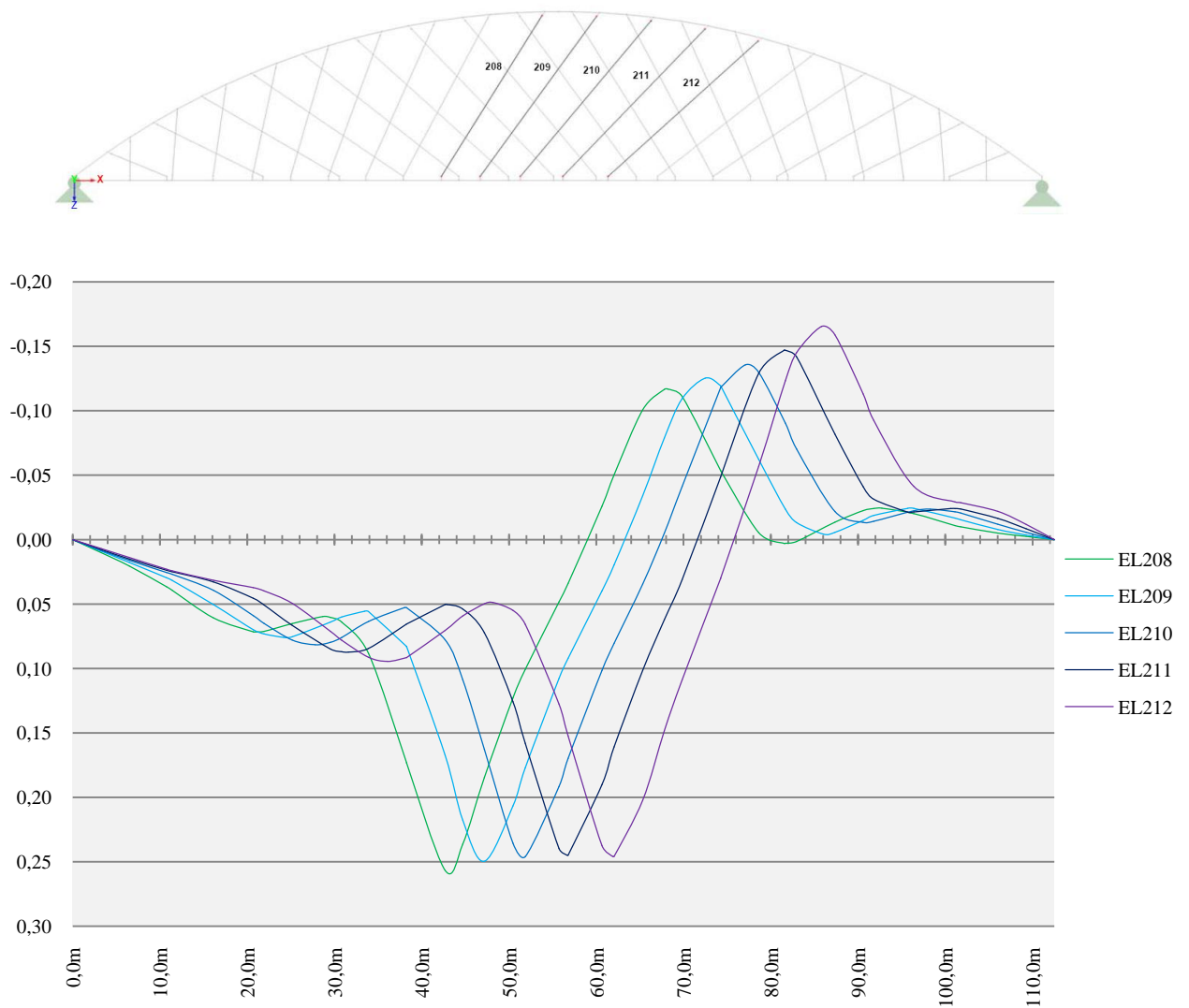


Abbildung 79 Einflusslinien der Hänger 208, 209, 210, 211 und 212

Die Einflusslinien der Hänger in Brückenmitte lassen erkennen, dass Maßnahmen in den Randbereichen, wenn überhaupt, nur einen geringen Einfluss auf deren Kräfte haben. Dies erklärt sich dadurch, dass sich die negative bzw. positive Fläche unter einer Einflusslinie in den Randbereichen nahezu deckt.

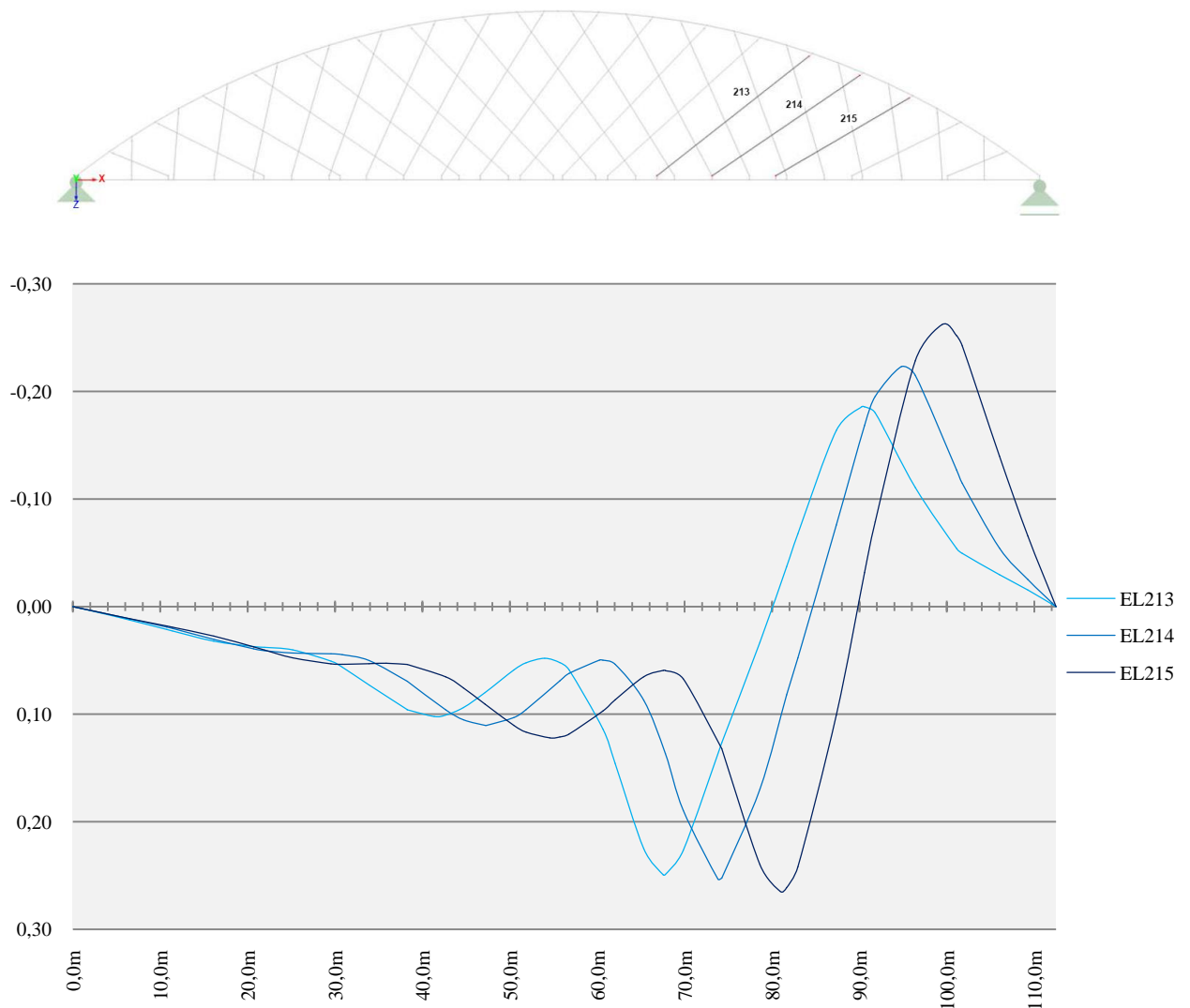


Abbildung 80 Einflusslinien der Hänger 213, 214 und 215

Aus den Einflusslinien der Hänger 213, 214 und 215 lässt sich folgende Problematik erkennen. Vergleicht man die positive mit der negativen Fläche einer Einflusslinie in den Randbereichen, so ergibt sich ein ungünstiges Verhältnis. Im Gegensatz zu den Einflusslinien der Hänger in Abbildung 79 gleichen sich die Flächenanteile hier nicht aus. Der negative Anteil überwiegt deutlich. Durch ein zusätzliches Gewicht im Randbereich erhalten die Hänger zunehmend geringere Zugkräfte bzw. Druckkräfte. Es muss daher untersucht werden, ob diese Hänger unter einem höheren Eigengewicht im Randbereich vielleicht ausfallen. Die Berechnung erfolgt mit dem zusätzlichen Eigengewicht von 106,0 kN über eine Länge von 15,6 m.

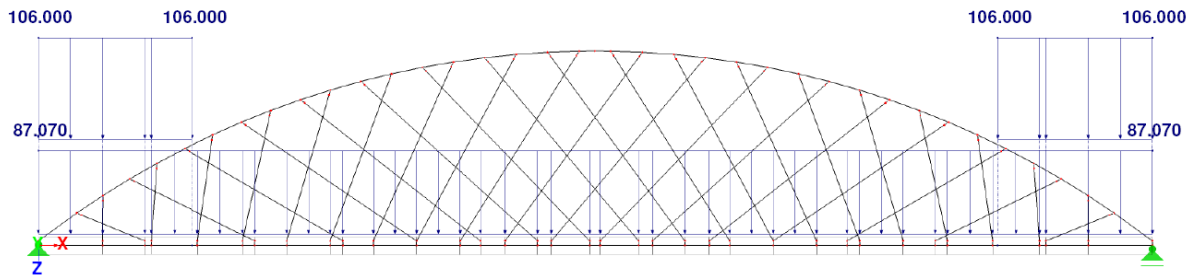


Abbildung 81 Neue Verteilung des Eigengewichts in Brückenlängsrichtung

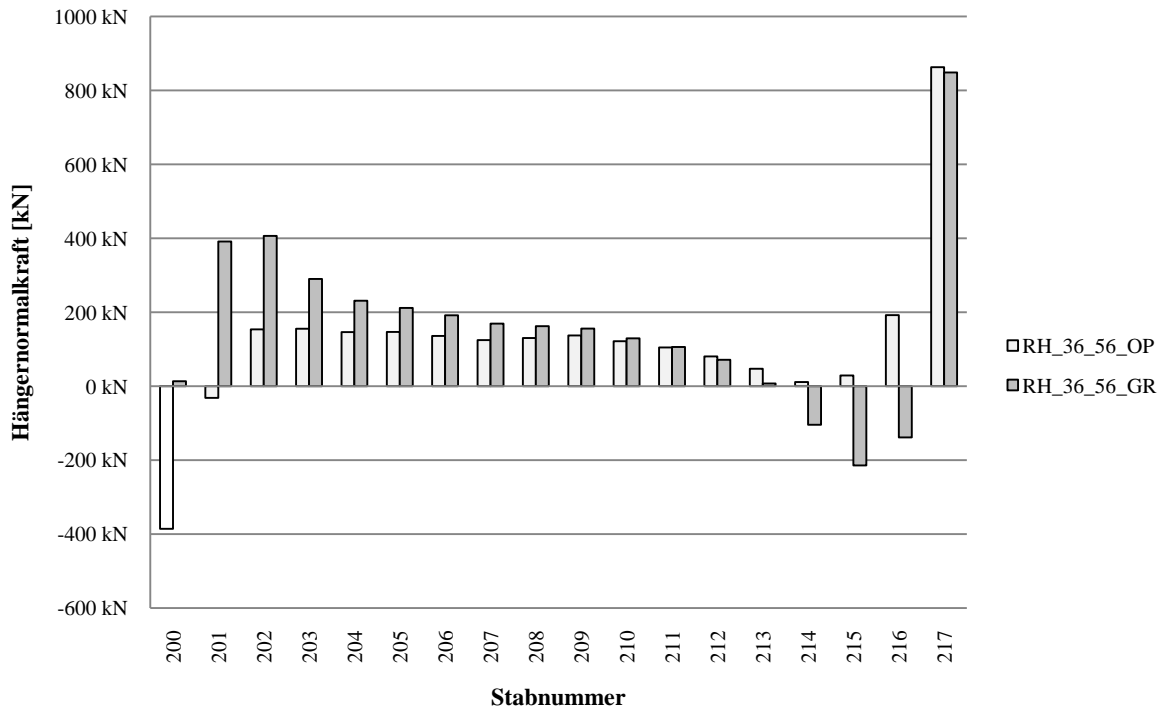


Diagramm 102 Minimale Hängernormalkräfte im FLS bei zusätzlicher Last in den Kämpferbereichen im Vergleich mit einer orthotropen Fahrbahnplatte

Mit dem zusätzlichen Eigengewicht gelingt es, einen Hängerausfall der ersten Hänger eines Sets zu vermeiden. Allerdings ist die dazu notwendige Last so groß, dass sie sich bereits negativ auf andere Hänger auswirkt. Die Hänger 214 bis 216 erhalten Druckkräfte und fallen somit aus.

18.2.2 Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung

Um die Länge des Randbereichs zu bestimmen, in dem die Konstruktion ein höheres Eigengewicht aufweisen soll, ist es notwendig, die Einflusslinien der Hänger zu analysieren.

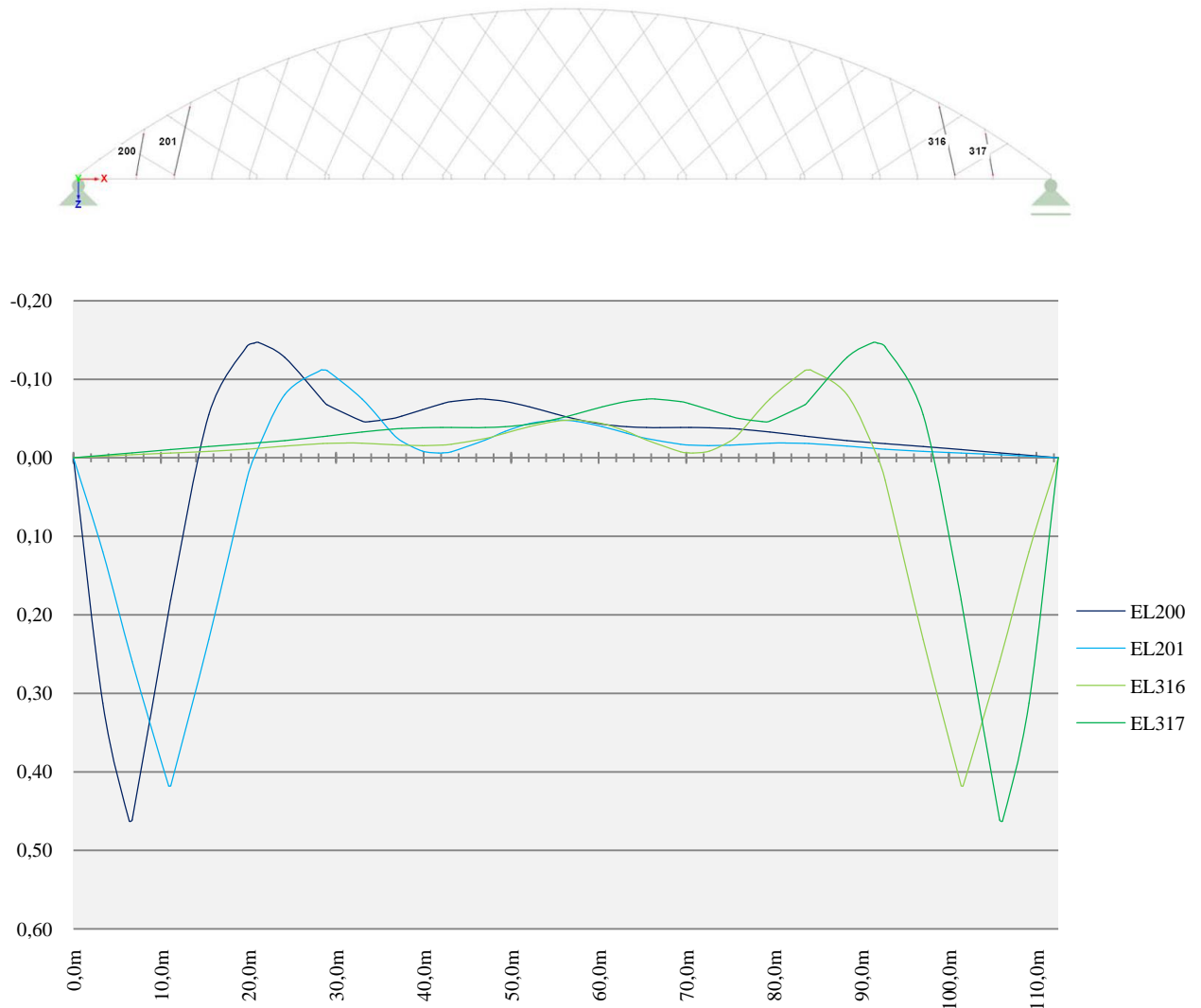


Abbildung 82 Einflusslinien der Hänger 200, 201, 316 und 317

Abbildung 82 zeigt die Einflusslinien der Randhänger, die im Grenzzustand der Ermüdung Druckkräfte erhalten. Die Idee besteht darin, in den Randbereichen, in denen die Einflusslinien der Hänger 200 bzw. 317 im positiven Bereich verlaufen, ein höheres Eigengewicht zu wählen. Die Länge des Randbereiches ergibt sich zu jeweils 14,4 m. Über diese Länge muss ein zusätzliches Gewicht aufgebracht werden, das ausreichend groß ist, um die resultierenden Druckkräfte im FLS zu kompensieren. Wie aus den Einflusslinien ersichtlich ist, beeinflusst diese zusätzliche Belastung die Hänger am jeweils anderen Brückenende so gut wie gar nicht. Durch die Auswertung der Einflusslinien mit Hilfe der Trapezformel und anschließender

Anwendung des Solvers in Excel (siehe Anhang D) ergibt sich eine Last von mindestens 202 kN/m.

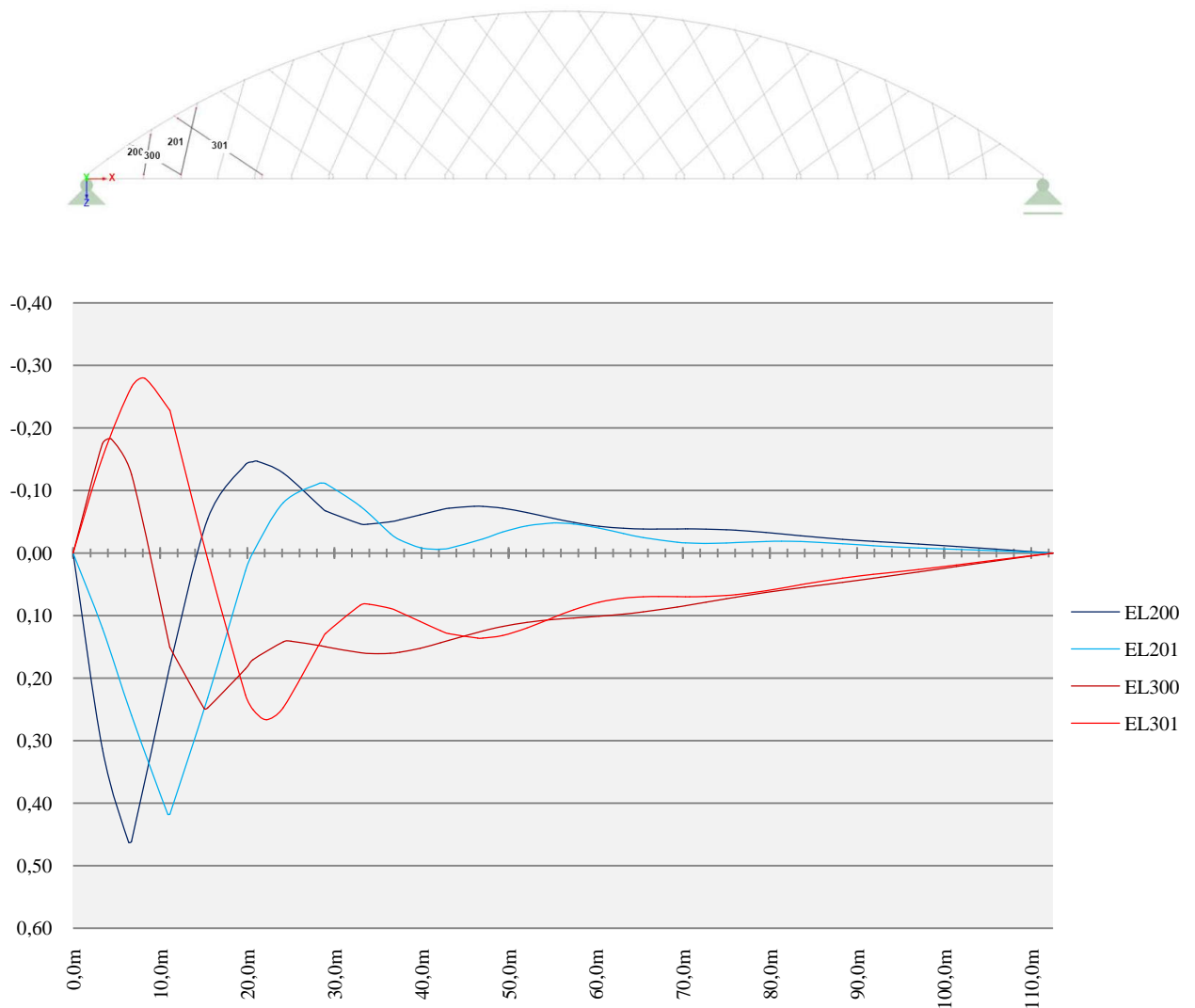


Abbildung 83 Einflusslinien der Hänger 200, 201, 300 und 301

Aus Abbildung 83 lässt sich die Auswirkung eines höheren Eigengewichts in den Randbereichen auf die letzten beiden flachen Hänger eines Sets, in denen stets hohe Zugkräfte auftreten, abschätzen. Dies wird, da es im Bereich, in dem die Fläche unter der Einflusslinie negativ ist, positioniert ist, die maximalen Zugkräfte in den Hängern jedenfalls nicht verschlechtern. Die Zugkraft im vorletzten Hänger wird sogar deutlich abgemindert.

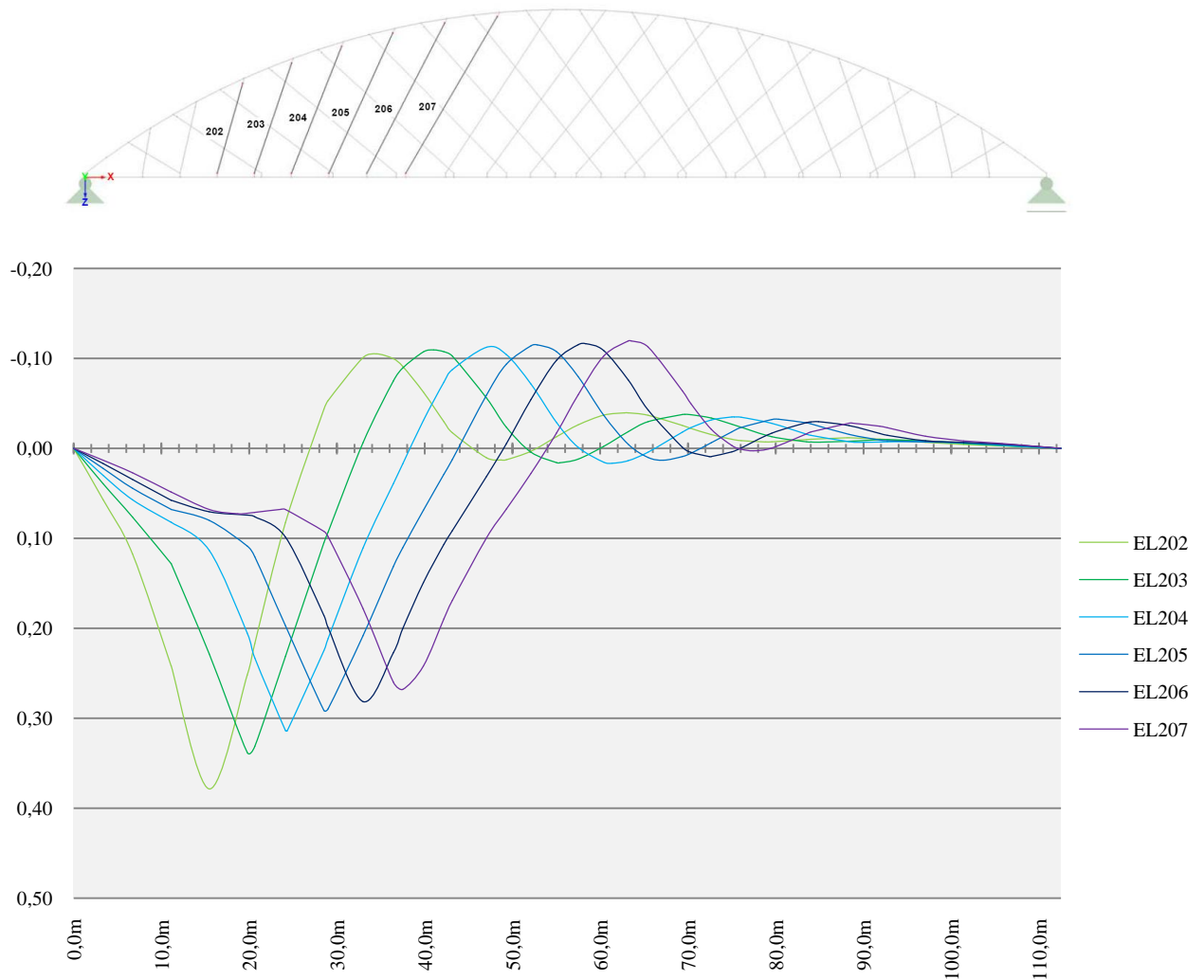


Abbildung 84 Einflusslinien der Hänger 202, 203, 204, 205, 206 und 207

Betrachtet man die Einflusslinien der Hänger 202 bis 207, zeigt sich, dass positive die Fläche unter der Einflusslinie stets größer ist als die negative. Folglich führt eine zusätzliche Last in den Randbereichen zu erhöhten Zugkräften in diesen Hängern.

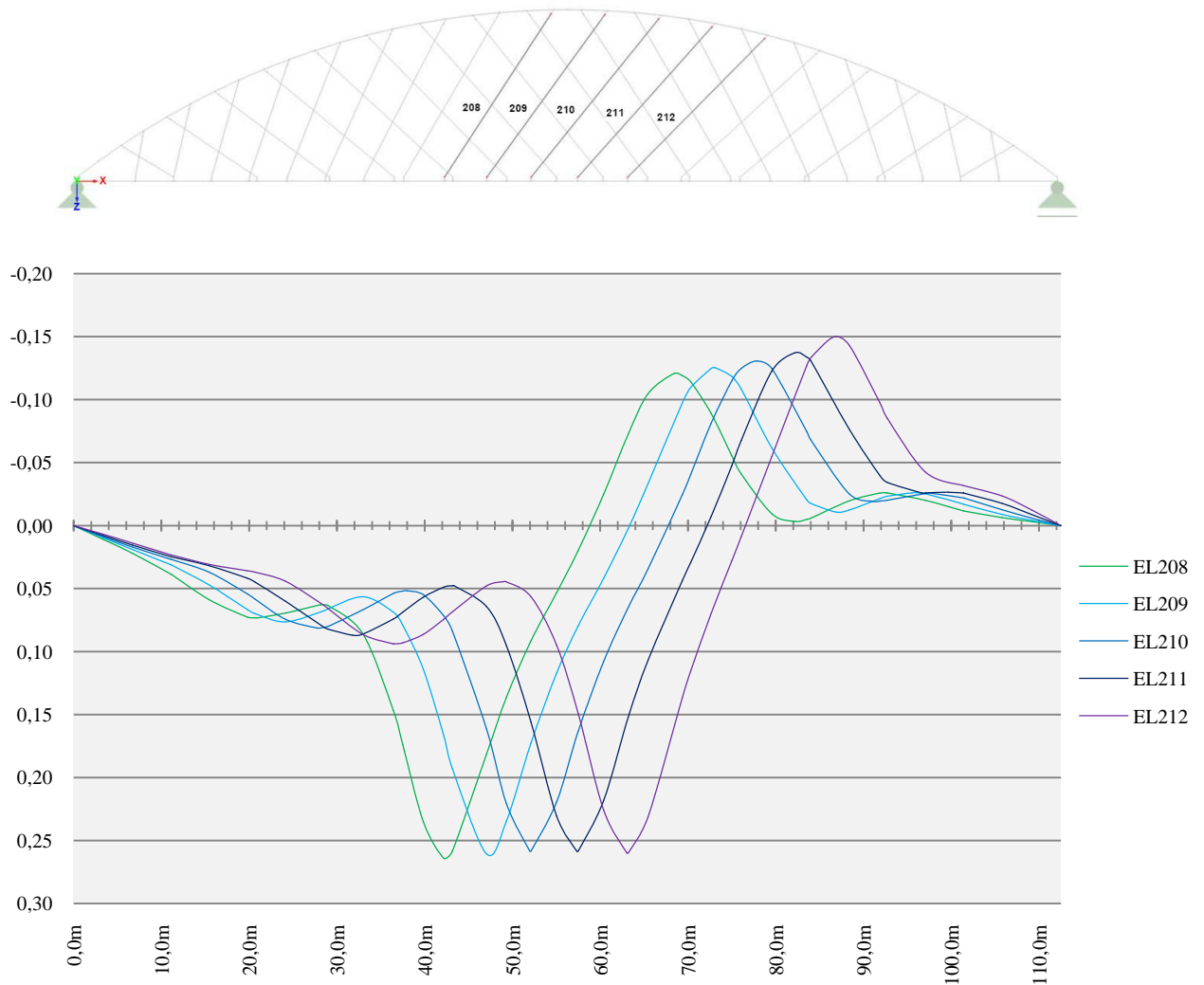


Abbildung 85 Einflusslinien der Hänger 208, 209, 210, 211 und 212

Die Einflusslinien der Hänger in Brückenmitte lassen erkennen, dass Maßnahmen in den Randbereichen, wenn überhaupt, nur einen geringen Einfluss auf deren Kräfte haben. Dies erklärt sich dadurch, dass sich die negative bzw. positive Fläche unter einer Einflusslinie in den Randbereichen nahezu deckt.

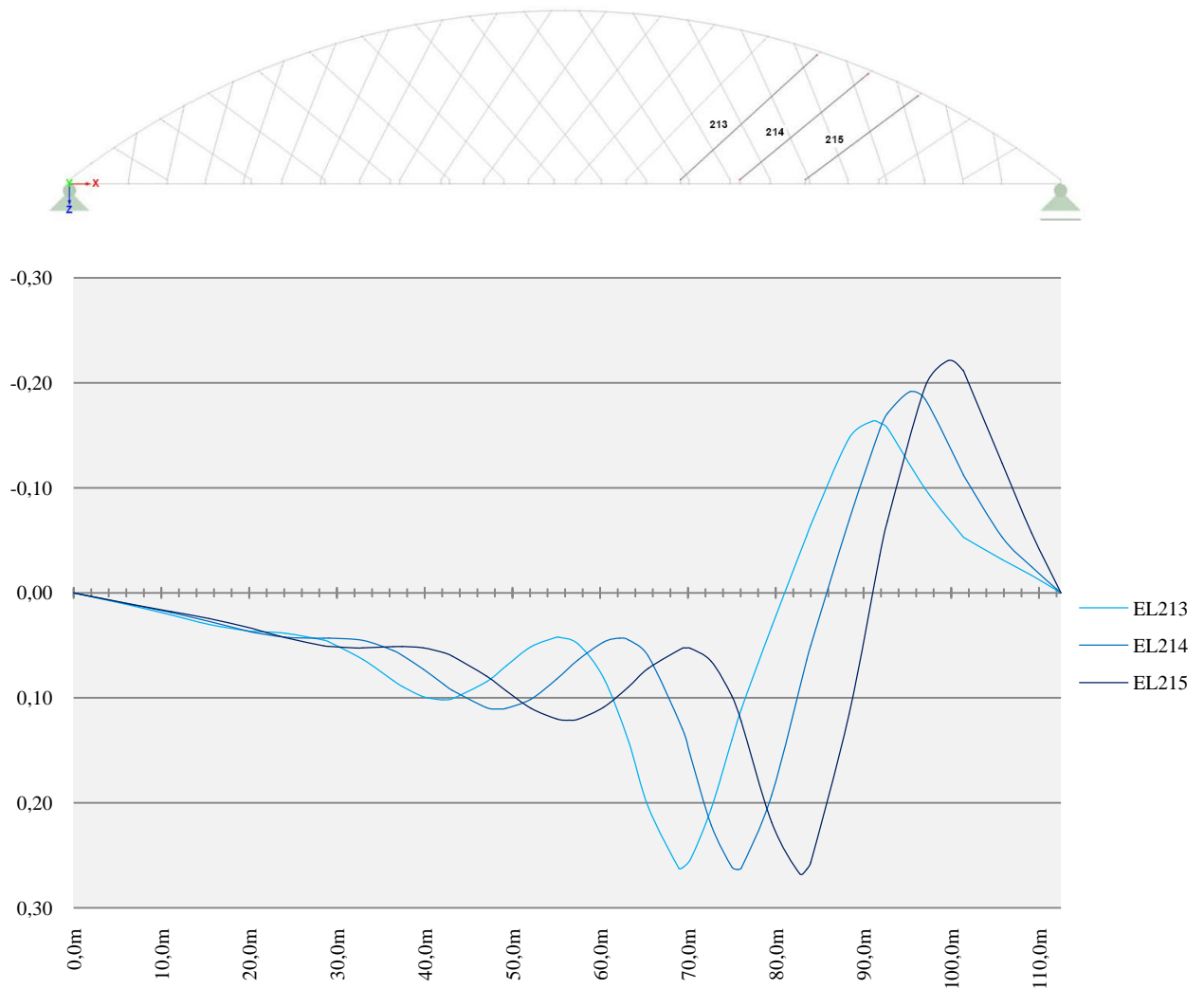


Abbildung 86 Einflusslinien der Hänger 213, 214 und 215

Aus den Einflusslinien der Hänger 213, 214 und 215 lässt sich folgende Problematik erkennen. Vergleicht man die positive mit der negativen Fläche einer Einflusslinie in den Randbereichen, so ergibt sich ein ungünstiges Verhältnis. Im Gegensatz zu den Einflusslinien der Hänger in Abbildung 85 gleichen sich die Flächenanteile hier nicht aus. Der negative Anteil überwiegt deutlich. Durch ein zusätzliches Gewicht im Randbereich erhalten die Hänger zunehmend geringere Zugkräfte bzw. Druckkräfte. Es muss daher untersucht werden, ob diese Hänger unter einem höheren Eigengewicht im Randbereich vielleicht ausfallen. Die Berechnung erfolgt mit dem zusätzlichen Eigengewicht von 202,0 kN über eine Länge von 14,4 m.

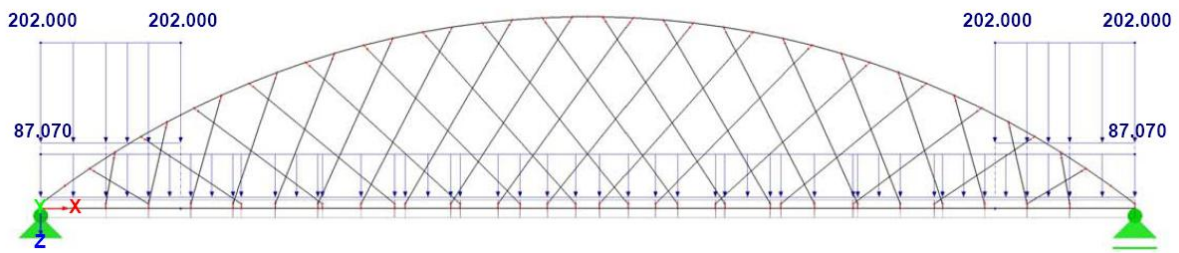


Abbildung 87 Neue Verteilung des Eigengewichts in Brückenlängsrichtung

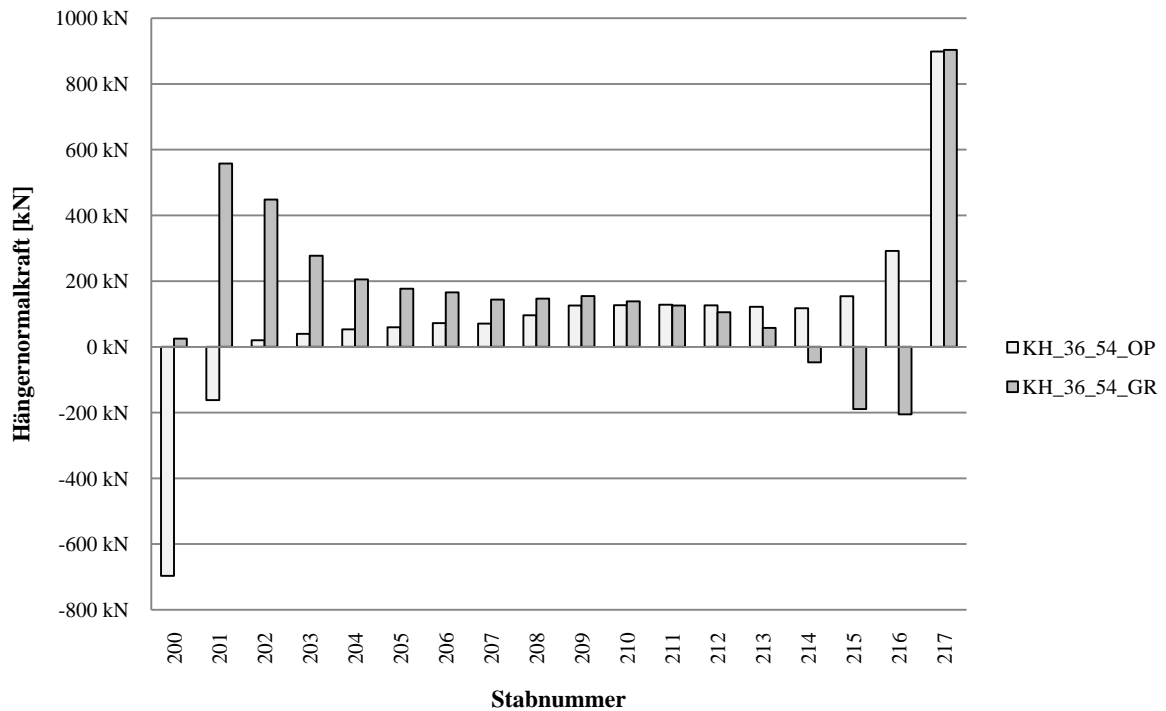


Diagramm 103 Minimale Hängernormalkräfte im FLS bei zusätzlicher Last in den Kämpferbereichen im Vergleich mit einer orthotropen Fahrbahnplatte

Mit dem zusätzlichen Eigengewicht gelingt es einen Hängerausfall der ersten Hänger eines Sets zu vermeiden. Allerdings ist die dazu notwendige Last so groß, dass sie sich bereits negativ auf andere Hänger auswirkt. Die Hänger 214 bis 216 erhalten Druckkräfte und fallen somit aus.

18.2.3 Variante 3: Hängeranordnung nach PCD-ZT

Um die Länge des Randbereichs zu bestimmen, in dem die Konstruktion ein höheres Eigengewicht aufweisen soll, ist es notwendig, die Einflusslinien der Hänger zu analysieren.

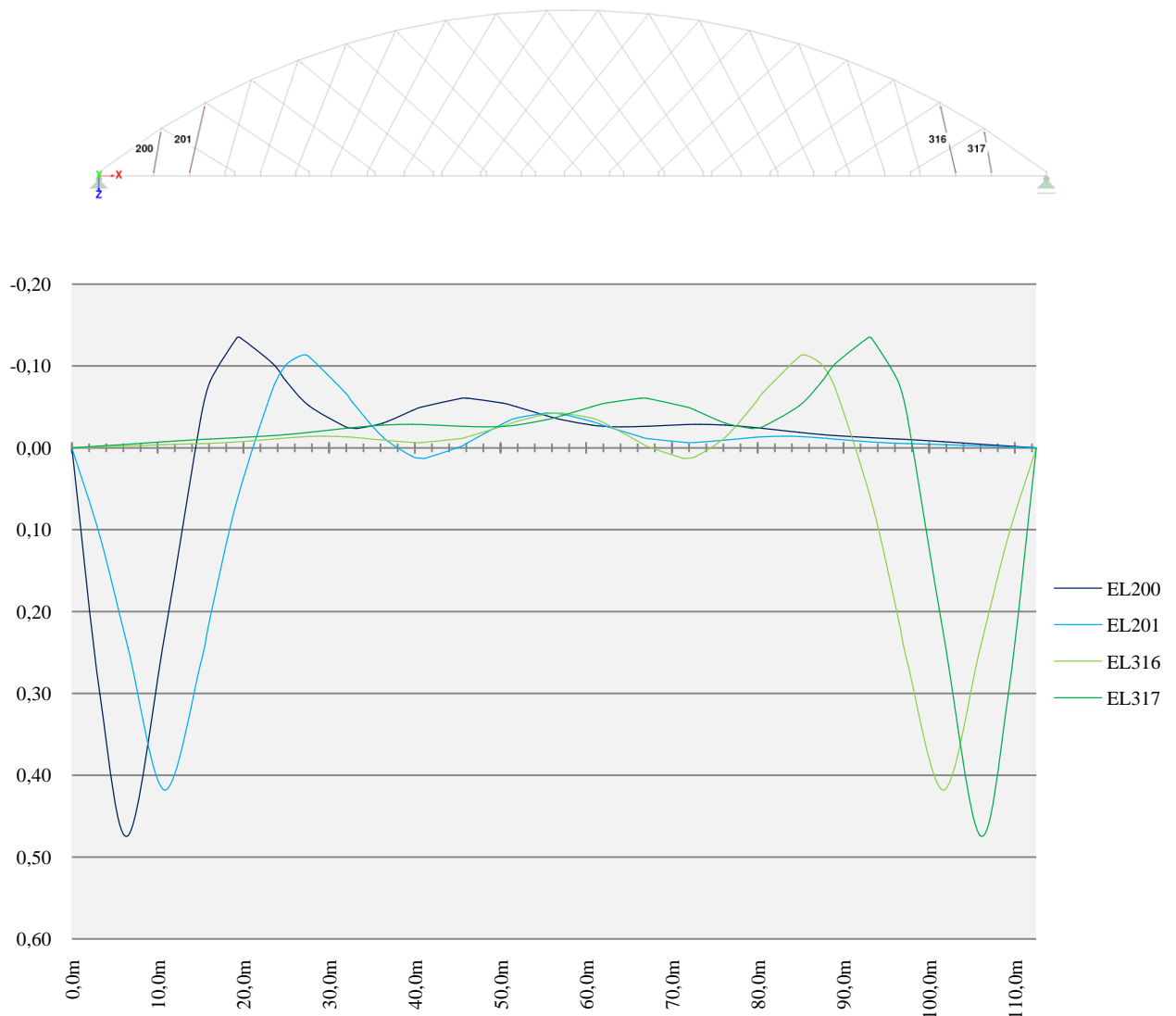


Abbildung 88 Einflusslinien der Hänger 200, 201, 316 und 317

Abbildung 82 zeigt die Einflusslinien der Randhänger, die im Grenzzustand der Ermüdung Druckkräfte erhalten. Die Idee besteht darin, in den Randbereichen, in denen die Einflusslinien der Hänger 200 bzw. 317 im positiven Bereich verlaufen, ein höheres Eigengewicht zu wählen. Die Länge des Randbereiches ergibt sich zu jeweils 14,4 m. Über diese Länge muss ein zusätzliches Gewicht aufgebracht werden, das ausreichend groß ist, um die resultierenden Druckkräfte im FLS zu kompensieren. Wie aus den Einflusslinien ersichtlich ist, beeinflusst diese zusätzliche Belastung die Hänger am jeweils anderen Brückenende so gut wie gar nicht. Durch die Auswertung der Einflusslinien mit Hilfe der Trapezformel und anschließender

Anwendung des Solvers in Excel (siehe Anhang D) ergibt sich eine Last von mindestens 121 kN/m.

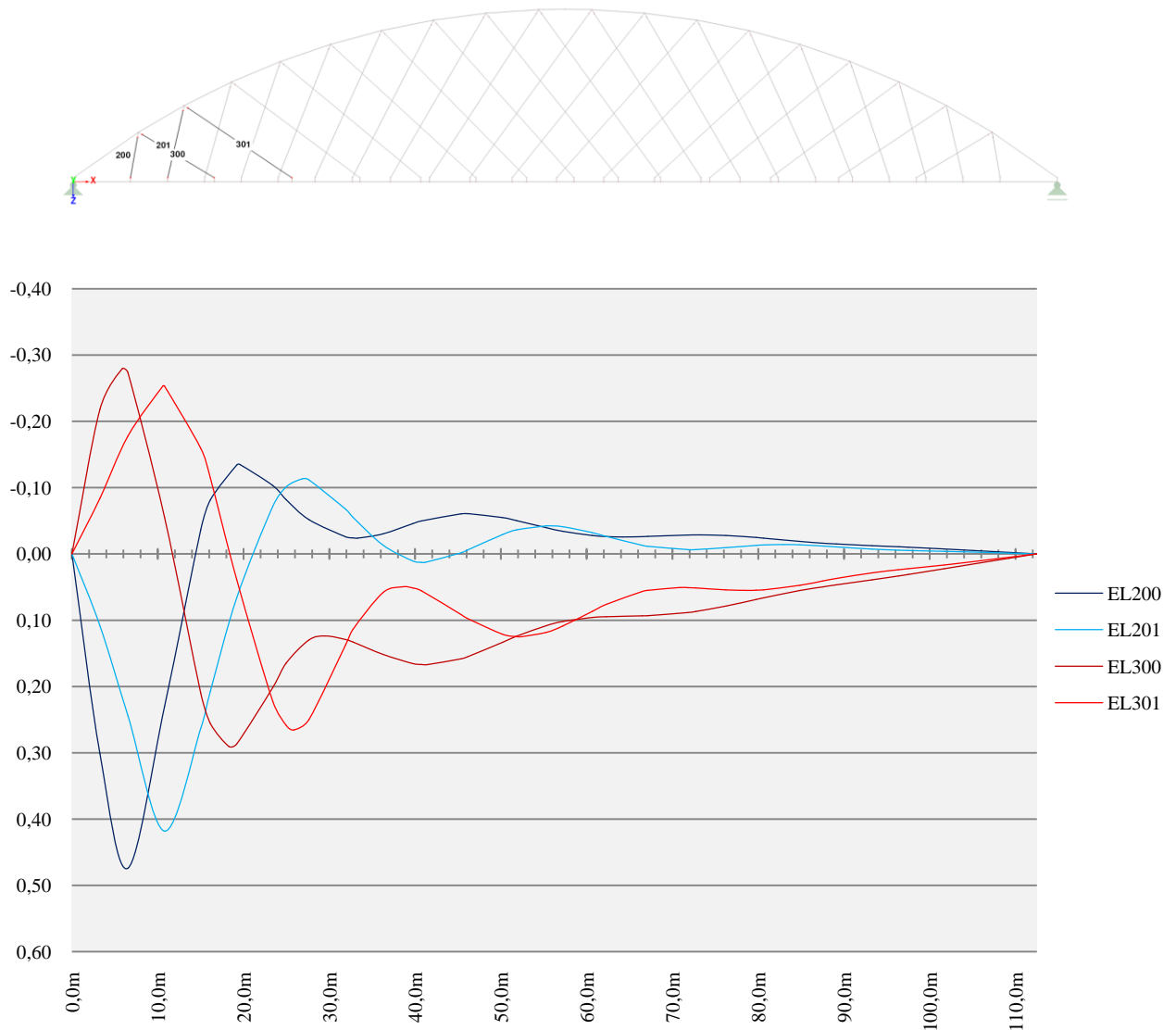


Abbildung 89 Einflusslinien der Hänger 200, 201, 300 und 301

Aus Abbildung 83 lässt sich die Auswirkung eines höheren Eigengewichts in den Randbereichen auf die letzten beiden flachen Hänger eines Sets, in denen stets hohe Zugkräfte auftreten, abschätzen. Dieses wird, da es im Bereich, in dem die Fläche unter der Einflusslinie negativ ist, positioniert ist, die maximalen Zugkräfte in den Hängern jedenfalls nicht verschlechtern. Die Zugkraft im vorletzten Hänger wird sogar deutlich abgemindert.

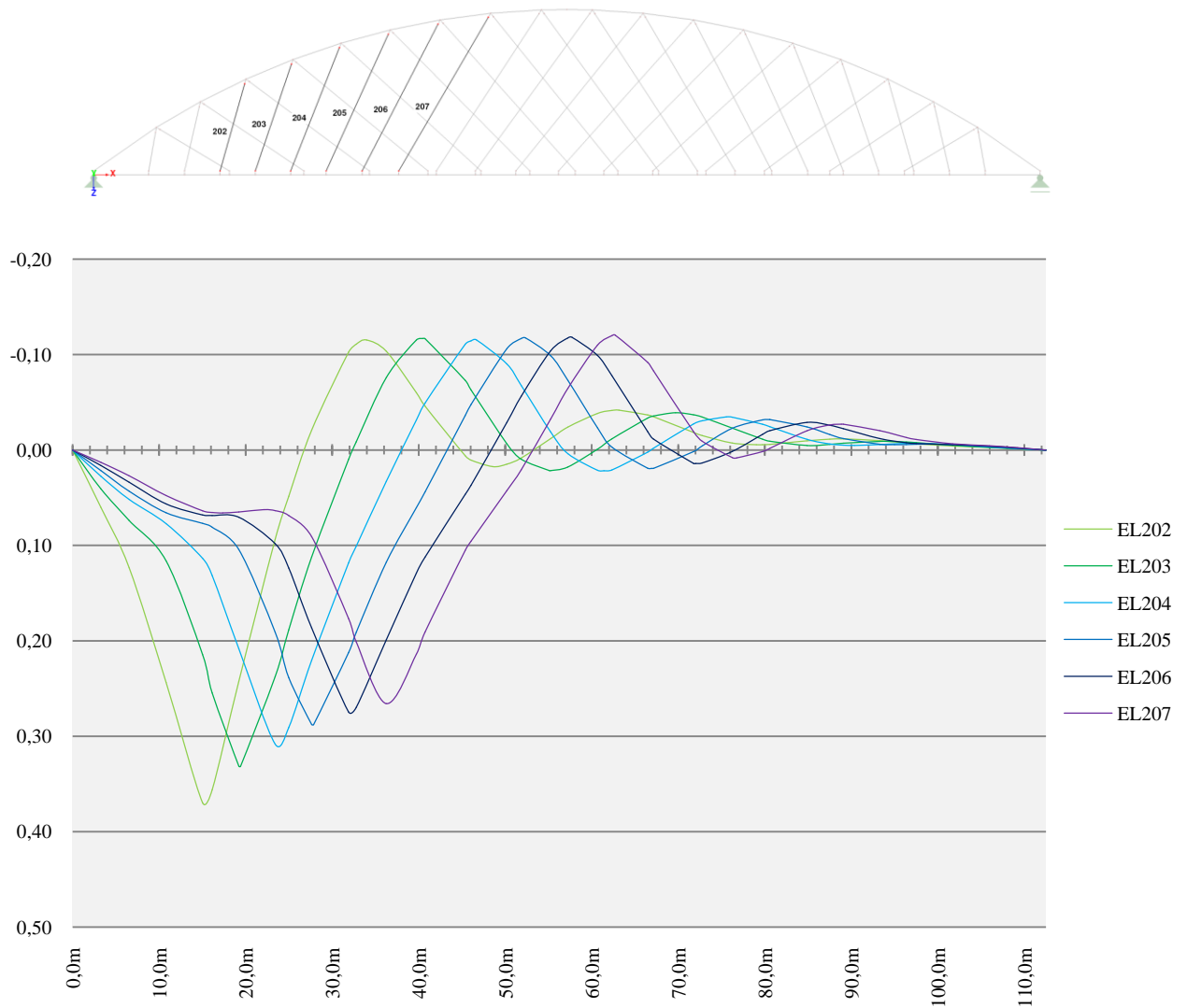


Abbildung 90 Einflusslinien der Hänger 202, 203, 204, 205, 206 und 207

Betrachtet man die Einflusslinien der Hänger 202 bis 207, zeigt sich, dass die positive Fläche unter der Einflusslinie stets größer ist als die negative. Folglich führt eine zusätzliche Last in den Randbereichen zu erhöhten Zugkräften in diesen Hängern.

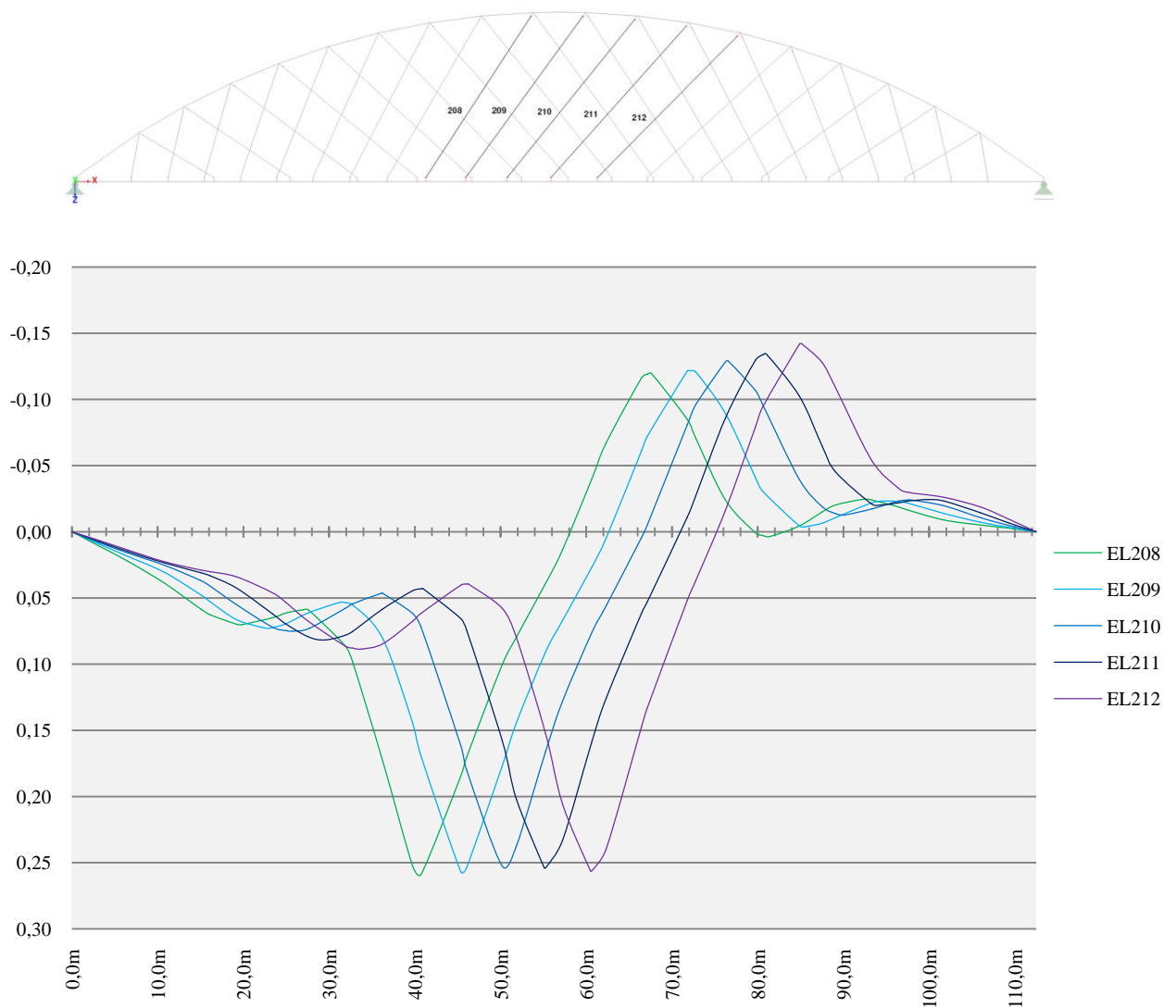


Abbildung 91 Einflusslinien der Hänger 208, 209, 210, 211 und 212

Die Einflusslinien der Hänger in Brückenmitte lassen erkennen, dass Maßnahmen in den Randbereichen, wenn überhaupt, nur einen geringen Einfluss auf deren Kräfte haben. Dies erklärt sich dadurch, dass sich die negative bzw. positive Fläche unter einer Einflusslinie in den Randbereichen nahezu deckt.

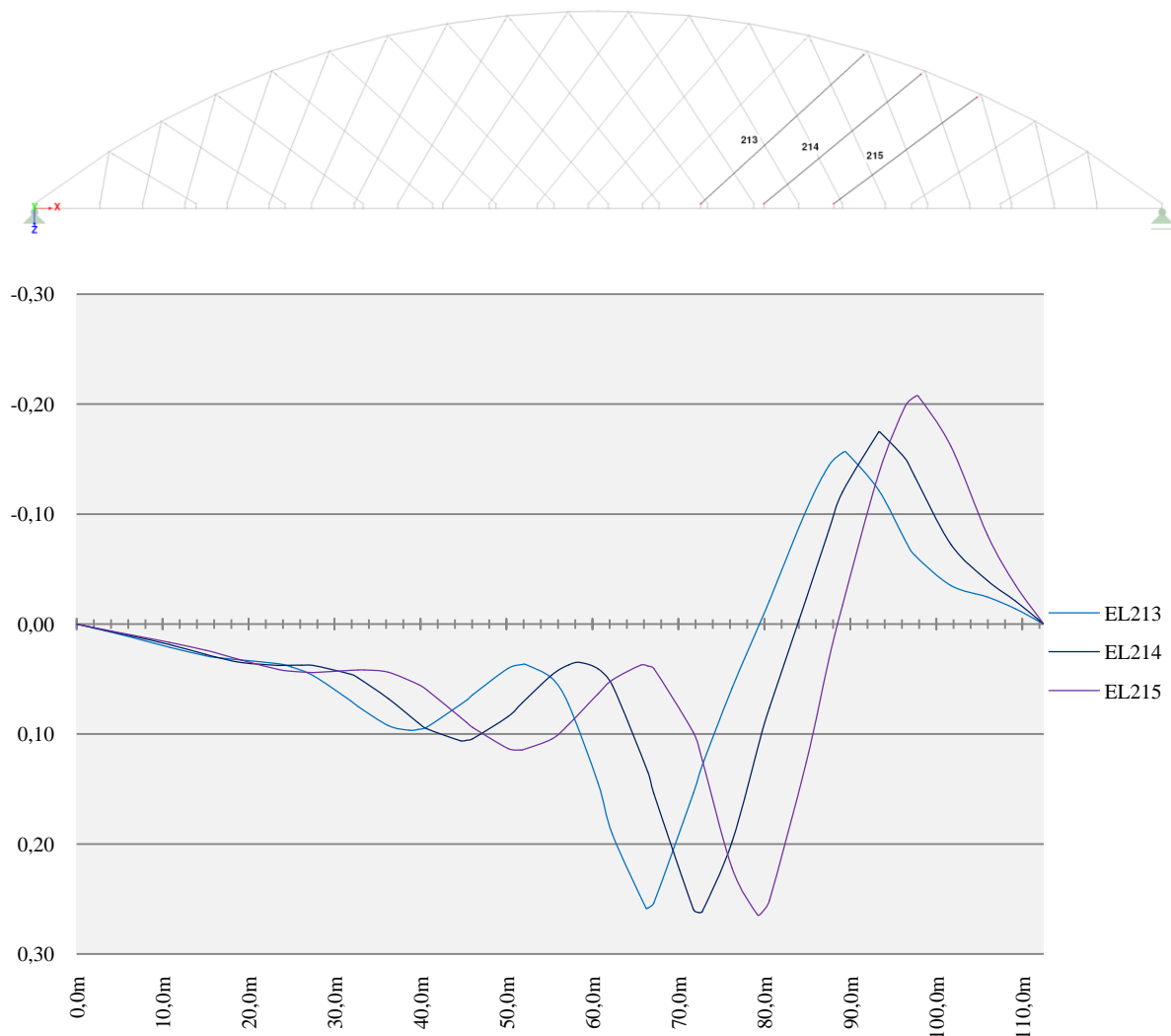


Abbildung 92 Einflusslinien der Hänger 213, 214 und 215

Aus den Einflusslinien der Hänger 213, 214 und 215 lässt sich folgende Problematik erkennen. Vergleicht man die positive mit der negativen Fläche einer Einflusslinie in den Randbereichen, so ergibt sich ein ungünstiges Verhältnis. Im Gegensatz zu den Einflusslinien der Hänger in Abbildung 85 gleichen sich die Flächenanteile hier nicht aus. Der negative Anteil überwiegt deutlich. Durch ein zusätzliches Gewicht im Randbereich erhalten die Hänger zunehmend geringere Zugkräfte bzw. Druckkräfte. Es muss daher untersucht werden, ob diese Hänger unter einem höheren Eigengewicht im Randbereich vielleicht ausfallen. Die Berechnung erfolgt mit dem zusätzlichen Eigengewicht von 202,0 kN über eine Länge von 14,4 m.

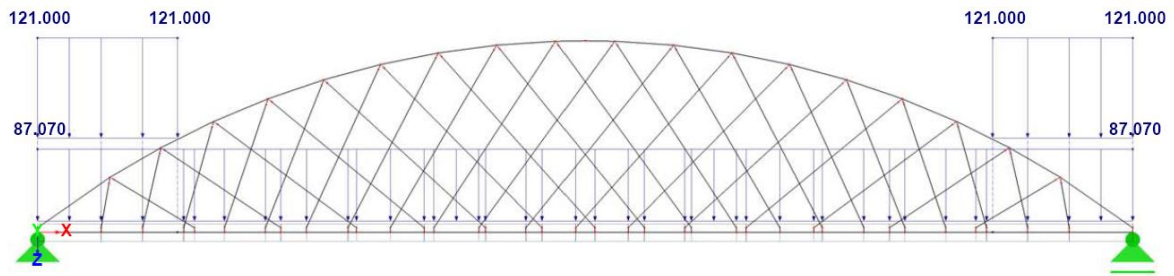


Abbildung 93 Neue Verteilung des Eigengewichts in Brückenlängsrichtung

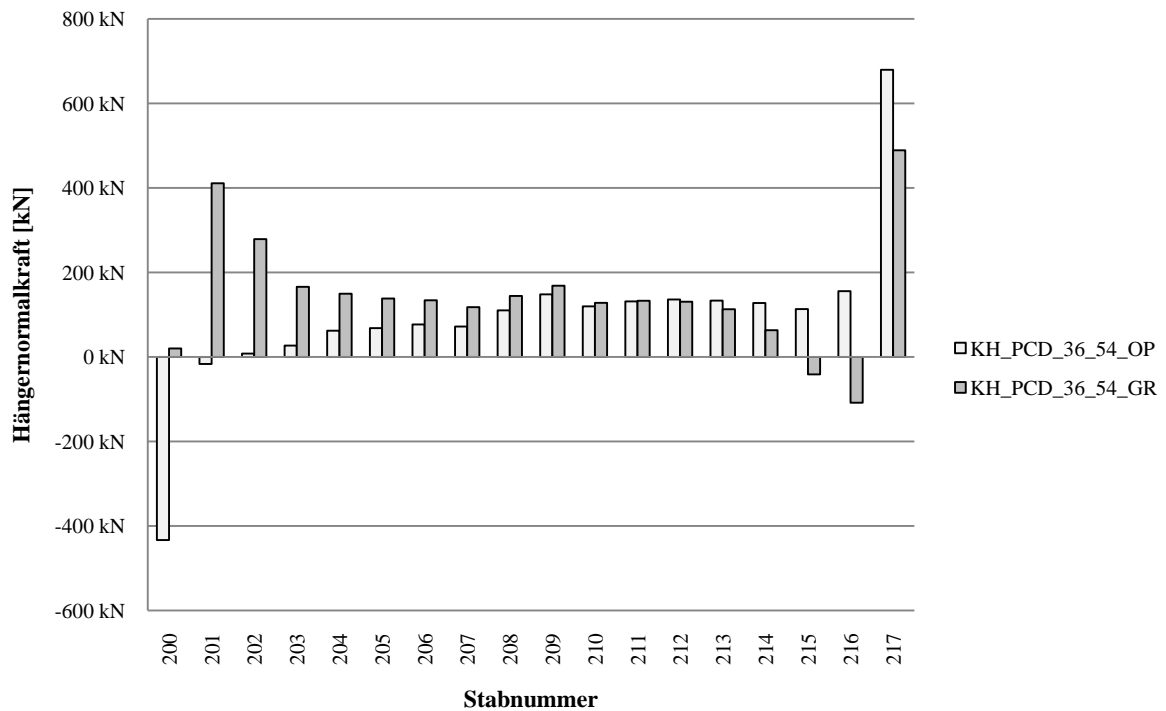


Diagramm 104 Minimale Hängernormalkräfte im FLS bei zusätzlicher Last in den Kämpferbereichen im Vergleich mit einer orthotropen Fahrbahnplatte

Mit dem zusätzlichen Eigengewicht gelingt es einen Hängerausfall der ersten Hänger eines Sets zu vermeiden. Allerdings ist die dazu notwendige Last so groß, dass sie sich bereits negativ auf andere Hänger auswirkt. Die Hänger 215 und 216 erhalten Druckkräfte und fallen somit aus.

18.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei allen drei Systemvarianten gelingt es nicht, alleine durch eine Anpassung der Verteilung des Eigengewichts in Brückenlängsrichtung Hängerausfälle zu vermeiden. Zwar lassen sich die ersten Hänger eines jeden Sets soweit beeinflussen, dass sie Zugkräfte aufweisen, jedoch

fallen dafür andere Hänger im jeweils gegenüberliegenden Kämpferbereich aus. Darüber hinaus sind die dazu notwendigen zusätzlichen Lasten so groß, dass sich die Frage aufdrängt, ob sie überhaupt technisch realisierbar sind.

Mit dieser Methode ist es sehr wohl möglich, die Druckkräfte in den Anfangshängern eines Sets zu reduzieren, als einzige Maßnahme, Hängerausfällen entgegenzuwirken, ist sie jedoch ungeeignet.

18.3 Vorspannung

Eine weitere Möglichkeit, Hängerausfällen im Kämpferbereich entgegenzuwirken, besteht darin, die betroffenen Hänger vorzuspannen. Dies kann dadurch erreicht werden, dass dieser verkürzt eingebaut wird. Das bedeutet, dass für den Einbau des Hängers eine kürzere Länge gewählt wird als die, die dieser im Endsystem aufweist. Für die Montage wird der Bogen im Kämpferbereich mittels Seilzug oder Ähnlichem zusammengespannt und der Hänger eingebaut. Anschließend wird der Seilzug gelöst und der Bogen nimmt seine ursprüngliche Form an, wodurch der Hänger vorgespannt wird. Die resultierenden Schnittgrößen in Bogen, Versteifungsträger und Hänger rufen einen eingprägten Eigenspannungszustand hervor. Die Vorspannung ist so zu wählen, dass in den Hängern keine Druckkräfte im Grenzzustand der Ermüdung auftreten und ein Ausfallen verhindert wird.

Bei allen drei untersuchten Varianten weisen die jeweils ersten beiden Hänger eines Sets Druckkräfte auf. Diese müssen vorgespannt werden. Für die Montage wird davon ausgegangen, dass die Kämpferbereiche unabhängig und vor dem Regelbereich der Brücke gefertigt werden. Es entstehen folgende Teilsysteme.

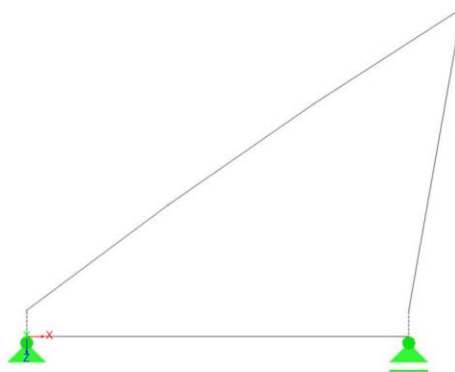


Abbildung 94 Teilsystem 1 bei der Vorspannung der Randhänger

Abbildung 94 zeigt den ersten Montagezustand des Randbereiches. Der Bogen und der Versteifungsträger werden bis zum ersten vorzuspannenden Hänger montiert. Nachdem der erste Hänger vorgespannt ist, werden Bogen und Versteifungsträger bis zum nächsten Hänger, der vorzuspannen ist, weitergebaut. Es ergibt sich der zweite Montagezustand wie in Abbildung 95.

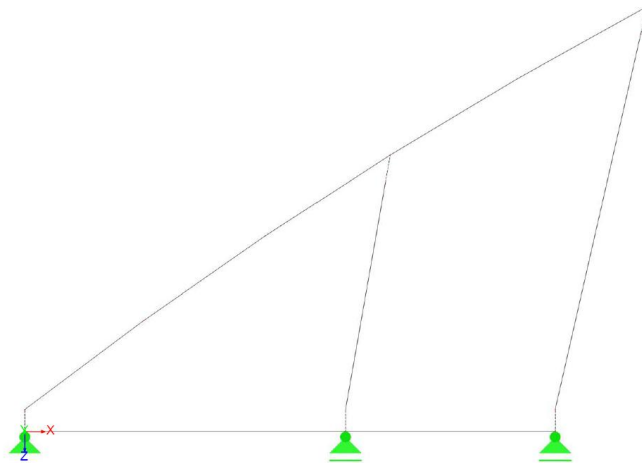


Abbildung 95 Teilsystem 2 bei der Vorspannung der Randhänger

Die Vorgehensweise beim Vorspannen des zweiten Hängers ist analog zu der beim vorherigen. Bei der ersten Vorspannvariante ist der Versteifungsträger gegen Abheben gesichert. Durch die gewählte Reihenfolge des Einbaus der Hänger ist es nicht zu vermeiden, dass der erste Hänger durch das Vorspannen des zweiten eine Druckkraft erhält. Diese muss beim Vorspannen des ersten Randhängers mitberücksichtigt werden. Alle Auflagerreaktionen der Teilsysteme sind als zusätzlicher Lastfall auf das Gesamtsystem anzusetzen.

Bei der zweiten Vorspannvariante wird der Versteifungsträger nicht gegen Abheben gesichert wodurch sich für den zweiten Montagezustand das statische System wie in Abbildung 96 ergibt.

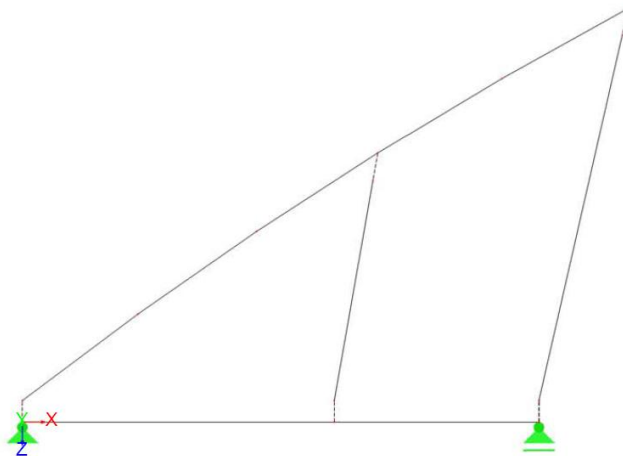


Abbildung 96 Teilsystem 2 bei der Vorspannung der Randhänger ohne Sicherung des Versteifungsträgers gegen Abheben

Die Teilsysteme werden unabhängig voneinander berechnet und die resultierenden Schnittgrößen mit Hilfe einer Superkombination, die die Berücksichtigung unterschiedlicher Montagezustände erlaubt, in RSTAB überlagert.

Im Weiteren wird auch eine Variante untersucht, bei der der erste Hänger während des Einbaus des zweiten durch eine Hilfsunterstützung gesichert wird.

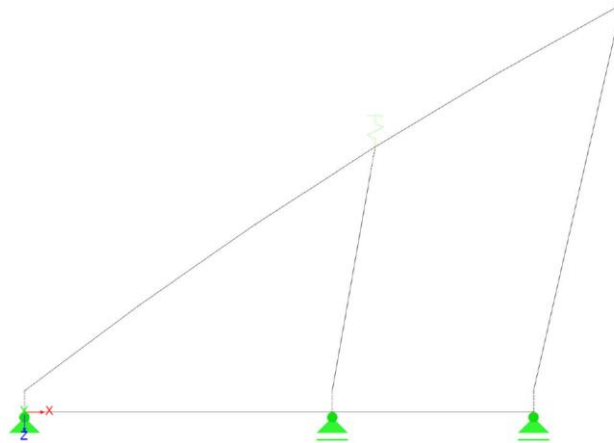


Abbildung 97 Teilsystem 2 bei der Vorspannung der Randhänger mit Hilfsstütze

Die Hilfsstütze wird, wie in Abbildung 97 ersichtlich, mittels Feder modelliert. Die Federsteifigkeit wird mittels folgender aus der Baustatik bekannten Formel bestimmt:

$$c = \frac{EA}{l} * \cos^2 \alpha$$

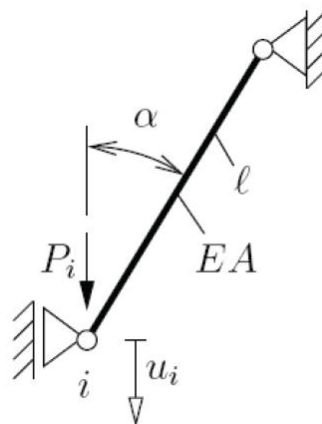


Abbildung 98 Federmodell aus der Baustatik

Durch die Hilfsstütze werden Druckkräfte im ersten Hänger während des Vorspannens des zweiten weitgehend vermieden. Der Ausbau der Hilfsstütze erfolgt erst nach Fertigstellung des Gesamttragwerks. Alle Auflagerreaktionen der Teilsysteme sind als zusätzlicher Lastfall

auf das Gesamtsystem anzusetzen. Die Schnittgrößen werden, wie oben beschrieben, überlagert.

Nachdem die Kämpferbereiche der Brücke wie beschrieben errichtet worden sind, kann das übrige Tragwerk fertiggestellt werden. Der große Vorteil der beschriebenen Vorgehensweise während der Montage der Brücke liegt darin, dass die Kämpferbereiche bzw. Störbereiche quasi unabhängig vom Regelbereich der Brücke optimiert werden können.

Anmerkung: Für die drei oben beschriebenen Vorspannvarianten werden die Höhen der Vorspannkräfte zufolge der in 15 berechneten resultierenden Druckkräfte im FLS in den Randhängern bestimmt. Nach der Ausarbeitung dieses Kapitels wurde das in 17 beschriebene Nachweiskonzept für die Hänger im Grenzzustand der Tragfähigkeit entwickelt. Dieses macht es eigentlich notwendig, die Hänger für die etwas höheren resultierenden Druckkräfte zufolge der in 17.1 festgelegten Lastfallkombination vorzuspannen. Da sich jedoch an der prinzipiellen Vorgehensweise beim Vorspannen nichts ändert wurde darauf verzichtet die Kapitel 18.3.1, 18.3.2, 18.3.3 zu überarbeiten. Die in 18.3.4.1 und in 18.3.4.2 beschriebenen Ideen zur Vorspannung wurden erst später entwickelt und daher unter Rücksichtnahme auf die höheren Hängernormalkräfte berechnet.

18.3.1 Variante 1: Radiale Hängeranordnung

Für das gewählte Netz der radialen Hängeranordnung fallen die ersten beiden Hänger 200 bzw. 201 (bzw. 316 und 317) aus. Die resultierenden Druckkräfte betragen 385,88 kN bzw. 31,42 kN.

18.3.1.1 Vorspannung ohne Hilfsstütze mit Sicherung des VT gegen Abheben

Um die gewünschte Vorspannung zu erzielen, werden die notwendigen Stabverkürzungen iterativ an den beiden Teilsystemen ermittelt. Der erste Hänger wird mit einer Verkürzung von 25,5 mm und der zweite Hänger mit einer Verkürzung von 2,0 mm eingebaut. Im Folgenden werden die Schnittgrößenverläufe der beiden Teilsysteme dargestellt.

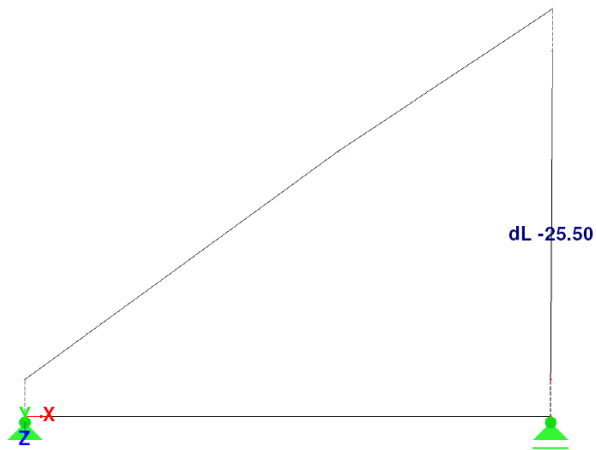


Abbildung 99 Teilsystem 1 mit Belastung

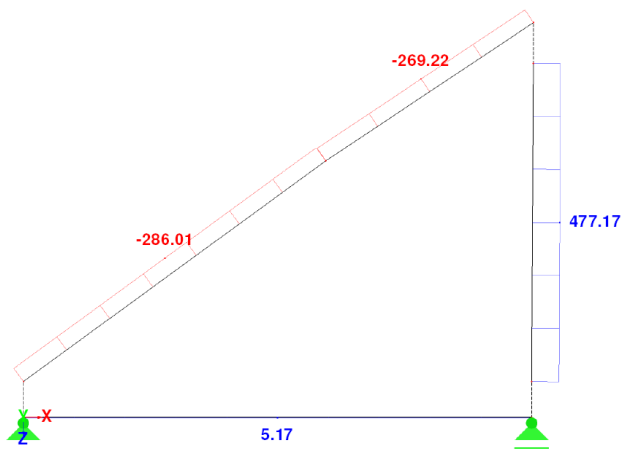


Abbildung 100 Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

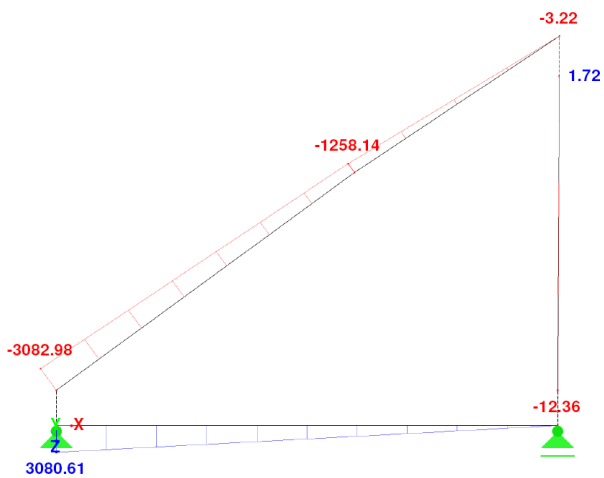


Abbildung 101 Teilsystem 1: Momentenverlauf

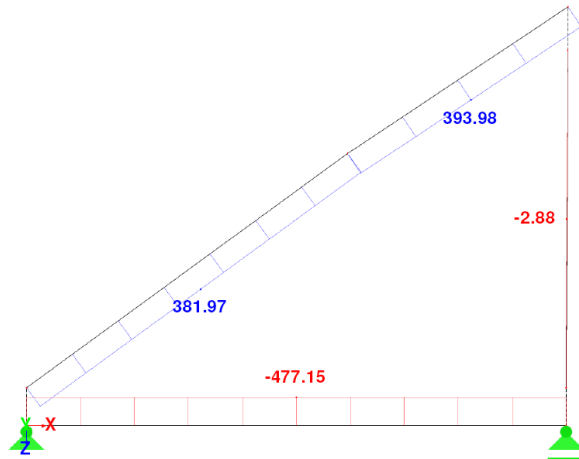


Abbildung 102 Teilsystem 1: Querkraftverlauf

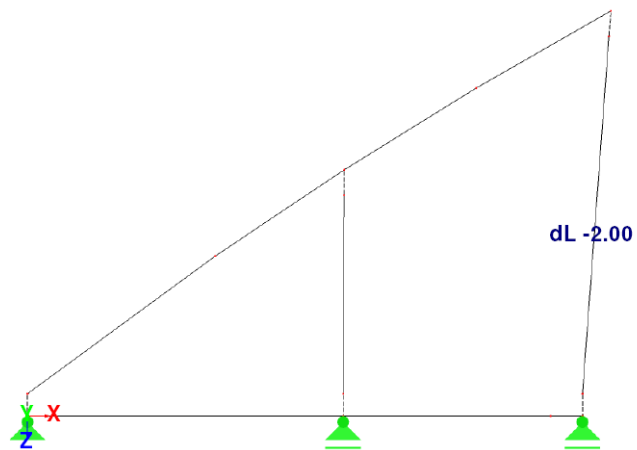


Abbildung 103 Teilsystem 2 mit Belastung

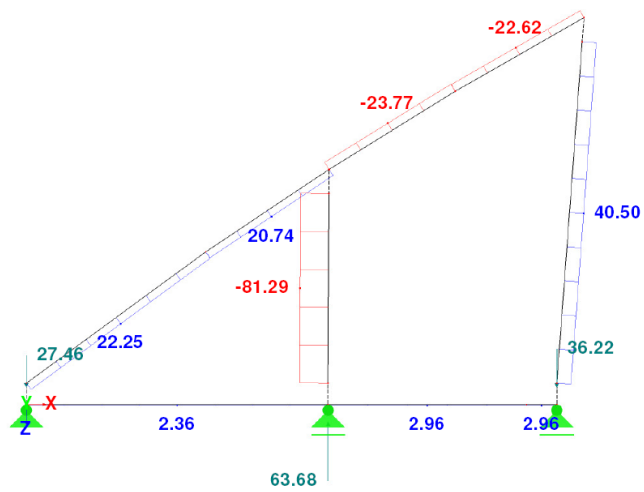


Abbildung 104 Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

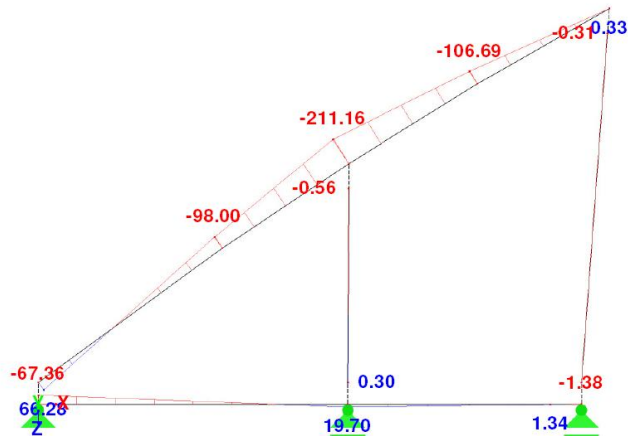


Abbildung 105 Teilsystem 2: Momentenverlauf

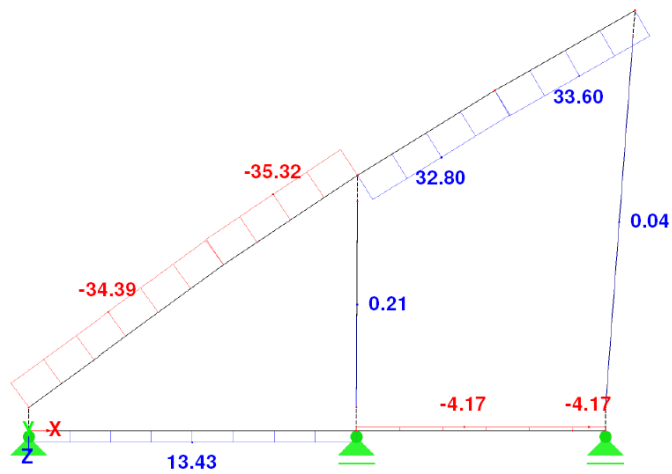


Abbildung 106 Teilsystem 2: Querkraftverlauf

Teilsystem 1 ist statisch bestimmt. Durch die eingeprägte Verkürzung im Hänger können daher keine Auflagerkräfte entstehen. Teilsystem 2 dagegen ist statisch unbestimmt und es entstehen Auflagerreaktionen, die als zusätzlicher Lasten auf das Gesamtsystem angesetzt werden müssen.

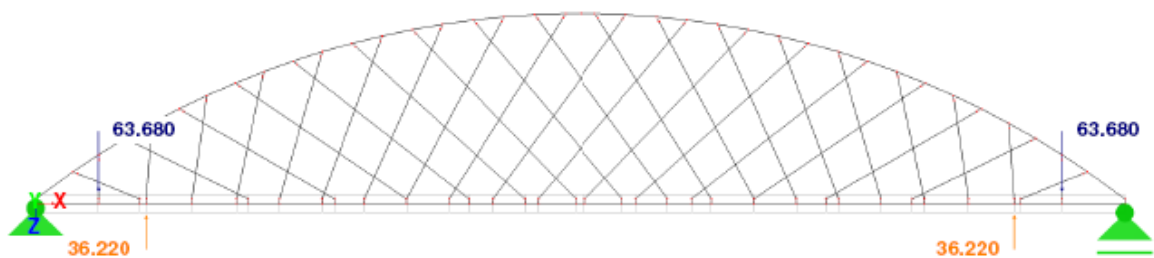


Abbildung 107 Zusätzliche Lasten auf das Gesamtsystem

18.3.1.2 Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben

Um die gewünschte Vorspannung zu erzielen, werden die notwendigen Stabverkürzungen iterativ an den beiden Teilsystemen ermittelt. Der erste Hänger wird mit einer Verkürzung von 25,5 mm und der zweite Hänger mit einer Verkürzung von 2,0 mm eingebaut. Im Folgenden werden die Schnittgrößenverläufe der beiden Teilsysteme dargestellt.

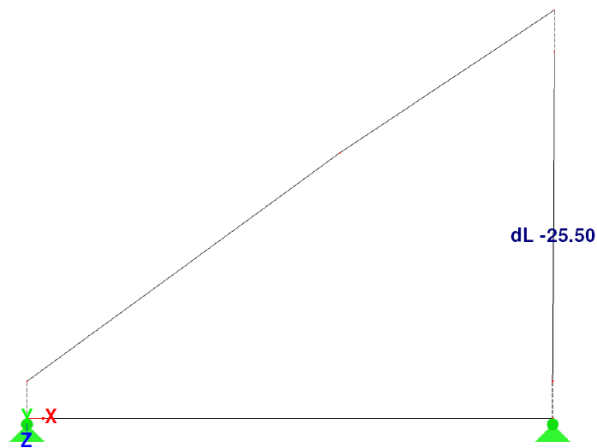


Abbildung 108 Teilsystem 1 mit Belastung

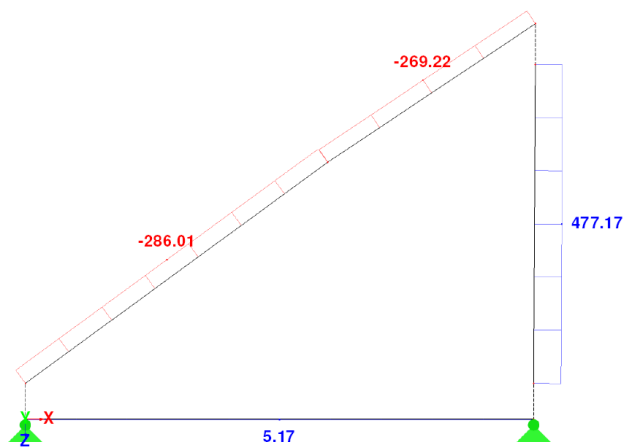


Abbildung 109 Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

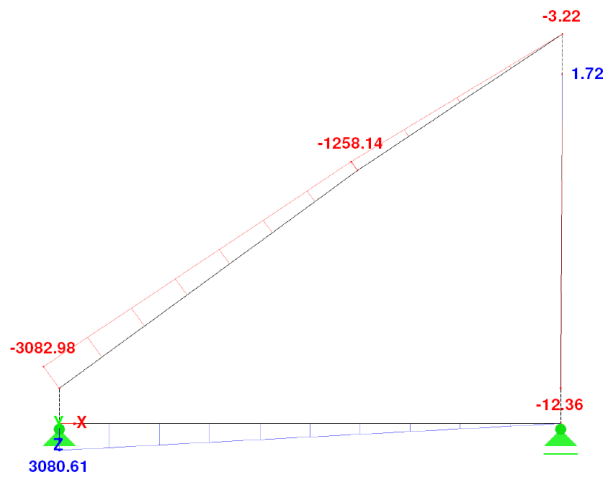


Abbildung 110 Teilsystem 1: Momentenverlauf

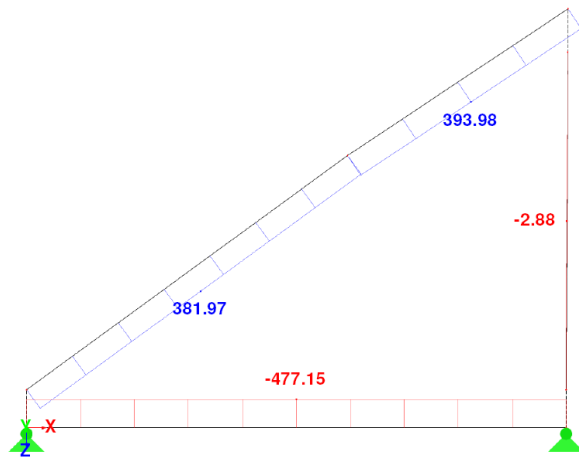


Abbildung 111 Teilsystem 1: Querkraftverlauf

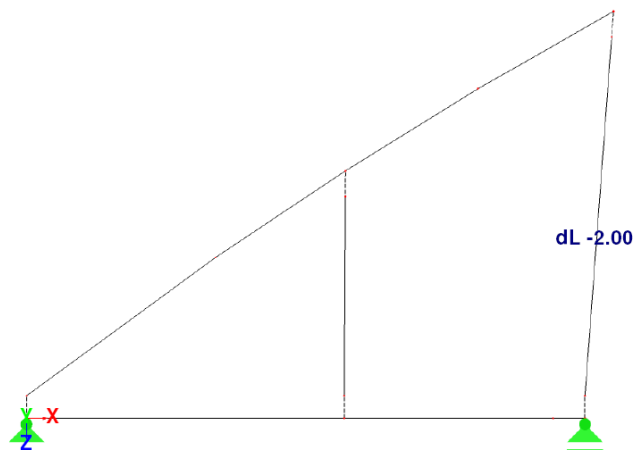


Abbildung 112 Teilsystem 2 mit Belastung

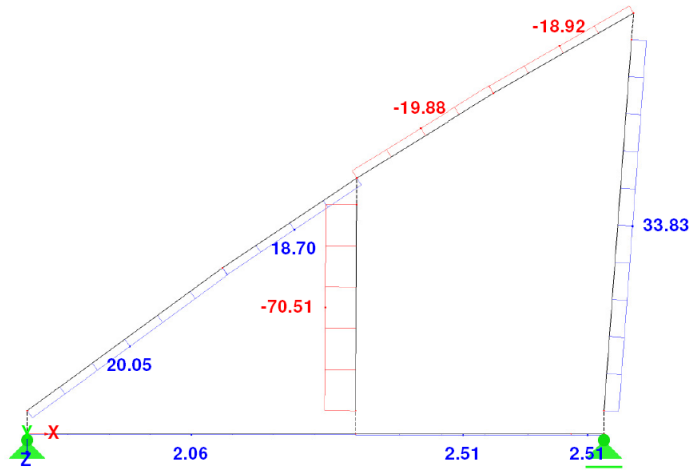


Abbildung 113 Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

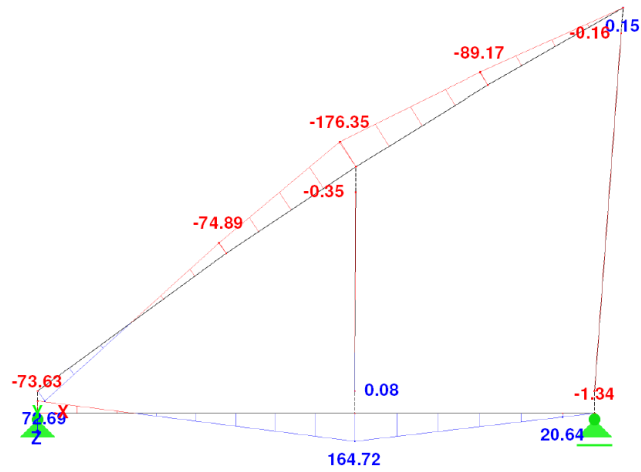


Abbildung 114 Teilsystem 2: Momentenverlauf

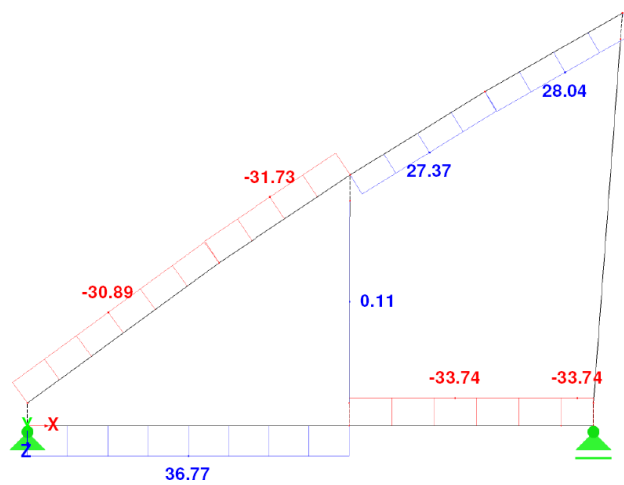


Abbildung 115 Teilsystem 2: Querkraftverlauf

Für diese Variante sind Teilsystem 1 und Teilsystem 2 statisch bestimmt. Durch die eingepägte Verkürzung im Hänger können daher keine Auflagerkräfte entstehen.

18.3.1.3 Vorspannung mit Hilfsstütze

Um die gewünschte Vorspannung zu erzielen, werden die notwendigen Stabverkürzungen iterativ an den beiden Teilsystemen ermittelt. Der erste Hänger wird mit einer Verkürzung von 25,0 mm und der zweite Hänger mit einer Verkürzung von 2,0 mm eingebaut. Unter der Annahme, dass ein quadratisches Hohlprofil mit den Abmessungen 400/400/16 mm als Hilfsstütze zum Einsatz kommt, berechnet sich die Ersatzfedersteifigkeit zu 1203660,0 kN/m. Im Folgenden werden die Schnittgrößenverläufe der beiden Teilsysteme dargestellt.

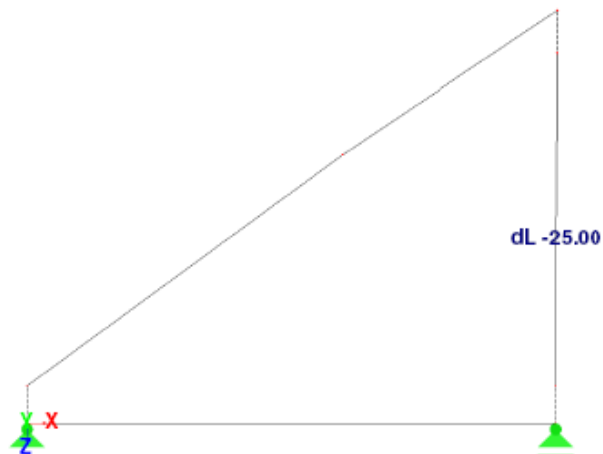


Abbildung 116 Teilsystem 1 mit Belastung

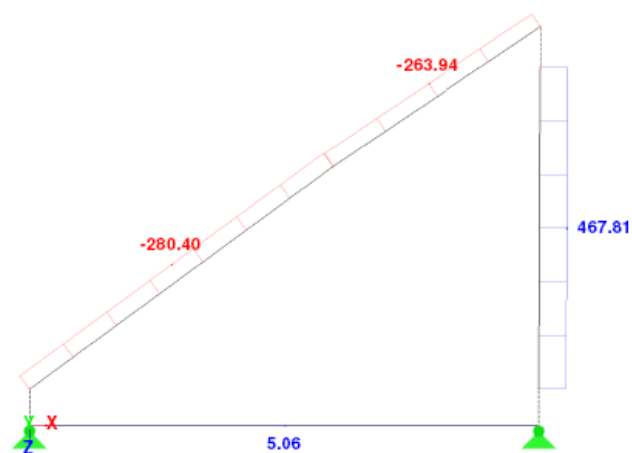


Abbildung 117 Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

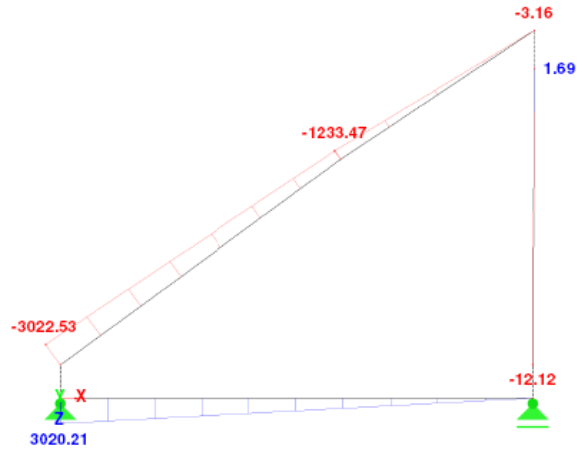


Abbildung 118 Teilsystem 1: Momentenverlauf

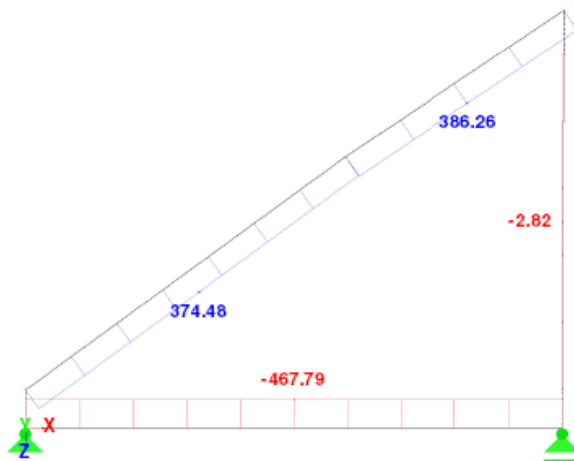


Abbildung 119 Teilsystem 1: Querkraftverlauf

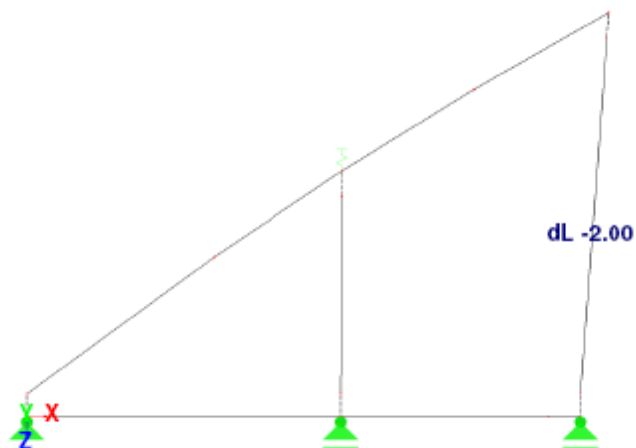


Abbildung 120 Teilsystem 2 mit Belastung

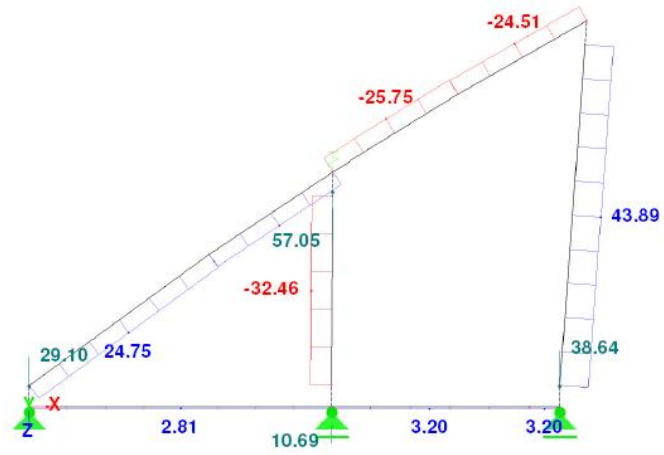


Abbildung 121 Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

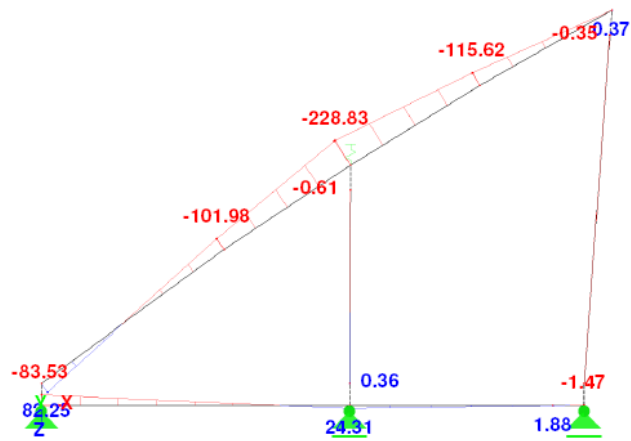


Abbildung 122 Teilsystem 2: Momentenverlauf

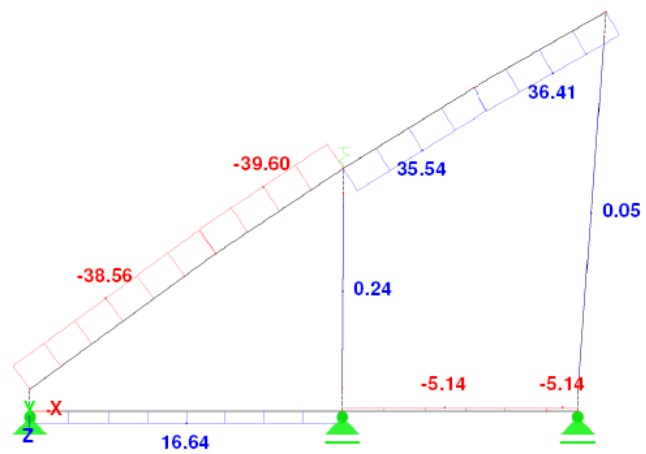


Abbildung 123 Teilsystem 2: Querkraftverlauf

Teilsystem 1 ist statisch bestimmt. Durch die eingeprägte Verkürzung im Hänger können daher keine Auflagerkräfte entstehen. Teilsystem 2 dagegen ist statisch unbestimmt und es entstehen Auflagerreaktionen, die als zusätzlicher Lasten auf das Gesamtsystem angesetzt werden müssen.

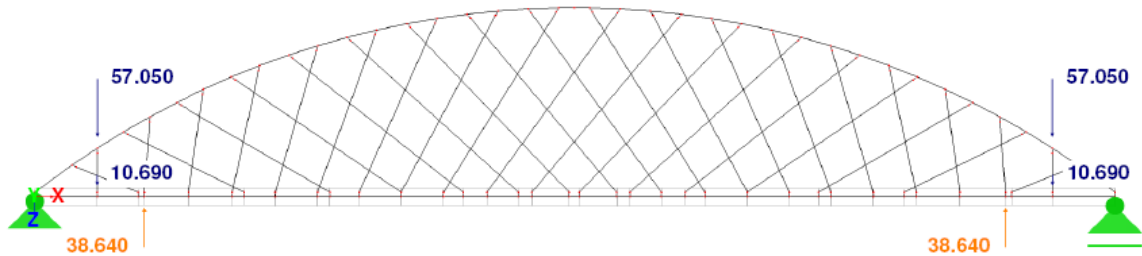


Abbildung 124 Zusätzliche Lasten auf das Gesamtsystem

18.3.1.4 Ergebnisauswertung

Zur Beurteilung der beiden Vorspannungsvarianten werden zuerst die Hängernormalkräfte im FLS betrachtet.

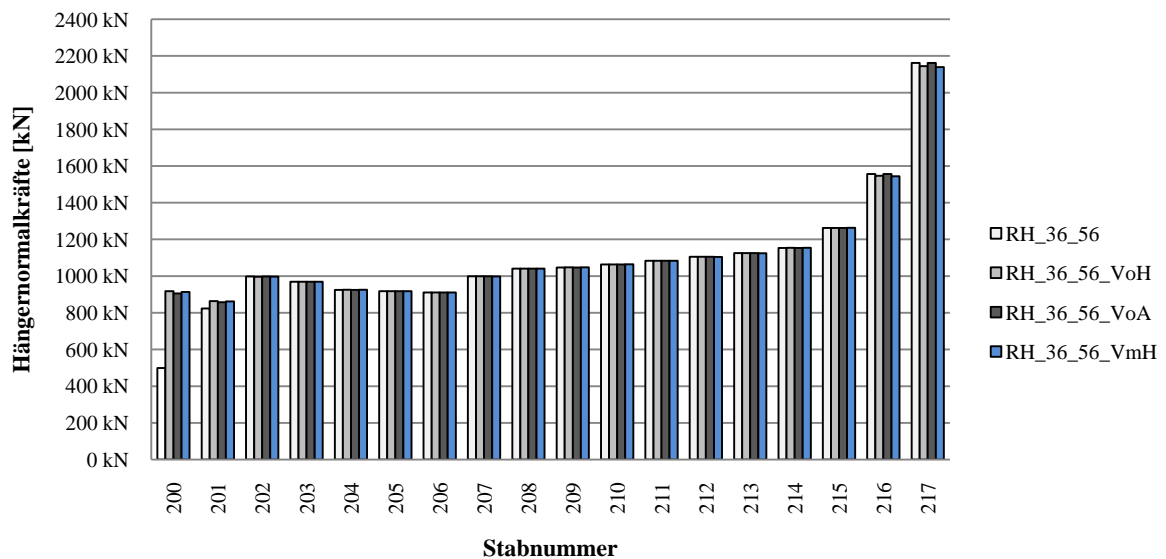


Diagramm 105 Vergleich der maximalen Hängernormalkräfte im FLS ohne Vorspannung und mit den beiden Vorspannungsvarianten

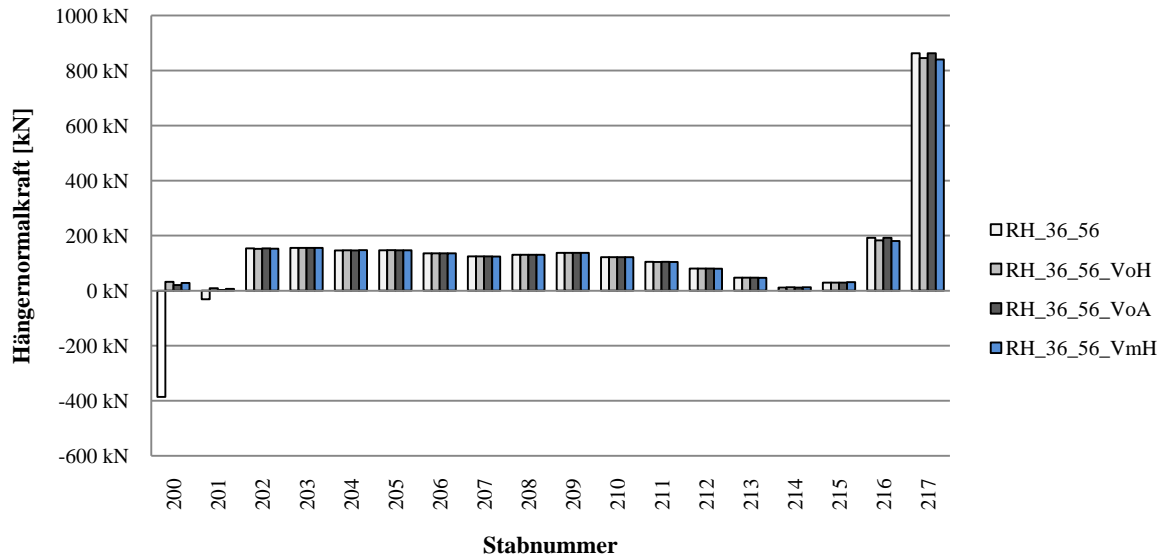


Diagramm 106 Vergleich der minimalen Hängernormalkräfte im FLS ohne Vorspannung und mit den beiden Vorspannungsvarianten

Diagramm 106 zeigt, dass alle Vorspannungsvarianten zum Ziel führen. In jedem Fall gelingt es, die Hänger so vorzuspannen, dass Hängerausfälle vermieden werden. Die Vorspannung hat keine Auswirkung auf das Verhalten der Hänger im Regelbereich. Auffallend ist, dass eine Vorspannung der Hänger keine Auswirkung auf die Normkraftschwingbreiten nach sich zieht. Hat es sich bei der Beanspruchung zuvor um eine reine Wechselbeanspruchung gehandelt, so handelt es sich nach dem Vorspannen um eine Zugschwellenbeanspruchung.

Da durch die Vorspannung, Schnittgrößen bzw. Spannungen in den Bogen und den Versteifungsträger eingepreßt werden, ist es wichtig, die resultierenden Schnittgrößenverläufe zu betrachten. Abbildung 125, Abbildung 126, Abbildung 127 und Abbildung 128 zeigen die Momentenverläufe in Bogen und Versteifungsträger. Dabei zeigen sich drastische Unterschiede im Kämpferbereich. Ohne zusätzliche Maßnahmen beträgt das maximale Biegemoment im FLS im Bogen $-1909,53 \text{ kNm}$. Durch das Zusammenspannen des Bogens erhöht sich das Biegemoment auf ein Vielfaches dieses Wertes, wobei die Variante mit Hilfsstütze einen geringfügig besseren Schnittgrößenverlauf liefert. Die Erhöhung des Momentes bleibt auf den Randbereich beschränkt und klingt noch vor Beginn des Regelbereichs ab.

Der Momentenverlauf im Versteifungsträger wird ebenfalls stark durch die Vorspannung beeinflusst. Werden keine Maßnahmen im Kämpferbereich gesetzt, so beträgt das Biegemoment $-4528,04 \text{ kNm}$. Die Vorspannung bewirkt, dass das Moment im Kämpferbereich deutlich reduziert wird, was eine gleichmäßigere Ausnutzung des Versteifungsträgers zur Folge hat.

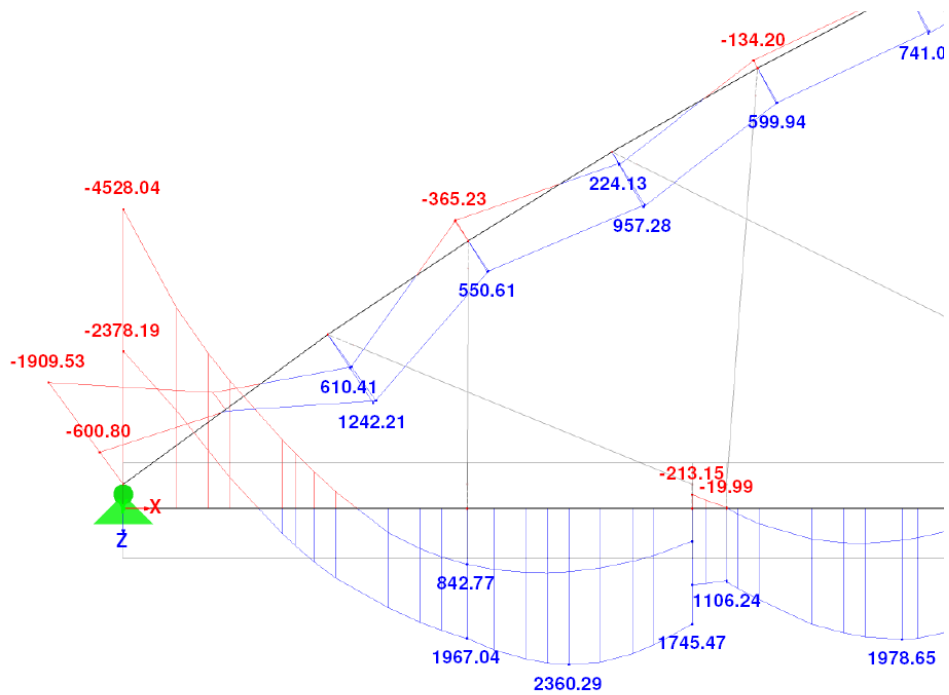


Abbildung 125 Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger ohne Vorspannung der Hänger

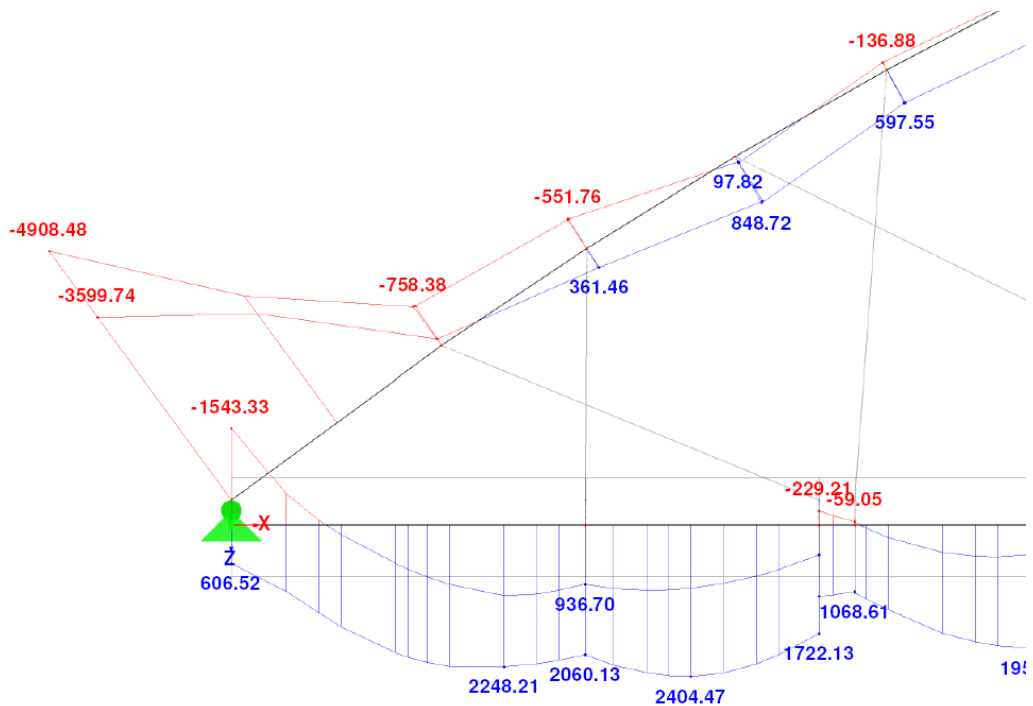


Abbildung 126 Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung ohne Hilfsstütze und mit Sicherung des VT gegen Abheben

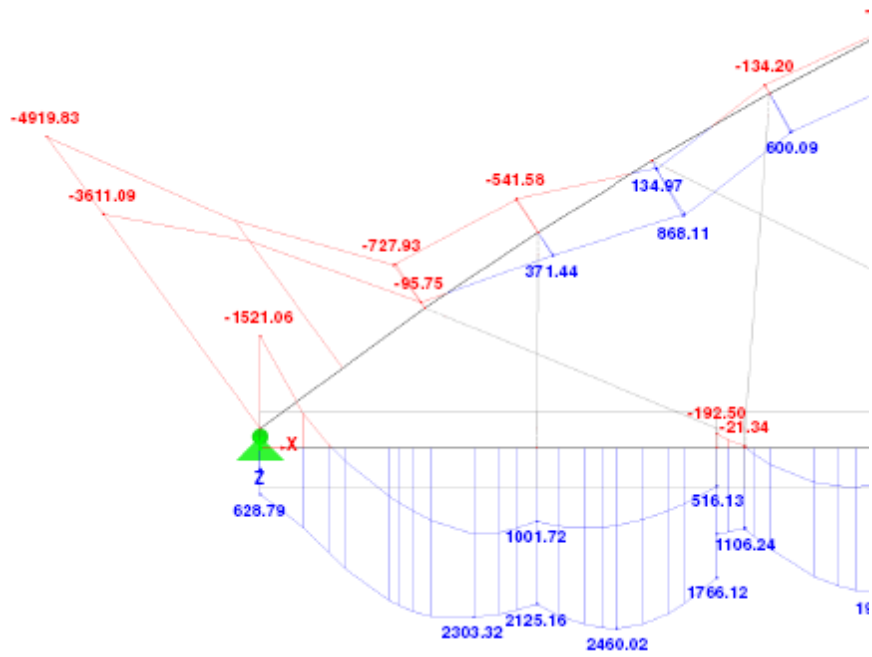


Abbildung 127 Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben

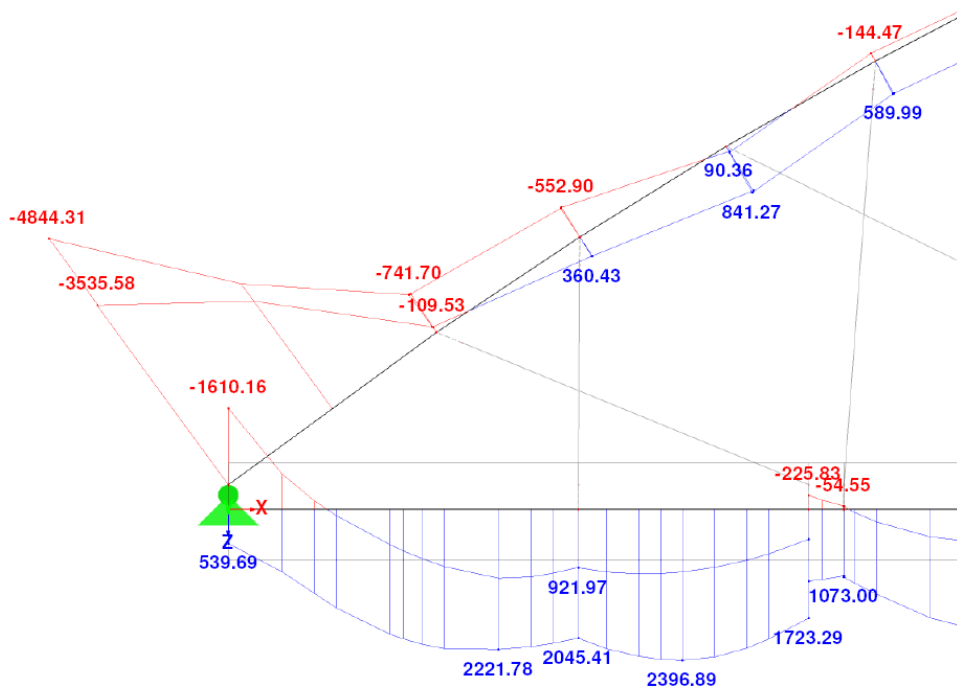


Abbildung 128 Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung mit Hilfsstütze

18.3.2 Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung

Für das gewählte Netz der konstanten Hängerneigungsänderung fallen die ersten beiden Hänger 200 bzw. 201 (bzw. 316 und 317) aus. Die resultierenden Druckkräfte betragen 696,91 kN bzw. 162,16 kN.

18.3.2.1 Vorspannung ohne Hilfsstütze und mit Sicherung des VT gegen Abheben

Um die gewünschte Vorspannung zu erzielen, werden die notwendigen Stabverkürzungen iterativ an den beiden Teilsystemen ermittelt. Der erste Hänger wird mit einer Verkürzung von 62,0 mm und der zweite Hänger mit einer Verkürzung von 8,0 mm eingebaut. Im Folgenden werden die Schnittgrößenverläufe der beiden Teilsysteme dargestellt.

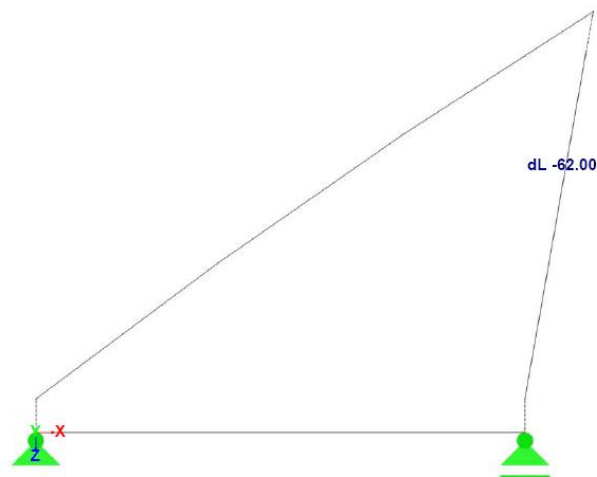


Abbildung 129 Teilsystem 1 mit Belastung

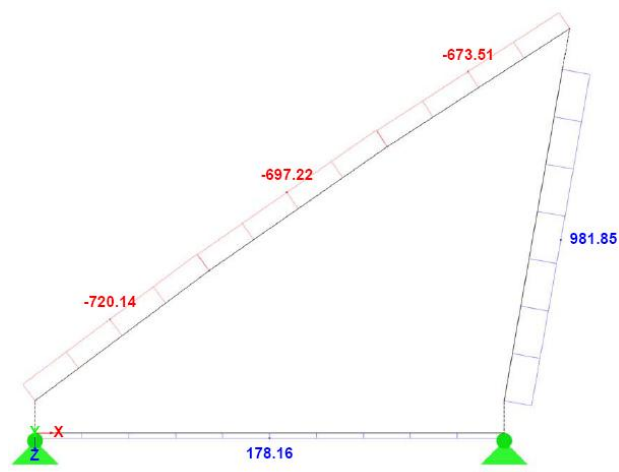


Abbildung 130 Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

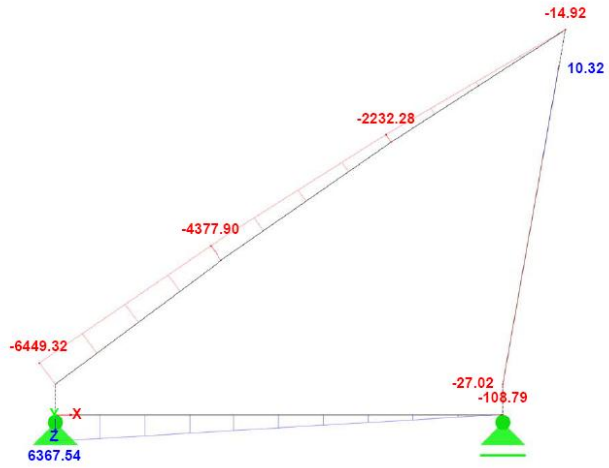


Abbildung 131 Teilsystem 1: Momentenverlauf

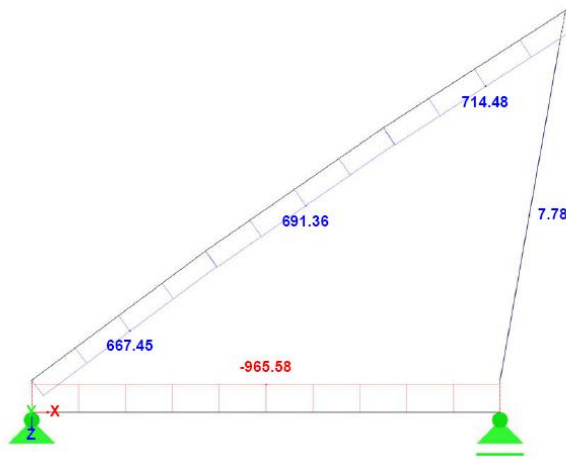


Abbildung 132 Teilsystem 1: Querkraftverlauf

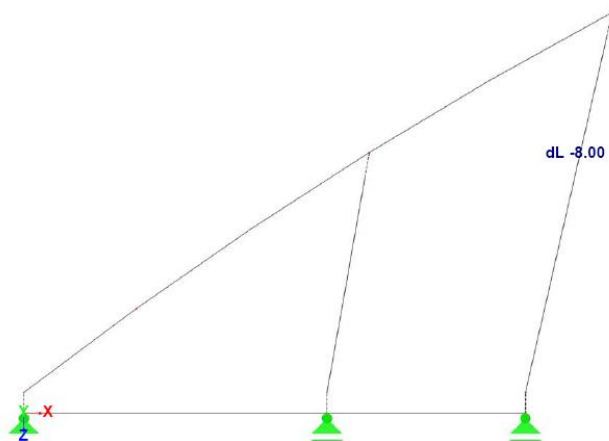


Abbildung 133 Teilsystem 2 mit Belastung

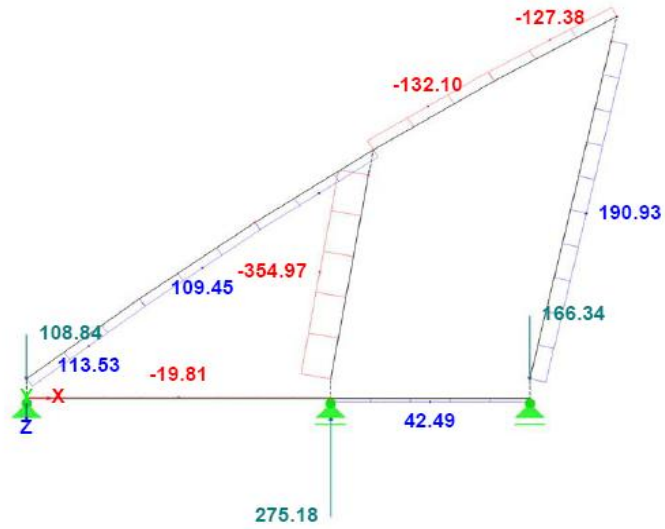


Abbildung 134 Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

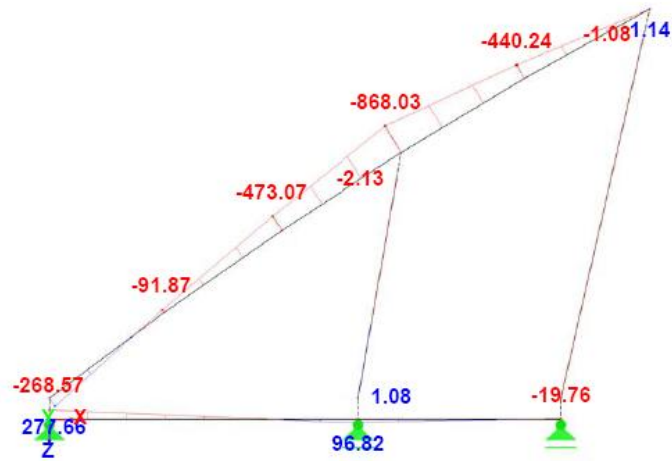


Abbildung 135 Teilsystem 2: Momentenverlauf

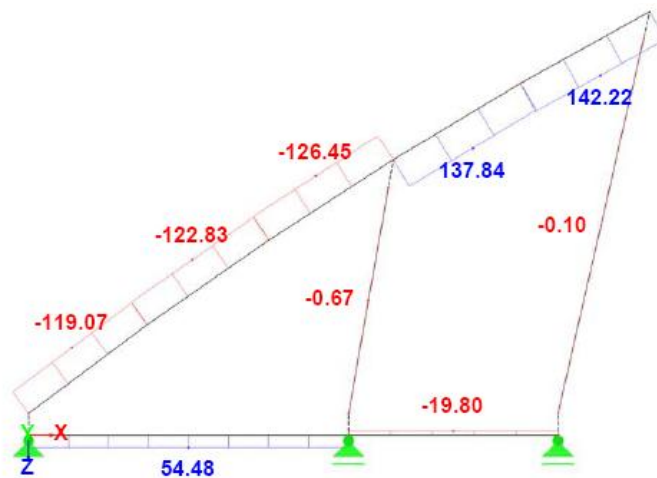


Abbildung 136 Teilsystem 2: Querkraftverlauf

Teilsystem 1 ist statisch bestimmt. Durch die eingeprägte Verkürzung im Hänger können daher keine Auflagerkräfte entstehen. Teilsystem 2 dagegen ist statisch unbestimmt und es entstehen Auflagerreaktionen, die als zusätzlicher Lasten auf das Gesamtsystem angesetzt werden müssen.

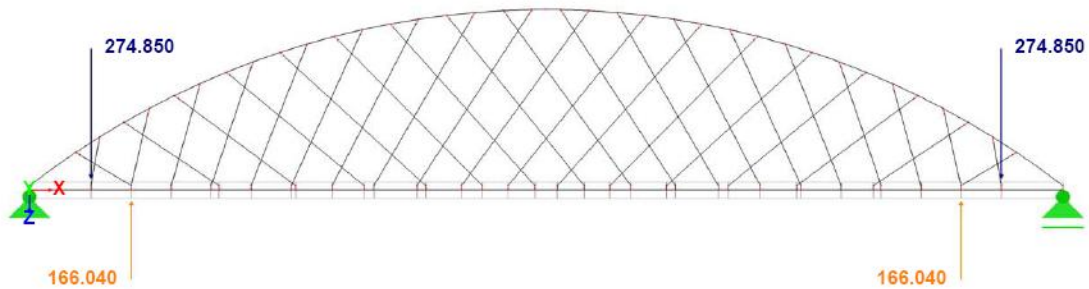


Abbildung 137 Zusätzliche Lasten auf das Gesamtsystem

18.3.2.2 Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben

Um die gewünschte Vorspannung zu erzielen, werden die notwendigen Stabverkürzungen iterativ an den beiden Teilsystemen ermittelt. Der erste Hänger wird mit einer Verkürzung von 70,0 mm und der zweite Hänger mit einer Verkürzung von 9,0 mm eingebaut. Im Folgenden werden die Schnittgrößenverläufe der beiden Teilsysteme dargestellt.

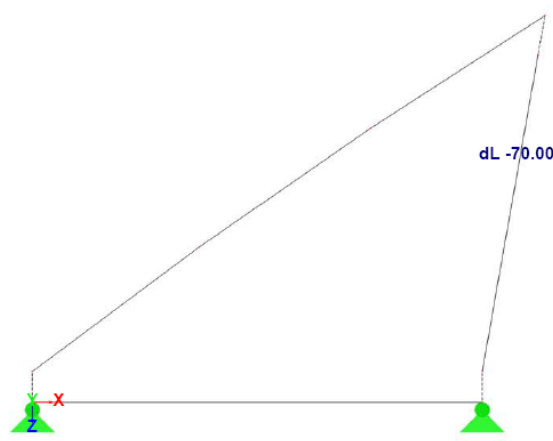


Abbildung 138 Teilsystem 1 mit Belastung

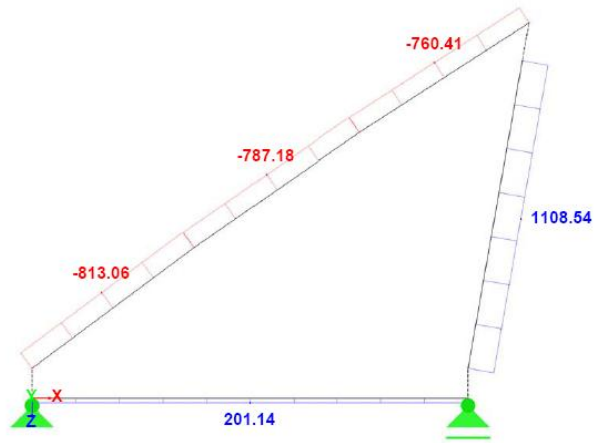


Abbildung 139 Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

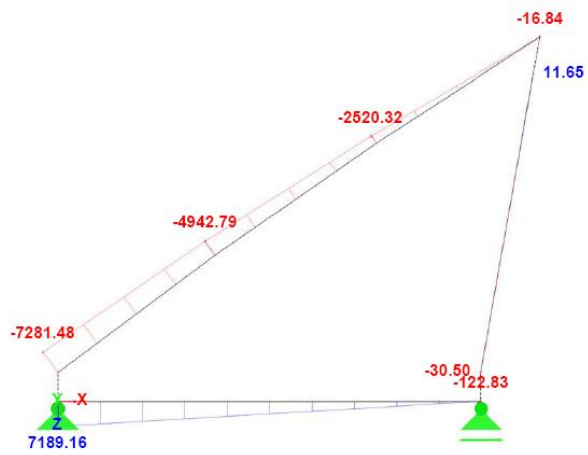


Abbildung 140 Teilsystem 1: Momentenverlauf

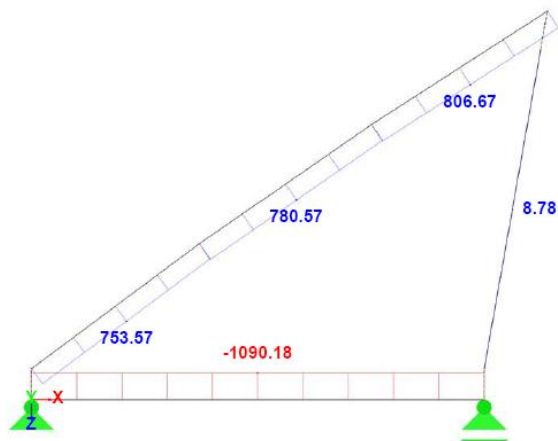


Abbildung 141 Teilsystem 1: Querkraftverlauf

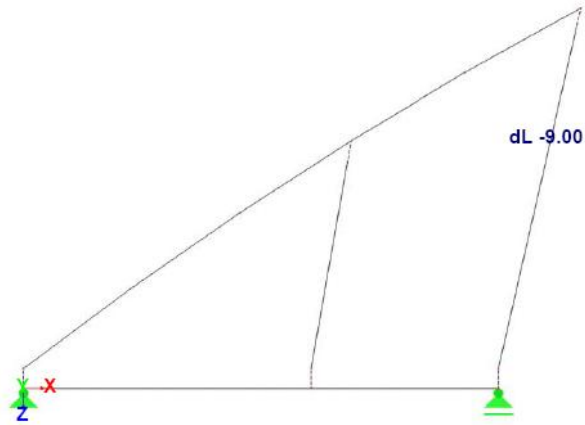


Abbildung 142 Teilsystem 2 mit Belastung

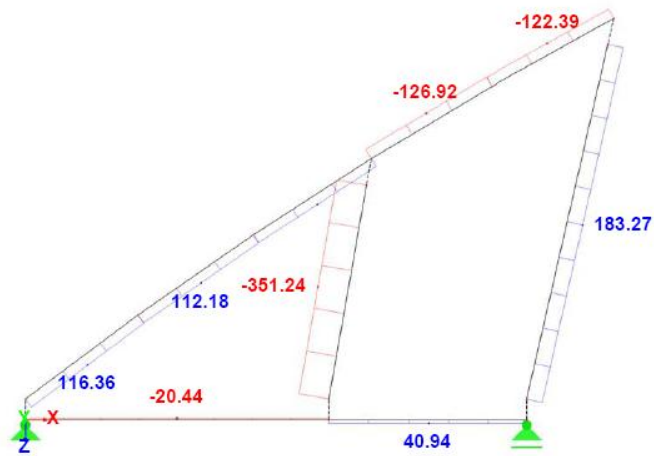


Abbildung 143 Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

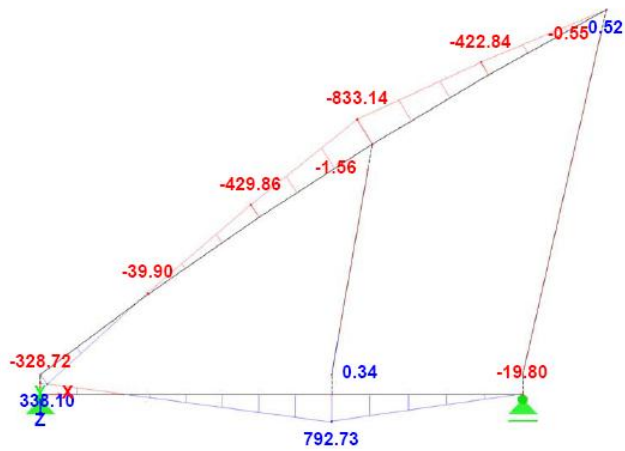


Abbildung 144 Teilsystem 2: Momentenverlauf

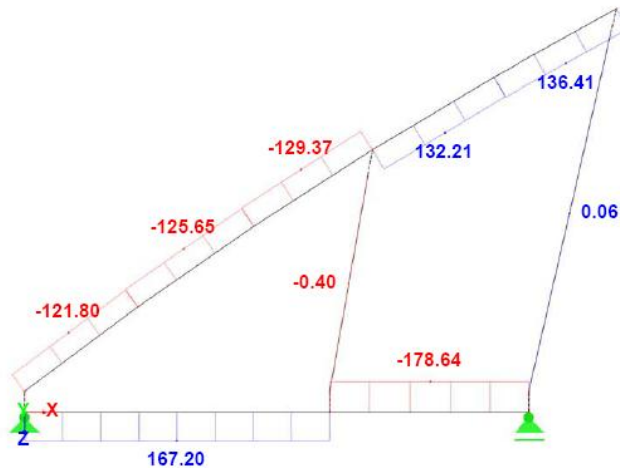


Abbildung 145 Teilsystem 2: Querkraftverlauf

Für diese Variante sind Teilsystem 1 und Teilsystem 2 statisch bestimmt. Durch die eingepärgte Verkürzung im Hänger können daher keine Auflagerkräfte entstehen.

18.3.2.3 Vorspannung mit Hilfsstütze

Um die gewünschte Vorspannung zu erzielen, werden die notwendigen Stabverkürzungen iterativ an den beiden Teilsystemen ermittelt. Der erste Hänger wird mit einer Verkürzung von 60,0 mm und der zweite Hänger mit einer Verkürzung von 8,0 mm eingebaut. Unter der Annahme, dass ein quadratisches Hohlprofil mit den Abmessungen 400/400/16 mm als Hilfsstütze zum Einsatz kommt, berechnet sich die Ersatzfedersteifigkeit zu 997123,0 kN/m. Im Folgenden werden die Schnittgrößenverläufe der beiden Teilsysteme dargestellt.

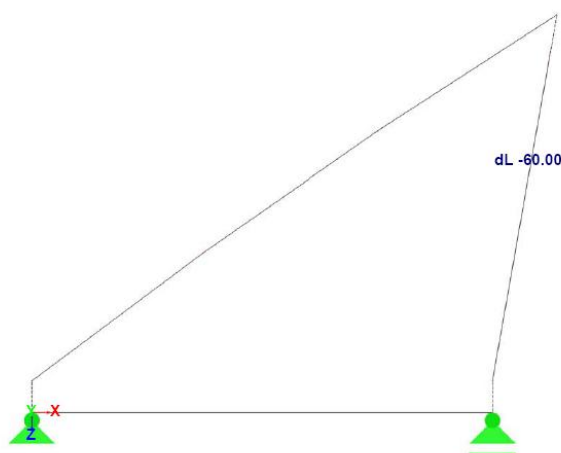


Abbildung 146 Teilsystem 1 mit Belastung

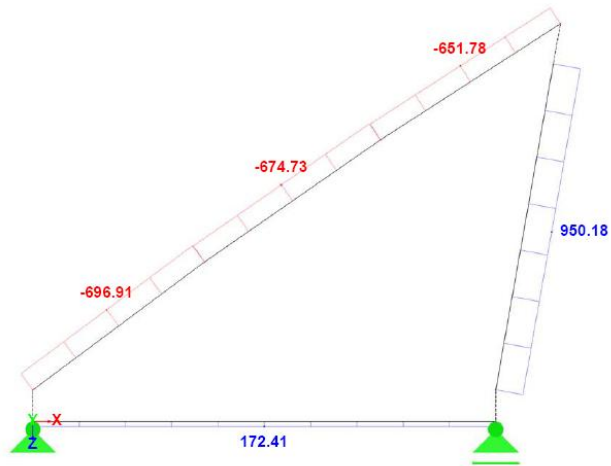


Abbildung 147 Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen



Abbildung 148 Teilsystem 1: Momentenverlauf

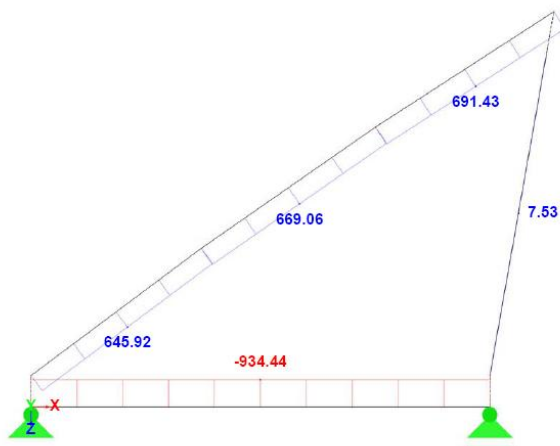


Abbildung 149 Teilsystem 1: Querkraftverlauf

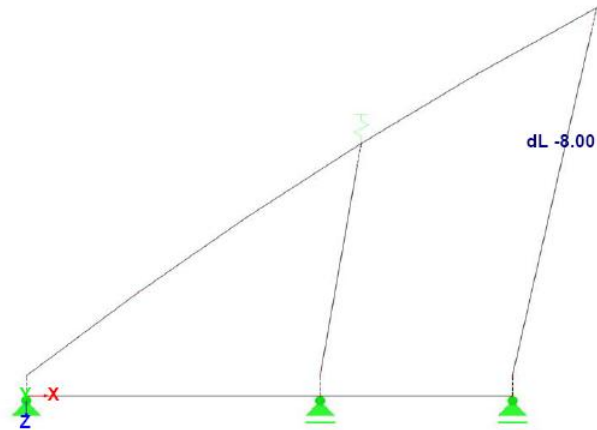


Abbildung 150 Teilsystem 2 mit Belastung

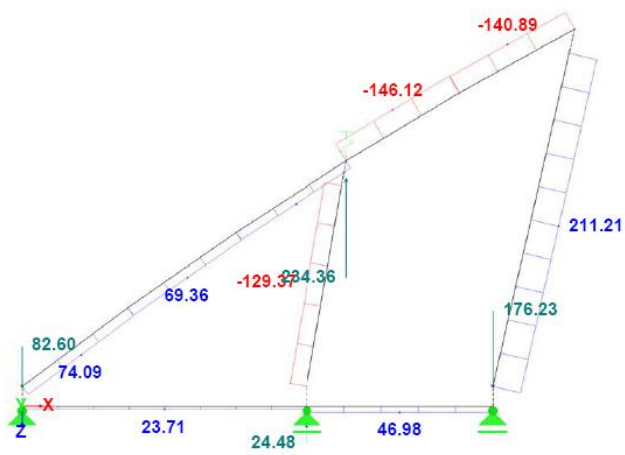


Abbildung 151 Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

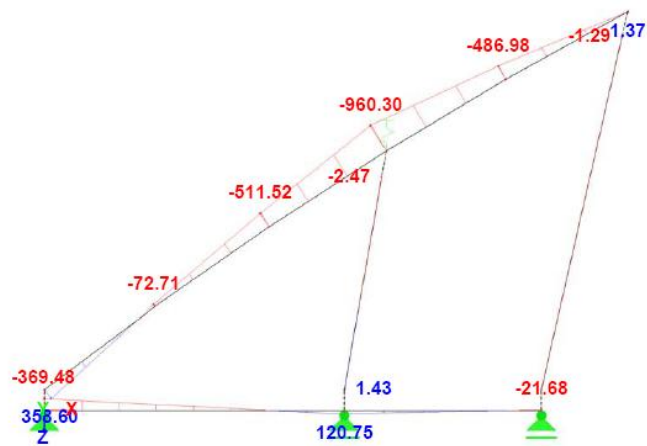


Abbildung 152 Teilsystem 2: Momentenverlauf

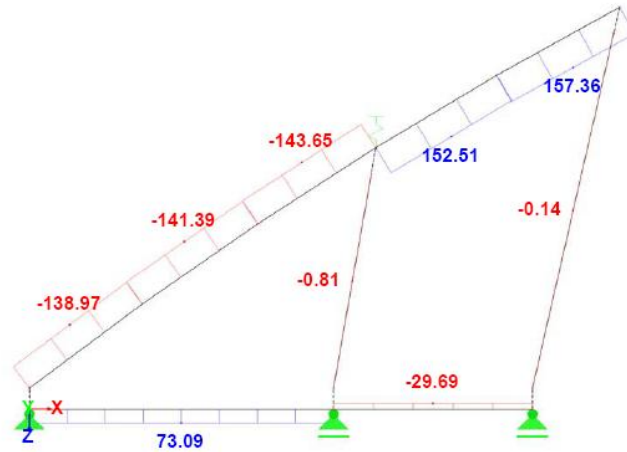


Abbildung 153 Teilsystem 2: Querkraftverlauf

Teilsystem 1 ist statisch bestimmt. Durch die eingeprägte Verkürzung im Hänger können daher keine Auflagerkräfte entstehen. Teilsystem 2 dagegen ist statisch unbestimmt und es entstehen Auflagerreaktionen, die als zusätzlicher Lasten auf das Gesamtsystem angesetzt werden müssen.

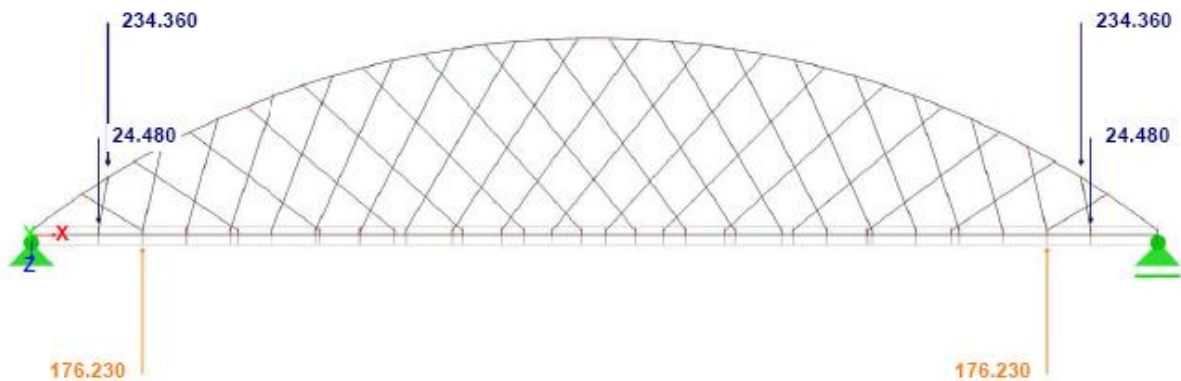


Abbildung 154 Zusätzliche Lasten auf das Gesamtsystem

18.3.2.4 Ergebnisauswertung

Zur Beurteilung der beiden Vorspannungsvarianten werden zuerst die Hängernormalkräfte im FLS betrachtet.

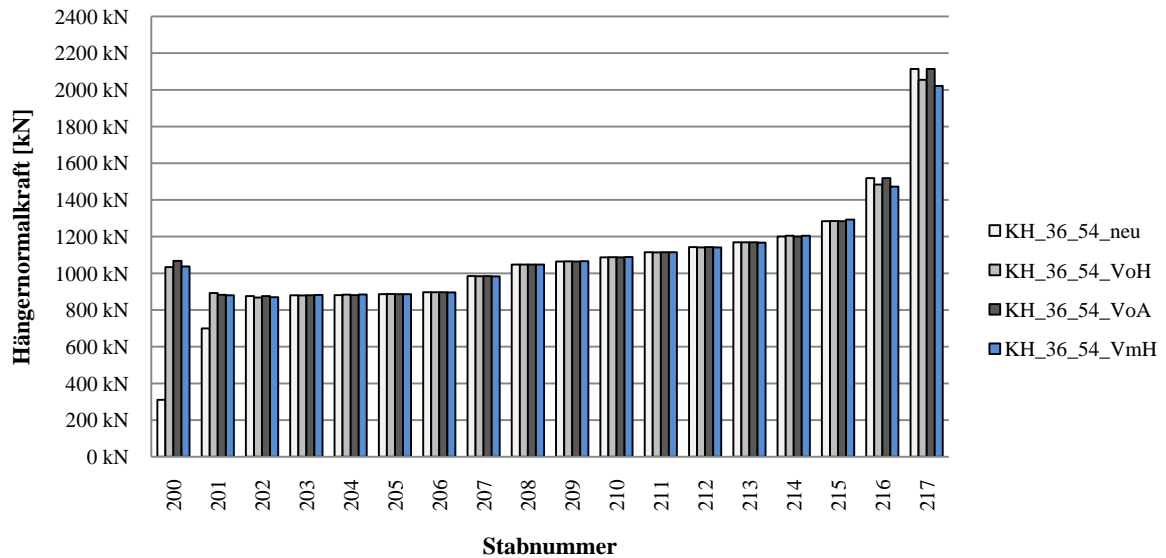


Diagramm 107 Vergleich der maximalen Hängernormalkräfte im FLS ohne Vorspannung und mit den beiden Vorspannungsvarianten

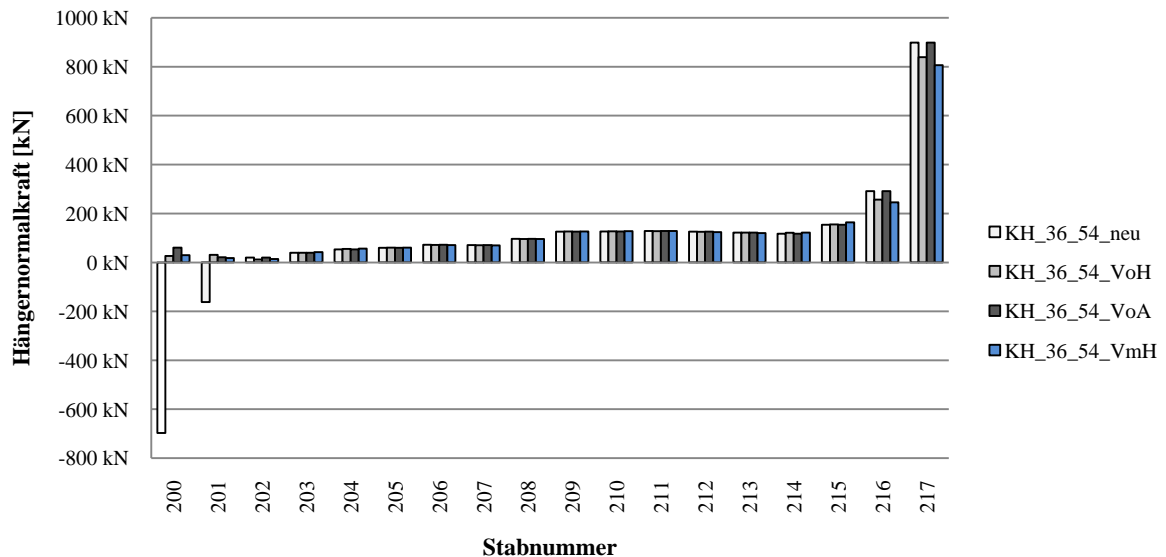


Diagramm 108 Vergleich der minimalen Hängernormalkräfte im FLS ohne Vorspannung und mit den beiden Vorspannungsvarianten

Diagramm 108 zeigt, dass alle Vorspannungsvarianten zum Ziel führen. In jedem Fall gelingt es die Hänger so vorzuspannen, dass Hängerausfälle vermieden werden. Die Vorspannung hat

keine Auswirkung auf das Verhalten der Hänger im Regelbereich. Die Vorspannung der Hänger hat keine Auswirkung auf die Normalkraftschwingbreiten. Hat es sich bei der Beanspruchung zuvor um eine Wechselbeanspruchung gehandelt, so handelt es sich nach dem Vorspannen um eine Zugschwellenbeanspruchung.

Da durch die Vorspannung, Schnittgrößen bzw. Spannungen in den Bogen und den Versteifungsträger eingepreßt werden, ist es wichtig die resultierenden Schnittgrößenverläufe zu betrachten. Abbildung 155, Abbildung 156, Abbildung 157 und Abbildung 158 zeigen die Momentenverläufe in Bogen und Versteifungsträger. Dabei zeigen sich drastische Unterschiede im Kämpferbereich. Ohne zusätzliche Maßnahmen beträgt das maximale Biegemoment im FLS im Bogen $-1288,06$ kNm. Durch das Zusammenspannen des Bogens erhöht sich das Biegemoment auf ein vielfaches dieses Wertes, wobei die Variante mit Hilfsstütze einen geringfügig besseren Schnittgrößenverlauf liefert. Die Erhöhung des Momentes bleibt auf den Randbereich beschränkt und klingt noch vor Beginn des Regelbereichs ab.

Der Momentenverlauf im Versteifungsträger wird ebenfalls stark durch die Vorspannung beeinflusst. Werden keine Maßnahmen im Kämpferbereich gesetzt, so beträgt das Biegemoment $-5252,45$ kNm. Die Vorspannung bewirkt, dass das Moment im Kämpferbereich nicht mehr durchschlägt und sein Betrag deutlich reduziert wird, was eine gleichmäßigere Ausnutzung des Versteifungsträgers zur Folge hat.

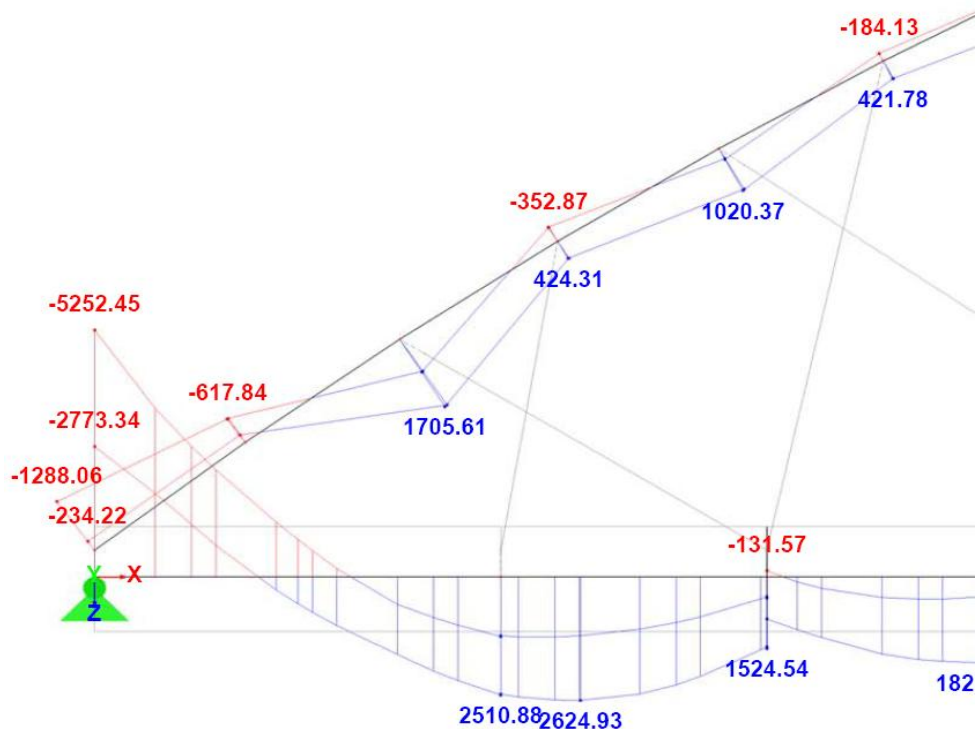


Abbildung 155 Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger ohne Vorspannung der Hänger

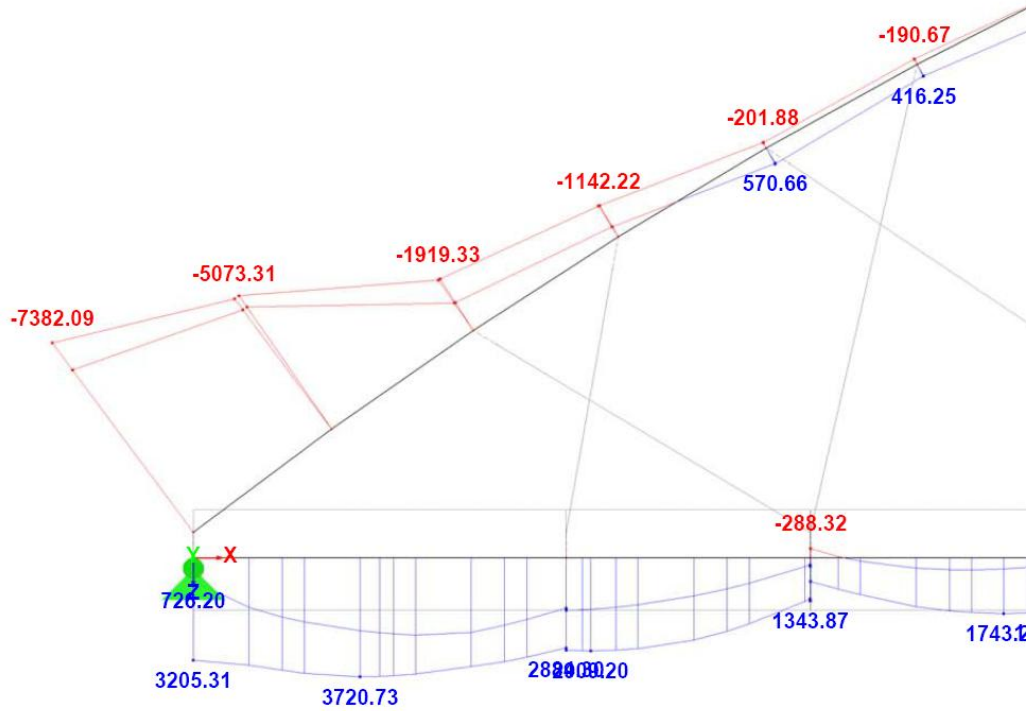


Abbildung 156 Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger ohne Vorspannung der Hänger und mit Sicherung des VT gegen Abheben

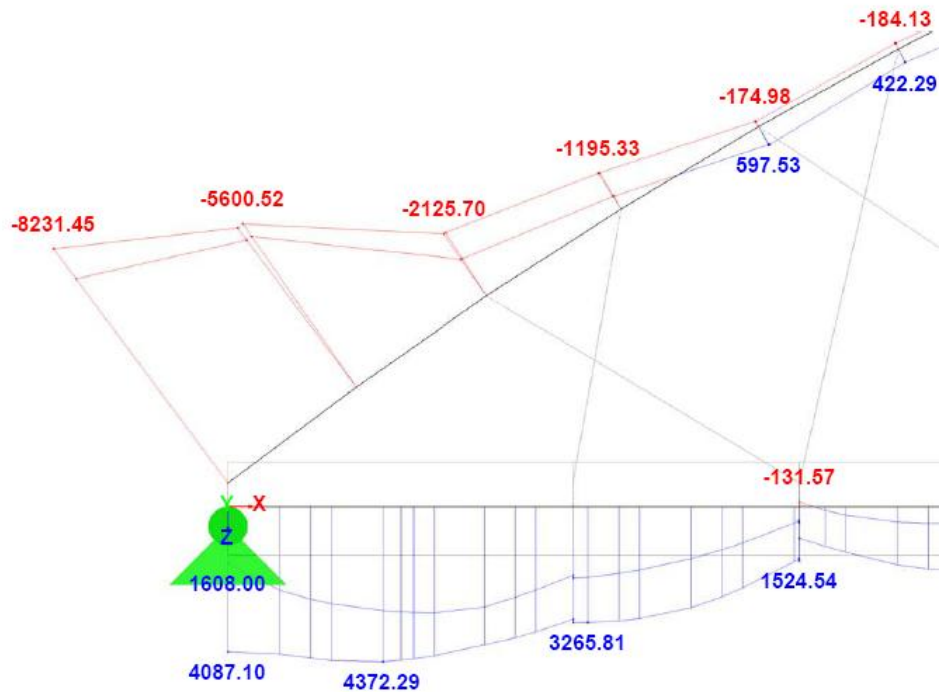


Abbildung 157 Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben

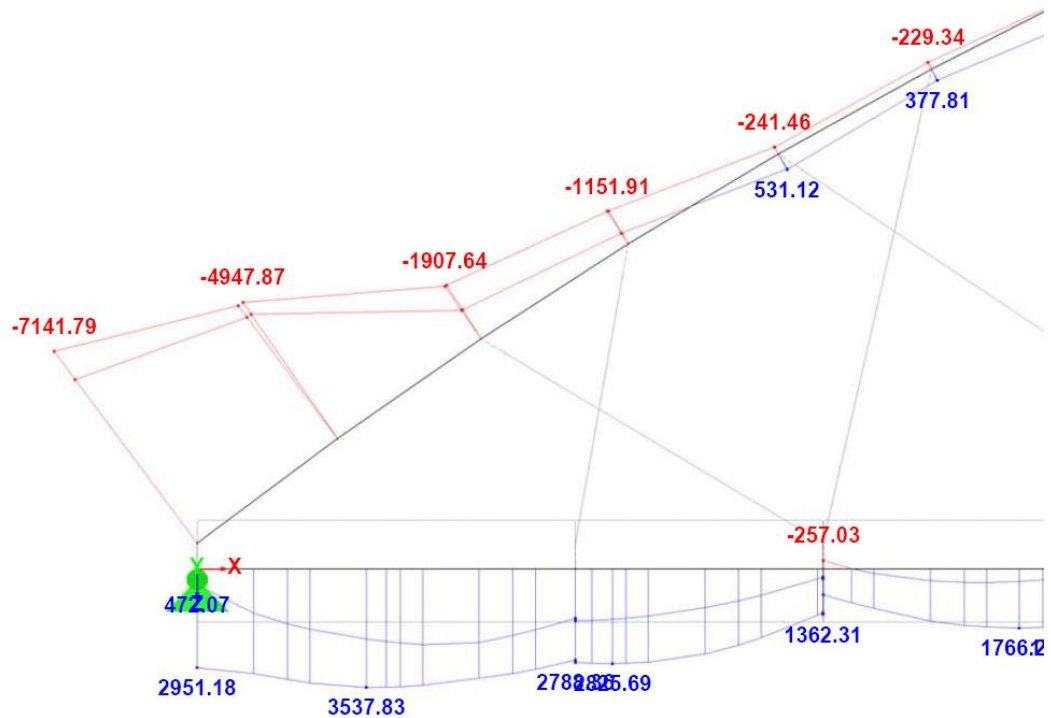


Abbildung 158 Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung mit Hilfsstütze

18.3.3 Variante 3: Hängeranordnung nach PCD-ZT

Für das gewählte Netz der Hängeranordnung nach PCD-ZT fallen die ersten beiden Hänger 200 bzw. 201 (bzw. 316 und 317) aus. Die resultierenden Druckkräfte betragen 433,47 kN bzw. 16,60 kN.

18.3.3.1 Vorspannung ohne Hilfsstütze und mit Sicherung des VT gegen Abheben

Um die gewünschte Vorspannung zu erzielen, werden die notwendigen Stabverkürzungen iterativ an den beiden Teilsystemen ermittelt. Der erste Hänger wird mit einer Verkürzung von 29,0 mm und der zweite Hänger mit einer Verkürzung von 1,5 mm eingebaut. Im Folgenden werden die Schnittgrößenverläufe der beiden Teilsysteme dargestellt.

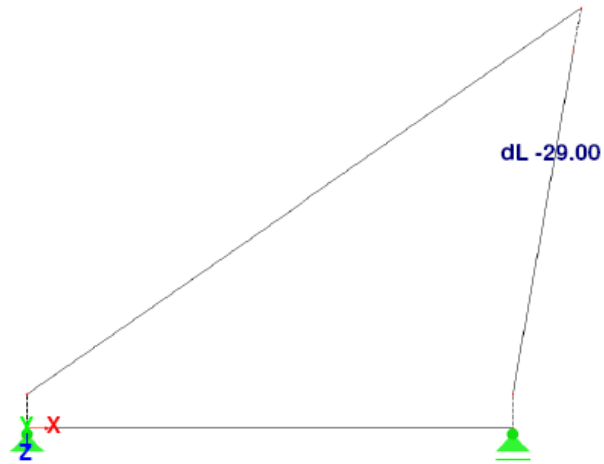


Abbildung 159 Teilsystem 1 mit Belastung

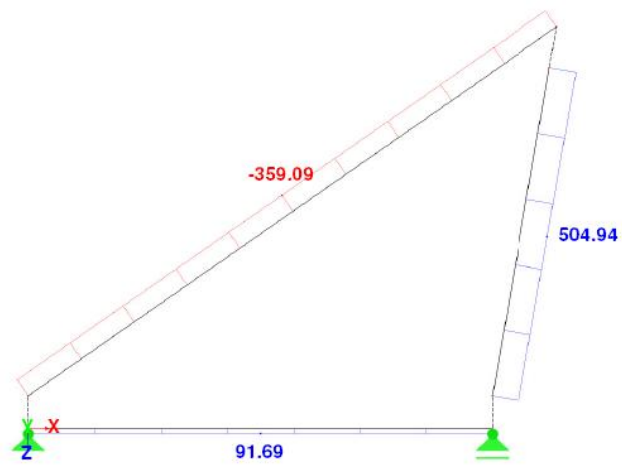


Abbildung 160 Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

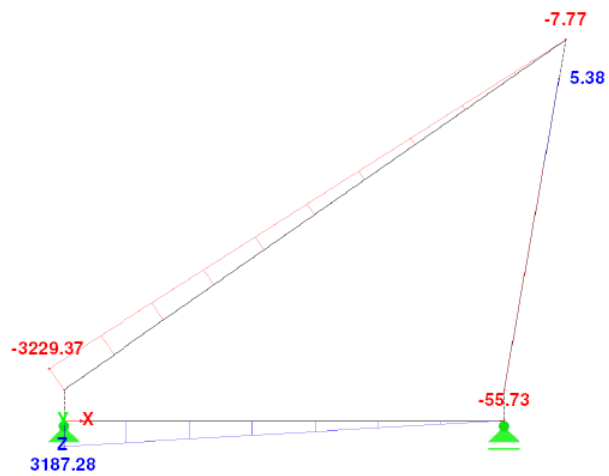


Abbildung 161 Teilsystem 1: Momentenverlauf

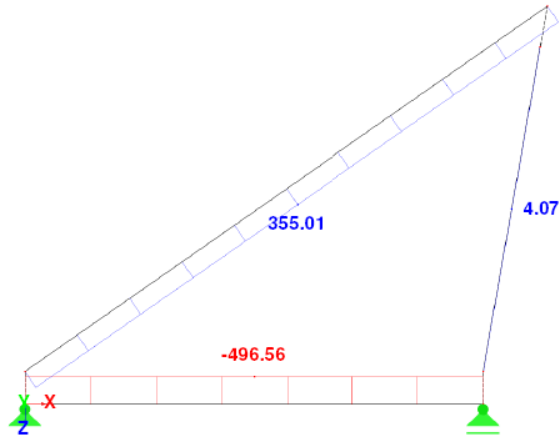


Abbildung 162 Teilsystem 1: Querkraftverlauf

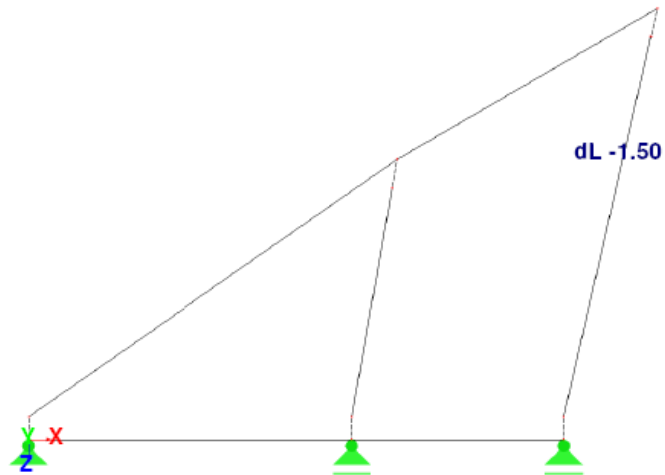


Abbildung 163 Teilsystem 2 mit Belastung

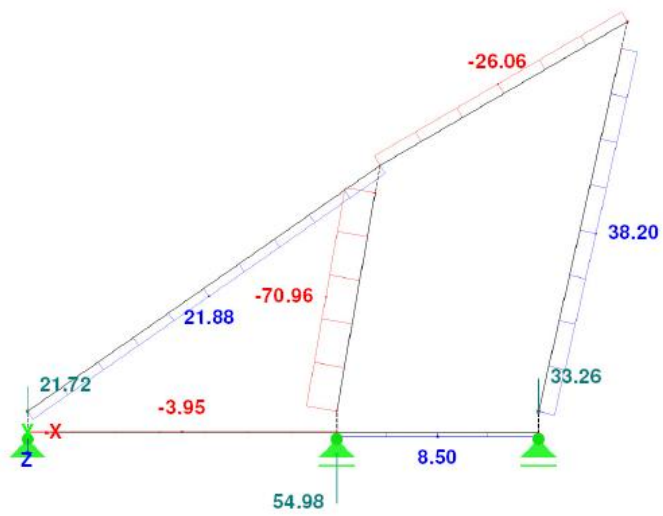


Abbildung 164 Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

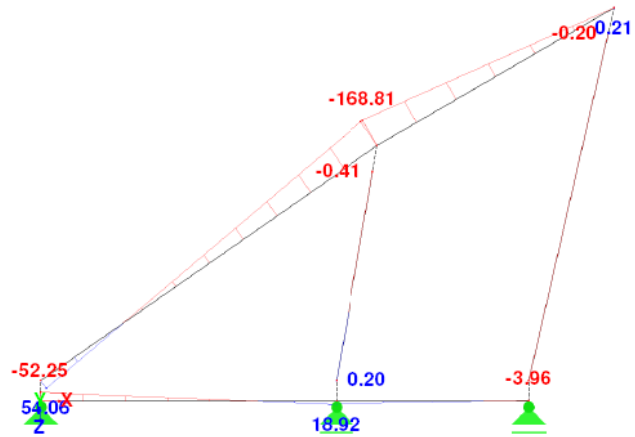


Abbildung 165 Teilsystem 2: Momentenverlauf

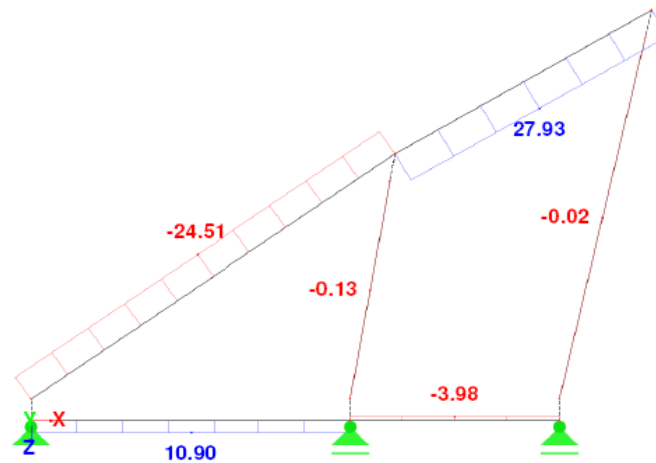


Abbildung 166 Teilsystem 2: Querkraftverlauf

Teilsystem 1 ist statisch bestimmt. Durch die eingeprägte Verkürzung im Hänger können daher keine Auflagerkräfte entstehen. Teilsystem 2 dagegen ist statisch unbestimmt und es entstehen Auflagerreaktionen, die als zusätzlicher Lasten auf das Gesamtsystem angesetzt werden müssen.

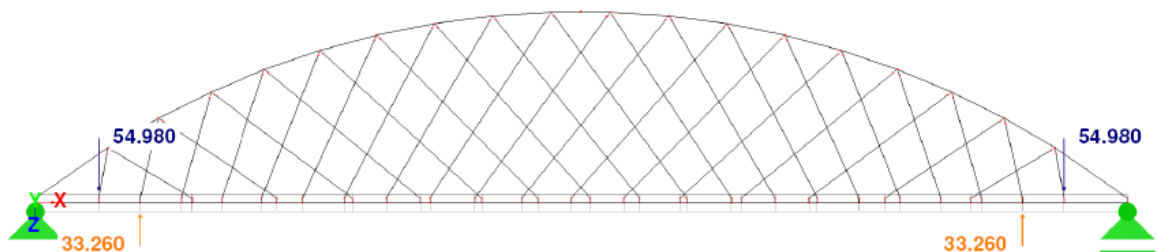


Abbildung 167 Zusätzliche Lasten auf das Gesamtsystem

18.3.3.2 Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben

Um die gewünschte Vorspannung zu erzielen, werden die notwendigen Stabverkürzungen iterativ an den beiden Teilsystemen ermittelt. Der erste Hänger wird mit einer Verkürzung von 29,0 mm und der zweite Hänger mit einer Verkürzung von 1,5 mm eingebaut. Im Folgenden werden die Schnittgrößenverläufe der beiden Teilsysteme dargestellt.

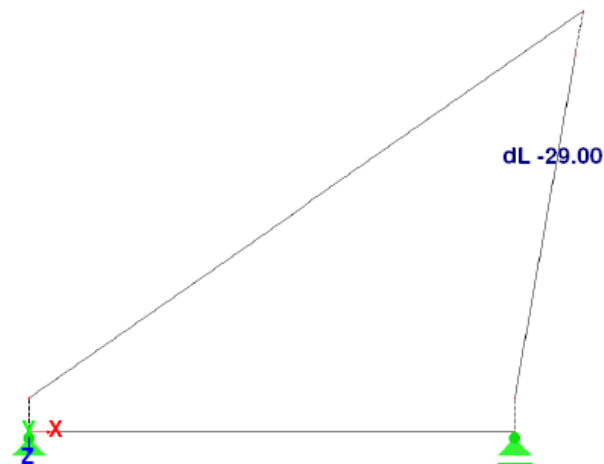


Abbildung 168 Teilsystem 1 mit Belastung

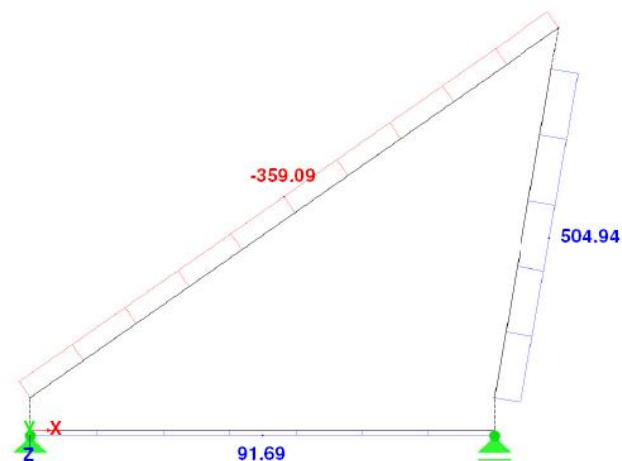


Abbildung 169 Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

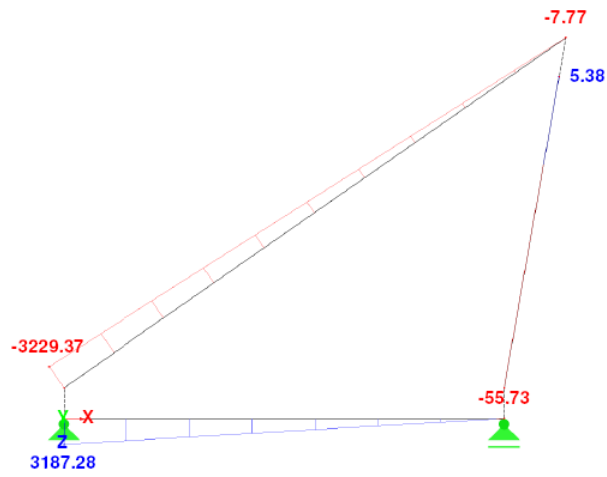


Abbildung 170 Teilsystem 1: Momentenverlauf

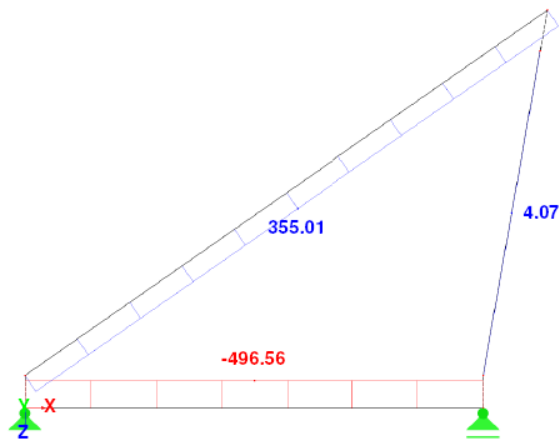


Abbildung 171 Teilsystem 1: Querkraftverlauf

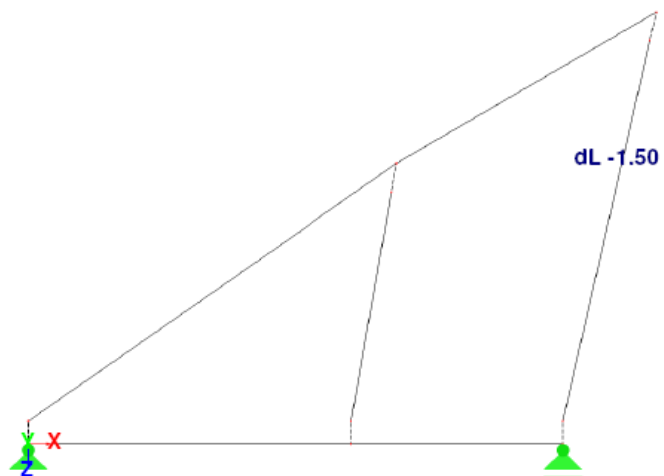


Abbildung 172 Teilsystem 2 mit Belastung

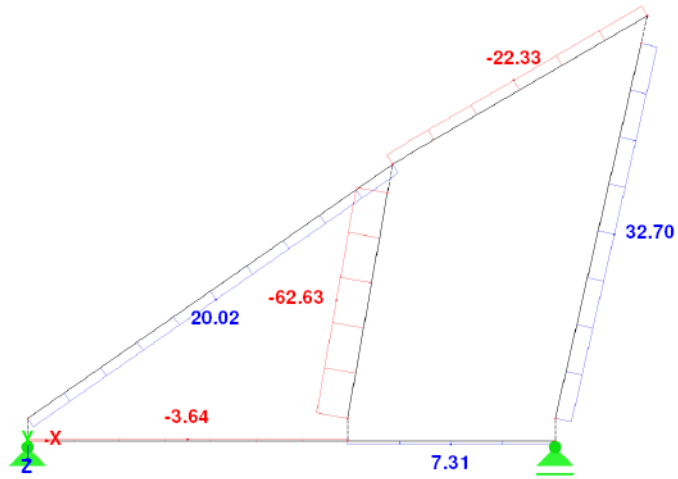


Abbildung 173 Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

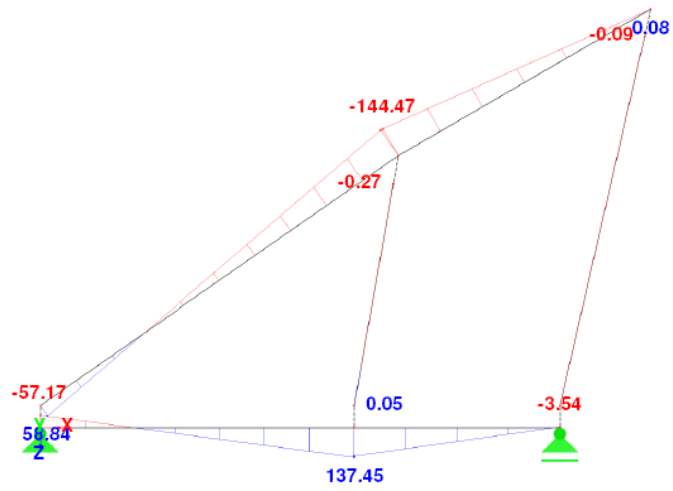


Abbildung 174 Teilsystem 2: Momentenverlauf

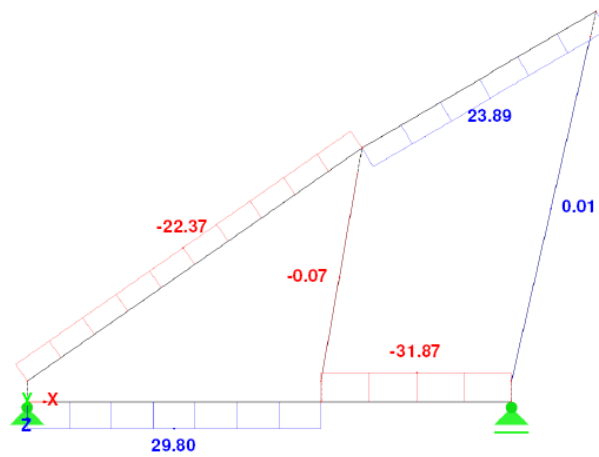


Abbildung 175 Teilsystem 2: Querkraftverlauf

Für diese Variante sind Teilsystem 1 und Teilsystem 2 statisch bestimmt. Durch die eingepägte Verkürzung im Hänger können daher keine Auflagerkräfte entstehen.

18.3.3.3 Vorspannung mit Hilfsstütze

Um die gewünschte Vorspannung zu erzielen, werden die notwendigen Stabverkürzungen iterativ an den beiden Teilsystemen ermittelt. Der erste Hänger wird mit einer Verkürzung von 29,0 mm und der zweite Hänger mit einer Verkürzung von 1,5 mm eingebaut. Unter der Annahme, dass ein quadratisches Hohlprofil mit den Abmessungen 400/400/16 mm als Hilfsstütze zum Einsatz kommt, berechnet sich die Ersatzfedersteifigkeit zu 1018340,0 kN/m. Im Folgenden werden die Schnittgrößenverläufe der beiden Teilsysteme dargestellt.

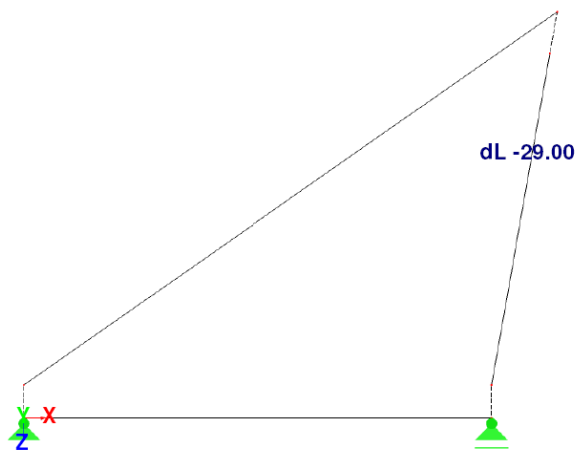


Abbildung 176 Teilsystem 1 mit Belastung

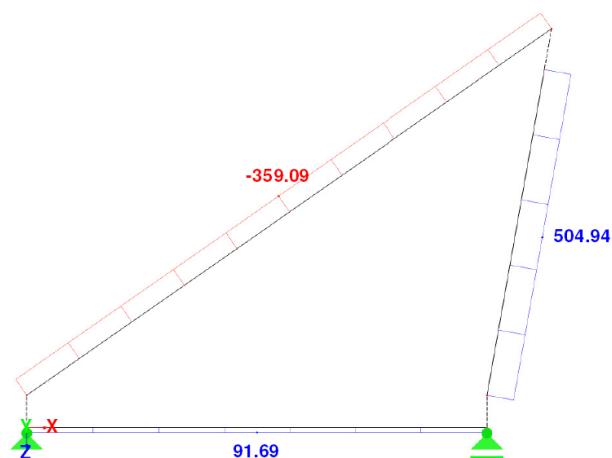


Abbildung 177 Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

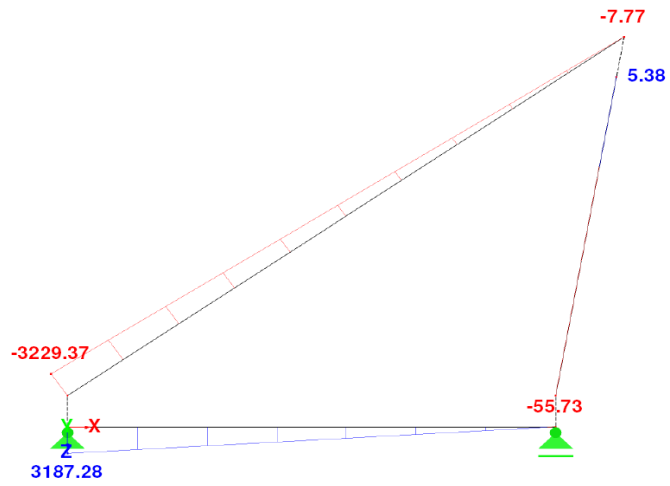


Abbildung 178 Teilsystem 1: Momentenverlauf

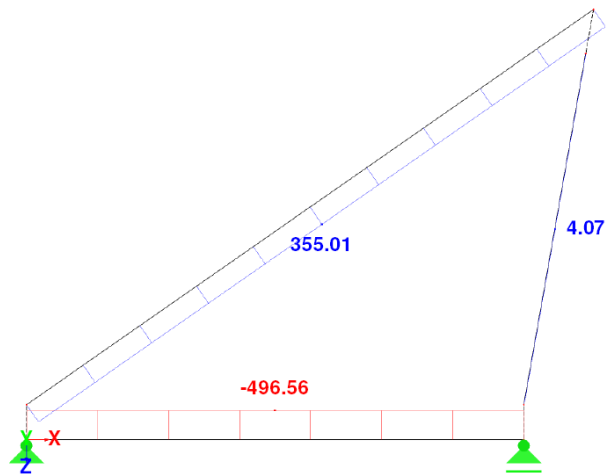


Abbildung 179 Teilsystem 1: Querkraftverlauf

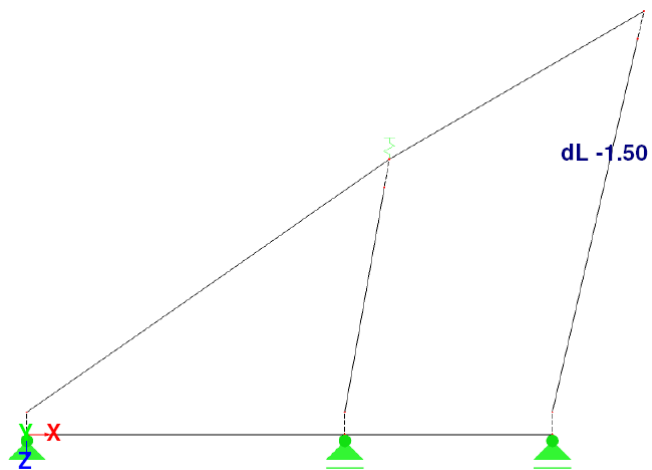


Abbildung 180 Teilsystem 2 mit Belastung

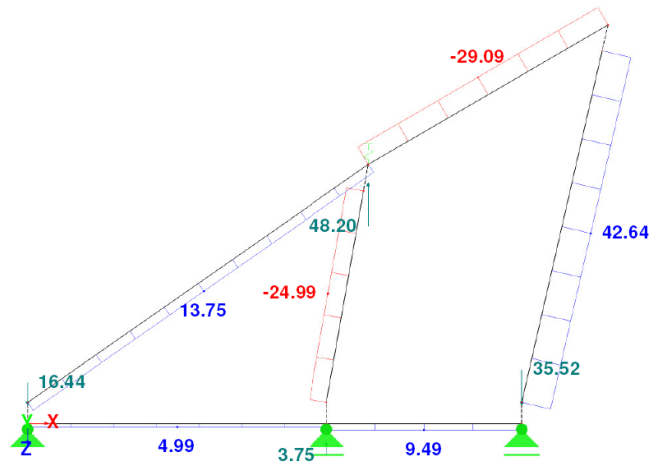


Abbildung 181 Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen

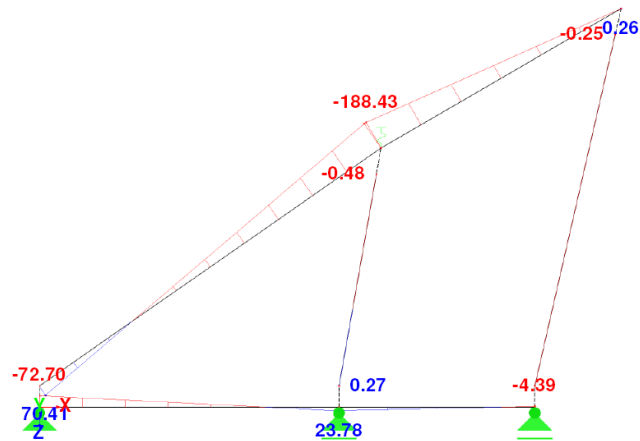


Abbildung 182 Teilsystem 2: Momentenverlauf

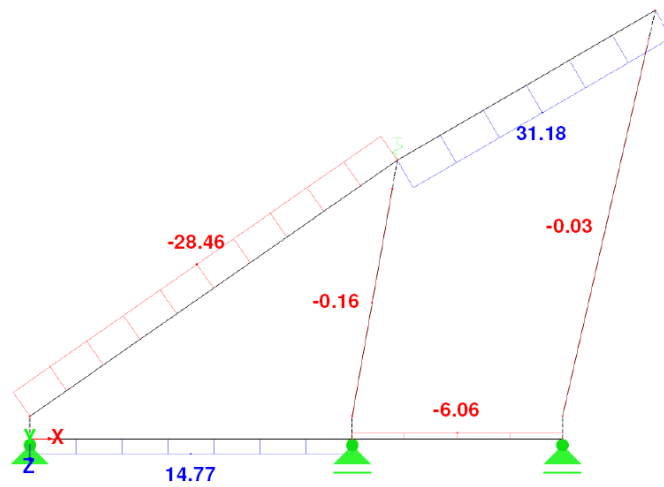


Abbildung 183 Teilsystem 2: Querkraftverlauf

Teilsystem 1 ist statisch bestimmt. Durch die eingeprägte Verkürzung im Hänger können daher keine Auflagerkräfte entstehen. Teilsystem 2 dagegen ist statisch unbestimmt und es entstehen Auflagerreaktionen, die als zusätzlicher Lasten auf das Gesamtsystem angesetzt werden müssen.

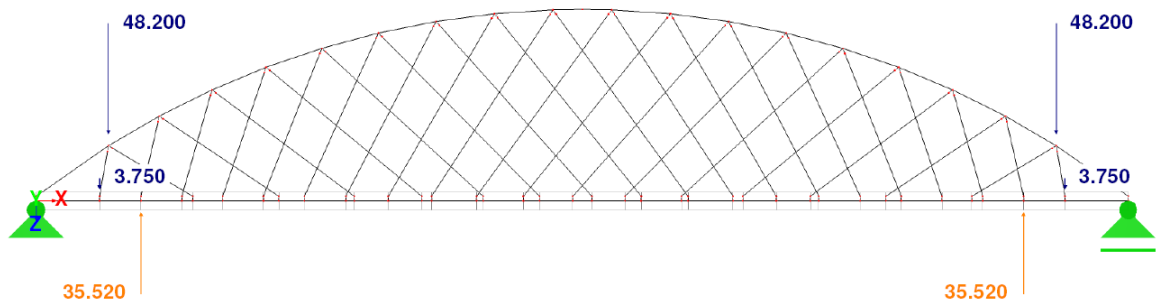


Abbildung 184 Zusätzliche Lasten auf das Gesamtsystem

18.3.3.4 Ergebnisauswertung

Zur Beurteilung der beiden Vorspannungsvarianten werden zuerst die Hängernormalkräfte im FLS betrachtet.

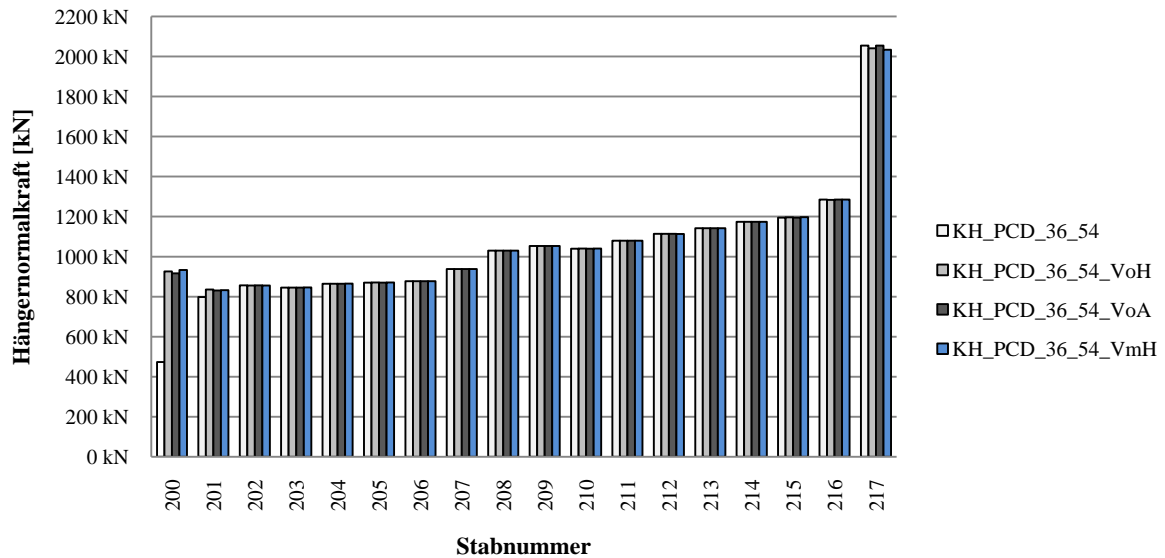


Diagramm 109 Vergleich der maximalen Hängernormalkräfte im FLS ohne Vorspannung und mit den beiden Vorspannungsvarianten

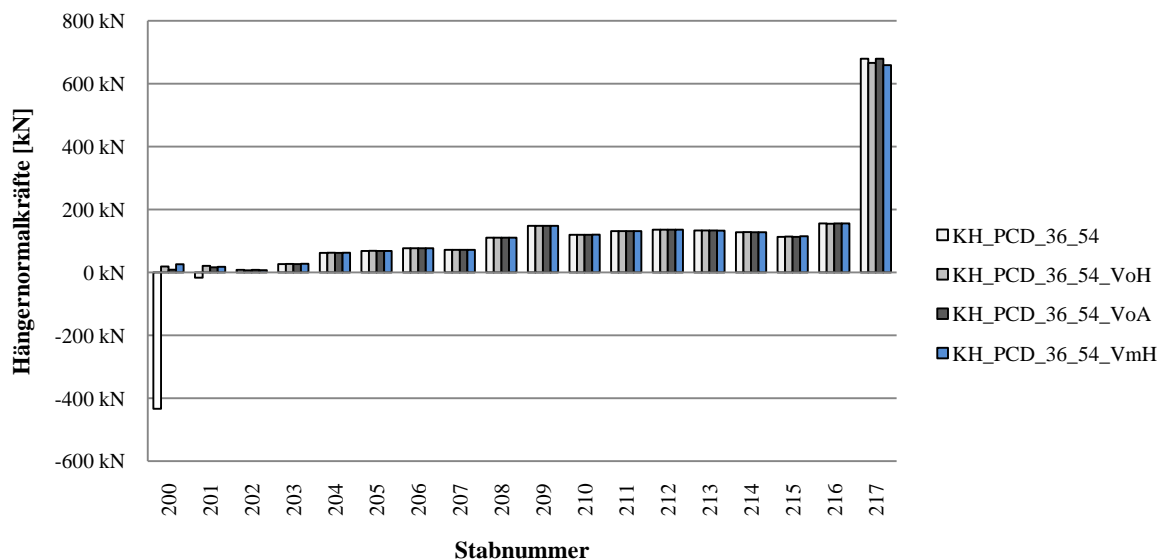


Diagramm 110 Vergleich der minimalen Hängernormalkräfte im FLS ohne Vorspannung und mit den beiden Vorspannungsvarianten

Diagramm 110 zeigt, dass alle Vorspannungsvarianten zum Ziel führen. In jedem Fall gelingt es, die Hänger so vorzuspannen, dass Hängerausfälle vermieden werden. Die Vorspannung

hat keine Auswirkung auf das Verhalten der Hänger im Regelbereich. Auffallend ist, dass eine Vorspannung der Hänger keine Auswirkung auf die Normalkraftschwingbreiten nach sich zieht. Hat es sich bei der Beanspruchung zuvor um eine reine Wechselbeanspruchung gehandelt, so handelt es sich nach dem Vorspannen um eine Zugschwellenbeanspruchung.

Da durch die Vorspannung, Schnittgrößen bzw. Spannungen in den Bogen und den Versteifungsträger eingepreßt werden, ist es wichtig, die resultierenden Schnittgrößenverläufe zu betrachten. Abbildung 185, Abbildung 186, Abbildung 187 und Abbildung 188 zeigen die Momentenverläufe in Bogen und Versteifungsträger. Dabei zeigen sich drastische Unterschiede im Kämpferbereich. Ohne zusätzliche Maßnahmen beträgt das maximale Biegemoment im FLS im Bogen $-980,79$ kNm. Durch das Zusammenspannen des Bogens erhöht sich das Biegemoment auf ein Vielfaches dieses Wertes, wobei die Variante mit Hilfsstütze einen geringfügig besseren Schnittgrößenverlauf liefert. Die Erhöhung des Momentes bleibt auf den Randbereich beschränkt und klingt noch vor Beginn des Regelbereichs ab.

Der Momentenverlauf im Versteifungsträger wird ebenfalls stark durch die Vorspannung beeinflusst. Werden keine Maßnahmen im Kämpferbereich gesetzt, so beträgt das Biegemoment $-5767,40$ kNm. Die Vorspannung bewirkt, dass das Moment im Kämpferbereich deutlich reduziert wird, was eine gleichmäßigere Ausnutzung des Versteifungsträgers zur Folge hat.

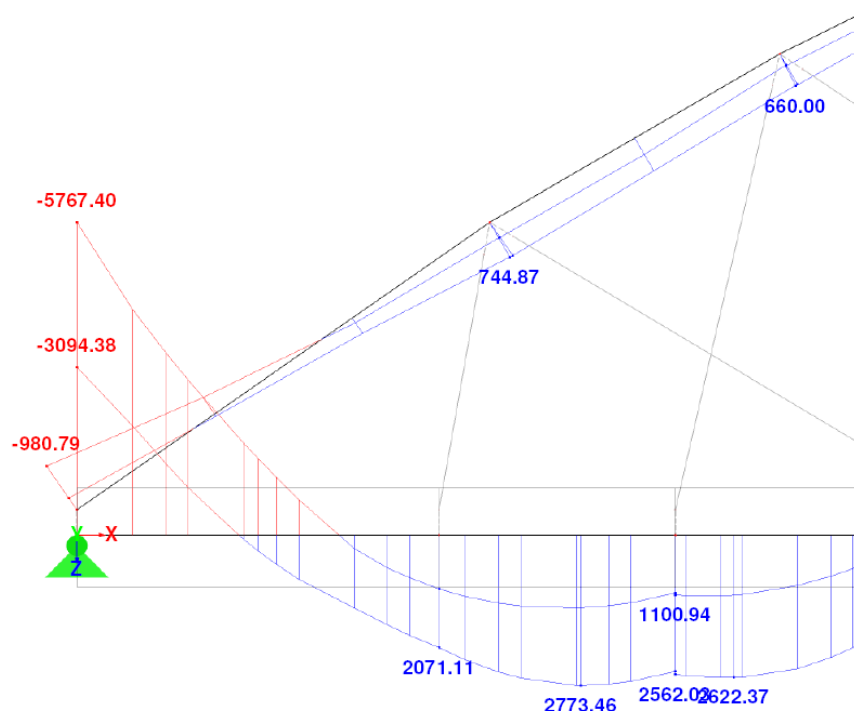


Abbildung 185 Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger ohne Vorspannung der Hänger

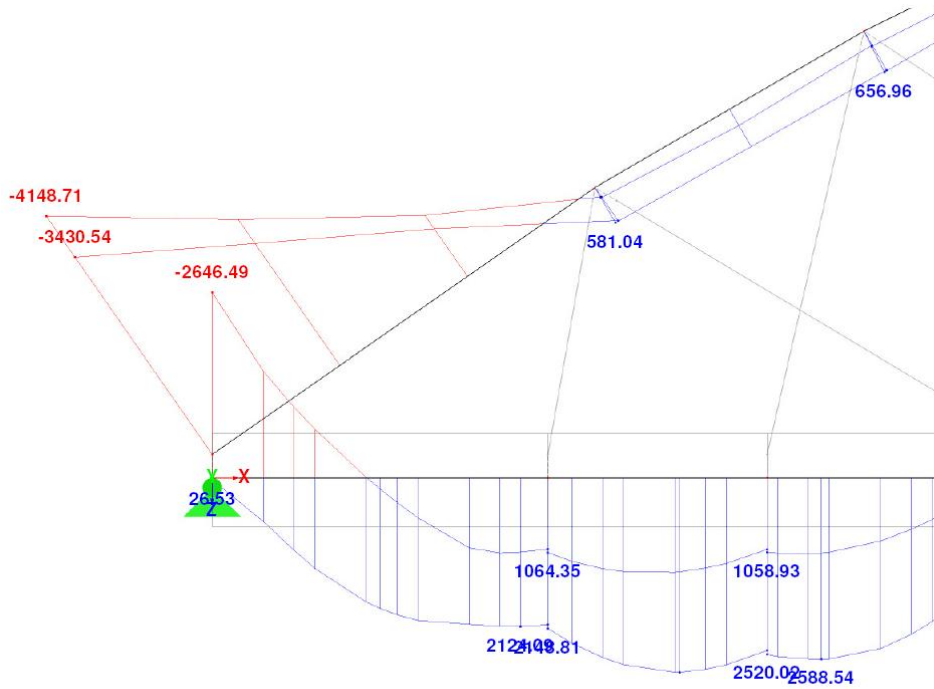


Abbildung 186 Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung ohne Hilfsstütze und mit Sicherung des VT gegen Abheben

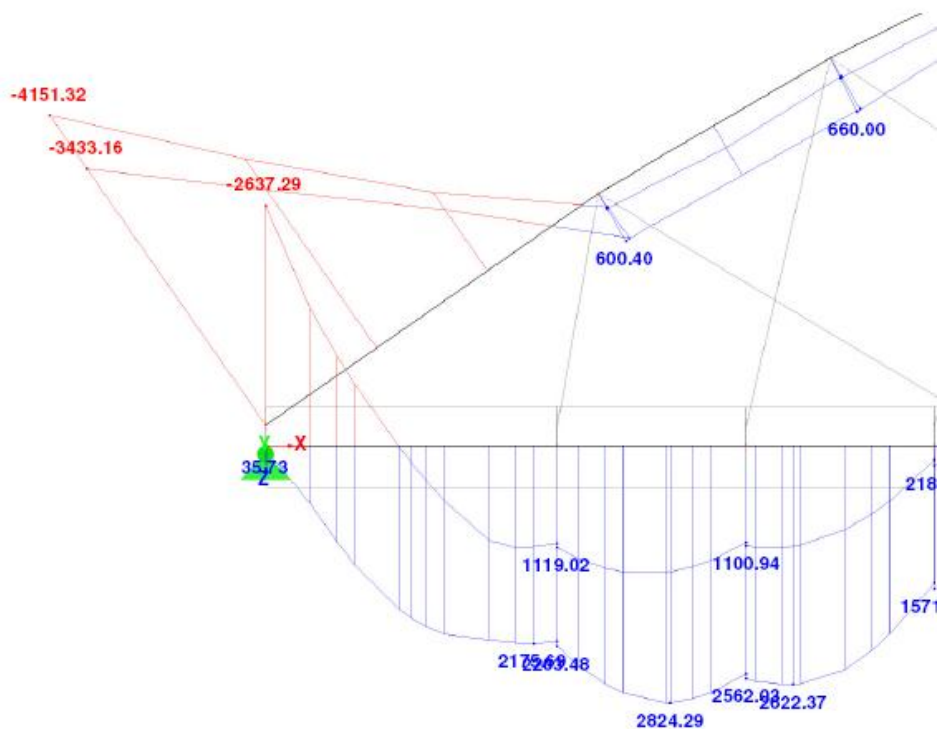


Abbildung 187 Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben

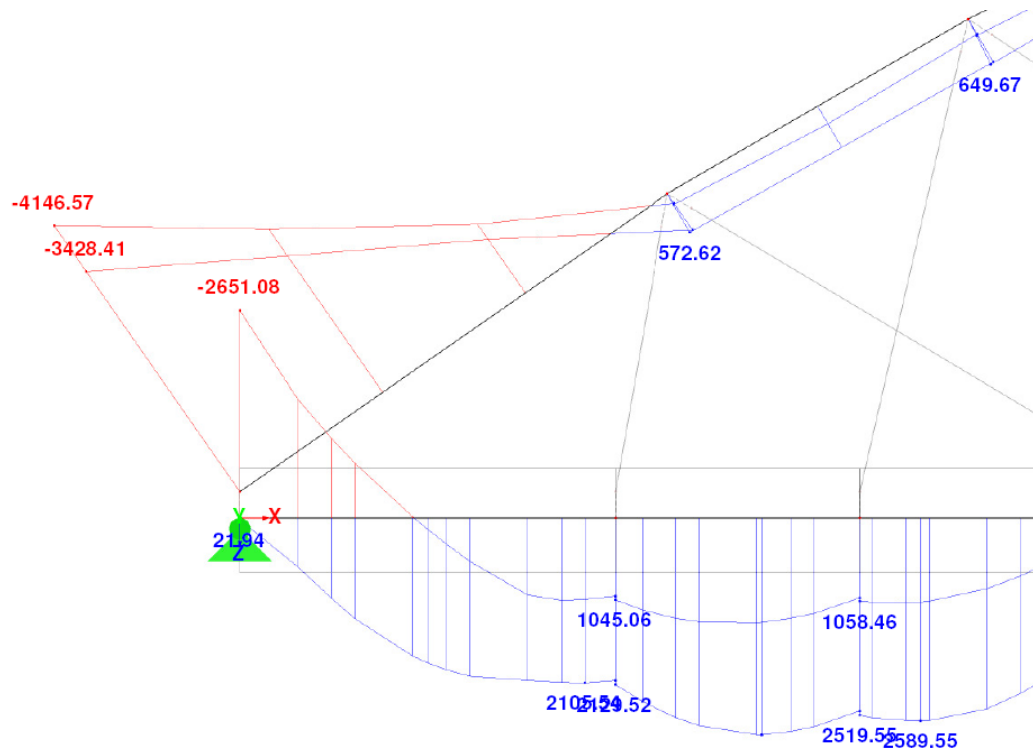


Abbildung 188 Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung mit Hilfsstütze

18.3.4 Weitere Ideen für Vorspannkonzeppte

In diesem Abschnitt sollen zwei weitere Ideen für die Vorspannung der ersten Randhänger vorgestellt werden. Die Berechnungen in 18.3.4.1 und 18.3.4.2 erfolgen exemplarisch an dem Netz mit konstanter Hängerneigungsänderung bzw. dem Netz mit Hängeranordnung nach PCD.

18.3.4.1 Gemeinsames Vorspannen der ersten beiden Hänger

Bei dieser Variante sollen die ersten beiden Hänger gemeinsam vorgespannt werden. Zuerst werden der Bogen und der Versteifungsträger über den entsprechenden Bereich fertiggestellt. Anschließend wird die „Zange“ wie in Abbildung 189 zusammengespannt.

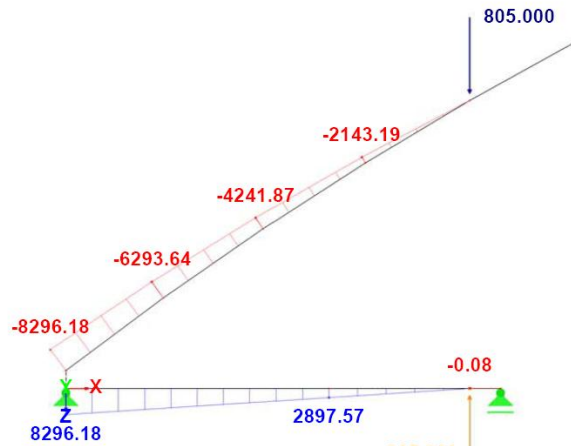


Abbildung 189 Momentenverlauf beim Zusammenspannen von Bogen und Versteifungsträger

Nun wird der erste Hänger verkürzt eingebaut und die Vorspannung etwas nachgelassen, sodass sich ein statisches System wie in Abbildung 190.

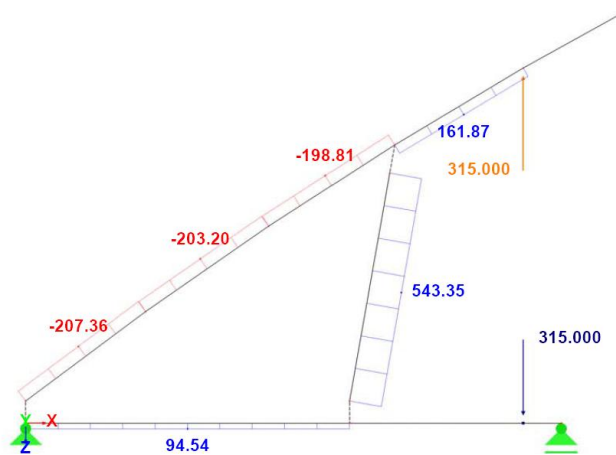


Abbildung 190 Normalkraftverlauf nach Nachlassen der Vorspannung um 315 kN

Im nächsten Schritt wird der zweite Hänger eingebaut und im Anschluss die Vorspannung ganz gelöst.

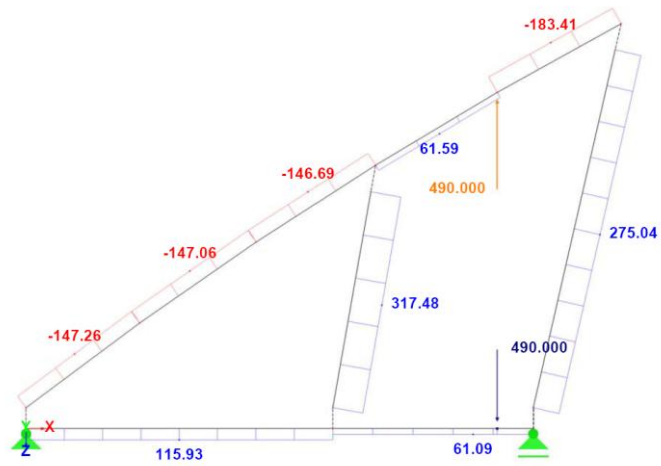


Abbildung 191 Normalkraftverlauf nach Einbau des zweiten Hängers und Lösen der Vorspannung

Überlagert man die beiden Teilsysteme, so erhält man die durch die Vorspannung zusätzlich eingprägten Schnittgrößen in den Bauteilen des Kämpferbereichs.

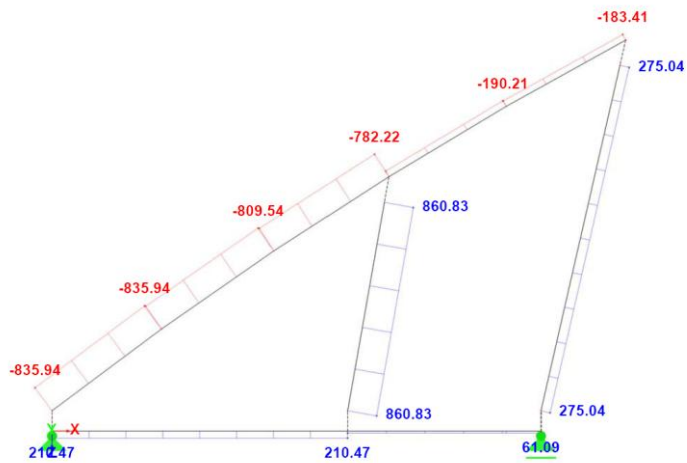


Abbildung 192 Eingprägte Normalkräfte

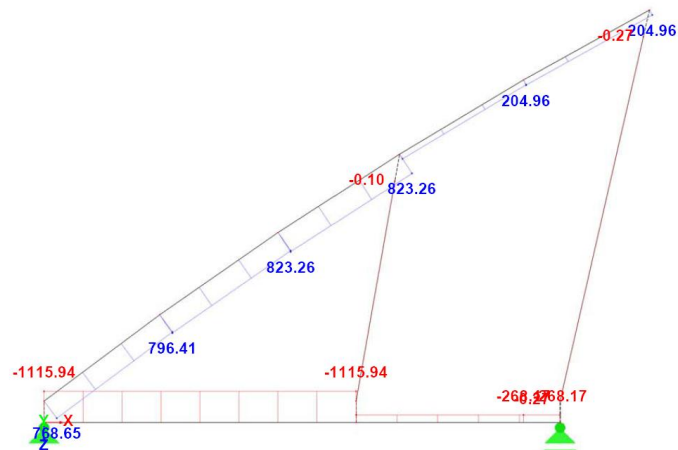


Abbildung 193 Eingepprägte Querkräfte

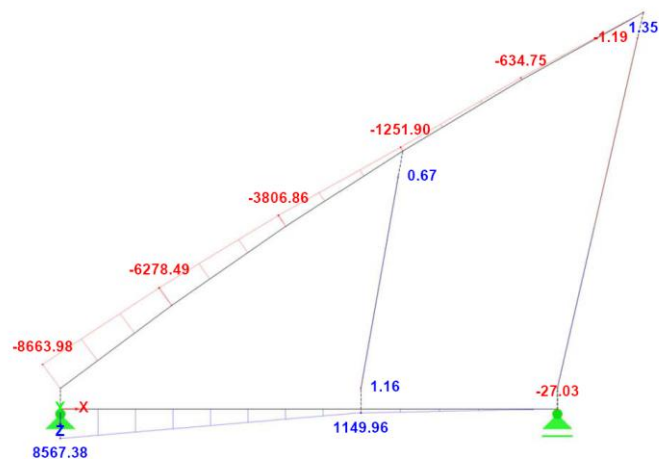


Abbildung 194 Eingepprägte Momente

Aus Abbildung 192 ist ersichtlich, dass sich die Hänger problemlos vorspannen lassen und die resultierenden Druckkräfte unter der relevanten Lastfallkombination kompensiert werden können. Als problematisch kann sich wie bei allen anderen Vorspannvarianten, das sehr hohe eingepprägte Moment im Bogen und Versteifungsträger auswirken. Diese müssen entsprechend dimensioniert werden.

18.3.4.2 Mitvorspannen der flachen Hänger im Kämpferbereich

Der Bogen und der Versteifungsträger werden bis zum ersten vorzuspannenden Hänger montiert. Der letzte flache Hänger 300 eines Sets wird spannungsfrei eingebaut. Anschließend wird das System zusammengespannt und der erste Hänger 200 verkürzt eingebaut. Es ergibt

sich ein statisches System wie in Abbildung 195 mit Schnittgrößenverläufen wie in Abbildung 196 und Abbildung 197.

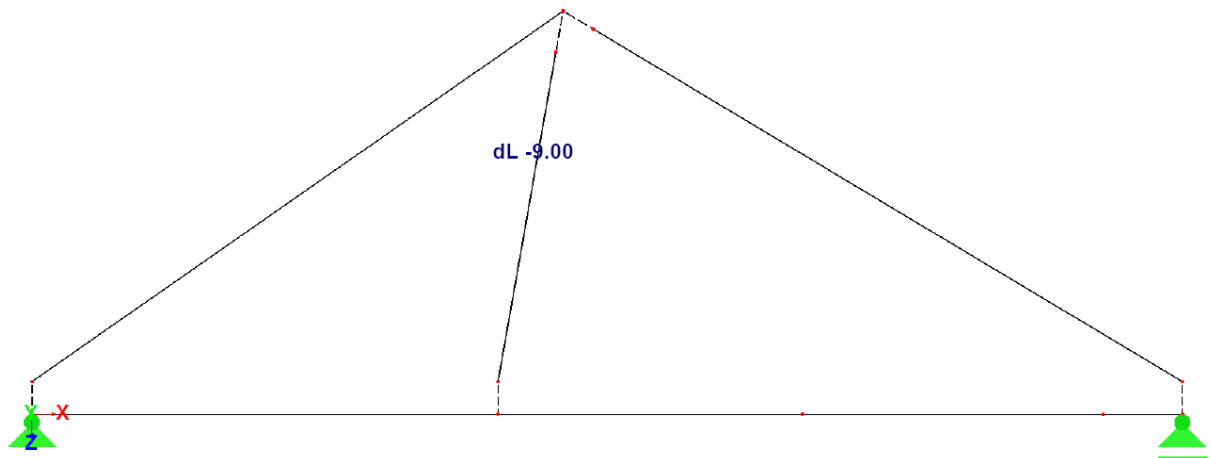


Abbildung 195 Statisches System wenn ein flacher Hänger mitvorgespannt wird

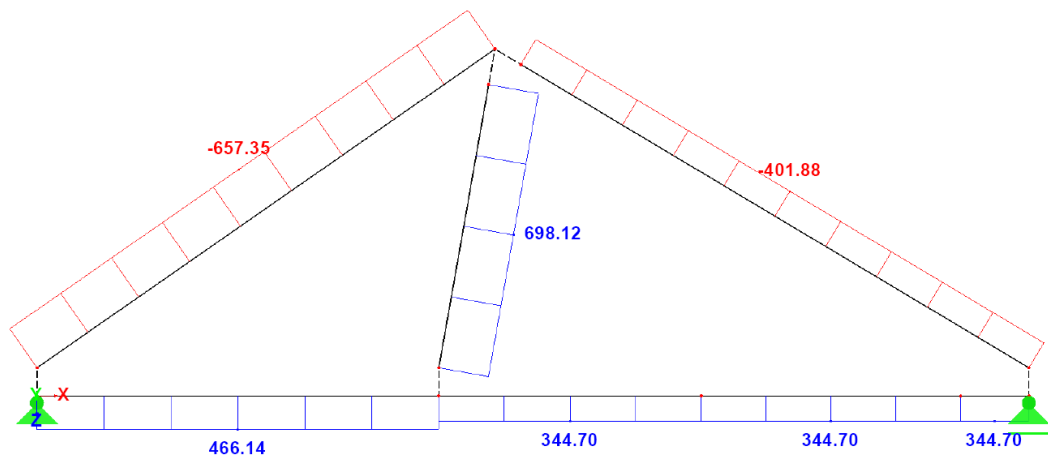


Abbildung 196 Normalkraftverlauf in den vorgespannten Randhängern

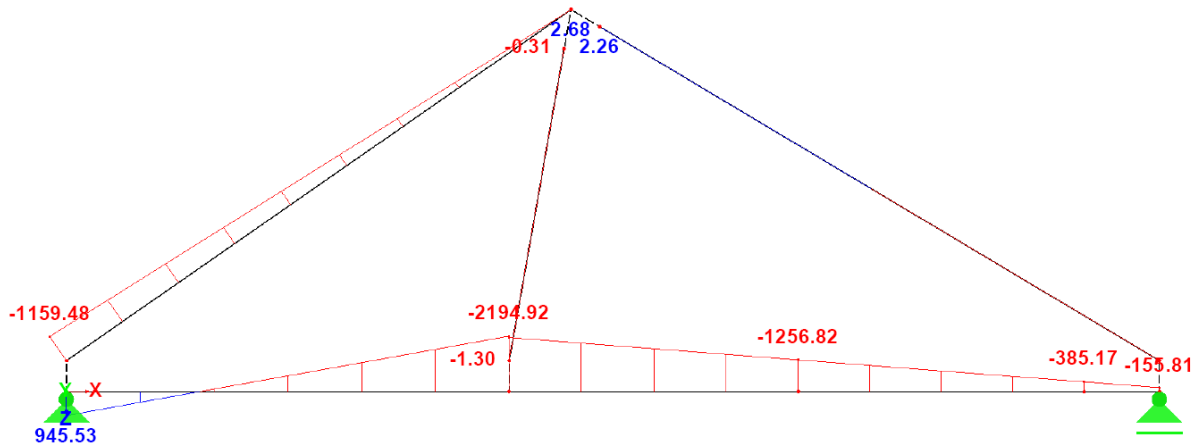


Abbildung 197 Momentenverlauf im Randbereich nach Vorspannung der Hänger

Durch den gewählten Ablauf der Montage gelingt es den ersten Hänger eines Netzes auf die gewünschte Kraft vorzuspannen. Der zuvor spannungsfrei eingebaute letzte Hänger eines Sets erhält Druckkräfte. Dies ist ein positiver Effekt, da dieser Hänger im Endsystem immer sehr hohe Zugkräfte aufzunehmen hat. Mit dieser Vorspannvariante gelingt es, im Beispiel ebendiese um ca. 400 kN zu reduzieren. Damit die Vorspannmethode angewendet werden kann, ist der flache Hänger bis zur Fertigstellung des Gesamtsystems bis zu dem Zeitpunkt an dem das Eigengewicht bzw. die ständigen Lasten zu wirken beginnen allenfalls gegen ein Ausknicken zu sichern. Es ist darauf zu achten, dass die eingeprägte Druckkraft im flachen Hänger nur so groß sein darf, dass nach wie vor der in 17 erläuterte Nachweis erfüllt ist. Berechnungen haben gezeigt, dass die Druckkraft im Hänger 300 umso höher ausfällt, je flacher und näher am Kämpfer dieser ist. Abbildung 198 zeigt den Normalkraftverlauf im Randbereich für die Netzgeometrie mit konstanter Hängerneigungsänderung, wenn der flache Hänger mitvorspannt wird.

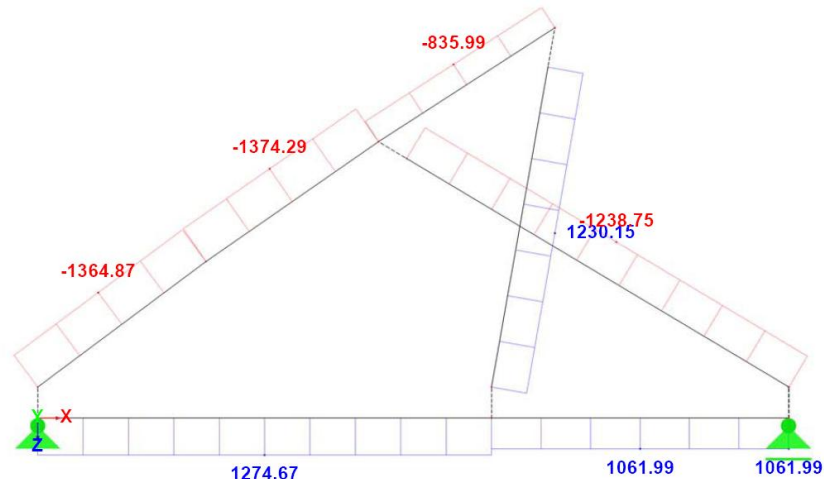


Abbildung 198 Normalkraftverlauf in den vorgespannten Randhängern

Es ist klar ersichtlich, dass durch die Vorspannung des ersten Hängers 200 eine sehr große Druckkraft in den flachen Hänger eingeprägt wird. Im Beispiel ist diese so groß, dass der Hänger bereits unter ständigen Lasten stets Druckkräfte aufweist. Es macht daher keinen Sinn, für dieses spezielle Netz, diese Vorspannvariante zu wählen. Zum selben Schluss kommt man, wenn man dieselbe Vorgehensweise bei der radialen Hängeranordnung betrachtet. Auch hier fällt die eingeprägte Druckkraft etwas zu hoch aus.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Vorspannvariante offenbart sich, wenn man den Momentenverlauf im Bogen betrachtet. Vergleicht man den Verlauf in Abbildung 197 mit dem in Abbildung 170 so zeigt sich, dass das resultierende Moment, obwohl die Kraft auf die vorgespannt wird wesentlich größer ist, im Bogen deutlich geringer ausfällt, wenn der flache letzte Hänger eines Sets mitvorspannt wird. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das System in Abbildung 195 wesentlich steifer ist und der flache Hänger wie eine Hilfsstütze wirkt, die sich an der Abtragung der Kräfte zufolge Vorspannung beteiligt.

Prinzipiell stellt die beschriebene Vorspannvariante eine gute Methode dar die Normalkräfte der Hänger im Kämpferbereich zu optimieren. Die Anwendbarkeit ist aufgrund der oben beschriebenen Problematik im Einzelfall zu überprüfen.

18.3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Vorspannung der Randhänger durch Einbau der Hänger mit verkürzten Stablängen erweist sich als sehr gute Maßnahme, um den Hängerausfällen im Kämpferbereich zu begegnen. Durch das angepasste konstruktive Vorgehen bei der Montage der Randbereiche kann es gelingen für die unterschiedlichen Netzgeometrien, Hängerausfälle vollständig zu vermeiden.

Auch auf den Versteifungsträger wirkt sich die Vorspannung positiv aus. Das Einspannmoment im Auflagerbereich wird reduziert, wodurch sich eine gleichmäßigere Auslastung des Versteifungsträgers einstellt.

Der Nachteil der Vorspannung der Randhänger ist deren Auswirkung auf die Verteilung des Biegemoments im Kämpferbereich des Bogens. Besonders durch das Vorspannen des jeweils ersten Hängers wird dem Bogen ein sehr großes Moment eingeprägt. Das hat zur Folge, dass das Einspannmoment des Bogens im Auflagerbereich ein Vielfaches des Momentes im Regelbereich ist. Der Bogen muss in diesem Bereich so steif ausgeführt werden, dass er das zusätzliche Moment zufolge Vorspannung aufnehmen kann. Bei allen drei Netzvarianten weist der Bogen bereits unter den charakteristischen Lasten eine hohe Auslastung auf. Wenn die Vorspannung der Randhänger angewendet wird, ist daher davon auszugehen, dass der Bogen im Kämpferbereich steifer auszuführen ist als im Regelbereich. Die Auswirkung der Erhöhung der Steifigkeit des Bogens im Randbereich wird im folgenden Kapitel untersucht.

18.4 Variation der Steifigkeiten im Kämpferbereich

In diesem Abschnitt soll untersucht werden, wie sich die Variation der Steifigkeiten des Bogens und Versteifungsträgers im Kämpferbereich auf die Randhänger auswirkt. Da sich bei den bisherigen Berechnungen alle drei Netzvarianten sehr ähnlich verhalten haben, werden für eine Voruntersuchung die Steifigkeiten der Gurtungen exemplarisch für die Netzgeometrie mit konstanter Hängerneigungsänderung variiert.

18.4.1 Erhöhung der Steifigkeit des Bogens

Es soll untersucht werden, ob sich die Erhöhung der Steifigkeit des Bogens im Störbereich positiv auf das Verhalten der Randhänger auswirkt. Zu diesem Zweck wird dem Bogen im Randbereich eine Steifigkeit von 10^8 cm^4 anstelle der bisherigen von $1,36 \cdot 10^6 \text{ cm}^4$ zugewiesen. Es werden drei Varianten untersucht. Für Variante 1 wird die Steifigkeit bis zum dritten Hänger eines Sets gesteigert. Bei Variante 2 lediglich bis zum zweiten Hänger und bei Variante 3 nur bis zum ersten Randhänger. Um die Auswirkungen einer Steifigkeitserhöhung in diesen Bereichen beurteilen zu können, werden die Einflusslinien der Hänger im Kämpferbereich analysiert. Verglichen wird das Ausgangssystem mit unveränderter Steifigkeit des Bogens mit den drei oben beschriebenen Varianten.

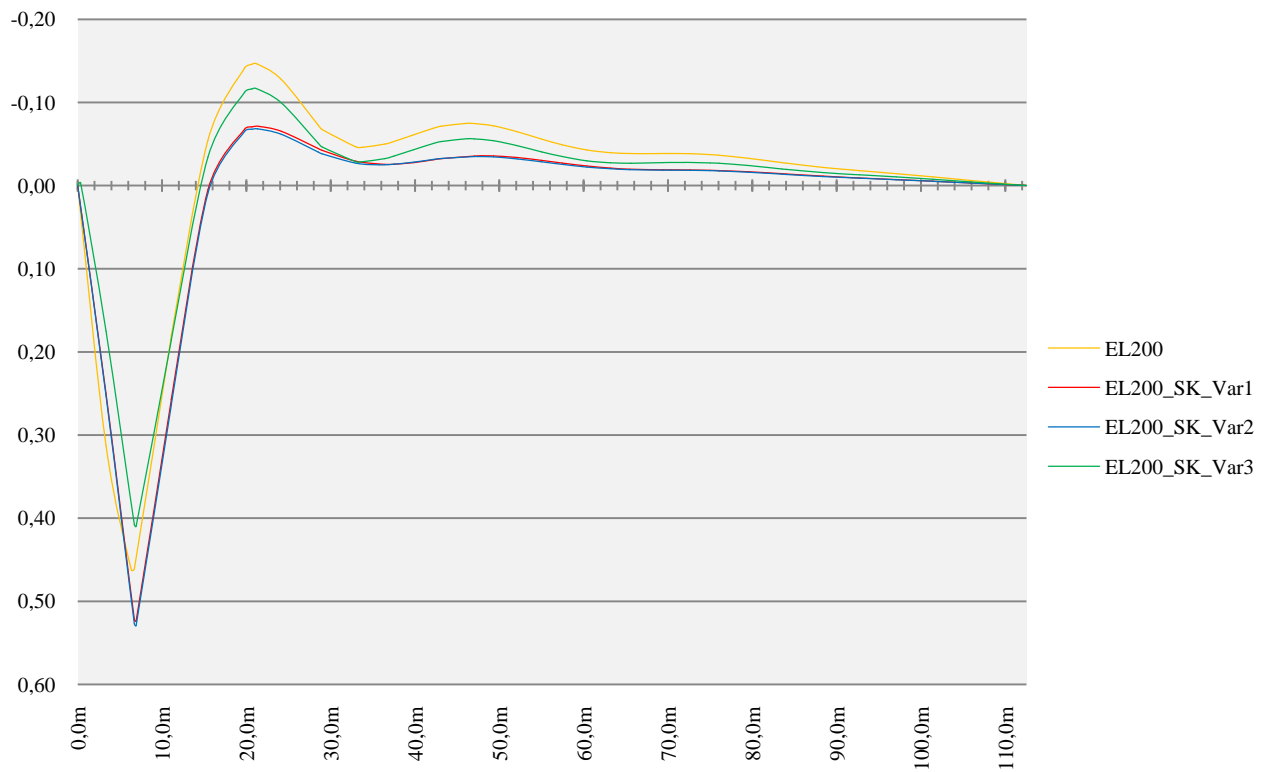


Abbildung 199 Einflusslinien des ersten Randhängers 200

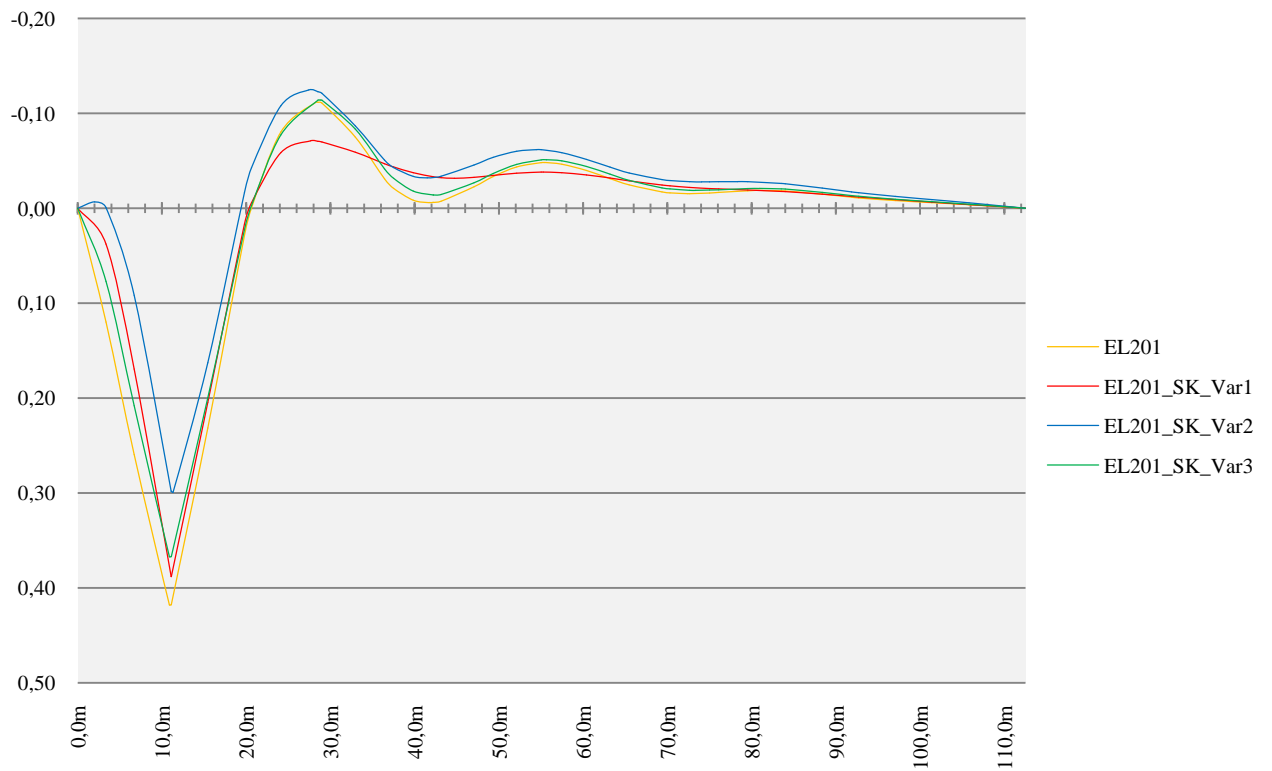


Abbildung 200 Einflusslinien des zweiten Randhängers 201

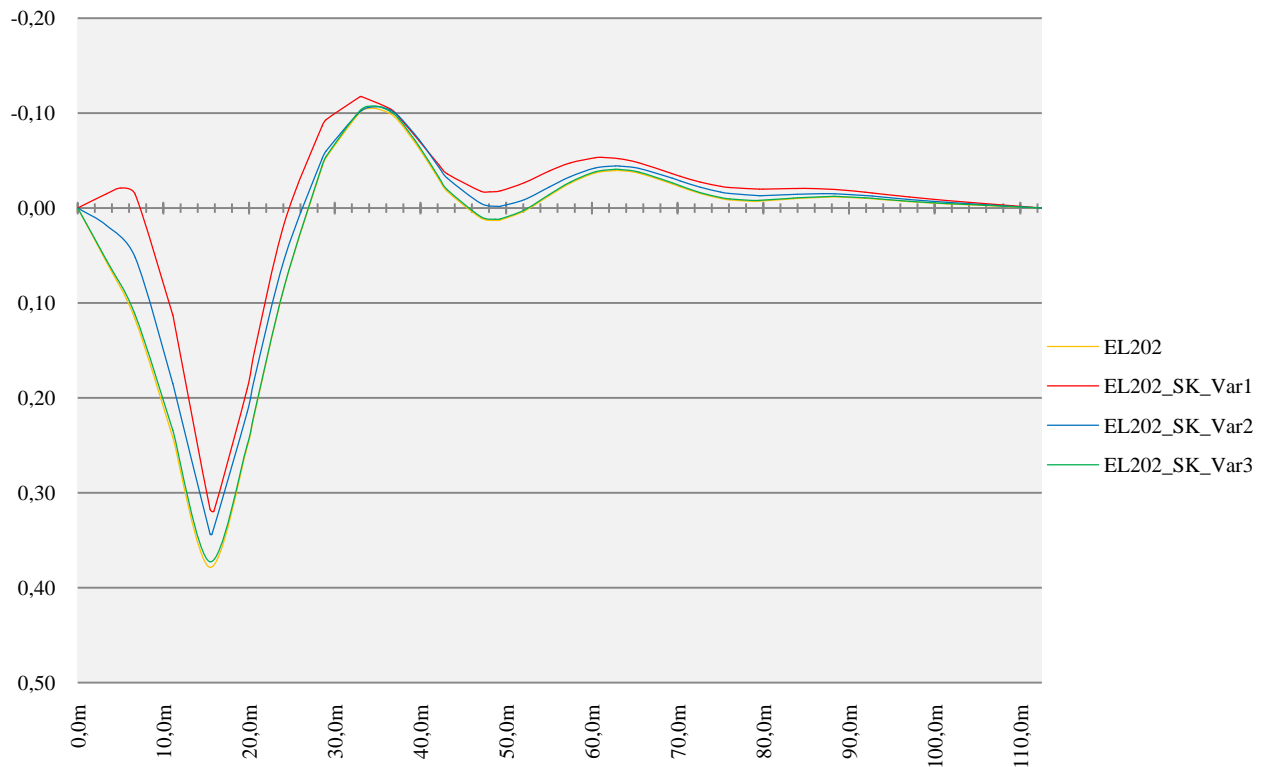


Abbildung 201 Einflusslinien des dritten Randhängers 202

Betrachtet man die Einflusslinien des ersten Randhänger 200 in Abbildung 199, so zeigt sich eine deutliche Verbesserung des Verlaufs der Einflusslinie für alle drei Varianten der Steifigkeitssteigerung. Der Verlauf ist günstiger, je größer der Bereich mit hoher Steifigkeit gewählt wird.

Die Einflusslinien des zweiten Randhängers 201 in Abbildung 200 zeigen ein anderes Verhalten. Alle drei Varianten der Steifigkeitsänderung führen zu einem ungünstigeren Verlauf der Einflusslinie, da die positive Fläche unter der Einflusslinie reduziert wird. Am stärksten wirkt sich dies bei Variante 2 aus.

Für den dritten Hänger im Kämpferbereich ist folgendes Verhalten der Einflusslinien aus Abbildung 201 ersichtlich. Auch hier bewirken alle drei Varianten einen ungünstigeren Verlauf der Einflusslinien. Die geringste Verschlechterung ist bei Variante 3 zu erwarten. Die beiden anderen haben eine starke Reduktion der positiven Fläche unter der Einflusslinie zur Folge. Die negative Fläche unter der Einflusslinie steigt.

Tabelle 12 zeigt für die ersten drei Randhänger das Verhältnis von positiver zu negativer Fläche unter der Einflusslinie bei den unterschiedlichen Bereichen mit erhöhter Steifigkeit.

Stab	Original	Var1	Var2	Var3
200	0,77	1,75	1,86	0,86
201	1,67	1,33	0,62	1,25
202	2,34	0,90	1,52	2,28

Tabelle 12 Verhältnis von positiver zu negativer Fläche unter der Einflusslinie der ersten drei Randhänger bei unterschiedlichen Steifigkeiten (Berechnung siehe Anhang D)

Je größer das Verhältnis von positiver zu negativer Fläche ist, desto unwahrscheinlicher ist es, dass der Stab Druckkräfte erhält und somit ausfällt. Ein Verhältnis größer 1,0 bedeutet, dass der Stab unter einer gleichmäßig in Brückenlängsrichtung verteilten Last auf jeden Fall Zugkräfte erhält. Für ein Verhältnis kleiner 1,0 sind Druckkräfte nicht zu vermeiden.

Als beste Variante, die Steifigkeit zu steigern, erweist sich jene, bei der das Verhältnis für alle Stäbe im Randbereich möglichst günstig ausfällt. Als günstigste der drei Varianten ist Variante 3 zu bewerten. Sie bringt eine Verbesserung für den ersten Hänger, der die größte Druckkraft aufzunehmen hat, ohne die beiden folgenden Hänger deutlich negativ zu beeinflussen. Betrachtet man die beiden anderen Varianten, so zeigt sich, dass beide die Druckkräfte im ersten Hänger stark reduzieren würden. Der Nachteil der beiden liegt jedoch in der nachteiligen Beeinflussung der Hänger 201 und 202.

Folglich ist es am günstigsten, die Steifigkeit nur in dem Bereich bis zum ersten ausfallenden Hänger zu steigern. Zwar werden die Hänger 201 und 202 dadurch negativ beeinflusst, da diese jedoch nur kleine oder keine Druckkräfte erhalten, ist eine geringfügige Steigerung dieser vertretbar. Für den Randhänger 200 ist eine deutliche Abminderung der resultierenden Druckkraft zu erwarten.

Derselbe Schluss lässt sich ziehen, wenn man die Einflusslinie der letzten drei Hänger eines Sets betrachtet. Diese sind in Abbildung 202, Abbildung 203 und Abbildung 204 dargestellt.

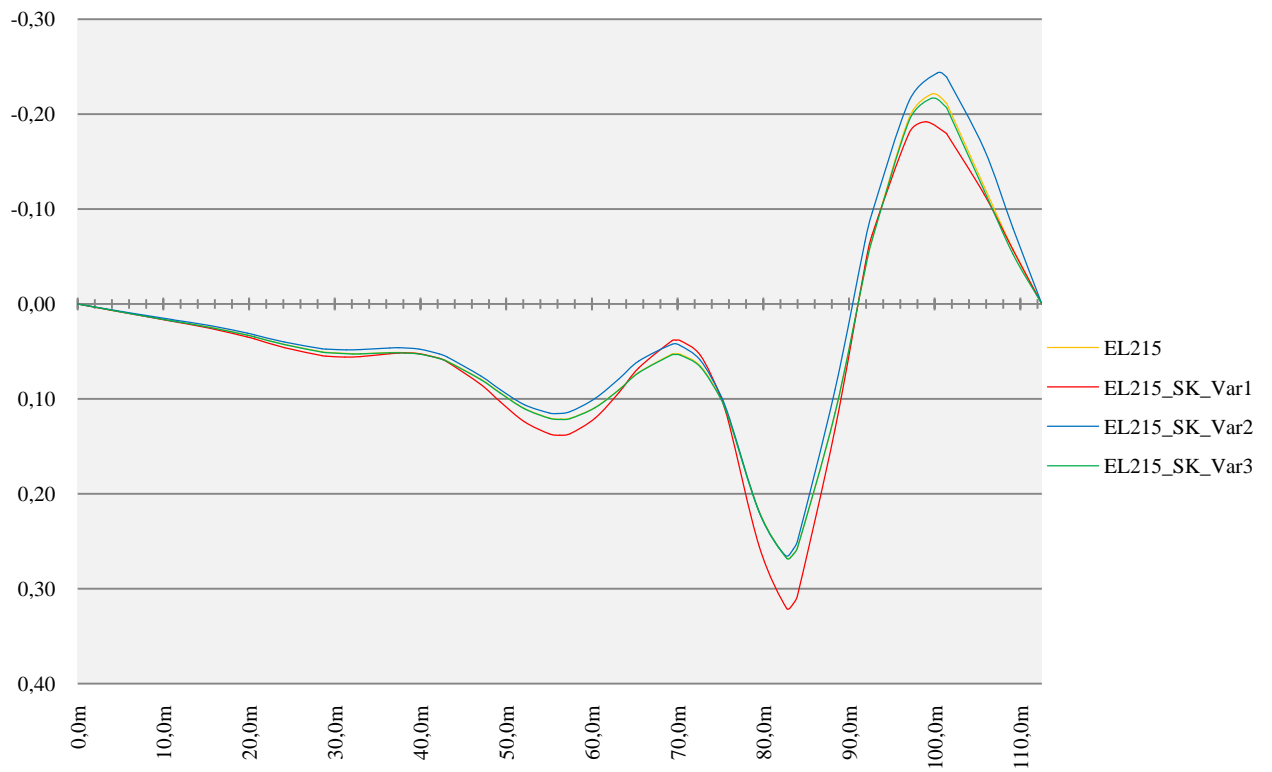


Abbildung 202 Einflusslinien des Randhängers 215

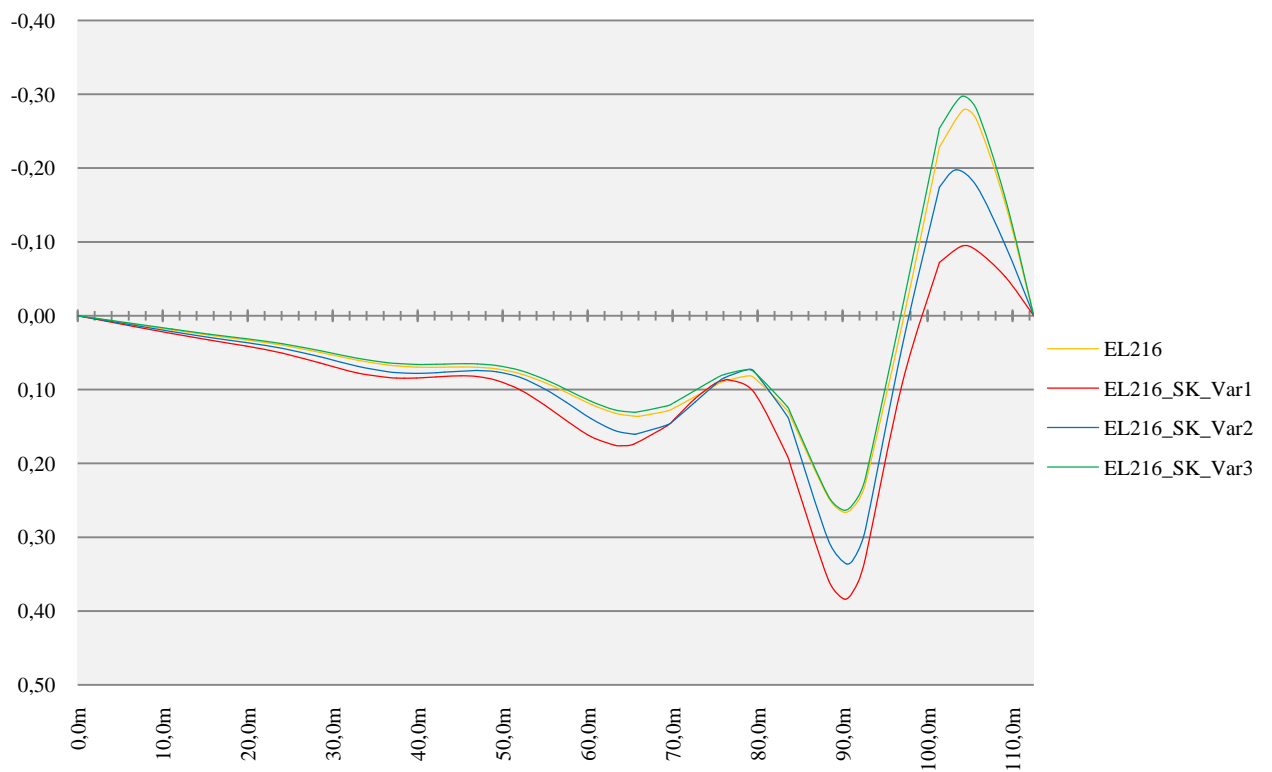


Abbildung 203 Einflusslinien des Randhängers 216

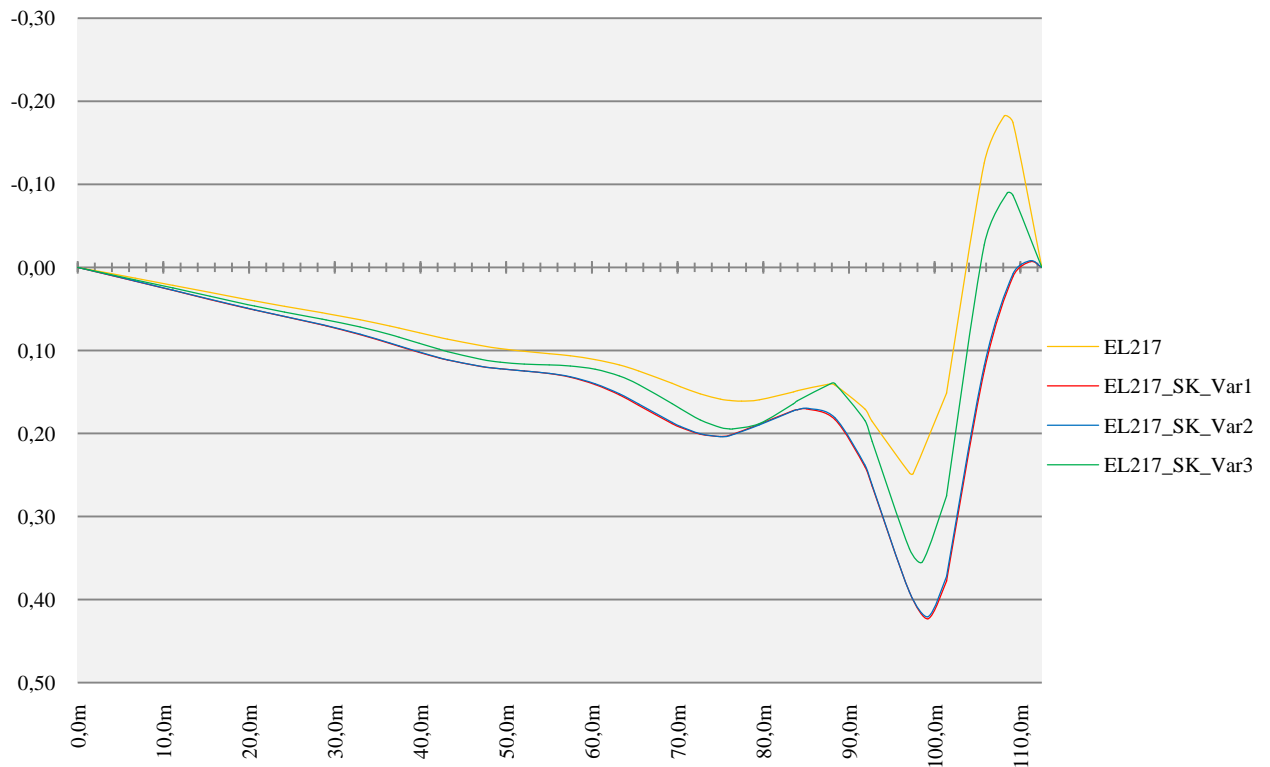


Abbildung 204 Einflusslinien des Randhängers 217

Aus den Abbildungen ist ersichtlich, dass die letzten beiden Hänger 216 und 217 eine umso größere Zugkraft erhalten, je größer der Bereich mit einer größeren Steifigkeit gewählt wird. Da diese Hänger ohnehin die am stärksten belasteten des Hängernetzes sind, ist eine weitere Steigerung der in ihnen auftretenden Kräfte ungünstig. Am geringsten ist dieser Effekt bei Variante 3 zu beobachten. Diese ist folglich auch für die letzten drei Hänger eines Sets am besten geeignet.

18.4.2 Verminderung der Steifigkeit des Bogens

Im hoch beanspruchten Kämpferbereich muss der Bogen eine ausreichend hohe Steifigkeit aufweisen. Der Bogen ist bereits relativ schlank ausgebildet und der Querschnitt gut ausgelastet. Eine weitere Abminderung der Querschnittssteifigkeit erscheint nicht zielführend zu sein.

18.4.3 Variation der Steifigkeit des Versteifungsträgers

Es soll untersucht werden, ob sich die Erhöhung bzw. die Abminderung der Steifigkeit des Versteifungsträgers im Störbereich positiv auf das Verhalten der Randhänger auswirkt. Zu diesem Zweck wird dem Versteifungsträger im Bereich der ersten drei Hänger im Randbereich eines Sets eine Steifigkeit von 10^8 cm^4 bzw. 10^6 cm^4 anstelle der bisherigen von $3,46 \cdot 10^6 \text{ cm}^4$ zugewiesen. Um die Auswirkungen einer Steifigkeitsveränderung beurteilen zu können, werden die Einflusslinien der Hänger im Kämpferbereich analysiert. Verglichen wird das Ausgangssystem mit unveränderter Steifigkeit mit den oben beschriebenen Varianten.

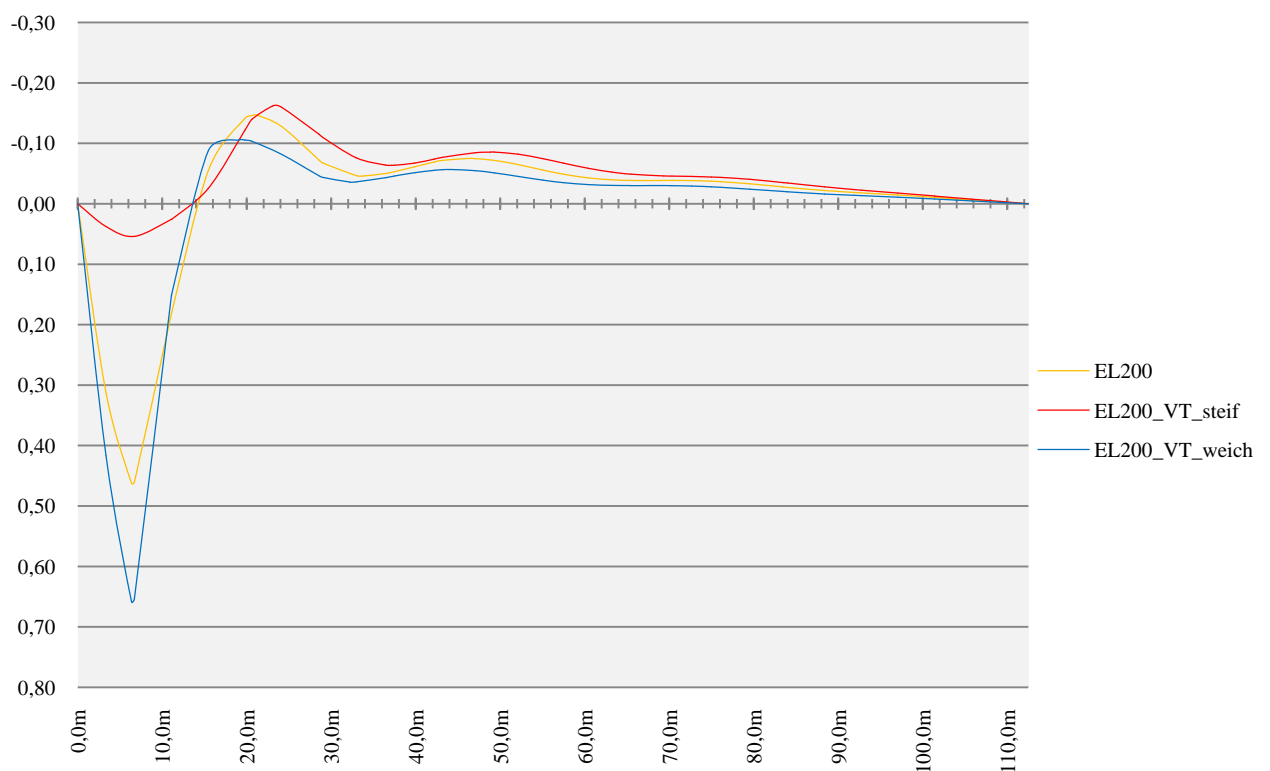


Abbildung 205 Einflusslinien des Hängers 200 bei unterschiedlichen Steifigkeiten des Versteifungsträgers

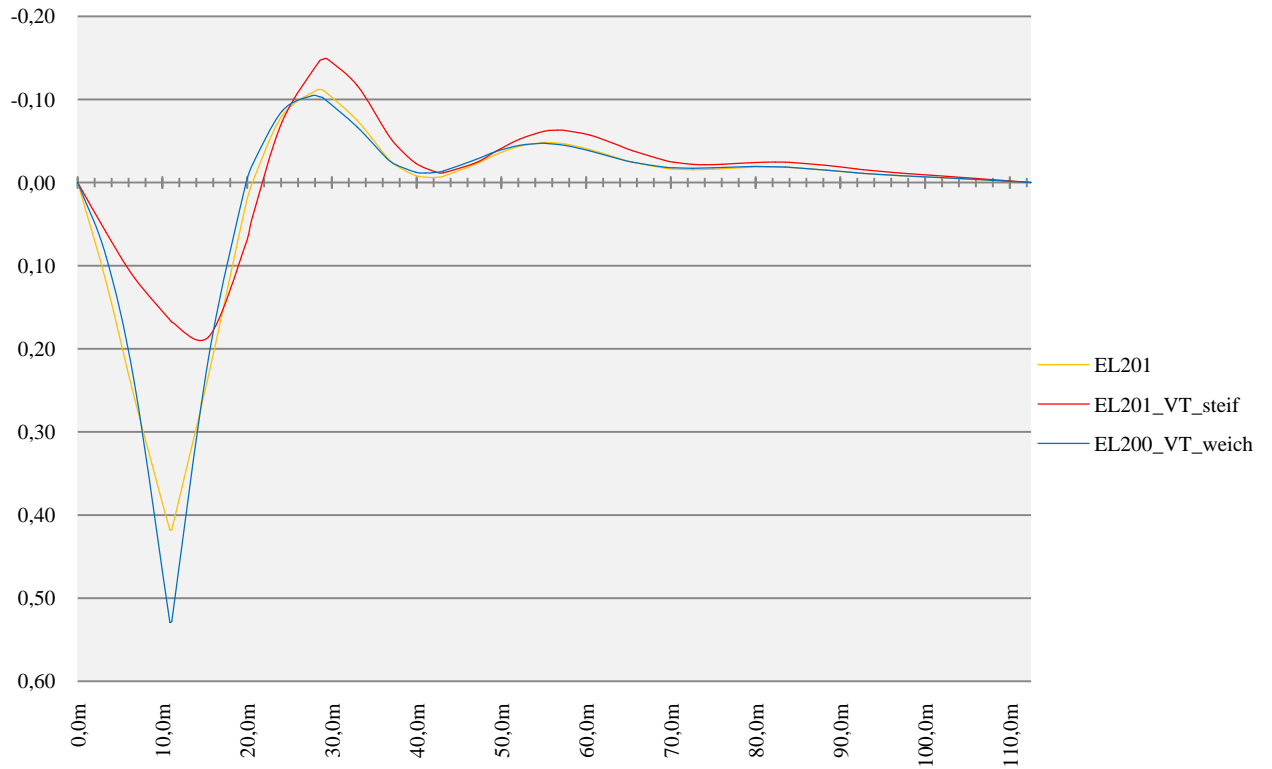


Abbildung 206 Einflusslinien des Hängers 201 bei unterschiedlichen Steifigkeiten des Versteifungsträgers

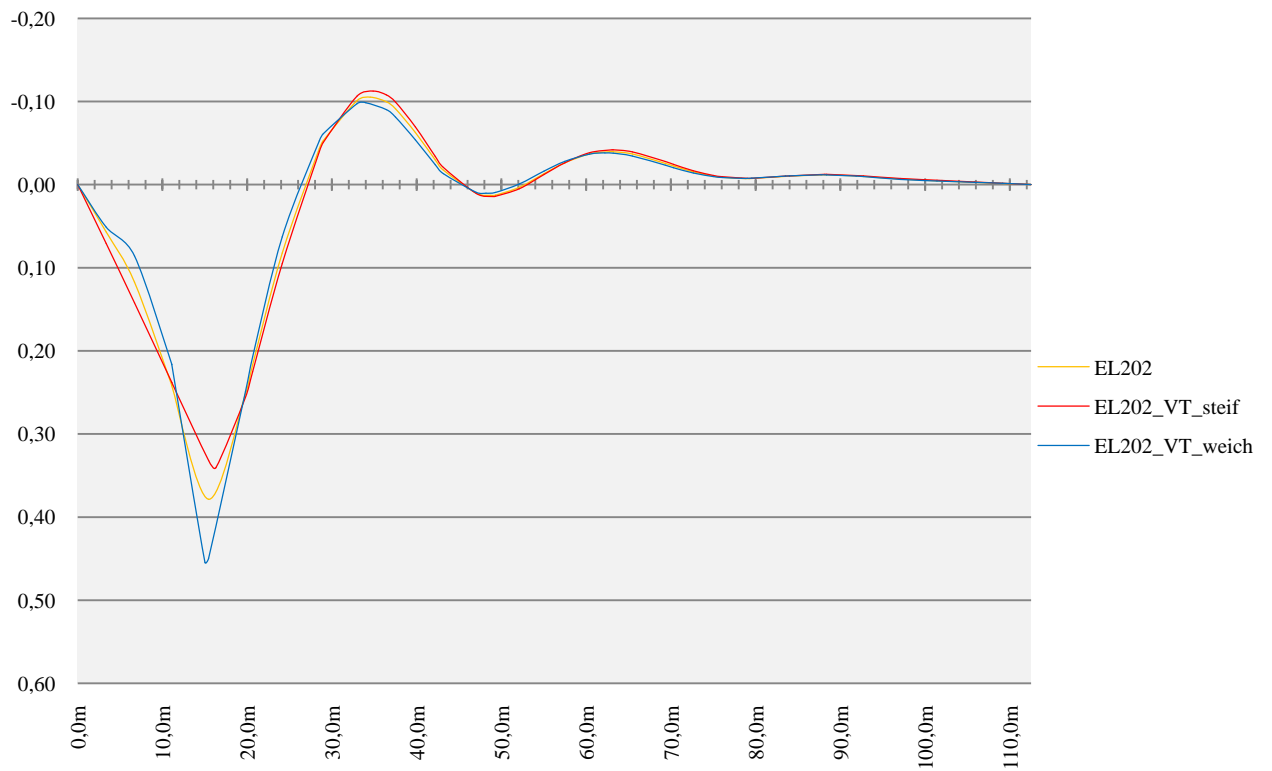


Abbildung 207 Einflusslinien des Hängers 202 bei unterschiedlichen Steifigkeiten des Versteifungsträgers

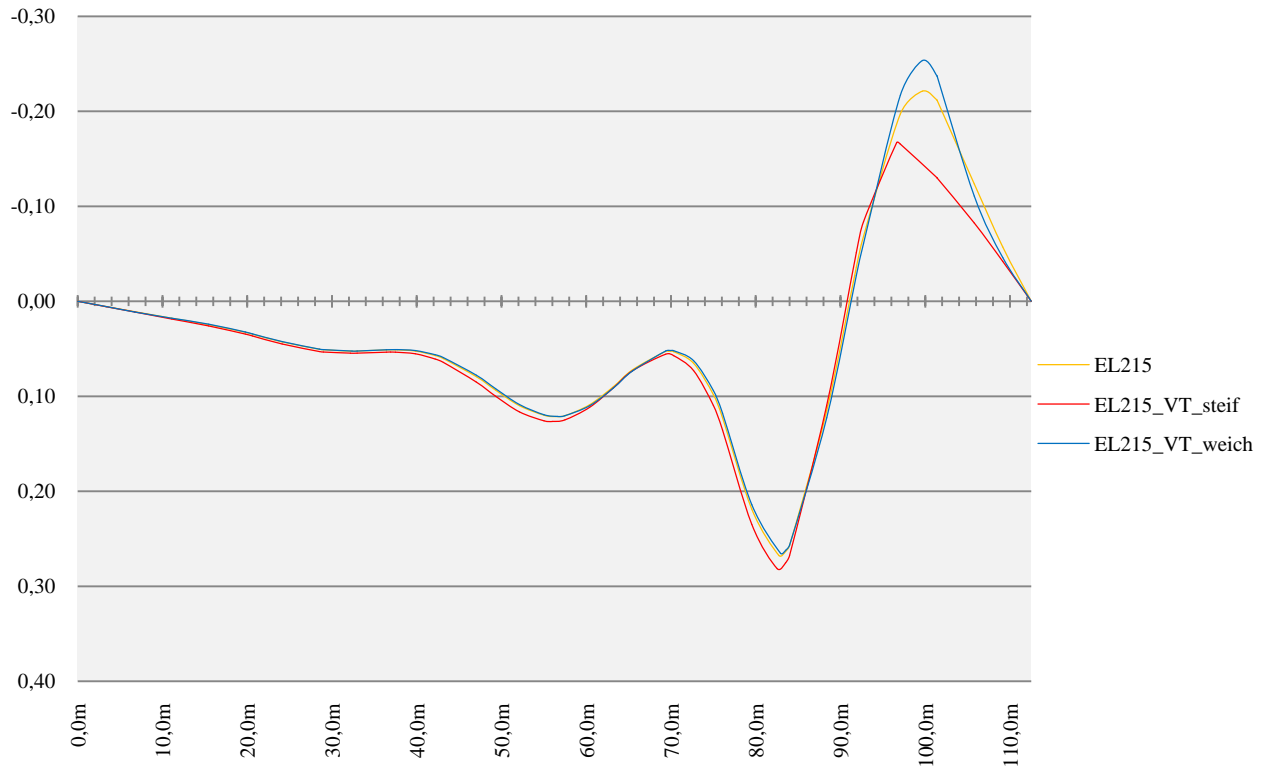


Abbildung 208 Einflusslinien des Hängers 215 bei unterschiedlichen Steifigkeiten des Versteifungsträgers

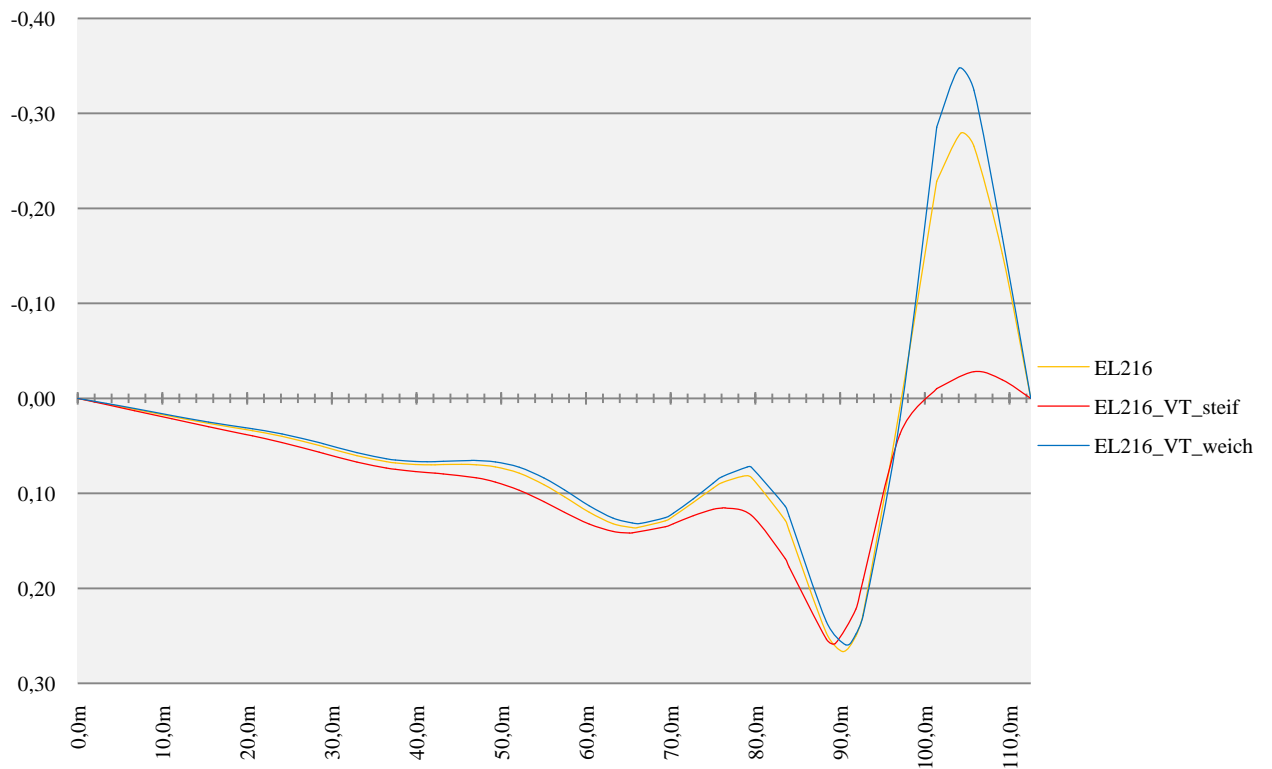


Abbildung 209 Einflusslinien des Hängers 216 bei unterschiedlichen Steifigkeiten des Versteifungsträgers

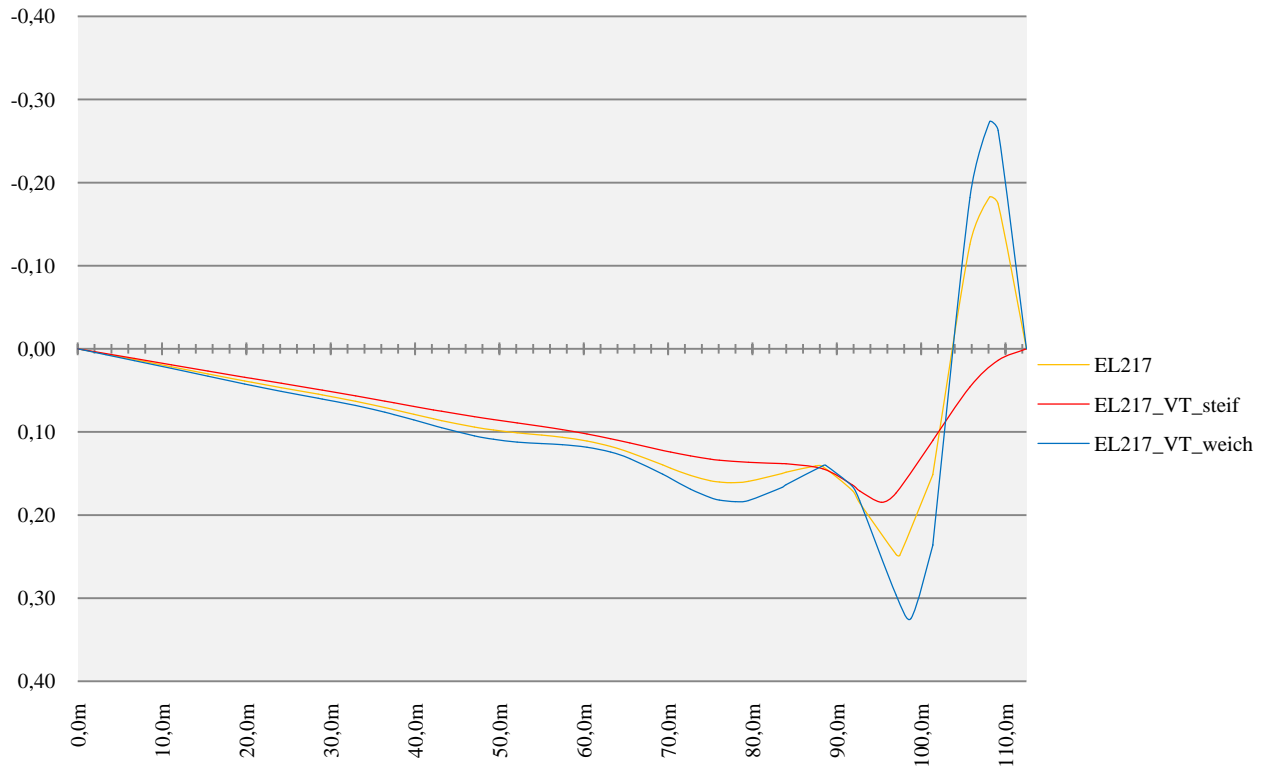


Abbildung 210 Einflusslinien des Hängers 217 bei unterschiedlichen Steifigkeiten des Versteifungsträgers

Aus den Einflusslinien ist klar ersichtlich, dass eine Erhöhung der Steifigkeit des Versteifungsträgers einen negativen Einfluss auf die Randhänger hat. Betrachtet man die Einflusslinien der Hänger 200, 201 und 202 in Abbildung 205, Abbildung 206 und Abbildung 207, erkennt man, dass die positive Fläche unter der Einflusslinie stark abnimmt und die negative Fläche zunimmt. Das hat zur Folge, dass sich die ohnehin schon vorhandenen Druckkräfte in den Hängern noch zusätzlich erhöhen. Für die Randhänger 215, 216 und 217 am Ende des Hängersets verhält es sich ähnlich. Die negative Fläche unter der Einflusslinie wird geringer und die positive größer. Die bereits vorhandenen großen Zugkräfte werden zusätzlich erhöht.

Stab	Original	VT steif	VT weich
200	0,77	0,11	1,27
201	1,67	0,70	1,69
202	2,34	2,24	2,50

Tabelle 13 Verhältnis von positiver zu negativer Fläche unter der Einflusslinie der ersten drei Randhänger bei unterschiedlichen Steifigkeiten (Berechnung siehe Anhang D)

Ein gegenteiliger Effekt lässt sich erzielen, wenn der Versteifungsträger mit einer geringeren Steifigkeit ausgeführt wird. Wie Tabelle 13 zeigt, fällt das Verhältnis von positiver zu negati-

ver Fläche unter der Einflussfläche für alle Randhänger deutlich günstiger aus. Es ist also vorteilhaft, wenn die Steifigkeit des Versteifungsträgers im Kämpferbereich geringer gewählt wird als im Regelbereich.

18.4.4 Praktische Anwendung

Die Erkenntnisse aus 18.4.1 und 18.4.3 sollen nun auf die ausgewählten Netzgeometrien angewandt werden.

Die erste Variante besteht darin, die Steifigkeit des Bogens im Bereich zwischen erstem Hänger und Auflager zu erhöhen. Zu diesem Zweck wird die Querschnittshöhe des Bogens zum Kämpfer hin linear erhöht. Durch diese Maßnahme lässt sich mehr Steifigkeit gewinnen als durch eine Veränderung der Blechdicken, da im Satz von Steiner der Schwerpunktsabstand der Gurte mit dem Quadrat berücksichtigt wird. Der Querschnitt wird um 625 mm auf 1500 mm erhöht.

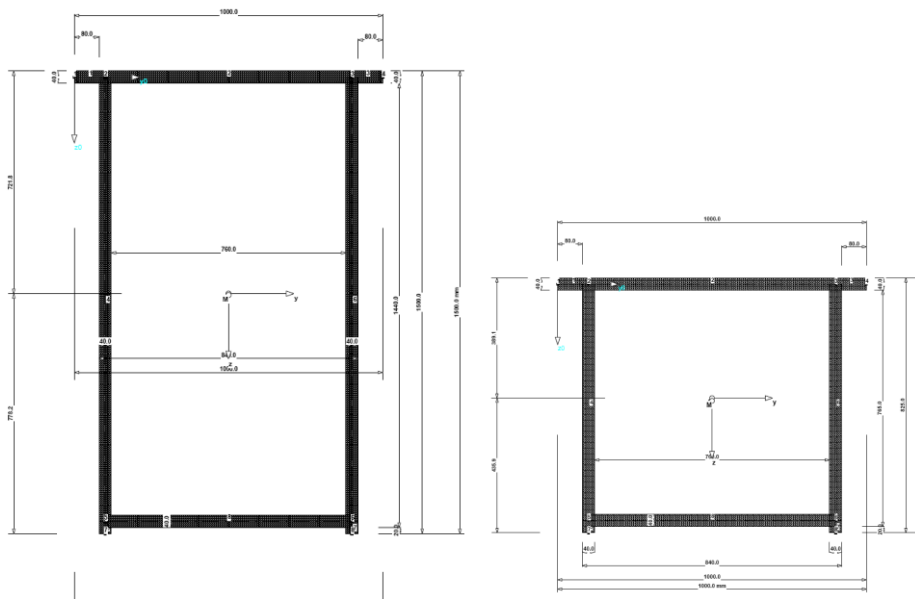


Abbildung 211 Bogenquerschnitt am Auflager und im Regelbereich

Für die zweite Variante wird die Steifigkeit des Versteifungsträgers zum Kämpfer hin reduziert. Zu diesem Zweck wird seine Höhe über dem Auflager um 250 mm auf 1100 mm verkleinert.

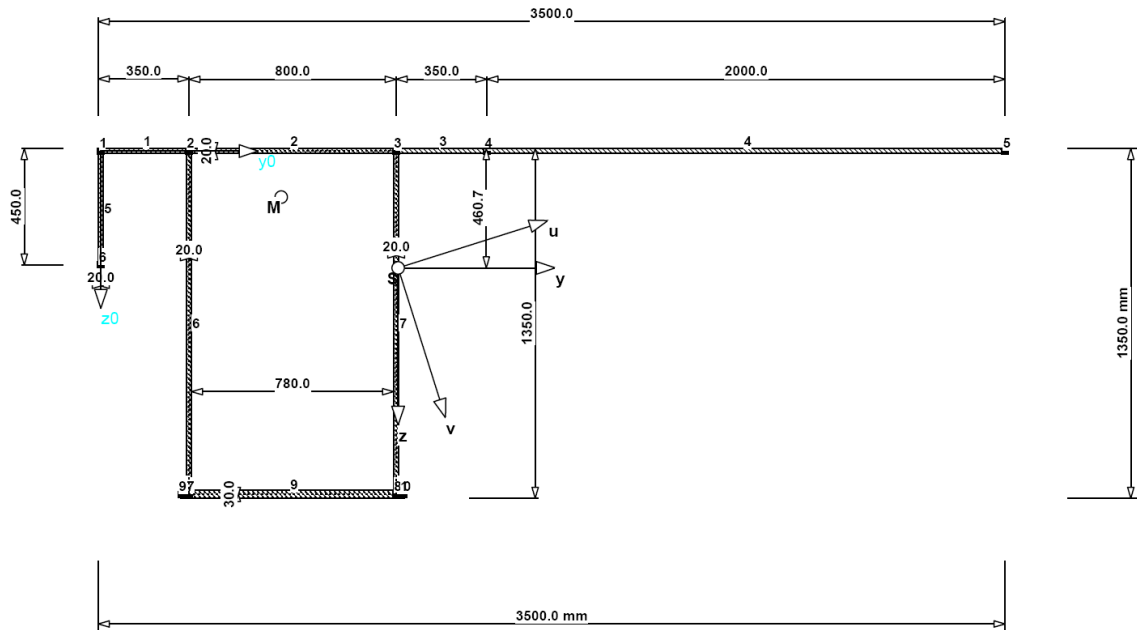


Abbildung 212 Querschnitt des Versteifungsträgers im Regelbereich

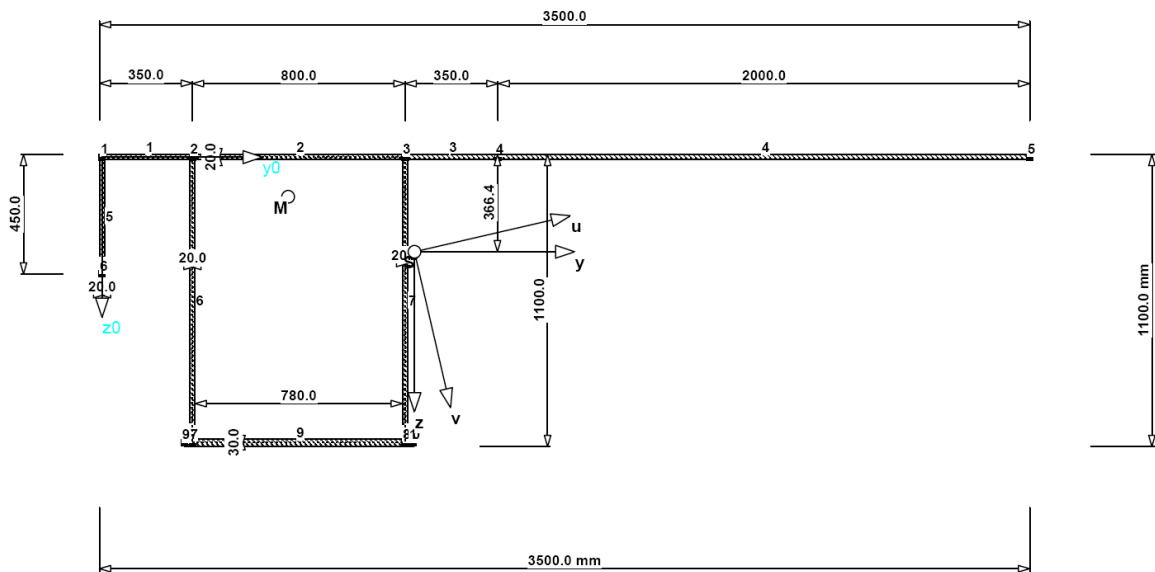


Abbildung 213 Querschnitt des Versteifungsträgers mit reduzierter Höhe über dem Auflager

Bei der dritten untersuchten Variante werden Variante 1 und 2 miteinander kombiniert. Mit den abgebildeten Querschnitten ergeben sich die Kämpferbereiche der statischen Systeme wie in Abbildung 214, Abbildung 215 und Abbildung 216. Die genauen Querschnittsabmessungen und Querschnittswerte sind Anhang B zu entnehmen.

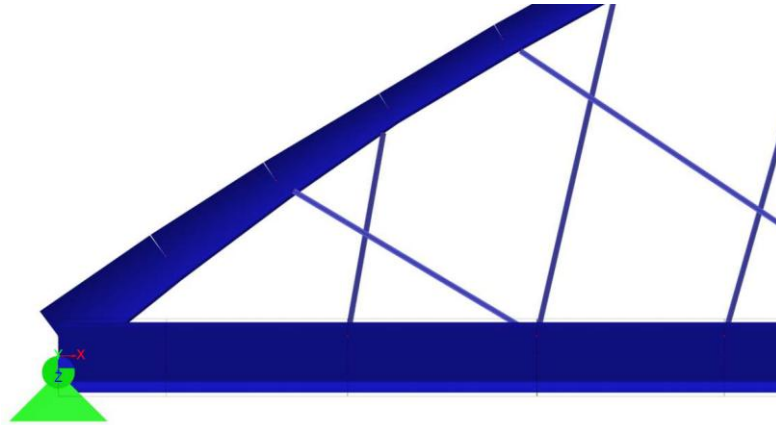


Abbildung 214 Ausbildung des Kämpferbereichs für Variante 1 mit höherem Bogenquerschnitt im Kämpferbereich

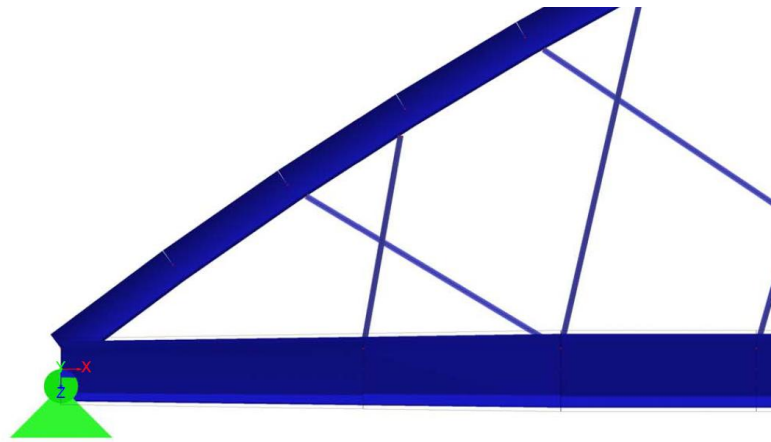


Abbildung 215 Ausbildung des Kämpferbereichs für Variante 2 mit niedrigerem Versteifungsträger über dem Auflager

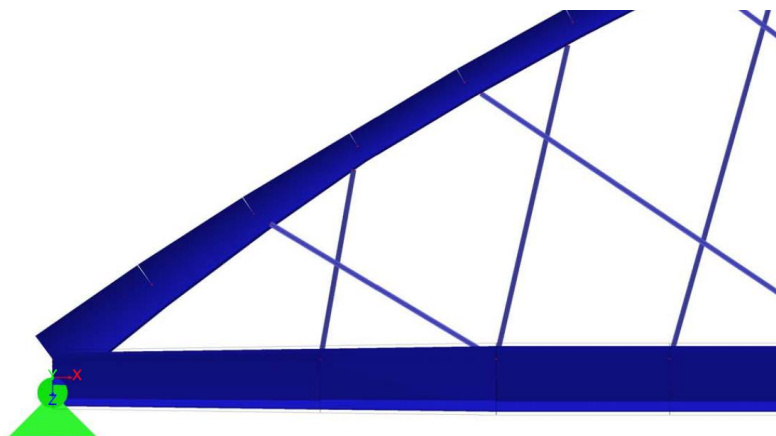


Abbildung 216 Ausbildung des Kämpferbereichs für Variante 3

Alle drei Varianten werden auf die drei ausgewählten Netzgeometrien angewandt und in den folgenden Diagrammen verglichen.

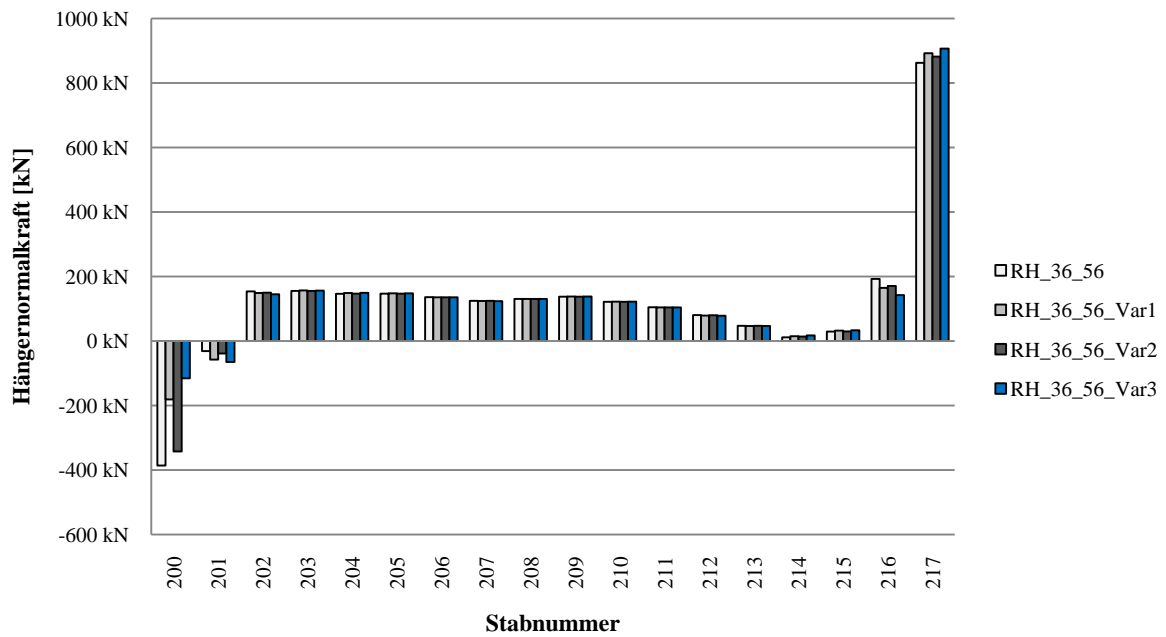


Diagramm 111 Minimale Hängernormalkräfte im FLS der radialen Hängeranordnung bei unterschiedlichen Varianten der Steifigkeit im Kämpferbereich

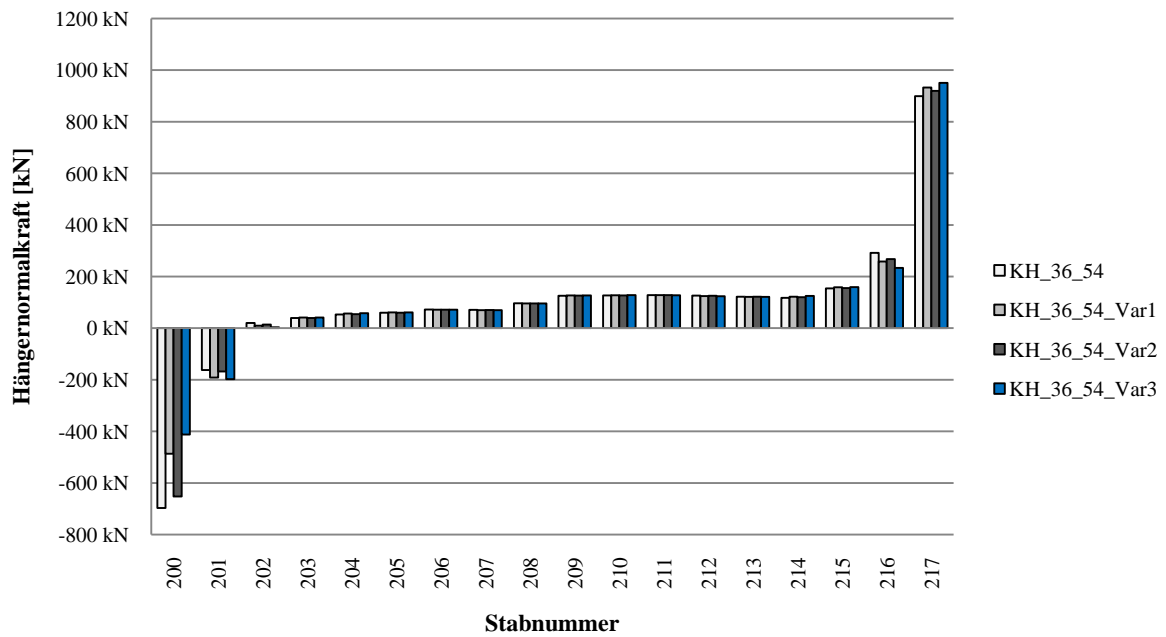


Diagramm 112 Minimale Hängernormalkräfte im FLS der konstanten Hängerneigungsänderung bei unterschiedlichen Varianten der Steifigkeit im Kämpferbereich

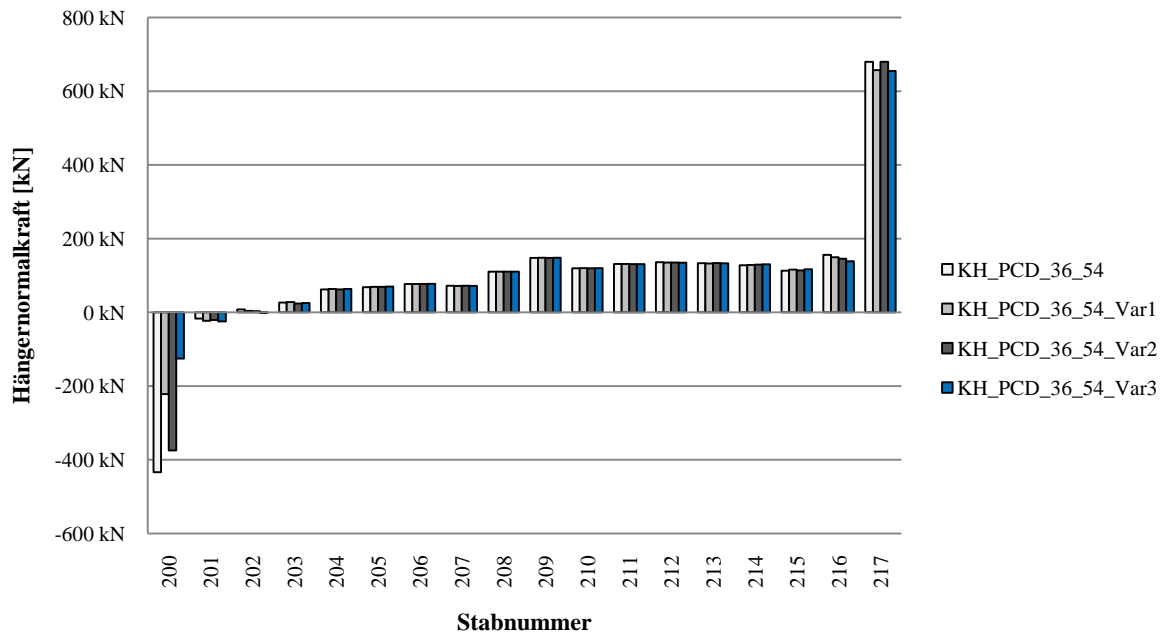


Diagramm 113 Minimale Hängernormalkräfte im FLS der Hängeranordnung nach PCD bei unterschiedlichen Varianten der Steifigkeit im Kämpferbereich

Aus den Diagrammen ist ersichtlich, dass jede der Varianten, die Steifigkeiten im Kämpferbereich zu variieren, eine positive Auswirkung auf die Normalkräfte in den Randhängern hat.

Wird die Steifigkeit des Bogens im Kämpferbereich erhöht, so kann bei allen Netzgeometrien die Druckkraft im ersten Hänger um rund 200 kN reduziert werden. Die übrigen Hängernormalkräfte werden nur geringfügig beeinflusst.

Variante 2 bringt eine Verbesserung der Hängerdruckkraft um rund 50 kN. Auch hier zeigt sich kaum eine Auswirkung auf die übrigen Hängerkräfte.

Die Kombination der beiden Varianten liefert das beste Ergebnis. Die Reduktion der Druckkraft im ersten Hänger entspricht der Summe der mit den Einzelvarianten erzielten.

Die Steifigkeit des Bogens im Kämpferbereich zu erhöhen, wirkt sich sehr positiv auf die Anfangshänger aus und scheint eine sinnvolle Maßnahme darzustellen. Im Vergleich dazu ist der positive Effekt, der sich mit einer Reduktion der Steifigkeit des Versteifungsträgers erzielen lässt, gering. Der konstruktive Mehraufwand steht in keiner Relation zum tatsächlichen Nutzen.

Die Variation der Steifigkeit alleine löst das Problem im Bereich des Kämpfers nicht, stellt aber in Kombination mit z.B. Vorspannung der Hänger oder zusätzlichem Gewicht im Randbereich eine Möglichkeit dar, einem Hängerausfall entgegenzuwirken.

19 Nachweis der Hängernetzgeometrien

In diesem Kapitel soll mit den drei in 15 gewählten Netzgeometrien, unter Berücksichtigung der in 18 gewonnenen Erkenntnisse, der in 17 erarbeitete Nachweis erbracht werden. Dazu wird der Bogenquerschnitt wie in 18.4.4 zum Auflager hin erhöht, sodass sich bei allen drei Varianten der Kämpferbereich wie in Abbildung 214 ergibt. Eine solche Ausführung im Kämpferbereich hat zwei Vorteile. Einerseits reduziert sich die Druckkraft im ersten Hänger deutlich, andererseits benötigt man in diesem Bereich ohnehin einen größeren Querschnitt, um eine Vorspannung der Hänger möglich zu machen.

Im ersten Schritt wird der erste Teil des Nachweiskonzeptes angewendet. Es wird untersucht, ob Hänger im Regelbereich unter der Lastfallkombination aus 17.1 ausfallen und mit welchen Kräften die Randhänger vorgespannt werden müssen. Sind die notwendigen Vorspannkräfte erst einmal bekannt, kann der Nachweis für jedes Netz geführt werden.

Im zweiten Teil wird der der Nachweis für die Tragfähigkeit des Gesamtsystems geführt.

19.1 Variante 1: Radiale Hängeranordnung

Diagramm 114 zeigt die minimalen Normalkräfte des ersten Hängersets unter der maßgebenden Lastkombination.

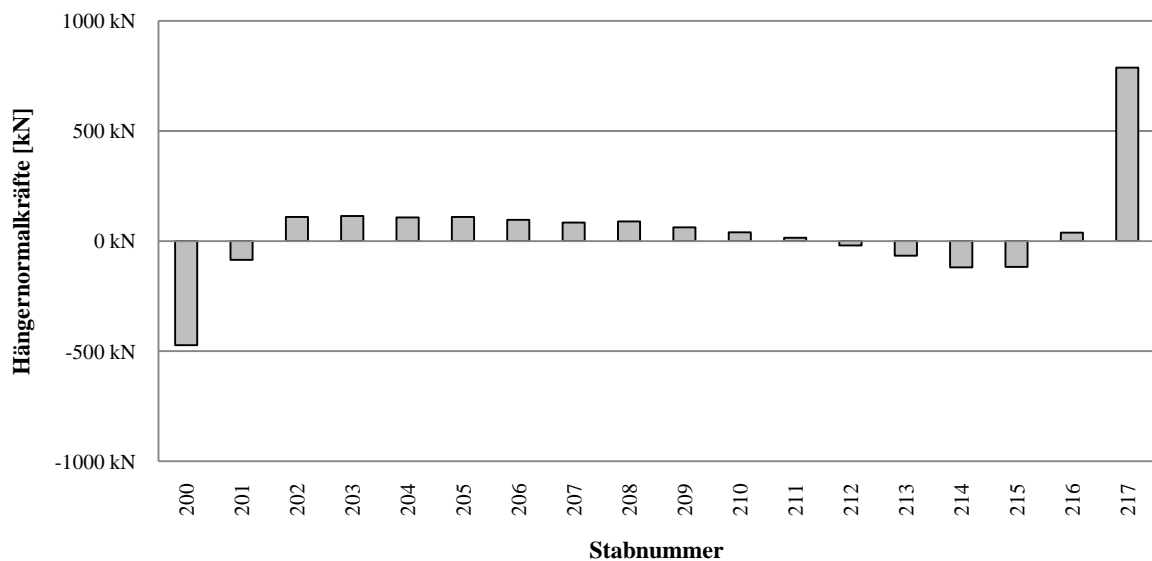


Diagramm 114 Minimale Hängernormalkräfte unter der neuen Lastkombination

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass neben den beiden ersten Randhängern im Störbereich auch mehrere Hänger im Regelbereich ausfallen. Das bedeutet, dass entweder die Hänger zu steil angeordnet sind oder das Verhältnis von ständigen Lasten zu Verkehrslasten zu klein ist. Da die Hänger unter Berücksichtigung der konstruktiven Randbedingungen, die in 11 erläutert wurden, nur in Längen bis 24 m lieferbar sind, können die Hänger nicht flacher angeordnet werden. Soll die radiale Hängeranordnung zur Anwendung kommen, ist es also unumgänglich, die ständigen Lasten zu erhöhen. In diesem Fall ist eine Ausführung mit orthotroper Fahrbahnplatte nicht möglich. Es wird vorgeschlagen, das Tragwerk mit einer Verbundplatte wie in 18.2 auszubilden. Dadurch ergibt sich eine ständige Last von 130 kN/m.

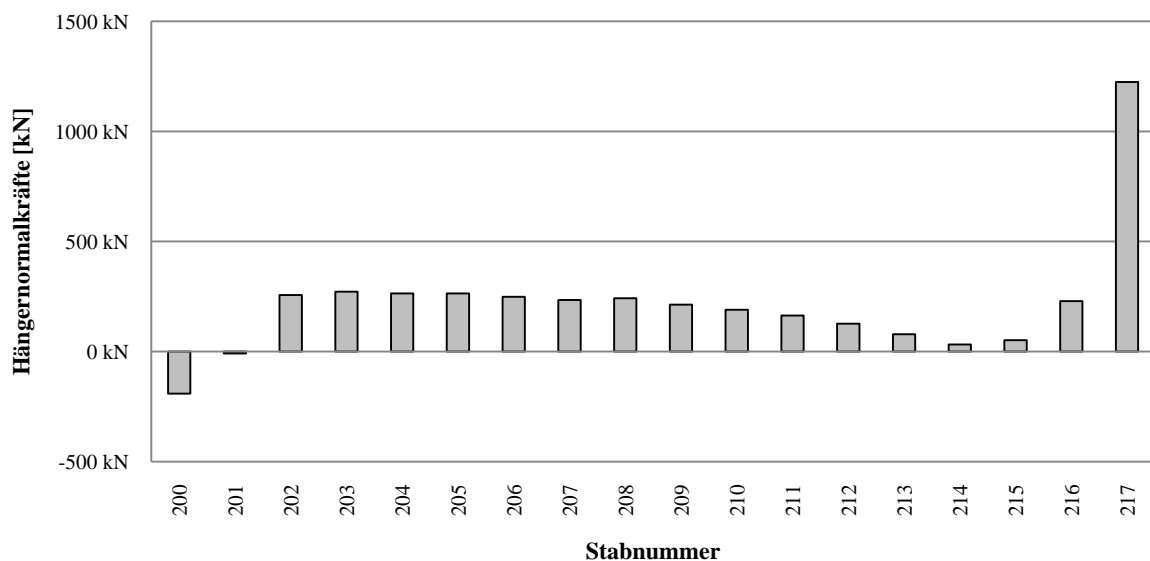


Diagramm 115 Minimale Hängernormalkräfte unter der neuen Lastkombination für eine Konstruktion mit Verbundplatte

Diagramm 115 zeigt, dass sich die zusätzlichen ständigen Lasten sehr positiv auf das Verhalten der Hänger auswirken. Im Regelbereich kommt es zu keinen Ausfällen mehr. Die Problematik im Randbereich wird stark entschärft. Im nächsten Schritt werden die beiden ersten Hänger so vorgespannt, dass die Druckkraft von 190,74 kN bzw. von 8,26 kN kompensiert wird. Als Vorspannmethode wird die in 18.3.1.2 erläuterte Variante gewählt. Es ergeben sich folgende zwei Teilsysteme bei der Montage.

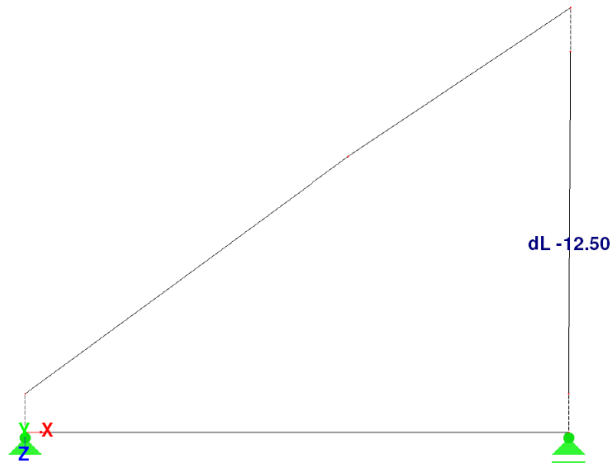


Abbildung 217 Teilsystem 1 beim Vorspannen der Hänger

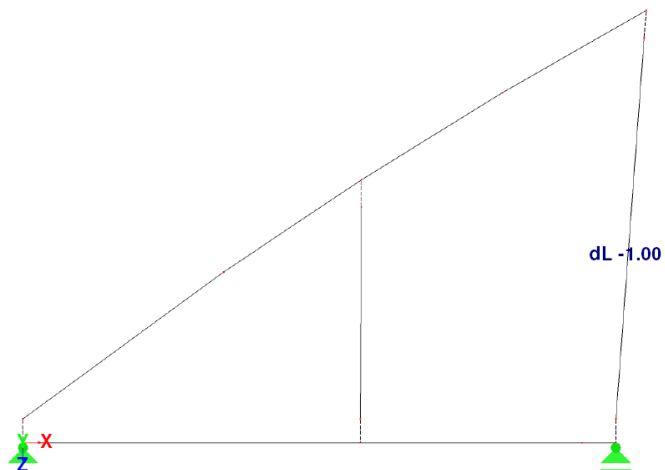


Abbildung 218 Teilsystem 2 beim Vorspannen der Hänger

Nach dem Vorspannen ergeben sich folgende eingetragene Schnittgrößen im Kämpferbereich.

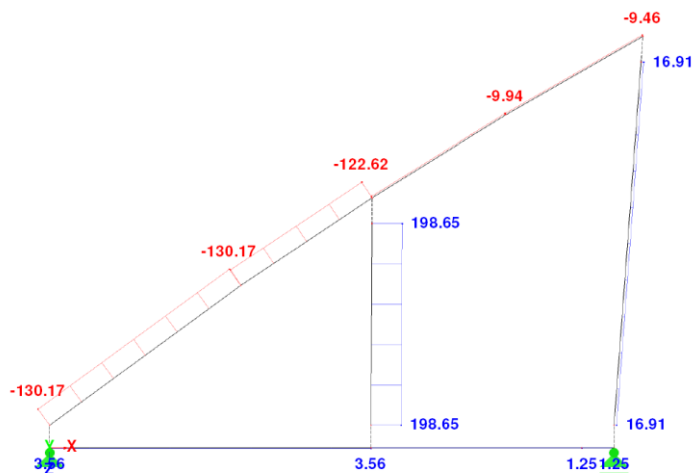


Abbildung 219 Vorspannkkräfte in den Hängern und Normalkräfte in Bogen und Versteifungsträger

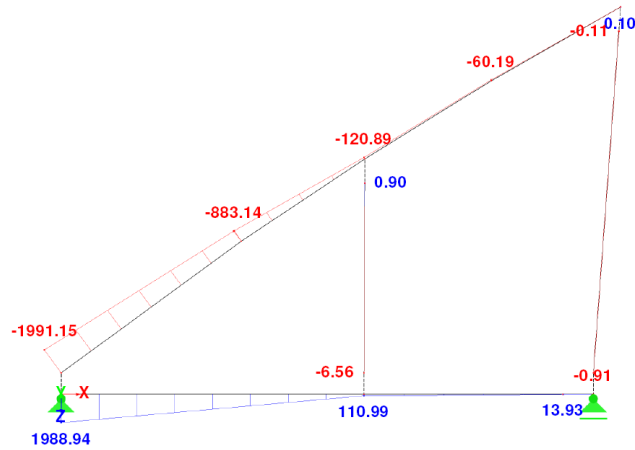


Abbildung 220 Eingprägte Momente im Kämpferbereich für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Eine erneute Berechnung unter Berücksichtigung der Vorspannung der Hänger liefert folgende minimale Hängernormalkräfte.

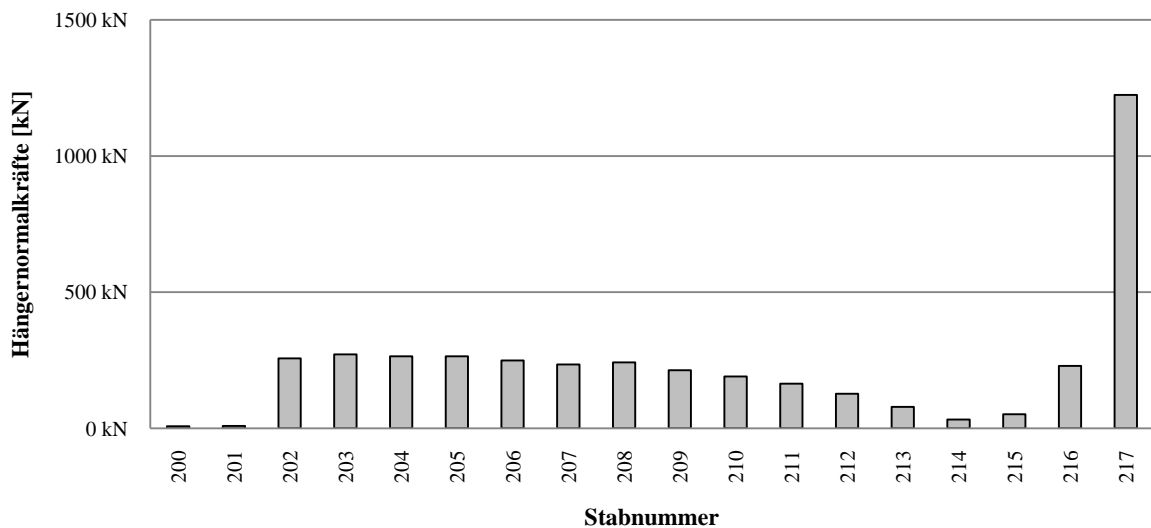


Diagramm 116 Minimale Hängernormalkräfte unter der neuen Lastkombination für eine Konstruktion mit Verbundplatte und Vorspannung der Randhänger

Alle minimalen Hängernormalkräfte sind positiv und der erste Teil des Nachweiskonzepts somit sehr knapp erfüllt. Es wird empfohlen die Vorspannkraft in der Praxis eventuell höher zu wählen.

Anschließend wird der Tragfähigkeitsnachweis für das Gesamtsystem im ULS geführt. Zu diesem Zweck wird das Systemverhalten unter folgenden Verkehrslaststellungen untersucht.

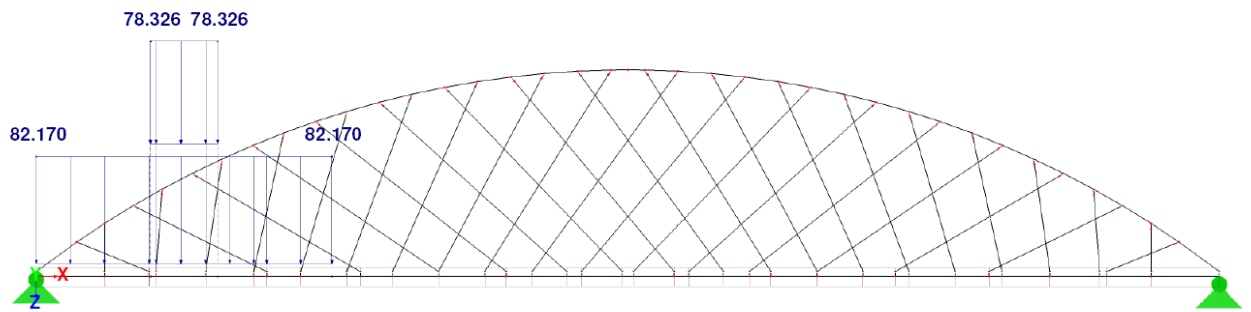


Abbildung 221 Laststellung 1: Viertellast; LM71 auf Gleis 1 und Gleis 2

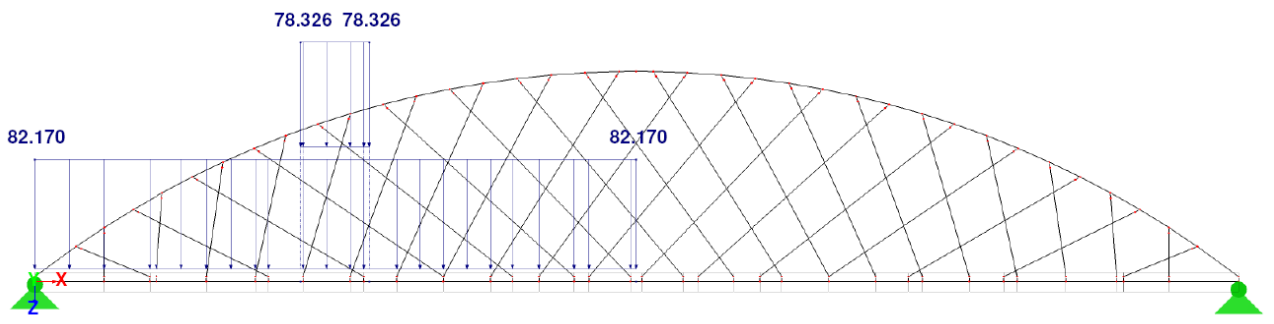


Abbildung 222 Laststellung 2: Halblast; LM71 auf Gleis 1 und Gleis 2

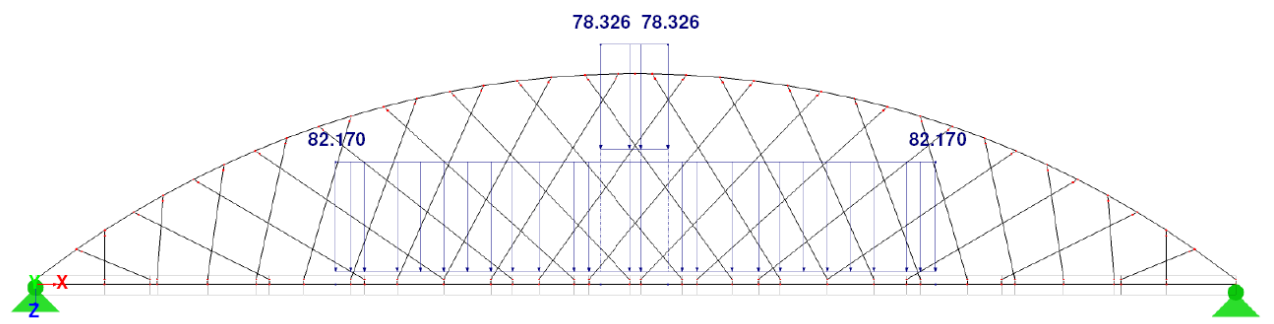


Abbildung 223 Laststellung 3: LM71 auf Gleis 1 und Gleis 2 in Brückenmitte

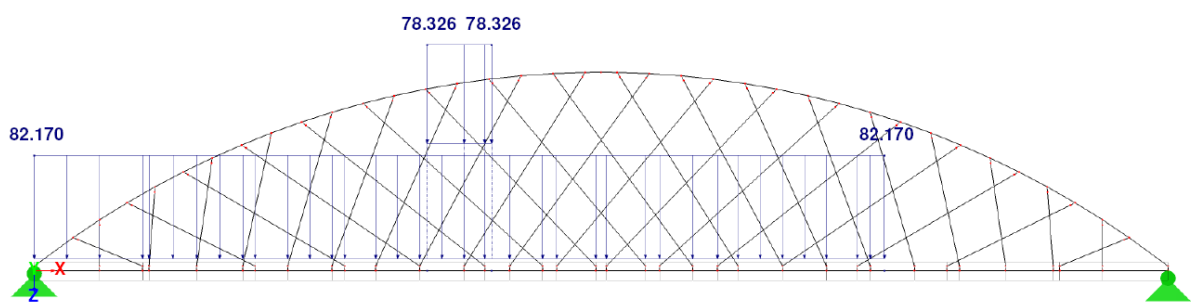


Abbildung 224 Laststellung 4: Dreiviertellast; LM71 auf Gleis 1 und Gleis 2

Für die neuerliche Berechnung des Tragwerks werden die Hänger nun als druckschlaffe Biegestäbe abgebildet. RSTAB bietet die Möglichkeit, die Vorspannung in den Randhängern mit

Hilfe der Stabnichtlinearität „*Reißen unter Druck*“ zu berücksichtigen. So kann erfasst werden, dass Hänger erst ab einer Druckkraft, die ihre Vorspannkraft übersteigt, ausfallen.

Eine nichtlineare Berechnung des Tragwerks und eine anschließende Spannungsanalyse aller Querschnitte zeigen, dass trotz teilweise ausfallender Hänger bei allen Laststellungen die Tragfähigkeit gewährleistet ist. Für die Bemessung der einzelnen Bauteile ist die jeweils ungünstigste Laststellung heranzuziehen.

19.2 Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung

Diagramm 117 zeigt die minimalen Normalkräfte des ersten Hängersets unter der maßgebenden Lastkombination.

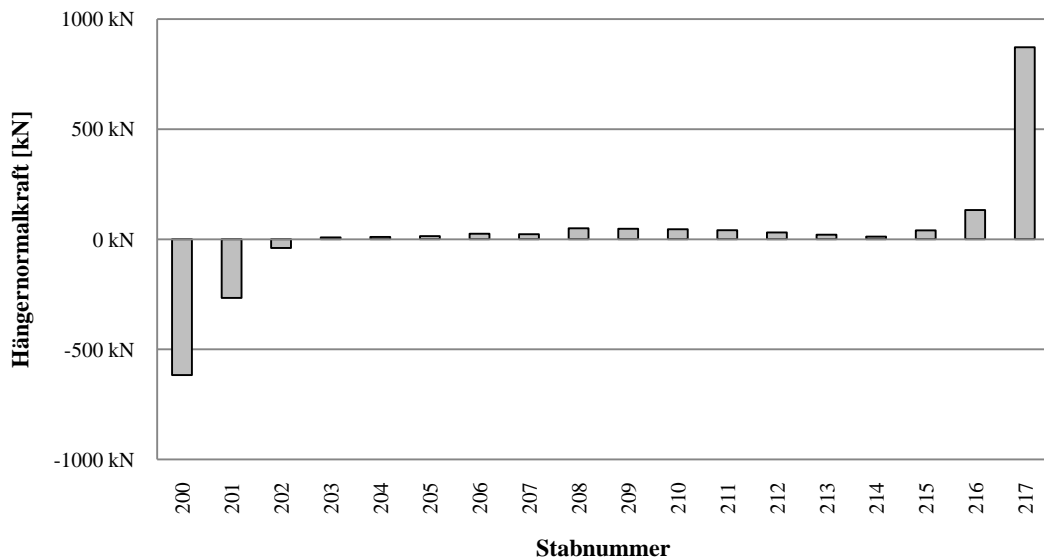


Diagramm 117 Minimale Hängernormalkräfte unter der maßgebenden Lastkombination

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass es nur im Störbereich zu Hängerausfällen kommt. Im nächsten Schritt werden die ersten drei Hänger so vorgespannt, dass die Druckkräfte von 616,89 kN im ersten Hänger, 266,00 kN im zweiten Hänger und 39,96 kN im dritten Hänger kompensiert werden. Als Vorspannmethode wird die in 18.3.4.1 erläuterte Variante gewählt. Es ergeben sich folgende Teilsysteme bei der Montage.

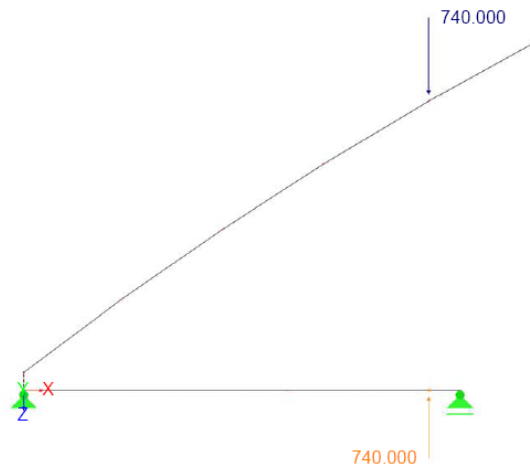


Abbildung 225 Teilsystem 1 beim Vorspannen der Hänger; Zusammenspannen der „Zange“ im Randbereich

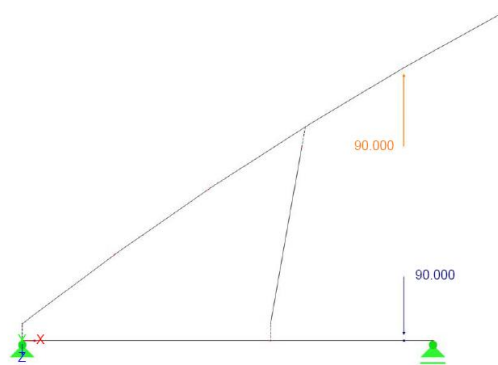


Abbildung 226 Teilsystem 2 beim Vorspannen der Hänger; Einbau des ersten Hängers und teilweise Lösen der Vorspannung

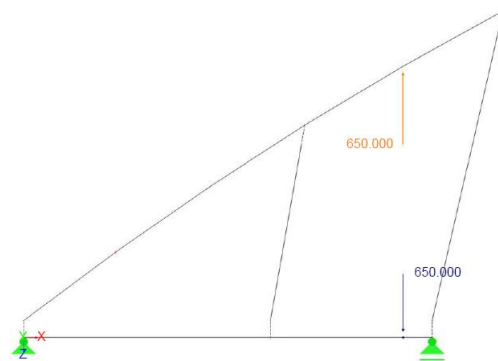


Abbildung 227 Teilsystem 3 beim Vorspannen der Hänger; Einbau des zweiten Hängers und vollkommenes Lösen der Restvorspannung

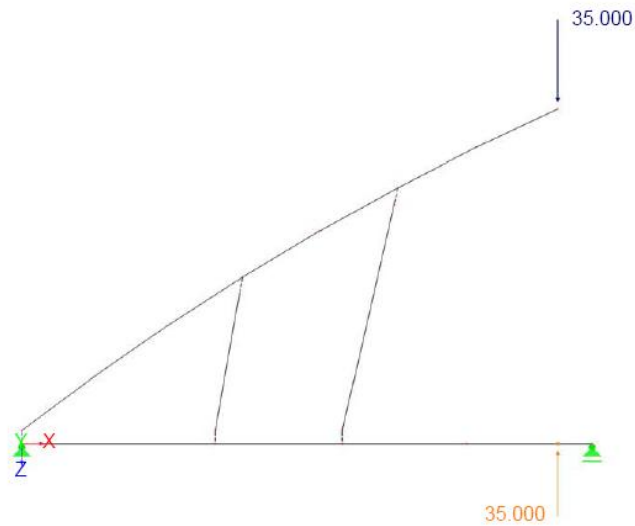


Abbildung 228 Teilsystem 4 beim Vorspannen der Hänger; Weiterbauen von Bogen und Versteifungsträger und neuerliches Zusammenspannen der Konstruktion

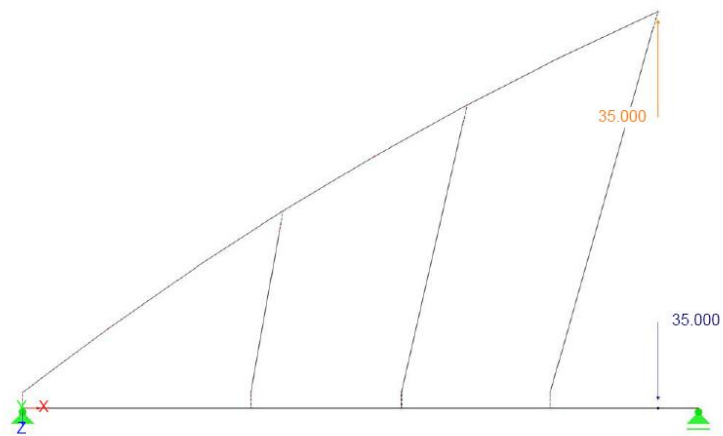


Abbildung 229 Teilsystem 5 beim Vorspannen der Hänger; Einbau des dritten Hängers und Lösen der Vorspannung

Nach dem Vorspannen ergeben sich folgende eingeprägte Schnittgrößen im Kämpferbereich.

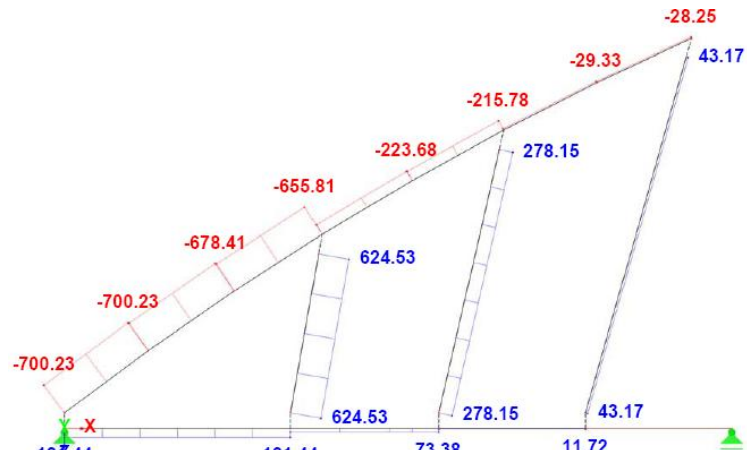


Abbildung 230 Vorspannkräfte in den Hängern und Normalkräfte in Bogen und Versteifungsträger

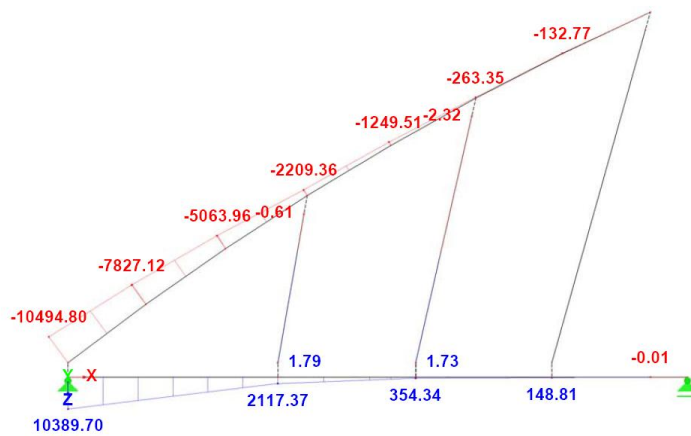


Abbildung 231 Eingprägte Momente im Kämpferbereich für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Eine erneute Berechnung unter Berücksichtigung der Vorspannung der Hänger liefert folgende minimale Hängernormalkräfte.

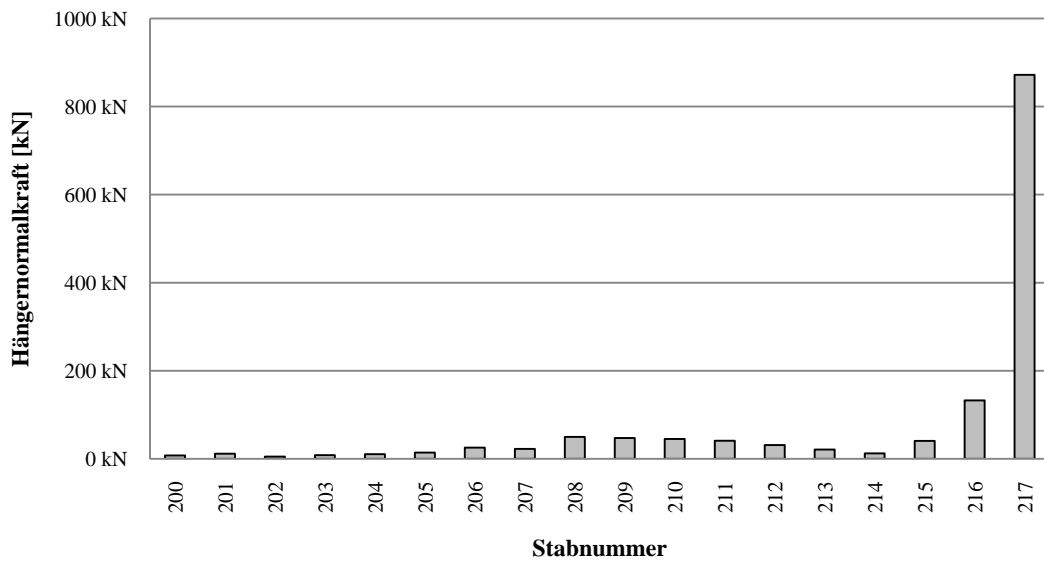


Diagramm 118 Minimale Hängernormalkräfte unter der maßgebenden Lastkombination für eine Konstruktion mit Verbundplatte und Vorspannung der Randhänger

Alle minimalen Hängernormalkräfte sind positiv und der erste Teil des Nachweiskonzepts somit erfüllt.

Anschließend wird der Tragfähigkeitsnachweis für das Gesamtsystem im ULS geführt. Untersucht werden dieselben Laststellungen wie in 19.1.

Für die neuerliche Berechnung des Tragwerks werden die Hänger nun als druckschlaffe Biegestäbe abgebildet. RSTAB bietet die Möglichkeit, die Vorspannung in den Randhängern mit Hilfe der Stabnichtlinearität „*Reißen unter Druck*“ zu berücksichtigen. So kann erfasst werden, dass Hänger erst ab einer Druckkraft, die ihre Vorspannkraft übersteigt, ausfallen.

Eine nichtlineare Berechnung des Tragwerks und eine anschließende Spannungsanalyse aller Querschnitte zeigen, dass trotz teilweise ausfallender Hänger bei allen Laststellungen die Tragfähigkeit gewährleistet ist. Für die Bemessung der einzelnen Bauteile ist die jeweils ungünstigste Laststellung heranzuziehen.

19.3 Variante 3: Hängeranordnung nach PCD-ZT

Diagramm 119 zeigt die minimalen Normalkräfte des ersten Hängersets unter der maßgebenden Lastkombination.

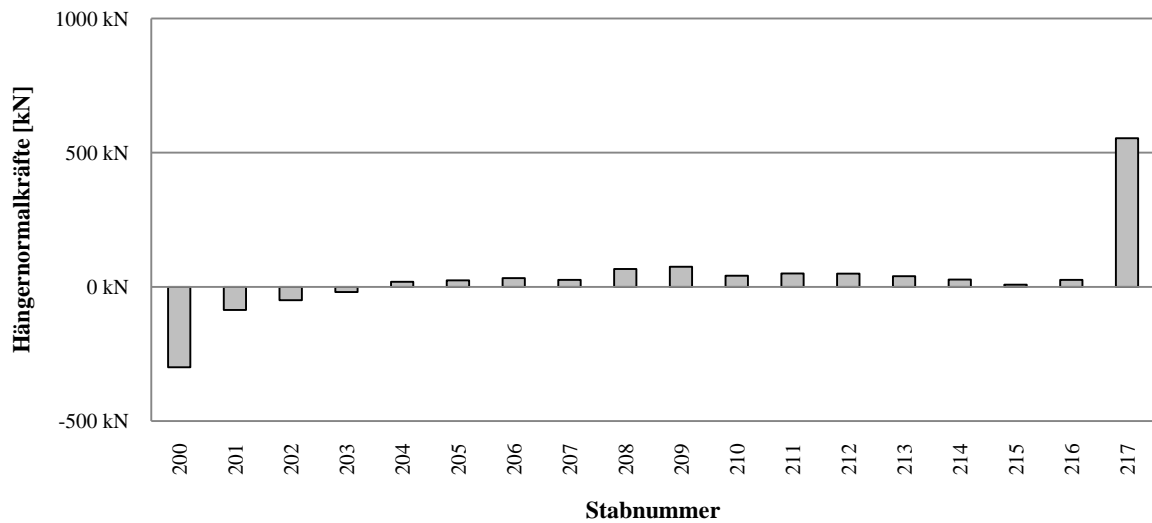


Diagramm 119 Minimale Hängernormalkräfte unter der maßgebenden Lastkombination

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass neben den drei Randhängern im Störbereich auch der erste Hänger im Regelbereich ausfällt. Das bedeutet, dass entweder die Hänger zu steil angeordnet sind oder das Verhältnis von ständigen Lasten zu Verkehrslasten zu klein ist. Da die Hänger unter Berücksichtigung der konstruktiven Randbedingungen, die in 11 erläutert wurden, nur in Längen bis 24 m lieferbar sind, können die Hänger nicht flacher angeordnet werden. Es ist es also notwendig, die ständigen Lasten etwas zu erhöhen. Es wird vorgeschlagen, die Dicke des Schotterbetts um 10 cm zu erhöhen, was einer zusätzliche Auflast von 7,00 kN/m gleichkommt. Dadurch ergibt sich eine ständige Last von 94,07 kN/m.

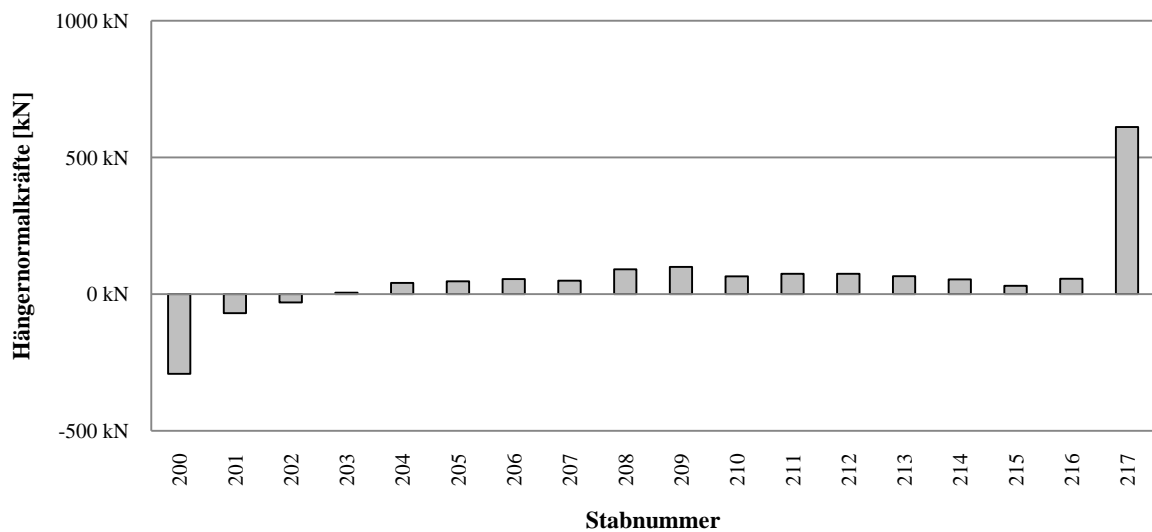


Diagramm 120 Minimale Hängernormalkräfte unter der maßgebenden Lastkombination nach Erhöhung des Schotterbetts

Diagramm 120 zeigt, dass sich die zusätzlichen ständigen Lasten positiv auf das Verhalten der Hänger auswirken. Im Regelbereich kommt es zu keinem Ausfall mehr. Im nächsten Schritt werden die ersten drei Hänger so vorgespannt, dass die Druckkräfte von 291,80 kN im ersten Hänger, 69,57 kN im zweiten Hänger und 30,60 kN im dritten Hänger kompensiert werden. Als Vorspannmethode wird die in 18.3.4.2 erläuterte Variante gewählt. Es ergeben sich folgende zwei Teilsysteme bei der Montage.

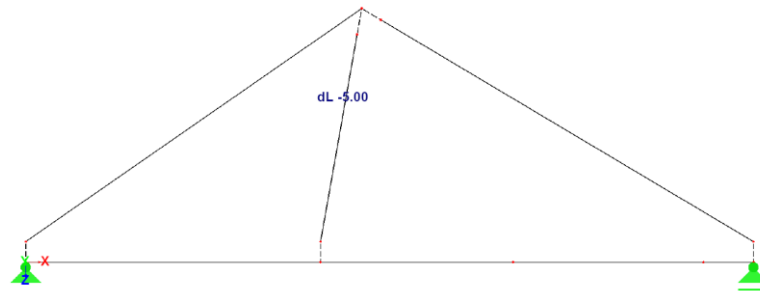


Abbildung 232 Teilsystem 1 beim Vorspannen wenn flache Hänger mitgespannt werden

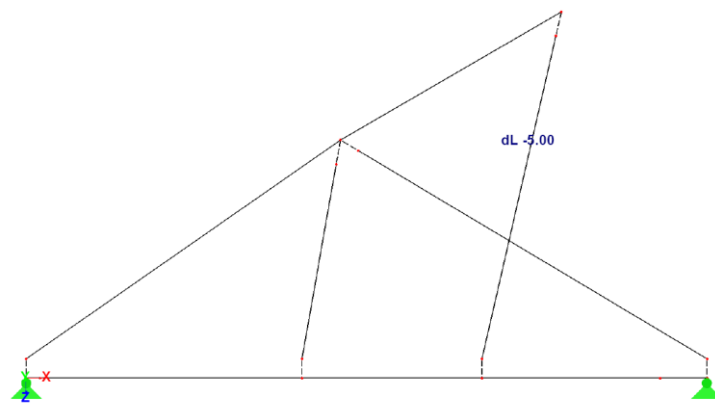


Abbildung 233 Teilsystem 2 beim Vorspannen der Hänger

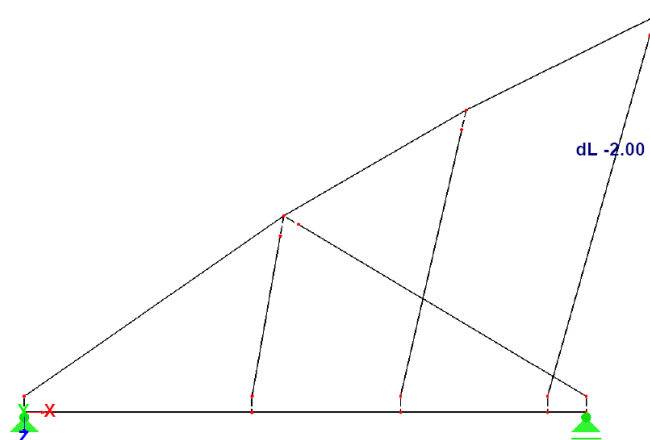


Abbildung 234 Teilsystem 3 beim Vorspannen der Hänger

Nach dem Vorspannen ergeben sich folgende eingeprägte Schnittgrößen im Kämpferbereich.

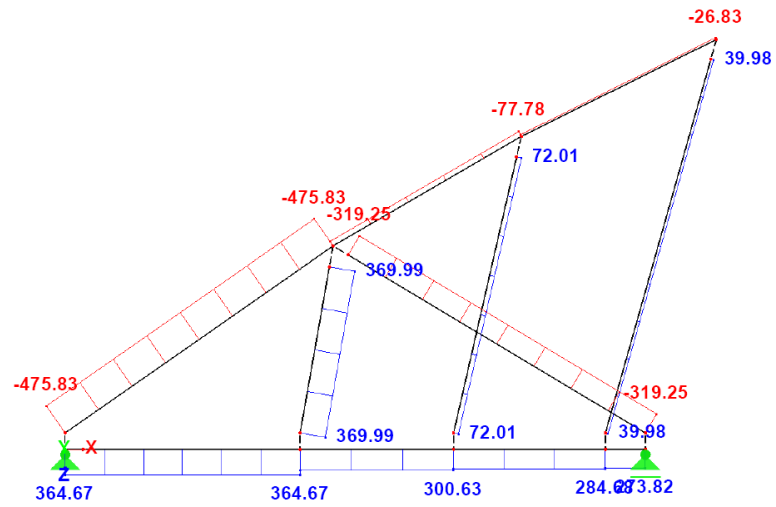


Abbildung 235 Vorspannkraften in den Hängern und Normalkraften in Bogen und Versteifungsträger

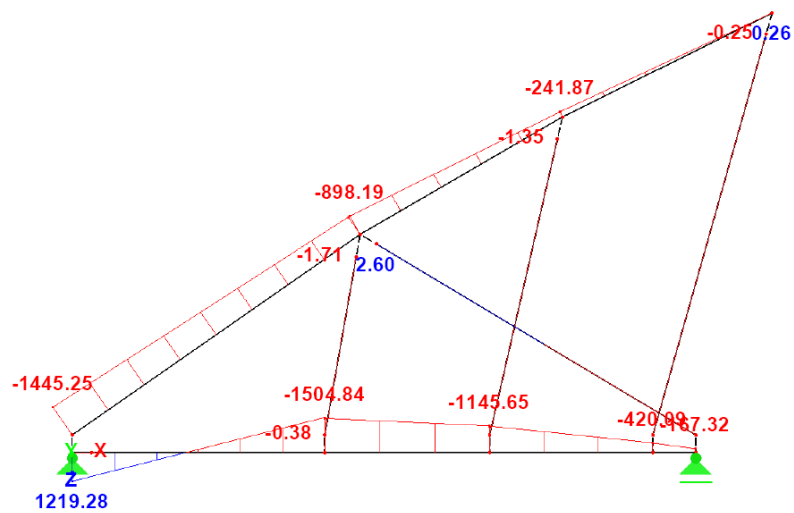


Abbildung 236 Eingeprägte Momente im Kämpferbereich für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Eine erneute Berechnung unter Berücksichtigung der Vorspannung der Hänger liefert folgende minimale Hängernormalkräfte.

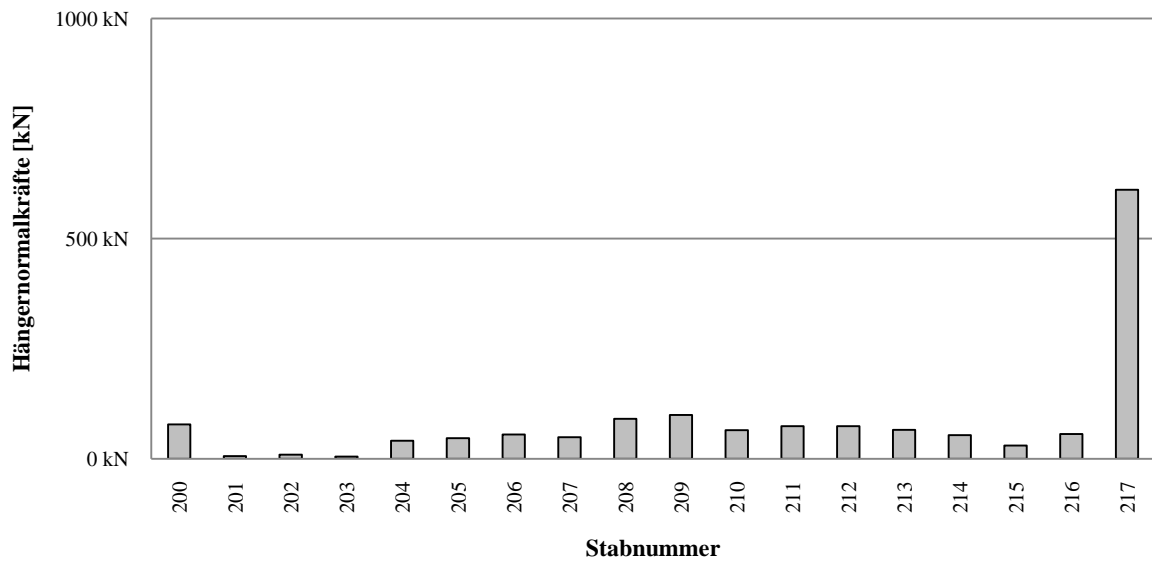


Diagramm 121 Minimale Hängernormalkräfte unter der maßgebenden Lastkombination für eine Konstruktion mit Verbundplatte und Vorspannung der Randhänger

Alle minimalen Hängernormalkräfte sind positiv und der erste Teil des Nachweiskonzepts somit erfüllt.

Anschließend wird der Tragfähigkeitsnachweis für das Gesamtsystem im ULS geführt. Untersucht werden dieselben Laststellungen wie in 19.1.

Für die neuerliche Berechnung des Tragwerks werden die Hänger nun als druckschlaflige Biegestäbe abgebildet. RSTAB bietet die Möglichkeit, die Vorspannung in den Randhängern mit Hilfe der Stabnichtlinearität „*Reißen unter Druck*“ zu berücksichtigen. So kann erfasst werden, dass Hänger erst ab einer Druckkraft, die ihre Vorspannkraft übersteigt, ausfallen. Auf ähnliche Weise wird die eingeprägte Druckkraft im flachen mitgespannten Hänger berücksichtigt.

Eine nichtlineare Berechnung des Tragwerks und eine anschließende Spannungsanalyse aller Querschnitte zeigen, dass trotz teilweise ausfallender Hänger bei allen Laststellungen die Tragfähigkeit gewährleistet ist. Für die Bemessung der einzelnen Bauteile ist die jeweils ungünstigste Laststellung heranzuziehen.

20 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Diplomarbeit war es, für die Netzwerkbogenbrücke, die im Zuge des Bauvorhabens: „Querung der Verbindung Ostbahn-Flughafenschnellbahn mit dem Zentralverschiebebahnhof“ errichtet werden soll, eine Hängeranordnung zu finden, bei der keiner der Hänger Druckkräfte erhält und ein Ausfallen vermieden wird.

Zu diesem Zweck wurden drei unterschiedliche Generierungsvorschriften für Hängernetze angewendet. Bei der radialen Hängeranordnung bilden alle Hänger einen konstanten Winkel mit dem Bogen und man erhält eine nahezu radiale Orientierung der Hänger und somit eine nahezu radiale Belastung des Bogens. Bei der konstanten Hängerneigungsänderung werden die Hänger variabel angeordnet, wobei die Neigung der von unten nach oben links geneigten Hänger kontinuierlich zunimmt und die der rechtsgeneigten Hänger im selben Maße abnimmt. Bei der dritten Variante, der Hängeranordnung nach PCD-ZT, handelt es sich um eine Abwandlung der konstanten Hängerneigungsänderung. Der Unterschied besteht in der Anordnung der Hänger entlang des Bogens. Bei Letzterer werden die Hängerpaare in jeweils einem Knotenpunkt am Bogen zusammengeführt.

Im Rahmen einer Parameterstudie wurden für die radiale Hängeranordnung 34, für die konstante Hängerneigungsanordnung 36 und für die Hängeranordnung nach PCD-ZT 34 unterschiedliche Netze berechnet. Es ist gelungen, für jede der Varianten eine Anordnung der Hänger zu finden, bei der im Regelbereich der Brücke im Grenzzustand der Ermüdung kein Hänger Druckkräfte aufzunehmen hat. Die Berechnungen haben gezeigt, dass es günstig ist, unter Rücksichtnahmen auf die in der Literatur vorgeschlagenen Winkel, die Hänger so flach wie möglich anzuordnen. Dabei war zu berücksichtigen, dass derzeit Beschränkungen bei den Lieferlängen der gewählten Rundstahlhänger von 24 m bestehen. Unter diesem Gesichtspunkt wurde für die radiale Hängeranordnung ein Hänger-Bogen-Winkel von 56° gewählt. Bei den beiden anderen Varianten wurde jeweils ein Neigungswinkel der Hänger in Brückenmitte von 54° gewählt.

Für Spannweiten von 100 m können zwischen 36 bis 46 Hänger angeordnet werden. Vergleichsrechnungen lieferten jedoch das Ergebnis, dass eine Anordnung von mehr als 36 Hängern keine entscheidenden Vorteile mit sich bringt. Für weiterführende Berechnungen wurden folglich die flachsten Hängeranordnungen mit 36 Hängern, welche die Anforderung an die Lieferlängen erfüllen, ausgewählt.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind Druckkräfte in den Hängern nicht zu vermeiden. Dies ist auf zwei Dinge zurückzuführen. Einerseits können die Hänger, aufgrund der oben beschriebenen Einschränkung nicht beliebig flach angeordnet werden, andererseits wird die Fahrbahn der Brücke als orthotrope Platte ausgebildet, wodurch sich ein relativ geringes Verhältnis von ständigen Lasten zu Verkehrslasten ergibt, was sich nachteilig auf die minimalen Normalkräfte in den Hängern auswirkt. Da es sich bei den Hängern um Konstruktionselemente handelt, die eigentlich keine Druckkräfte erhalten dürfen, wurde ein neues zweiteiliges Nachweiskonzept für die Hänger und das Gesamttragwerk im Grenzzustand der Tragfähigkeit entwickelt. Dazu wurde eine „neue“ maßgebende Einwirkungskombination für die Hänger definiert, unter der nachgewiesen wurde, dass in keinem der Hänger resultierende Druckkräfte vorhanden sind. Dabei wurden die Teilsicherheitsbeiwerte so gewählt, dass das Lastniveau zwar unterhalb der Traglast jedoch über der Gebrauchslast liegt.

Im zweiten Schritt wurde im herkömmlichen ULS nachgewiesen, dass das Gesamttragwerk, auch wenn Hänger Druckkräfte erhalten und somit ausfallen, nicht versagt.

Auch bei den ausgewählten Netzen, die sich bereits sehr günstig im Bereich der Brückenmitte verhalten, ist es unmöglich, Druckkräfte in den Randhängern im Kämpferbereich zu vermeiden. Es ist daher notwendig, zusätzliche konstruktive Maßnahmen zu treffen, um diesen entgegenzuwirken. Die erste besteht darin, zu versuchen, die ständigen Lasten in Brückenlängsrichtung entsprechend der Einflusslinien der Randhänger günstiger zu verteilen. Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die ständigen Lasten in den Randbereichen der Brücke zu erhöhen. Bei der zweiten Möglichkeit werden den Randhängern, die Druckkräfte erhalten, entsprechende Zugkräfte eingeprägt, indem der Bogen im Kämpferbereich zusammengespannt wird und die Hänger mit einer verkürzten Stablänge eingebaut werden. Für den dritten Lösungsansatz wurde untersucht, wie sich eine Änderung der Steifigkeiten des Bogens und Versteifungsträgers im Kämpferbereich auf die Normalkräfte in den Hängern auswirkt. Dabei hat sich gezeigt, dass es günstig ist, die Steifigkeit des Bogens zum Kämpfer hin zu erhöhen.

Die Berechnungen haben ergeben, dass keine der Varianten alleine zum Ziel führt. Wie im letzten Kapitel gezeigt wurde, erweist sich eine Kombination der unterschiedlichen Varianten als sehr effektiv. So gelang es, für jede der ausgewählten Netzgeometrien eine befriedigende Lösung zu finden, bei der kein Hänger unter der „neuen“ maßgebenden Einwirkungskombination ausfällt und die Tragfähigkeit des Bauwerks im Grenzzustand der Tragfähigkeit gewährleistet ist.

21 Literaturverzeichnis

- [1] Tveit, Per. The Networkarch, Bits of manuscript in december after lectures in 50 countries. *www.network-arch.com*. [Online] [Zitat vom: 15. Jänner 2011.]
- [2] *Netzwerkbogenbrücken - Entwurf, Bemessung, Ausführung*. Uwe Steimann, Wolfgang Graße, Karsten Geißler. 2008, Heft 3, Stahlbau 77, S. 158-171.
- [3] *Die Netzwerkbogenbrücke, ein überaus effizientes Brückentragwerk - Tragwirkung und Konstruktion*. Teich, Stephan. 2005, Heft 8, Stahlbau 74, S. 596-605.
- [4] Stephan Teich, Stefan Wendelin. *Diplomarbeit: Vergleichsrechnung einer Netzwerkbogenbrücke unter Einsatz des europäischen Normenkonzeptes*. Technische Universität Dresden : s.n., 2001.
- [5] *Erfahrungen mit Netzwerkbogenbrücken im Eisenbahnbrückenbau*. Peter Gauthier, Ludolf Krontal. 2010, Heft 3, Stahlbau 79, S. 199-208.
- [6] *Netzgenerierung von Netzwerkbogenbrücken*. Schanack, Frank und Brunn, Benjamin. 2009, Heft 7, Stahlbau 78, S. 477-483.
- [7] Benjamin Brunn, Frank Schanack. *Diplomarbeit: Berechnung einer zweigleisigen Eisenbahn-Netzwerkbogenbrücke unter Einsatz des europäischen Normenkonzeptes*. Technische Universität Dresden : s.n., 2003.
- [8] Räck, Mathias. *Diplomarbeit: Entwurf einer kombinierten Straßen-Eisenbahn-Netzwerkbogenbrücke*. Technische Universität Dresden : s.n., 2003.
- [9] *Bogenbrücke über den Fluss Dziwna in Wolin - Entwurf und Realisierung*. Zoltowski, Krzysztof. 2005, Heft 9, Stahlbau 74, S. 685 - 690.
- [10] Wang, Yidong. *Diplomarbeit: Statische Untersuchung einer Netzwerkbogenbrücke*. Universität Stuttgart : s.n., 2009.
- [11] PCD-ZT GmbH. *231_1_Technischer Bericht_2010_12_15*. Wien : s.n., 2010.
- [12] *Der E-Modul von Seilen unter Berücksichtigung des Durchhangs*. Ernst, Hans-Joachim. 1965, Heft 2, Der Bauingenieur 40, S. 52-55.
- [13] ÖNORM EN 1991-2: 2003 Eurocode 1- Einwirkungen auf Tragwerke Teil2: Verkehrslasten auf Brücken.
- [14] *Stahlgewichte moderner Eisenbahn- und Straßenbrücken*. Herzog, Dr. tech. M. Heft 9, 1975, Der Stahlbau.
- [15] *Entwicklung allgemeiner Entwurfsgrundsätze für Hängernetze von Netzwerkbogenbrücken*. Teich, Stephan. 2011, Heft2, Stahlbau 80, S. 100-111.

- [16] *Berechnung der Knicklast in Bogenebene von Netzwerkbögen.* Schanack, Frank. 2009, Heft 5, Bautechnik 86, S. 249-255.
- [17] *Asymmetrische Netzwerkbogenbrücken.* Bernd Zwingmann, Frank Schanack, Steffen Marx. 2009, Heft 7, Stahlbau 78, S. 471-476.
- [18] A. De Zotti, C. Pellegrino, C. Modena. *A parametric study of the hanger arrangement in arch bridges.* 5th International Conference on Arch Bridges : s.n., 2007.
- [19] Steimann, Uwe. *Diplomarbeit: Berechnung und Konstruktion einer stählernen Eisenbahn-Stabbogenbrücke mit Netzwerkhängern.* Technische Universität Dresden : s.n., 2002.
- [20] ÖNORM EN B 1991-2: 2004 Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken.
- [21] *Richtlinien für das Entwerfen von Bahnanlagen HOCHLEISTUNGSSTRECKEN.* HL-AG. 2002.

22 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Ferdinandsbrücke in Graz [2]	10
Abbildung 2	Alte Elbebrücke in Riesa (Sachsen, Deutschland) [3].....	11
Abbildung 3	Pont de Castelmoron, Nielsen 1933 [2].....	11
Abbildung 4	Brücke über den Bolstadstraumen [2]	12
Abbildung 5	Brücke über den Fehmarnsund [2]	12
Abbildung 6	Seitliches Ausweichen des Bogens [2].....	14
Abbildung 7	Kombiniertes Tragprinzip von Fachwerkträger und Stabbogen [2].....	15
Abbildung 8	Stabbogen und Netzwerkbogen: Biegemomente infolge Eigengewicht und halbseitiger Verkehrslast [2]	15
Abbildung 9	Vergleich der Querschnittsflächen, Steifigkeiten und Biegemomenten – Einflusslinien im Bogen und Versteifungsträger zwischen einer Netzwerkbogenbrücke und einer herkömmlichen Stabbogenbrücke [1]	16
Abbildung 10	Ausführung des Bogens als gewalztes Breitflanschprofil [3].....	18
Abbildung 11	Beispiele für Kastenprofil [5] und I-Profil [3] mit orthotroper Platte	20
Abbildung 12	Beispiel für einen Spannbetonuntergurt mit quer vorgespannter massiver Fahrbahnplatte [3]	20
Abbildung 13	Beispiel für ein I-Profil mit schlaff bewehrter Platte (Verbunduntergurt) [2] 21	
Abbildung 14	Normalkraft-Einflusslinien für zwei Hänger [2].....	23
Abbildung 15	Hänger mit dem gleichen Neigungssinn bilden ein Hängerset [6]	25
Abbildung 16	Die Netzgeometrie bei drei bzw. vier Hängersets [6].....	25
Abbildung 17	Einfluss der Hängeranzahl auf die resultierenden Biegemomente/Sinnvolle Hängeranzahl [3] 27	
Abbildung 18	Bewertung der Beanspruchung eines Netzwerk Bogens in Abhängigkeit der Hängeranzahl, Spannweite 100 m, Bogenstich 17 m, Kreuzungswinkel 41° [6]	27
Abbildung 19	Verformungsfigur unter halbseitiger Belastung [3].....	29
Abbildung 20	Diagramm zur Abschätzung geeigneter Neigungswinkel der Hänger zur Vermeidung von Hängerausfall [1].....	30
Abbildung 21	Brückenentwurf von Nielsen [1].....	31
Abbildung 22	Das Rautennetz der Brücke über den Fluss Dziwna bei Wolin, Polen [6] .	32

Abbildung 23	Weiterentwickelter Brückenentwurf mit konstanter Hängerneigung und konstanten Hängerabständen entlang des Bogens [3]	32
Abbildung 24	Bogen unter radialer Gleichlast [7]	33
Abbildung 25	Bogen unter n radial orientierten Einzellasten [7]	33
Abbildung 26	Definition der radialen Hängeranordnung [6]	34
Abbildung 27	Beispiel für eine Netzgeometrie mit radialer Hängeranordnung/Variablen der radialen Hängeranordnung [3]	34
Abbildung 28	Verformungsfigur des Bogens Gegenbiegung und konvexer Durchbiegung [7]	36
Abbildung 29	Resultierende Biegemomente im Bogen vor manueller Anpassung der Hängeranordnung im Störbereich [7]	37
Abbildung 30	Resultierende Biegemomente im Bogen nach manueller Anpassung der Hängeranordnung im Störbereich [7]	37
Abbildung 31	Variante zur Anpassung der Hängeranordnung im kritischen Bereich [8].	38
Abbildung 32	Definition eines Hängernetzes mittels einer konstanten Neigungsänderung zwischen Hängern und Fahrbahnplatte [6]	39
Abbildung 33	Hängernetze Wien 200A und Wien 200B für Spannweiten von 200 m [1]	40
Abbildung 34	Bewertung der verschiedenen Hängeranordnungen [6]	41
Abbildung 35	Elastomerelement zur Kopplung der Hänger gegen winderregte Schwingungen [2]	43
Abbildung 36	Anschlussmöglichkeiten an einen Bogen mit Hohlkastenprofil [3]	44
Abbildung 37	Anschlussmöglichkeit für einen Bogen mit gewalztem Breitflanschprofil	44
Abbildung 38	Anschlussmöglichkeit bei Betonuntergurt	45
Abbildung 39	Anschlussmöglichkeiten für einen Versteifungsträger mit I-Profil	45
Abbildung 40	Montage der Brücke über den Fluss Dziwna [9]	46
Abbildung 41	Montagezustände verschiedener Brücken [5]	46
Abbildung 42	Die Fehmarnsundbrücke [http://www.reisecenter-fehmarn.de]	47
Abbildung 43	Bau der Fehmarnsundbrücke [http://www.reisecenter-fehmarn.de]	47
Abbildung 44	Brücke in Wolin [http://erwin-rosenthal.de/vorpommern/Die%20Stadt%20Wollin.htm]	48
Abbildung 45	Unterseite Brücke, Wolin [http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=361474]	49
Abbildung 46	Fahrbahnplatte und Bogen [http://www.trekearth.com/gallery/photo683334.htm]	49

Abbildung 47	Providence River Bridge [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Barrier-Providence.jpg]	50
Abbildung 48	Verschiffung des fertiggestellten Brückentragwerks [http://www.fhwa.dot.gov/publications/focus/07dec/03.cfm]	51
Abbildung 49	Längs- und Querschnitt der Eisenbahnüberführung „Flora“ über den Mittlandkanal [2]	52
Abbildung 50	Netzwerkbogentragwerk S5.1 und S5.3 in Grundriss und Aufriss	54
Abbildung 51	Unterschiedliche Querschnitte der Brückentragwerke	54
Abbildung 52	Netzgeometrie der radialen Hängeranordnung bei 36 Hängern und $\alpha=56^\circ$	56
Abbildung 53	Netzgeometrie für eine konstante Hängerneigungsänderung bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ$	58
Abbildung 54	Netzgeometrie für eine Hängerneigungsänderung nach PCD-ZT bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ$	58
Abbildung 55	Statisches System im Auflagerbereich mit Exzentern und geraden Stäben, die den Bogen abbilden	59
Abbildung 56	Bogenquerschnitt	60
Abbildung 57	Versteifungsträger	60
Abbildung 58	Darstellung des Seildurchhangs und Bezeichnung der Systemgrößen [12]	61
Abbildung 59	Lastmodell 71 und charakteristische Werte der Vertikallasten für ein Gleis, EN 1991-2: 2003, Abb.6.2	63
Abbildung 60	Aufteilung des LM71 für die globale Tragwerksberechnung	64
Abbildung 61	Lastmodell SW, EN 1991-2: 2003, Abb.6.2	64
Abbildung 62	Charakteristische Werte der Vertikallasten der Lastmodelle SW für ein Gleis, EN 1991-2: 2003, Tab.6.1	64
Abbildung 63	Exzentrizität der Vertikallasten, EN 1991-2: 2003, Abb.6.3	65
Abbildung 64	LF2-Eigengewicht der Fahrbahnplatte	73
Abbildung 65	Exemplarische Darstellung der Lastpakete der Lastfälle 100-458	74
Abbildung 66	Exemplarische Darstellung des Lastmodells SW/2 der Lastfälle 500-655.	75
Abbildung 67	Nummerierung des untersuchten Hängernetzes, exemplarisch für 46 Hänger	79
Abbildung 68	Nummerierung des untersuchten Hängernetzes, exemplarisch für 46 Hänger	84
Abbildung 69	Nummerierung des untersuchten Hängernetzes, exemplarisch für 46 Hänger	89

Abbildung 70	Netzgeometrie der konstanten Hängerneigungsänderung nach Modifikation der Netzgenerierung	128
Abbildung 71	Netzgeometrie der konstanten Hängerneigungsänderung vor Modifikation der Netzgenerierung	128
Abbildung 72	Lastfallgruppe: Ständige Lasten und LM71 auf Gl.1 und Gl.2	150
Abbildung 73	Normalkräfte in Hängerset 1 nach nichtlinearer Berechnung.....	150
Abbildung 74	Ausfallende Hänger des Netzes nach nichtlinearer Berechnung der Lastfallgruppe	150
Abbildung 75	Einflusslinien der Randhänger bei der konstanten Hängerneigungsänderung bei 36 Hängern und $\varphi=54^\circ$	151
Abbildung 76	Einflusslinien der Hänger 200, 201, 316 und 317	158
Abbildung 77	Einflusslinien der Hänger 200, 201, 300 und 301	159
Abbildung 78	Einflusslinien der Hänger 202, 203, 204, 205, 206 und 207	160
Abbildung 79	Einflusslinien der Hänger 208, 209, 210, 211 und 212	161
Abbildung 80	Einflusslinien der Hänger 213, 214 und 215	162
Abbildung 81	Neue Verteilung des Eigengewichts in Brückenlängsrichtung.....	163
Abbildung 82	Einflusslinien der Hänger 200, 201, 316 und 317	164
Abbildung 83	Einflusslinien der Hänger 200, 201, 300 und 301	165
Abbildung 84	Einflusslinien der Hänger 202, 203, 204, 205, 206 und 207	166
Abbildung 85	Einflusslinien der Hänger 208, 209, 210, 211 und 212	167
Abbildung 86	Einflusslinien der Hänger 213, 214 und 215	168
Abbildung 87	Neue Verteilung des Eigengewichts in Brückenlängsrichtung.....	169
Abbildung 88	Einflusslinien der Hänger 200, 201, 316 und 317	170
Abbildung 89	Einflusslinien der Hänger 200, 201, 300 und 301	171
Abbildung 90	Einflusslinien der Hänger 202, 203, 204, 205, 206 und 207	172
Abbildung 91	Einflusslinien der Hänger 208, 209, 210, 211 und 212	173
Abbildung 92	Einflusslinien der Hänger 213, 214 und 215	174
Abbildung 93	Neue Verteilung des Eigengewichts in Brückenlängsrichtung.....	175
Abbildung 94	Teilsystem 1 bei der Vorspannung der Randhänger	177
Abbildung 95	Teilsystem 2 bei der Vorspannung der Randhänger	178
Abbildung 96	Teilsystem 2 bei der Vorspannung der Randhänger ohne Sicherung des Versteifungsträgers gegen Abheben.....	178
Abbildung 97	Teilsystem 2 bei der Vorspannung der Randhänger mit Hilfsstütze	179
Abbildung 98	Federmodell aus der Baustatik.....	179

Abbildung 99	Teilsystem 1 mit Belastung.....	181
Abbildung 100	Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	181
Abbildung 101	Teilsystem 1: Momentenverlauf	181
Abbildung 102	Teilsystem 1: Querkraftverlauf	182
Abbildung 103	Teilsystem 2 mit Belastung.....	182
Abbildung 104	Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	182
Abbildung 105	Teilsystem 2: Momentenverlauf	183
Abbildung 106	Teilsystem 2: Querkraftverlauf	183
Abbildung 107	Zusätzliche Lasten auf das Gesamtsystem.....	183
Abbildung 108	Teilsystem 1 mit Belastung.....	184
Abbildung 109	Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	184
Abbildung 110	Teilsystem 1: Momentenverlauf	185
Abbildung 111	Teilsystem 1: Querkraftverlauf	185
Abbildung 112	Teilsystem 2 mit Belastung.....	185
Abbildung 113	Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	186
Abbildung 114	Teilsystem 2: Momentenverlauf	186
Abbildung 115	Teilsystem 2: Querkraftverlauf	186
Abbildung 116	Teilsystem 1 mit Belastung.....	187
Abbildung 117	Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	187
Abbildung 118	Teilsystem 1: Momentenverlauf	188
Abbildung 119	Teilsystem 1: Querkraftverlauf	188
Abbildung 120	Teilsystem 2 mit Belastung.....	188
Abbildung 121	Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	189
Abbildung 122	Teilsystem 2: Momentenverlauf	189
Abbildung 123	Teilsystem 2: Querkraftverlauf	189
Abbildung 124	Zusätzliche Lasten auf das Gesamtsystem.....	190
Abbildung 125	Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger ohne Vorspannung der Hänger	192
Abbildung 126	Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung ohne Hilfsstütze und mit Sicherung des VT gegen Abheben.....	192
Abbildung 127	Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben	193
Abbildung 128	Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung mit Hilfsstütze	193

Abbildung 129	Teilsystem 1 mit Belastung.....	194
Abbildung 130	Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	194
Abbildung 131	Teilsystem 1: Momentenverlauf	195
Abbildung 132	Teilsystem 1: Querkraftverlauf	195
Abbildung 133	Teilsystem 2 mit Belastung.....	195
Abbildung 134	Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	196
Abbildung 135	Teilsystem 2: Momentenverlauf	196
Abbildung 136	Teilsystem 2: Querkraftverlauf	196
Abbildung 137	Zusätzliche Lasten auf das Gesamtsystem.....	197
Abbildung 138	Teilsystem 1 mit Belastung.....	197
Abbildung 139	Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	198
Abbildung 140	Teilsystem 1: Momentenverlauf	198
Abbildung 141	Teilsystem 1: Querkraftverlauf	198
Abbildung 142	Teilsystem 2 mit Belastung.....	199
Abbildung 143	Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	199
Abbildung 144	Teilsystem 2: Momentenverlauf	199
Abbildung 145	Teilsystem 2: Querkraftverlauf	200
Abbildung 146	Teilsystem 1 mit Belastung.....	200
Abbildung 147	Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	201
Abbildung 148	Teilsystem 1: Momentenverlauf	201
Abbildung 149	Teilsystem 1: Querkraftverlauf	201
Abbildung 150	Teilsystem 2 mit Belastung.....	202
Abbildung 151	Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	202
Abbildung 152	Teilsystem 2: Momentenverlauf	202
Abbildung 153	Teilsystem 2: Querkraftverlauf	203
Abbildung 154	Zusätzliche Lasten auf das Gesamtsystem.....	203
Abbildung 155	Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger ohne Vorspannung der Hänger	205
Abbildung 156	Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger ohne Vorspannung der Hänger und mit Sicherung des VT gegen Abheben	206
Abbildung 157	Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben	206
Abbildung 158	Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung mit Hilfsstütze	207

Abbildung 159	Teilsystem 1 mit Belastung.....	208
Abbildung 160	Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	208
Abbildung 161	Teilsystem 1: Momentenverlauf	208
Abbildung 162	Teilsystem 1: Querkraftverlauf	209
Abbildung 163	Teilsystem 2 mit Belastung.....	209
Abbildung 164	Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	209
Abbildung 165	Teilsystem 2: Momentenverlauf	210
Abbildung 166	Teilsystem 2: Querkraftverlauf	210
Abbildung 167	Zusätzliche Lasten auf das Gesamtsystem.....	210
Abbildung 168	Teilsystem 1 mit Belastung.....	211
Abbildung 169	Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	211
Abbildung 170	Teilsystem 1: Momentenverlauf	212
Abbildung 171	Teilsystem 1: Querkraftverlauf	212
Abbildung 172	Teilsystem 2 mit Belastung.....	212
Abbildung 173	Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	213
Abbildung 174	Teilsystem 2: Momentenverlauf	213
Abbildung 175	Teilsystem 2: Querkraftverlauf	213
Abbildung 176	Teilsystem 1 mit Belastung.....	214
Abbildung 177	Teilsystem 1: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	214
Abbildung 178	Teilsystem 1: Momentenverlauf	215
Abbildung 179	Teilsystem 1: Querkraftverlauf	215
Abbildung 180	Teilsystem 2 mit Belastung.....	215
Abbildung 181	Teilsystem 2: Normalkräfte und Auflagerreaktionen	216
Abbildung 182	Teilsystem 2: Momentenverlauf	216
Abbildung 183	Teilsystem 2: Querkraftverlauf	216
Abbildung 184	Zusätzliche Lasten auf das Gesamtsystem.....	217
Abbildung 185	Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger ohne Vorspannung der Hänger	219
Abbildung 186	Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung ohne Hilfsstütze und mit Sicherung des VT gegen Abheben.....	220
Abbildung 187	Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben	220
Abbildung 188	Biegemomentenverlauf in Bogen und Versteifungsträger bei Vorspannung mit Hilfsstütze	221

Abbildung 189	Momentenverlauf beim Zusammenspannen von Bogen und Versteifungsträger	222
Abbildung 190	Normalkraftverlauf nach Nachlassen der Vorspannung um 315 kN	222
Abbildung 191	Normalkraftverlauf nach Einbau des zweiten Hängers und Lösen der Vorspannung	223
Abbildung 192	Eingeprägte Normalkräfte	223
Abbildung 193	Eingeprägte Querkräfte	224
Abbildung 194	Eingeprägte Momente	224
Abbildung 195	Statisches System wenn ein flacher Hänger mitvorgespannt wird	225
Abbildung 196	Normalkraftverlauf in den vorgespannten Randhängern	225
Abbildung 197	Momentenverlauf im Randbereich nach Vorspannung der Hänger	226
Abbildung 198	Normalkraftverlauf in den vorgespannten Randhängern	227
Abbildung 199	Einflusslinien des ersten Randhängers 200	230
Abbildung 200	Einflusslinien des zweiten Randhängers 201	230
Abbildung 201	Einflusslinien des dritten Randhängers 202	231
Abbildung 202	Einflusslinien des Randhängers 215	233
Abbildung 203	Einflusslinien des Randhängers 216	233
Abbildung 204	Einflusslinien des Randhängers 217	234
Abbildung 205	Einflusslinien des Hängers 200 bei unterschiedlichen Steifigkeiten des Versteifungsträgers	235
Abbildung 206	Einflusslinien des Hängers 201 bei unterschiedlichen Steifigkeiten des Versteifungsträgers	236
Abbildung 207	Einflusslinien des Hängers 202 bei unterschiedlichen Steifigkeiten des Versteifungsträgers	236
Abbildung 208	Einflusslinien des Hängers 215 bei unterschiedlichen Steifigkeiten des Versteifungsträgers	237
Abbildung 209	Einflusslinien des Hängers 216 bei unterschiedlichen Steifigkeiten des Versteifungsträgers	237
Abbildung 210	Einflusslinien des Hängers 217 bei unterschiedlichen Steifigkeiten des Versteifungsträgers	238
Abbildung 211	Bogenquerschnitt am Auflager und im Regelbereich	239
Abbildung 212	Querschnitt des Versteifungsträgers im Regelbereich	240
Abbildung 213	Querschnitt des Versteifungsträgers mit reduzierter Höhe über dem Auflager	240

Abbildung 214	Ausbildung des Kämpferbereichs für Variante 1 mit höherem Bogenquerschnitt im Kämpferbereich	241
Abbildung 215	Ausbildung des Kämpferbereichs für Variante 2 mit niedrigerem Versteifungsträger über dem Auflager	241
Abbildung 216	Ausbildung des Kämpferbereichs für Variante 3.....	241
Abbildung 217	Teilsystem 1 beim Vorspannen der Hänger.....	246
Abbildung 218	Teilsystem 2 beim Vorspannen der Hänger.....	246
Abbildung 219	Vorspannkräfte in den Hängern und Normalkräfte in Bogen und Versteifungsträger	246
Abbildung 220	Eingeprägte Momente im Kämpferbereich für den Grenzzustand der Tragfähigkeit	247
Abbildung 221	Laststellung 1: Viertellast; LM71 auf Gleis 1 und Gleis 2	248
Abbildung 222	Laststellung 2: Halblast; LM71 auf Gleis 1 und Gleis 2	248
Abbildung 223	Laststellung 3: LM71 auf Gleis 1 und Gleis 2 in Brückenmitte	248
Abbildung 224	Laststellung 4: Dreiviertellast; LM71 auf Gleis 1 und Gleis 2.....	248
Abbildung 225	Teilsystem 1 beim Vorspannen der Hänger; Zusammenspannen der „Zange“ im Randbereich.....	250
Abbildung 226	Teilsystem 2 beim Vorspannen der Hänger; Einbau des ersten Hängers und teilweise Lösen der Vorspannung	250
Abbildung 227	Teilsystem 3 beim Vorspannen der Hänger; Einbau des zweiten Hängers und vollkommenes Lösen der Restvorspannung.....	250
Abbildung 228	Teilsystem 4 beim Vorspannen der Hänger; Weiterbauen von Bogen und Versteifungsträger und neuerliches Zusammenspannen der Konstruktion.....	251
Abbildung 229	Teilsystem 5 beim Vorspannen der Hänger; Einbau des dritten Hängers und Lösen der Vorspannung	251
Abbildung 230	Vorspannkräfte in den Hängern und Normalkräfte in Bogen und Versteifungsträger	252
Abbildung 231	Eingeprägte Momente im Kämpferbereich für den Grenzzustand der Tragfähigkeit	252
Abbildung 232	Teilsystem 1 beim Vorspannen wenn flache Hänger mitgespannt werden	255
Abbildung 233	Teilsystem 2 beim Vorspannen der Hänger.....	255
Abbildung 234	Teilsystem 3 beim Vorspannen der Hänger.....	255

Abbildung 235	Vorspannkkräfte in den Hängern und Normalkräfte in Bogen und Versteifungsträger	256
Abbildung 236	Eingeprägte Momente im Kämpferbereich für den Grenzzustand der Tragfähigkeit	256

23 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1	Schein-E-Modul der Hänger für unterschiedliche Längen und Spannungen .	62
Diagramm 2	Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	79
Diagramm 3	Minimale Hängernormalkräfte bei 38 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	80
Diagramm 4	Minimale Hängernormalkräfte bei 40 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	80
Diagramm 5	Minimale Hängernormalkräfte bei 42 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	81
Diagramm 6	Minimale Hängernormalkräfte bei 44 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	81
Diagramm 7	Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	82
Diagramm 8	Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	84
Diagramm 9	Minimale Hängernormalkräfte bei 38 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	85
Diagramm 10	Minimale Hängernormalkräfte bei 40 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	85
Diagramm 11	Minimale Hängernormalkräfte bei 42 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	86
Diagramm 12	Minimale Hängernormalkräfte bei 44 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	86
Diagramm 13	Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	87
Diagramm 14	Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	89
Diagramm 15	Minimale Hängernormalkräfte bei 38 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	90
Diagramm 16	Minimale Hängernormalkräfte bei 40 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	90
Diagramm 17	Minimale Hängernormalkräfte bei 42 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	91
Diagramm 18	Minimale Hängernormalkräfte bei 44 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	91
Diagramm 19	Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	92
Diagramm 20	Minimale Hängernormalkräfte von Variante 1 bei einem Winkel $\alpha=56^\circ$ und unterschiedlichen Hängeranzahlen.....	94
Diagramm 21	Normalkraftschwingbreite von Variante 1 bei einem Winkel $\alpha=56^\circ$ und unterschiedlichen Hängeranzahlen.....	95
Diagramm 22	Minimale Hängernormalkräfte von Variante 2 bei einem Winkel $\varphi=56^\circ$ und unterschiedlichen Hängeranzahlen.....	96
Diagramm 23	Normalkraftschwingbreite von Variante 2 bei einem Winkel $\varphi=56^\circ$ und unterschiedlichen Hängeranzahlen.....	97
Diagramm 24	Minimale Hängernormalkräfte von Variante 3 bei einem Winkel $\varphi=56^\circ$ und unterschiedlichen Hängeranzahlen.....	98

Diagramm 25	Normalkraftschwingbreite von Variante 3 bei einem Winkel $\varphi=56^\circ$ und unterschiedlichen Hängernanzahlen.....	99
Diagramm 26	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 36 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	101
Diagramm 27	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 36 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	101
Diagramm 28	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 38 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	102
Diagramm 29	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 38 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	102
Diagramm 30	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 40 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	103
Diagramm 31	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 40 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	103
Diagramm 32	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 42 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	104
Diagramm 33	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 42 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	104
Diagramm 34	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 44 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	105
Diagramm 35	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 44 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	105
Diagramm 36	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 46 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	106
Diagramm 37	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 46 Hängern und $\alpha=56^\circ-60^\circ$	106
Diagramm 38	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	109
Diagramm 39	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	109
Diagramm 40	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 38 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	110
Diagramm 41	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 38 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	110
Diagramm 42	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 40 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	111
Diagramm 43	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 40 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	111
Diagramm 44	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 42 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	112
Diagramm 45	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 42 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	112
Diagramm 46	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 44 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	113
Diagramm 47	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 44 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	113
Diagramm 48	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	114
Diagramm 49	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	114
Diagramm 50	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	117
Diagramm 51	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	117
Diagramm 52	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 38 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	118
Diagramm 53	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 38 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	118
Diagramm 54	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 40 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	119
Diagramm 55	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 40 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	119
Diagramm 56	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 42 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	120

Diagramm 57	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 42 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	120
Diagramm 58	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 44 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	121
Diagramm 59	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 44 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	121
Diagramm 60	Maximale Hängernormalkräfte ULS bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	122
Diagramm 61	Minimale Hängernormalkräfte ULS bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ-60^\circ$	122
Diagramm 62	Momenten-Normalkraftdiagramm für Rundstähle; radiale Hängeranordnung	125
Diagramm 63	Momenten-Normalkraftdiagramm für Rundstähle; konstante Hängerneigungsänderung	125
Diagramm 64	Momenten-Normalkraftdiagramm für Rundstähle; Hängeranordnung nach PCD-ZT	126
Diagramm 65	Minimale Hängernormalkräfte im FLS bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ$	129
Diagramm 66	Maximale Hängernormalkräfte im ULS bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ$	129
Diagramm 67	Minimale Hängernormalkräfte im ULS bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ$	129
Diagramm 68	Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	131
Diagramm 69	Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	131
Diagramm 70	Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	132
Diagramm 71	Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	133
Diagramm 72	Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	134
Diagramm 73	Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	134
Diagramm 74	Normalkraftschwingbreite von Variante 1 bei einem $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$ und einer Hängeranzahl von 36 bzw. 46	136
Diagramm 75	Normalkraftschwingbreite von Variante 2 bei einem $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$ und einer Hängeranzahl von 36 bzw. 46	137
Diagramm 76	Normalkraftschwingbreite von Variante 3 bei einem $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$ und einer Hängeranzahl von 36 bzw. 46	138
Diagramm 77	Maximale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	139
Diagramm 78	Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	139
Diagramm 79	Maximale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	140
Diagramm 80	Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\alpha=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	140
Diagramm 81	Maximale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	141
Diagramm 82	Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	141
Diagramm 83	Maximale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	142

Diagramm 84	Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	142
Diagramm 85	Maximale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	143
Diagramm 86	Minimale Hängernormalkräfte bei 36 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	143
Diagramm 87	Maximale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	144
Diagramm 88	Minimale Hängernormalkräfte bei 46 Hängern und $\varphi=56^\circ, 54^\circ, 50^\circ$	144
Diagramm 89	Minimale Hängernormalkräfte im FLS für die ausgewählten Netzgeometrien	145
Diagramm 90	Normalkraftschwingbreiten im FLS für die ausgewählten Netzgeometrien	146
Diagramm 91	Maximale Hängernormalkräfte im ULS für die ausgewählten Netzgeometrien	146
Diagramm 92	Minimale Hängernormalkräfte im ULS für die ausgewählten Netzgeometrien	147
Diagramm 93	Minimale Hängerkräfte im FLS; Radiale Hängeranordnung.....	154
Diagramm 94	Maximale Hängerkräfte im ULS; Radiale Hängeranordnung	154
Diagramm 95	Minimale Hängerkräfte im ULS; Radiale Hängeranordnung.....	154
Diagramm 96	Minimale Hängerkräfte im FLS; Konstante Hängerneigungsänderung ...	155
Diagramm 97	Maximale Hängerkräfte im ULS; Konstante Hängerneigungsänderung ..	155
Diagramm 98	Minimale Hängerkräfte im ULS; Konstante Hängerneigungsänderung...	155
Diagramm 99	Minimale Hängerkräfte im FLS; Hängeranordnung nach PCD-ZT	156
Diagramm 100	Maximale Hängerkräfte im ULS; Hängeranordnung nach PCD-ZT	156
Diagramm 101	Minimale Hängerkräfte im ULS; Hängeranordnung nach PCD-ZT.....	156
Diagramm 102	Minimale Hängernormalkräfte im FLS bei zusätzlicher Last in den Kämpferbereichen im Vergleich mit einer orthotropen Fahrbahnplatte	163
Diagramm 103	Minimale Hängernormalkräfte im FLS bei zusätzlicher Last in den Kämpferbereichen im Vergleich mit einer orthotropen Fahrbahnplatte	169
Diagramm 104	Minimale Hängernormalkräfte im FLS bei zusätzlicher Last in den Kämpferbereichen im Vergleich mit einer orthotropen Fahrbahnplatte	175
Diagramm 105	Vergleich der maximalen Hängernormalkräfte im FLS ohne Vorspannung und mit den beiden Vorspannungsvarianten	190
Diagramm 106	Vergleich der minimalen Hängernormalkräfte im FLS ohne Vorspannung und mit den beiden Vorspannungsvarianten	191
Diagramm 107	Vergleich der maximalen Hängernormalkräfte im FLS ohne Vorspannung und mit den beiden Vorspannungsvarianten	204

Diagramm 108	Vergleich der minimalen Hängernormalkräfte im FLS ohne Vorspannung und mit den beiden Vorspannungsvarianten	204
Diagramm 109	Vergleich der maximalen Hängernormalkräfte im FLS ohne Vorspannung und mit den beiden Vorspannungsvarianten	218
Diagramm 110	Vergleich der minimalen Hängernormalkräfte im FLS ohne Vorspannung und mit den beiden Vorspannungsvarianten	218
Diagramm 111	Minimale Hängernormalkräfte im FLS der radialen Hängeranordnung bei unterschiedlichen Varianten der Steifigkeit im Kämpferbereich	242
Diagramm 112	Minimale Hängernormalkräfte im FLS der konstanten Hängerneigungsänderung bei unterschiedlichen Varianten der Steifigkeit im Kämpferbereich 242	
Diagramm 113	Minimale Hängernormalkräfte im FLS der Hängeranordnung nach PCD bei unterschiedlichen Varianten der Steifigkeit im Kämpferbereich	243
Diagramm 114	Minimale Hängernormalkräfte unter der neuen Lastkombination.....	244
Diagramm 115	Minimale Hängernormalkräfte unter der neuen Lastkombination für eine Konstruktion mit Verbundplatte.....	245
Diagramm 116	Minimale Hängernormalkräfte unter der neuen Lastkombination für eine Konstruktion mit Verbundplatte und Vorspannung der Randhänger.....	247
Diagramm 117	Minimale Hängernormalkräfte unter der maßgebenden Lastkombination	249
Diagramm 118	Minimale Hängernormalkräfte unter der maßgebenden Lastkombination für eine Konstruktion mit Verbundplatte und Vorspannung der Randhänger	253
Diagramm 119	Minimale Hängernormalkräfte unter der maßgebenden Lastkombination	254
Diagramm 120	Minimale Hängernormalkräfte unter der maßgebenden Lastkombination nach Erhöhung des Schotterbetts	254
Diagramm 121	Minimale Hängernormalkräfte unter der maßgebenden Lastkombination für eine Konstruktion mit Verbundplatte und Vorspannung der Randhänger.....	257

24 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Hängeranzahl je Set und Hänger-Bogen-Winkel für die radiale Hängeranordnung.....	56
Tabelle 2	Hängeranzahl je Set, Startwinkel φ_0 , Winkeldekrement $\Delta\varphi$ und Winkel der Hänger in Brückenmitte φ für die konstante Hängerneigungsänderung.....	57
Tabelle 3	Ermittlung des Eigengewichts der orthotropen Fahrbahnplatte.....	67
Tabelle 4	Dynamische Beiwerte Φ_2 für das Tragwerk.....	69
Tabelle 5	Nachweis der Lastgruppen für Eisenbahnverkehr (charakteristische Werte der mehrteiligen Einwirkungen), EN 1991-2: 2003, Tab.6.1.....	71
Tabelle 6	Teilsicherheitsbeiwerte für ständige und veränderliche Einwirkungen gemäß ÖNORM EN 1990/A1.....	72
Tabelle 7	Mittlere Hängernormalkräfte und mittlere Abweichungen bei der radialen Hängeranordnung im Regelbereich.....	107
Tabelle 8	Mittlere Hängernormalkräfte und mittlere Abweichungen bei der konstanten Hängerneigungsänderung im Regelbereich	115
Tabelle 9	Mittlere Hängernormalkräfte und mittlere Abweichungen bei der Hängeranordnung nach PCD-ZT GmbH im Regelbereich	123
Tabelle 10	Hängeranzahl je Set und Hänger-Bogen-Winkel für die zusätzlichen Netze bei radialer Hängeranordnung.....	127
Tabelle 11	Hängeranzahl je Set, Startwinkel φ_0 , Winkeldekrement $\Delta\varphi$ und Winkel der Hänger in Brückenmitte φ für die zusätzlichen Netze bei Variante 2 und Variante 3.....	127
Tabelle 12	Verhältnis von positiver zu negativer Fläche unter der Einflusslinie der ersten drei Randhänger bei unterschiedlichen Steifigkeiten (Berechnung siehe Anhang D).....	232
Tabelle 13	Verhältnis von positiver zu negativer Fläche unter der Einflusslinie der ersten drei Randhänger bei unterschiedlichen Steifigkeiten (Berechnung siehe Anhang D).....	238

Anhang A

Berechnung der Querverteilung der Lasten

INHALT

	Basisangaben	1
	Struktur	1
	Knoten	1
	Materialien	1
	Querschnitte	1
	Stäbe	1
	Knotenlager	2
Grafik	Struktur	2
	Belastung	3
	Lastfälle	3
	Ergebnisse - Lastfälle, LF-Gruppen	4
Grafik	LF1: Deckblech+Begrenzungsbleche	4
Grafik	LF2: Längssteifen	4
Grafik	LF3: Eigengewicht Querträger	4
Grafik	LF4: Schotterbett	4
Grafik	LF5: Unterschottermatte	5
Grafik	LF6: Abdichtung	5
Grafik	LF6: Abdichtung	5
Grafik	LF7: Vorgespannte Betonschwellen+Befestigung	5
Grafik	LF8: Schienen	6
Grafik	LF9: Brückengeländer	6
Grafik	LF10: Berührungsschutz	6
Grafik	LF11: Kabeltrogabdeckblech	6
Grafik	LF12: Kabeltrogbelegung	7
Grafik	LF201: LM71 - Gl.1 (Gleichlast); e=+183mm	7
Grafik	LF202: LM71 - Gl.1 (Einzellast); e=+183mm	7
Grafik	LF203: LM71 - Gl.1 (Gleichlast); e=+100mm	7
Grafik	LF204: LM71 - Gl.1 (Einzellast);	7

INHALT

	e=+100mm	8
Grafik	LF205: LM71 - Gl.1 (Gleichlast); e=-183mm	8
Grafik	LF206: LM71 - Gl.1 (Einzellast); e=-183mm	8
Grafik	LF207: LM71 - Gl.1 (Gleichlast); e=-100mm	8
Grafik	LF208: LM71 - Gl.1 (Einzellast); e=-100mm	9
Grafik	LF209: SW/2 - Gl.1; e=+100m	9
Grafik	LF210: SW/2 - Gl.1; e=-100m	9
Grafik	LF211: LM71 - Gl.2 (Gleichlast); e=+183mm	9
Grafik	LF212: LM71 - Gl.2 (Einzellast); e=+183mm	10
Grafik	LF213: LM71 - Gl.2 (Gleichlast); e=+100mm	10
Grafik	LF214: LM71 - Gl.2 (Einzellast); e=+100mm	10
Grafik	LF215: LM71 - Gl.2 (Gleichlast); e=-183mm	10
Grafik	LF216: LM71 - Gl.2 (Einzellast); e=-183mm	11
Grafik	LF217: LM71 - Gl.2 (Gleichlast); e=-100mm	11
Grafik	LF218: LM71 - Gl.2 (Einzellast); e=-100mm	11
Grafik	LF219: SW/2 - Gl.2; e=+100m	11
Grafik	LF220: SW/2 - Gl.2; e=-100m	12
	Ergebnisse - LF-Kombinationen	13
	Lastfallkombinationen	13
Grafik	LK1: Eigengewicht Fahrbahnplatte	13

BASISANGABEN

BERECHNUNGSART

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Statik | <input checked="" type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear) |
| <input type="checkbox"/> Nachweis | <input type="checkbox"/> Theorie II. Ordnung (nichtlinear) |
| <input type="checkbox"/> Dynamik | <input type="checkbox"/> Theorie III. Ordnung (nichtlinear nach Newton-Raphson) |
| | <input type="checkbox"/> Durchschlagproblem |
| <input checked="" type="checkbox"/> Lastfälle | <input type="checkbox"/> Bemessungsfälle |
| <input type="checkbox"/> LF-Gruppen | <input type="checkbox"/> Dynamikfälle |
| <input checked="" type="checkbox"/> LF-Kombinationen | <input type="checkbox"/> Knickfiguren |

STRUKTURKENNWERTE

- | | | |
|---|------------------|--------------------|
| <input type="checkbox"/> 1D-Durchlaufträger | 7 Knoten | 6 Stäbe |
| <input checked="" type="checkbox"/> 2D-Stabwerk | 1 Materialien | 0 Seilstäbe |
| <input type="checkbox"/> 3D-Stabwerk | 1 Querschnitte | 0 Voutenstäbe |
| <input type="checkbox"/> Trägerrost | 0 Stabendgelenke | 0 El. gebet. Stäbe |
| | 0 Stabteilungen | 0 Stabzüge |

KNOTEN

Knoten Nr.	Bezugs-Knoten	Koordinaten System	Knotenkoordinaten		Kommentar
			X [m]	Z [m]	
1	-	Kartesisch	0.000	0.000	
2	-	Kartesisch	0.900	0.000	
3	-	Kartesisch	2.200	0.000	
4	-	Kartesisch	6.750	0.000	
5	-	Kartesisch	13.500	0.000	
6	-	Kartesisch	12.600	0.000	
7	-	Kartesisch	11.300	0.000	

MATERIALIEN

Material Nr.	Material-Bezeichnung	Elast.-Modul E [kN/cm ²]	Schubmodul G [kN/cm ²]	Sp. Gewicht γ [kN/m ³]	Wärmedehnz. α [1/°C]	Beiwert γ _M [-]
1	Baustahl S 235 DIN 18800:1990-11	21000.00	8100.00	78.50	1.2000E-05	1.100

QUERSCHNITTE

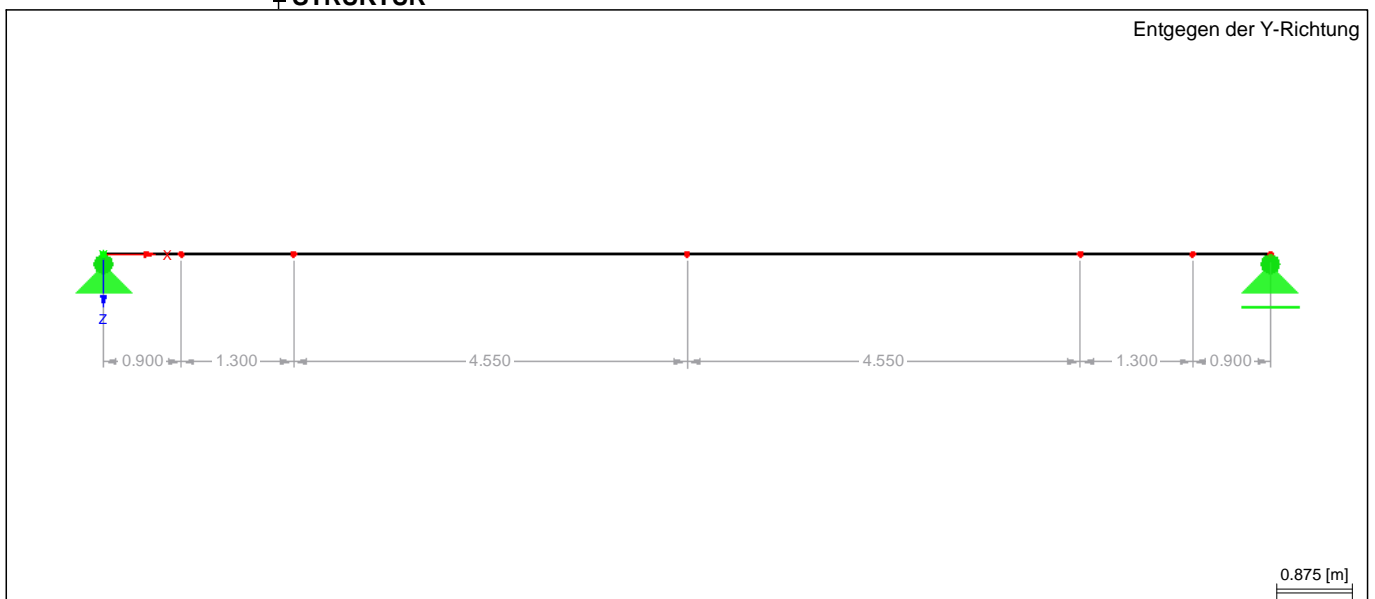
Quers. Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	Mater. Nr.	I _T [cm ⁴] A [cm ²]	I _y [cm ⁴] A _y [cm ²]	I _z [cm ⁴] A _z [cm ²]
1	HE-B 800	1	334.00	359100.00	130.57

STÄBE

Stab Nr.	Stabtyp	Knoten		Drehung		Querschnitt		Gelenk		Exz. Nr.	Teil. Nr.	Länge L [m]	
		Anfang	Ende	Typ	β [°]	Anfang	Ende	Anfang	Ende				
1	Balkenstab	1	2	Winkel	0.00	1	1	-	-	-	-	0.900	X
2	Balkenstab	2	3	Winkel	0.00	1	1	-	-	-	-	1.300	X
3	Balkenstab	3	4	Winkel	0.00	1	1	-	-	-	-	4.550	X
4	Balkenstab	4	7	Winkel	0.00	1	1	-	-	-	-	4.550	X
5	Balkenstab	7	6	Winkel	0.00	1	1	-	-	-	-	1.300	X
6	Balkenstab	6	5	Winkel	0.00	1	1	-	-	-	-	0.900	X

KNOTENLAGER

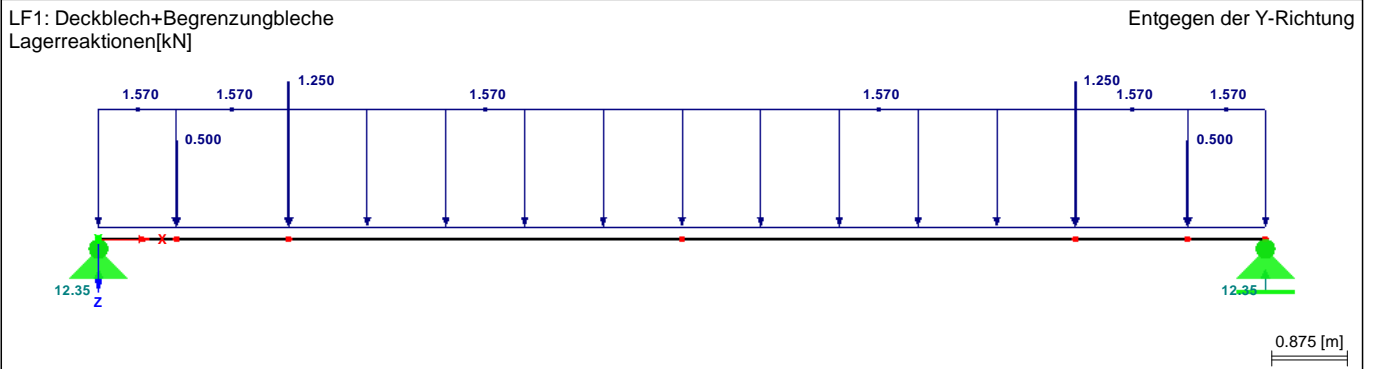
Lager Nr.	Knoten Nr.	Lagerdrehung [°] um Y	Lagerung bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad]		
			u_x	u_z	φ_y
1	1	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	5	0.00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

STRUKTUR


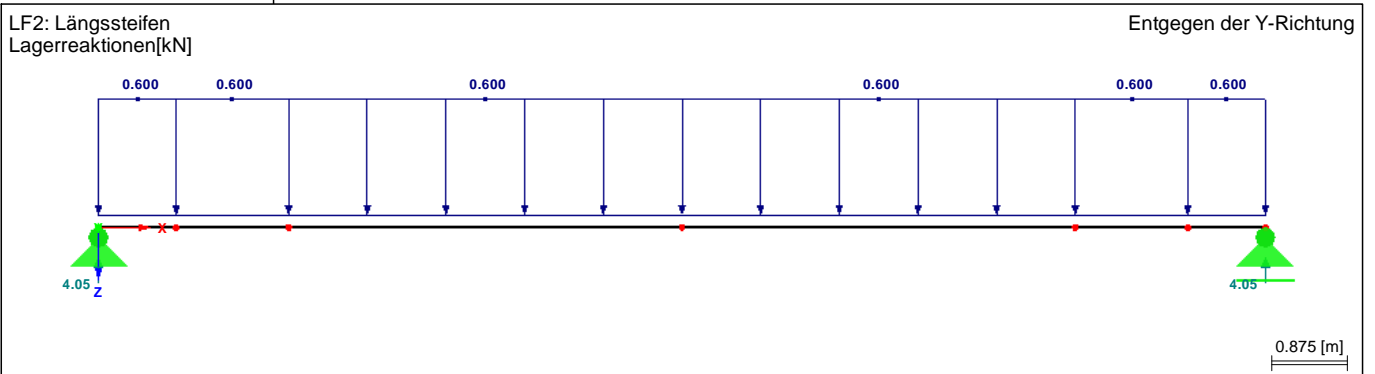
■ LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	LF-Faktor	Eigenschaften des Lastfalls	Eigengewicht	Berechnungs-Theorie
1	Deckblech+Begrenzungsbleche	1.0000	Ständig	-	I. Ordnung
2	Längssteifen	1.0000	Ständig	-	I. Ordnung
3	Eigengewicht Querträger	1.0000	Ständig	-	I. Ordnung
4	Schotterbett	1.0000	Ständig	-	I. Ordnung
5	Unterschottermatte	1.0000	Ständig	-	I. Ordnung
6	Abdichtung	1.0000	Ständig	-	I. Ordnung
7	Vorgespannte Betonschwellen+Befestigung	1.0000	Ständig	-	I. Ordnung
8	Schienen	1.0000	Ständig	-	I. Ordnung
9	Brückengeländer	1.0000	Ständig	-	I. Ordnung
10	Berührungsschutz	1.0000	Ständig	-	I. Ordnung
11	Kabeltrogabdeckblech	1.0000	Ständig	-	I. Ordnung
12	Kabeltrogabdeckung	1.0000	Ständig	-	I. Ordnung
201	LM71 - Gl.1 (Gleichlast); e=+183mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
202	LM71 - Gl.1 (Einzellast); e=+183mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
203	LM71 - Gl.1 (Gleichlast); e=+100mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
204	LM71 - Gl.1 (Einzellast); e=+100mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
205	LM71 - Gl.1 (Gleichlast); e=- 183mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
206	LM71 - Gl.1 (Einzellast); e=- 183mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
207	LM71 - Gl.1 (Gleichlast); e=- 100mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
208	LM71 - Gl.1 (Einzellast); e=- 100mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
209	SW/2 - Gl.1; e=+100m	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
210	SW/2 - Gl.1; e=-100m	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
211	LM71 - Gl.2 (Gleichlast); e=+183mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
212	LM71 - Gl.2 (Einzellast); e=+183mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
213	LM71 - Gl.2 (Gleichlast); e=+100mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
214	LM71 - Gl.2 (Einzellast); e=+100mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
215	LM71 - Gl.2 (Gleichlast); e=- 183mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
216	LM71 - Gl.2 (Einzellast); e=- 183mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
217	LM71 - Gl.2 (Gleichlast); e=- 100mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
218	LM71 - Gl.2 (Einzellast); e=- 100mm	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
219	SW/2 - Gl.2; e=+100m	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
220	SW/2 - Gl.2; e=-100m	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung

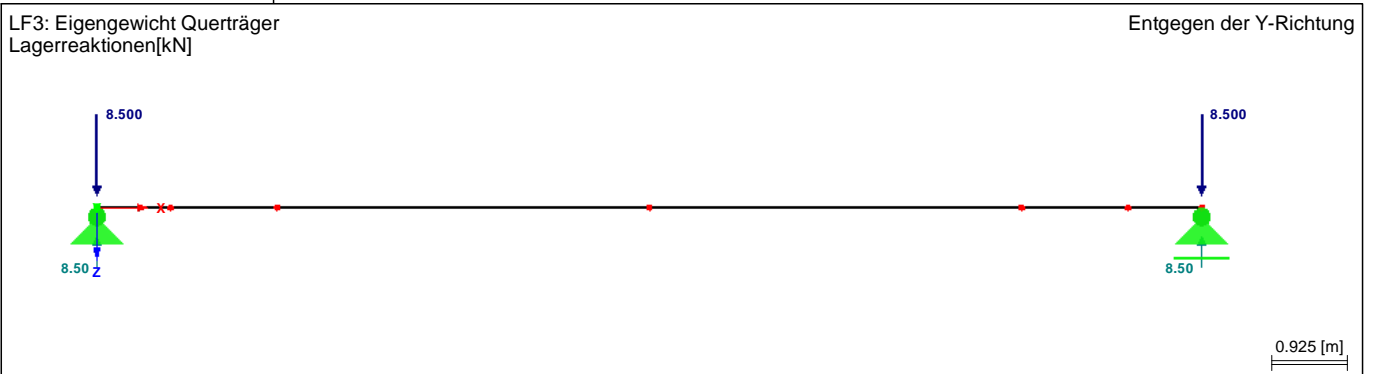
■ **LF1: DECKBLECH+BEGRENZUNGBLECHE**



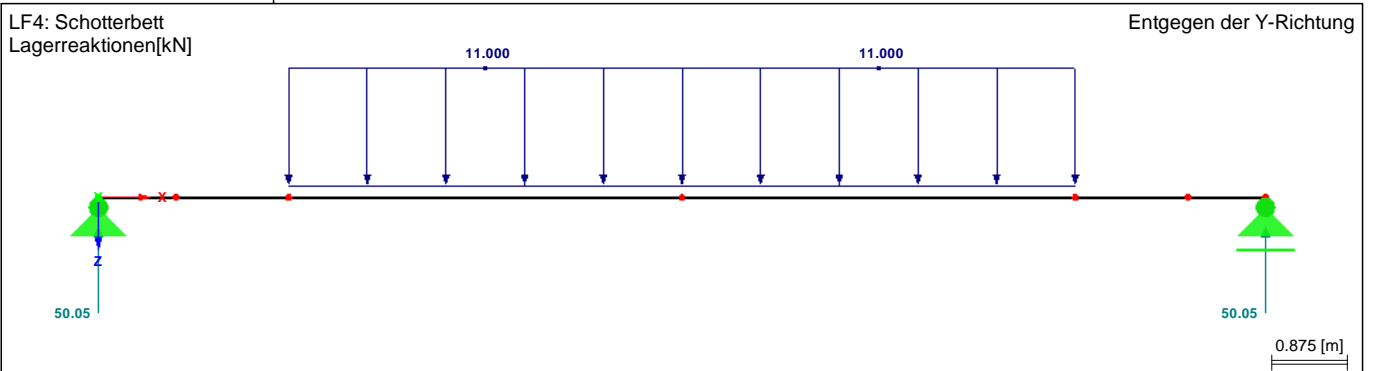
■ **LF2: LÄNGSSTEIFEN**



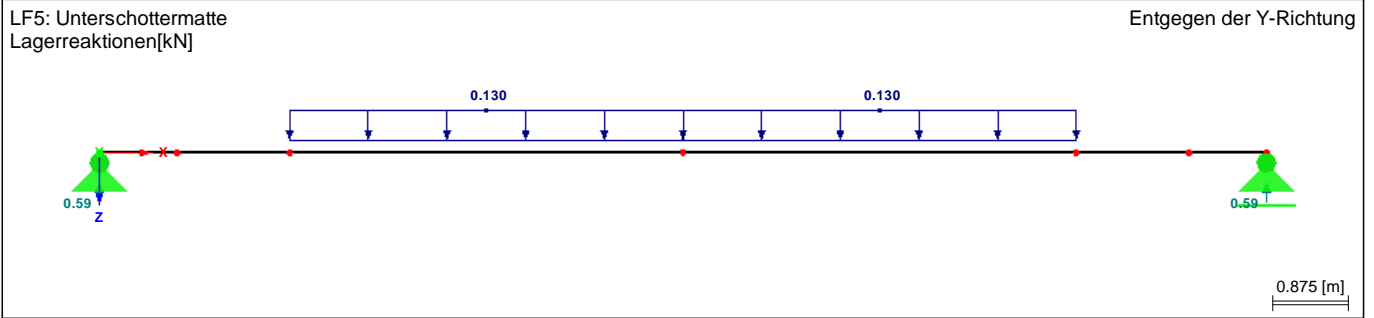
■ **LF3: EIGENGEWICHT QUERTRÄGER**



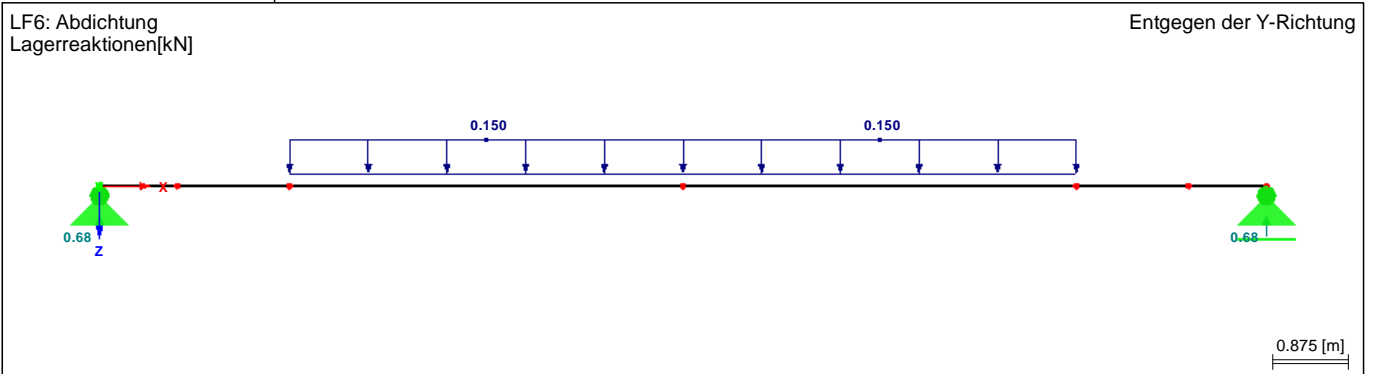
■ **LF4: SCHOTTERBETT**



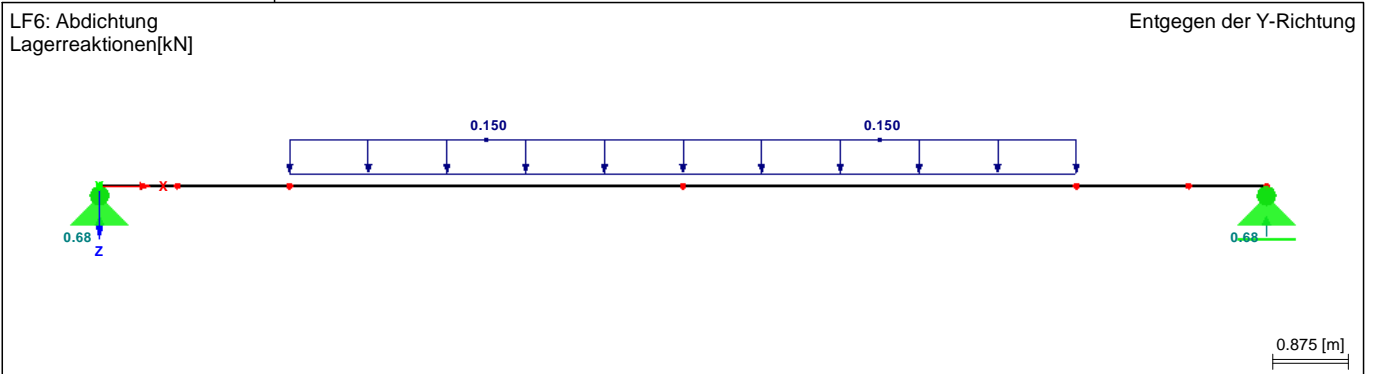
■ **LF5: UNTERSCHOTTERMATTE**



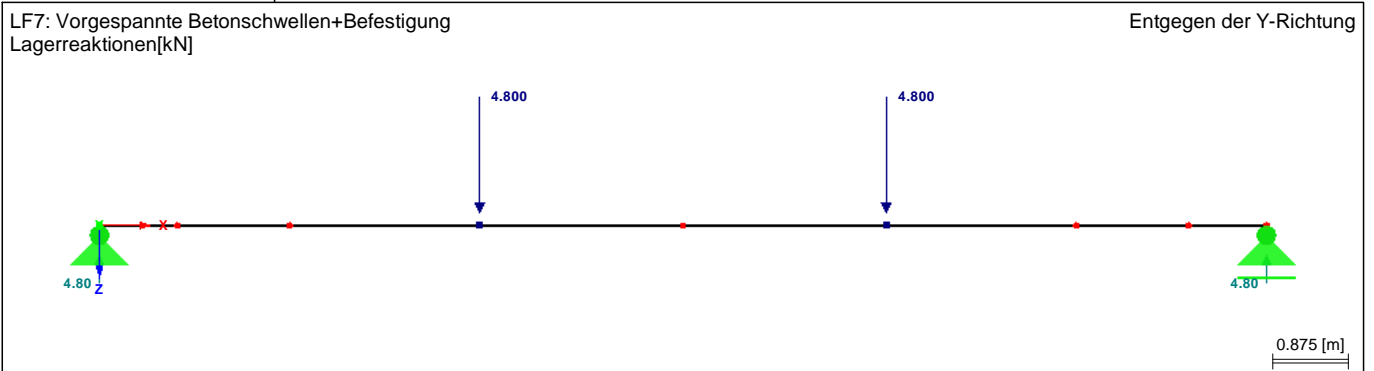
■ **LF6: ABDICHTUNG**



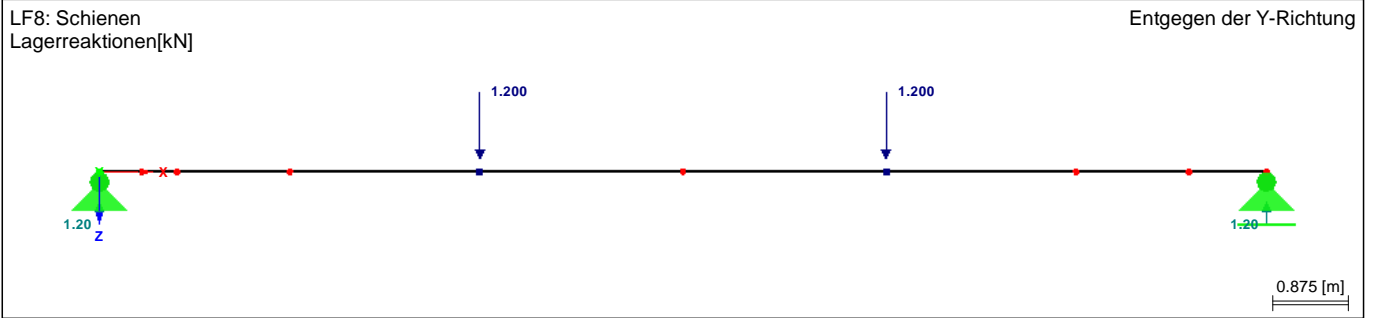
■ **LF6: ABDICHTUNG**



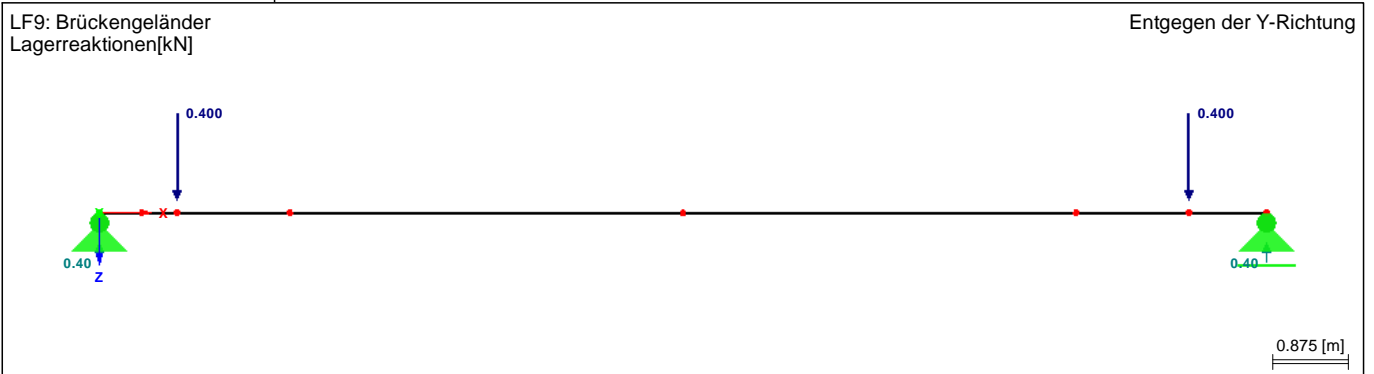
■ **LF7: VORGESpanNTE BETONSchWELLEN+BEFESTIGUNG**



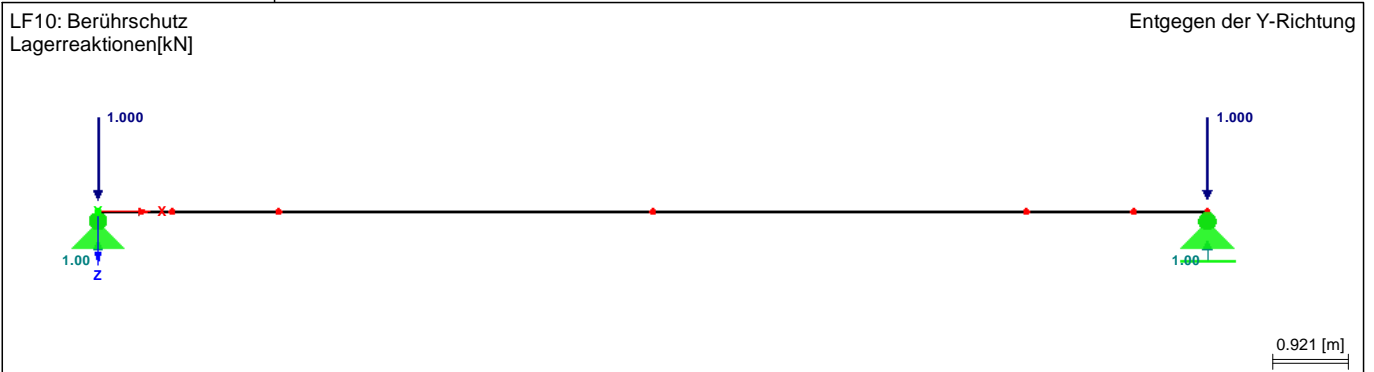
■ **LF8: SCHIENEN**



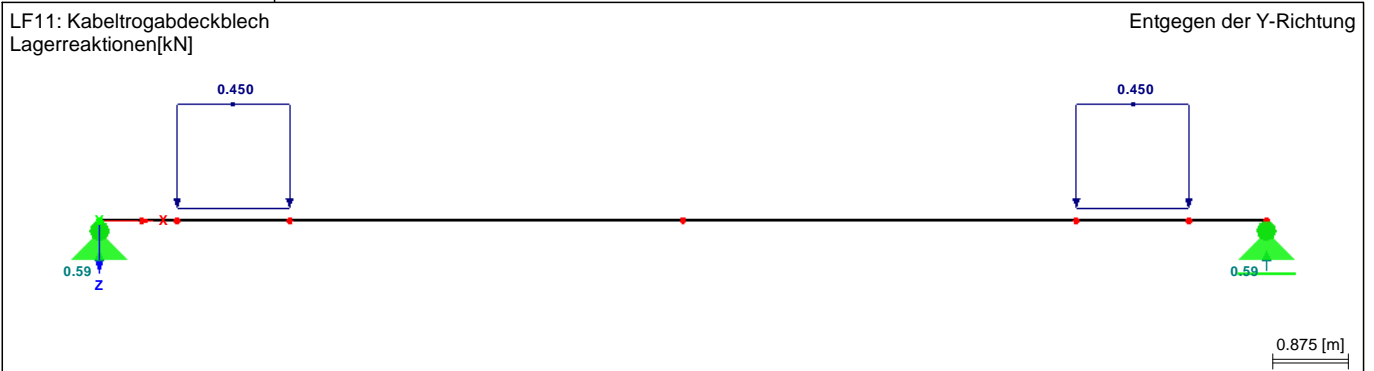
■ **LF9: BRÜCKENGELÄNDER**



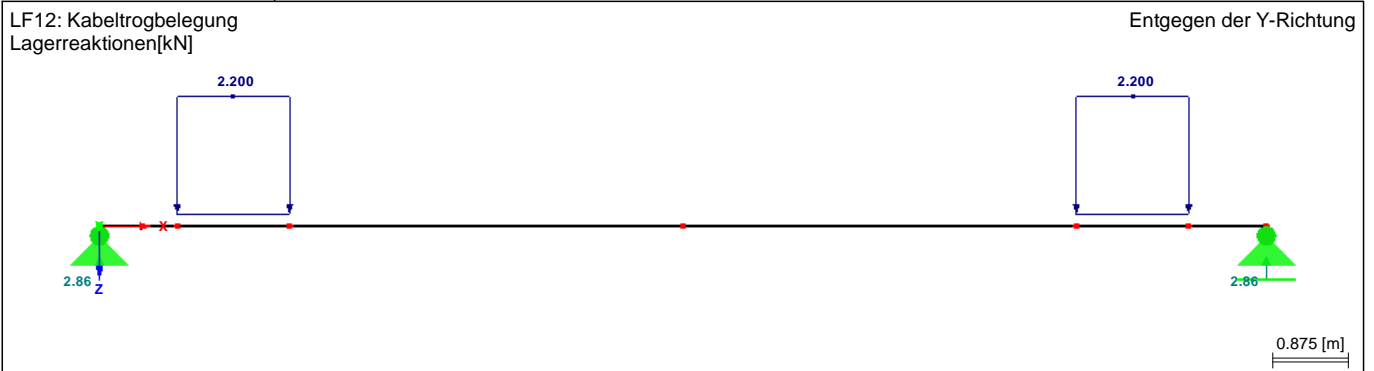
■ **LF10: BERÜHRSCHUTZ**



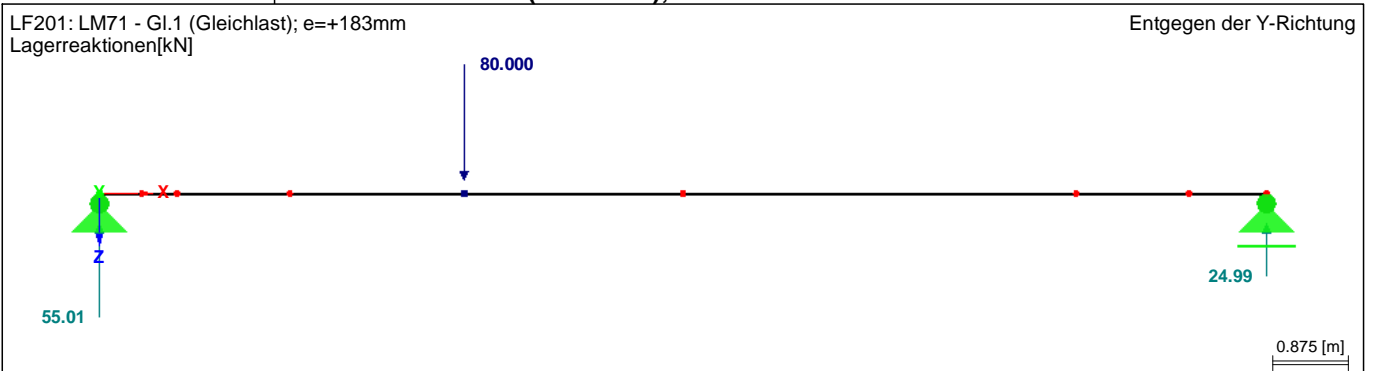
■ **LF11: KABELTROGABDECKBLECH**



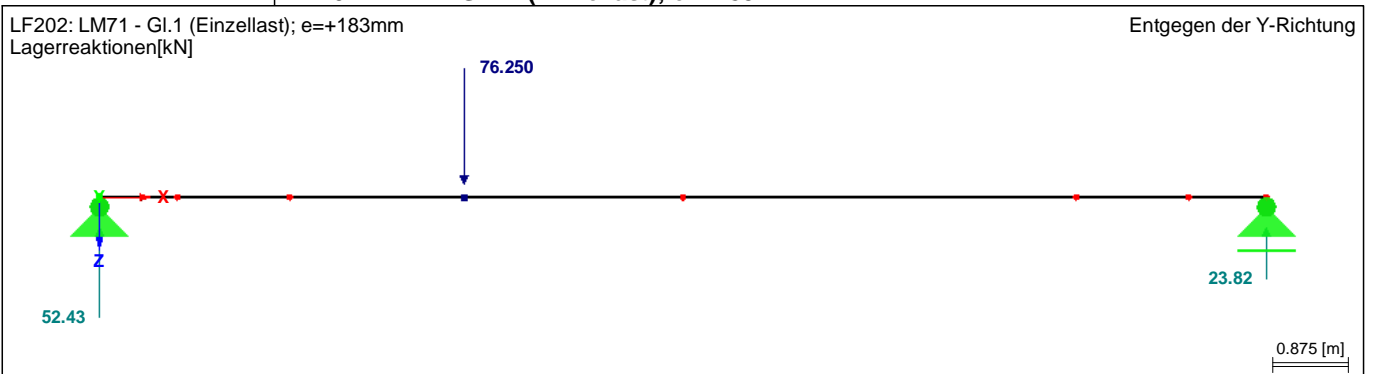
■ **LF12: KABELTROGBELEGUNG**



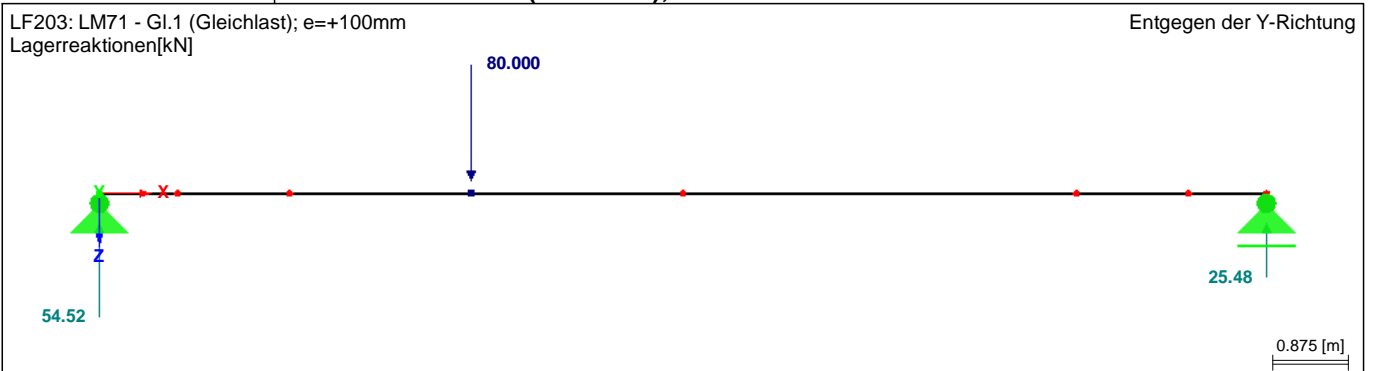
■ **LF201: LM71 - GL.1 (Gleichlast); e=+183mm**



■ **LF202: LM71 - GL.1 (Einzellast); e=+183mm**



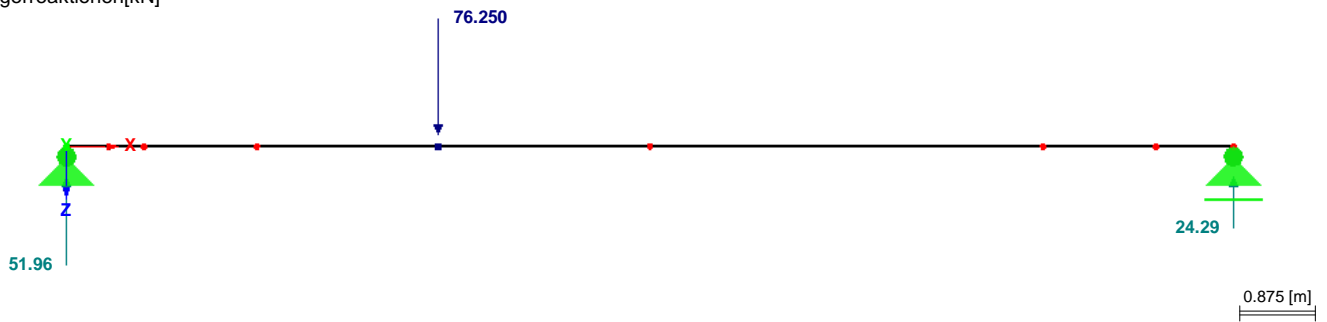
■ **LF203: LM71 - GL.1 (Gleichlast); e=+100mm**



■ **LF204: LM71 - GL.1 (Einzellast); e=+100mm**

LF204: LM71 - GL.1 (Einzellast); e=+100mm
Lagerreaktionen[kN]

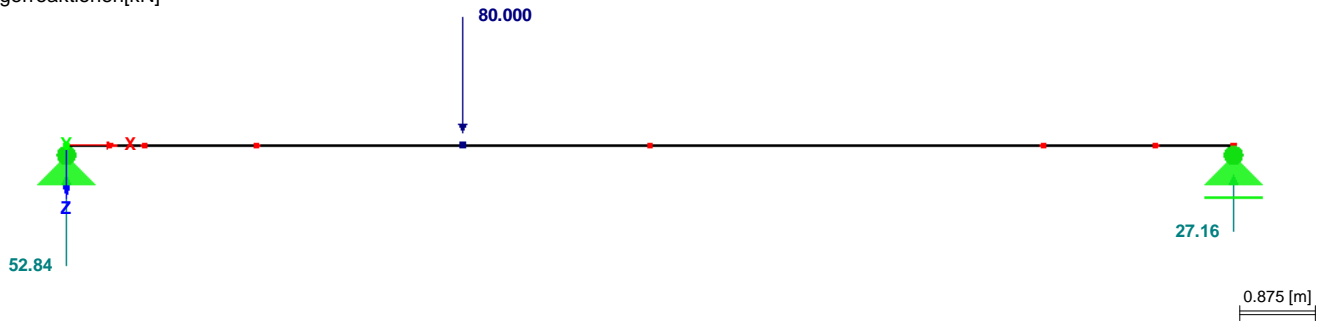
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF205: LM71 - GL.1 (Gleichlast); e=-183mm**

LF205: LM71 - GL.1 (Gleichlast); e=-183mm
Lagerreaktionen[kN]

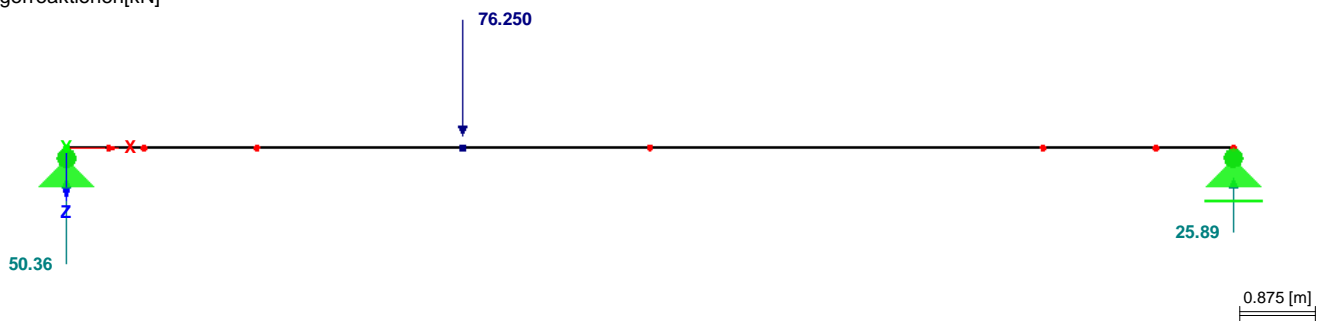
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF206: LM71 - GL.1 (Einzellast); e=-183mm**

LF206: LM71 - GL.1 (Einzellast); e=-183mm
Lagerreaktionen[kN]

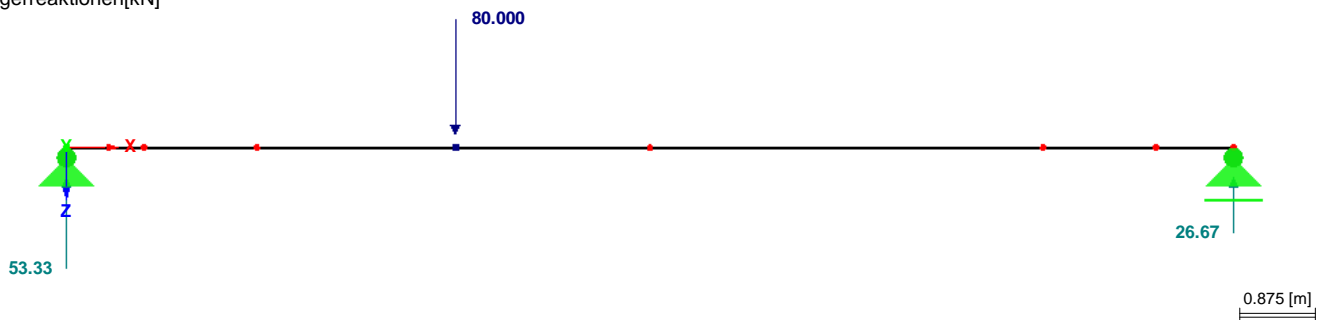
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF207: LM71 - GL.1 (Gleichlast); e=-100mm**

LF207: LM71 - GL.1 (Gleichlast); e=-100mm
Lagerreaktionen[kN]

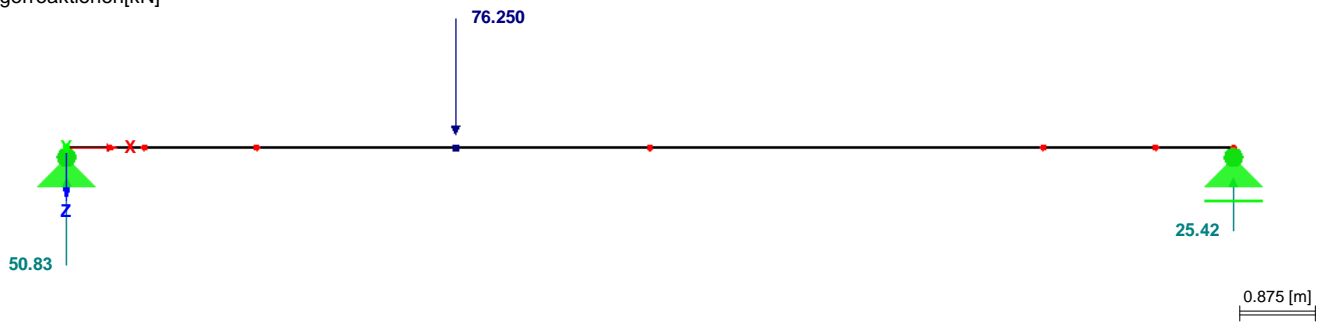
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF208: LM71 - GL.1 (Einzellast); e=-100mm**

LF208: LM71 - Gl.1 (Einzellast); e=-100mm
Lagerreaktionen[kN]

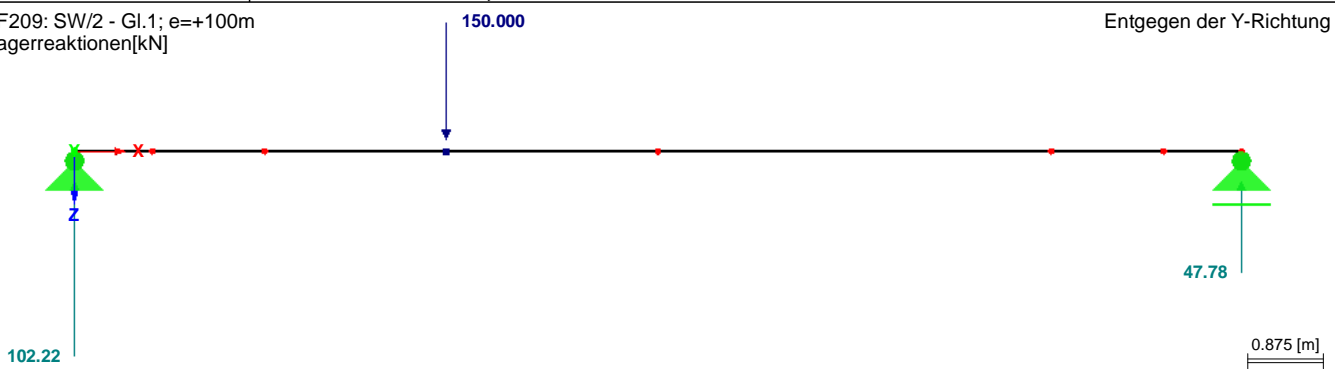
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF209: SW/2 - GL.1; E=+100M**

LF209: SW/2 - Gl.1; e=+100m
Lagerreaktionen[kN]

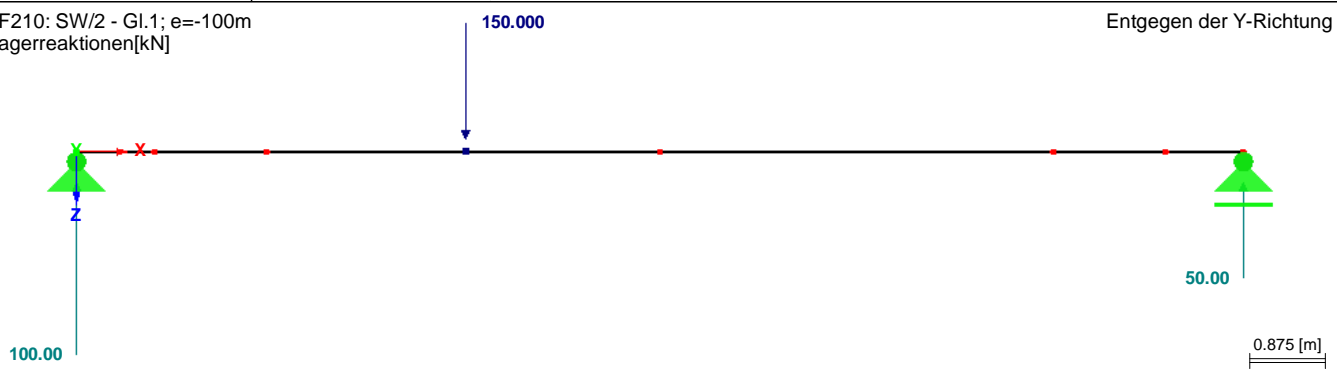
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF210: SW/2 - GL.1; E=-100M**

LF210: SW/2 - Gl.1; e=-100m
Lagerreaktionen[kN]

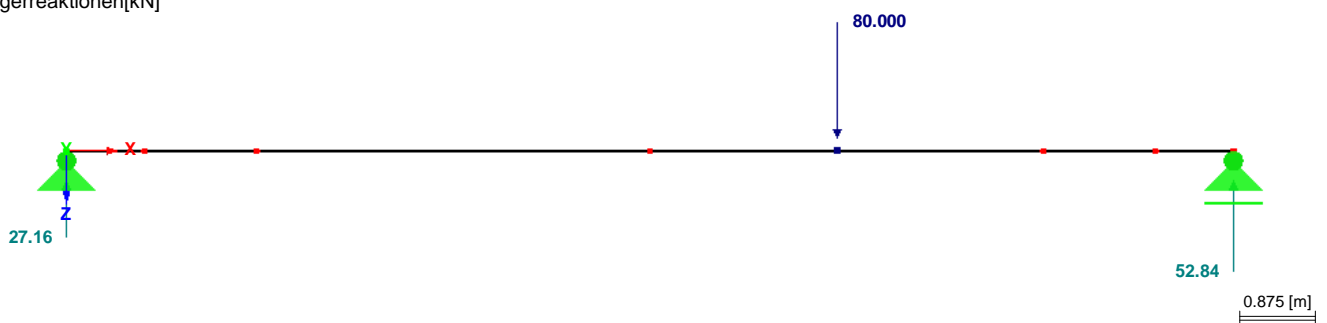
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF211: LM71 - GL.2 (Gleichlast); e=+183mm**

LF211: LM71 - Gl.2 (Gleichlast); e=+183mm
Lagerreaktionen[kN]

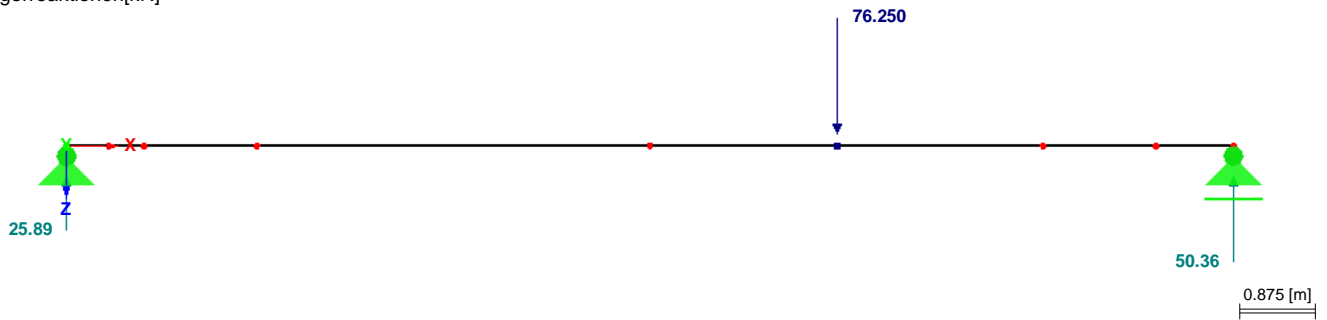
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF212: LM71 - GL.2 (Einzellast); e=+183mm**

LF212: LM71 - GL.2 (Einzellast); e=+183mm
Lagerreaktionen[kN]

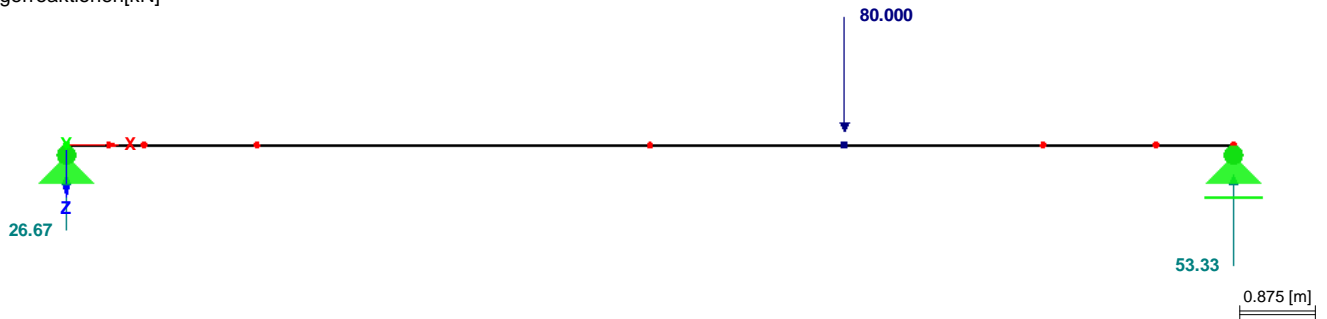
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF213: LM71 - GL.2 (Gleichlast); e=+100mm**

LF213: LM71 - GL.2 (Gleichlast); e=+100mm
Lagerreaktionen[kN]

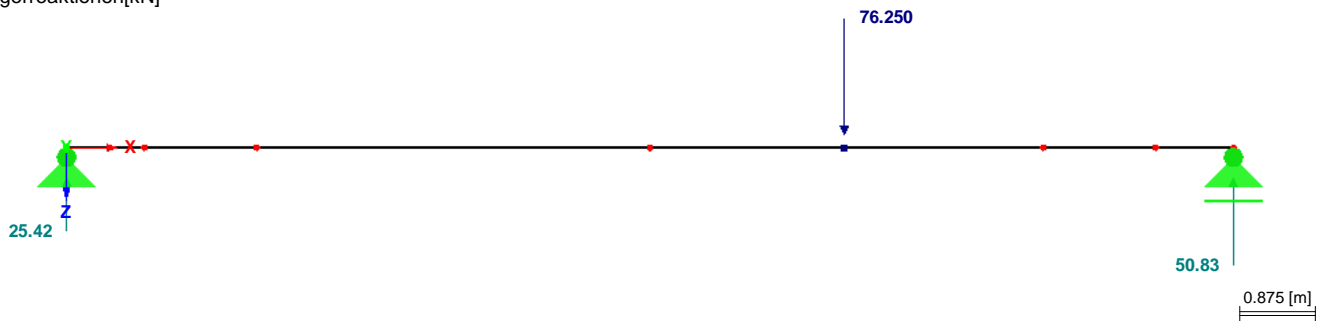
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF214: LM71 - GL.2 (Einzellast); e=+100mm**

LF214: LM71 - GL.2 (Einzellast); e=+100mm
Lagerreaktionen[kN]

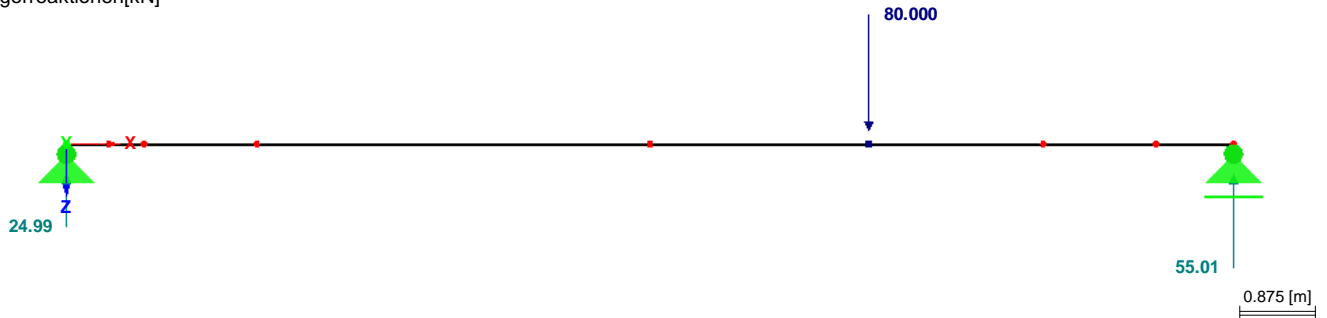
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF215: LM71 - GL.2 (Gleichlast); e=-183mm**

LF215: LM71 - GL.2 (Gleichlast); e=-183mm
Lagerreaktionen[kN]

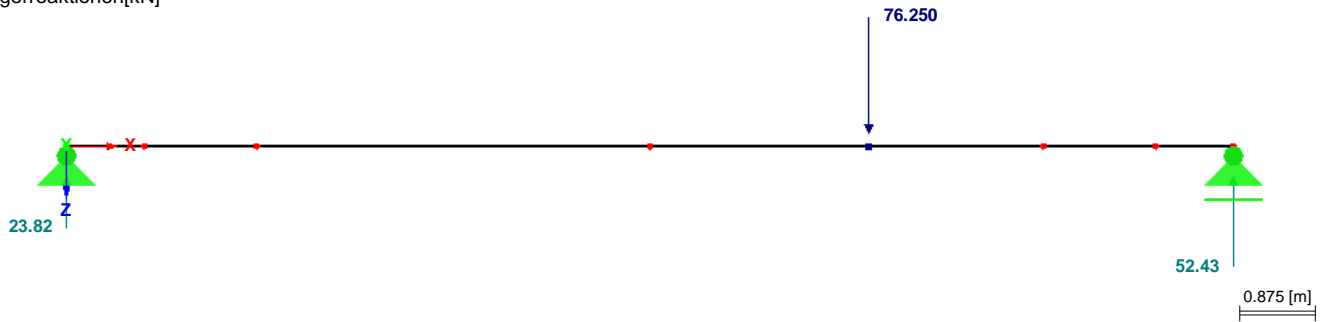
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF216: LM71 - GL.2 (Einzellast); e=-183mm**

LF216: LM71 - GL.2 (Einzellast); e=-183mm
Lagerreaktionen[kN]

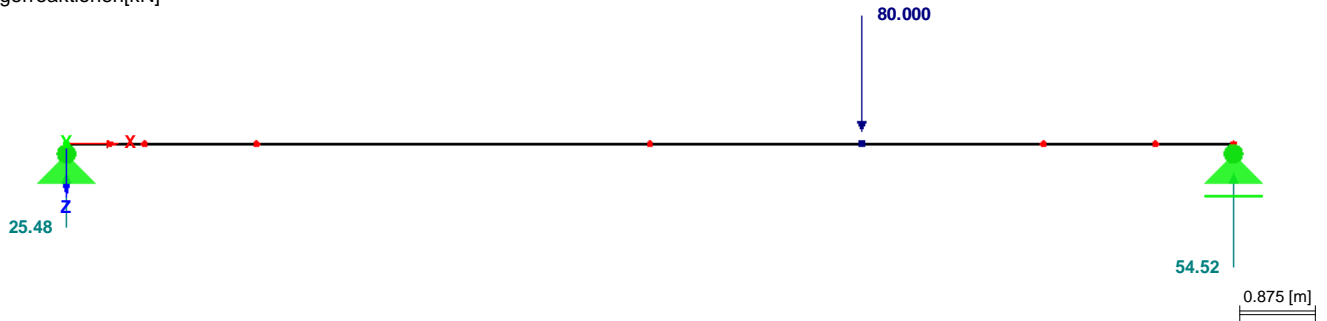
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF217: LM71 - GL.2 (Gleichlast); e=-100mm**

LF217: LM71 - GL.2 (Gleichlast); e=-100mm
Lagerreaktionen[kN]

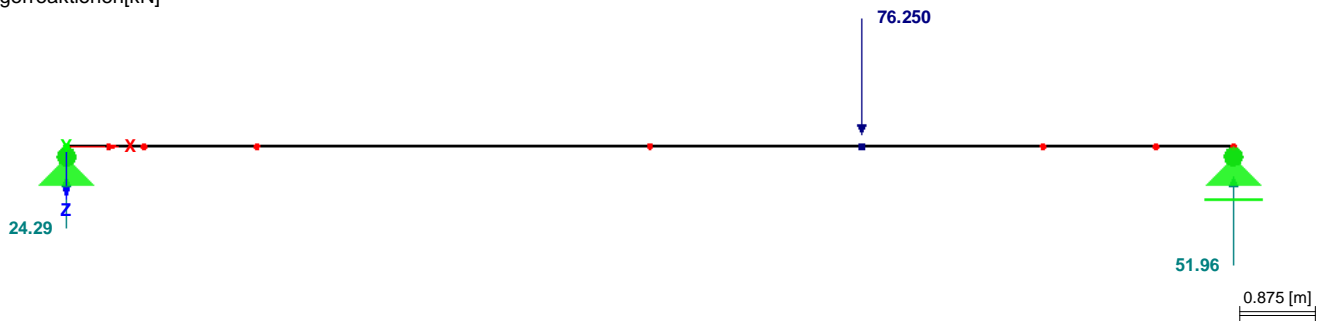
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF218: LM71 - GL.2 (Einzellast); e=-100mm**

LF218: LM71 - GL.2 (Einzellast); e=-100mm
Lagerreaktionen[kN]

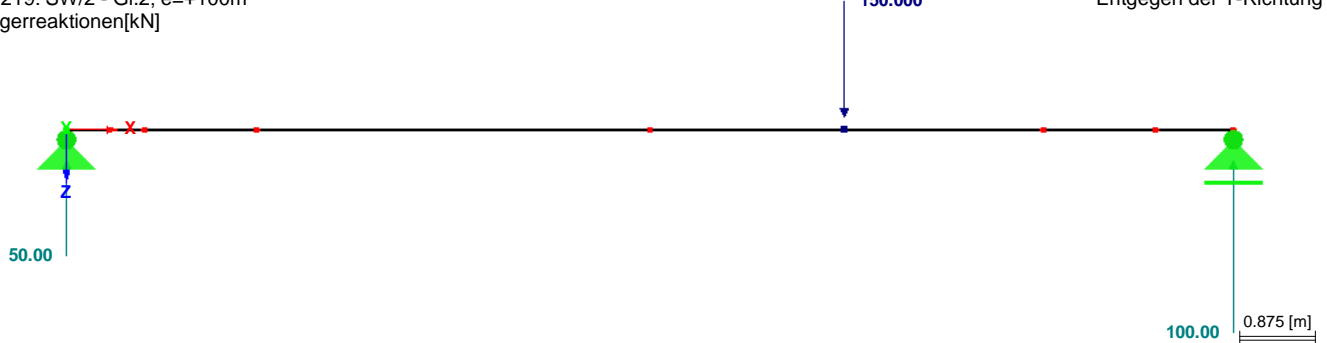
Entgegen der Y-Richtung



■ **LF219: SW/2 - GL.2; E=+100M**

LF219: SW/2 - GL.2; e=+100m
Lagerreaktionen[kN]

Entgegen der Y-Richtung

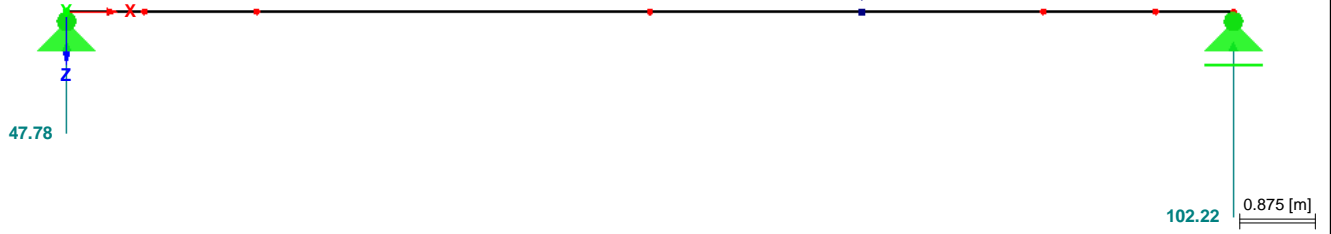


■ LF220: SW/2 - GL.2; E=-100M

LF220: SW/2 - Gl.2; e=-100m
Lagerreaktionen[kN]

150.000

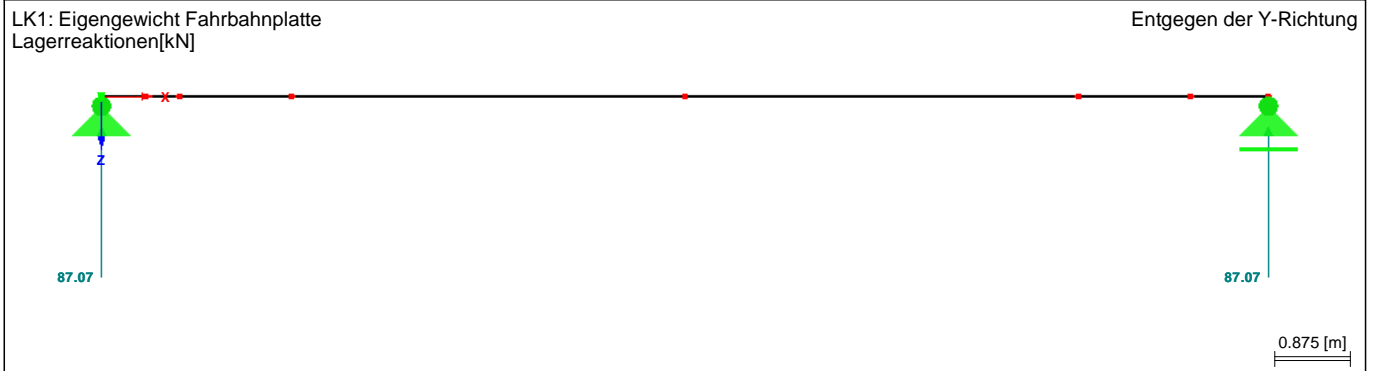
Entgegen der Y-Richtung



■ LASTFALLKOMBINATIONEN

LK Nr.	LK-Bezeichnung	Kombinationskriterium
1	Eigengewicht Fahrbahnplatte	LF1/S + LF2/S + LF3/S + LF4/S + LF5/S + LF6/S + LF7/S + LF8/S + LF9/S + LF10/S + LF11/S + LF12/S

■ LK1: EIGENGEWICHT FAHRBAHNPLATTE

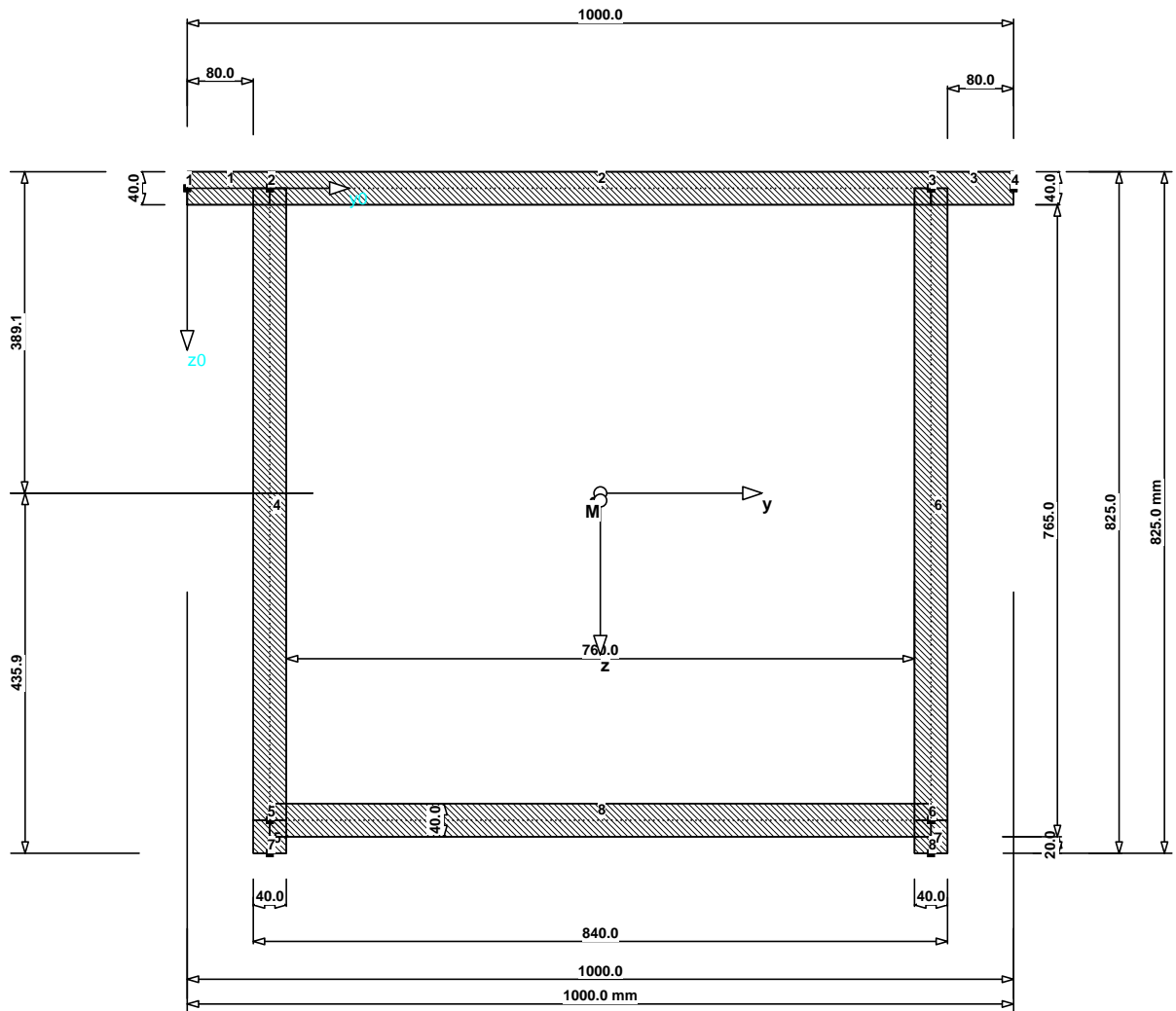


Anhang B
Querschnittswerte

■ INHALT

Inhalt	1
Grafik des Querschnitts	2
Querschnittsdaten	
Basisangaben	3
Knoten	3
Materialdaten	3
Elemente	3
Ergebnisse	
Querschnittskennwerte	3

■ GRAFIK DES QUERSCHNITTS

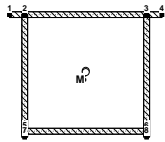


89.082

■ BASISANGABEN

Bezeichnung	Symbol	Einstellung
Querschnittstyp	Typ	Einzelquerschnitt
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1.10
Korrekturfaktor für I_t	Faktor I_t	1.00
Knicklinie Y	$KL_{y/u}$	c
Knicklinie Z	$KL_{z/v}$	c
Spannungen ermitteln	Typ	An ungünstigsten Element-Kanten
Kommentar		

■ KNOTEN

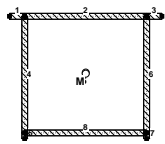


Knoten Nr.	Koordinaten-System	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten		Hauptachsen-Koordinaten	
			y_0 [mm]	z_0 [mm]	u [mm]	v [mm]
1	Kartesisch	-	0.0	0.0	-500.0	-369.1
2	Kartesisch	-	100.0	0.0	-400.0	-369.1
3	Kartesisch	-	900.0	0.0	400.0	-369.1
4	Kartesisch	-	1000.0	0.0	500.0	-369.1
5	Kartesisch	-	100.0	765.0	-400.0	395.9
6	Kartesisch	-	900.0	765.0	400.0	395.9
7	Kartesisch	-	100.0	805.0	-400.0	435.9
8	Kartesisch	-	900.0	805.0	400.0	435.9

■ MATERIALDATEN

Material Nr.	Material Bezeichnung	E-Modul [kN/cm ²]	G-Modul [kN/cm ²]	Sp. Gewicht [kN/m ³]	$f_{y,k}$ [kN/cm ²]
2	S 355	21000.000	8100.000	7.850E+01	36.0

■ ELEMENTE



Element Nr.	Material Nr.	Knoten		Dicke t [mm]	Länge [mm]	Fläche [mm ²]
		Anfang	Ende			
1	2	1	2	40.0	100.0	4000.0
2	2	2	3	40.0	800.0	32000.0
3	2	3	4	40.0	100.0	4000.0
4	2	2	5	40.0	765.0	30600.0
5	2	5	7	40.0	40.0	1600.0
6	2	3	6	40.0	765.0	30600.0
7	2	6	8	40.0	40.0	1600.0
8	2	5	6	40.0	800.0	32000.0

■ QUERSCHNITTSKENNWERTE

Bezeichnung	Symbol	Größe	Einheit	Kommentar
Querschnittsfläche	A	1332.00	cm ²	
Schubflächen	A_y	567.44	cm ²	
	A_z	521.99	cm ²	
Lage des Schwerpunktes	$y_{S,0}$	50.00	cm	bezogen auf den Nullpunkt
	$z_{S,0}$	36.91	cm	
Trägheitsmomente	I_y	1356680.00	cm ⁴	bezogen auf die Schwerachsen y, z
	I_z	1485300.00	cm ⁴	
Hauptachsenehrehwinkel	α	0.00	°	positiv im Uhrzeigersinn
Polare Trägheitsmomente	I_p	2841970.00	cm ⁴	
	$I_{p,M}$	2842930.00	cm ⁴	bezogen auf den Schubmittelpunkt M
Trägheitsradien	i_y	31.91	cm	bezogen auf den Schwerpunkt S
	i_z	33.39	cm	
Polare Trägheitsradien	i_p	46.19	cm	
	$i_{p,M}$	46.20	cm	bezogen auf den Schubmittelpunkt M
Wölbradius	$i_{\omega,M}$	1.12	cm	
Querschnittsgewicht	G	1045.620	kg/m	
Querschnittsumfang	U	666.00	cm	einschl. Zellen-Innenseiten
Äußerer Querschnittsumfang	$U_{\text{außen}}$	0.00	cm	
Innerer Querschnittsumfang	U_{innen}	0.00	cm	
Torsionsträgheitsmoment	I_t	1921770.00	cm ⁴	
- Anteil aus St. Venant	$I_{t, \text{St. Ven.}}$	7171.72	cm ⁴	
- Anteil aus Bredt	$I_{t, \text{Bredt.}}$	1914600.00	cm ⁴	
Sekundäres Torsionsträgheitsmoment	$I_{t,s}$	41868.60	cm ⁴	
Lage des Schubmittelpunktes	$y_{M,0}$	50.00	cm	bezogen auf den Nullpunkt
	$z_{M,0}$	37.80	cm	
	y_M	0.00	cm	bezogen auf den Schwerpunkt S
	z_M	0.89	cm	
Wölbwiderstände	$I_{\omega,S}$	4597390.00	cm ⁶	bezogen auf den Schwerpunkt S
	$I_{\omega,M}$	3569580.00	cm ⁶	bezogen auf den Schubmittelpunkt M
	$r_{\omega,M}$	0.00	cm	
Widerstandsmomente	$W_{y,max}$	31121.90	cm ³	im Abstand 435.9 mm
	$W_{y,min}$	-34869.20	cm ³	im Abstand -389.1 mm
	$W_{z,max}$	29705.90	cm ³	im Abstand 500.0 mm
	$W_{z,min}$	-29705.90	cm ³	im Abstand -500.0 mm
Wölbwiderstandsmomente	$W_{\omega,M,max}$	10962.40	cm ⁴	im Knoten 1
	$W_{\omega,M,min}$	-10962.40	cm ⁴	im Knoten 4
Torsionswiderstandsmoment	W_t	0.00	cm ³	
Querschnittsstrecken	r_y	0.86	cm	

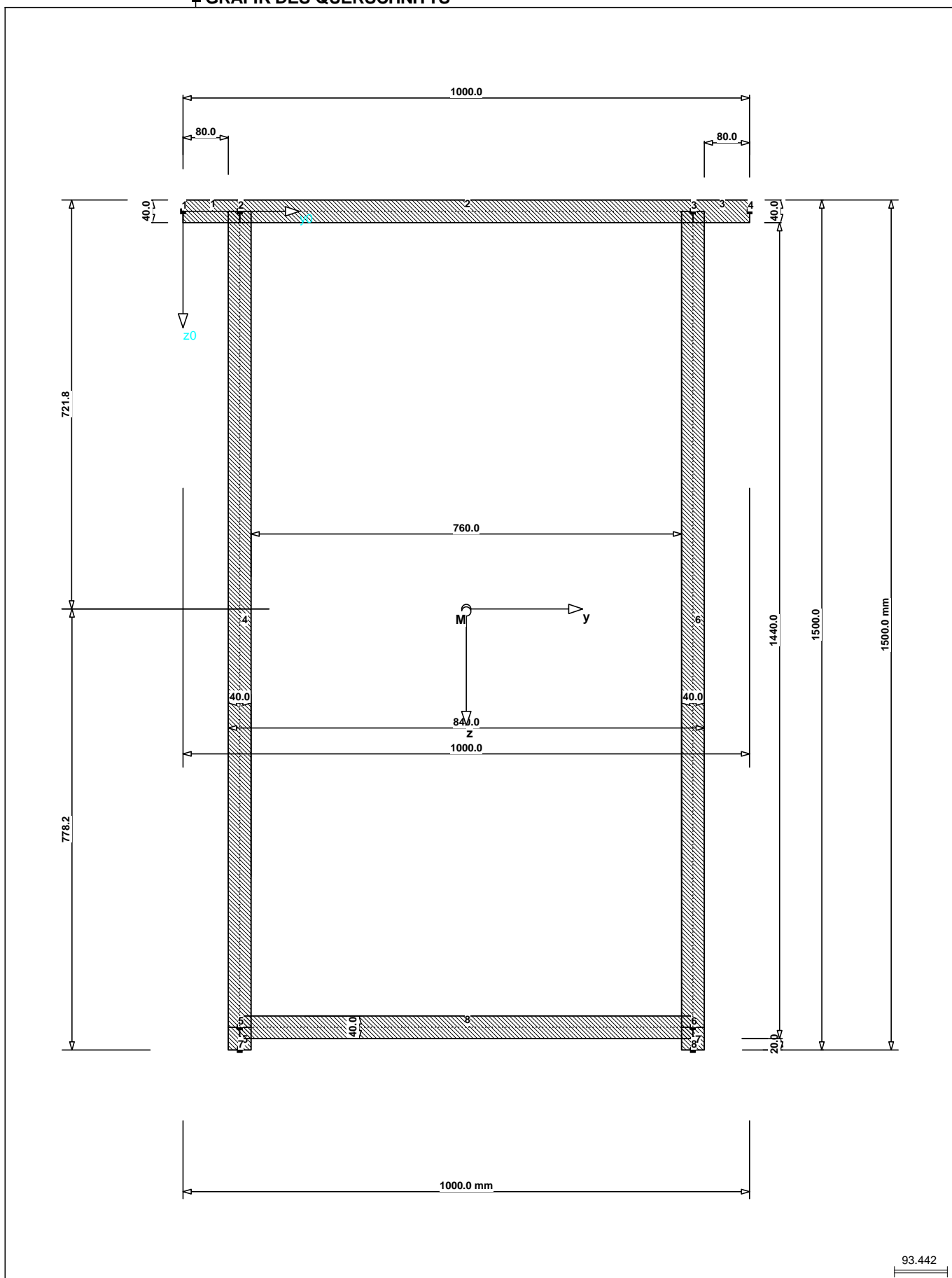
■ QUERSCHNITTSKENNWERTE

Bezeichnung	Symbol	Größe	Einheit	Kommentar
Querschnittsstrecken	$r_{M,z}$	-0.84	cm	
Abklingfaktor	λ_M	0.455696	1/cm	
Max. plastische Biegemomente	$M_{pl,y,d}$	12846.30	kNm	ohne Interaktionsbeziehungen!
	$M_{pl,z,d}$	13384.10	kNm	
Max. plast. Widerstandsmomente	$W_{pl,y}$	39252.50	cm ³	$\alpha_{pl,y}: 1.26$
	$W_{pl,z}$	40896.00	cm ³	$\alpha_{pl,z}: 1.38$
Plastische Schubflächen	$A_{pl,y}$	720.00	cm ²	
	$A_{pl,z}$	644.00	cm ²	
Lage der Flächenhalbierenden	$f_{y,0}$	50.00	cm	bezogen auf den Nullpunkt
	$f_{z,0}$	35.25	cm	
Plastische Querkräfte	$V_{pl,y,d}$	13604.50	kN	
	$V_{pl,z,d}$	12168.40	kN	
Plastische Normalkraft	$N_{pl,d}$	43592.70	kN	
Knicklinien	KL_y	c		
	KL_z	c		

■ INHALT

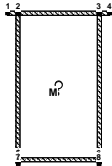
Inhalt	1
Grafik des Querschnitts	2
Querschnittsdaten	
Basisangaben	3
Knoten	3
Materialdaten	3
Elemente	3
Ergebnisse	
Querschnittskennwerte	3

■ GRAFIK DES QUERSCHNITTS



■ BASISANGABEN

Bezeichnung	Symbol	Einstellung
Querschnittstyp	Typ	Einzelquerschnitt
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1.10
Korrekturfaktor für I_t	Faktor I_t	1.00
Knicklinie Y	$KL_{y/u}$	c
Knicklinie Z	$KL_{z/v}$	c
Spannungen ermitteln	Typ	An ungünstigsten Element-Kanten
Kommentar		

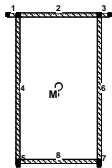


■ KNOTEN

Knoten Nr.	Koordinaten-System	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten		Hauptachsen-Koordinaten	
			y_0 [mm]	z_0 [mm]	u [mm]	v [mm]
1	Kartesisch	-	0.0	0.0	-500.0	-701.8
2	Kartesisch	-	100.0	0.0	-400.0	-701.8
3	Kartesisch	-	900.0	0.0	400.0	-701.8
4	Kartesisch	-	1000.0	0.0	500.0	-701.8
5	Kartesisch	-	100.0	1440.0	-400.0	738.2
6	Kartesisch	-	900.0	1440.0	400.0	738.2
7	Kartesisch	-	100.0	1480.0	-400.0	778.2
8	Kartesisch	-	900.0	1480.0	400.0	778.2

■ MATERIALDATEN

Material Nr.	Material Bezeichnung	E-Modul [kN/cm ²]	G-Modul [kN/cm ²]	Sp. Gewicht [kN/m ³]	$f_{y,k}$ [kN/cm ²]
2	S 355	21000.000	8100.000	7.850E+01	36.0



■ ELEMENTE

Element Nr.	Material Nr.	Knoten		Dicke t [mm]	Länge [mm]	Fläche [mm ²]
		Anfang	Ende			
1	2	1	2	40.0	100.0	4000.0
2	2	2	3	40.0	800.0	32000.0
3	2	3	4	40.0	100.0	4000.0
4	2	2	5	40.0	1440.0	57600.0
5	2	5	7	40.0	40.0	1600.0
6	2	3	6	40.0	1440.0	57600.0
7	2	6	8	40.0	40.0	1600.0
8	2	5	6	40.0	800.0	32000.0

■ QUERSCHNITTSKENNWERTE

Bezeichnung	Symbol	Größe	Einheit	Kommentar
Querschnittsfläche	A	1872.00	cm ²	
Schubflächen	A_y	472.45	cm ²	
	A_z	1058.47	cm ²	
Lage des Schwerpunktes	$y_{S,0}$	50.00	cm	bezogen auf den Nullpunkt
	$z_{S,0}$	70.18	cm	
Trägheitsmomente	I_y	5729540.00	cm ⁴	bezogen auf die Schwerachsen y, z
	I_z	2350020.00	cm ⁴	
Hauptachsenehrehwinkel	α	0.00	°	positiv im Uhrzeigersinn
Polare Trägheitsmomente	I_p	8079560.00	cm ⁴	
	$I_{p,M}$	8079840.00	cm ⁴	bezogen auf den Schubmittelpunkt M
Trägheitsradien	i_y	55.32	cm	bezogen auf den Schwerpunkt S
	i_z	35.43	cm	
Polare Trägheitsradien	i_p	65.70	cm	
	$i_{p,M}$	65.70	cm	bezogen auf den Schubmittelpunkt M
Wölbradius	$i_{\omega,M}$	8.12	cm	
Querschnittsgewicht	G	1469.520	kg/m	
Querschnittsumfang	U	936.00	cm	einschl. Zellen-Innenseiten
Außerer Querschnittsumfang	$U_{\text{außen}}$	0.00	cm	
Innerer Querschnittsumfang	U_{innen}	0.00	cm	
Torsionsträgheitsmoment	I_t	4749710.00	cm ⁴	
- Anteil aus St. Venant	$I_{t, \text{St. Ven.}}$	10051.70	cm ⁴	
- Anteil aus Bredt	$I_{t, \text{Bredt.}}$	4739660.00	cm ⁴	
Sekundäres Torsionsträgheitsmoment	$I_{t,s}$	401394.00	cm ⁴	
Lage des Schubmittelpunktes	$y_{M,0}$	50.00	cm	bezogen auf den Nullpunkt
	$z_{M,0}$	70.61	cm	
	y_M	0.00	cm	bezogen auf den Schwerpunkt S
	z_M	0.43	cm	
Wölbwiderstände	$I_{\omega,S}$	533667008.00	cm ⁶	bezogen auf den Schwerpunkt S
	$I_{\omega,M}$	532872000.00	cm ⁶	bezogen auf den Schubmittelpunkt M
	$r_{\omega,M}$	0.00	cm	
Widerstandsmomente	$W_{y,max}$	73625.10	cm ³	im Abstand 778.2 mm
	$W_{y,min}$	-79379.10	cm ³	im Abstand -721.8 mm
	$W_{z,max}$	47000.30	cm ³	im Abstand 500.0 mm
	$W_{z,min}$	-47000.30	cm ³	im Abstand -500.0 mm
Wölbwiderstandsmomente	$W_{\omega,M,max}$	361686.00	cm ⁴	im Knoten 1
	$W_{\omega,M,min}$	-361686.00	cm ⁴	im Knoten 4
Torsionswiderstandsmoment	W_t	0.00	cm ³	
Querschnittsstrecken	r_y	2.05	cm	

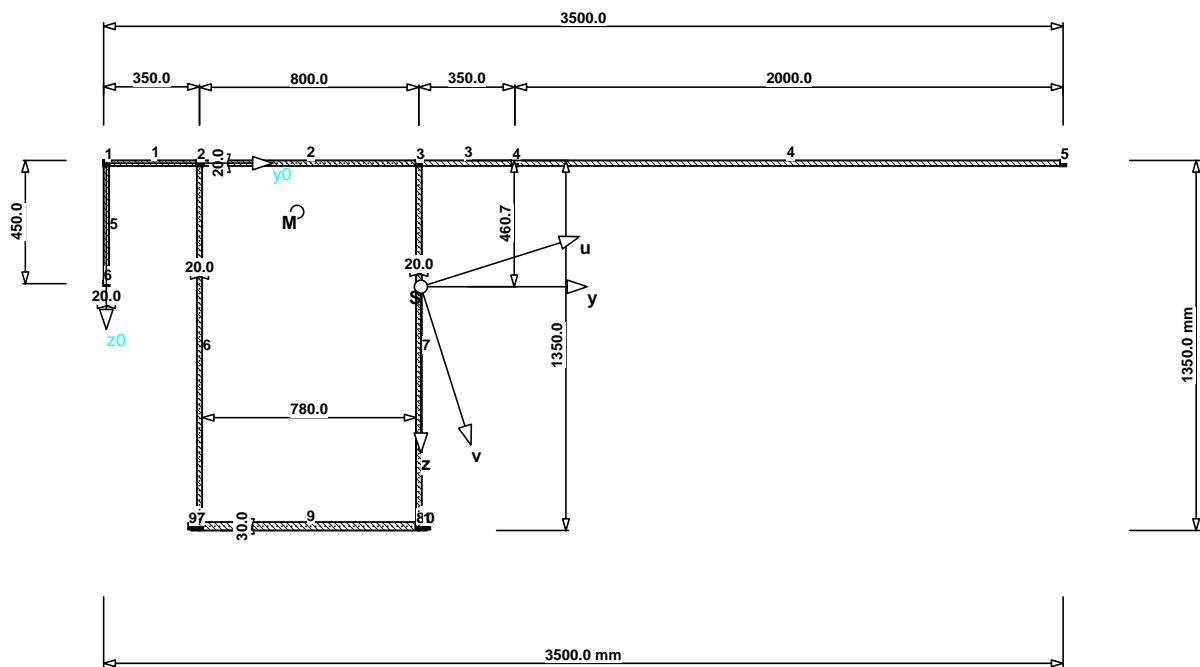
■ QUERSCHNITTSKENNWERTE

Bezeichnung	Symbol	Größe	Einheit	Kommentar
Querschnittsstrecken	$r_{M,z}$	1.27	cm	
Abklingfaktor	λ_M	0.058635	1/cm	
Max. plastische Biegemomente	$M_{pl,y,d}$	30541.10	kNm	ohne Interaktionsbeziehungen!
	$M_{pl,z,d}$	20453.20	kNm	
Max. plast. Widerstandsmomente	$W_{pl,y}$	93320.00	cm ³	$\alpha_{pl,y}: 1.27$
	$W_{pl,z}$	62496.00	cm ³	$\alpha_{pl,z}: 1.33$
Plastische Schubflächen	$A_{pl,y}$	720.00	cm ²	
	$A_{pl,z}$	1184.00	cm ²	
Lage der Flächenhalbierenden	$f_{y,0}$	50.00	cm	bezogen auf den Nullpunkt
	$f_{z,0}$	69.00	cm	
Plastische Querkräfte	$V_{pl,y,d}$	13604.50	kN	
	$V_{pl,z,d}$	22371.80	kN	
Plastische Normalkraft	$N_{pl,d}$	61265.50	kN	
Knicklinien	KL_y	c		
	KL_z	c		

■ INHALT

Inhalt	1
Grafik des Querschnitts	2
Querschnittsdaten	
Basisangaben	3
Knoten	3
Materialdaten	3
Elemente	3
Ergebnisse	
Querschnittskennwerte	3

■ GRAFIK DES QUERSCHNITTS

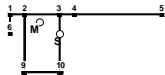


275.840

■ BASISANGABEN

Bezeichnung	Symbol	Einstellung
Querschnittstyp	Typ	Einzelquerschnitt
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1.10
Korrekturfaktor für I_t	Faktor I_t	1.00
Knicklinie Y	$KL_{y/u}$	c
Knicklinie Z	$KL_{z/v}$	c
Spannungen ermitteln	Typ	An ungünstigsten Element-Kanten
Kommentar		

■ KNOTEN

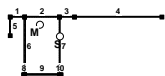


Knoten Nr.	Koordinaten-System	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten		Hauptachsen-Koordinaten	
			y_0 [mm]	z_0 [mm]	u [mm]	v [mm]
1	Kartesisch	-	0.0	0.0	-958.7	-775.3
2	Kartesisch	-	340.0	0.0	-634.5	-672.9
3	Kartesisch	-	1140.0	0.0	128.4	-432.1
4	Kartesisch	-	1490.0	0.0	462.2	-326.7
5	Kartesisch	-	3490.0	0.0	2369.4	275.5
6	Kartesisch	-	0.0	440.0	-1091.2	-355.7
7	Kartesisch	-	340.0	1325.0	-1033.4	590.6
8	Kartesisch	-	1140.0	1325.0	-270.5	831.5
9	Kartesisch	-	310.0	1325.0	-1062.0	581.6
10	Kartesisch	-	1170.0	1325.0	-241.9	840.5

■ MATERIALDATEN

Material Nr.	Material Bezeichnung	E-Modul [kN/cm ²]	G-Modul [kN/cm ²]	Sp. Gewicht [kN/m ³]	$f_{y,k}$ [kN/cm ²]
2	S 355	21000.000	8100.000	7.850E+01	36.0

■ ELEMENTE



Element Nr.	Material Nr.	Knoten		Dicke t [mm]	Länge [mm]	Fläche [mm ²]
		Anfang	Ende			
1	2	1	2	20.0	340.0	6800.0
2	2	2	3	20.0	800.0	16000.0
3	2	3	4	20.0	350.0	7000.0
4	2	4	5	20.0	2000.0	40000.0
5	2	1	6	20.0	440.0	8800.0
6	2	2	7	20.0	1325.0	26500.0
7	2	3	8	20.0	1325.0	26500.0
8	2	9	7	30.0	30.0	900.0
9	2	7	8	30.0	800.0	24000.0
10	2	8	10	30.0	30.0	900.0

■ QUERSCHNITTSKENNWERTE

Bezeichnung	Symbol	Größe	Einheit	Kommentar
Querschnittsfläche	A	1563.00	cm ²	
Schubflächen	A_y	622.83	cm ²	
	A_z	330.02	cm ²	
	A_u	638.97	cm ²	
	A_v	466.70	cm ²	
Lage des Schwerpunktes	$y_{S,0}$	114.76	cm	bezogen auf den Nullpunkt
	$z_{S,0}$	45.07	cm	
Trägheitsmomente	I_y	4409610.00	cm ⁴	bezogen auf die Schwerachsen y, z
	I_z	13005500.00	cm ⁴	
	I_{yz}	-3014500.00	cm ⁴	
Hauptachsenehrehwinkel	α	-17.52	°	positiv im Uhrzeigersinn
Hauptträgheitsmomente	I_u	3457830.00	cm ⁴	bezogen auf die Hauptachsen u, v im S
	I_v	13957300.00	cm ⁴	
	I_p	17415100.00	cm ⁴	
Polare Trägheitsmomente	$I_{p,M}$	21740500.00	cm ⁴	bezogen auf den Schubmittelpunkt M
Trägheitsradien	i_y	53.12	cm	bezogen auf den Schwerpunkt S
	i_z	91.22	cm	
	i_{yz}	43.92	cm	
Hauptträgheitsradien	i_u	47.04	cm	bezogen auf die Hauptachsen u, v im S
	i_v	94.50	cm	
	i_p	105.56	cm	
Polare Trägheitsradien	$i_{p,M}$	117.94	cm	bezogen auf den Schubmittelpunkt M
Wölbradius	$i_{o,M}$	15.20	cm	
Querschnittsgewicht	G	1226.960	kg/m	
Querschnittsumfang	U	1480.00	cm	einschl. Zellen-Innenseiten
Äußerer Querschnittsumfang	$U_{\text{außen}}$	0.00	cm	
Innerer Querschnittsumfang	U_{innen}	0.00	cm	
Torsionsträgheitsmoment	I_t	2259110.00	cm ⁴	
- Anteil aus St. Venant	$I_{t, \text{St.Ven.}}$	2509.71	cm ⁴	
- Anteil aus Bredt	$I_{t, \text{Bredt.}}$	2256600.00	cm ⁴	
Sekundäres Torsionsträgheitsmoment	$I_{t,s}$	1279550.00	cm ⁴	
Lage des Schubmittelpunktes	$y_{M,0}$	69.59	cm	bezogen auf den Nullpunkt
	$z_{M,0}$	17.75	cm	
	y_M	-45.18	cm	bezogen auf den Schwerpunkt S
	z_M	-27.31	cm	

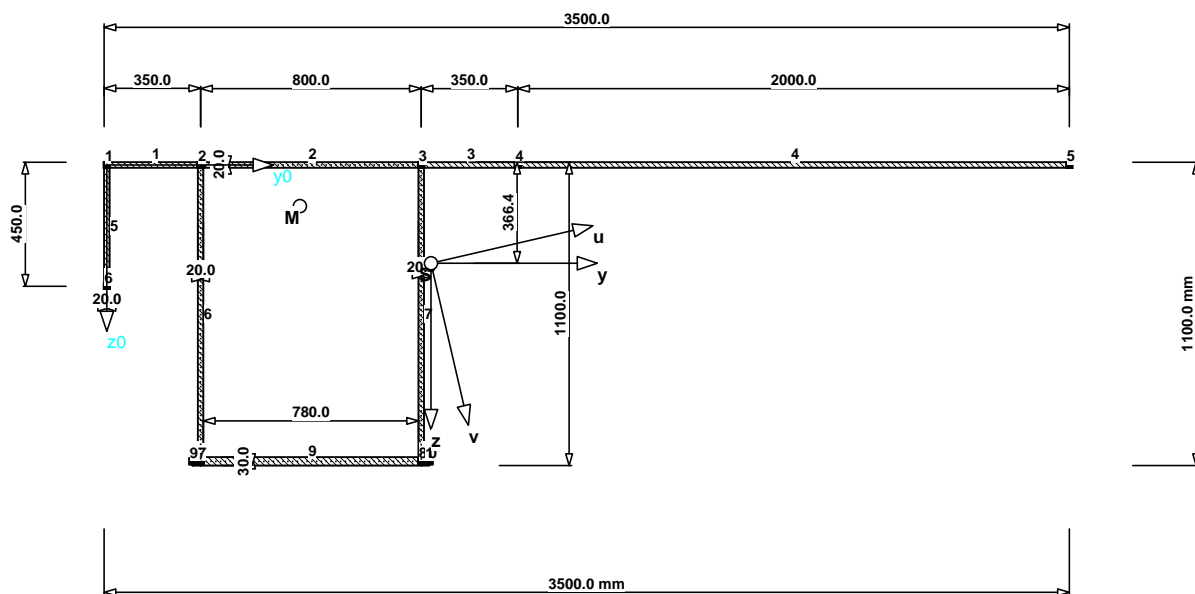
■ QUERSCHNITTSKENNWERTE

Bezeichnung	Symbol	Größe	Einheit	Kommentar
Wölbwiderstände	$I_{\omega, S}$	3.10042e10	cm ⁶	bezogen auf den Schwerpunkt S
	$I_{\omega, M}$	5025449984	cm ⁶	bezogen auf den Schubmittelpunkt M
Widerstandsmomente	$r_{\omega, M}$	-3.17		
	$W_{u, max}$	40452.00	cm ³	im Abstand 854.8 mm
	$W_{u, min}$	-44058.60	cm ³	im Abstand -784.8 mm
	$W_{v, max}$	58832.00	cm ³	im Abstand 2372.4 mm
	$W_{v, min}$	-126805.00	cm ³	im Abstand -1100.7 mm
	$W_{y, max}$	49583.70	cm ³	im Abstand 889.3 mm
	$W_{y, min}$	-95720.50	cm ³	im Abstand -460.7 mm
	$W_{z, max}$	55522.50	cm ³	im Abstand 2342.4 mm
	$W_{z, min}$	-112347.00	cm ³	im Abstand -1157.6 mm
	Wölbwiderstandsmomente	$W_{\omega, M, max}$	1508330.00	cm ⁴
$W_{\omega, M, min}$		-1359020.00	cm ⁴	im Knoten 9
Torsionswiderstandsmoment	W_t	0.00	cm ³	
Querschnittsstrecken	r_u	34.96	cm	
	r_v	77.28	cm	
	$r_{M, u}$	146.25	cm	
	$r_{M, v}$	114.41	cm	
Abklingfaktor	λ_M	0.013168	1/cm	
Max. plastische Biegemomente	$M_{pl, y, d}$	22627.70	kNm	ohne Interaktionsbeziehungen!
	$M_{pl, z, d}$	35648.30	kNm	
Max. plast. Widerstandsmomente	$M_{pl, u, d}$	20450.60	kNm	ohne Interaktionsbeziehungen!
	$M_{pl, v, d}$	37360.00	kNm	
Plastische Schubflächen	$W_{pl, y}$	69140.10	cm ³	$\alpha_{pl, y}: 1.39$
	$W_{pl, z}$	108925.00	cm ³	$\alpha_{pl, z}: 1.96$
	$W_{pl, u}$	62488.00	cm ³	$\alpha_{pl, u}: 1.54$
	$W_{pl, v}$	114156.00	cm ³	$\alpha_{pl, v}: 1.94$
Lage der Flächenhalbierenden	$A_{pl, y}$	956.00	cm ²	
	$A_{pl, z}$	618.00	cm ²	
	$A_{pl, u}$	1097.71	cm ²	
	$A_{pl, v}$	877.16	cm ²	
Plastische Querkräfte	$f_{y, 0}$	105.50	cm	bezogen auf den Nullpunkt
	$f_{z, 0}$	14.75	cm	
	f_u	-23.03	cm	
	f_v	-4.45	cm	
Plastische Normalkraft	$V_{pl, y, d}$	18063.70	kN	
	$V_{pl, z, d}$	11677.20	kN	
	$V_{pl, u, d}$	20741.30	kN	
	$V_{pl, v, d}$	16574.00	kN	
Knicklinien	$N_{pl, d}$	51152.70	kN	
	$KL_{y/u}$		c	
	$KL_{z/v}$		c	

■ INHALT

Inhalt	1
Grafik des Querschnitts	2
Querschnittsdaten	
Basisangaben	3
Knoten	3
Materialdaten	3
Elemente	3
Ergebnisse	
Querschnittskennwerte	3

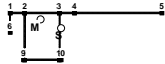
■ GRAFIK DES QUERSCHNITTS



■ BASISANGABEN

Bezeichnung	Symbol	Einstellung
Querschnittstyp	Typ	Einzelquerschnitt
Teilsicherheitsbeiwert	γ_M	1.10
Korrekturfaktor für I_t	Faktor I_t	1.00
Knicklinie Y	$KL_{y/u}$	c
Knicklinie Z	$KL_{z/v}$	c
Spannungen ermitteln	Typ	An ungünstigsten Element-Kanten
Kommentar		

■ KNOTEN

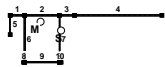


Knoten Nr.	Koordinaten-System	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten		Hauptachsen-Koordinaten	
			y_0 [mm]	z_0 [mm]	u [mm]	v [mm]
1	Kartesisch	-	0.0	0.0	-1065.2	-611.7
2	Kartesisch	-	340.0	0.0	-733.9	-535.2
3	Kartesisch	-	1140.0	0.0	45.6	-355.2
4	Kartesisch	-	1490.0	0.0	386.6	-276.5
5	Kartesisch	-	3490.0	0.0	2335.4	173.3
6	Kartesisch	-	0.0	440.0	-1164.2	-182.9
7	Kartesisch	-	340.0	1075.0	-975.7	512.3
8	Kartesisch	-	1140.0	1075.0	-196.2	692.2
9	Kartesisch	-	310.0	1075.0	-1004.9	505.5
10	Kartesisch	-	1170.0	1075.0	-167.0	699.0

■ MATERIALDATEN

Material Nr.	Material Bezeichnung	E-Modul [kN/cm ²]	G-Modul [kN/cm ²]	Sp. Gewicht [kN/m ³]	$f_{y,k}$ [kN/cm ²]
2	S 355	21000.000	8100.000	7.850E+01	36.0

■ ELEMENTE



Element Nr.	Material Nr.	Knoten		Dicke t [mm]	Länge [mm]	Fläche [mm ²]
		Anfang	Ende			
1	2	1	2	20.0	340.0	6800.0
2	2	2	3	20.0	800.0	16000.0
3	2	3	4	20.0	350.0	7000.0
4	2	4	5	20.0	2000.0	40000.0
5	2	1	6	20.0	440.0	8800.0
6	2	2	7	20.0	1075.0	21500.0
7	2	3	8	20.0	1075.0	21500.0
8	2	9	7	30.0	30.0	900.0
9	2	7	8	30.0	800.0	24000.0
10	2	8	10	30.0	30.0	900.0

■ QUERSCHNITTSKENNWERTE

Bezeichnung	Symbol	Größe	Einheit	Kommentar
Querschnittsfläche	A	1463.00	cm ²	
Schubflächen	A_y	631.83	cm ²	
	A_z	243.71	cm ²	
	A_u	643.02	cm ²	
	A_v	364.06	cm ²	
Lage des Schwerpunktes	$y_{S,0}$	117.55	cm	bezogen auf den Nullpunkt
	$z_{S,0}$	35.64	cm	
Trägheitsmomente	I_y	2768490.00	cm ⁴	bezogen auf die Schwerachsen y, z
	I_z	12668000.00	cm ⁴	
	I_{yz}	-2413830.00	cm ⁴	
Hauptachsenehrehwinkel	α	-13.00	°	positiv im Uhrzeigersinn
Hauptträgheitsmomente	I_u	2211280.00	cm ⁴	bezogen auf die Hauptachsen u, v im S
	I_v	13225200.00	cm ⁴	
Polare Trägheitsmomente	I_p	15436400.00	cm ⁴	
	$I_{p,M}$	19324000.00	cm ⁴	bezogen auf den Schubmittelpunkt M
Trägheitsradien	i_y	43.50	cm	bezogen auf den Schwerpunkt S
	i_z	93.05	cm	
	i_{yz}	40.62	cm	
Hauptträgheitsradien	i_u	38.88	cm	bezogen auf die Hauptachsen u, v im S
	i_v	95.08	cm	
Polare Trägheitsradien	i_p	102.72	cm	
	$i_{p,M}$	114.93	cm	bezogen auf den Schubmittelpunkt M
Wölbradius	$i_{o,M}$	12.34	cm	
Querschnittsgewicht	G	1148.460	kg/m	
Querschnittsumfang	U	1380.00	cm	einschl. Zellen-Innenseiten
Äußerer Querschnittsumfang	$U_{\text{außen}}$	0.00	cm	
Innerer Querschnittsumfang	U_{innen}	0.00	cm	
Torsionsträgheitsmoment	I_t	1700980.00	cm ⁴	
- Anteil aus St. Venant	$I_{t, \text{St. Ven.}}$	2376.37	cm ⁴	
- Anteil aus Bredt	$I_{t, \text{Bredt.}}$	1698600.00	cm ⁴	
Sekundäres Torsionsträgheitsmoment	$I_{t,s}$	888930.00	cm ⁴	
Lage des Schubmittelpunktes	$y_{M,0}$	70.03	cm	bezogen auf den Nullpunkt
	$z_{M,0}$	14.95	cm	
	y_M	-47.51	cm	bezogen auf den Schwerpunkt S
	z_M	-20.69	cm	

■ QUERSCHNITTSKENNWERTE

Bezeichnung	Symbol	Größe	Einheit	Kommentar
Wölbwiderstände	$I_{\omega, S}$	1.92382e10	cm ⁶	bezogen auf den Schwerpunkt S
	$I_{\omega, M}$	2942810112	cm ⁶	bezogen auf den Schubmittelpunkt M
Widerstandsmomente	$r_{\omega, M}$	-3.98		
	$W_{u, max}$	30988.70	cm ³	im Abstand 713.6 mm
	$W_{u, min}$	-35585.30	cm ³	im Abstand -621.4 mm
	$W_{v, max}$	56575.20	cm ³	im Abstand 2337.6 mm
	$W_{v, min}$	-112659.00	cm ³	im Abstand -1173.9 mm
	$W_{y, max}$	37738.10	cm ³	im Abstand 733.6 mm
	$W_{y, min}$	-75560.40	cm ³	im Abstand -366.4 mm
	$W_{z, max}$	54732.50	cm ³	im Abstand 2314.5 mm
Wölbwiderstandsmomente	$W_{\omega, M, max}$	1174300.00	cm ⁴	im Knoten 10
	$W_{\omega, M, min}$	-1043680.00	cm ⁴	im Knoten 9
Torsionswiderstandsmoment	W_t	0.00	cm ³	
Querschnittsstrecken	r_u	18.43	cm	
	r_v	76.40	cm	
	$r_{M, u}$	158.88	cm	
	$r_{M, v}$	80.28	cm	
Abklingfaktor	λ_M	0.014931	1/cm	
Max. plastische Biegemomente	$M_{pl, y, d}$	16985.00	kNm	ohne Interaktionsbeziehungen!
	$M_{pl, z, d}$	34339.20	kNm	
Max. plast. Widerstandsmomente	$M_{pl, u, d}$	15639.70	kNm	ohne Interaktionsbeziehungen!
	$M_{pl, v, d}$	35335.00	kNm	
Plastische Schubflächen	$W_{pl, y}$	51898.50	cm ³	$\alpha_{pl, y}: 1.38$
	$W_{pl, z}$	104925.00	cm ³	$\alpha_{pl, z}: 1.92$
	$W_{pl, u}$	47788.00	cm ³	$\alpha_{pl, u}: 1.54$
	$W_{pl, v}$	107968.00	cm ³	$\alpha_{pl, v}: 1.91$
Lage der Flächenhalbierenden	$A_{pl, y}$	956.00	cm ²	
	$A_{pl, z}$	518.00	cm ²	
	$A_{pl, u}$	1048.02	cm ²	
	$A_{pl, v}$	719.76	cm ²	
Plastische Querkräfte	$f_{y, 0}$	105.50	cm	bezogen auf den Nullpunkt
	$f_{z, 0}$	6.42	cm	
	f_u	-18.97	cm	
	f_v	-6.01	cm	
Plastische Normalkraft	$V_{pl, y, d}$	18063.70	kN	
	$V_{pl, z, d}$	9787.66	kN	
	$V_{pl, u, d}$	19802.40	kN	
	$V_{pl, v, d}$	13599.90	kN	
Knicklinien	$N_{pl, d}$	47880.00	kN	
	$KL_{y/u}$		c	
	$KL_{z/v}$		c	

Anhang C

Eingabedaten und Berechnung einer Netzgeometrie in RSTAB

Projekt: **Konst. Hängeneigung** Position: **KH_ALT_36_54_neu_Ausdruck**
kprotokoll

INHALT

Basisangaben	1
Struktur	1
Knoten	1
Materialien	3
Querschnitte	3
Stäbe	3

INHALT

Grafik	Knotenlager	5
	Stabsätze	5
	Strukturdaten --Y	6
	Belastung	7
	Lastfälle	7
	Lastfallkombinationen	14

BASISANGABEN

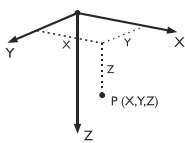
BERECHNUNGSART

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Statik | <input checked="" type="checkbox"/> Theorie I. Ordnung (linear) |
| <input type="checkbox"/> Nachweis | <input type="checkbox"/> Theorie II. Ordnung (nichtlinear) |
| <input type="checkbox"/> Dynamik | <input type="checkbox"/> Theorie III. Ordnung (nichtlinear nach Newton-Raphson) |
| | <input type="checkbox"/> Durchschlagproblem |
| | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Lastfälle | <input type="checkbox"/> Bemessungsfälle |
| <input type="checkbox"/> LF-Gruppen | <input type="checkbox"/> Dynamikfälle |
| <input checked="" type="checkbox"/> LF-Kombinationen | <input type="checkbox"/> Knickfiguren |

STRUKTURKENNWERTE

- | | | |
|---|------------------|--------------------|
| <input type="checkbox"/> 1D-Durchlaufträger | 151 Knoten | 187 Stäbe |
| <input checked="" type="checkbox"/> 2D-Stabwerk | 2 Materialien | 0 Seilstäbe |
| <input type="checkbox"/> 3D-Stabwerk | 3 Querschnitte | 0 Voutenstäbe |
| <input type="checkbox"/> Trägerrost | 0 Stabendgelenke | 0 El. gebet. Stäbe |
| | 0 Stabteilungen | 1 Stabzüge |

Kartesisch



KNOTEN

Knoten Nr.	Bezugs-Knoten	Koordinaten System	Knotenkoordinaten		Kommentar
			X [m]	Z [m]	
1	-	Kartesisch	0.000	-0.460	
2	-	Kartesisch	0.000	-0.001	
3	-	Kartesisch	112.500	-0.460	
4	-	Kartesisch	112.500	-0.001	
5	-	Kartesisch	6.707	-0.460	
6	-	Kartesisch	7.541	-5.187	
7	-	Kartesisch	11.096	-0.460	
8	-	Kartesisch	12.890	-8.298	
9	-	Kartesisch	15.447	-0.460	
10	-	Kartesisch	18.437	-11.040	
11	-	Kartesisch	19.783	-0.460	
12	-	Kartesisch	24.156	-13.402	
13	-	Kartesisch	24.129	-0.460	
14	-	Kartesisch	30.021	-15.373	
15	-	Kartesisch	28.511	-0.460	
16	-	Kartesisch	36.006	-16.943	
17	-	Kartesisch	32.959	-0.460	
18	-	Kartesisch	42.083	-18.105	
19	-	Kartesisch	37.505	-0.460	
20	-	Kartesisch	48.224	-18.855	
21	-	Kartesisch	42.183	-0.460	
22	-	Kartesisch	54.402	-19.189	
23	-	Kartesisch	47.037	-0.460	
24	-	Kartesisch	60.588	-19.104	
25	-	Kartesisch	52.115	-0.460	
26	-	Kartesisch	66.755	-18.603	
27	-	Kartesisch	57.476	-0.460	
28	-	Kartesisch	72.873	-17.687	
29	-	Kartesisch	63.193	-0.460	
30	-	Kartesisch	78.916	-16.359	
31	-	Kartesisch	69.356	-0.460	
32	-	Kartesisch	84.855	-14.627	
33	-	Kartesisch	76.080	-0.460	
34	-	Kartesisch	90.664	-12.499	
35	-	Kartesisch	83.517	-0.460	
36	-	Kartesisch	96.316	-9.983	
37	-	Kartesisch	91.865	-0.460	
38	-	Kartesisch	101.786	-7.091	
39	-	Kartesisch	101.398	-0.460	
40	-	Kartesisch	107.047	-3.837	
41	-	Kartesisch	105.793	-0.460	
42	-	Kartesisch	104.960	-5.187	
43	-	Kartesisch	101.404	-0.460	
44	-	Kartesisch	99.610	-8.298	
45	-	Kartesisch	97.054	-0.460	
46	-	Kartesisch	94.064	-11.040	
47	-	Kartesisch	92.718	-0.460	
48	-	Kartesisch	88.345	-13.402	
49	-	Kartesisch	88.372	-0.460	
50	-	Kartesisch	82.480	-15.373	

Projekt: **Konst. Hängerneigung** Position: **KH_ALT_36_54_neu_Ausdruc**
kprotokoll

■ KNOTEN

Knoten Nr.	Bezugs-Knoten	Koordinaten System	Knotenkoordinaten		Kommentar
			X [m]	Z [m]	
51	-	Kartesisch	83.989	-0.460	
52	-	Kartesisch	76.495	-16.943	
53	-	Kartesisch	79.541	-0.460	
54	-	Kartesisch	70.418	-18.105	
55	-	Kartesisch	74.996	-0.460	
56	-	Kartesisch	64.277	-18.855	
57	-	Kartesisch	70.317	-0.460	
58	-	Kartesisch	58.099	-19.189	
59	-	Kartesisch	65.464	-0.460	
60	-	Kartesisch	51.912	-19.104	
61	-	Kartesisch	60.386	-0.460	
62	-	Kartesisch	45.746	-18.603	
63	-	Kartesisch	55.025	-0.460	
64	-	Kartesisch	39.627	-17.687	
65	-	Kartesisch	49.308	-0.460	
66	-	Kartesisch	33.585	-16.359	
67	-	Kartesisch	43.145	-0.460	
68	-	Kartesisch	27.645	-14.627	
69	-	Kartesisch	36.420	-0.460	
70	-	Kartesisch	21.836	-12.499	
71	-	Kartesisch	28.984	-0.460	
72	-	Kartesisch	16.184	-9.983	
73	-	Kartesisch	20.636	-0.460	
74	-	Kartesisch	10.715	-7.091	
75	-	Kartesisch	11.103	-0.460	
76	-	Kartesisch	5.453	-3.837	
77	-	Kartesisch	2.488	-2.315	
78	-	Kartesisch	5.037	-4.086	
79	-	Kartesisch	110.013	-2.315	
80	-	Kartesisch	107.464	-4.086	
81	-	Kartesisch	7.644	-5.769	
82	-	Kartesisch	10.306	-7.364	
83	-	Kartesisch	13.021	-8.868	
84	-	Kartesisch	15.785	-10.280	
85	-	Kartesisch	18.594	-11.598	
86	-	Kartesisch	21.447	-12.820	
87	-	Kartesisch	24.339	-13.945	
88	-	Kartesisch	27.268	-14.972	
89	-	Kartesisch	30.229	-15.900	
90	-	Kartesisch	33.221	-16.728	
91	-	Kartesisch	36.238	-17.454	
92	-	Kartesisch	39.278	-18.077	
93	-	Kartesisch	42.338	-18.598	
94	-	Kartesisch	45.413	-19.016	
95	-	Kartesisch	48.500	-19.329	
96	-	Kartesisch	51.597	-19.539	
97	-	Kartesisch	54.699	-19.643	
98	-	Kartesisch	57.802	-19.643	
99	-	Kartesisch	60.904	-19.539	
100	-	Kartesisch	64.000	-19.329	
101	-	Kartesisch	67.088	-19.016	
102	-	Kartesisch	70.163	-18.598	
103	-	Kartesisch	73.222	-18.077	
104	-	Kartesisch	76.263	-17.454	
105	-	Kartesisch	79.280	-16.728	
106	-	Kartesisch	82.271	-15.900	
107	-	Kartesisch	85.233	-14.972	
108	-	Kartesisch	88.161	-13.945	
109	-	Kartesisch	91.054	-12.820	
110	-	Kartesisch	93.906	-11.598	
111	-	Kartesisch	96.716	-10.280	
112	-	Kartesisch	99.480	-8.868	
113	-	Kartesisch	102.194	-7.364	
114	-	Kartesisch	104.857	-5.769	
115	-	Kartesisch	6.707	-0.001	
116	-	Kartesisch	11.096	-0.001	
117	-	Kartesisch	11.103	-0.001	
118	-	Kartesisch	15.447	-0.001	
119	-	Kartesisch	19.783	-0.001	
120	-	Kartesisch	20.636	-0.001	
121	-	Kartesisch	24.129	-0.001	
122	-	Kartesisch	28.511	-0.001	
123	-	Kartesisch	28.984	-0.001	
124	-	Kartesisch	32.959	-0.001	
125	-	Kartesisch	36.420	-0.001	
126	-	Kartesisch	37.505	-0.001	
127	-	Kartesisch	42.183	-0.001	
128	-	Kartesisch	43.145	-0.001	
129	-	Kartesisch	47.037	-0.001	
130	-	Kartesisch	49.308	-0.001	
131	-	Kartesisch	52.115	-0.001	
132	-	Kartesisch	55.025	-0.001	
133	-	Kartesisch	57.476	-0.001	
134	-	Kartesisch	60.386	-0.001	
135	-	Kartesisch	63.193	-0.001	
136	-	Kartesisch	65.464	-0.001	
137	-	Kartesisch	69.356	-0.001	
138	-	Kartesisch	70.317	-0.001	

Projekt: **Konst. Hängerneigung** Position: **KH_ALT_36_54_neu_Ausdruc
kprotokoll**

■ KNOTEN

Knoten Nr.	Bezugs-Knoten	Koordinaten System	Knotenkoordinaten		Kommentar
			X [m]	Z [m]	
139	-	Kartesisch	74.996	-0.001	
140	-	Kartesisch	76.080	-0.001	
141	-	Kartesisch	79.541	-0.001	
142	-	Kartesisch	83.517	-0.001	
143	-	Kartesisch	83.989	-0.001	
144	-	Kartesisch	88.372	-0.001	
145	-	Kartesisch	91.865	-0.001	
146	-	Kartesisch	92.718	-0.001	
147	-	Kartesisch	97.054	-0.001	
148	-	Kartesisch	101.398	-0.001	
149	-	Kartesisch	101.404	-0.001	
150	-	Kartesisch	105.793	-0.001	
151	-	Kartesisch	56.250	-19.660	

■ MATERIALIEN

Material Nr.	Material-Bezeichnung	Elast.-Modul E [kN/cm ²]	Schubmodul G [kN/cm ²]	Sp. Gewicht γ [kN/m ³]	Wärmedehnz. α [1/°C]	Beiwert γ_M [-]
1	Baustahl S 355 DIN 18800:1990-11	21000.00	8100.00	78.50	1.2000E-05	1.100
2	Feinkornbaustahl S 460 N DIN 18800:1990 11	21000.00	8100.00	78.50	1.2000E-05	1.100

RD 130 DUENQ BOGEN_PCD



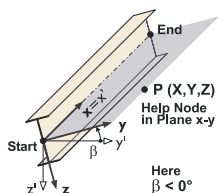
DUENQ VERSTEF...



■ QUERSCHNITTE

Quers. Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	Mater. Nr.	I_T [cm ⁴] A [cm ²]	I_y [cm ⁴] A_y [cm ²]	I_z [cm ⁴] A_z [cm ²]
13	RD 130	2	133.00	1401.98	111.72
14	DUENQ BOGEN_PCD	1	1332.00	1356677.75	521.99
15	DUENQ VERSTEIFUNGSTRÄGER_PCD	1	1563.00	3457830.00	466.70

■ STÄBE



Stab Nr.	Stabtyp	Knoten		Drehung		Querschnitt		Gelenk		Exz. Nr.	Teil. Nr.	Länge L [m]	
		Anfang	Ende	Typ	β [°]	Anfang	Ende	Anfang	Ende				
39	Balkenstab	1	77	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
40	Balkenstab	77	78	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
41	Balkenstab	3	79	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
42	Balkenstab	79	80	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
43	Balkenstab	78	81	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
44	Balkenstab	81	82	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
45	Balkenstab	82	83	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
46	Balkenstab	83	84	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
47	Balkenstab	84	85	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
48	Balkenstab	85	86	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
49	Balkenstab	86	87	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
50	Balkenstab	87	88	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
51	Balkenstab	88	89	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
52	Balkenstab	89	90	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
53	Balkenstab	90	91	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
54	Balkenstab	91	92	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
55	Balkenstab	92	93	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
56	Balkenstab	93	94	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
57	Balkenstab	94	95	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
58	Balkenstab	95	96	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
59	Balkenstab	96	97	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
60	Balkenstab	98	99	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
61	Balkenstab	99	100	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
62	Balkenstab	100	101	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
63	Balkenstab	101	102	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
64	Balkenstab	102	103	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
65	Balkenstab	103	104	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
66	Balkenstab	104	105	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
67	Balkenstab	105	106	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
68	Balkenstab	106	107	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
69	Balkenstab	107	108	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
70	Balkenstab	108	109	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
71	Balkenstab	109	110	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
72	Balkenstab	110	111	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
73	Balkenstab	111	112	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
74	Balkenstab	112	113	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
75	Balkenstab	113	114	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
76	Balkenstab	114	80	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	3.103	XZ
113	Balkenstab	2	115	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	6.707	X

Projekt: **Konst. Hängerneigung** Position: **KH_ALT_36_54_neu_Ausdruc
kprotokoll**

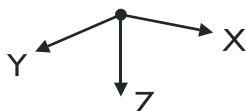
STÄBE

Stab Nr.	Stabtyp	Knoten		Drehung		Querschnitt		Gelenk		Exz. Nr.	Teil. Nr.	Länge L [m]	
		Anfang	Ende	Typ	β [°]	Anfang	Ende	Anfang	Ende				
114	Balkenstab	115	116	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	4.389	X
115	Balkenstab	116	117	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	0.007	X
116	Balkenstab	117	118	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	4.344	X
117	Balkenstab	118	119	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	4.336	X
118	Balkenstab	119	120	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	0.853	X
119	Balkenstab	120	121	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	3.493	X
120	Balkenstab	121	122	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	4.383	X
121	Balkenstab	122	123	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	0.473	X
122	Balkenstab	123	124	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	3.975	X
123	Balkenstab	124	125	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	3.461	X
124	Balkenstab	125	126	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	1.084	X
125	Balkenstab	126	127	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	4.679	X
126	Balkenstab	127	128	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	0.962	X
127	Balkenstab	128	129	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	3.892	X
128	Balkenstab	129	130	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	2.271	X
129	Balkenstab	130	131	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	2.807	X
130	Balkenstab	131	132	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	2.910	X
131	Balkenstab	132	133	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	2.451	X
132	Balkenstab	133	134	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	2.910	X
133	Balkenstab	134	135	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	2.807	X
134	Balkenstab	135	136	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	2.271	X
135	Balkenstab	136	137	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	3.892	X
136	Balkenstab	137	138	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	0.962	X
137	Balkenstab	138	139	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	4.679	X
138	Balkenstab	139	140	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	1.084	X
139	Balkenstab	140	141	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	3.461	X
140	Balkenstab	141	142	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	3.975	X
141	Balkenstab	142	143	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	0.473	X
142	Balkenstab	143	144	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	4.383	X
143	Balkenstab	144	145	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	3.493	X
144	Balkenstab	145	146	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	0.853	X
145	Balkenstab	146	147	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	4.336	X
146	Balkenstab	147	148	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	4.344	X
147	Balkenstab	148	149	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	0.007	X
148	Balkenstab	149	150	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	4.389	X
149	Balkenstab	150	4	Winkel	0.00	15	15	-	-	-	-	6.707	X
186	Balkenstab	97	151	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	1.552	XZ
187	Balkenstab	151	98	Winkel	0.00	14	14	-	-	-	-	1.552	XZ
200	Balkenstab	5	6	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	4.800	XZ
201	Balkenstab	7	8	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	8.041	XZ
202	Balkenstab	9	10	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	10.995	XZ
203	Balkenstab	11	12	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	13.662	XZ
204	Balkenstab	13	14	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	16.035	XZ
205	Balkenstab	15	16	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	18.107	XZ
206	Balkenstab	17	18	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	19.865	XZ
207	Balkenstab	19	20	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	21.291	XZ
208	Balkenstab	21	22	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	22.362	XZ
209	Balkenstab	23	24	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	23.049	XZ
210	Balkenstab	25	26	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	23.313	XZ
211	Balkenstab	27	28	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	23.105	XZ
212	Balkenstab	29	30	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	22.361	XZ
213	Balkenstab	31	32	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	20.999	XZ
214	Balkenstab	33	34	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	18.911	XZ
215	Balkenstab	35	36	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	15.954	XZ
216	Balkenstab	37	38	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	11.933	XZ
217	Balkenstab	39	40	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	6.582	XZ
300	Balkenstab	75	76	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	6.582	XZ
301	Balkenstab	73	74	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	11.933	XZ
302	Balkenstab	71	72	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	15.954	XZ
303	Balkenstab	69	70	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	18.911	XZ
304	Balkenstab	67	68	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	20.999	XZ
305	Balkenstab	65	66	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	22.361	XZ
306	Balkenstab	63	64	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	23.105	XZ
307	Balkenstab	61	62	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	23.313	XZ
308	Balkenstab	59	60	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	23.049	XZ
309	Balkenstab	57	58	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	22.362	XZ
310	Balkenstab	55	56	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	21.291	XZ
311	Balkenstab	53	54	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	19.865	XZ
312	Balkenstab	51	52	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	18.107	XZ
313	Balkenstab	49	50	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	16.035	XZ
314	Balkenstab	47	48	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	13.662	XZ
315	Balkenstab	45	46	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	10.995	XZ
316	Balkenstab	43	44	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	8.041	XZ
317	Balkenstab	41	42	Winkel	0.00	13	13	-	-	-	-	4.800	XZ
500	Kopplung F-F	1	2	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
501	Kopplung F-F	76	78	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.485	XZ
502	Kopplung F-F	5	115	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
503	Kopplung F-F	6	81	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.591	XZ
504	Kopplung F-F	74	82	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.492	XZ
505	Kopplung F-F	7	116	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
506	Kopplung F-F	75	117	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
507	Kopplung F-F	8	83	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.585	XZ
508	Kopplung F-F	9	118	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
509	Kopplung F-F	72	84	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.498	XZ
510	Kopplung F-F	10	85	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.579	XZ
511	Kopplung F-F	11	119	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
512	Kopplung F-F	73	120	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
513	Kopplung F-F	70	86	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.505	XZ

Projekt: **Konst. Hängerneigung** Position: **KH_ALT_36_54_neu_Ausdruc
kprotokoll**

STÄBE

Stab Nr.	Stabtyp	Knoten		Drehung		Querschnitt		Gelenk		Exz. Nr.	Teil. Nr.	Länge L [m]	
		Anfang	Ende	Typ	β [°]	Anfang	Ende	Anfang	Ende				
514	Kopplung F-F	13	121	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
515	Kopplung F-F	12	87	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.573	XZ
516	Kopplung F-F	68	88	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.511	XZ
517	Kopplung F-F	15	122	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
518	Kopplung F-F	71	123	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
519	Kopplung F-F	14	89	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.567	XZ
520	Kopplung F-F	17	124	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
521	Kopplung F-F	66	90	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.518	XZ
522	Kopplung F-F	16	91	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.561	XZ
523	Kopplung F-F	69	125	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
524	Kopplung F-F	19	126	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
525	Kopplung F-F	64	92	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.524	XZ
526	Kopplung F-F	21	127	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
527	Kopplung F-F	18	93	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.555	XZ
528	Kopplung F-F	67	128	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
529	Kopplung F-F	62	94	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.530	XZ
530	Kopplung F-F	23	129	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
531	Kopplung F-F	20	95	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.549	XZ
532	Kopplung F-F	65	130	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
533	Kopplung F-F	60	96	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.537	XZ
534	Kopplung F-F	25	131	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
535	Kopplung F-F	22	97	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.543	XZ
536	Kopplung F-F	63	132	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
537	Kopplung F-F	27	133	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
538	Kopplung F-F	58	98	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.543	XZ
539	Kopplung F-F	61	134	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
540	Kopplung F-F	24	99	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.537	XZ
541	Kopplung F-F	29	135	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
542	Kopplung F-F	56	100	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.549	XZ
543	Kopplung F-F	59	136	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
544	Kopplung F-F	26	101	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.530	XZ
545	Kopplung F-F	31	137	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
546	Kopplung F-F	54	102	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.555	XZ
547	Kopplung F-F	57	138	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
548	Kopplung F-F	28	103	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.524	XZ
549	Kopplung F-F	55	139	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
550	Kopplung F-F	33	140	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
551	Kopplung F-F	52	104	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.561	XZ
552	Kopplung F-F	30	105	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.518	XZ
553	Kopplung F-F	53	141	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
554	Kopplung F-F	50	106	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.567	XZ
555	Kopplung F-F	35	142	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
556	Kopplung F-F	51	143	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
557	Kopplung F-F	32	107	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.511	XZ
558	Kopplung F-F	48	108	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.573	XZ
559	Kopplung F-F	49	144	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
560	Kopplung F-F	34	109	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.505	XZ
561	Kopplung F-F	37	145	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
562	Kopplung F-F	47	146	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
563	Kopplung F-F	46	110	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.579	XZ
564	Kopplung F-F	36	111	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.498	XZ
565	Kopplung F-F	45	147	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
566	Kopplung F-F	44	112	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.585	XZ
567	Kopplung F-F	39	148	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
568	Kopplung F-F	43	149	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
569	Kopplung F-F	38	113	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.492	XZ
570	Kopplung F-F	42	114	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.591	XZ
571	Kopplung F-F	41	150	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z
572	Kopplung F-F	40	80	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.485	XZ
573	Kopplung F-F	3	4	Winkel	0.00	0	0	-	-	-	-	0.459	Z



KNOTENLAGER

Lager Nr.	Knoten Nr.	Lagerdrehung [°] um Y	Lagerung bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad]		
			u_x	u_z	ϕ_y
1	2	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	4	0.00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

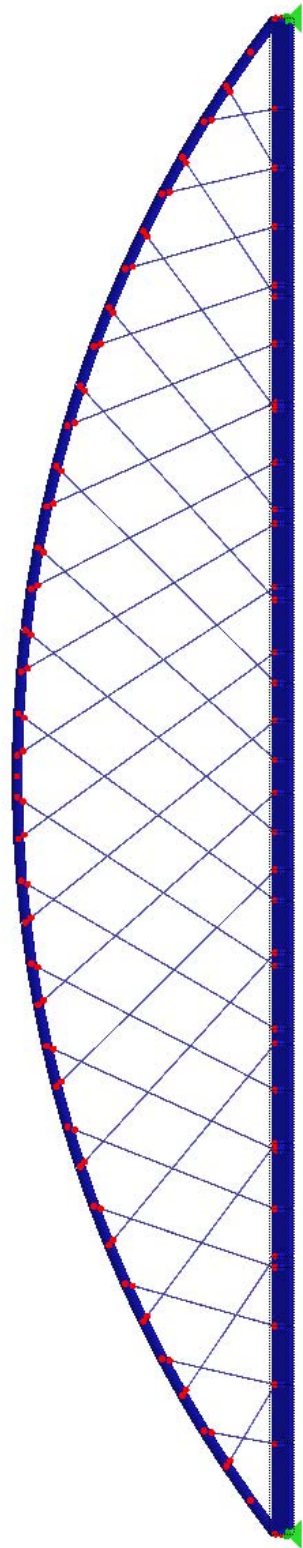
STABSÄTZE

Satz Nr.	Stabsatz-Bezeichnung	Typ	Stab Nr.	Länge [m]
1	Versteifungsträger	Stabzug	113-149	112.500

Projekt: **Konst. Hängerneigung** Position: **KH_ALT_36_54_neu_Ausdruc
kprotokoll**

■ **STRUKTURDATEN - -Y**

Entgegen der Y-Richtung



5.618 [m]

Projekt: **Konst. Hängeneigung** Position: **KH_ALT_36_54_neu_Ausdruc
kprotokoll**

■ LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	LF-Faktor	Eigenschaften des Lastfalls	Eigengewicht	Berechnungs-Theorie
1	EG	1.0000	Ständig	1.00	I. Ordnung
2	EG Fahrbahnplatte	1.0000	Ständig	-	I. Ordnung
100	Wanderlast x = 0.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
101	Wanderlast x = 2.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
102	Wanderlast x = 4.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
103	Wanderlast x = 6.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
104	Wanderlast x = 8.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
105	Wanderlast x = 10.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
106	Wanderlast x = 12.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
107	Wanderlast x = 14.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
108	Wanderlast x = 16.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
109	Wanderlast x = 18.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
110	Wanderlast x = 20.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
111	Wanderlast x = 22.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
112	Wanderlast x = 24.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
113	Wanderlast x = 26.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
114	Wanderlast x = 28.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
115	Wanderlast x = 30.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
116	Wanderlast x = 32.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
117	Wanderlast x = 34.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
118	Wanderlast x = 36.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
119	Wanderlast x = 38.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
120	Wanderlast x = 40.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
121	Wanderlast x = 42.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
122	Wanderlast x = 44.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
123	Wanderlast x = 46.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
124	Wanderlast x = 48.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
125	Wanderlast x = 50.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
126	Wanderlast x = 52.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
127	Wanderlast x = 54.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
128	Wanderlast x = 56.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
129	Wanderlast x = 58.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
130	Wanderlast x = 60.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
131	Wanderlast x = 62.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
132	Wanderlast x = 64.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
133	Wanderlast x = 66.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
134	Wanderlast x = 68.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
135	Wanderlast x = 70.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
136	Wanderlast x = 72.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
137	Wanderlast x = 74.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
138	Wanderlast x = 76.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
139	Wanderlast x = 78.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
140	Wanderlast x = 80.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
141	Wanderlast x = 82.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
142	Wanderlast x = 84.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
143	Wanderlast x = 86.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
144	Wanderlast x = 88.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
145	Wanderlast x = 90.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
146	Wanderlast x = 92.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
147	Wanderlast x = 94.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
148	Wanderlast x = 96.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
149	Wanderlast x = 98.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
150	Wanderlast x = 100.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
151	Wanderlast x = 102.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
152	Wanderlast x = 104.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
153	Wanderlast x = 106.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
154	Wanderlast x = 108.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
155	Wanderlast x = 110.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
156	Wanderlast x = 112.000 m, FA1	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
200	Wanderlast x = -4.400 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
201	Wanderlast x = -2.400 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
202	Wanderlast x = -0.400 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
203	Wanderlast x = 1.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
204	Wanderlast x = 3.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
205	Wanderlast x = 5.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
206	Wanderlast x = 7.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
207	Wanderlast x = 9.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
208	Wanderlast x = 11.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
209	Wanderlast x = 13.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
210	Wanderlast x = 15.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
211	Wanderlast x = 17.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
212	Wanderlast x = 19.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
213	Wanderlast x = 21.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
214	Wanderlast x = 23.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
215	Wanderlast x = 25.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
216	Wanderlast x = 27.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
217	Wanderlast x = 29.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
218	Wanderlast x = 31.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
219	Wanderlast x = 33.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
220	Wanderlast x = 35.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
221	Wanderlast x = 37.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
222	Wanderlast x = 39.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
223	Wanderlast x = 41.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
224	Wanderlast x = 43.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
225	Wanderlast x = 45.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
226	Wanderlast x = 47.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
227	Wanderlast x = 49.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
228	Wanderlast x = 51.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung

Projekt: **Konst. Hängerneigung** Position: **KH_ALT_36_54_neu_Ausdruc**
kprotokoll

■ LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	LF-Faktor	Eigenschaften des Lastfalls	Eigengewicht	Berechnungs-Theorie
229	Wanderlast x = 53.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
230	Wanderlast x = 55.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
231	Wanderlast x = 57.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
232	Wanderlast x = 59.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
233	Wanderlast x = 61.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
234	Wanderlast x = 63.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
235	Wanderlast x = 65.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
236	Wanderlast x = 67.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
237	Wanderlast x = 69.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
238	Wanderlast x = 71.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
239	Wanderlast x = 73.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
240	Wanderlast x = 75.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
241	Wanderlast x = 77.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
242	Wanderlast x = 79.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
243	Wanderlast x = 81.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
244	Wanderlast x = 83.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
245	Wanderlast x = 85.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
246	Wanderlast x = 87.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
247	Wanderlast x = 89.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
248	Wanderlast x = 91.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
249	Wanderlast x = 93.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
250	Wanderlast x = 95.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
251	Wanderlast x = 97.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
252	Wanderlast x = 99.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
253	Wanderlast x = 101.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
254	Wanderlast x = 103.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
255	Wanderlast x = 105.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
256	Wanderlast x = 107.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
257	Wanderlast x = 109.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
258	Wanderlast x = 111.600 m, FA2	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
300	Wanderlast x = 0.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
301	Wanderlast x = 2.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
302	Wanderlast x = 4.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
303	Wanderlast x = 6.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
304	Wanderlast x = 8.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
305	Wanderlast x = 10.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
306	Wanderlast x = 12.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
307	Wanderlast x = 14.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
308	Wanderlast x = 16.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
309	Wanderlast x = 18.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
310	Wanderlast x = 20.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
311	Wanderlast x = 22.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
312	Wanderlast x = 24.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
313	Wanderlast x = 26.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
314	Wanderlast x = 28.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
315	Wanderlast x = 30.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
316	Wanderlast x = 32.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
317	Wanderlast x = 34.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
318	Wanderlast x = 36.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
319	Wanderlast x = 38.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
320	Wanderlast x = 40.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
321	Wanderlast x = 42.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
322	Wanderlast x = 44.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
323	Wanderlast x = 46.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
324	Wanderlast x = 48.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
325	Wanderlast x = 50.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
326	Wanderlast x = 52.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
327	Wanderlast x = 54.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
328	Wanderlast x = 56.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
329	Wanderlast x = 58.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
330	Wanderlast x = 60.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
331	Wanderlast x = 62.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
332	Wanderlast x = 64.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
333	Wanderlast x = 66.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
334	Wanderlast x = 68.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
335	Wanderlast x = 70.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
336	Wanderlast x = 72.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
337	Wanderlast x = 74.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
338	Wanderlast x = 76.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
339	Wanderlast x = 78.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
340	Wanderlast x = 80.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
341	Wanderlast x = 82.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
342	Wanderlast x = 84.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
343	Wanderlast x = 86.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
344	Wanderlast x = 88.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
345	Wanderlast x = 90.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
346	Wanderlast x = 92.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
347	Wanderlast x = 94.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
348	Wanderlast x = 96.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
349	Wanderlast x = 98.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
350	Wanderlast x = 100.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
351	Wanderlast x = 102.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
352	Wanderlast x = 104.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
353	Wanderlast x = 106.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
354	Wanderlast x = 108.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
355	Wanderlast x = 110.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
356	Wanderlast x = 112.000 m, FA3	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
400	Wanderlast x = -4.400 m, FA4	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung

Projekt: **Konst. Hängerneigung** Position: **KH_ALT_36_54_neu_Ausdruc
kprotokoll**

■ LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	LF-Faktor	Eigenschaften des Lastfalls	Eigengewicht	Berechnungs-Theorie
530	Wanderlast x = 60.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
531	Wanderlast x = 62.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
532	Wanderlast x = 64.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
533	Wanderlast x = 66.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
534	Wanderlast x = 68.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
535	Wanderlast x = 70.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
536	Wanderlast x = 72.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
537	Wanderlast x = 74.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
538	Wanderlast x = 76.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
539	Wanderlast x = 78.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
540	Wanderlast x = 80.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
541	Wanderlast x = 82.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
542	Wanderlast x = 84.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
543	Wanderlast x = 86.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
544	Wanderlast x = 88.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
545	Wanderlast x = 90.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
546	Wanderlast x = 92.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
547	Wanderlast x = 94.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
548	Wanderlast x = 96.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
549	Wanderlast x = 98.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
550	Wanderlast x = 100.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
551	Wanderlast x = 102.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
552	Wanderlast x = 104.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
553	Wanderlast x = 106.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
554	Wanderlast x = 108.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
555	Wanderlast x = 110.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
556	Wanderlast x = 112.000 m, FA5	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
600	Wanderlast x = -4.400 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
601	Wanderlast x = -2.400 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
602	Wanderlast x = -0.400 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
603	Wanderlast x = 1.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
604	Wanderlast x = 3.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
605	Wanderlast x = 5.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
606	Wanderlast x = 7.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
607	Wanderlast x = 9.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
608	Wanderlast x = 11.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
609	Wanderlast x = 13.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
610	Wanderlast x = 15.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
611	Wanderlast x = 17.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
612	Wanderlast x = 19.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
613	Wanderlast x = 21.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
614	Wanderlast x = 23.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
615	Wanderlast x = 25.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
616	Wanderlast x = 27.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
617	Wanderlast x = 29.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
618	Wanderlast x = 31.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
619	Wanderlast x = 33.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
620	Wanderlast x = 35.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
621	Wanderlast x = 37.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
622	Wanderlast x = 39.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
623	Wanderlast x = 41.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
624	Wanderlast x = 43.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
625	Wanderlast x = 45.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
626	Wanderlast x = 47.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
627	Wanderlast x = 49.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
628	Wanderlast x = 51.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
629	Wanderlast x = 53.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
630	Wanderlast x = 55.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
631	Wanderlast x = 57.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
632	Wanderlast x = 59.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
633	Wanderlast x = 61.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
634	Wanderlast x = 63.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
635	Wanderlast x = 65.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
636	Wanderlast x = 67.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
637	Wanderlast x = 69.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
638	Wanderlast x = 71.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
639	Wanderlast x = 73.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
640	Wanderlast x = 75.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
641	Wanderlast x = 77.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
642	Wanderlast x = 79.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
643	Wanderlast x = 81.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
644	Wanderlast x = 83.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
645	Wanderlast x = 85.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
646	Wanderlast x = 87.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
647	Wanderlast x = 89.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
648	Wanderlast x = 91.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
649	Wanderlast x = 93.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
650	Wanderlast x = 95.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
651	Wanderlast x = 97.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
652	Wanderlast x = 99.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
653	Wanderlast x = 101.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
654	Wanderlast x = 103.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
655	Wanderlast x = 105.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
656	Wanderlast x = 107.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
657	Wanderlast x = 109.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
658	Wanderlast x = 111.600 m, FA6	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
700	Wanderlast x = 0.000 m, FA7	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
701	Wanderlast x = 2.000 m, FA7	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung

Projekt: **Konst. Hängerneigung** Position: **KH_ALT_36_54_neu_Ausdruc
kprotokoll**

■ LASTFÄLLE

LF-Nr.	LF-Bezeichnung	LF-Faktor	Eigenschaften des Lastfalls	Eigengewicht	Berechnungs-Theorie
1006	Wanderlast x = 6.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1007	Wanderlast x = 7.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1008	Wanderlast x = 8.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1009	Wanderlast x = 9.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1010	Wanderlast x = 10.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1011	Wanderlast x = 11.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1012	Wanderlast x = 12.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1013	Wanderlast x = 13.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1014	Wanderlast x = 14.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1015	Wanderlast x = 15.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1016	Wanderlast x = 16.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1017	Wanderlast x = 17.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1018	Wanderlast x = 18.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1019	Wanderlast x = 19.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1020	Wanderlast x = 20.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1021	Wanderlast x = 21.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1022	Wanderlast x = 22.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1023	Wanderlast x = 23.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1024	Wanderlast x = 24.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1025	Wanderlast x = 25.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1026	Wanderlast x = 26.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1027	Wanderlast x = 27.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1028	Wanderlast x = 28.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1029	Wanderlast x = 29.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1030	Wanderlast x = 30.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1031	Wanderlast x = 31.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1032	Wanderlast x = 32.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1033	Wanderlast x = 33.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1034	Wanderlast x = 34.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1035	Wanderlast x = 35.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1036	Wanderlast x = 36.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1037	Wanderlast x = 37.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1038	Wanderlast x = 38.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1039	Wanderlast x = 39.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1040	Wanderlast x = 40.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1041	Wanderlast x = 41.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1042	Wanderlast x = 42.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1043	Wanderlast x = 43.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1044	Wanderlast x = 44.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1045	Wanderlast x = 45.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1046	Wanderlast x = 46.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1047	Wanderlast x = 47.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1048	Wanderlast x = 48.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1049	Wanderlast x = 49.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1050	Wanderlast x = 50.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1051	Wanderlast x = 51.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1052	Wanderlast x = 52.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1053	Wanderlast x = 53.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1054	Wanderlast x = 54.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung
1055	Wanderlast x = 55.000 m, FA10	1.0000	Veränderlich	-	I. Ordnung

Projekt: **Konst. Hängerneigung** Position: **KH_ALT_36_54_neu_Ausdruc**
kprotokoll

■ LASTFALLKOMBINATIONEN

LK Nr.	LK-Bezeichnung	Kombinationskriterium
1	Ständige Lasten FLS/SLS	LF1/S + LF2/S
2	Ständige Lasten ULS	1.35*LF1/S oder LF1/S + 1.35*LF2/S oder LF2/S
10	LM71_Gl.1 (Gleichlast); e=+183mm	LF100 + LF101 + LF102 + LF103 + LF104 + LF105 + LF106 + LF107 + LF108 + LF109 + LF110 + LF111 + LF112 + LF113 + LF114 + LF115 + LF116 + LF117 + LF118 + LF119 + LF120 + LF121 + LF122 + LF123 + LF124 + LF125 + LF126 + LF127 + LF128 + LF129 + LF130 + LF131 + LF132 + LF133 + LF134 + LF135 + LF136 + LF137 + LF138 + LF139 + LF140 + LF141 + LF142 + LF143 + LF144 + LF145 + LF146 + LF147 + LF148 + LF149 + LF150 + LF151 + LF152 + LF153 + LF154 + LF155 + LF156
11	LM71_Gl.1 (Einzellast); e=+183mm	LF200 oder LF201 oder LF202 oder LF203 oder LF204 oder LF205 oder LF206 oder LF207 oder LF208 oder LF209 oder LF210 oder LF211 oder LF212 oder LF213 oder LF214 oder LF215 oder LF216 oder LF217 oder LF218 oder LF219 oder LF220 oder LF221 oder LF222 oder LF223 oder LF224 oder LF225 oder LF226 oder LF227 oder LF228 oder LF229 oder LF230 oder LF231 oder LF232 oder LF233 oder LF234 oder LF235 oder LF236 oder LF237 oder LF238 oder LF239 oder LF240 oder LF241 oder LF242 oder LF243 oder LF244 oder LF245 oder LF246 oder LF247 oder LF248 oder LF249 oder LF250 oder LF251 oder LF252 oder LF253 oder LF254 oder LF255 oder LF256 oder LF257 oder LF258
12	LM71_Gl.1 (Gleichlast); e=+100mm	LF300 + LF301 + LF302 + LF303 + LF304 + LF305 + LF306 + LF307 + LF308 + LF309 + LF310 + LF311 + LF312 + LF313 + LF314 + LF315 + LF316 + LF317 + LF318 + LF319 + LF320 + LF321 + LF322 + LF323 + LF324 + LF325 + LF326 + LF327 + LF328 + LF329 + LF330 + LF331 + LF332 + LF333 + LF334 + LF335 + LF336 + LF337 + LF338 + LF339 + LF340 + LF341 + LF342 + LF343 + LF344 + LF345 + LF346 + LF347 + LF348 + LF349 + LF350 + LF351 + LF352 + LF353 + LF354 + LF355 + LF356
13	LM71_Gl.1 (Einzellast); e=+100mm	LF400 oder LF401 oder LF402 oder LF403 oder LF404 oder LF405 oder LF406 oder LF407 oder LF408 oder LF409 oder LF410 oder LF411 oder LF412 oder LF413 oder LF414 oder LF415 oder LF416 oder LF417 oder LF418 oder LF419 oder LF420 oder LF421 oder LF422 oder LF423 oder LF424 oder LF425 oder LF426 oder LF427 oder LF428 oder LF429 oder LF430 oder LF431 oder LF432 oder LF433 oder LF434 oder LF435 oder LF436 oder LF437 oder LF438 oder LF439 oder LF440 oder LF441 oder LF442 oder LF443 oder LF444 oder LF445 oder LF446 oder LF447 oder LF448 oder LF449 oder LF450 oder LF451 oder LF452 oder LF453 oder LF454 oder LF455 oder LF456 oder LF457 oder LF458
14	LM71_Gl.1; FLS	LK12 + LK13
15	LM71_Gl.1; ULS	1.79*LK10 + 1.79*LK11
16	LM71_Gl.2 (Gleichlast); e=+183mm	LF500 + LF501 + LF502 + LF503 + LF504 + LF505 + LF506 + LF507 + LF508 + LF509 + LF510 + LF511 + LF512 + LF513 + LF514 + LF515 + LF516 + LF517 + LF518 + LF519 + LF520 + LF521 + LF522 + LF523 + LF524 + LF525 + LF526 + LF527 + LF528 + LF529 + LF530 + LF531 + LF532 + LF533 + LF534 + LF535 + LF536 + LF537 + LF538 + LF539 + LF540 + LF541 + LF542 + LF543 + LF544 + LF545 + LF546 + LF547 + LF548 + LF549 + LF550 + LF551 + LF552 + LF553 + LF554 + LF555 + LF556
17	LM71_Gl.2 (Einzellast); e=+183mm	LF600 oder LF601 oder LF602 oder LF603 oder LF604 oder LF605 oder LF606 oder LF607 oder LF608 oder LF609 oder LF610 oder LF611 oder LF612 oder LF613 oder LF614 oder LF615 oder LF616 oder LF617 oder LF618 oder LF619 oder LF620 oder LF621 oder LF622 oder LF623 oder LF624 oder LF625 oder LF626 oder LF627 oder LF628 oder LF629 oder LF630 oder LF631 oder LF632 oder LF633 oder LF634 oder LF635 oder LF636 oder LF637 oder LF638 oder LF639 oder LF640 oder LF641 oder LF642 oder LF643 oder LF644 oder LF645 oder LF646 oder LF647 oder LF648 oder LF649 oder LF650 oder LF651 oder LF652 oder LF653 oder LF654 oder LF655 oder LF656 oder LF657 oder LF658
18	LM71_Gl.2 (Gleichlast); e=+100mm	LF700 + LF701 + LF702 + LF703 + LF704 + LF705 + LF706 + LF707 + LF708 + LF709 + LF710 + LF711 + LF712 + LF713 + LF714 + LF715 + LF716 + LF717 + LF718 + LF719 + LF720 + LF721 + LF722 + LF723 + LF724 + LF725 + LF726 + LF727 + LF728 + LF729 + LF730 + LF731 + LF732 + LF733 + LF734 + LF735 + LF736 + LF737 + LF738 + LF739 + LF740 + LF741 + LF742 + LF743 + LF744 + LF745 + LF746 + LF747 + LF748 + LF749 + LF750 + LF751 + LF752 + LF753 + LF754 + LF755 + LF756
19	LM71_Gl.2 (Einzellast); e=+100mm	LF800 oder LF801 oder LF802 oder LF803 oder LF804 oder LF805 oder LF806 oder LF807 oder LF808 oder LF809 oder LF810 oder LF811 oder LF812 oder LF813 oder LF814 oder LF815 oder LF816 oder LF817 oder LF818 oder LF819 oder LF820 oder LF821 oder LF822 oder LF823 oder LF824 oder LF825 oder LF826 oder LF827 oder LF828 oder LF829 oder LF830 oder LF831 oder LF832 oder LF833 oder LF834 oder LF835 oder LF836 oder LF837 oder LF838 oder LF839 oder LF840 oder LF841 oder LF842 oder LF843 oder LF844 oder LF845 oder LF846 oder LF847 oder LF848 oder LF849 oder LF850 oder LF851 oder LF852 oder LF853 oder LF854 oder LF855 oder LF856 oder LF857 oder LF858
20	LM71_Gl.2; FLS	LK18 + LK19
21	LM71_Gl.2; ULS	1.79*LK16 + 1.79*LK17
22	SW/2_Gl.1; e=+100mm;FLS	LF900 oder LF901 oder LF902 oder LF903 oder LF904 oder LF905 oder LF906 oder LF907 oder LF908 oder LF909 oder LF910 oder LF911 oder LF912 oder LF913 oder LF914 oder LF915 oder LF916 oder LF917 oder LF918 oder LF919 oder LF920 oder LF921 oder LF922 oder LF923 oder LF924 oder LF925 oder LF926 oder LF927 oder LF928 oder LF929 oder LF930 oder LF931 oder LF932 oder LF933 oder LF934 oder LF935 oder LF936 oder LF937 oder LF938 oder LF939 oder LF940 oder LF941 oder LF942 oder LF943 oder LF944 oder LF945 oder LF946 oder LF947 oder LF948 oder LF949 oder LF950 oder LF951 oder LF952 oder LF953 oder LF954 oder LF955
23	SW/2_Gl.1; e=+100mm;ULS	1.22*LK22
24	SW/2_Gl.2; e=+100mm;FLS	LF1000 oder LF1001 oder LF1002 oder LF1003 oder LF1004 oder LF1005 oder LF1006 oder LF1007 oder LF1008 oder LF1009 oder LF1010 oder LF1011 oder LF1012 oder LF1013 oder LF1014 oder LF1015 oder LF1016 oder LF1017 oder LF1018 oder LF1019 oder LF1020 oder LF1021 oder LF1022 oder LF1023 oder LF1024 oder LF1025 oder LF1026 oder LF1027 oder LF1028 oder LF1029 oder LF1030 oder LF1031 oder LF1032 oder LF1033 oder LF1034 oder LF1035 oder LF1036 oder LF1037 oder LF1038 oder LF1039 oder LF1040 oder LF1041 oder LF1042 oder LF1043 oder LF1044 oder LF1045 oder LF1046 oder LF1047 oder

Projekt: **Konst. Hängerneigung** Position: **KH_ALT_36_54_neu_Ausdruc
kprotokoll**

■ **LASTFALLKOMBINATIONEN**

LK Nr.	LK-Bezeichnung	Kombinationskriterium
24	SW/2_Gl.2; e=+100mm;FLS	LF1048 oder LF1049 oder LF1050 oder LF1051 oder LF1052 oder LF1053 oder LF1054 oder LF1055
25	SW/2_Gl.2; e=+100mm;ULS	1.22*LK24
100	gr21_FLS	LK14 + LK20
101	gr21_ULS	LK15 + LK21
102	gr26_Gl.1_FLS	LK14 + LK24
103	gr26_Gl.1_ULS	LK15 + LK25
104	gr26_Gl.2_FLS	LK20 + LK22
105	gr26_Gl.2_ULS	LK21 + LK23
200	FLS	LK1/S + LK100 oder LK102 oder LK104
201	ULS	LK2/S + LK101 oder LK103 oder LK105

Anhang D

Auswertung der Normalkrafteinflusslinien der Hänger

Auswertung der Einflusslinie RH Stab 200

x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]
0,000	3,241	0,000	0,144	0,466
3,241	3,241	0,288	0,375	1,214
6,482	4,262	0,462	0,353	1,503
10,744	0,652	0,244	0,220	0,143
11,396	4,216	0,197	0,098	0,414
15,612	0,506	0,000	0,012	0,006
16,118	4,572	-0,024	0,066	0,299
20,690	1,234	-0,107	0,111	0,137
21,924	0,645	-0,115	0,116	0,074
22,569	2,581	-0,116	0,110	0,284
25,150	4,388	-0,104	0,081	0,354
29,538	1,285	-0,057	0,051	0,065
30,823	3,068	-0,044	0,036	0,111
33,891	1,526	-0,028	0,027	0,041
35,417	2,833	-0,026	0,028	0,080
38,250	0,005	-0,030	0,030	0,000
38,255	4,406	-0,030	0,037	0,164
42,661	2,037	-0,045	0,048	0,097
44,698	2,477	-0,051	0,053	0,130
47,175	1,148	-0,054	0,055	0,063
48,323	2,131	-0,055	0,054	0,115
50,454	1,400	-0,053	0,052	0,073
51,854	3,870	-0,051	0,046	0,179
55,724	1,052	-0,041	0,040	0,042
56,776	3,870	-0,039	0,034	0,133
60,646	1,400	-0,030	0,029	0,040
62,046	3,279	-0,028	0,027	0,088
65,325	0,991	-0,026	0,026	0,025
66,316	1,486	-0,026	0,026	0,038
67,802	2,037	-0,026	0,026	0,053
69,839	3,745	-0,026	0,027	0,100
73,584	0,661	-0,027	0,027	0,018
74,245	0,005	-0,027	0,027	0,000
74,250	4,359	-0,027	0,026	0,113
78,609	3,068	-0,025	0,024	0,072
81,677	1,285	-0,022	0,021	0,028
82,962	4,388	-0,021	0,019	0,082
87,350	3,226	-0,016	0,015	0,049
90,576	1,234	-0,014	0,014	0,017
91,810	4,572	-0,013	0,012	0,054
96,382	0,506	-0,011	0,010	0,005
96,888	4,216	-0,0102	0,009	0,037
101,104	0,652	-0,008	0,007	0,005
101,756	4,262	-0,007	0,006	0,025
106,018	3,241	-0,004	0,003	0,011
109,259	3,241	-0,002	0,001	0,004
112,500		0,000		

$A_{ii} = 3,741 \text{ m}$

$A_{re} = 0,081 \text{ m}$

$N_{vorh} = -385,88 \text{ kN}$
 $\Delta g = 105,45 \text{ kN/m}$
 $l = 15,61 \text{ m}$

$A_{ges} = 3,66 \text{ m Ali-Are}$
 $N = 385,88 \text{ kN}$

Verhältnis
 $A^+ = 3,74 \text{ m}$
 $A^- = 3,31 \text{ m}$
 $A^-/A^+ = 0,89$

Auswertung der Einflusslinie KH_ALT

x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]
0,000	3,354	0,000	0,156	0,524
3,354	3,018	0,313	0,388	1,170
6,372	0,335	0,463	0,462	0,155
6,707	4,389	0,461	0,321	1,409
11,096	0,007	0,181	0,181	0,001
11,103	3,332	0,181	0,090	0,301
14,435	1,011	0,000	0,027	0,028
15,446	4,336	-0,055	0,098	0,425
19,782	0,854	-0,141	0,144	0,123
20,636	0,524	-0,146	0,146	0,077
21,160	2,968	-0,147	0,137	0,407
24,128	4,383	-0,128	0,100	0,439
28,511	0,473	-0,073	0,070	0,033
28,984	3,975	-0,067	0,057	0,227
32,959	0,865	-0,047	0,046	0,040
33,824	2,596	-0,046	0,048	0,125
36,420	1,084	-0,050	0,052	0,056
37,504	2,340	-0,053	0,057	0,134
39,844	2,339	-0,061	0,065	0,152
42,183	0,962	-0,069	0,070	0,068
43,145	2,919	-0,072	0,073	0,214
46,064	0,973	-0,075	0,075	0,073
47,037	2,271	-0,075	0,073	0,166
49,308	2,806	-0,072	0,068	0,192
52,114	2,910	-0,065	0,060	0,176
55,024	2,452	-0,056	0,052	0,129
57,476	2,910	-0,049	0,046	0,134
60,386	2,806	-0,043	0,041	0,116
63,192	2,271	-0,040	0,039	0,089
65,463	1,557	-0,039	0,038	0,060
67,020	2,335	-0,038	0,038	0,090
69,355	0,962	-0,039	0,039	0,037
70,317	0,234	-0,039	0,039	0,009
70,551	2,105	-0,039	0,038	0,081
72,656	2,340	-0,038	0,038	0,088
74,996	1,084	-0,037	0,037	0,040
76,080	3,461	-0,037	0,035	0,120
79,541	3,975	-0,033	0,030	0,120
83,516	0,473	-0,028	0,027	0,013
83,989	4,383	-0,027	0,024	0,107
88,372	3,492	-0,022	0,020	0,071
91,864	0,854	-0,019	0,018	0,016
92,718	4,336	-0,018	0,016	0,070
97,054	1,011	-0,014	0,014	0,014
98,065	3,332	-0,0135	0,012	0,040
101,397	0,007	-0,010	0,010	0,000
101,404	4,389	-0,010	0,008	0,037
105,793	3,353	-0,006	0,005	0,016
109,146	3,354	-0,003	0,002	0,005
112,500		0,000		

$A_H = 3,560 \text{ m}$

$A_{re} = 0,097 \text{ m}$

$N_{\text{vorh}} = -696,91 \text{ kN}$

$\Delta g = 201,25 \text{ kN/m}$

$l = 14,43 \text{ m}$

$A_{\text{ges}} = 3,46 \text{ m Ali-Are}$

$N = 696,91 \text{ kN}$

Verhältnis

$A^+ = 3,56 \text{ m}$

$A^- = 4,65 \text{ m}$

$A^+/A^- = 0,77$

KH_ALT EL 200_Var1					KH_ALT EL 201_Var1				
x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]	x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]
0,000	3,354	0,000	0,125	0,419	0,000	3,354	0,000	0,019	0,063
3,354	3,353	0,250	0,386	1,294	3,354	3,353	0,038	0,104	0,348
6,707	0,220	0,522	0,523	0,115	6,707	4,389	0,170	0,279	1,223
6,927	4,169	0,524	0,391	1,629	11,096	0,007	0,388	0,388	0,003
11,096	0,007	0,258	0,257	0,002	11,103	4,343	0,388	0,296	1,287
11,103	4,343	0,257	0,131	0,568	15,446	4,336	0,205	0,111	0,480
15,446	0,292	0,005	0,002	0,001	19,782	0,634	0,017	0,008	0,005
15,738	4,044	0,000	0,034	0,137	20,416	0,220	0,000	0,003	0,001
19,782	0,854	-0,068	0,069	0,059	20,636	3,492	-0,006	0,032	0,113
20,636	0,873	-0,071	0,071	0,062	24,128	3,506	-0,059	0,065	0,228
21,509	2,619	-0,071	0,068	0,179	27,634	0,877	-0,071	0,071	0,062
24,128	4,383	-0,065	0,055	0,241	28,511	0,473	-0,071	0,070	0,033
28,511	0,473	-0,045	0,044	0,021	28,984	3,975	-0,070	0,065	0,256
28,984	3,975	-0,042	0,036	0,143	32,959	3,461	-0,059	0,053	0,184
32,959	3,461	-0,029	0,027	0,095	36,420	1,084	-0,047	0,045	0,049
36,420	0,271	-0,025	0,025	0,007	37,504	2,340	-0,044	0,041	0,095
36,691	0,813	-0,025	0,026	0,021	39,844	2,339	-0,037	0,035	0,083
37,504	2,340	-0,026	0,027	0,062	42,183	0,962	-0,033	0,033	0,032
39,844	2,339	-0,028	0,029	0,069	43,145	1,556	-0,032	0,032	0,050
42,183	0,962	-0,031	0,032	0,031	44,701	2,336	-0,032	0,032	0,075
43,145	3,892	-0,032	0,034	0,132	47,037	2,271	-0,033	0,034	0,076
47,037	1,249	-0,036	0,036	0,045	49,308	2,806	-0,035	0,036	0,100
48,286	1,022	-0,036	0,036	0,037	52,114	2,910	-0,037	0,038	0,109
49,308	2,806	-0,036	0,035	0,097	55,024	0,246	-0,038	0,038	0,009
52,114	2,910	-0,034	0,032	0,093	55,270	2,206	-0,038	0,038	0,083
55,024	2,452	-0,030	0,029	0,070	57,476	2,910	-0,038	0,036	0,106
57,476	2,910	-0,027	0,025	0,073	60,386	2,806	-0,035	0,034	0,094
60,386	2,806	-0,024	0,022	0,062	63,192	2,271	-0,032	0,030	0,069
63,192	2,271	-0,021	0,020	0,046	65,463	3,892	-0,029	0,027	0,104
65,463	3,892	-0,020	0,019	0,076	69,355	0,962	-0,025	0,024	0,023
69,355	0,962	-0,019	0,019	0,018	70,317	2,339	-0,024	0,023	0,053
70,317	2,339	-0,019	0,019	0,044	72,656	2,340	-0,022	0,021	0,050
72,656	2,340	-0,019	0,019	0,043	74,996	1,084	-0,021	0,021	0,022
74,996	1,084	-0,018	0,018	0,020	76,080	3,461	-0,020	0,020	0,069
76,080	3,461	-0,018	0,017	0,060	79,541	3,975	-0,019	0,019	0,074
79,541	3,975	-0,017	0,015	0,061	83,516	0,473	-0,018	0,018	0,008
83,516	0,473	-0,014	0,014	0,007	83,989	4,383	-0,018	0,016	0,071
83,989	4,383	-0,014	0,013	0,056	88,372	3,492	-0,015	0,014	0,048
88,372	3,492	-0,011	0,011	0,037	91,864	0,854	-0,013	0,012	0,010
91,864	0,854	-0,010	0,009	0,008	92,718	4,336	-0,012	0,011	0,046
92,718	4,336	-0,009	0,008	0,036	97,054	4,343	-0,009	0,008	0,034
97,054	4,343	-0,007	0,006	0,027	101,397	0,007	-0,007	0,007	0,000
101,397	0,007	-0,005	0,0053	0,000	101,404	4,389	-0,007	0,005	0,023
101,404	4,389	-0,005	0,004	0,019	105,793	3,353	-0,004	0,00295	0,010
105,793	3,353	-0,003	0,002	0,008	109,146	3,354	-0,002	0,001	0,003
109,146	3,354	-0,002	0,001	0,003	112,500		0,000		
112,500		0,000							

Verhältnis	
A ⁺ =	4,03 m
A ⁻ =	2,30 m
A ⁺ /A ⁻ =	1,75

Verhältnis	
A ⁺ =	3,41 m
A ⁻ =	2,55 m
A ⁺ /A ⁻ =	1,33

KH_ALT EL 202_Var1					KH_ALT EL 200_Var2				
x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]	x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]
0,000	3,354	0,000	-0,008	-0,025	0,000	3,354	0,000	0,126	0,424
3,354	1,676	-0,015	-0,018	-0,030	3,354	3,353	0,253	0,390	1,307
5,030	1,677	-0,021	-0,018	-0,030	6,707	0,220	0,527	0,528	0,116
6,707	0,503	-0,015	-0,007	-0,004	6,927	4,169	0,529	0,397	1,654
7,210	3,886	0,000	0,056	0,219	11,096	0,007	0,264	0,264	0,002
11,096	0,007	0,113	0,113	0,001	11,103	4,343	0,264	0,136	0,592
11,103	4,343	0,113	0,215	0,935	15,446	0,521	0,009	0,004	0,002
15,446	0,434	0,317	0,318	0,138	15,967	3,815	0,000	0,033	0,124
15,880	3,902	0,320	0,255	0,995	19,782	0,854	-0,065	0,066	0,057
19,782	0,854	0,191	0,171	0,146	20,636	0,698	-0,068	0,068	0,047
20,636	3,492	0,151	0,083	0,290	21,334	2,794	-0,068	0,065	0,181
24,128	0,659	0,015	0,008	0,005	24,128	4,383	-0,062	0,051	0,224
24,787	3,724	0,000	0,043	0,161	28,511	0,473	-0,040	0,039	0,019
28,511	0,473	-0,086	0,090	0,042	28,984	3,975	-0,038	0,033	0,130
28,984	3,975	-0,093	0,105	0,418	32,959	2,769	-0,027	0,026	0,072
32,959	0,173	-0,117	0,117	0,020	35,728	0,692	-0,025	0,025	0,017
33,132	3,288	-0,117	0,111	0,365	36,420	1,084	-0,025	0,025	0,028
36,420	1,084	-0,105	0,100	0,109	37,504	2,340	-0,026	0,027	0,063
37,504	2,340	-0,096	0,083	0,195	39,844	2,339	-0,028	0,030	0,070
39,844	2,339	-0,071	0,058	0,135	42,183	0,962	-0,032	0,032	0,031
42,183	0,962	-0,045	0,040	0,039	43,145	3,892	-0,033	0,034	0,132
43,145	3,892	-0,036	0,027	0,104	47,037	0,340	-0,035	0,035	0,012
47,037	1,022	-0,018	0,017	0,018	47,377	1,931	-0,035	0,035	0,067
48,059	1,249	-0,017	0,018	0,022	49,308	2,806	-0,035	0,033	0,093
49,308	2,806	-0,018	0,022	0,063	52,114	2,910	-0,032	0,030	0,088
52,114	2,910	-0,027	0,033	0,095	55,024	2,452	-0,029	0,027	0,066
55,024	2,452	-0,039	0,043	0,106	57,476	2,910	-0,025	0,024	0,069
57,476	2,910	-0,048	0,050	0,146	60,386	2,806	-0,022	0,021	0,059
60,386	0,842	-0,053	0,053	0,045	63,192	2,271	-0,020	0,020	0,045
61,228	1,964	-0,053	0,053	0,104	65,463	3,892	-0,019	0,019	0,074
63,192	2,271	-0,052	0,050	0,113	69,355	0,962	-0,019	0,019	0,018
65,463	3,892	-0,048	0,042	0,163	70,317	2,339	-0,019	0,018	0,043
69,355	0,962	-0,036	0,035	0,034	72,656	2,340	-0,018	0,018	0,042
70,317	2,339	-0,033	0,030	0,071	74,996	1,084	-0,018	0,018	0,019
72,656	2,340	-0,027	0,025	0,059	76,080	3,461	-0,018	0,017	0,058
74,996	1,084	-0,023	0,022	0,024	79,541	3,975	-0,016	0,015	0,059
76,080	3,461	-0,022	0,021	0,072	83,516	0,473	-0,014	0,014	0,006
79,541	0,397	-0,020	0,020	0,008	83,989	4,383	-0,013	0,012	0,053
79,938	3,578	-0,020	0,020	0,073	88,372	3,492	-0,011	0,010	0,035
83,516	0,473	-0,021	0,021	0,010	91,864	0,854	-0,009	0,009	0,008
83,989	0,657	-0,021	0,021	0,014	92,718	4,336	-0,009	0,008	0,035
84,646	3,726	-0,021	0,020	0,075	97,054	4,343	-0,007	0,006	0,027
88,372	3,492	-0,020	0,018	0,063	101,397	0,007	-0,005	0,00515	0,000
91,864	0,854	-0,017	0,016	0,014	101,404	4,389	-0,005	0,004	0,018
92,718	4,336	-0,016	0,014	0,060	105,793	3,353	-0,003	0,002	0,008
97,054	4,343	-0,012	0,0098	0,043	109,146	3,354	-0,002	0,001	0,003
101,397	0,007	-0,008	0,008	0,000	112,500		0,000		
101,404	4,389	-0,008	0,006	0,028					
105,793	3,353	-0,005	0,004	0,012					
109,146	3,354	-0,002	0,001	0,004					
112,500		0,000							

Verhältnis	
A ⁺ =	2,73 m
A ⁻ =	3,04 m
A ⁺ /A ⁻ =	0,90

Verhältnis	
A ⁺ =	4,10 m
A ⁻ =	2,20 m
A ⁺ /A ⁻ =	1,86

KH_ALT EL 201_Var2					KH_ALT EL 202_Var2				
x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]	x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]
0,000	2,012	0,000	-0,003	-0,007	0,000	3,354	0,000	0,009	0,031
2,012	1,342	-0,007	-0,004	-0,005	3,354	3,353	0,018	0,035	0,118
3,354	0,025	-0,001	0,000	0,000	6,707	4,389	0,052	0,118	0,519
3,379	3,328	0,000	0,046	0,153	11,096	0,007	0,185	0,185	0,001
6,707	4,389	0,092	0,195	0,856	11,103	4,343	0,185	0,264	1,148
11,096	0,007	0,298	0,298	0,002	15,446	0,217	0,343	0,344	0,075
11,103	0,217	0,298	0,299	0,065	15,663	4,119	0,344	0,279	1,151
11,320	4,126	0,299	0,231	0,953	19,782	0,854	0,215	0,197	0,168
15,446	3,937	0,163	0,081	0,320	20,636	3,492	0,179	0,116	0,406
19,383	0,399	0,000	0,008	0,003	24,128	2,214	0,053	0,027	0,059
19,782	0,854	-0,017	0,030	0,025	26,342	2,169	0,000	0,026	0,056
20,636	3,492	-0,043	0,075	0,263	28,511	0,473	-0,052	0,056	0,026
24,128	3,287	-0,108	0,116	0,383	28,984	3,975	-0,060	0,081	0,321
27,415	1,096	-0,125	0,124	0,136	32,959	1,904	-0,102	0,104	0,198
28,511	0,473	-0,123	0,122	0,058	34,863	1,557	-0,107	0,105	0,164
28,984	3,975	-0,121	0,104	0,413	36,420	1,084	-0,104	0,100	0,108
32,959	3,461	-0,087	0,069	0,238	37,504	2,340	-0,097	0,084	0,197
36,420	1,084	-0,051	0,047	0,051	39,844	2,339	-0,072	0,057	0,134
37,504	2,340	-0,043	0,038	0,090	42,183	0,962	-0,043	0,037	0,036
39,844	1,637	-0,034	0,033	0,054	43,145	3,892	-0,031	0,018	0,071
41,481	0,702	-0,032	0,032	0,023	47,037	1,930	-0,005	0,003	0,007
42,183	0,962	-0,032	0,033	0,032	48,967	0,341	-0,002	0,002	0,001
43,145	3,892	-0,034	0,040	0,154	49,308	2,806	-0,002	0,005	0,015
47,037	2,271	-0,046	0,050	0,113	52,114	2,910	-0,009	0,016	0,045
49,308	2,806	-0,054	0,057	0,160	55,024	2,452	-0,022	0,028	0,068
52,114	2,328	-0,060	0,061	0,142	57,476	2,910	-0,033	0,038	0,110
54,442	0,582	-0,062	0,062	0,036	60,386	2,385	-0,042	0,043	0,103
55,024	2,452	-0,062	0,060	0,147	62,771	0,421	-0,044	0,044	0,019
57,476	2,910	-0,059	0,055	0,160	63,192	2,271	-0,044	0,043	0,098
60,386	2,806	-0,052	0,047	0,133	65,463	3,892	-0,042	0,037	0,143
63,192	2,271	-0,043	0,040	0,091	69,355	0,962	-0,032	0,030	0,029
65,463	3,892	-0,037	0,034	0,131	70,317	2,339	-0,029	0,025	0,059
69,355	0,962	-0,030	0,030	0,029	72,656	2,340	-0,022	0,019	0,045
70,317	2,339	-0,029	0,029	0,067	74,996	1,084	-0,017	0,016	0,017
72,656	1,404	-0,028	0,028	0,039	76,080	3,461	-0,015	0,014	0,049
74,060	0,936	-0,028	0,028	0,026	79,541	0,199	-0,013	0,013	0,003
74,996	1,084	-0,028	0,028	0,030	79,740	3,776	-0,013	0,014	0,052
76,080	2,250	-0,028	0,028	0,063	83,516	0,473	-0,014	0,014	0,007
78,330	1,211	-0,028	0,028	0,034	83,989	3,068	-0,015	0,015	0,046
79,541	3,975	-0,028	0,027	0,108	87,057	1,315	-0,015	0,015	0,020
83,516	0,473	-0,026	0,026	0,012	88,372	3,492	-0,015	0,014	0,049
83,989	4,383	-0,026	0,024	0,103	91,864	0,854	-0,013	0,013	0,011
88,372	3,492	-0,021	0,019	0,067	92,718	4,336	-0,013	0,011	0,047
91,864	0,854	-0,017	0,017	0,014	97,054	4,343	-0,009	0,008	0,033
92,718	4,336	-0,016	0,014	0,063	101,397	0,007	-0,006	0,006	0,000
97,054	4,343	-0,013	0,011	0,047	101,404	4,389	-0,006	0,005	0,021
101,397	0,007	-0,009	0,009	0,000	105,793	3,353	-0,004	0,003	0,009
101,404	4,389	-0,009	0,007	0,033	109,146	3,354	-0,002	0,001	0,003
105,793	3,353	-0,006	0,004	0,014	112,500		0,000		
109,146	3,354	-0,003	0,001	0,005					
112,500		0,000							

Verhältnis	
A ⁺ =	2,35 m
A ⁻ =	3,78 m
A ⁺ /A ⁻ =	0,62

Verhältnis	
A ⁺ =	3,68 m
A ⁻ =	2,42 m
A ⁺ /A ⁻ =	1,52

KH_ALT EL 200_Var3					KH_ALT EL 201_Var3				
x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]	x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]
0,000	0,335	0,000	-0,002	-0,001	0,000	3,354	0,000	0,039	0,129
0,335	0,056	-0,003	-0,002	0,000	3,354	3,353	0,077	0,143	0,478
0,391	2,963	0,000	0,088	0,259	6,707	4,170	0,208	0,288	1,199
3,354	3,353	0,175	0,291	0,977	10,877	0,219	0,367	0,367	0,080
6,707	0,220	0,408	0,409	0,090	11,096	0,007	0,367	0,367	0,003
6,927	4,169	0,410	0,298	1,242	11,103	4,343	0,367	0,283	1,231
11,096	0,007	0,186	0,186	0,001	15,446	4,336	0,200	0,111	0,482
11,103	3,663	0,185	0,093	0,340	19,782	0,756	0,023	0,011	0,009
14,766	0,680	0,000	0,017	0,012	20,538	0,098	0,000	0,001	0,000
15,446	4,336	-0,034	0,073	0,318	20,636	3,492	-0,003	0,040	0,140
19,782	0,854	-0,112	0,114	0,098	24,128	4,383	-0,078	0,096	0,419
20,636	0,524	-0,116	0,116	0,061	28,511	0,260	-0,114	0,114	0,030
21,160	2,968	-0,117	0,108	0,321	28,771	0,213	-0,114	0,114	0,024
24,128	4,383	-0,100	0,075	0,330	28,984	3,975	-0,114	0,099	0,392
28,511	0,473	-0,051	0,049	0,023	32,959	3,461	-0,083	0,062	0,216
28,984	3,975	-0,046	0,038	0,149	36,420	1,084	-0,042	0,037	0,040
32,959	0,692	-0,029	0,029	0,020	37,504	2,340	-0,032	0,025	0,058
33,651	2,769	-0,029	0,031	0,085	39,844	2,339	-0,018	0,016	0,038
36,420	1,084	-0,033	0,034	0,037	42,183	0,048	-0,014	0,014	0,001
37,504	2,340	-0,036	0,039	0,092	42,231	0,914	-0,014	0,014	0,013
39,844	2,339	-0,043	0,047	0,110	43,145	3,892	-0,015	0,021	0,081
42,183	0,962	-0,051	0,052	0,050	47,037	2,271	-0,027	0,032	0,072
43,145	3,113	-0,053	0,055	0,170	49,308	2,806	-0,037	0,041	0,116
46,258	0,779	-0,056	0,056	0,044	52,114	2,910	-0,046	0,049	0,141
47,037	2,271	-0,056	0,055	0,125	55,024	0,613	-0,051	0,051	0,031
49,308	2,806	-0,054	0,051	0,143	55,637	1,839	-0,051	0,051	0,093
52,114	2,910	-0,048	0,044	0,129	57,476	2,910	-0,050	0,047	0,137
55,024	2,452	-0,041	0,038	0,093	60,386	2,806	-0,044	0,040	0,112
57,476	2,910	-0,035	0,032	0,094	63,192	2,271	-0,036	0,033	0,074
60,386	2,806	-0,030	0,029	0,080	65,463	3,892	-0,029	0,025	0,099
63,192	2,271	-0,028	0,027	0,062	69,355	0,962	-0,022	0,021	0,020
65,463	0,195	-0,027	0,027	0,005	70,317	2,339	-0,020	0,020	0,046
65,658	3,697	-0,027	0,027	0,101	72,656	0,702	-0,019	0,019	0,013
69,355	0,962	-0,028	0,028	0,027	73,358	1,638	-0,019	0,019	0,031
70,317	1,637	-0,028	0,028	0,046	74,996	1,084	-0,019	0,019	0,021
71,954	0,702	-0,028	0,028	0,020	76,080	3,461	-0,020	0,020	0,070
72,656	2,340	-0,028	0,028	0,065	79,541	1,391	-0,021	0,021	0,029
74,996	1,084	-0,027	0,027	0,029	80,932	2,584	-0,021	0,021	0,053
76,080	3,461	-0,027	0,025	0,088	83,516	0,473	-0,020	0,020	0,010
79,541	3,975	-0,024	0,022	0,088	83,989	4,383	-0,020	0,019	0,081
83,516	0,473	-0,020	0,020	0,009	88,372	3,492	-0,017	0,015	0,053
83,989	4,383	-0,020	0,018	0,077	91,864	0,854	-0,013	0,013	0,011
88,372	3,492	-0,016	0,015	0,051	92,718	4,336	-0,013	0,011	0,048
91,864	0,854	-0,013	0,013	0,011	97,054	4,343	-0,009	0,008	0,036
92,718	4,336	-0,013	0,012	0,051	101,397	0,007	-0,007	0,007	0,000
97,054	4,343	-0,010	0,009	0,039	101,404	4,389	-0,007	0,006	0,025
101,397	0,007	-0,008	0,008	0,000	105,793	3,353	-0,004	0,003	0,011
101,404	4,389	-0,008	0,006	0,026	109,146	3,354	-0,002	0,001	0,004
105,793	3,353	-0,005	0,003	0,011	112,500		0,000		
109,146	3,354	-0,002	0,001	0,004					
112,500		0,000							

Verhältnis	
A ⁺ =	2,91 m
A ⁻ =	3,39 m
A ⁺ /A ⁻ =	0,86

Verhältnis	
A ⁺ =	3,61 m
A ⁻ =	2,89 m
A ⁺ /A ⁻ =	1,25

KH_ALT EL 202_Var3				
x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]
0,000	3,354	0,000	0,028	0,092
3,354	3,353	0,055	0,084	0,281
6,707	4,389	0,112	0,173	0,760
11,096	0,007	0,234	0,234	0,002
11,103	4,343	0,234	0,304	1,318
15,446	4,336	0,373	0,311	1,349
19,782	0,854	0,250	0,233	0,199
20,636	3,492	0,215	0,149	0,519
24,128	2,840	0,082	0,041	0,116
26,968	1,543	0,000	0,022	0,034
28,511	0,473	-0,045	0,049	0,023
28,984	3,975	-0,054	0,079	0,313
32,959	1,731	-0,103	0,105	0,182
34,690	1,730	-0,107	0,105	0,181
36,420	1,084	-0,102	0,098	0,106
37,504	2,340	-0,094	0,079	0,185
39,844	2,339	-0,065	0,048	0,113
42,183	0,962	-0,032	0,026	0,025
43,145	2,654	-0,019	0,010	0,026
45,799	1,238	0,000	0,005	0,006
47,037	1,703	0,009	0,010	0,018
48,740	0,568	0,012	0,012	0,007
49,308	2,806	0,011	0,007	0,019
52,114	0,390	0,002	0,001	0,000
52,504	2,520	0,000	0,007	0,018
55,024	2,452	-0,014	0,021	0,051
57,476	2,910	-0,027	0,033	0,095
60,386	2,385	-0,038	0,039	0,094
62,771	0,421	-0,041	0,041	0,017
63,192	2,271	-0,041	0,039	0,089
65,463	3,892	-0,038	0,032	0,126
69,355	0,962	-0,027	0,025	0,024
70,317	2,339	-0,023	0,020	0,046
72,656	2,340	-0,016	0,014	0,032
74,996	1,084	-0,011	0,010	0,011
76,080	2,769	-0,010	0,009	0,024
78,849	0,692	-0,008	0,008	0,006
79,541	3,975	-0,008	0,009	0,037
83,516	0,473	-0,011	0,011	0,005
83,989	4,164	-0,011	0,012	0,048
88,153	0,219	-0,012	0,012	0,003
88,372	3,492	-0,012	0,012	0,041
91,864	0,854	-0,011	0,011	0,009
92,718	4,336	-0,010	0,009	0,038
97,054	4,343	-0,007	0,006	0,026
101,397	0,007	-0,005	0,005	0,000
101,404	4,389	-0,005	0,004	0,017
105,793	3,353	-0,003	0,002	0,008
109,146	3,354	-0,002	0,001	0,003
112,500		0,000		

Verhältnis	
A ⁺ =	4,69 m
A ⁻ =	2,06 m
A ⁺ /A ⁻ =	2,28

KH_ALT EL 200_VT steif					KH_ALT EL 201_VT steif				
x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]	x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]
0,000	3,354	0,000	0,019	0,063	0,000	3,354	0,000	0,030	0,101
3,354	3,353	0,038	0,046	0,154	3,354	3,353	0,060	0,087	0,293
6,707	4,389	0,054	0,040	0,175	6,707	4,389	0,115	0,141	0,620
11,096	0,007	0,026	0,026	0,000	11,096	0,007	0,168	0,168	0,001
11,103	2,189	0,026	0,013	0,028	11,103	4,343	0,168	0,177	0,768
13,292	2,154	0,000	-0,013	-0,027	15,446	4,336	0,186	0,130	0,565
15,446	4,336	-0,025	-0,074	-0,319	19,782	0,854	0,075	0,058	0,050
19,782	0,854	-0,122	-0,131	-0,112	20,636	1,252	0,041	0,021	0,026
20,636	2,444	-0,140	-0,151	-0,369	21,888	2,240	0,000	0,037	0,082
23,080	1,048	-0,162	0,161	0,168	24,128	4,383	-0,073	0,110	0,481
24,128	4,383	-0,160	0,137	0,602	28,511	0,473	-0,146	0,147	0,070
28,511	0,473	-0,115	0,113	0,053	28,984	0,397	-0,148	0,149	0,059
28,984	3,975	-0,110	0,093	0,369	29,381	3,578	-0,149	0,133	0,476
32,959	3,461	-0,076	0,070	0,242	32,959	3,461	-0,117	0,089	0,308
36,420	0,759	-0,064	0,064	0,048	36,420	1,084	-0,061	0,053	0,058
37,179	0,325	-0,064	0,064	0,021	37,504	2,340	-0,046	0,035	0,081
37,504	2,340	-0,064	0,065	0,153	39,844	2,339	-0,024	0,018	0,043
39,844	2,339	-0,067	0,070	0,165	42,183	0,962	-0,013	0,012	0,012
42,183	0,962	-0,074	0,075	0,072	43,145	3,892	-0,012	0,018	0,070
43,145	3,892	-0,077	0,081	0,313	47,037	2,271	-0,024	0,031	0,070
47,037	1,816	-0,084	0,085	0,154	49,308	2,806	-0,037	0,045	0,126
48,853	0,455	-0,085	0,085	0,039	52,114	2,910	-0,052	0,057	0,165
49,308	2,806	-0,085	0,084	0,235	55,024	1,594	-0,062	0,062	0,099
52,114	2,910	-0,082	0,078	0,228	56,618	0,858	-0,063	0,063	0,054
55,024	2,452	-0,075	0,071	0,174	57,476	2,910	-0,063	0,060	0,174
57,476	2,910	-0,067	0,063	0,183	60,386	2,806	-0,057	0,052	0,147
60,386	2,806	-0,059	0,056	0,156	63,192	2,271	-0,047	0,043	0,097
63,192	2,271	-0,052	0,051	0,115	65,463	3,892	-0,038	0,032	0,126
65,463	3,892	-0,049	0,048	0,185	69,355	0,962	-0,027	0,026	0,025
69,355	0,962	-0,046	0,046	0,044	70,317	2,339	-0,025	0,023	0,054
70,317	2,339	-0,046	0,045	0,106	72,656	1,404	-0,022	0,022	0,030
72,656	2,340	-0,045	0,045	0,104	74,060	0,936	-0,022	0,022	0,020
74,996	1,084	-0,044	0,044	0,048	74,996	1,084	-0,022	0,022	0,024
76,080	3,461	-0,044	0,042	0,145	76,080	3,461	-0,022	0,023	0,080
79,541	3,975	-0,040	0,038	0,150	79,541	2,783	-0,024	0,024	0,068
83,516	0,473	-0,035	0,035	0,016	82,324	1,192	-0,025	0,025	0,029
83,989	4,383	-0,034	0,031	0,136	83,516	0,473	-0,025	0,024	0,012
88,372	3,492	-0,028	0,026	0,090	83,989	4,383	-0,024	0,023	0,099
91,864	0,854	-0,024	0,023	0,020	88,372	3,492	-0,021	0,019	0,065
92,718	4,336	-0,023	0,020	0,087	91,864	0,854	-0,017	0,016	0,014
97,054	4,343	-0,018	0,015	0,066	92,718	4,336	-0,016	0,014	0,059
101,397	0,007	-0,013	0,013	0,000	97,054	4,343	-0,012	0,010	0,043
101,404	4,389	-0,013	0,010	0,045	101,397	0,007	-0,008	0,008	0,000
105,793	3,353	-0,008	0,0058	0,019	101,404	4,389	-0,008	0,007	0,029
109,146	3,354	-0,004	0,002	0,007	105,793	3,353	-0,005	0,004	0,013
112,500		0,000			109,146	3,354	-0,003	0,001	0,004
					112,500		0,000		

Verhältnis	
A^+ =	0,42 m
A =	3,93 m
A^+/A =	0,11

Verhältnis	
A^+ =	2,42 m
A =	3,46 m
A^+/A =	0,70

KH_ALT EL 202_VT steif					KH_ALT EL 200_VT weich				
x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]	x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]
0,000	3,354	0,000	0,035	0,119	0,000	3,354	0,000	0,208	0,699
3,354	3,353	0,071	0,107	0,357	3,354	3,018	0,417	0,538	1,624
6,707	4,389	0,142	0,190	0,835	6,372	0,335	0,659	0,657	0,220
11,096	0,007	0,238	0,238	0,002	6,707	4,389	0,654	0,403	1,767
11,103	4,343	0,238	0,285	1,238	11,096	0,007	0,151	0,151	0,001
15,446	0,868	0,332	0,336	0,292	11,103	2,744	0,150	0,075	0,206
16,314	3,468	0,340	0,298	1,034	13,847	1,599	0,000	0,044	0,070
19,782	0,854	0,256	0,241	0,206	15,446	3,686	-0,088	0,097	0,356
20,636	3,492	0,225	0,160	0,559	19,132	0,650	-0,106	0,105	0,069
24,128	3,089	0,095	0,048	0,147	19,782	0,854	-0,105	0,104	0,089
27,217	1,294	0,000	0,020	0,026	20,636	3,492	-0,103	0,092	0,323
28,511	0,473	-0,040	0,045	0,021	24,128	4,383	-0,082	0,064	0,281
28,984	3,975	-0,051	0,079	0,312	28,511	0,473	-0,046	0,045	0,021
32,959	1,904	-0,106	0,109	0,208	28,984	3,180	-0,044	0,040	0,126
34,863	1,557	-0,113	0,110	0,172	32,164	0,795	-0,036	0,036	0,029
36,420	1,084	-0,108	0,104	0,112	32,959	3,461	-0,036	0,040	0,137
37,504	2,340	-0,099	0,084	0,197	36,420	1,084	-0,043	0,045	0,048
39,844	2,339	-0,069	0,052	0,121	37,504	2,340	-0,046	0,049	0,114
42,183	0,962	-0,034	0,027	0,026	39,844	2,339	-0,051	0,053	0,125
43,145	3,892	-0,021	0,005	0,019	42,183	0,962	-0,055	0,056	0,054
47,037	1,930	0,011	0,013	0,024	43,145	1,167	-0,056	0,056	0,066
48,967	0,341	0,014	0,014	0,005	44,312	2,725	-0,057	0,056	0,152
49,308	2,806	0,014	0,010	0,027	47,037	2,271	-0,055	0,053	0,120
52,114	2,910	0,005	0,004	0,010	49,308	2,806	-0,051	0,048	0,135
55,024	2,452	-0,012	0,019	0,047	52,114	2,910	-0,045	0,042	0,123
57,476	2,910	-0,026	0,032	0,094	55,024	2,452	-0,039	0,037	0,091
60,386	2,666	-0,038	0,040	0,107	57,476	2,910	-0,035	0,033	0,097
63,052	0,140	-0,042	0,042	0,006	60,386	2,806	-0,032	0,031	0,087
63,192	2,271	-0,042	0,041	0,092	63,192	2,271	-0,030	0,030	0,068
65,463	3,892	-0,039	0,034	0,130	65,463	2,725	-0,030	0,030	0,082
69,355	0,962	-0,028	0,026	0,025	68,188	1,167	-0,030	0,030	0,035
70,317	2,339	-0,024	0,021	0,048	69,355	0,962	-0,030	0,030	0,029
72,656	2,340	-0,017	0,014	0,033	70,317	2,339	-0,030	0,030	0,069
74,996	1,084	-0,011	0,010	0,011	72,656	2,340	-0,029	0,029	0,067
76,080	2,942	-0,009	0,009	0,025	74,996	1,084	-0,028	0,028	0,030
79,022	0,519	-0,008	0,008	0,004	76,080	3,461	-0,027	0,026	0,089
79,541	3,975	-0,008	0,009	0,035	79,541	3,975	-0,024	0,022	0,088
83,516	0,473	-0,010	0,010	0,005	83,516	0,473	-0,020	0,020	0,009
83,989	4,164	-0,011	0,011	0,047	83,989	4,383	-0,020	0,018	0,079
88,153	0,219	-0,012	0,012	0,003	88,372	3,492	-0,016	0,015	0,053
88,372	3,492	-0,012	0,012	0,041	91,864	0,854	-0,014	0,014	0,012
91,864	0,854	-0,011	0,011	0,009	92,718	4,336	-0,014	0,012	0,053
92,718	4,336	-0,010	0,009	0,039	97,054	4,343	-0,011	0,009	0,041
97,054	4,343	-0,007	0,006	0,028	101,397	0,007	-0,008	0,008	0,000
101,397	0,007	-0,005	0,005	0,000	101,404	4,389	-0,008	0,006	0,027
101,404	4,389	-0,005	0,004	0,019	105,793	3,353	-0,005	0,003	0,012
105,793	3,353	-0,003	0,002	0,008	109,146	3,354	-0,002	0,001	0,004
109,146	3,354	-0,002	0,001	0,003	112,500		0,000		
112,500		0,000							

Verhältnis	
A ⁺ =	4,79 m
A ⁻ =	2,14 m
A ⁺ /A ⁻ =	2,24

Verhältnis	
A ⁺ =	4,52 m
A ⁻ =	3,56 m
A ⁺ /A ⁻ =	1,27

KH_ALT EL 201_VT weich					KH_ALT EL 202_VT weich				
x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]	x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]
0,000	3,354	0,000	0,045	0,150	0,000	3,354	0,000	0,026	0,086
3,354	3,353	0,089	0,166	0,555	3,354	3,353	0,051	0,069	0,230
6,707	4,170	0,242	0,385	1,607	6,707	4,389	0,086	0,151	0,663
10,877	0,219	0,529	0,529	0,116	11,096	0,007	0,216	0,216	0,002
11,096	0,007	0,528	0,528	0,004	11,103	3,909	0,217	0,336	1,311
11,103	4,343	0,528	0,369	1,604	15,012	0,434	0,454	0,452	0,196
15,446	4,336	0,211	0,107	0,464	15,446	4,336	0,450	0,349	1,515
19,782	0,115	0,003	0,002	0,000	19,782	0,854	0,249	0,228	0,195
19,897	0,739	0,000	0,011	0,008	20,636	3,492	0,207	0,135	0,472
20,636	3,492	-0,022	0,054	0,189	24,128	2,381	0,063	0,031	0,075
24,128	3,506	-0,086	0,095	0,334	26,509	2,002	0,000	0,026	0,053
27,634	0,877	-0,104	0,104	0,091	28,511	0,473	-0,053	0,057	0,027
28,511	0,473	-0,103	0,102	0,048	28,984	3,975	-0,061	0,079	0,315
28,984	3,975	-0,102	0,084	0,335	32,959	1,038	-0,097	0,098	0,102
32,959	3,461	-0,067	0,048	0,167	33,997	2,423	-0,099	0,094	0,229
36,420	1,084	-0,030	0,026	0,028	36,420	1,084	-0,090	0,086	0,093
37,504	2,340	-0,022	0,017	0,040	37,504	2,340	-0,081	0,067	0,158
39,844	1,169	-0,013	0,012	0,014	39,844	2,339	-0,054	0,039	0,091
41,013	1,170	-0,012	0,012	0,014	42,183	0,962	-0,024	0,019	0,018
42,183	0,962	-0,012	0,013	0,013	43,145	2,276	-0,013	0,007	0,015
43,145	3,892	-0,014	0,021	0,082	45,421	1,616	0,000	0,005	0,008
47,037	2,271	-0,028	0,033	0,074	47,037	1,135	0,009	0,010	0,011
49,308	2,806	-0,037	0,041	0,115	48,172	1,136	0,010	0,010	0,011
52,114	2,619	-0,045	0,046	0,121	49,308	2,584	0,009	0,005	0,012
54,733	0,291	-0,047	0,047	0,014	51,892	0,222	0,000	0,000	0,000
55,024	2,452	-0,047	0,046	0,113	52,114	2,910	-0,001	0,009	0,025
57,476	2,910	-0,045	0,041	0,120	55,024	2,452	-0,016	0,022	0,054
60,386	2,806	-0,038	0,034	0,096	57,476	2,910	-0,028	0,032	0,094
63,192	2,271	-0,030	0,027	0,062	60,386	1,824	-0,037	0,037	0,068
65,463	3,892	-0,025	0,021	0,083	62,210	0,982	-0,038	0,038	0,037
69,355	0,962	-0,018	0,018	0,017	63,192	2,271	-0,038	0,036	0,082
70,317	2,105	-0,018	0,017	0,037	65,463	3,892	-0,034	0,029	0,112
72,422	0,234	-0,017	0,017	0,004	69,355	0,962	-0,023	0,022	0,021
72,656	2,340	-0,017	0,017	0,041	70,317	2,339	-0,020	0,017	0,040
74,996	1,084	-0,018	0,018	0,019	72,656	2,340	-0,014	0,012	0,028
76,080	3,461	-0,018	0,019	0,065	74,996	1,084	-0,010	0,009	0,010
79,541	0,795	-0,019	0,019	0,015	76,080	2,250	-0,009	0,008	0,018
80,336	3,180	-0,019	0,019	0,061	78,330	1,211	-0,008	0,008	0,009
83,516	0,473	-0,019	0,019	0,009	79,541	3,975	-0,008	0,009	0,036
83,989	4,383	-0,018	0,017	0,073	83,516	0,473	-0,010	0,010	0,005
88,372	3,492	-0,015	0,013	0,047	83,989	3,725	-0,011	0,011	0,042
91,864	0,854	-0,012	0,011	0,010	87,714	0,658	-0,012	0,012	0,008
92,718	4,336	-0,011	0,010	0,042	88,372	3,492	-0,012	0,011	0,038
97,054	4,343	-0,008	0,007	0,032	91,864	0,854	-0,010	0,010	0,008
101,397	0,007	-0,006	0,006	0,000	92,718	4,336	-0,010	0,008	0,034
101,404	4,389	-0,006	0,005	0,022	97,054	4,343	-0,006	0,005	0,023
105,793	3,353	-0,004	0,003	0,010	101,397	0,007	-0,004	0,004	0,000
109,146	3,354	-0,002	0,001	0,003	101,404	4,389	-0,004	0,004	0,016
112,500		0,000			105,793	3,353	-0,003	0,002	0,007
					109,146	3,354	-0,002	0,001	0,003
					112,500		0,000		

Verhältnis	
A ⁺ =	4,50 m
A ⁻ =	2,67 m
A ⁺ /A ⁻ =	1,69

Verhältnis	
A ⁺ =	4,79 m
A ⁻ =	1,92 m
A ⁺ /A ⁻ =	2,50

KH_ALT EL 201

KH_ALT EL 202

x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]	x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]
0,000	3,354	0,000	0,060	0,201	0,000	3,354	0,000	0,028	0,095
3,354	3,353	0,120	0,190	0,636	3,354	3,353	0,057	0,087	0,292
6,707	4,170	0,260	0,339	1,413	6,707	4,389	0,117	0,180	0,788
10,877	0,219	0,418	0,418	0,091	11,096	0,007	0,242	0,242	0,002
11,096	0,007	0,418	0,418	0,003	11,103	4,343	0,242	0,310	1,347
11,103	4,343	0,418	0,325	1,410	15,446	4,336	0,379	0,315	1,367
15,446	4,336	0,232	0,130	0,564	19,782	0,854	0,252	0,234	0,200
19,782	0,842	0,029	0,014	0,012	20,636	3,492	0,217	0,150	0,523
20,624	0,012	0,000	0,000	0,000	24,128	2,873	0,082	0,041	0,118
20,636	3,492	0,000	0,040	0,141	27,001	1,510	0,000	0,022	0,033
24,128	4,164	-0,081	0,096	0,400	28,511	0,473	-0,043	0,048	0,023
28,292	0,219	-0,112	0,112	0,024	28,984	3,975	-0,053	0,077	0,306
28,511	0,473	-0,112	0,111	0,053	32,959	1,557	-0,101	0,103	0,160
28,984	3,975	-0,111	0,093	0,369	34,516	1,904	-0,105	0,102	0,195
32,959	3,461	-0,075	0,053	0,183	36,420	1,084	-0,100	0,095	0,103
36,420	1,084	-0,031	0,026	0,028	37,504	2,340	-0,091	0,077	0,180
37,504	2,340	-0,021	0,015	0,035	39,844	2,339	-0,063	0,046	0,108
39,844	1,871	-0,009	0,007	0,014	42,183	0,962	-0,030	0,024	0,023
41,715	0,468	-0,006	0,006	0,003	43,145	3,892	-0,017	0,004	0,014
42,183	0,962	-0,006	0,007	0,007	47,037	1,703	0,010	0,012	0,020
43,145	3,892	-0,008	0,015	0,059	48,740	0,568	0,013	0,013	0,007
47,037	2,271	-0,023	0,028	0,064	49,308	2,806	0,013	0,008	0,022
49,308	2,806	-0,034	0,039	0,108	52,114	2,910	0,003	0,005	0,014
52,114	2,910	-0,044	0,046	0,133	55,024	2,452	-0,013	0,020	0,048
55,024	0,368	-0,048	0,048	0,018	57,476	2,910	-0,026	0,032	0,092
55,392	2,084	-0,048	0,047	0,099	60,386	2,385	-0,037	0,038	0,091
57,476	2,910	-0,046	0,043	0,125	62,771	0,421	-0,040	0,040	0,017
60,386	2,806	-0,040	0,036	0,100	63,192	2,271	-0,040	0,038	0,087
63,192	2,271	-0,031	0,028	0,063	65,463	3,892	-0,037	0,031	0,121
65,463	3,892	-0,025	0,021	0,081	69,355	0,962	-0,026	0,024	0,023
69,355	0,962	-0,017	0,017	0,016	70,317	2,339	-0,022	0,019	0,044
70,317	2,105	-0,016	0,016	0,033	72,656	2,340	-0,015	0,013	0,030
72,422	0,234	-0,015	0,015	0,004	74,996	1,084	-0,010	0,009	0,010
72,656	2,340	-0,015	0,016	0,037	76,080	2,769	-0,009	0,008	0,022
74,996	1,084	-0,016	0,016	0,018	78,849	0,692	-0,007	0,007	0,005
76,080	3,461	-0,017	0,018	0,061	79,541	3,975	-0,007	0,009	0,034
79,541	1,789	-0,019	0,019	0,033	83,516	0,473	-0,010	0,010	0,005
81,330	2,186	-0,019	0,019	0,041	83,989	4,164	-0,010	0,011	0,046
83,516	0,473	-0,018	0,018	0,009	88,153	0,219	-0,012	0,012	0,003
83,989	4,383	-0,018	0,017	0,073	88,372	3,492	-0,012	0,011	0,039
88,372	3,492	-0,015	0,013	0,046	91,864	0,854	-0,010	0,010	0,009
91,864	0,854	-0,012	0,011	0,010	92,718	4,336	-0,010	0,008	0,036
92,718	4,336	-0,011	0,010	0,041	97,054	4,343	-0,007	0,006	0,025
97,054	4,343	-0,008	0,007	0,031	101,397	0,007	-0,005	0,0045	0,000
101,397	0,007	-0,006	0,006	0,000	101,404	4,389	-0,005	0,004	0,016
101,404	4,389	-0,006	0,005	0,022	105,793	3,353	-0,003	0,002	0,007
105,793	3,353	-0,004	0,003	0,010	109,146	3,354	-0,001	0,001	0,002
109,146	3,354	-0,002	0,001	0,003	112,500		0,000		
112,500		0,000							

Verhältnis	
A ⁺ =	4,33 m
A ⁻ =	2,59 m
A ⁺ /A ⁻ =	1,67

Verhältnis	
A ⁺ =	4,73 m
A ⁻ =	2,02 m
A ⁺ /A ⁻ =	2,34

Auswertung der Einflusslinie KH_PCD

x [m]	Δx [m]	u-v	(a+b)/2	A [m]
0,000	3,265	0,000	0,151	0,492
3,265	3,265	0,301	0,388	1,266
6,531	4,264	0,474	0,352	1,501
10,795	3,645	0,230	0,115	0,419
14,440	0,574	0,000	0,018	0,010
15,014	1,110	-0,036	0,059	0,065
16,124	3,086	-0,082	0,108	0,332
19,210	0,420	-0,134	0,134	0,056
19,629	3,777	-0,135	0,119	0,449
23,406	1,580	-0,103	0,092	0,146
24,986	2,642	-0,082	0,067	0,176
27,628	4,274	-0,052	0,039	0,166
31,903	0,868	-0,026	0,025	0,022
32,771	0,523	-0,024	0,024	0,013
33,294	2,965	-0,024	0,027	0,080
36,259	3,468	-0,030	0,038	0,132
39,727	1,004	-0,046	0,048	0,048
40,731	4,626	-0,050	0,055	0,255
45,357	0,681	-0,060	0,061	0,041
46,038	0,207	-0,061	0,061	0,013
46,245	3,937	-0,061	0,058	0,227
50,182	1,657	-0,055	0,052	0,087
51,840	3,422	-0,050	0,045	0,154
55,261	1,978	-0,040	0,037	0,073
57,239	3,422	-0,034	0,031	0,106
60,660	1,657	-0,028	0,027	0,045
62,318	1,865	-0,026	0,026	0,048
64,183	2,280	-0,026	0,026	0,059
66,462	0,681	-0,026	0,026	0,018
67,143	4,626	-0,026	0,027	0,127
71,769	1,004	-0,029	0,029	0,029
72,773	0,520	-0,029	0,029	0,015
73,293	2,948	-0,029	0,028	0,083
76,241	3,488	-0,028	0,026	0,092
79,729	0,868	-0,025	0,024	0,021
80,597	4,274	-0,024	0,021	0,091
84,872	2,642	-0,019	0,018	0,046
87,514	1,580	-0,016	0,016	0,025
89,094	4,197	-0,015	0,014	0,058
93,290	3,086	-0,012	0,012	0,036
96,376	1,110	-0,011	0,011	0,012
97,486	0,574	-0,010	0,010	0,006
98,060	3,645	-0,0098	0,009	0,032
101,705	4,264	-0,007	0,006	0,025
105,969	3,266	-0,004	0,003	0,011
109,235	3,265	-0,002	0,001	0,004
112,500		0,000		

$A_{ii} = 3,677 \text{ m}$

$A_{re} = 0,072 \text{ m}$

$N_{vorh} = -433,47 \text{ kN}$

$\Delta g = 120,22 \text{ kN/m}$

$l = 14,44 \text{ m}$

$A_{ges} = 3,61 \text{ m Ali-Are}$

$N = 433,47 \text{ kN}$

Verhältnis

$A^+ = 3,68 \text{ m}$

$A^- = 3,53 \text{ m}$

$A/A^+ = 0,96$

Anhang E

Aufteilung der Aufgaben auf die Diplomanden

Im Folgenden wird die Aufteilung der Aufgaben auf die Diplomanden anhand eines farblich gekennzeichneten Inhaltsverzeichnisses dargestellt

- Alexander Pisan
- Clemens Schweighofer
- Markus Weidinger
- In Zusammenarbeit erstellt

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract.....	8
2	Einleitung.....	9
3	Geschichtliche Entwicklung.....	10
4	Tragwirkung.....	14
5	Entwurf.....	17
5.1	Allgemeines.....	17
5.2	Bogen.....	17
5.3	Versteifungsträger und Fahrbahn.....	19
5.4	Hänger.....	21
5.5	Windverband.....	21
6	Netzgenerierung von Netzwerkbogenbrücken.....	22
6.1	Allgemeines.....	22
6.2	Die Variablen der Hängeranordnung.....	24
6.3	Die Anzahl der Hänger pro Set und der Abstand der Hänger untereinander.....	25
6.4	Neigungswinkel und Positionierung der Hänger.....	28
6.5	Bogenstich, Steifigkeiten und Krümmung.....	30
7	Generierungsvorschriften für die Hängeranordnung.....	31
7.1	Allgemeines.....	31
7.2	Das Rautennetz.....	31
7.3	Die radiale Hängeranordnung.....	33
7.4	Konstante Neigungsänderung.....	38
7.5	Konstante untere Knotenabstände im mittleren Brückenteil.....	40
7.6	Zusammenfassung.....	41
8	Bemessung.....	42
9	Konstruktion.....	44
10	Ausführungsbeispiele.....	47
10.1	Fehmarnsundbrücke (1963) [10].....	47
10.2	Brücke über den Fluss Dziwna in Wolin (2003) [9].....	48

10.3	Providence River Bridge (2007) [10]	50
10.4	Eisenbahnüberführung „Flora“ über den Mittlandkanal (2006) [2]	51
11	Projektbeschreibung	53
11.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	56
11.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	57
11.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT-GmbH	58
12	Statisches System und Modellbildung	59
12.1	Schein-E-Modul der Hänger	61
13	Lastannahmen	63
13.1	Verkehrslasten	63
13.1.1	Lastmodell 71	63
13.1.1.1	Lastverteilung in Längsrichtung für die globale Tragwerksberechnung	63
13.1.2	Lastmodell SW/2	64
13.1.3	Dienstgehwege	65
13.1.4	Exzentrizität der Vertikallasten	65
13.2	Ständige Lasten	66
13.2.1	Näherungsweise Ermittlung des Eigengewichts der Stahlkonstruktion	66
13.2.2	Ermittlung des Eigengewichts der orthotropen Platte	67
13.2.3	Schotterbett	67
13.2.4	Schienen, Schienenbefestigung und Schwellen	68
13.2.5	Sonstige Ausbaulasten	68
13.3	Dynamische Beiwerte	69
13.4	Ermittlung der Verkehrslastgruppen EN 1-2, 6.8.2	71
13.5	Teilsicherheitsbeiwerte EN 1990/A1	72
13.6	Querverteilung der Lasten	72
13.7	Lastfallbezeichnungen und Lastfallkombinationen	73
13.7.1	Ständige Lasten	73
13.7.2	Verkehrslasten	73
13.7.3	Lastfallkombinationen	75

14	Auswertung der Ergebnisse der berechneten Netzgeometrien	78
14.1	Zielsetzung	78
14.2	Zusammenfassung der Ergebnisse im Grenzzustand der Ermüdung (FLS)	78
14.2.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	79
14.2.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	84
14.2.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT	89
14.2.4	Interpretation und Bewertung der Ergebnisse	93
14.3	Zusammenfassung der Ergebnisse im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)	100
14.3.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	100
14.3.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	108
14.3.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT	116
14.3.4	Interpretation und Bewertung der Ergebnisse	124
15	Betrachtung weiterer Netzgeometrien	127
15.1	Zielsetzung	127
15.2	Modifikation der konstanten Hängerneigungsänderung	128
15.3	Zusammenfassung der Ergebnisse im Grenzzustand der Ermüdung (FLS)	130
15.3.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	130
15.3.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	132
15.3.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT	133
15.3.4	Interpretation und Bewertung der Ergebnisse	135
15.4	Zusammenfassung der Ergebnisse im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)	139
15.4.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	139
15.4.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	140
15.4.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD ZT	142
16	Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse	145
17	Neues Nachweiskonzept für die Hänger im Grenzzustand der Tragfähigkeit	148
17.1	Nachweis Teil 1: Nachweis der Hänger gegen Ausfall	149
17.2	Nachweis Teil 2: Nachweis des Tragwerks	149
18	Optimierung der Kämpferbereiche	151

18.1	Einleitung	151
18.2	Zusätzliches Gewicht	153
18.2.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	157
18.2.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	164
18.2.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD-ZT	170
18.2.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	175
18.3	Vorspannung	177
18.3.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung	180
18.3.1.1	Vorspannung ohne Hilfsstütze mit Sicherung des VT gegen Abheben	180
18.3.1.2	Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben	184
18.3.1.3	Vorspannung mit Hilfsstütze	187
18.3.1.4	Ergebnisauswertung	190
18.3.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung	194
18.3.2.1	Vorspannung ohne Hilfsstütze und mit Sicherung des VT gegen Abheben	194
18.3.2.2	Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben	197
18.3.2.3	Vorspannung mit Hilfsstütze	200
18.3.2.4	Ergebnisauswertung	204
18.3.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD-ZT	207
18.3.3.1	Vorspannung ohne Hilfsstütze und mit Sicherung des VT gegen Abheben	207
18.3.3.2	Vorspannung ohne Hilfsstütze und ohne Sicherung des VT gegen Abheben	211
18.3.3.3	Vorspannung mit Hilfsstütze	214
18.3.3.4	Ergebnisauswertung	218
18.3.4	Weitere Ideen für Vorspannkonzepte	221
18.3.4.1	Gemeinsames Vorspannen der ersten beiden Hänger	221
18.3.4.2	Mitvorspannen der flachen Hänger im Kämpferbereich	224
18.3.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	227
18.4	Variation der Steifigkeiten im Kämpferbereich	229
18.4.1	Erhöhung der Steifigkeit des Bogens	229
18.4.2	Verminderung der Steifigkeit des Bogens	234
18.4.3	Variation der Steifigkeit des Versteifungsträgers	235

18.4.4	Praktische Anwendung.....	239
19	Nachweis der Hängernetzgeometrien.....	244
19.1	Variante 1: Radiale Hängeranordnung.....	244
19.2	Variante 2: Konstante Hängerneigungsänderung.....	249
19.3	Variante 3: Hängeranordnung nach PCD-ZT.....	253
20	Zusammenfassung.....	258
21	Literaturverzeichnis.....	260
22	Abbildungsverzeichnis.....	262
23	Diagrammverzeichnis.....	272
24	Tabellenverzeichnis.....	277
	Anhang A: Berechnung der Querverteilung der Lasten	
	Anhang B: Querschnittswerte	
	Anhang C: Eingabedaten und Berechnung einer Netzgeometrie in RSTAB	
	Anhang D: Auswertung der Normalkrafteinflusslinien der Hänger	
	Anhang E: Aufteilung der Aufgaben auf die Diplomanden	
