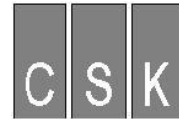


Alter Hellweg 50, 44379 Dortmund
Tel.: (0231) 556904-0
Fax: (0231) 556904-22
E-Mail CSK@CSK-ING.DE



Ingenieurgesellschaft mbH & Co. KG
Beratende Ingenieure im Bauwesen



Maßnahme: Wuppertaler Schwebebahn
Wagenhalle Vohwinkel, Vohwinkeler Straße 22
Bestandsaufnahme / Bauteilkatalog

Inhalt: Gutachterliche Stellungnahme (Teil 2)
Bestandsaufnahme / Beurteilung der Bauteile
Ingenieurtechnische Untersuchungen

Auftraggeber: WSW mobil GmbH
Gutenbergstraße 50
42117 Wuppertal

Auftrag: G23-002

Dortmund,

Stand: 28.05.2025

Revision 0

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung, Vorgehen und Beschreibung.....	1-1
1.1	Aufgabenstellung (Erweiterung der Untersuchungen)	1-1
1.2	Vorgehensweise	1-2
1.3	Beschreibung des Bestandsgebäudes	1-2
2	Unterlagen und Werkstoffe	2-1
2.1	Verwendete Unterlagen	2-1
2.1.1	Gutachten, Berechnungen und Berichte	2-1
2.1.2	Zeichnungen	2-2
2.2	Werkstoffe.....	2-3
3	Analyse des aktuellen Bestands	3-1
3.1	Einschränkende Randbedingungen.....	3-1
3.1.1	Auflagen für den Fahrbetrieb	3-1
3.1.2	Beschränkungen der Verkehrslasten.....	3-2
3.1.2.1	Decke über der Werkstatt	3-2
3.1.2.2	Trägerlage der UH-Ebene (Arbeitsebene)	3-2
3.1.2.3	Dachbinder, Pfetten und Aufbau	3-2
3.1.3	Weitere bauliche Einschränkungen	3-3
3.1.3.1	Mauerwerk der Außenwände.....	3-3
3.1.3.2	Stahlprofile und Bleche	3-4
3.2	Rechenmodell.....	3-5
3.2.1	Beschreibung des Modells.....	3-5
3.2.2	Lastannahmen	3-19
3.2.2.1	Ständige Lasten.....	3-19
3.2.2.2	Verkehrslasten auf den Arbeitsebenen	3-19
3.2.2.3	Hublasten der Krananlagen	3-21
3.2.2.4	Fahrzeuglasten nach Beilage 4	3-21
3.2.2.5	Schnee- und Windlasten.....	3-23
3.2.2.6	Lastfälle für die EDV-Berechnung.....	3-24
3.2.2.7	Ergebniskombinationen für die EDV-Berechnung.....	3-26
3.2.3	Ergebnisse der EDV-Berechnungen.....	3-27

3.2.3.1	Dachkonstruktion	3-27
3.2.3.2	FW-Binder und Aufhängungen der FS-Träger	3-28
3.2.3.3	FS-Träger	3-33
3.2.3.4	Träger und Ausfachung der UH-Ebene	3-36
3.2.3.5	Träger der Decke über der Werkstatt.....	3-44
3.2.3.6	FW-Stützen in der Achse 9 (Mittelachse).....	3-47
3.2.3.7	Halbrund-Stütze in der Achse K/9.....	3-50
3.2.3.8	Rahmen-Stützen in der Achse A.....	3-51
3.2.3.9	Stützen in der Achse 17 (Glaswand)	3-54
3.2.3.10	Zwischenstützen der Werkstattdecke	3-59
3.2.3.11	Stützen im Erdgeschoss (Zusammenstellung).....	3-64
3.2.3.12	Mauerwerk in Südwand und Rotunde	3-67
3.2.3.13	Gründung der Stützen K/9 und H/9.....	3-77
4	Standicherheit Einflüsse und Monitoring	4-1
4.1	Allgemeines	4-1
4.1.1	Mauerwerk in der Südwand und Rotunde.....	4-1
4.1.2	Ermüdung und Alterung der stählernen Bauteile	4-4
4.1.3	Einbettung von Stahlstützen im Boden	4-8
4.1.4	Monitoring	4-8
4.1.5	Betriebsanweisungen und Aushang	4-10
5	Zusammenfassung	5-1
6	Verzeichnisse zugehöriger Unterlagen.....	6-1
6.1	Zugehörige Anhänge (EDV-Protokolle)	6-1
6.2	Verzeichnis der verwendeten Zeichnungen	6-2
7	Schlussseite.....	7-1

1 Aufgabenstellung, Vorgehen und Beschreibung

1.1 Aufgabenstellung (Erweiterung der Untersuchungen)

Bisher wurde im Rahmen der Planung einer neu zu errichtenden Wagenhalle für die Schwebebahn in Vohwinkel untersucht, ob das bestehende Gebäude oder Teile des bestehenden Gebäudes insgesamt unter dem Gesichtspunkt der Standsicherheit und ihrer weiteren Funktionsfähigkeit erhalten, bzw. wieder- oder weiterverwendet werden können. Hierzu wurden die ursprünglichen Planungsunterlagen aus den Jahren 1899 bis 1901 gesichtet und ausgewertet, ebenso wie Zeichnungen und Berechnungen, die in der Folgezeit im Rahmen von Maßnahmen zur Erhaltung, Sanierung und Modernisierung erstellt wurden.

Zusätzlich wurden die Bestandskonstruktionen im Rahmen einer erweiterten Stichprobe in Augenschein genommen und deren Zustand erfasst.

Im Rahmen der hier vorgenommenen Bearbeitung wurden zusätzliche ingenieurtechnische Untersuchungen zur Standsicherheit der Bauteile und zu weiteren Aufgaben aus dem ersten Expertenhearing „Kulturerbe Konstruktion“ durchgeführt.

1.2 Vorgehensweise

Um eine aussagekräftige Bewertung der Standsicherheit vornehmen zu können, wird das bisherige Rechenmodell, das bisher nur die Dachkonstruktion mit den Bindern, die Aufhängungen und die Fahrschienträger enthielt, auf das Gesamtgebäude erweitert. Alle statisch relevanten Bauteile des gesamten Hallentragwerks werden jetzt in der EDV-Berechnung erfasst, beginnend ab Oberkante der Fundamente bis zu den Pfetten und Oberlichtträgern des Dachtragwerks.

Bei den überarbeiteten und ergänzenden Berechnungen werden 2 Belastungszustände untersucht und in das EDV-Rechenmodell entsprechend eingegeben:

- Bei den Untersuchungen zum Zustand 1 werden alle Lasten und Beanspruchungen einschließlich aller betrieblichen und sonstigen Einschränkungen in der Berechnung berücksichtigt. Die Ergebnisse dieser Nachweise werden im Abschnitt 3 als „Bestandstragwerk unter aktuellen Beanspruchungen“ analysiert. Sie geben Aufschluss über die momentane Standsicherheit.
- Beim Zustand 2 wird das Modell mit gleicher Geometrie und Stabquerschnitten wie zuvor aber mit „betriebsgerechten“ Lasten und ohne die einschneidenden Einschränkungen des Fahr- und Reparaturbetriebs berechnet.
Die wesentlichen Unterschiede sind die Flächenlasten auf der Werkstattdecke, die jetzt 7,50 kN/m² statt wie bisher 2,00 kN/m² betragen. Für den Fahrbetrieb werden auf den drei Innengleisen Leerfahrzeuge GTW 75-2014 berücksichtigt (identisch wie beim Zustand 1). Auf dem Außengleis 4 werden jedoch die Radlasten einer Doppelzuginheit GTW 75-2014 mit voller Verkehrslast aufgebracht. Die Ergebnisse der Berechnungen „Zustand 2“ werden als „Tragwerksanalyse mit betriebsgerechten Lasten“ ausgewertet.
- Das Tragverhalten des Bauwerks bei plötzlichem Versagen infolge Ermüdung oder Versprödung eines stählernen Tragteils wird ebenfalls untersucht.

1.3 Beschreibung des Bestandsgebäudes

Eine ausführliche Beschreibung der bestehenden Wagenhalle ist im ersten Teil des Gutachten G23-002 vom 20.06.2023 enthalten.

Zu den dort dargestellten Querschnitten auf den Seiten 1 - 6 und 1 - 7 ist zu vermerken, dass nach der letzten Begehung die OK des Hallenbodens mit einer Höhenkote von ca. + 170,500 m festgestellt wurde.

Für die Rechenmodelle wurde daraufhin die Höhe des Koordinatennullpunkts in OK FFB der Werkstatt verschoben.

Entsprechende Skizzen (Abb. 1 und 2) sind auf den folgenden Seiten eingefügt.

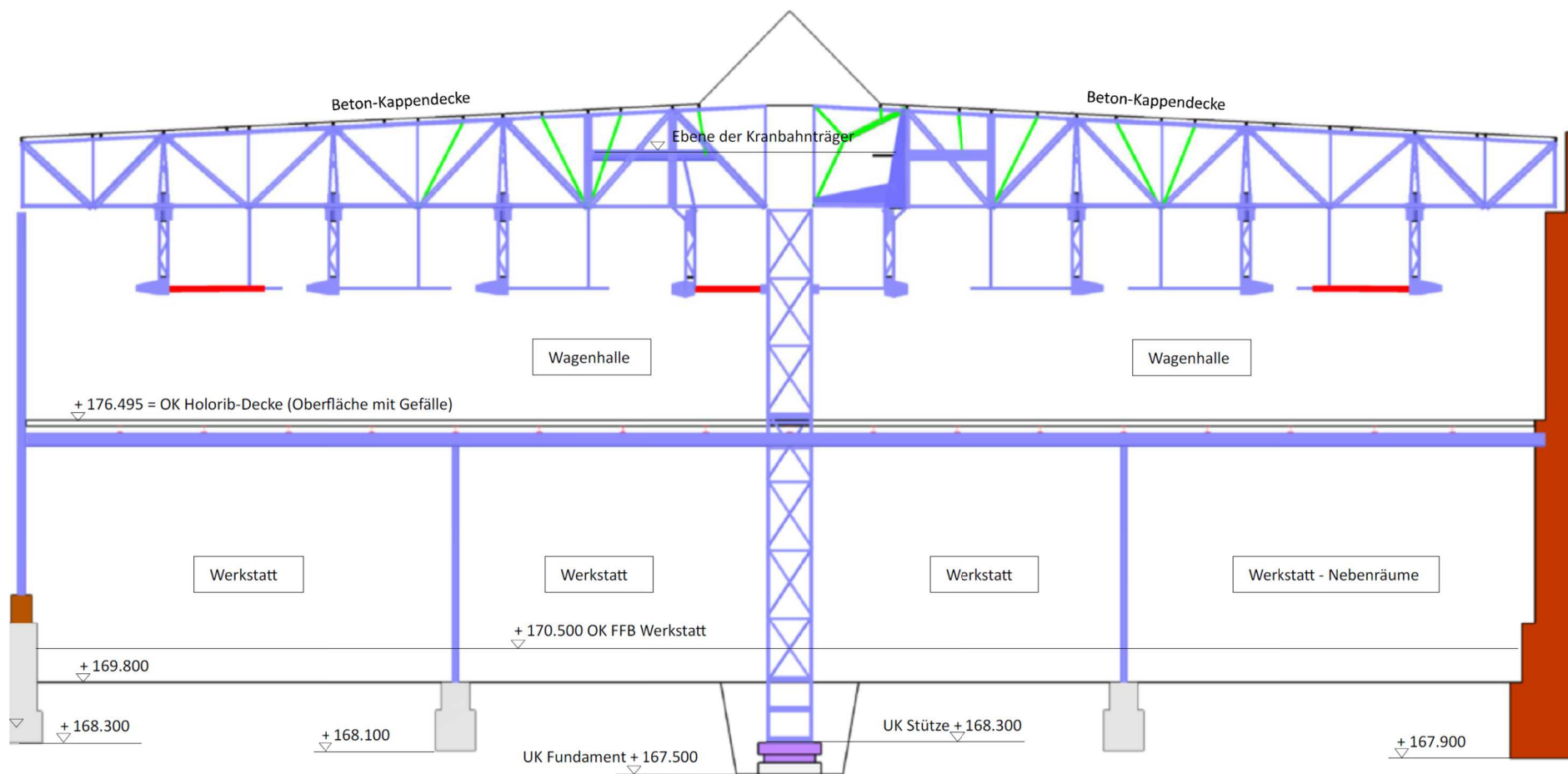


Bild 1: Querschnitt durch die Halle vor der Achse K mit Verstärkungen aus 2021/22 (Grün = zusätzliche Stäbe eingefügt, Rot = vorhandene Querschnitte durch Bleche o.ä. verstärkt) OKFFB Werkstatt geändert und eingefügt,

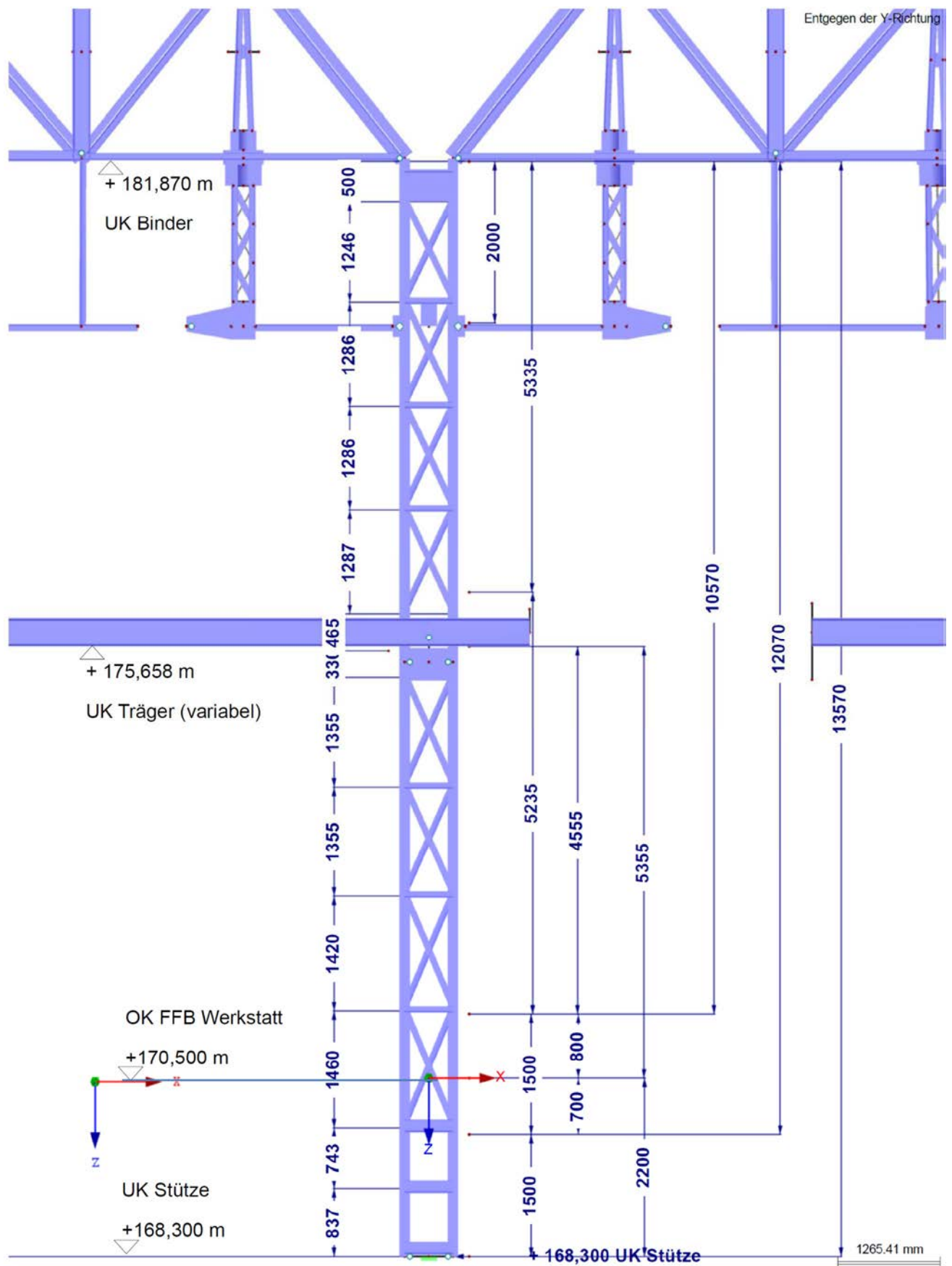


Bild 2: Ansicht FW-Stütze: Jetzt Nullpunkt des Koordinatensystems = OK FFB Werkstatt

2 Unterlagen und Werkstoffe

2.1 Verwendete Unterlagen

2.1.1 Gutachten, Berechnungen und Berichte

Statische Berechnungen, Gutachten und HU-Bericht

- [1] Statische Berechnung Revision 0: „Nachrechnung der Binder der Wagenhalle Vohwinkel unter den neuen Fahrzeuglasten“, aufgestellt am 21.01.2016 von der CSK Ingenieurgesellschaft mbH & Co KG, Dortmund.
- [2] Betriebsfestigkeitsnachweis für neue Bauwerke der Wuppertaler Schwebebahn, aufgestellt am 29. 10.1991 von Prof. Dr.-Ing. Sedlacek, Aachen.
- [3] Gutachterliche Stellungnahme „Untersuchung der Tragsicherheit der Wagenhalle Vohwinkel unter Berücksichtigung der betrieblichen Vorgaben nach der Sanierung in 2011 / 2012“: aufgestellt am 05.11.2012 von der CSK-Ingenieurgesellschaft mbh & Co KG, Dortmund.
- [4] Prüfbericht zur Hauptprüfung 3 / 2019 der Wagenhalle Vohwinkel, erstellt vom Ingenieurbüro Grassl GmbH, Düsseldorf am 06.07.2020.
- [5] Statische Vorberechnung zur Instandsetzung der Wagenhalle Vohwinkel, Zwischendecke über der Werkstatt Achsen A bis N / 1 bis 17, erstellt von Grassl Ingenieure GmbH in Düsseldorf, erstellt am 21.07.2009.
- [6] Statische Berechnung zur Nachrechnung der Dachbinder in der Wagenhalle Vohwinkel, Revision 0 vom 20.01.2022, aufgestellt von der CSK-Ingenieurgesellschaft mbH & Co. KG, Dortmund.
- [7] Werkstoffgutachten zu den Stahlbauteilen: Inspektionsbericht 2402.I0176A 240430_Wagenhalle Vohwinkel Materialuntersuchung, erstellt von der SLV Duisburg am 20.06.2024
- [8] Bodengutachten: Bericht über Untergrunderkundungen zur Frage der Fundamentabmessungen in der Wagenhalle Vohwinkel der Wuppertaler Schwebebahn, erstellt am 05.03.2025 von IGW, Ingenieurgesellschaft für Geotechnik Wuppertal mbH, Pulsfort und Partner

2.1.2 Zeichnungen

Bestandszeichnungen der Ursprungsplanung und nachfolgender Änderungen

- [9] Bestandszeichnungen der WSW für die Wagenhalle Vohwinkel erstellt von MAN in 1899 bis 1901 und Änderungszeichnungen der WSW in der Folgezeit bis heute, aufgelistet am Ende dieses Gutachtens.
- [10] Zeichnungen zur Sanierung des Portals Achse A und zum Binder in der Achse B der Wagenhalle Vohwinkel, erstellt von Prokon, ARGE Bahnhöfe Wuppertal und Stahlbau Igler in 2003, Zeichnungen mit Nummern 1-050-01 bis 1-050-11, jeweils in der gültigen Fassung Index 0 bis 4.
- [11] Zeichnungen „Bestandsplanung“ der WSW Wuppertaler Stadtwerke GmbH, Zeichnungen zum Bauvorhaben „Schwebebahnwerkstatt Vohwinkeler Str. 22, Wuppertal-Vohwinkel“, Zeichnungs-Nr. AN, BG_EG, BG_OG1, BG_OG2, BG_ZG, SN, WS_E0, WS_E1 und WS_E2, alle erstellt im Januar 2022.
- [12] Zeichnungen zur Wagenhalle Vohwinkel, Instandsetzung der Zwischendecke (über der Werkstatt), Zeichnungs-Nr. P01b, 1.01 bis 1.05a, 2.01a bis 2.04, 3.01, 4.01a, 5.01, erstellt von der Grassl Ingenieure GmbH, Düsseldorf in 2009 und 2010.
- [13] Zeichnung zur Wagenhalle Vohwinkel, Instandsetzung Stütze F17, Plan Nr. A1a vom 05.08.2009, erstellt von Grassl Ingenieure GmbH, Düsseldorf.

2.2 Werkstoffe

Da zu den ursprünglich verwendeten Werkstoffen keine Unterlagen vorliegen, wurden für die Nachrechnungen folgende Werkstoffe angenommen:

Stahl	S235JR (1.0038)	(alte Bezeichnung RSt 37-2)
Mauerwerk	Vollziegel Mz mit Festigkeitsklasse 6	
Mauermörtel	M2,5 (MG II)	
Beton	C8/10	

Zum Vergleich der Werkstoffe wurden aus dem Faksimile-Nachdruck

Otto Königer: „Die Konstruktionen in Eisen, Sechste vermehrte und umgearbeitete Auflage“, J. M. Gebhardt's Verlag, Leipzig 1902

Kopien der Werkstoffdaten der Baustoffe um 1900 und damals zulässige Spannungen in tabellarischer Form wie folgt eingefügt.

Tabelle 6a. Festigkeit der Metalle.

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Material		Elastici- tätssiffer $E = \frac{1}{\alpha}$ t/qem	Bruchbelastung		Belastung an der Elasticitätsgrenze		Größte zulässige Anstrengung bei beweglicher, aber stoßfreier Be- lastung in kg/qem *)			
			Zug kg/qem	Druck kg/qem	Zug kg/qem	Druck kg/qem	Zug	Druck	Biegung	Schub
Eisen	Stabeisen {	2000	3300—4000	2300—2800	1300—1700	1300—1700	900	900	900	600
	u. Bleche {	2150	3600—4200	2500—3000	2000—2400	2000—2400	900	900	900	600
	Gußeisen	750—1050	1200—1800	7000—8000	—	—	250	500	250	200
	Flußstahl	2200	4500—10000	2800—10000	2500—5000	2500—5000	1400	1400	1400	1000
	Eisen-draht	2000	5600	—	2400	—	1400	—	—	—
	Stahl-draht	—	11500	—	—	—	2800	—	—	—
Kupfer (gewalzt)		1100	2000—2300	—	200—400	—	200	200	200	—
Kupferdraht		1210	4200	—	450	—	400	—	—	—
Messing		—	1500	—	—	—	220	220	220	—
Messingdraht		—	3600	—	—	—	500	—	—	—
Blei, gewalzt		50	125	50—150	—	—	30	100	—	—
Zink, gewalzt		150	1900	1000	—	—	300	—	—	—
Zinn		400	350	—	—	—	70	—	—	—
Deltametall, hart gewalzt		998	5880	—	2200	—	900	—	—	—

Die in Spalte 2—6 angegebenen Zahlen sind Mittelwerte aus Versuchen. Die Zahlen der Spalten 7—10 setzen ein mittelmäßiges Material voraus.

*) Bei mäßigen Erschütterungen (Lanzfälen, Werkstätten u. s. w.) ist etwa 0,85, bei stärkeren Erschütterungen 0,7 der angegebenen Werte zu wählen. Bei provisorischen Anlagen ist etwa das 1,3fache der sonst maßgebenden Werte zulässig.

Tabelle 6a. Festigkeit der Bausteine.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Material	Elastici- tätsziffer $E = \frac{1}{\alpha}$ t/qcm	Bruchbelastung in kg/qcm			Größte zulässige Anstrengung bei beweglicher, aber stoßfreier Belastung in kg/qcm*)			
		Zug	Druck	Schub	Zug	Druck	Biegung	Schub
Basalt (Syenit)	—	—	1200	—	—	60—80	10—15	—
Granit	300	40	1000	90	4—6	45—70	7—10	5—7
Sandstein	200	20	500	20	2—3	20—30	3—5	2½—4
Kalkstein	350	30	750	30	3	25—35	3—5	4
Ziegel, gute	—	15	200	30	1—2	10—15	1½—2½	1—2½
„gewöhnliche	—	6	100	10	—	6—10	1	—
Cement (rein)	—	20	300	25	2—3	20—30	3—5	2½—4
Cementmörtel 1:3 (nach 28 Tagen)**)	150	16	200	20	1½—2½	10—20	2—3	2—3
Stampf-Beton (1:3:6)	—	10	100	12	1—2	10—20	2—3	1—2½
Kalkmörtel	—	3	60	0,5	0—0,5	8	—	—
Glas	—	300	1500	—	50	100—150	125	—

Die Zahlen der Spalten 2—5 geben Mittelwerte für mittelmäßige Materialien. Bei der überaus großen Verschiedenheit der Materialien ein und derselben Klasse sind die Abweichungen hiervon nach oben und unten sehr bedeutend. So erreichen einzelne Granit- und Basaltarten eine Druckfestigkeit von reichlich 3000, fester Sandstein eine solche von 1800, Kalkstein eine solche von 1500 kg/qcm. Aus demselben Grunde können auch feste Werte für die zulässige Anstrengung (Spalte 6—9) nicht angegeben werden. Die angegebenen Grenzwerte beziehen sich auf mittelmäßige bis gute Materialien, so daß der untere Grenzwert für mittelmäßige, der obere für gute Materialien gilt.

*) Vergl. Fußnote zu Tabelle 6a.

**) Die Festigkeit nach sieben tägiger Erhärtung beträgt durchschnittlich ¾, die Jahresfestigkeit 1½ der Festigkeit nach 28 Tagen.

Tabelle 8. Zulässige Beanspruchung der Baumaterialien im Bereich des Preuss. Minister. der öffentl. Arbeiten
(vom 16. Mai 1890).

Nr.	Benennung der Baumaterialien	Zulässige Beanspruchung kg für das qcm			Nr.	Benennung der Baumaterialien	Zulässige Beanspruchung kg für das qcm		
		Zug	Druck	Abw. cherung			Zug	Druck	Abw. cherung
1	Schweißst.	750—1000*)	750—1000*)	600—750*)	9	Sandstein je nach Härte	—	15—30	—
1a	Flußst.	875—1000*)	875—1000*)	—	10	Rüdersdorfer Kalkstein in Quadern	—	25	—
2	Gußst.	250	500	200	11	Kalksteinmauerwerk in Kalkmörtel	—	5	—
3	Verbundtes Eisen- wellblech	500	500	—	12	Gewöhnliches Ziegelmauerwerk in Kalkmörtel	—	7	—
4	Eisenst.	1200	—	—	13	Ziegelmauerwerk in Cementmörtel	—	12	—
5	Eichen- u. Buchenholz	100	80	—	14	Bestes Klinkermauerwerk in Cement- mörtel	—	14—20	—
6	Kiefernholz	100	60	—	15	Mauerwerk aus geringen Steinen	—	3—6	—
7	Granit	—	45	—	16	Guter Baugrund je nach Beschaffen- heit	—	2,5—5	—
8	Niedermündiger Ba- saltslava	—	40	—					

*) Der höhere Wert nur zulässig bei den Gliedern genau berechneter, zusammengefügter Konstruktionssysteme. (Ministerial-Erlaß vom 11. Februar 1899.)

Bei den zuletzt erfolgten Sanierungen und Verstärkungsmaßnahmen wurden Werkstoffe gemäß den gültigen Normen der DIN und DIN EN-Reihen verwendet.

3 Analyse des aktuellen Bestands

3.1 Einschränkende Randbedingungen

3.1.1 Auflagen für den Fahrbetrieb

Zurzeit kann der Fahr- und Reparaturbetrieb in der Wagenhalle nur unter folgenden Einschränkungen (Beispiele für Anordnungen des Fahrbetriebs siehe Abschnitt 4.1.5: Betriebsanweisungen und Aushang) durchgeführt werden. Hier sind einige der einschneidenden Vorgaben aufgeführt:

- Befahrung der Halle nur mit leeren Fahrzeugen ohne Verkehrslasten, d.h. keine Lasten aus Fahrgästen oder Prüfgewichten (siehe auch Kapitel 4.1.5)
- Die Befahrung der Halle ist per Dienstanweisung (Fahrordnung) auf eine maximale Geschwindigkeit von 5,0 km/h (Schritttempo) begrenzt. Die Einhaltung wird zusätzlich technisch überwacht.
- Anfahr- und Bremsvorgänge sollten möglichst nur mit Beschleunigungen oder Verzögerung von maximal $a = 0,50 \text{ m/s}^2$ erfolgen.
- Bremsproben dürfen in der Halle **nicht** durchgeführt werden
- Auch Zwangsbremssungen von leeren Fahrzeugen müssen vermieden werden, da sonst die maximale Verzögerung entsprechend hohe Horizontalkräfte auslöst, die zu weiteren Schäden am Bestandsmauerwerk führen können.
- Beim Absenken und Heben von Fahrzeugen in die Werkstatt mit dem 10t-HU-Kran dürfen keine Wagen in diesem Bereich auf den beiden inneren Gleisen geparkt werden (siehe Betriebsanweisung).

3.1.2 Beschränkungen der Verkehrslasten

Zur Wahrung der Standsicherheit wurden die Verkehrslasten in den Arbeitsebenen wie folgt festgelegt:

3.1.2.1 Decke über der Werkstatt

- Die Decke über der Werkstatt wurde gemäß [5] für eine durchgehende Flächenlast von $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$ oder Einzellasten von $2 \times Q_k = 20 \text{ kN}$, und für Katz- und Kranlasten unter der Decke von $G/P = 5/10 \text{ kN}$ ausgelegt.
- Für die folgende Nachrechnung wurden jedoch die realen Lasten aus Kran- und Katzbahnbetrieb wie folgt berücksichtigt:
Hänge-Krane Fensterseite mit $G_k/Q_k = 5/50 \text{ kN}$,
Katze zwischen den Längsachsen 5 und 9 mit $G_k/Q_k = 3,0/32,5 \text{ kN}$ sowie Lasten aus PSA und Kleinhebezeugen im betroffenen Bereich der Decken-Hauptquerträger mit $g_k = 0,30 \text{ kN/m}$.

Die Flächenlast von $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$ wurde beibehalten.

3.1.2.2 Trägerlage der UH-Ebene (Arbeitsebene)

Die Bühnen der UH-Ebene bestehen aus leichten Stahlprofilen mit Holzabdeckung und wurden ausgelegt für $g_k/q_k = 0,32/2,50 \text{ kN/m}^2$ im Bereich zwischen den beiden Mittelgleisen 1 Nord und 1 Süd von Achse D bis ca. Achse K-M. Die übrigen Flächen wurden nur für $g_k = 0,32 \text{ kN/m}^2$ und eine wandernde Einzellast von $Q_k = 2,50 \text{ kN}$ ausgelegt.

3.1.2.3 Dachbinder, Pfetten und Aufbau

In vorlaufenden Nachrechnungen wurde die Schneelast auf dem Dach auf maximal $s_k = 0,25 \text{ kN/m}^2$ eingeschränkt, nach Anordnung von Verstärkungen in den Jahren 2021/22 kann diese Einschränkung aufgehoben werden.

3.1.3 Weitere bauliche Einschränkungen

3.1.3.1 Mauerwerk der Außenwände

Auch das Mauerwerk zeigt ein Nachlassen der Tragfähigkeit. Die Außenwände auf der Südseite und im Bereich der Rotunde zeigen in den Pfeilern und zwischen den Pfeilervorlagen unterhalb der Auflagerung der Dachbinder bereits mehrere Risse.



3.1.3.2 Stahlprofile und Bleche

Die fehlende Schweißbeignung und die Alterung mit beginnender oder fortgeschrittener Versprödung der Stähle erschweren evtl. erforderliche Umbau- und / oder Verstärkungsmaßnahmen, die i.a. nur mittels HV-Schrauben möglich sind.

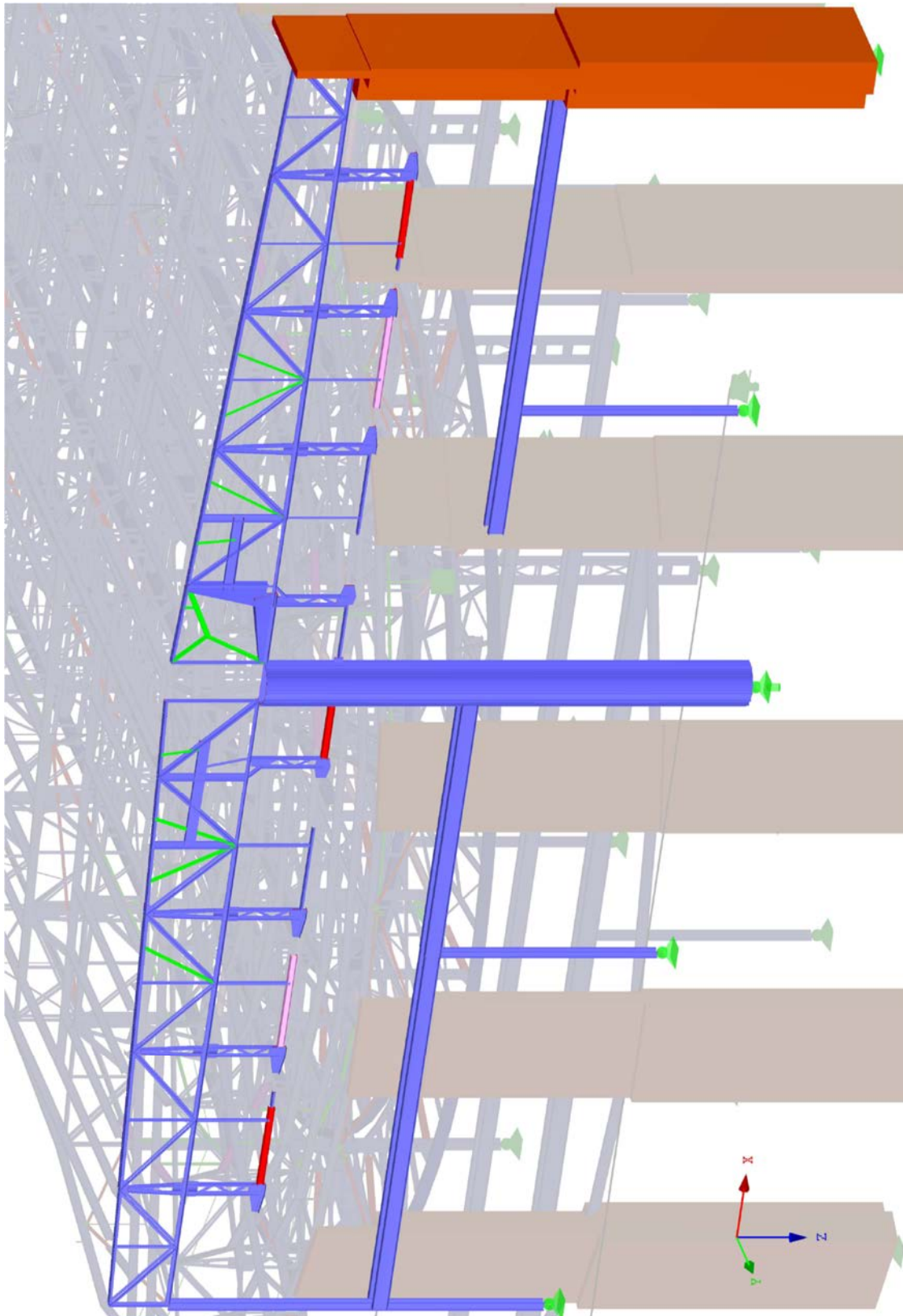


Bild 4: Achse K: FW-Binder mit Ertüchtigung durch Zusatzstäbe oder Verstärkung vorhandener Profile

3.2 Rechenmodell

3.2.1 Beschreibung des Modells

Das Rechenmodell bildet den Bestand als dreidimensionales Tragwerk ab. Bei Erstellung und Auswertung werden folgende Teilbereiche unterschieden:

1. Dachscheibe: Pfetten mit Kappenbeton steifen als Teilscheiben die Obergurte der Dachbinder (FW-Binder) aus.
2. Portalrahmen in Achse A steift das Gebäude in Querrichtung aus. Er übernimmt die Horizontallasten aus der Werkstattdecke und leitet sie in die Fundamente ab.
3. Dachbinder Achsen B bis K tragen als Einfeldträger die Dachlasten in die Mittel- und Außenstützen ab (jeweils 1 trapezförmiger Binder in der Nord- und Südhälfte).
4. Je drei Dachbinder in der Rotunde in den Achsen L bis N (jeweils in der Nord- und Südhälfte) sowie Achse O (in Gebäudelängsachse) tragen die Dachlasten der Rotunde ab.
5. Horizontalverbände in der OH-Ebene (=Untergurtebene der Dachbinder) tragen Horizontallasten aus Bremsen und Anfahren der Fahrzeuge ab.
6. Vertikalverbände zwischen den Bindern steifen die Binder aus und sichern zusammen mit den Dachscheiben die Obergurte gegen Knicken und Kippen.
7. Horizontalscheiben in der UH-Ebene (Ebene der Fahrschienträger) steifen die Gesamtebene in Längs- und Querrichtung aus.
8. Hänger zwischen Dachbinder und UH-Ebene leiten die Vertikallasten aus den Fahrschienen in die Dachbinder ab. Sie werden als FW-Stäbe ausgeführt und abgebildet. Sie leiten auch die Horizontallasten in Querrichtung der Halle (= in den FW-Ebenen) und in Längsrichtung der Halle (=normal zu den FW-Ebenen) ab.
9. Stützen in der Mittelachse (Achse 9 bzw. O) steifen als Einfeld-Träger mit Kragarm zusammen mit den Stäben des V-Verbandes das Gebäude längs und quer aus.
10. Mauerwerkswände in der Längsseite Süd und der halbkreisförmigen Rotunde tragen die Vertikallasten aus den Bindern ab und ebenfalls Horizontallasten in den Ebenen der Wände. Die Scheibenwirkung der Wände wird nicht abgebildet, die Wände sind zusammen mit den Pfeilervorlagen ausreichend steif.
11. Stützen in der Fensterfront der Nordseite werden in Querrichtung als Einfeldträger mit horizontaler Stützung in der Ebene der Werkstattdecke und Kragarm bis zur Dachebene berücksichtigt. In Längsrichtung steifen die beiden zweistöckigen Vertikalverbände das Gebäude in Achse 17 aus.

12. Die Betondecke über dem Erdgeschoss (über der Werkstatt und den Nebenräumen) wirkt als starre Scheibe und ist maßgebender Bestandteil bei der Aussteifung des gesamten Gebäudes. Die Scheibenwirkung der Decke wird im Rechenmodell durch (fiktive) Starrstäbe so simuliert, dass diese nicht beim vertikalen Lastabtrag mitwirken.
13. Hauptquerträger in der Werkstattdecke werden als Einfeldträger abgebildet, im Bereich des Deckendurchlasses auch als Einfeldträger mit Kragarm sowie weitere Wechselträger (Vollwand- und Fachwerkträger) zur Aufnahme des horizontalen Lamellentors.
14. Zwischenstützen zwischen Boden und Decke der Werkstatt werden als reine Pendelstützen abgebildet.

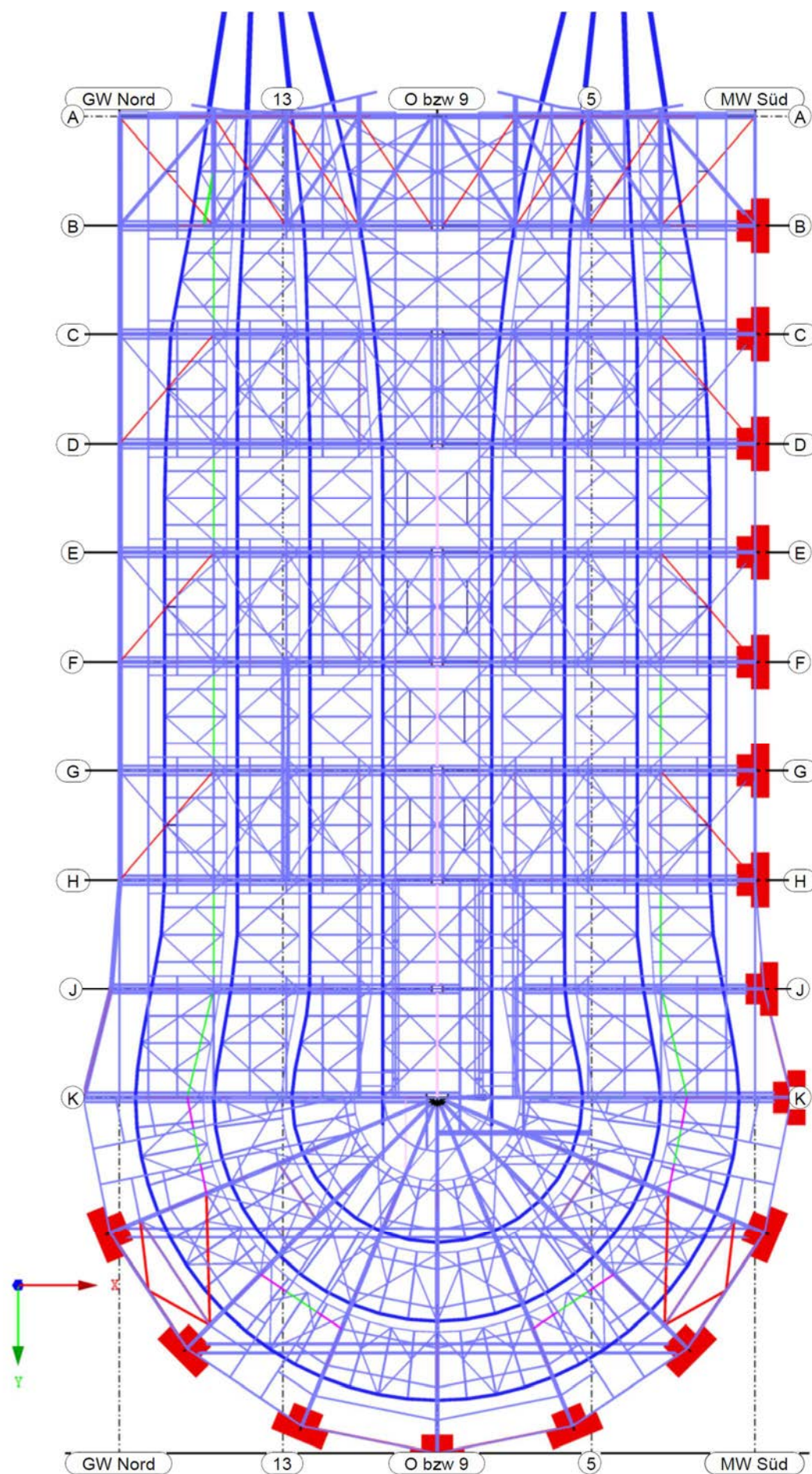


Bild 5: Wagenhalle Draufsicht mit allen Stäben des Rechenmodells

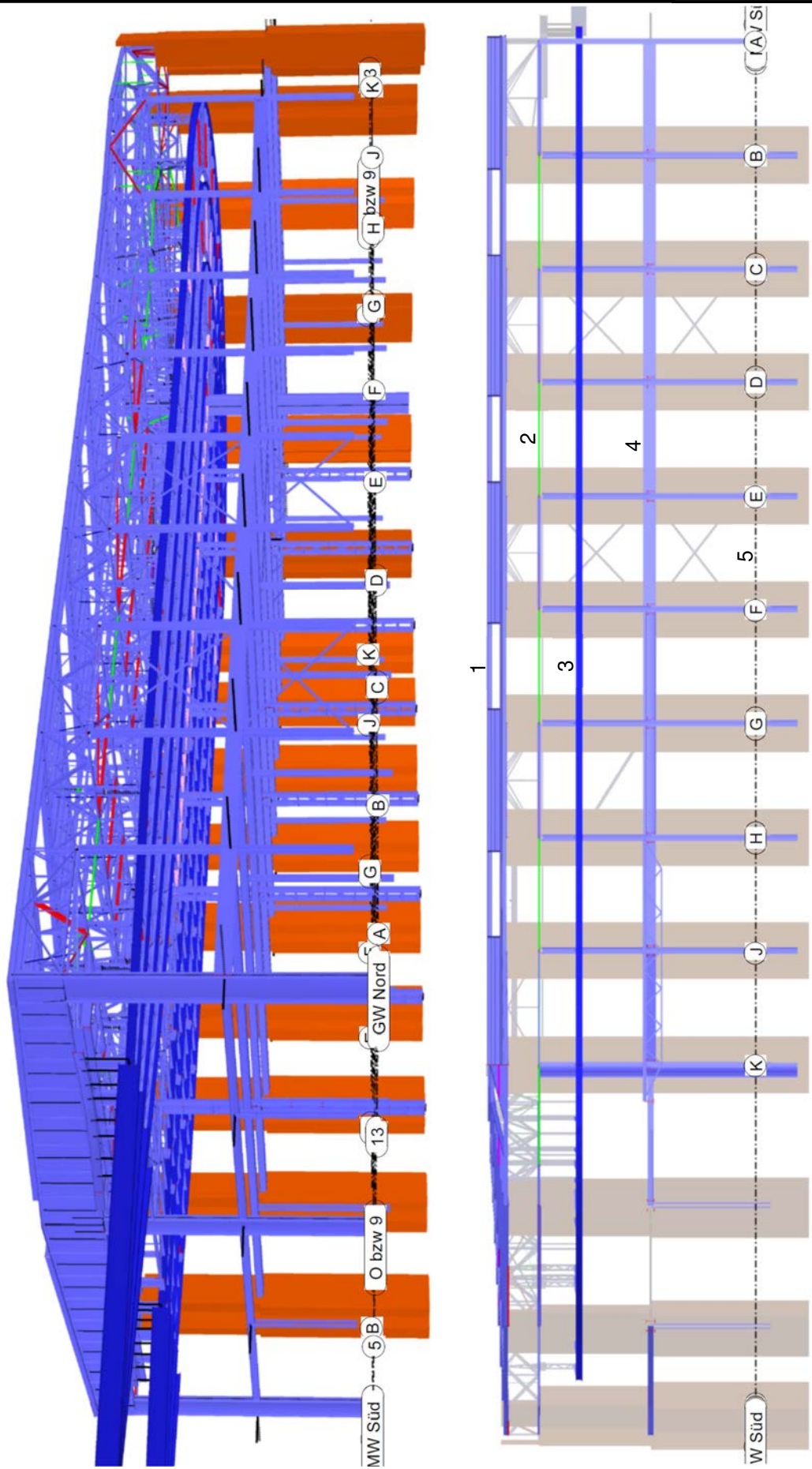


Bild 6 und 7: Perspektive aller Stäbe und Ansicht von Norden mit Darstellung der Ebenen

1 = Dach, 2 = OH-Ebene, 3 = UH-Ebene, 4 = Decke Werkstatt, 5 = Boden der Werkstatt

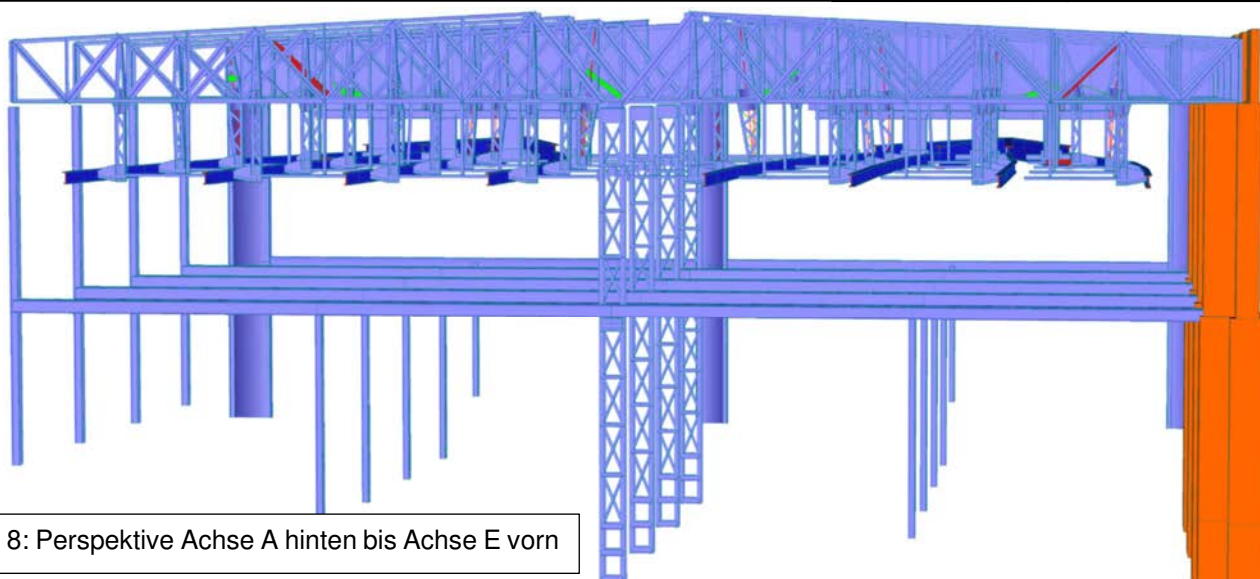


Bild 8: Perspektive Achse A hinten bis Achse E vorn

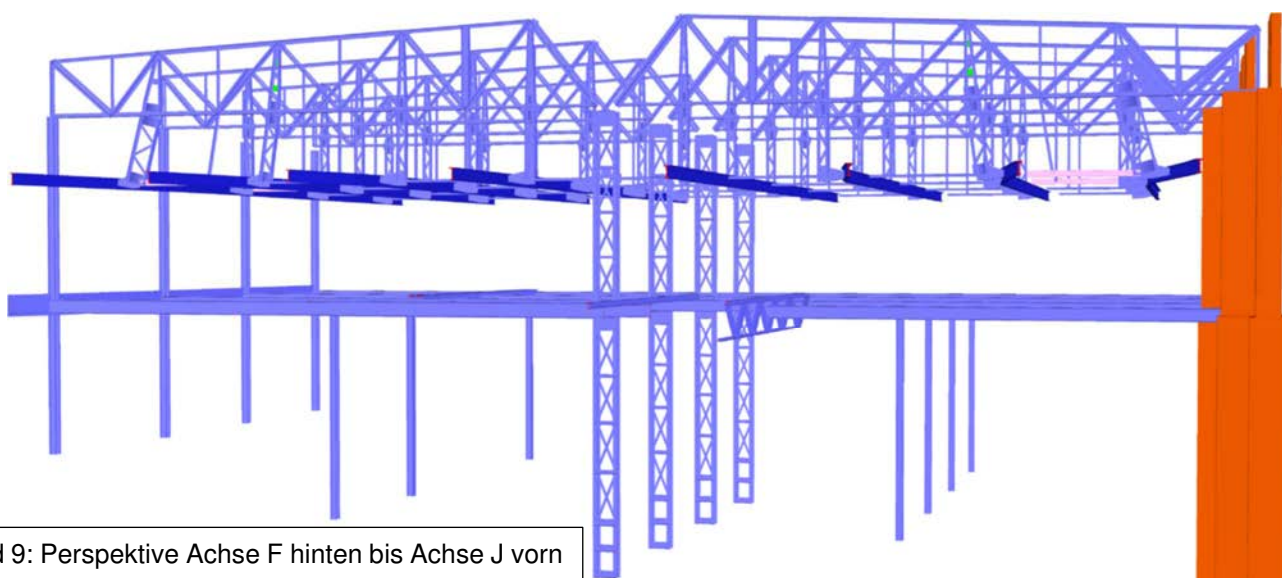


Bild 9: Perspektive Achse F hinten bis Achse J vorn

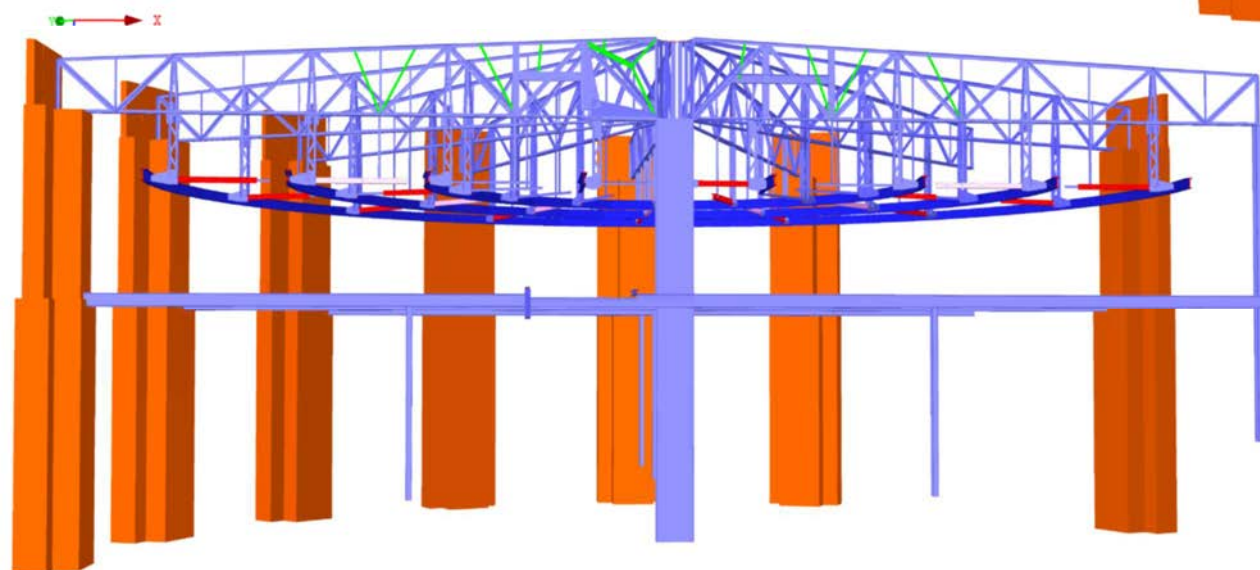


Bild 10: Perspektive Blick in die Rotunde, im Vordergrund Achs K mit Halbrundstütze

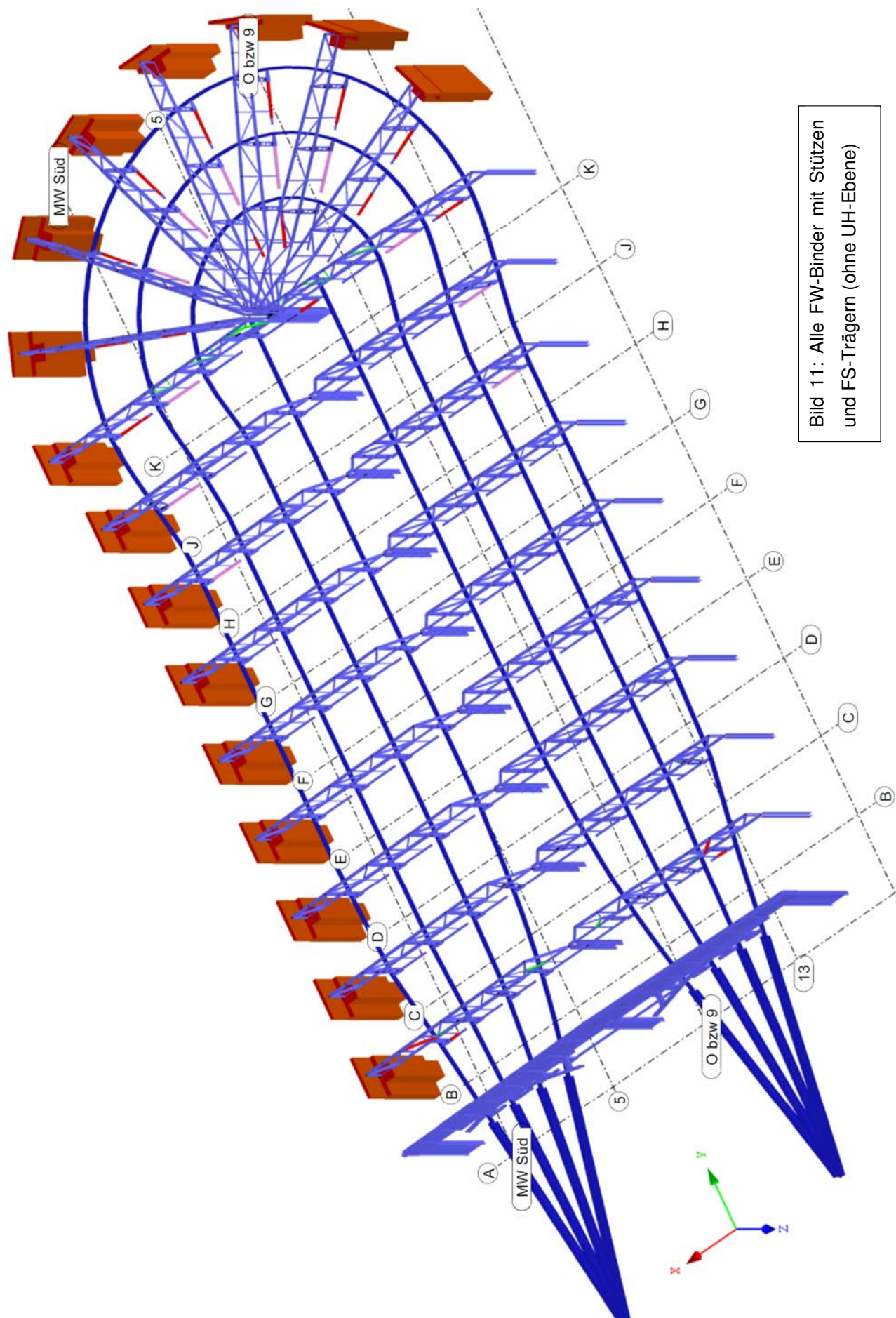
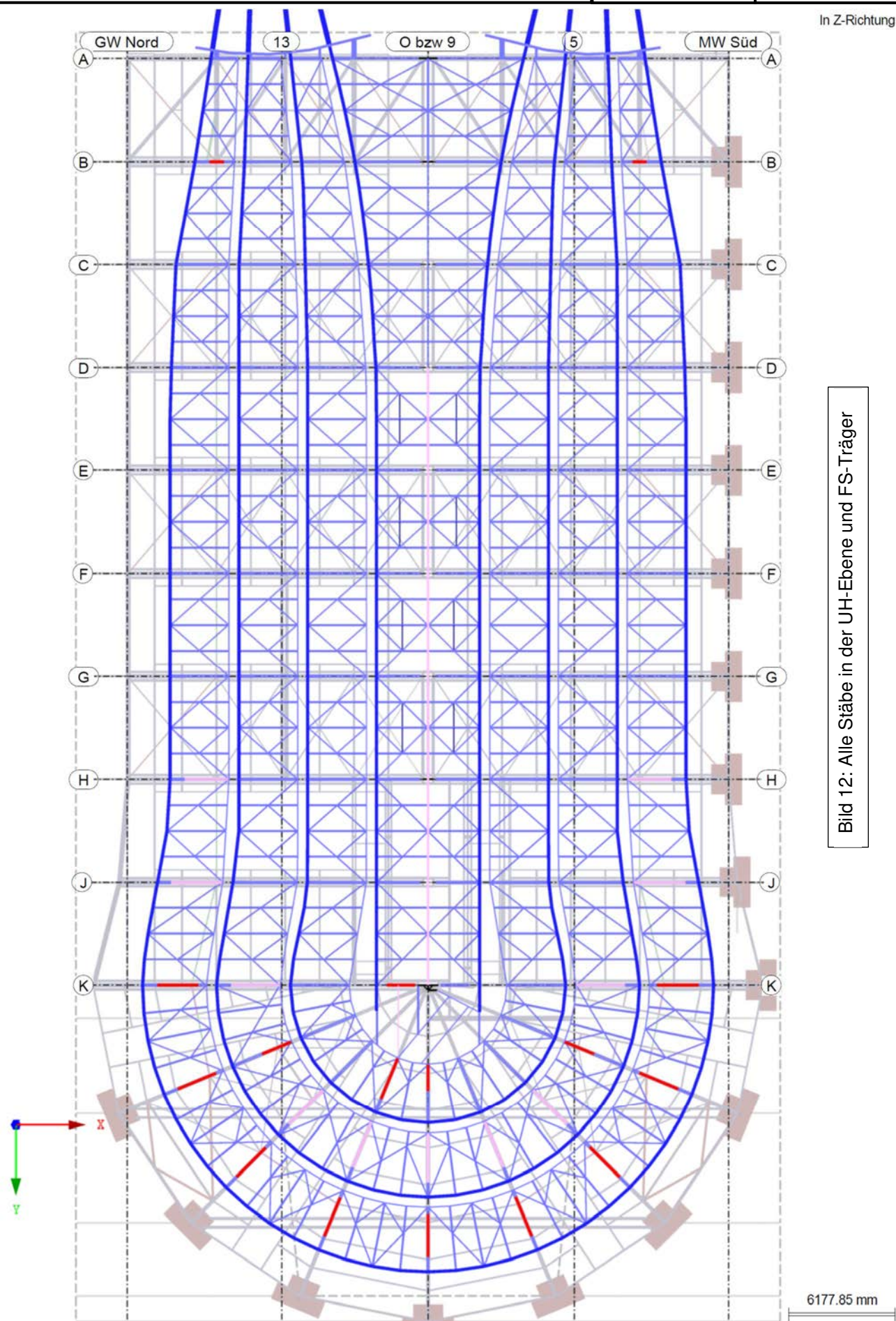


Bild 11: Alle FW-Binder mit Stützen
und FS-Trägern (ohne UH-Ebene)



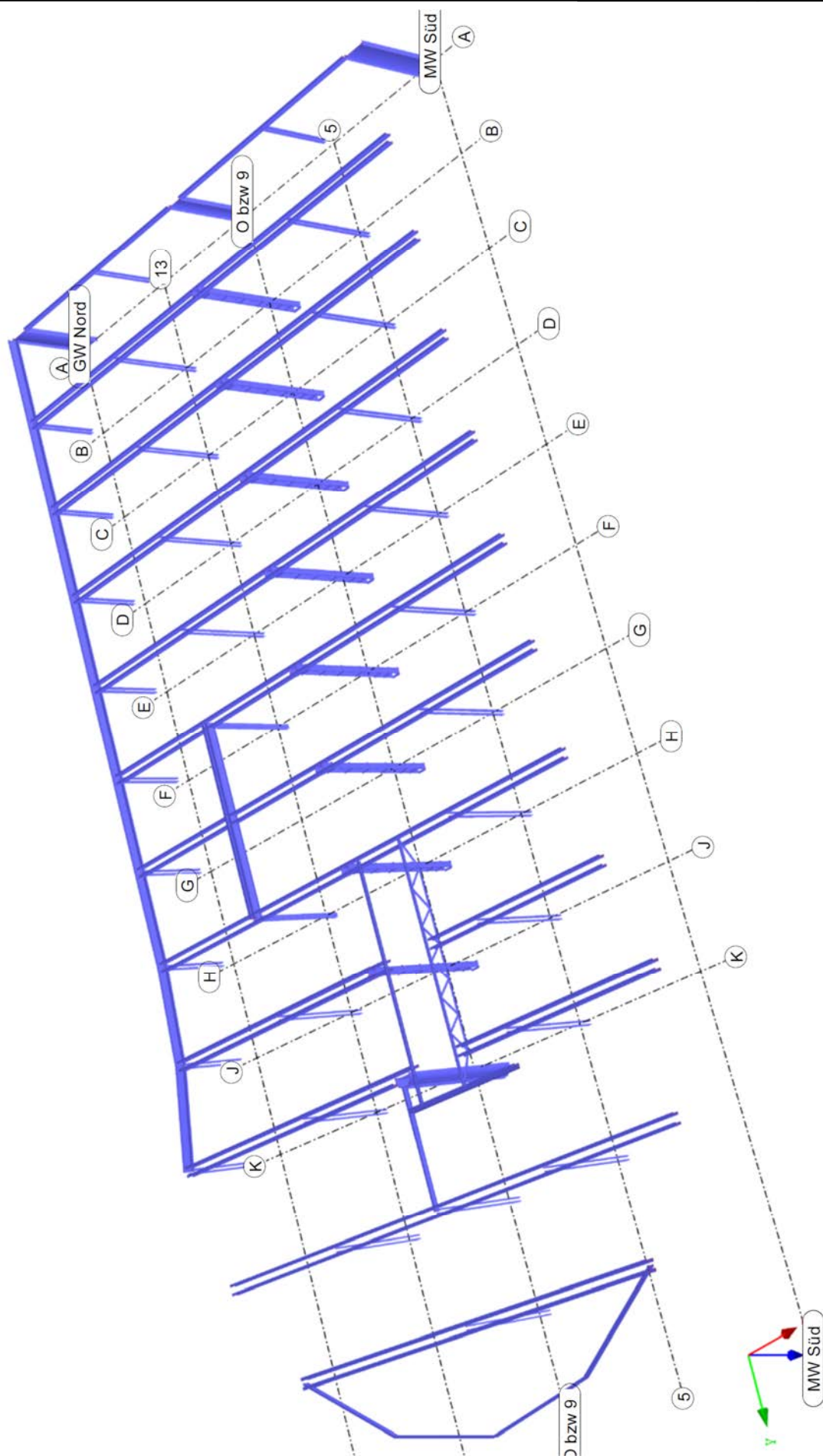


Bild 13: Hauptträger und Stützen unter der Holorib-Verbunddecke

Perspektive

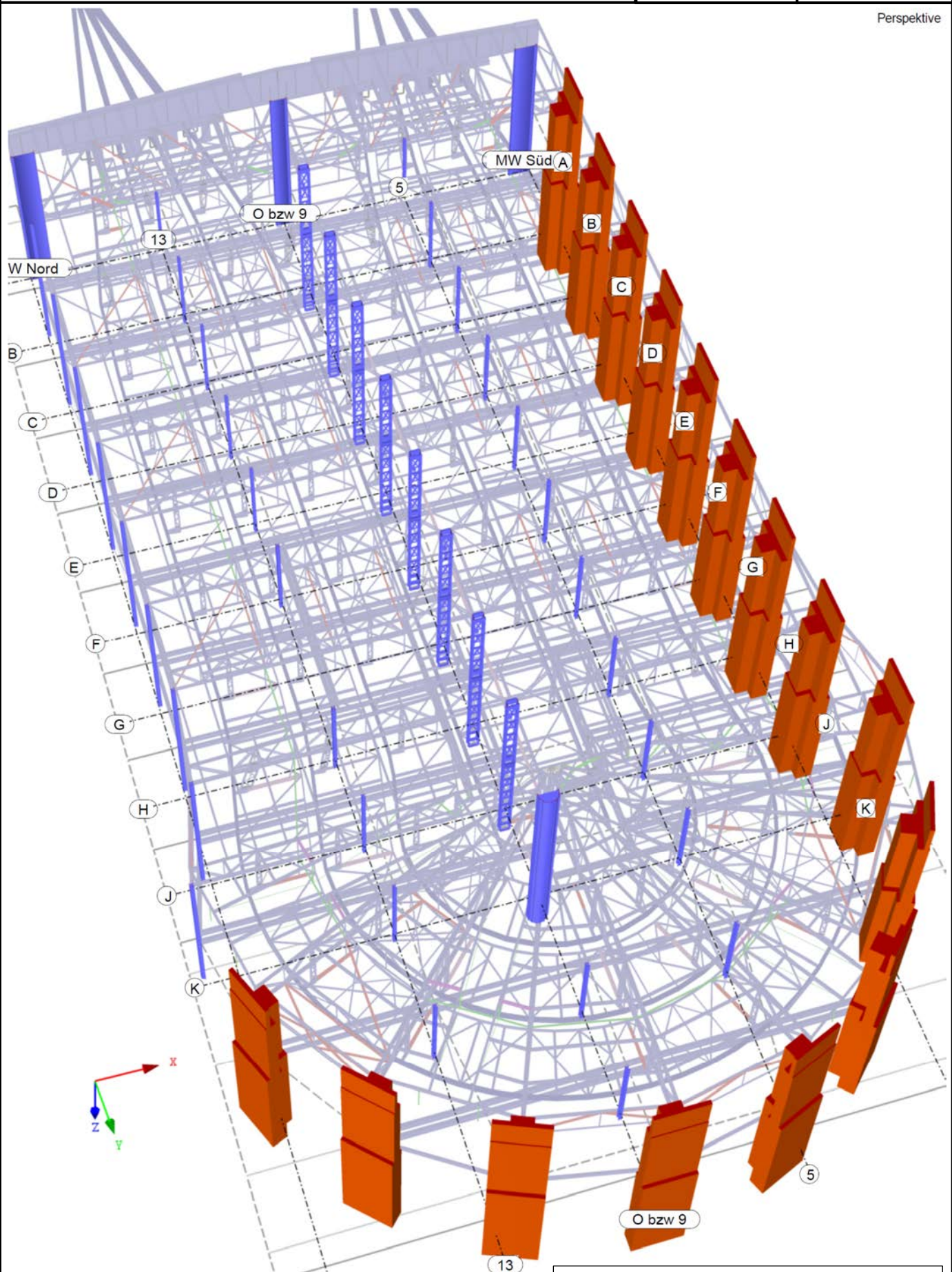


Bild 14: Stahlstützen und Mauerwerkspfeiler

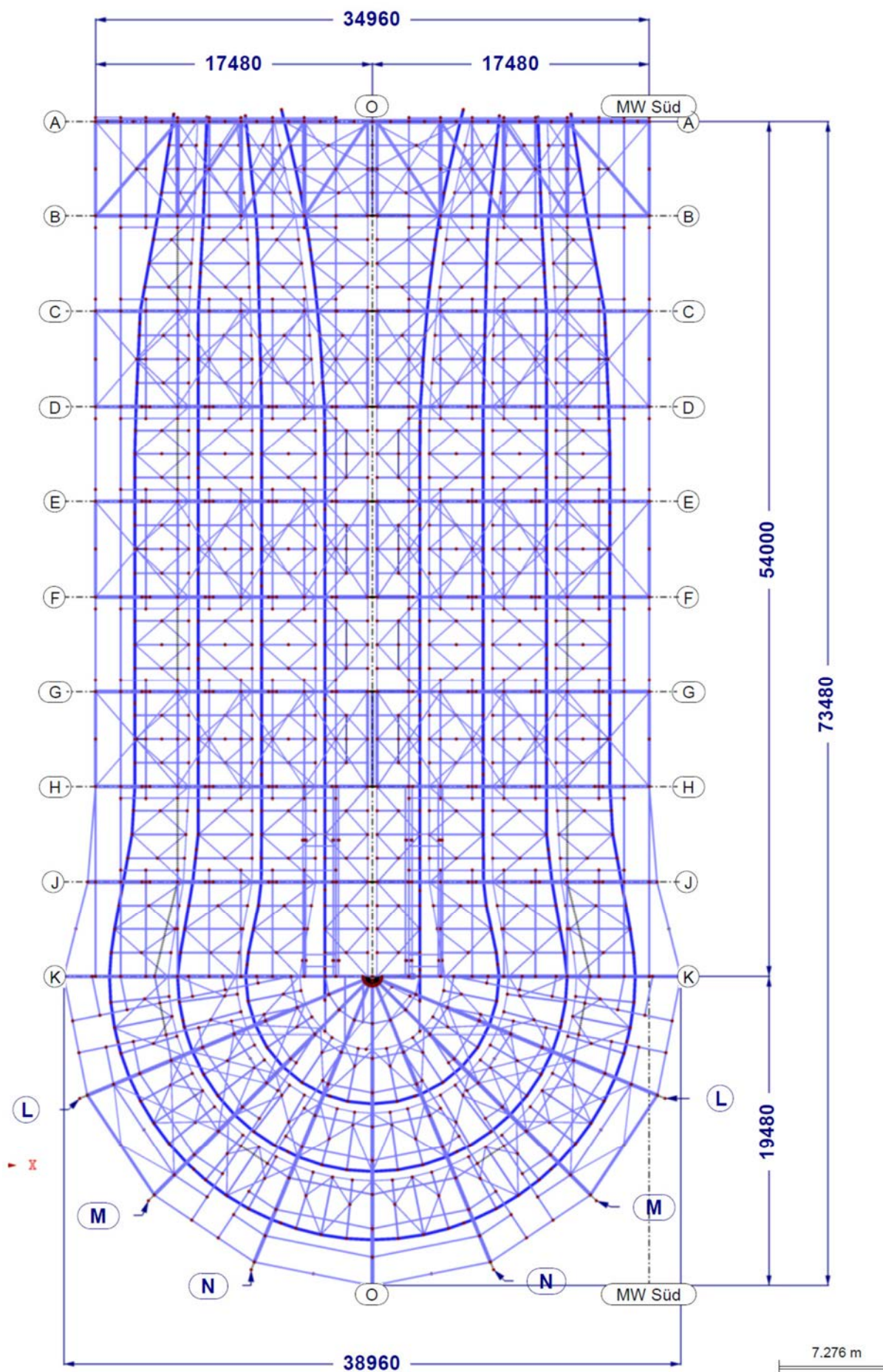


Bild 15: Hauptachsmaße der Halle im Grundriss

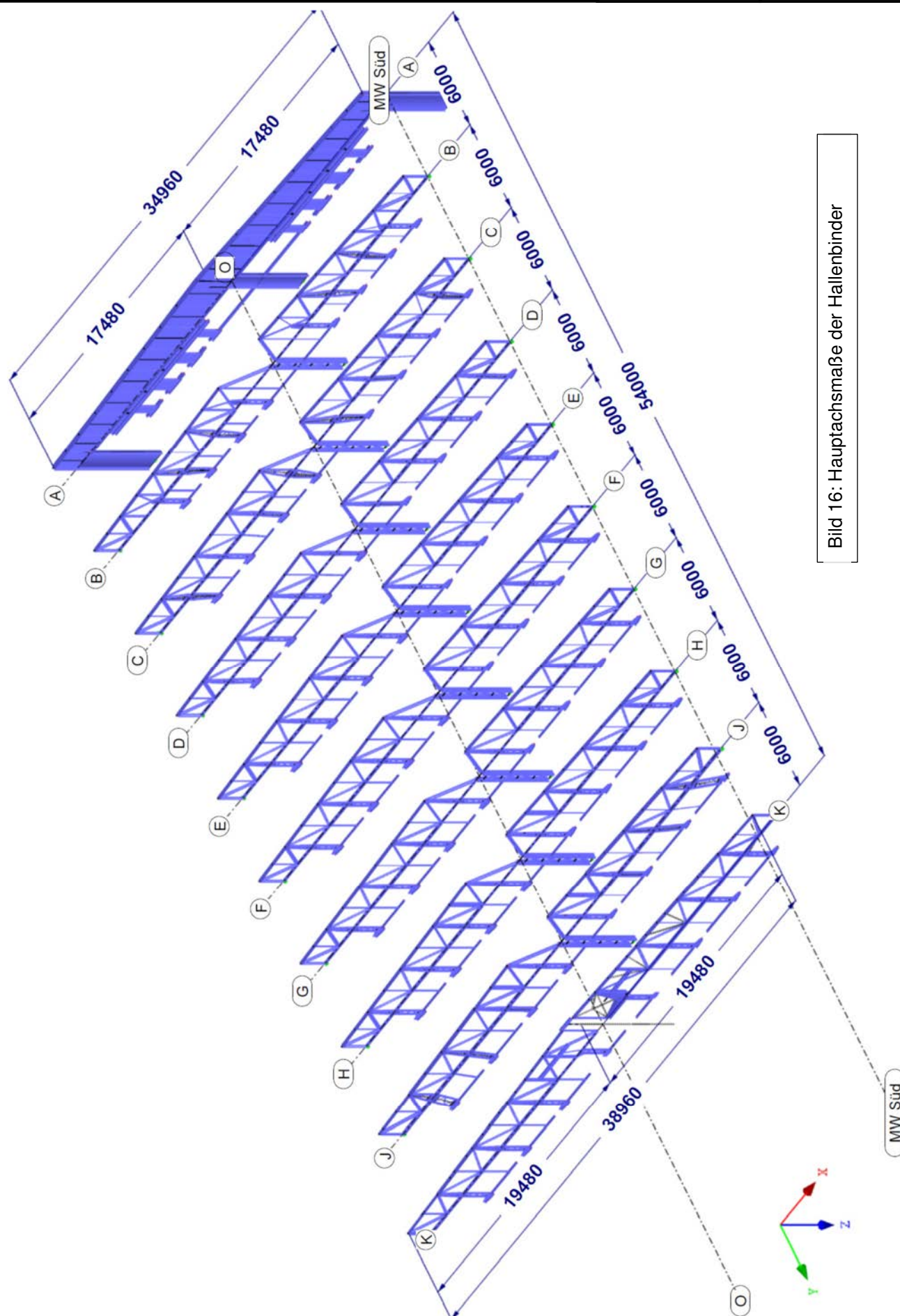


Bild 16: Hauptachsmaße der Hallenbinder

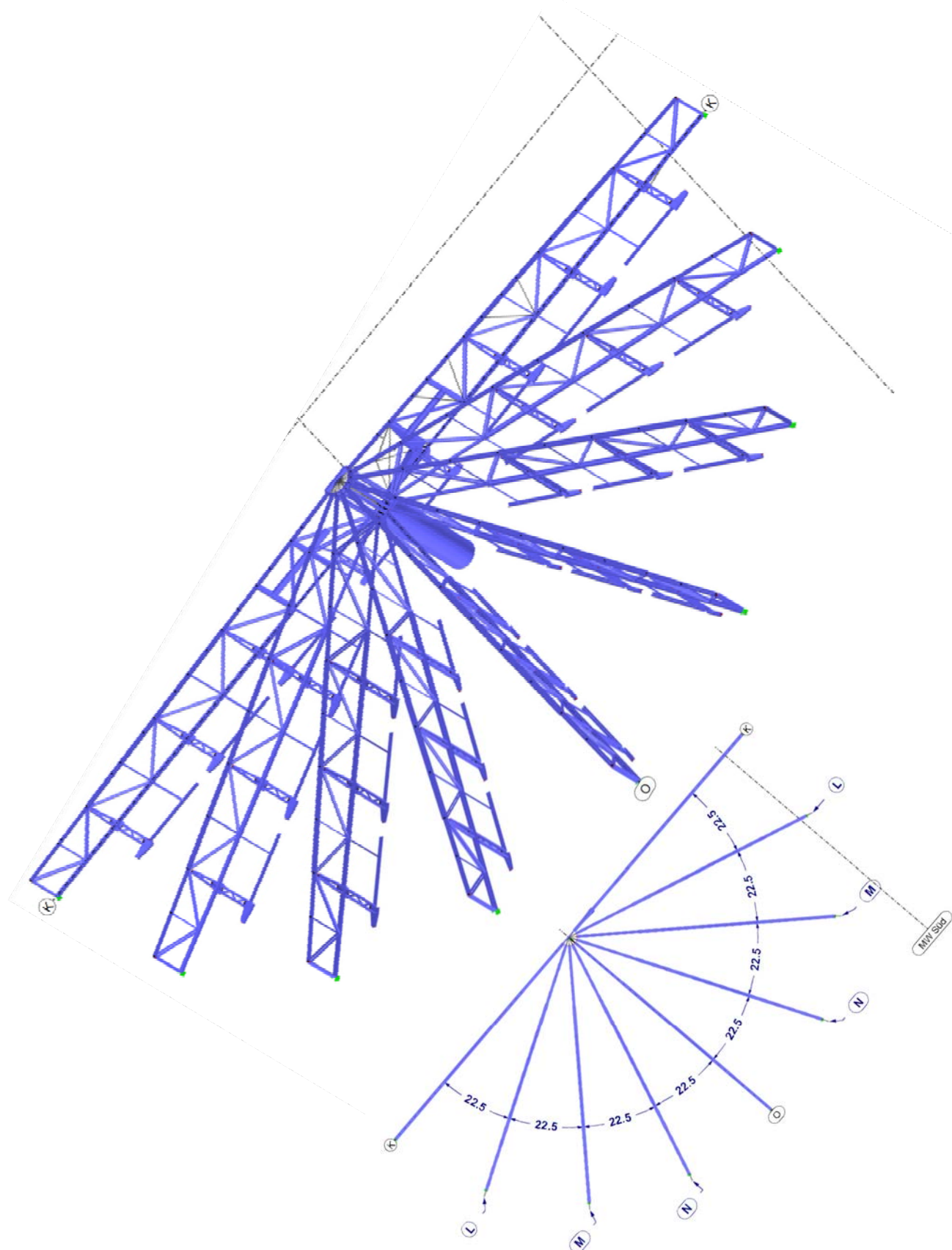
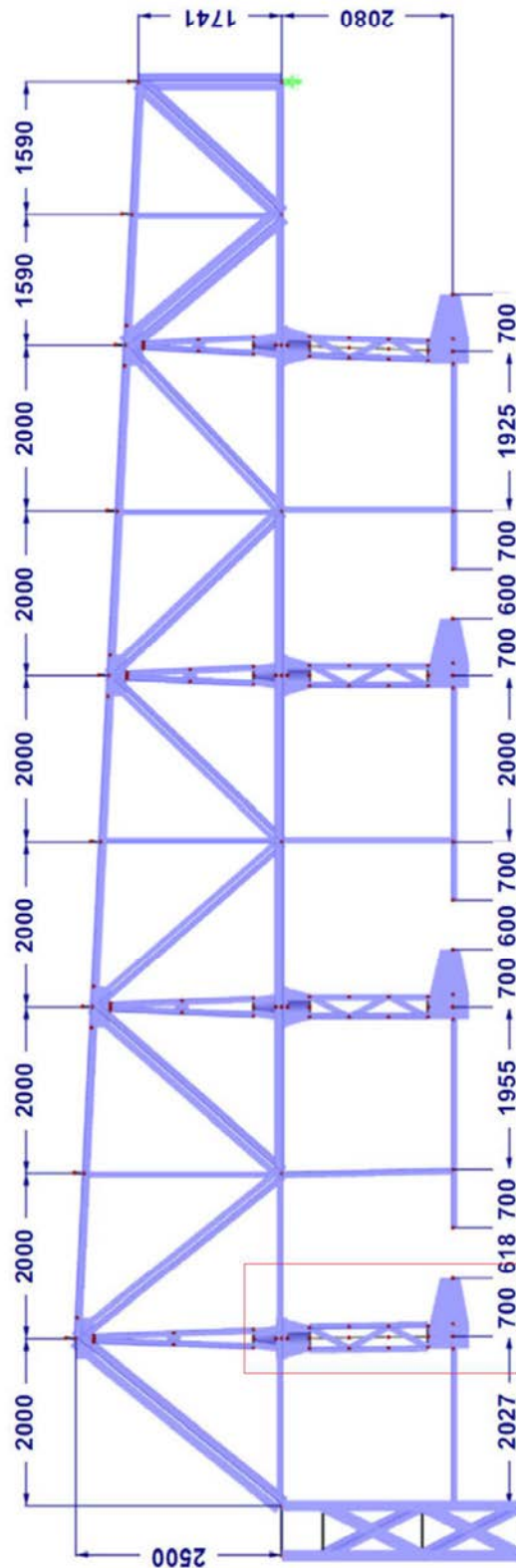


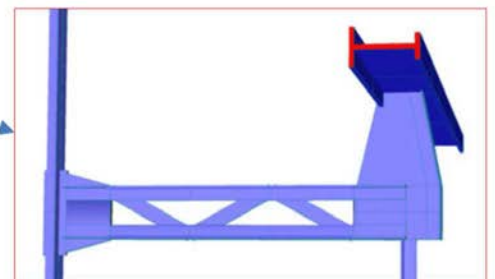
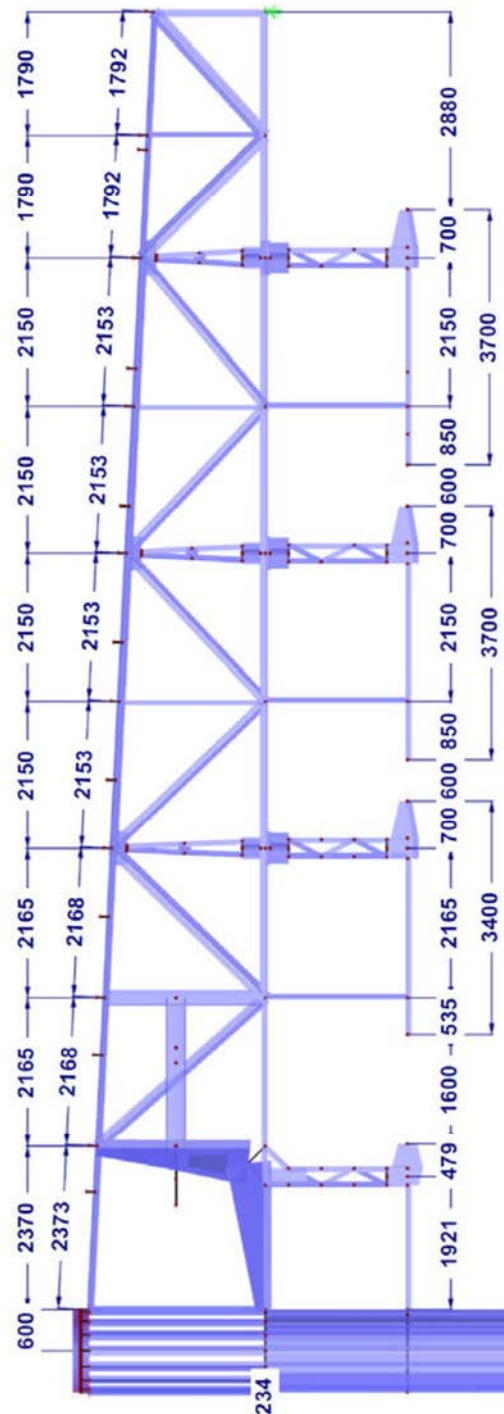
Bild 17: Isometrie und Hauptachsmaße der Hallenbinder in der Rotunde

Bild 18: Detailbemaßung der FW-Binder
im geraden Hallenteil und in der Rotunde

Hauptmaße Binder Achse D bis H



Hauptmaße Binder Achse K (Süd)



3.2.2 Lastannahmen

3.2.2.1 Ständige Lasten

Das Eigengewicht der Stahlkonstruktion wird vom EDV-Programm RSTAB automatisch mit $g = 78,5 \text{ kN} / \text{m}^3$ berücksichtigt.

Die Oberlichter auf dem Dach werden mit $0,4 \text{ kN/m}^2$, die Kappendecke des Dachs wird mit $2,65 \text{ kN/m}^2$ (10 cm Beton und aufgeklebte Dachbahnen) in Ansatz gebracht.

Die Eigenlasten der Krananlagen zwischen den Achsen H bis K werden mit je $2 \times 45 \text{ kN}$ auf der Nordseite und $2 \times 65 \text{ kN}$ auf der Südseite berücksichtigt (gemäß Vorgabe WSW).

Der Bohlenbelag ($t \approx 50 \text{ mm}$) auf der UH-Ebene wird (vollflächig) mit $g = 0,64 \times 0,05 = 0,32 \text{ kN/m}^2$ angesetzt.

Das Eigengewicht der Decke über der Werkstatt wurde mit von $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$ gemäß [5] angesetzt.

Das Eigengewicht des Rolltors am Durchlass in der Werkstattdecke wurde mit $P = 2 \times 8,40 = 16,80 \text{ kN}$ angesetzt

3.2.2.2 Verkehrslasten auf den Arbeitsebenen

Decke über der Werkstatt

Die Decke über der Werkstatt wurde in der Nachrechnung [5] für eine durchgehende Flächenlast von $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$ oder Einzellasten von $2 \times Q_k = 20 \text{ kN}$, und für Katz- und Kranlasten unter der Decke von $G/P = 5/10 \text{ kN}$ ausgelegt. Die vorgenannte Flächenlast wird im Modell 1 übernommen, die Kranlasten werden angepasst (siehe Kranlasten)

UH-Ebene (Ebene der Fahrschienen)

Auf dem Hängeboden der UH-Ebene wird nur auf den Bühnenflächen im Bereich links und rechts neben der Gebäudemittelachse eine Verkehrslast von $2,5 \text{ kN/m}^2$ berücksichtigt. In den übrigen Bereichen wird eine wandernde Einzellast von $P = 2,5 \text{ kN}$ angesetzt (siehe Abb. nächste Seite).

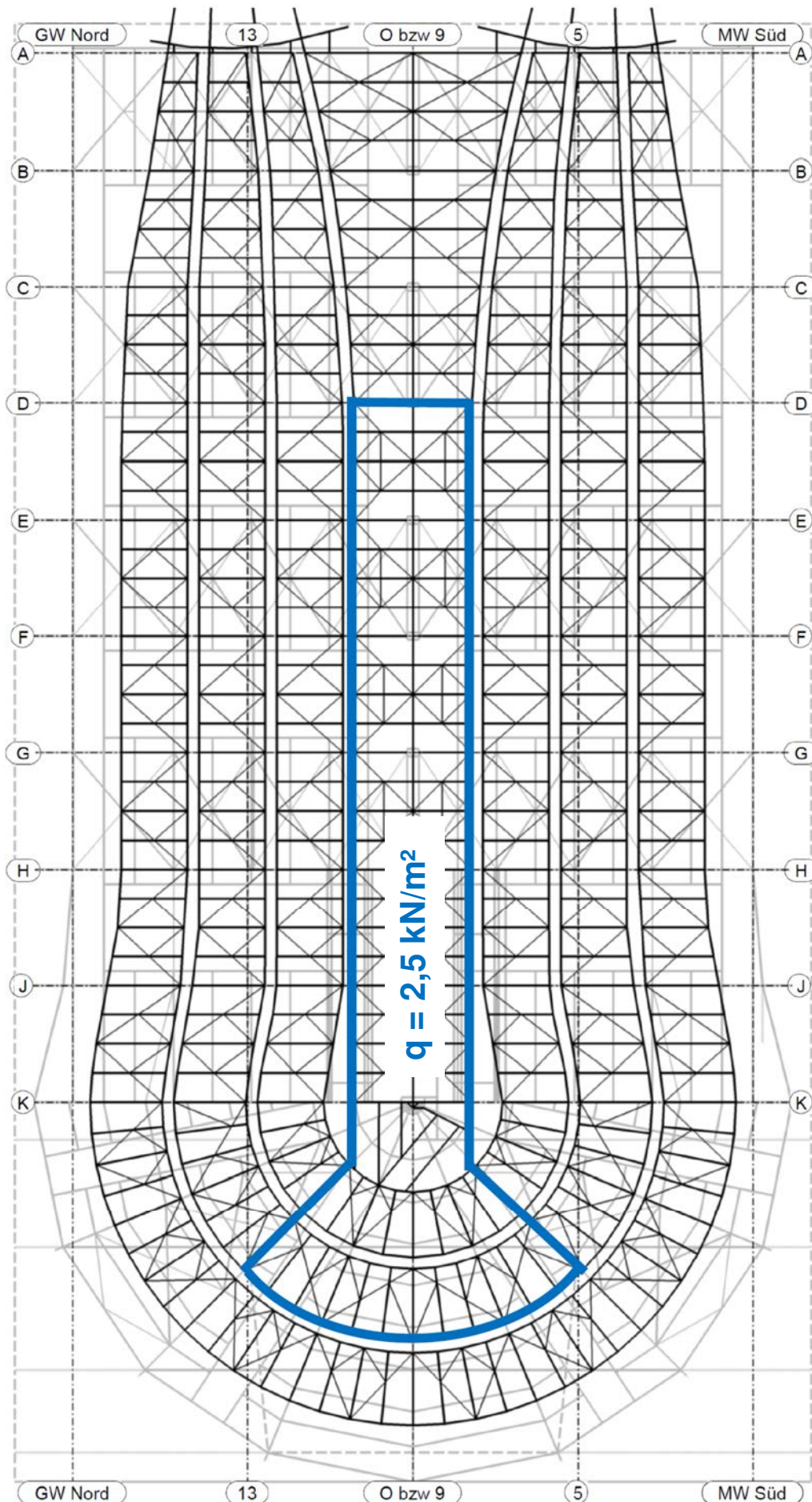


Bild 20: UH-Arbeitssebene Kennzeichnung des Bereichs mit $q = 2,5 \text{ kN/m}^2$, Restflächen mit Wanderlast $P = 2,50 \text{ kN}$

3.2.2.3 Hublasten der Krananlagen

Krananlagen im Dachbereich zum Heben und Absenken der Fahrzeuge

Die Hublasten links und rechts neben den Mittelachsen zwischen H und K werden wie folgt angesetzt:

Nordseite	Hublast Kran 65 kN	gehoben werden ≤ 65 kN
Südseite	Hublast Kran 100 kN	gehoben werden ≤ 70 kN

Auf der Nordseite bzw. auf der Südseite werden jeweils nur ein Wagenteilstück gehoben bestehend aus den Wagenkästen A oder B und dem Drehgestell, sodass die Lastansätze mit 65 bzw. 70 kN auf der sicheren Seite liegen.

Krananlagen unter der Werkstattdecke zwischen Achsen 9 und 17

Hier gibt es 2 Hängekrananlagen mit je 50 kN Hublast, je einen Kran zwischen den Achsen 9 und 13 sowie zwischen 13 und 17

Katzträger unter der Werkstattdecke zwischen den Achsen 5 und 9

Hier gibt es 1 Katzträger für eine Laufkatze mit 30 kN Hublast, sowie weitere kleinere Katzträger mit Hublasten von 10 und 20 kN und Träger für PSA-Anlagen

3.2.2.4 Fahrzeuglasten nach Beilage 4

Radlasten aus dem Lastenzug werden gemäß Beilage 4: „Lastannahmen für die Wuppertaler Schwebobahn“ (s. dort Ziffer 7.1) für den leeren Einzelzug (Eigengewichte mit 10 % Zuschlag) berücksichtigt. Da die Einzelzüge dicht an dicht geparkt werden, wird der Abstand zwischen den Zügen konservativ so berücksichtigt. Für die geparkten Züge werden die gleichen Radstände und Radlasten wie bei einem leeren Doppelzug in Ansatz gebracht, deren Werte und Maße sind auf den Abbildungen auf der nächsten Seite dargestellt.

Der Lastansatz mit leeren Doppelzügen ist auch deshalb sinnvoll, weil es mehrfach pro Jahr vorkommt, dass aufgrund einer Fahrzeugbergung ein Zugverband aus zwei leeren Zügen (Drückzug / Schleppzug) gebildet und gefahren können werden muss. Außerdem müssen in der Wagenhalle Zugverbände zum Rangieren von nicht fahrbereiten Zügen (mindestens 6 x pro Jahr im Rahmen einer HU) gebildet und gefahren werden.

Für Anfahren und Bremsen werden folgende Werte unterschieden.

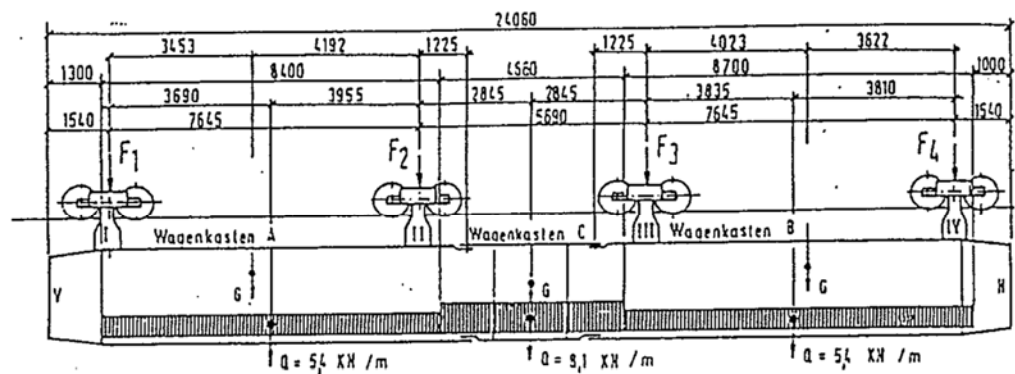
- Normalbetrieb $0,5 \text{ m/s}^2$ auf mehreren Gleisen möglich
- Vollbremsung $2,0 \text{ m/s}^2$ jeweils nur auf einem Gleis möglich.

Die Bremslasten bei Normalbetrieb sind nicht bemessungsmaßgebend, sodass für die folgenden Nachweise nur Bremslasten mit $H = 0,2 \times V$

(V = vertikale Radlast) berücksichtigt werden.

Eigengewicht : 229,0 KN

Gesamtgewicht : 360,0 KN

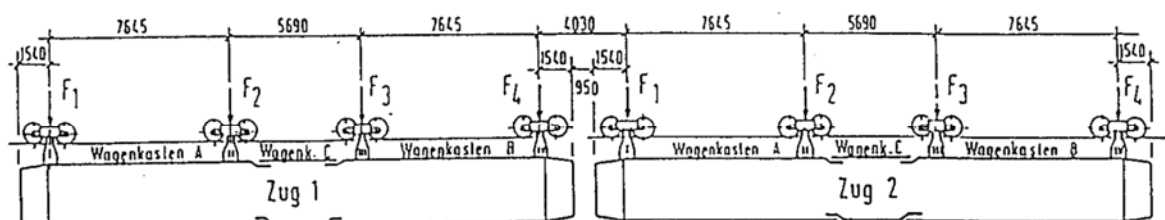


Lastzusammenstellung für Lastenzug

(Werte in KN)

Eigengewicht	58,7	60,4	56,4	53,5
Verkehrslast	19,2	45,6	45,6	20,5
Gesamtgewicht	≈ 78,0 KN	106,0 KN	102,0 KN	74,0 KN

Doppelzugeinheit



Doppellastenzug

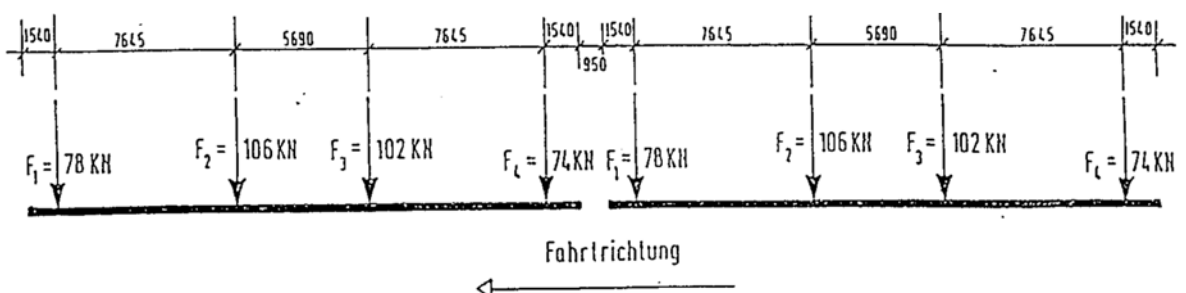


Bild 21: Radlasten und Radstände der Fahrzeuge GTW 75 nach Beilage 4

3.2.2.5 Schnee- und Windlasten

Wuppertal, Schneelastzone 1, $H \leq 400$ m ü. d. Meer

$$s_k = 0,65 \text{ kN/m}^2, \mu_1 = 0,8$$

Schneelast auf dem Dach: $s = 0,52 \text{ kN/m}^2$

Wuppertal: Windzone 1, $q_{b,0} = 0,32 \text{ kN/m}^2$

Vereinfachter Böengeschwindigkeitsdruck: $q_p = 0,65 \text{ kN/m}^2$

3.2.2.6 Lastfälle für die EDV-Berechnung

Bezeichnung	Lastfall
Ständige Lasten	
Eigengewicht Stahlstruktur (wie abgebildet mit $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$)	LF 100
Last aus Oberlichten ($0,4 \text{ kN/m}^2$) und EG Krananlagen	LF 101
Kappendecke (Dach), Beton + Dichtung $d=10 \text{ cm}$, $g = 2,65 \text{ kN/m}^2$	LF 102
Bohlenbelag Wartungsebene ($0,32 \text{ kN/m}^2$)	LF 103
EG Kranbahn und PSA-Träger unter Werkstattdecke	LF 104
EG Katzbahnträger im Feld 5-9	LF 105
EG von PSA + Kettenzügen Achsen B-F / 5-13	LF 106
EG Rolltor Durchlass offen	LF 107
EG Rolltor Durchlass geschlossen	LF 108
Vorspannung neue Stäbe (FW Binder K)	LF 110
EG Holoribdecke $g = 3,00 \text{ kN/m}^2$ Feld 1	LF 120
EG Holoribdecke $g = 3,00 \text{ kN/m}^2$ Feld 2	LF 121
EG Holoribdecke $g = 3,00 \text{ kN/m}^2$ Feld 3	LF 122
EG Holoribdecke $g = 3,00 \text{ kN/m}^2$ Feld 4	LF 122
Verkehrslasten	
Verkehrslast Wartungsebene ($2,5 \text{ kN/m}^2$)	LF 200
Holoribdecke $p = 2,00 \text{ kN/m}^2$ Feld 1	LF 220
Holoribdecke $p = 2,00 \text{ kN/m}^2$ Feld 2	LF 221
Holoribdecke $p = 2,00 \text{ kN/m}^2$ Feld 3	LF 222
Holoribdecke $p = 2,00 \text{ kN/m}^2$ Feld 4	LF 223
Holoribdecke $p = 7,50 \text{ kN/m}^2$ Feld 1	LF 230
Holoribdecke $p = 7,50 \text{ kN/m}^2$ Feld 2	LF 231
Holoribdecke $p = 7,50 \text{ kN/m}^2$ Feld 3	LF 232
Holoribdecke $p = 7,50 \text{ kN/m}^2$ Feld 4	LF 233
Werkstattkran links Feld 13-17 Katze links, Hub 50 kN	LF 240
Werkstattkran rechts Feld 13-17 Katze rechts, Hub 50 kN	LF 241
Werkstattkran links Feld 9-13 Katze links, Hub 50 kN	LF 242
Werkstattkran rechts Feld 8-13 Katze rechts, Hub 50 kN	LF 243
Katzbahnträger im Feld 5-9, Hub 30 kN	LF 250

Schnee- und Windlasten

Schnee (Formbeiwert x 0,65 kN/m ²)	LF 210
Wind + X (W-Druck auf Glaswand, Sog auf MW-Wand)	LF 300

Verkehrslasten aus Fahrzeugen

Lasten aus Anfahren und Bremsen der Züge

Bezeichnung	Lastfall
Durchfahrtsgleis IV (vorwärts / rückwärts)	401 - 409 und 411 - 419
Durchfahrtsgleis III (vorwärts / rückwärts)	501- 508 und 511 - 518
Kopfgleis II Süd (vorwärts / rückwärts)	601- 603 und 611 - 613
Kopfgleis I Süd (vorwärts / rückwärts)	701- 603 und 711 - 713
Kopfgleis II Nord (vorwärts / rückwärts)	801- 803 und 811 - 813
Kopfgleis I Nord (vorwärts / rückwärts)	901- 903 und 911 – 913

Wanderlasten (8 Radlasten der leeren Doppelzüge in 0,5 m-Schritten)

Bezeichnung	Lastfall
Durchfahrtsgleis IV	1000 bis 1299
Durchfahrtsgleis III	1500 bis 1770
Kopfgleis II Süd	2000 bis 2054
Kopfgleis II Nord	2200 bis 2254
Kopfgleis I Süd	2400 bis 2451
Kopfgleis I Nord	2600 bis 2651

Hublasten der Hauptkrananlagen über den Kopfgleisen Gleis I Süd und Nord

Bezeichnung	Lastfall
Kopfgleis I Süd	2452 bis 2453
Kopfgleis I Nord	2598 bis 2599

Diese Kranlasten wirken jeweils nicht gleichzeitig bei Ansatz der Radlasten auf dem betreffenden Gleis!

3.2.2.7 Ergebniskombinationen für die EDV-Berechnung

Überlagerung der Lastfälle

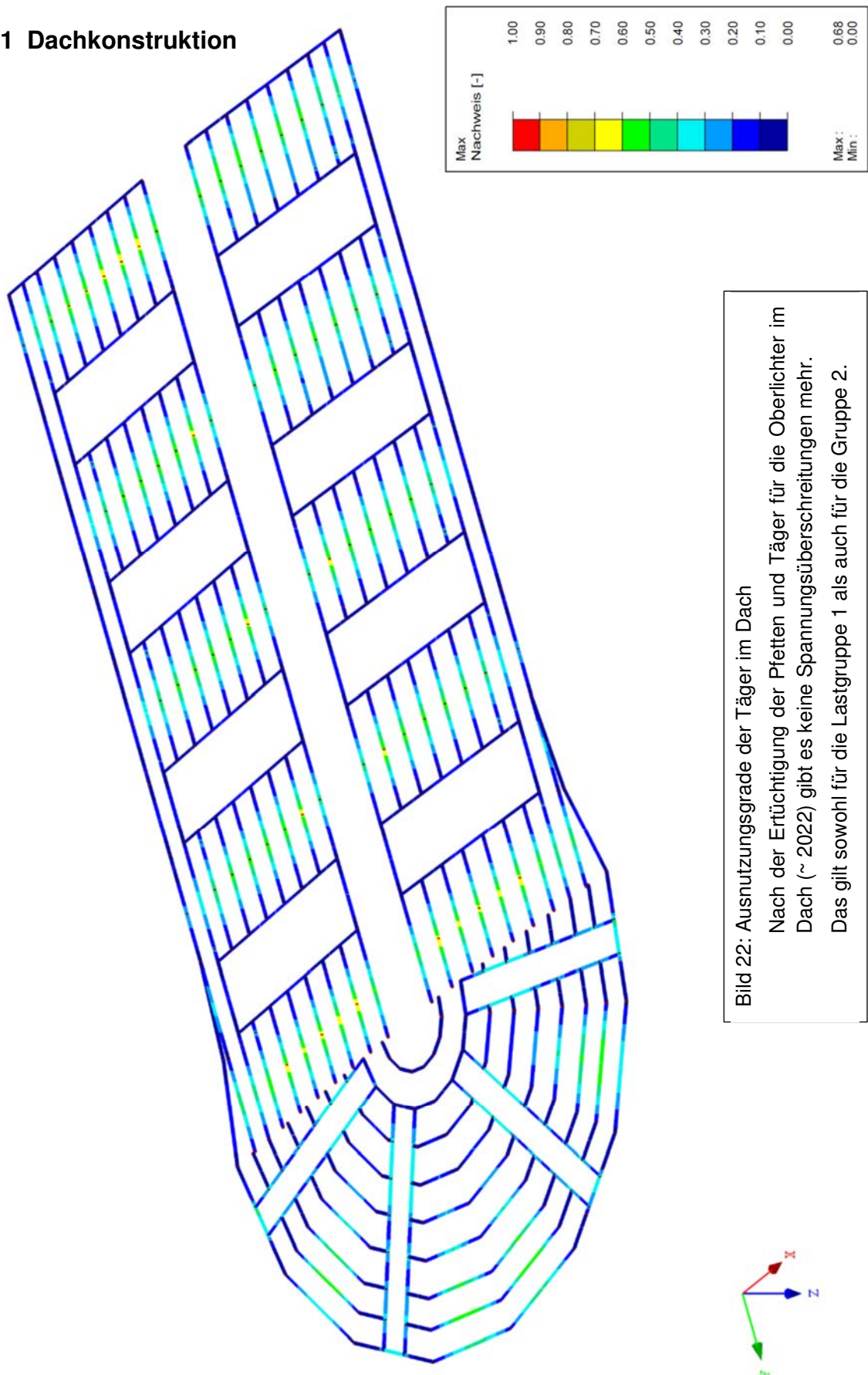
Die Lastfälle werden in Ergebniskombinationen (EK) gemäß folgender Tabelle überlagert:

Ergebn.- kombin.	Bezeichnung	Belastung
EK10	Wander-FZ-Lasten leer Gleis 4 (Süd + Nord)	LF1000 oder bis LF1299
EK11	Wander-FZ-Lasten leer Gleis 3 (Süd + Nord)	LF1500 oder bis LF1770
EK12	Wander-FZ-Lasten leer Gleis 2 (Süd)	LF2000 oder bis LF2054
EK13	Wander-FZ-Lasten leer Gleis 2 (Nord)	LF2200 oder bis LF2254
EK14	Wander-FZ-Lasten leer Gleis 1 (Süd)	LF2400 oder bis LF2453
EK15	Wander-FZ-Lasten leer Gleis 1 (Nord)	LF2600 oder bis LF2653
EK16	Wander-FZ-Lasten voll Gleis 4 (Süd + Nord)	LF3000 oder bis LF3299
EK17	Anfahren / Bremsen leere FZ	LF401 oder bis LF409 oder LF411 oder bis LF419 oder LF501 oder bis LF508 oder LF511 oder bis LF518 oder LF601 oder bis LF603 oder LF611 oder bis LF613 oder LF701 oder bis LF703 oder LF711 oder bis LF713 oder LF801 oder bis LF803 oder LF811 oder bis LF813 oder LF901 oder bis LF903 oder LF911 oder bis LF913
EK18	Anfahren / Bremsen leere FZ Gleis 1-3 + voll Gleis 4	1.57*LF401 oder bis LF409 oder 1.57*LF411 oder bis LF419 oder LF501 oder bis LF508 oder LF511 oder bis LF518 oder LF601 oder bis LF603 oder LF611 oder bis LF613 oder LF701 oder bis LF703 oder LF711 oder bis LF713 oder LF801 oder bis LF803 oder LF811 oder bis LF813 oder LF901 oder bis LF903 oder LF911 oder bis LF913
EK101	Bemess mit FZ leer + p=2,0 kN/m²	1.35*LF100/s + 1.35*LF101/s + 1.35*LF102/s + 1.35*LF103/s + 1.35*LF104/s + 1.35*LF105/s + 1.35*LF106/s + 1.35*LF107/s oder 1.35*LF108/s + 1.35*LF120/s + 1.35*LF121/s + 1.35*LF122/s + 1.35*LF123/s + 1.5*LF200 + 1.5*LF210 + 1.5*LF220 + 1.5*LF221 + 1.5*LF222 + 1.5*LF223 + 1.5*LF240 oder bis LF243 oder 1.05*LF250 oder 1.05*LF260 + 0.9*LF300 + 1.5*EK10 + 1.5*EK11 + 1.5*EK12 + 1.5*EK13 + 1.5*EK14 + 1.5*EK15 + 1.5*EK17
EK102	Bemess mit FZ voll Gleis 4, sonst leer + p=7,5 kN/m²	1.35*LF100/s + 1.35*LF101/s + 1.35*LF102/s + 1.35*LF103/s + 1.35*LF104/s + 1.35*LF105/s + 1.35*LF106/s + 1.35*LF107/s oder 1.35*LF108/s + 1.35*LF120/s + 1.35*LF121/s + 1.35*LF122/s + 1.35*LF123/s + 1.5*LF200 + 1.5*LF210 + 1.5*LF230 + 1.5*LF231 + 1.05*LF232 + 1.5*LF233 + 1.5*LF240 oder bis LF243 oder 1.5*LF250 oder 1.5*LF260 + 0.9*LF300 + 1.5*EK11 + 1.5*EK12 + 1.5*EK13 + 1.5*EK14 + 1.5*EK15 + 1.5*EK16 + 1.5*EK18
EK111	Bemess mit FZ leer (ohne Anfahr-/Bremslasten)	1.35*LF100/s + 1.35*LF101/s + 1.35*LF102/s + 1.35*LF103/s + 1.35*LF104/s + 1.35*LF105/s + 1.35*LF106/s + 1.35*LF107/s oder 1.35*LF108/s + 1.35*LF120/s + 1.35*LF121/s + 1.35*LF122/s + 1.35*LF123/s + 1.5*LF200 + 1.5*LF210 + 1.5*LF220 + 1.5*LF221 + 1.5*LF222 + 1.5*LF223 + 1.5*LF240 oder bis LF243 oder 1.05*LF250 oder 1.05*LF260 + 0.9*LF300 + 1.5*EK10 + 1.5*EK11 + 1.5*EK12 + 1.5*EK13 + 1.5*EK14 + 1.5*EK15
EK120	maximale vertikale Fahrzeuglasten	EK11 + EK12 + EK13 + EK14 + EK15

Für die Berechnung und Spannungsauswertung sind besonders die EK 101 und 102 von Bedeutung, für die Überprüfung der Fundamente die EK 120.

3.2.3 Ergebnisse der EDV-Berechnungen

3.2.3.1 Dachkonstruktion



3.2.3.2 FW-Binder und Aufhängungen der FS-Träger

Die FW-Binder und die Aufhängungen der Fahrschienenträger (FST) wurden für 2 Ergebniskombinationen (EK) untersucht. Bei der EK 101 (Belastung für derzeitigen Fahrbetrieb und mit eingeschränkten Flächenlasten der Arbeitsebenen) gibt es nur wenige Spannungsspitzen für die Vergleichsspannung σ_v mit einem tolerierbaren maximalen Ausnutzungsgrad von $\eta = 1,04$ (Abbildung 24).

Bei der EK 102 (volle Fahrzeuglast auf Durchfahrtsgleis 4 und „betriebsgerechte“ Flächenlast auf der Werkstattdecke) erhöht sich das Spannungsniveau im Bereich des Gleises 4 merklich (siehe auch Abb.25 bis 28). Die Ausnutzungsgrade mit Spitzenwerten $\eta > 1,0$ liegen in mehreren Bereichen z.T. deutlich im nicht tolerierbaren Bereich und erreichen an einigen Punkten die plastische Tragfähigkeit, die vom Programm als „nicht bemessbar“ bezeichnet werden. Hier dargestellt wurden alle Bemessungen bis max. $\eta = 1,48$ (Abbildung 23).

Weiteres kann den Abbildungen auf den folgenden Seiten und den Ausdruckprotokollen entnommen werden.

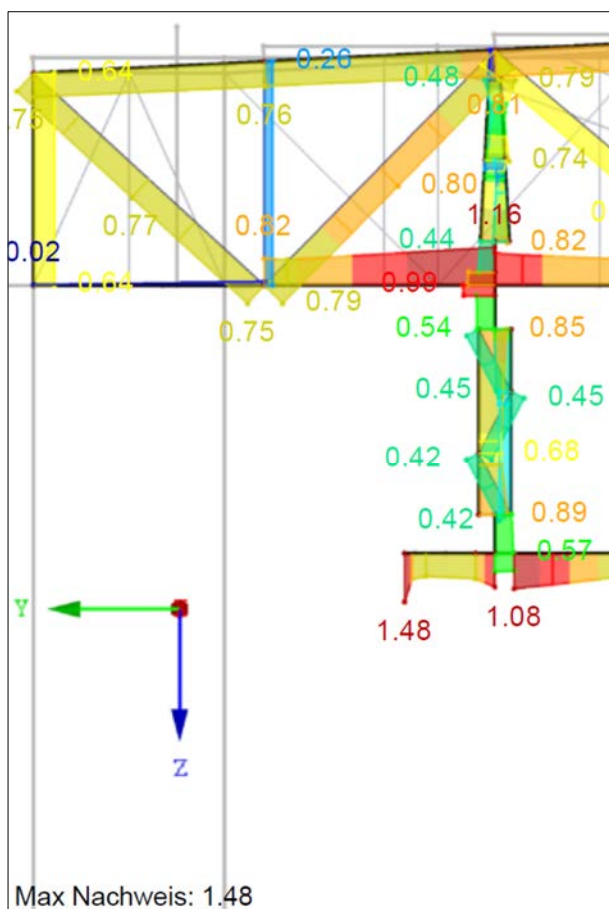


Bild 23: Max. Ausnutzungsgrad der FW-Binder und Hänger Süd in der Achse K-O für die Lastgruppe 2

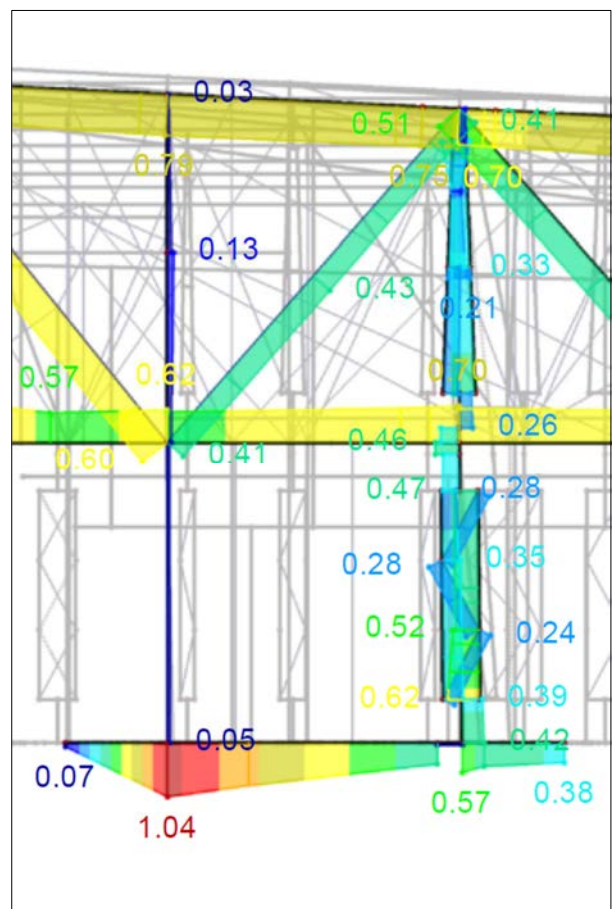
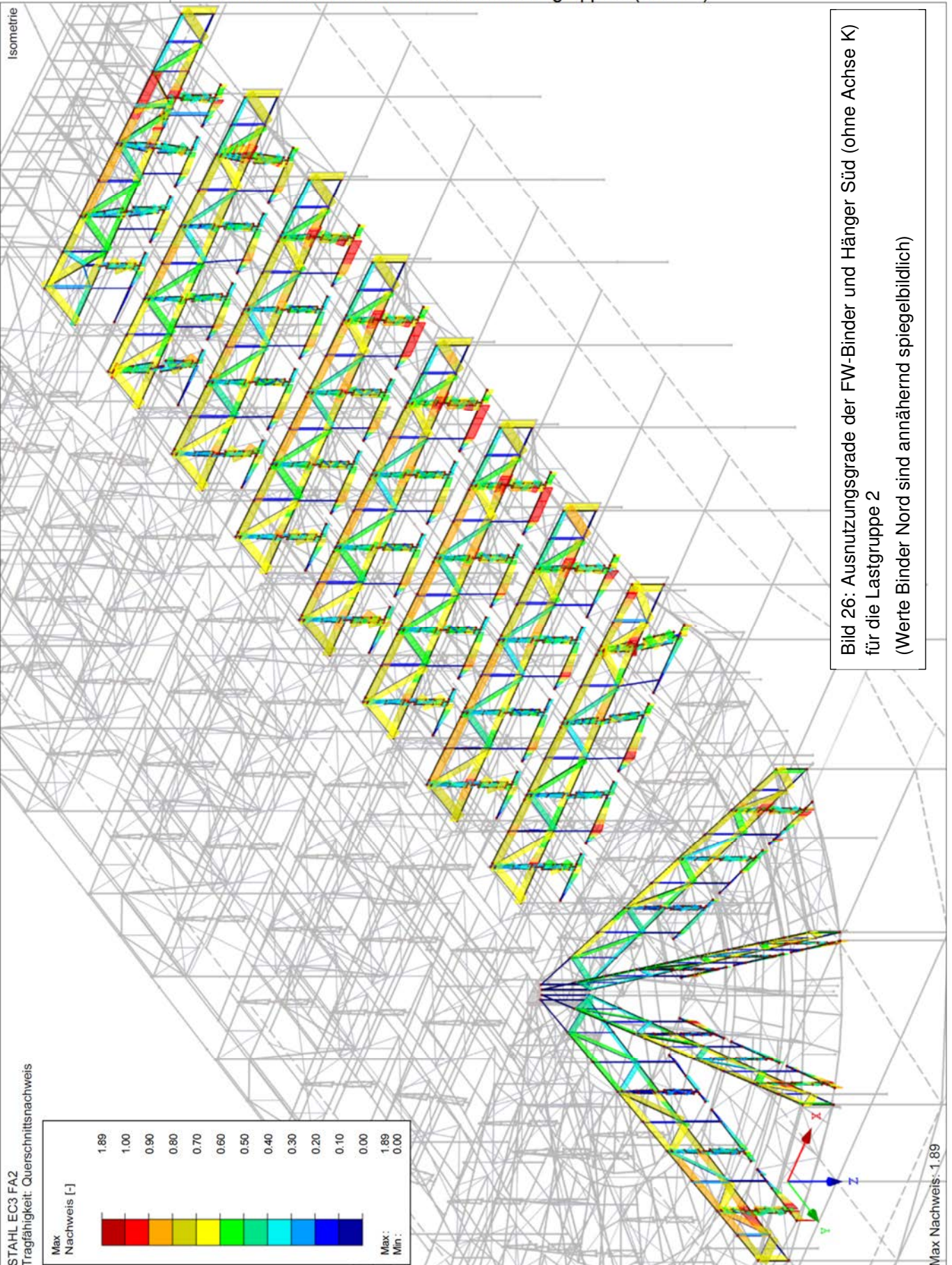


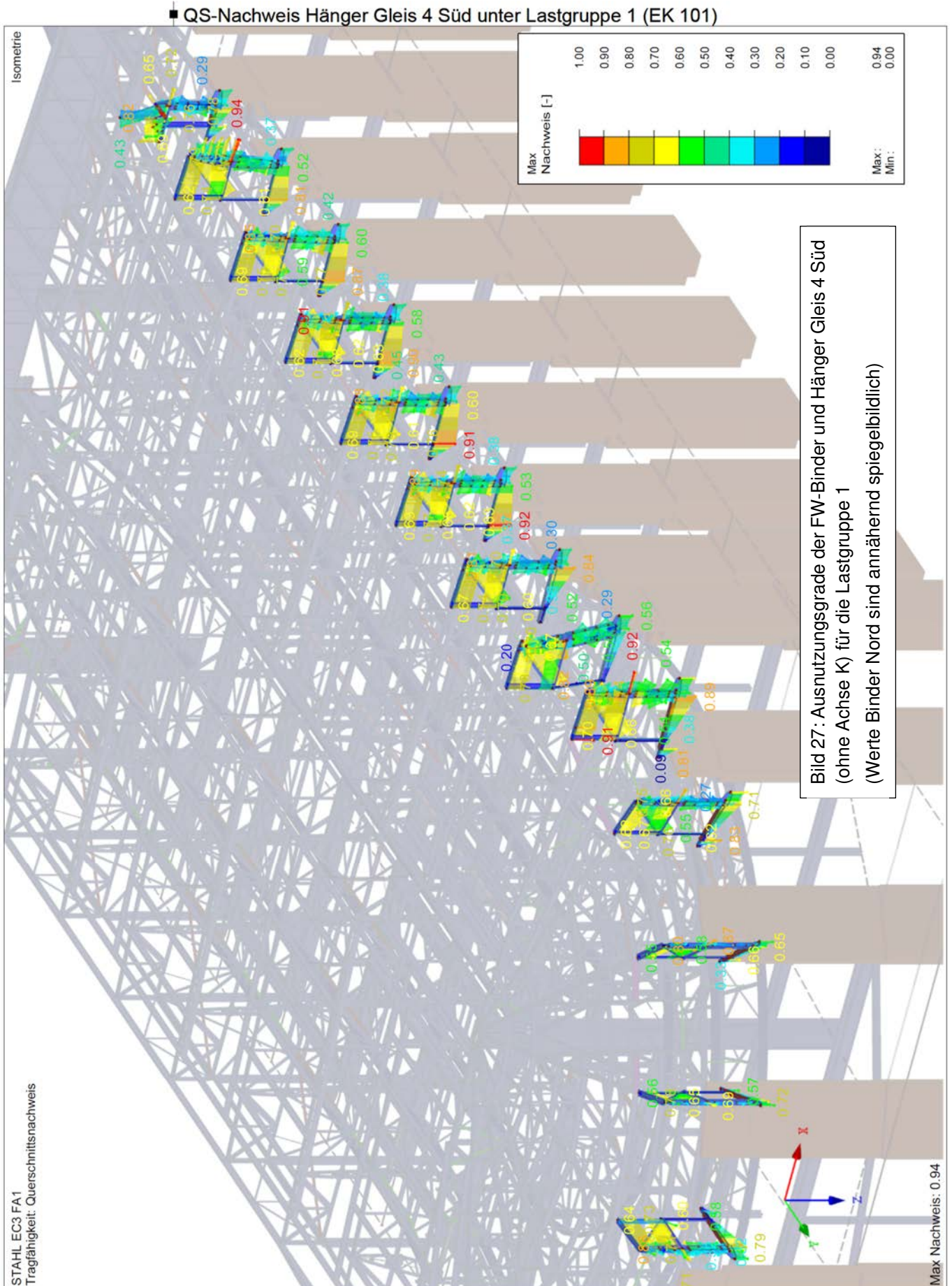
Bild 24: Max. Ausnutzungsgrad der FW-Binder und Hänger Süd in der Achse J für die Lastgruppe 1

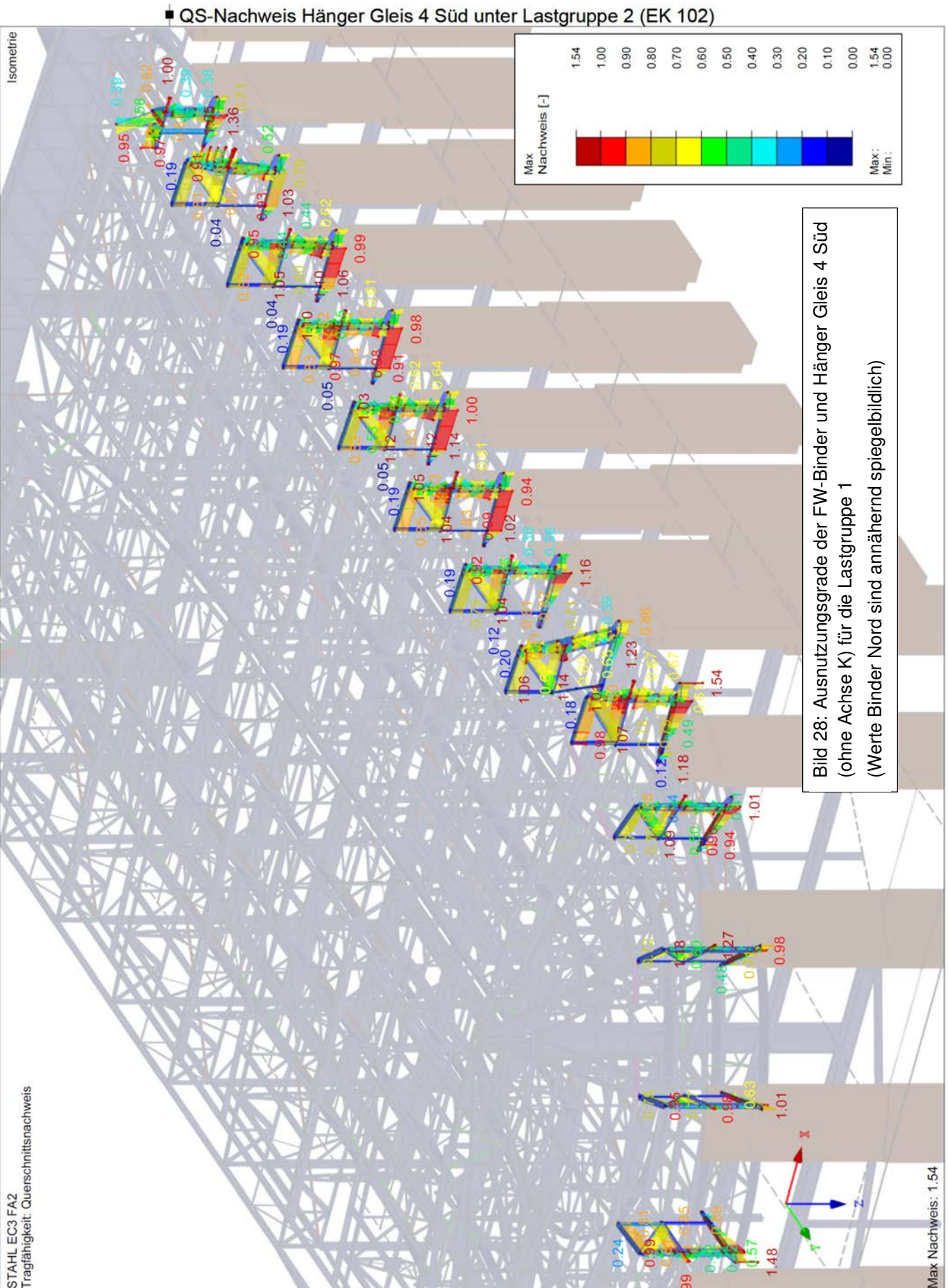
Bild 25: Ausnutzungsgrade der FW-Binder und Hänger Süd (ohne Achse K) für die Lastgruppe 1
(Werte Binder Nord sind annähernd spiegelbildlich)



■ QS-Nachweis für FW-Binder Süd unter Lastgruppe 2 (EK 102)







3.2.3.3 FS-Träger

Die Fahrschienträger (FST) wurden für die beiden maßgebenden Ergebniskombinationen (EK 101 und EK 102) untersucht. Bei der EK 101 (Belastung für derzeitigen Fahrbetrieb mit eingeschränkten Radlasten für leere Fahrzeuge) ergibt sich nur ein geringer maximaler Ausnutzungsgrad von $\eta = 0,46$ (Abbildung 30).

Bei der EK 102 (Belastung für „betriebsgerechten“ Fahrbetrieb mit maximalen Radlasten für die Fahrzeuge mit Personen oder Prüfgewichten) ergibt sich ein maximaler Ausnutzungsgrad von $\eta = 0,77$ (Abbildung 29 und 31).

Die Auslastung ist in beiden Lastkombinationen gering, weiterführende Nachweise sind somit nicht erforderlich.

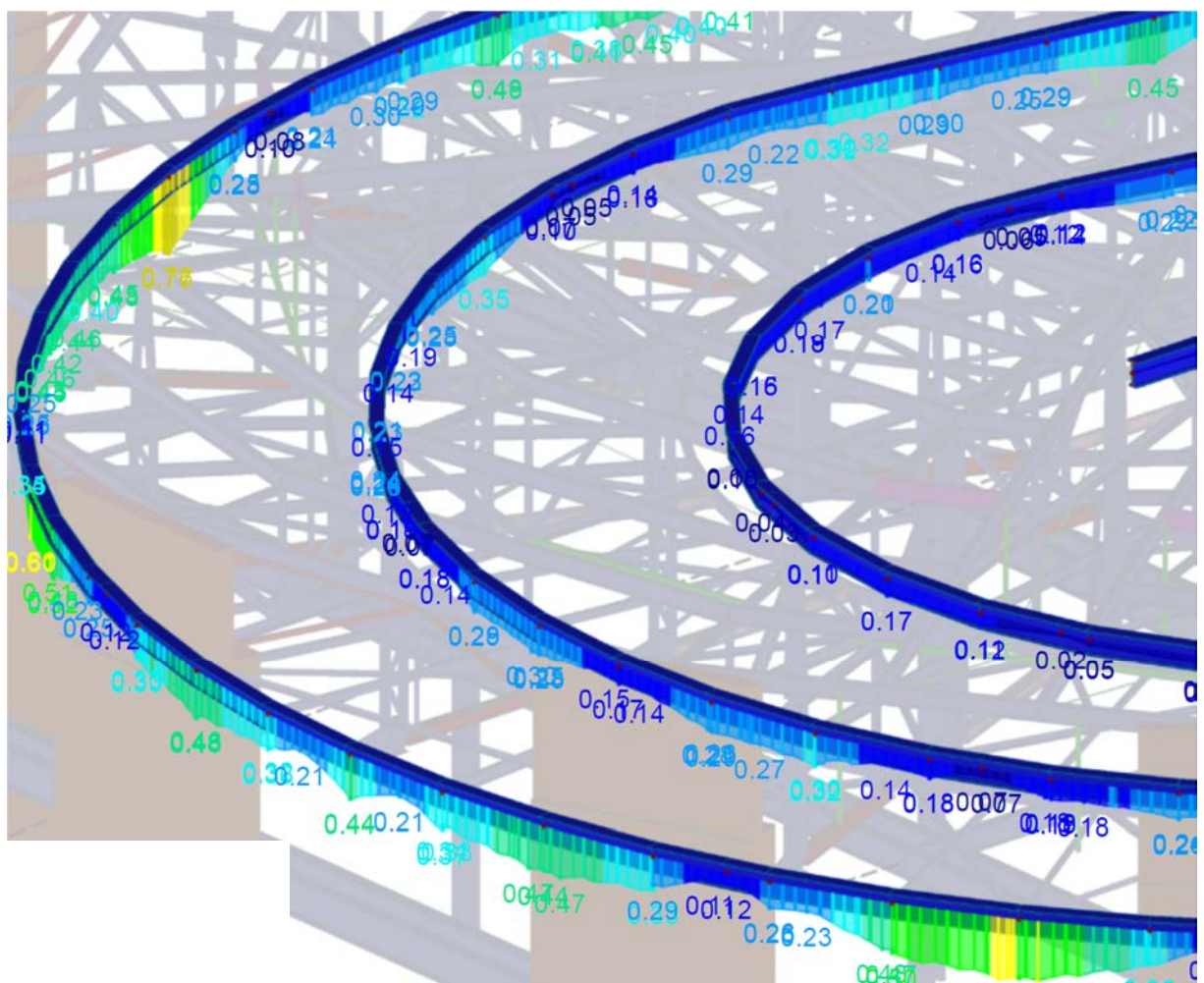
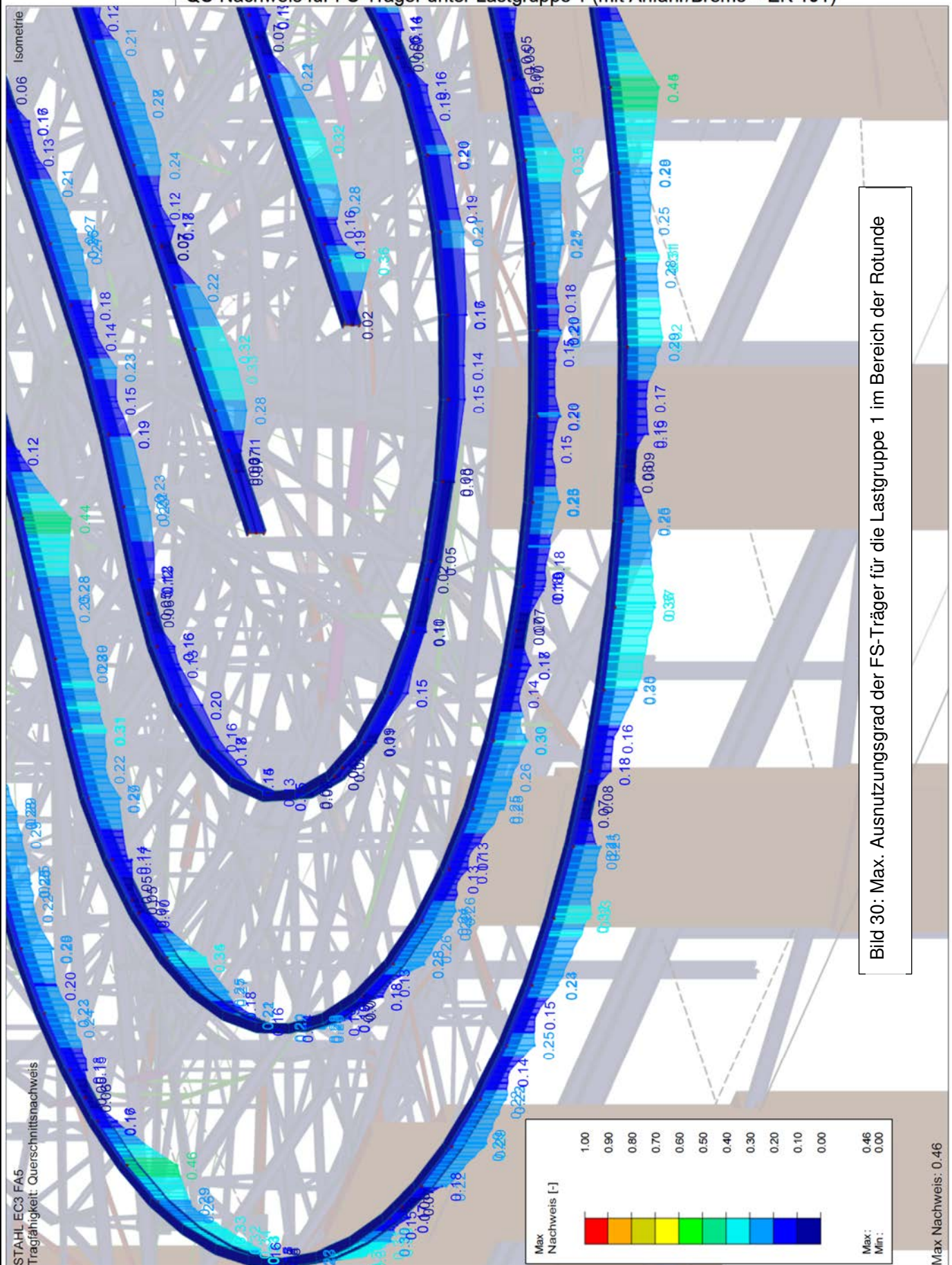
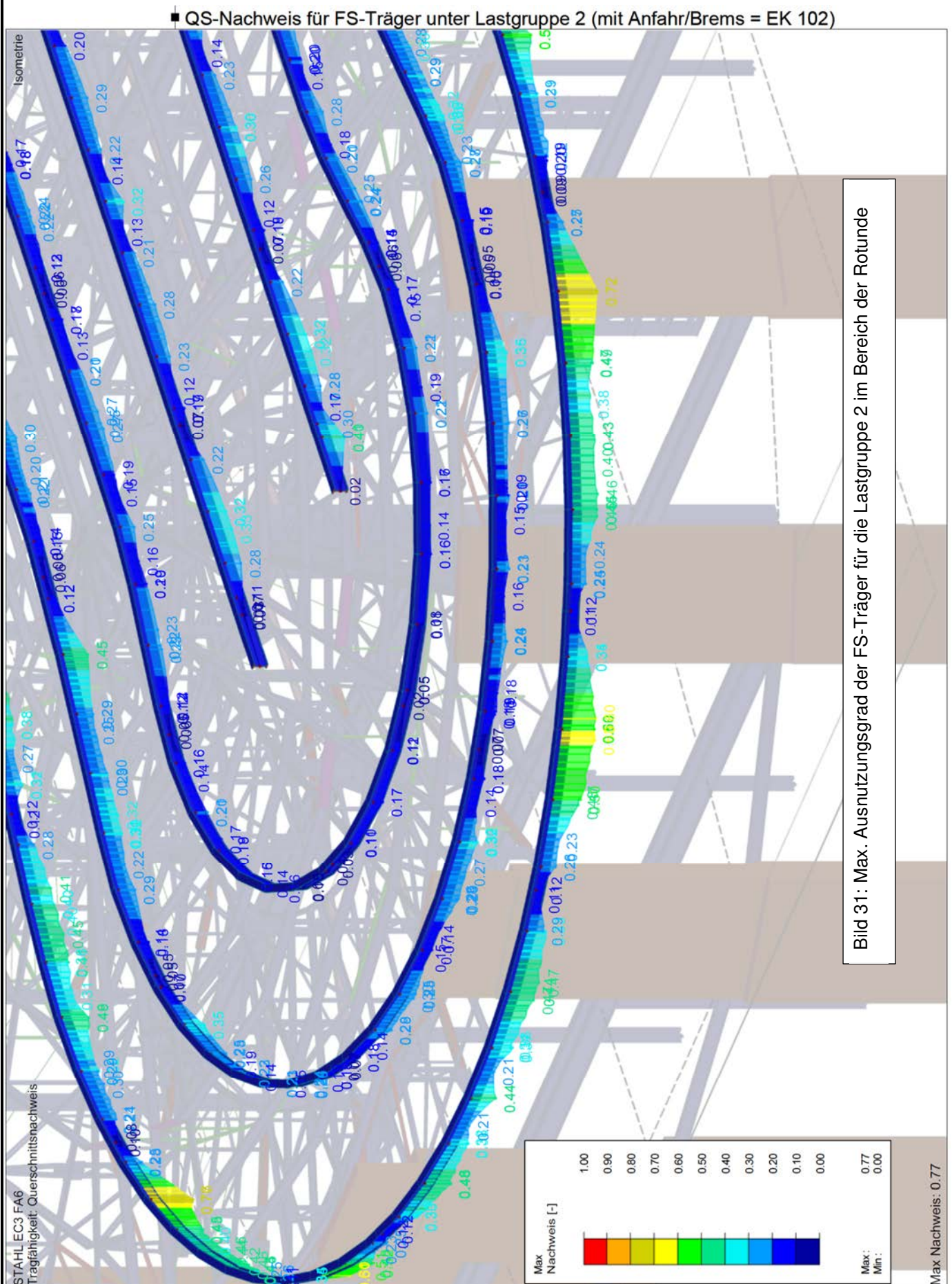


Bild 29: Max. Ausnutzungsgrad der FS-Träger
für die Lastgruppe 2 im Bereich der Rotunde

■ QS-Nachweis für FS-Träger unter Lastgruppe 1 (mit Anfahr/Brems = EK 101)





3.2.3.4 Träger und Ausfachung der UH-Ebene

In der Fahrschienenebene sind unterschiedliche Bauteile zu unterscheiden:

- Die Fahrschienträger (FST) wurden bereits im Abschnitt 3.2.3.3 behandelt. Sie verfügen über ausreichende Tragreserven.
- Die Weiterleitung der Lasten aus den FS-Trägern erfolgt über einen Querträger mit beidseitigen kleinen Kragarmen. An einem Kragträger wird der FS-Träger angeschlossen, am anderen Ende sind die Längsträger der UH-Arbeitsebene angelenket. Die Querträger werden mittels FW-Hängern und „einfachen“ Zugstäben an die „großen“ FW-Binder der Dachkonstruktion angeschlossen, sodass die gesamte UH-Ebene federnd aufgehängt ist. (siehe Abb. 31a nächste Seite)
Querträger und FW-Hänger sind bereits in der Lastgruppe 1 voll ausgelastet mit einigen Lastspitzen, deren Ausnutzungsgrade mit $\eta = 1,05$ gerade noch toleriert werden können. Bei einer Beaufschlagung mit „vollen“ Fahrzeugen ergeben sich Auslastungsgrade, deren Spitzen weit über dem zulässigen Wert $\eta = 1,0$ liegen und an einigen Punkten nach DIN EN 1993 laut EDV als „nicht bemessbar“ eingestuft werden. Ein Nachweis mit der (nicht mehr gültigen) Vorläufernorm DIN 18800 zeigte ebenfalls mit $\eta = 1,18$ unzulässige Spannungsüberschreitungen. Das bedeutet, dass zumindest die „Hänger“ der Fahrschienen ertüchtigt werden müssen, auf denen ein „voller“ Zug fahren soll.
- Die Bühnenfüllträger aus Z 140-Profilen sind im Bereich der Flächenlast (siehe Abb. 20) teilweise bis zur Tragfähigkeit ausgelastet. Eine Erhöhung der Verkehrslast $p = 2,50 \text{ kN/m}^2$ oder eine Ausdehnung der Lastfläche auf weitere Bereiche würde diese Träger überlasten und darüber hinaus die gesamten Dachbinder unzulässig beanspruchen.
- Die Verbandsstäbe aus L-Profilen zur Horizontalaussteifung der Bühnen sind in der Lastgruppe 1 beim einfachen QS-Nachweis in etwa zu 50 % ausgenutzt, beim Stabilitätsnachweis aber bis an die Grenze der Tragfähigkeit. Eine weitere Erhöhung der Beanspruchung in der Lastgruppe 2 ist damit ohne entsprechende Ertüchtigungen nicht möglich.
- Weitere Füllträger zum Abtrag der Flächenlast wurden im Laufe der letzten Jahre eingefügt. Diese Träger in der Rotunde zwischen Achse K und dem Tragsystem des Fahrgleises 2 sind z.T. überlastet. Sie sind zu überprüfen und ggf. zu ertüchtigen.

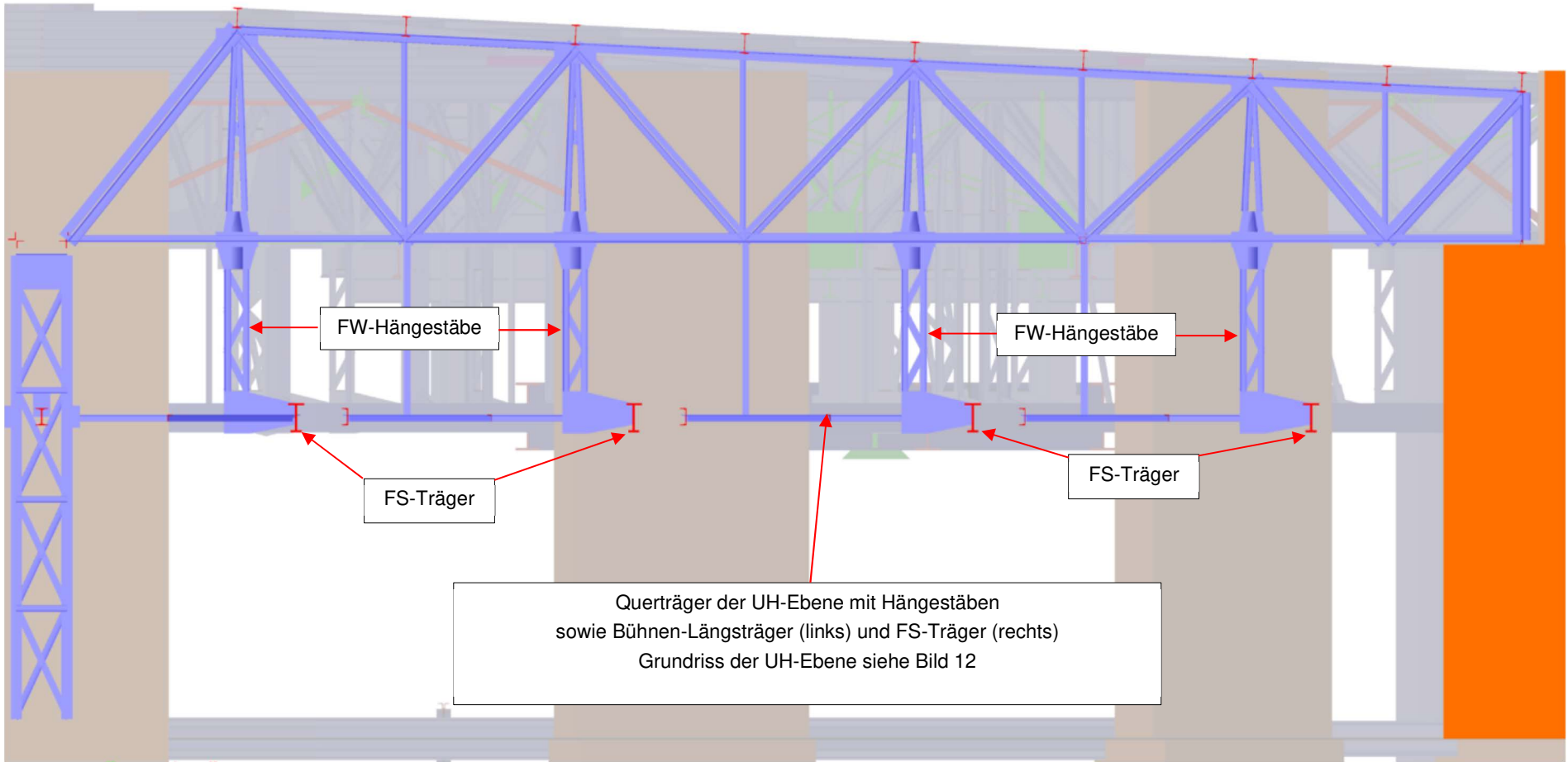


Bild 31a: Querschnitt durch die südliche Hälfte der Wagenhalle)

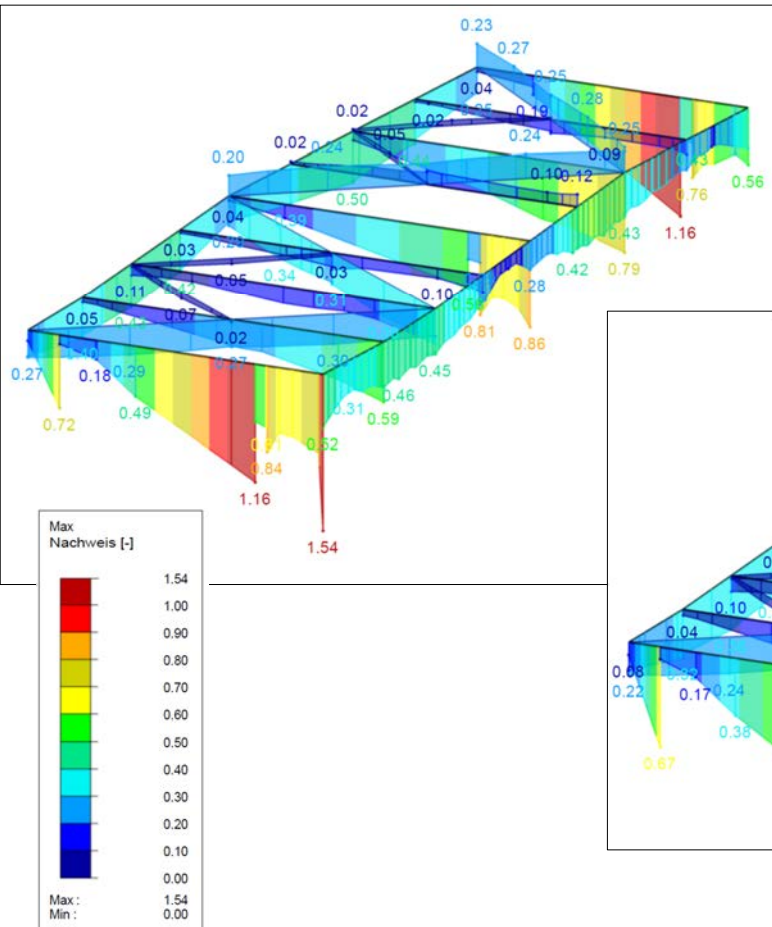


Bild 32: Ausnutzungsgrad Gleis 4 Süd
für die Lastgruppe 2

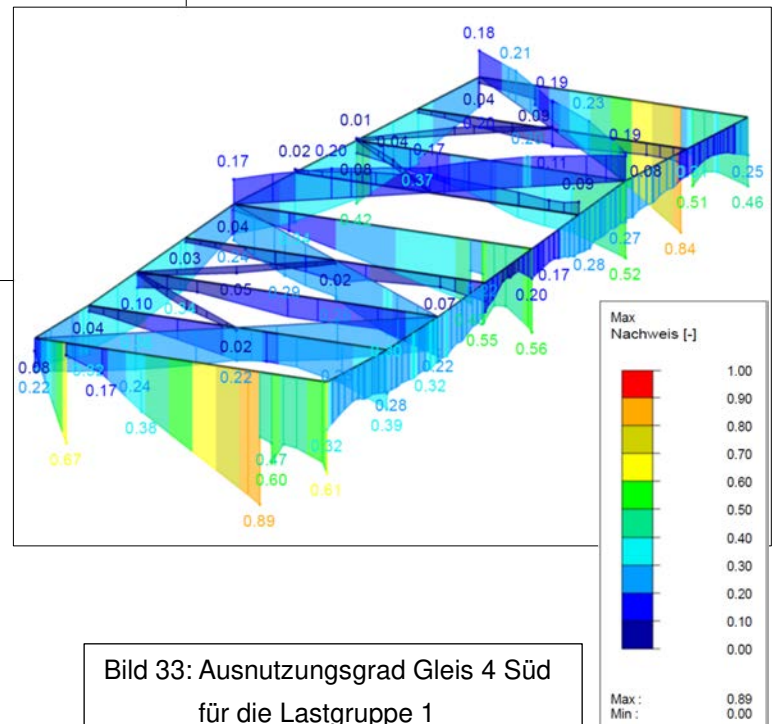


Bild 33: Ausnutzungsgrad Gleis 4 Süd
für die Lastgruppe 1

■ QS-Nachweis für UH-Ebene unter Lastgruppe 1 (mit Anfahr/Brems = EK 101)

STAHL EC3 FA5
Tragfähigkeit: Querschnittsnachweis

In Z-Richtung

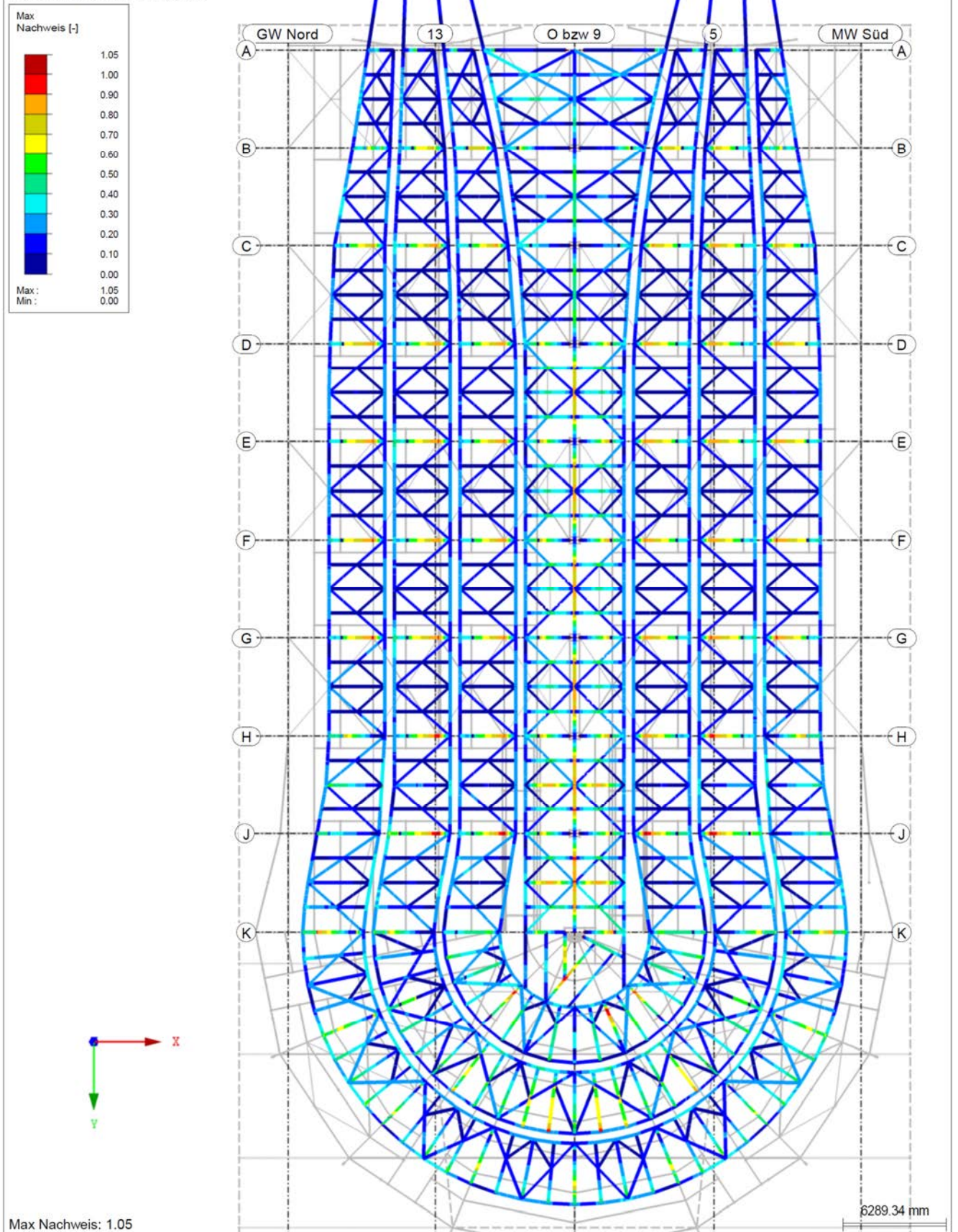


Bild 34: Ausnutzungsgrad Bauteile der UH-Ebene die Lastgruppe 1 (Übersicht)

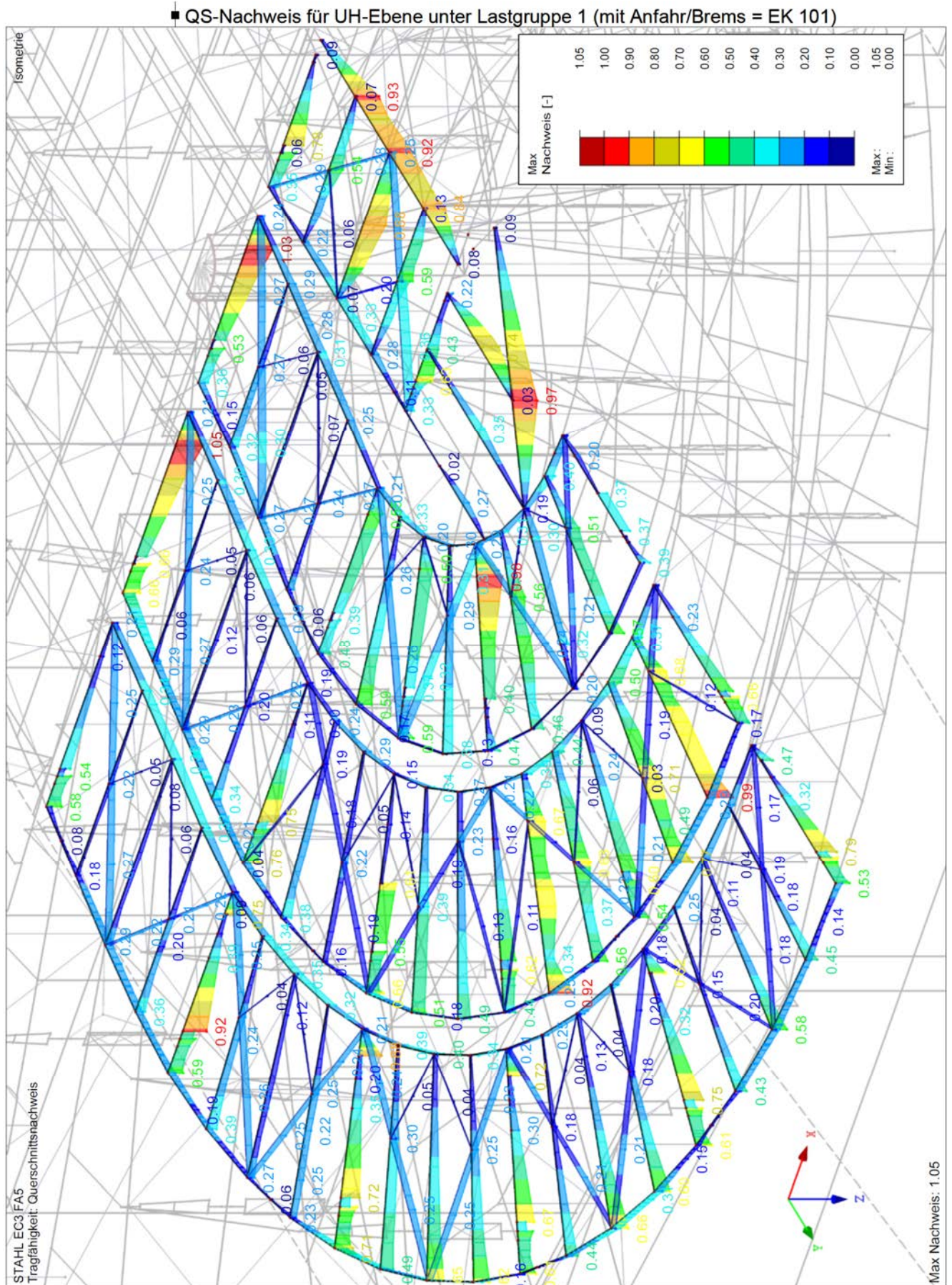
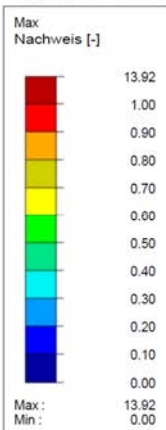


Bild 35: Ausnutzungsgrad Bauteile der UH-Ebene die Lastgruppe 1 (Detail: Nordhälfte der Rotunde)

■ QS-Nachweis für UH-Ebene unter Lastgruppe 2 (mit Anfahr/Brems = EK 102)

STAHL EC3 FA6
Tragfähigkeit: Querschnittsnachweis

In Z-Richtung



Max Nachweis: 13.92

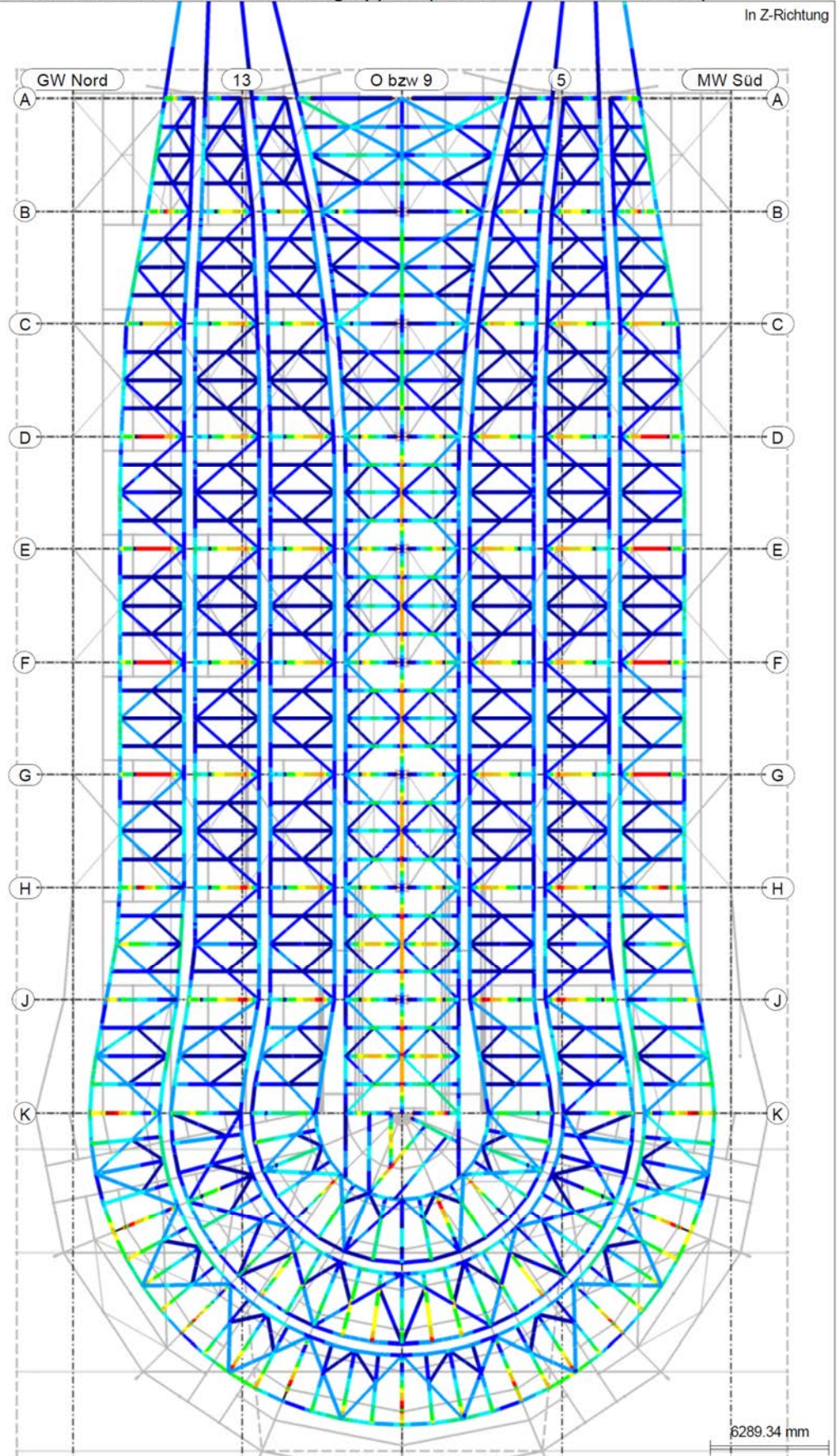


Bild 36: Ausnutzungsgrad Bauteile der UH-Ebene die Lastgruppe 2 (Übersicht)

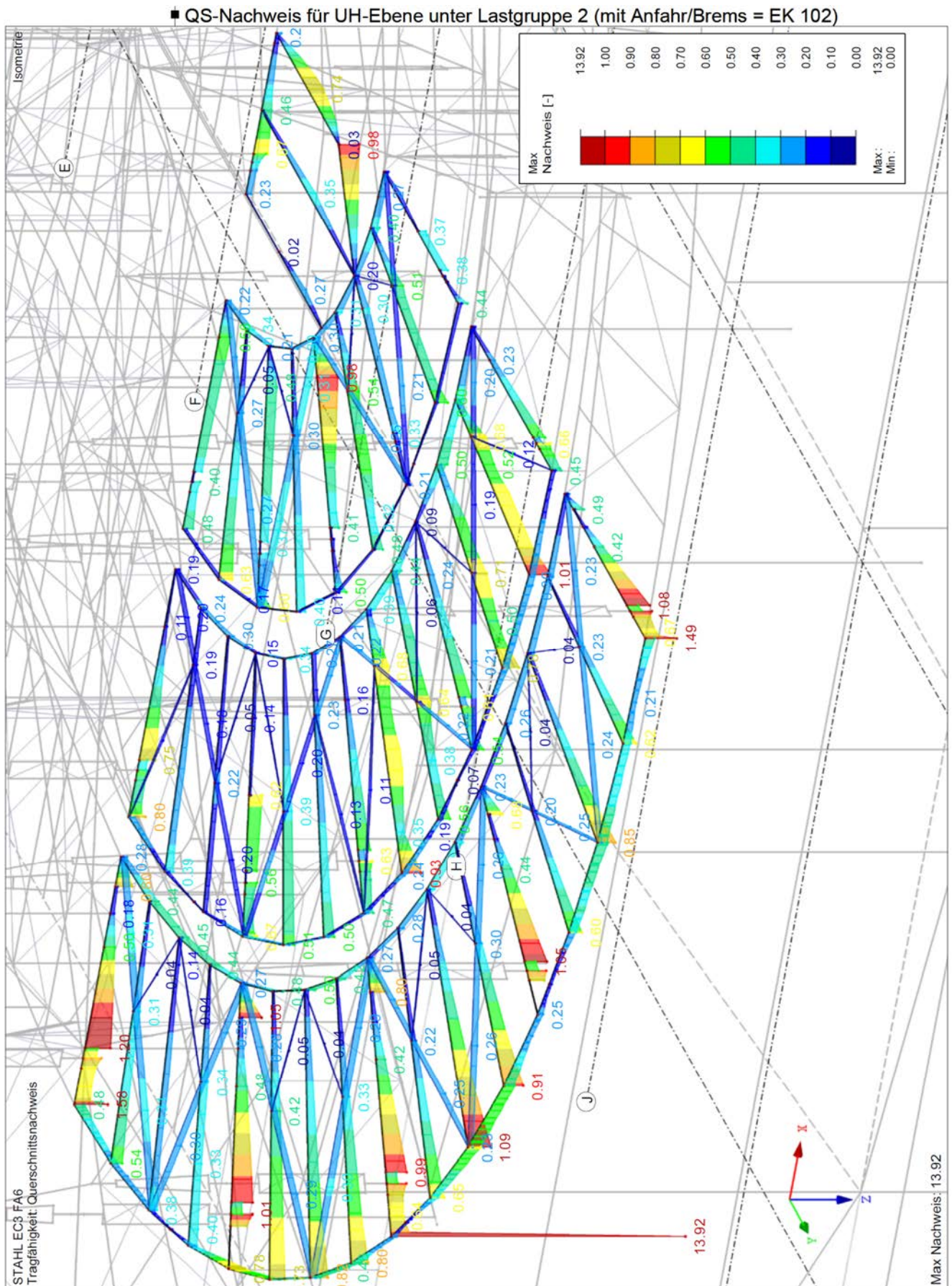


Bild 37: Ausnutzungsgrad Bauteile der UH-Ebene die Lastgruppe 2 (Detail: Nordhälfte der Rotunde)

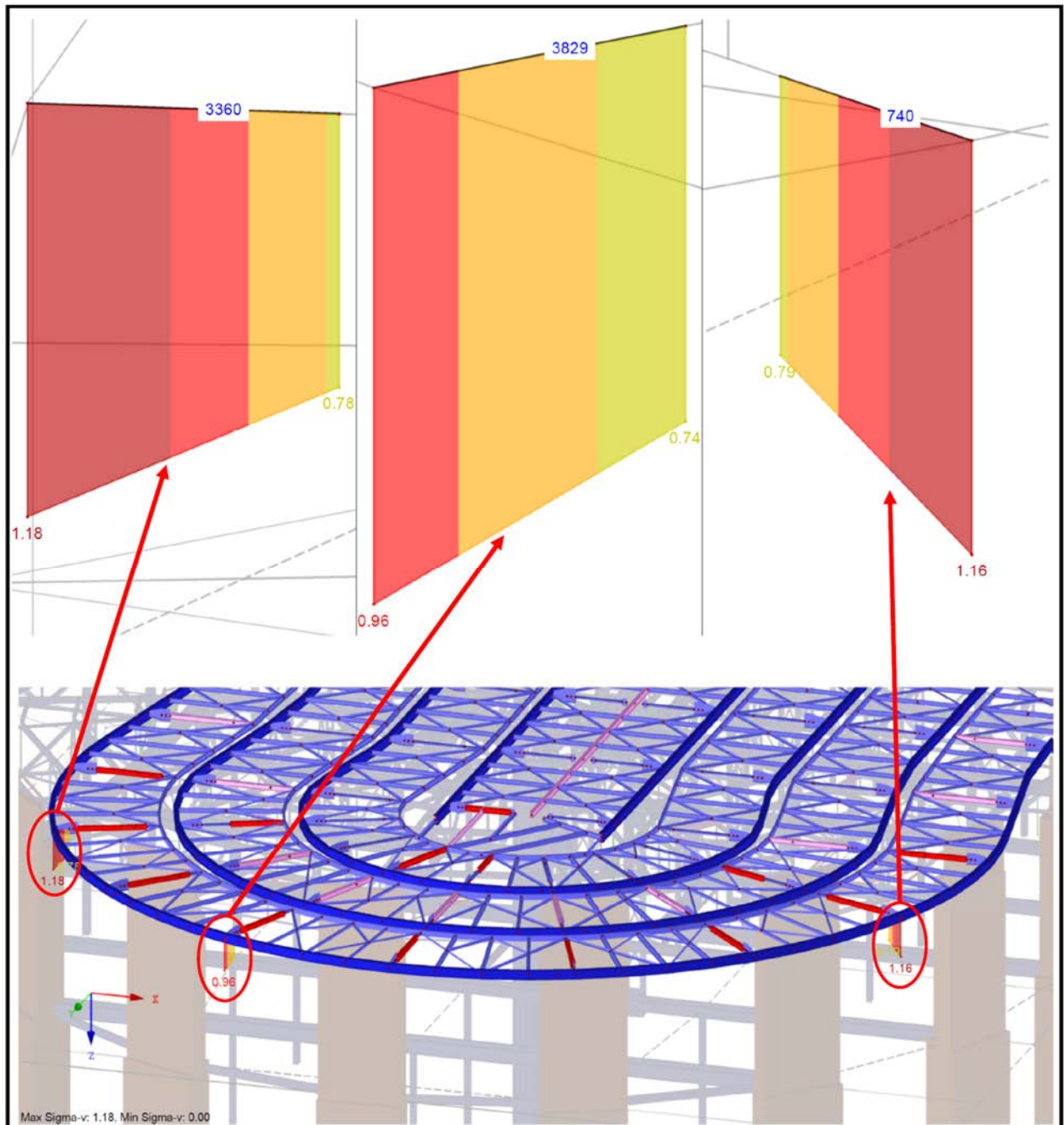


Bild 38: Vergleichsrechnung mit „alter“ DIN 18800 zur Ermittlung der max. Ausnutzungsgrade an den Kragarmen zur Anbindung der FS-Träger an die Hänger (Lastgruppe 2).

3.2.3.5 Träger der Decke über der Werkstatt

Eine Sanierung der Deckenscheibe über der Werkstatt wurde in [5] die Standsicherheit im Jahre 2009 nachgewiesen. Als Flächenlast wurde $p = 2,00 \text{ kN/m}^2$ oder alternativ wurden Radlasten $P = 2 \times 20,0 \text{ kN}$ berücksichtigt. Unter der Decke wurden für Reparaturarbeiten Hängekräne mit $G/P = 5/10 \text{ kN}$ berücksichtigt. Für die hier durchgeführten Untersuchungen wurden für die Deckenscheibe (Holorib-Verbunddecke mit HE-B 140 Längsträgern) keine weiteren Berechnungen erstellt.

Für die hier folgenden Nachweise der Haupt-Querträger wurden für den Ist-Zustand die unter 3.2.2 aufgeführte Ergebniskombination EK 101 berücksichtigt und für spätere Beanspruchungen die Kombination EK 102 angesetzt.

Für die z.Zt. geltenden Betriebsbedingungen sind alle Querträger bis auf den Träger in Achse K, zwischen den Achsen 13 und 17 (Glaswand) ausreichend bemessen (siehe Abb. 40). Für diese Bemessung wurde ein gleichzeitiges Einwirken der Flächenlasten auf der Decke und den Kranlasten unter der Decke angesetzt. Wenn diese Betriebsbedingungen beibehalten werden sollen, ist der Träger zu ertüchtigen. Andernfalls ist die Hublast des Hängekrans für Arbeiten in diesem Bereich (zwischen den Achsen J und L) auf 20 kN zu begrenzen.

Bei Beaufschlagung der Decke mit Flächenlasten $p = 7,5 \text{ kN/m}^2$ (EK 102) und gleichzeitigen Kranarbeiten sind alle Querträger mit $\eta = 1,40$ bis $2,11$ deutlich überlastet (siehe Abb. 41). Lediglich der FW-Träger am Deckendurchlass weist noch eine ausreichende Tragreserve aus (siehe Abb. 39).

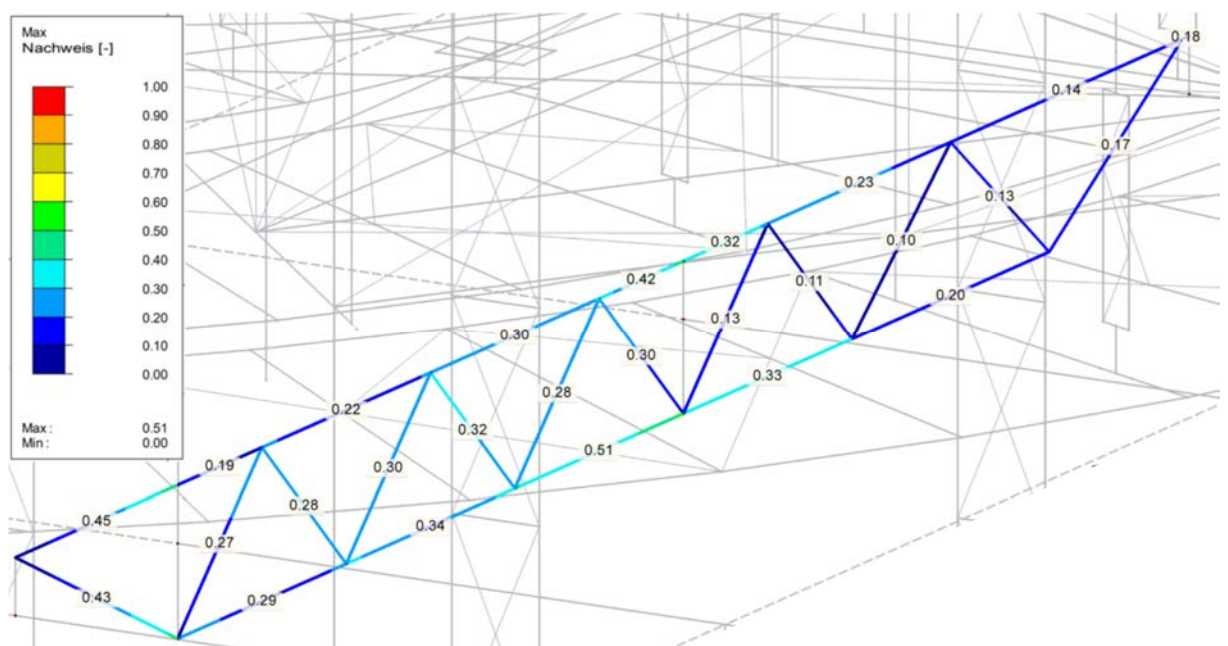


Bild 39: Fachwerkträger am Durchlass in der Werkstattdecke
max. Ausnutzungsgrade für Lastgruppe 2.

■ QS-Nachweis Hauptträger Werkstattdecke mit Last EK 101

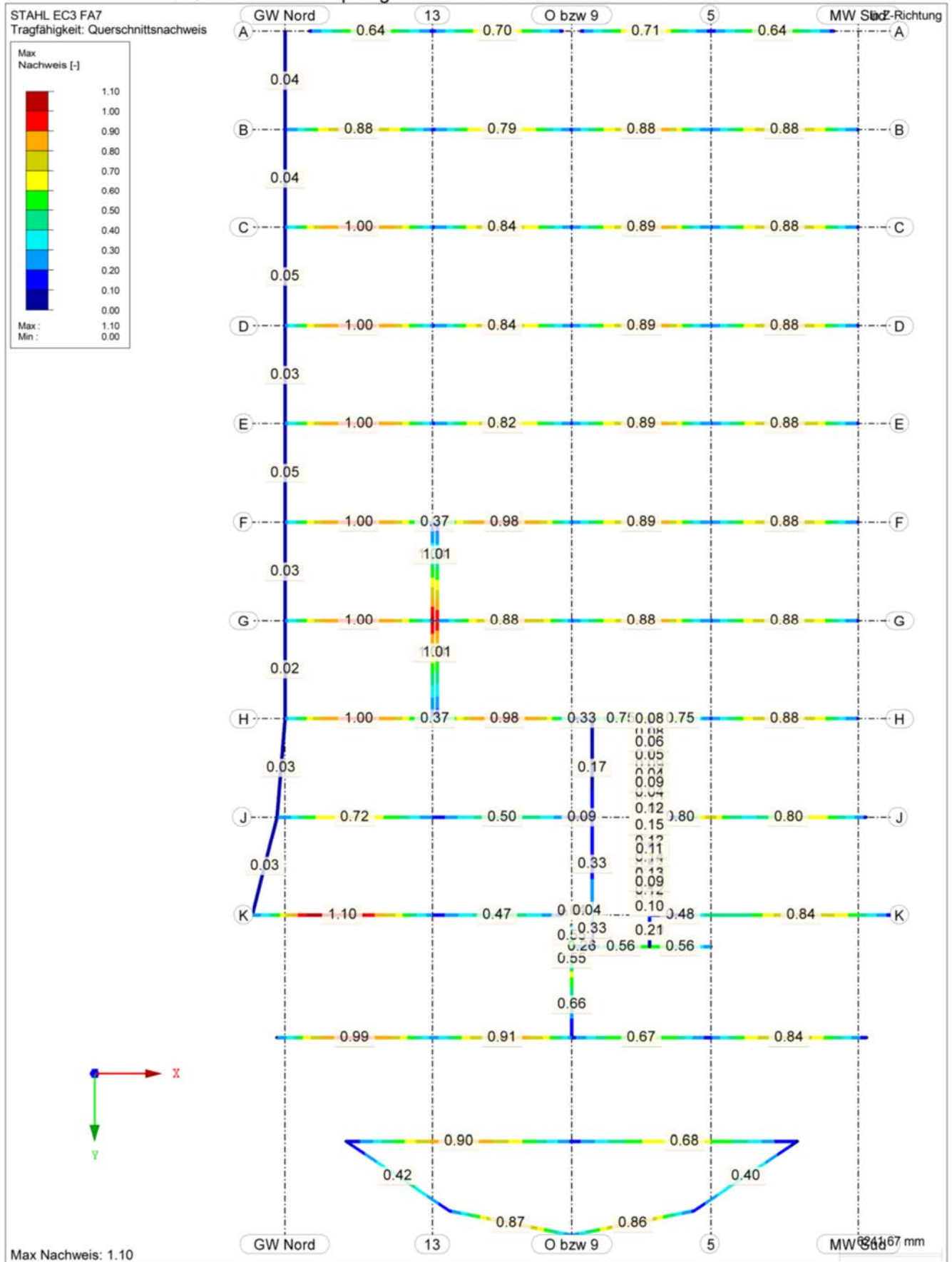


Bild 40: Hauptträger der Werkstattdecke, max. Ausnutzungsgrade für Lastgruppe 1.

■ QS-Nachweis Hauptträger Werkstattdecke mit Last EK 102

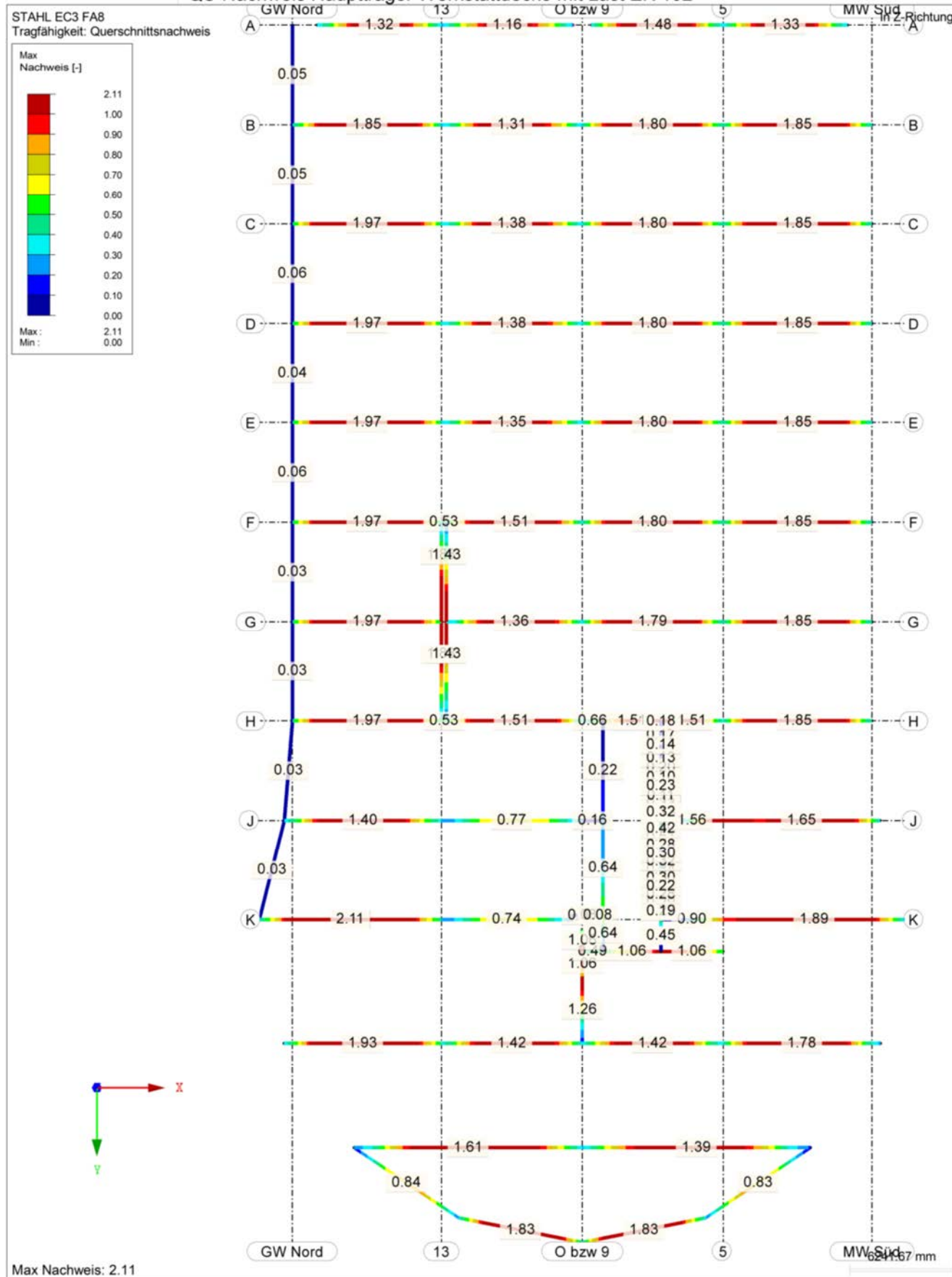


Bild 41: Hauptträger der Werkstattdecke, max. Ausnutzungsgrade für Lastgruppe 2.

3.2.3.6 FW-Stützen in der Achse 9 (Mittelachse)

Die FW-Stützen B/9 bis J/9 in der Gebäudemittelachse sind für den derzeitigen Betrieb für den QS-Nachweis mit $\eta \leq 0,88$ ausreichend bemessen (Abb. 43). Für eine spätere Lasterhöhung ist mit $\eta = 0,99$ zwar noch eine geringe Tragreserve vorhanden, die Anschlüsse der Werkstattdecke müssen jedoch dann im Detail überprüft werden (Abb. 44). Die Stabilität ist in beiden Fällen ausreichend (Abb. 42)

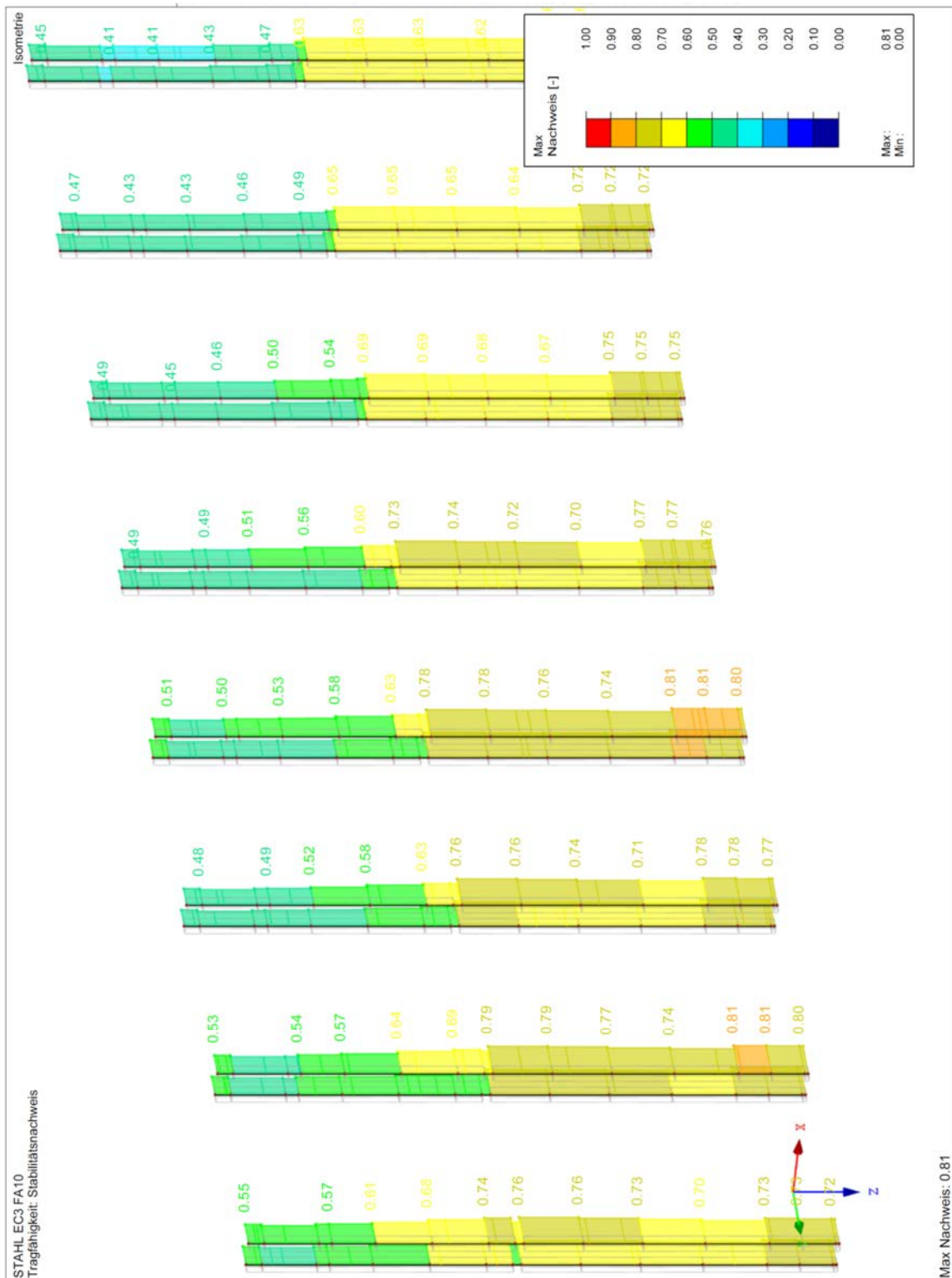


Bild 42: FW-Stützen in Achse 9, max. Ausnutzungsgrade der Stabilitätsnachweise für Lastgruppe 2.

■ QS-Nachweis FW-Mittelstützen Achsen B bis J bei EK 101

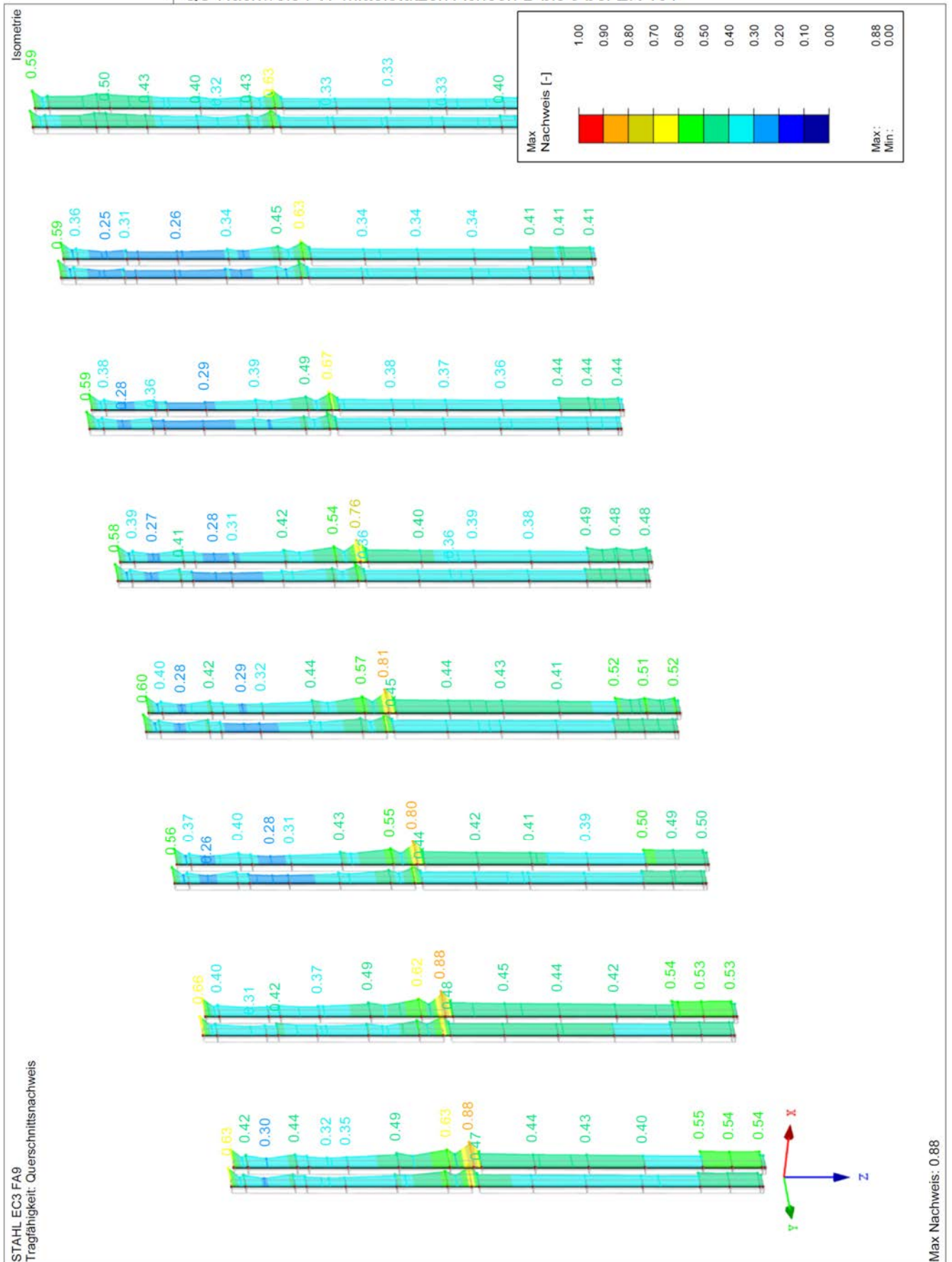


Bild 43: FW-Stützen in Achse 9, max. Ausnutzungsgrade beim QS-Nachweis für Lastgruppe 1.

■ QS-Nachweis FW-Mittelstützen Achsen B bis J bei EK 102

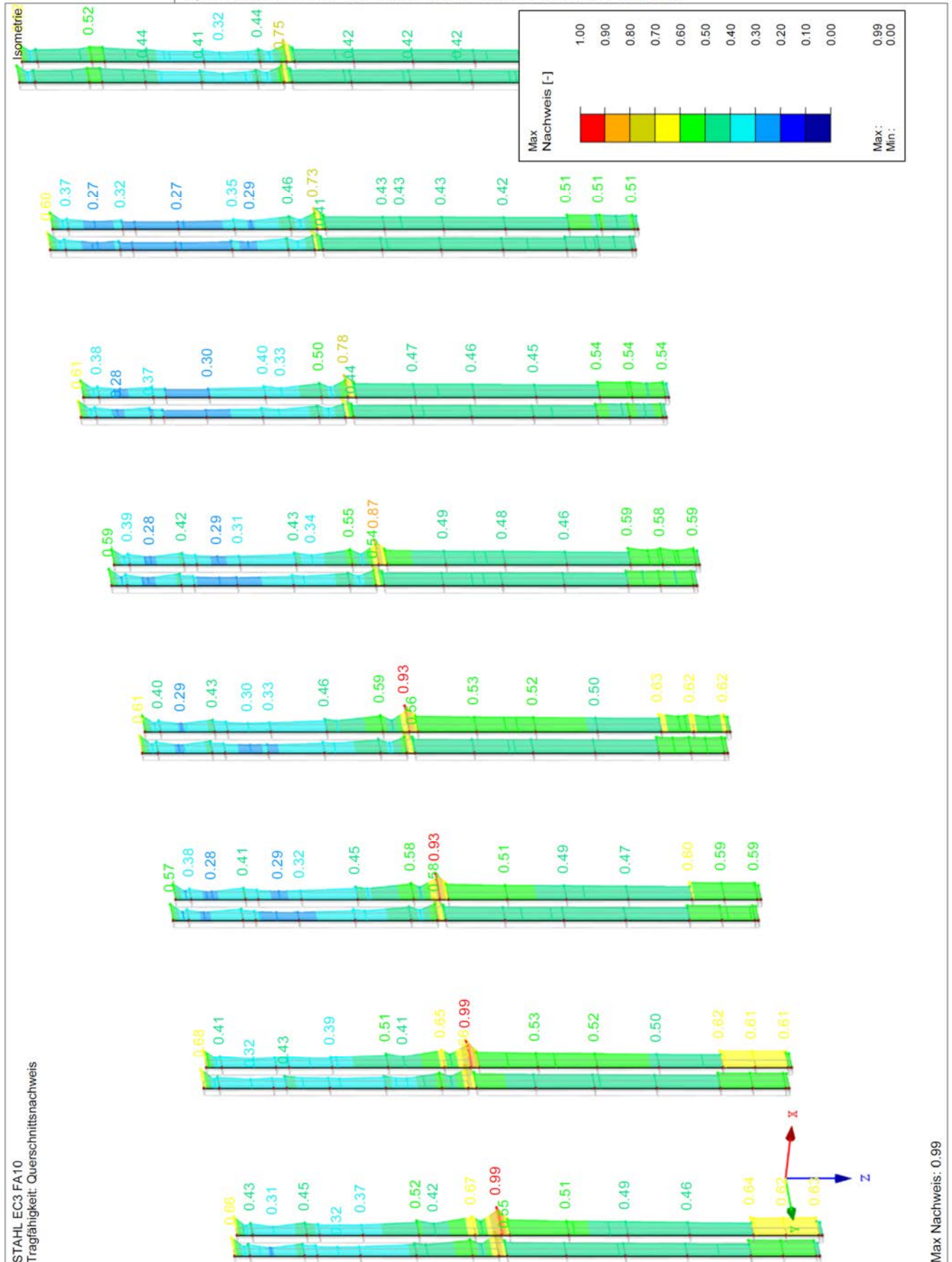


Bild 44: FW-Stützen in Achse 9, max. Ausnutzungsgrade beim QS-Nachweis für Lastgruppe 2.

3.2.3.7 Halbrund-Stütze in der Achse K/9

Für die Halbrundstütze wurde die Tragfähigkeit zunächst nur überschlägig ermittelt. Hier sind beim Tragfähigkeitsnachweis für den Querschnitt ausreichende Tragreserven vorhanden. Anschlussdetails müssen wie bei 3.2.3.6 später untersucht werden. Stabilitätsnachweise werden wegen der geringen Normalkraftausnutzung und der günstigen (großen) Querschnittsabmessungen nicht maßgebend.

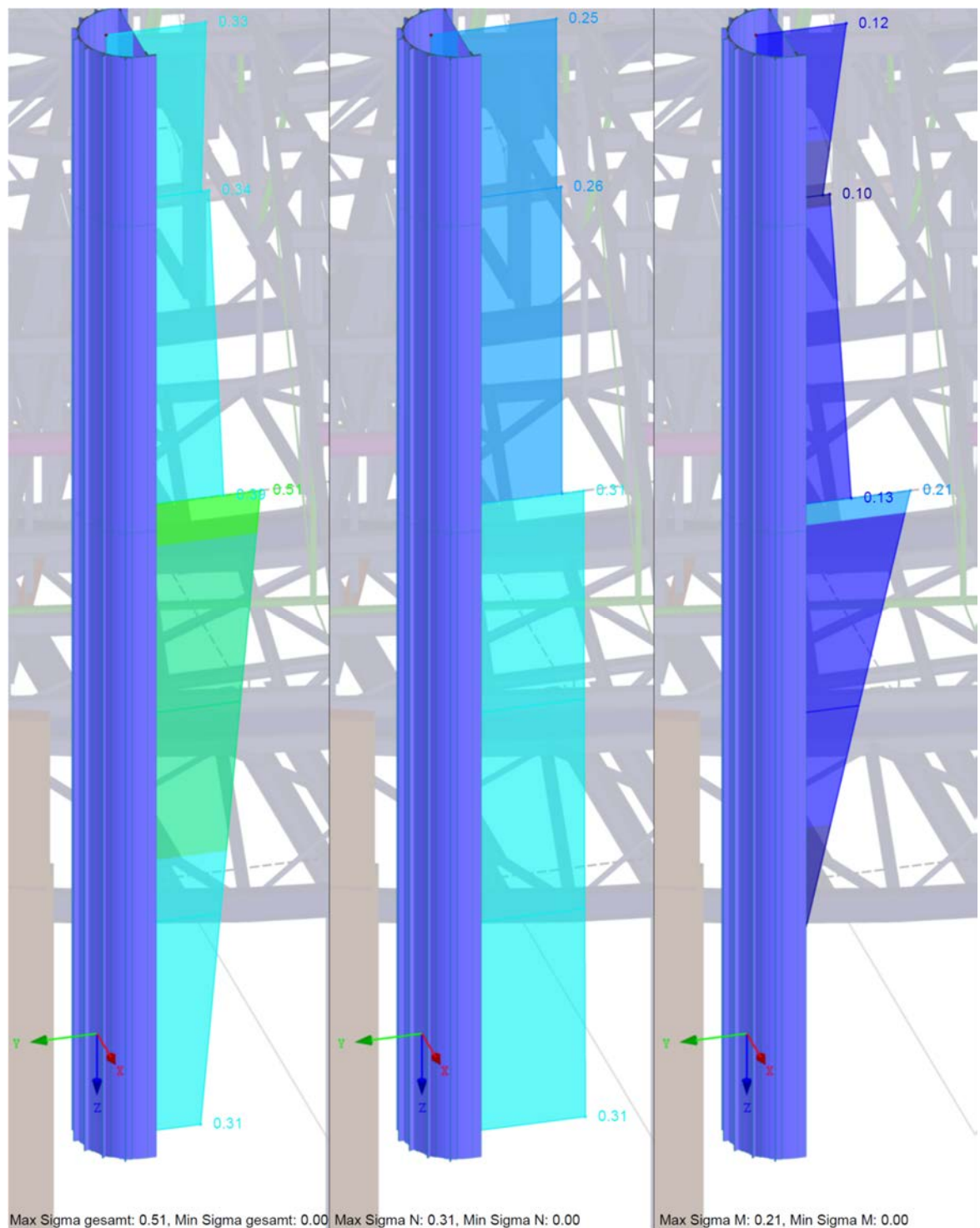


Bild 45: Halbrundstütze in Achse K/9, Abschätzung der max. Ausnutzungsgrade für Lastgruppe 1 nach DIN 18800 (bei Lastgruppe 2 erhöht sich für σ_v die Ausnutzung $\eta = 0,51$ auf $0,56$).

3.2.3.8 Rahmen-Stützen in der Achse A

Die Stützen des Zweifeldrahmens in der Achse A in der Gebäudemittelachse sind für den derzeitigen Betrieb für den QS-Nachweis mit $\eta \leq 0,91$ ausreichend bemessen (Abb. 43). Für eine spätere Lasterhöhung ist mit $\eta = 0,95$ noch eine geringe Tragreserve vorhanden. Zur Stabilität der beiden Fälle siehe Abschnitt 3.2.3.11
Zur Höhe der Spannungsausnutzung ist auch der folgende Hinweis zu beachten.

Anmerkung zum Rechenmodell und Beanspruchungen aus FZ auf den Weichen

Die folgenden Nachweise für die Achse A dienen nur zur groben Abschätzung der Tragfähigkeit des Rahmens in Achse A. Die Ergebnisse liegen weit auf der sicheren Seite, da das Rechenmodell hier stark vereinfacht wurde: Weichen aus Vollwandprofilen statt räumlicher Fachwerke, Fahrzeuglasten auf den beiden Weichen der Ein- und Ausfahrt gleichzeitig, was im Modell näherungsweise korrekt erfasst wurde

Deutlich zu hohe Lasten wurden dadurch berücksichtigt, dass gleichzeitig **je vier** Fachwerkweichenträger inkl. der darauf fahrenden Züge an den Weichenbögen aufgehängt werden, was in der Realität ausgeschlossen ist.

Das führt zu extrem hohen Beanspruchungen der Bogenträger und der Rahmenkonstruktion in Achse A. Dieser abbildungsbedingte, zu hohe Lastansatz ist sehr konservativ, er beeinflusst allerdings nur die Nachweise des Rahmens und wird nicht ins Gebäude weitergeleitet, da die Anbindung der Weichenanlagen an das Rahmen-tragwerk sowohl im Modell als auch in der Realität gelenkig erfolgt.

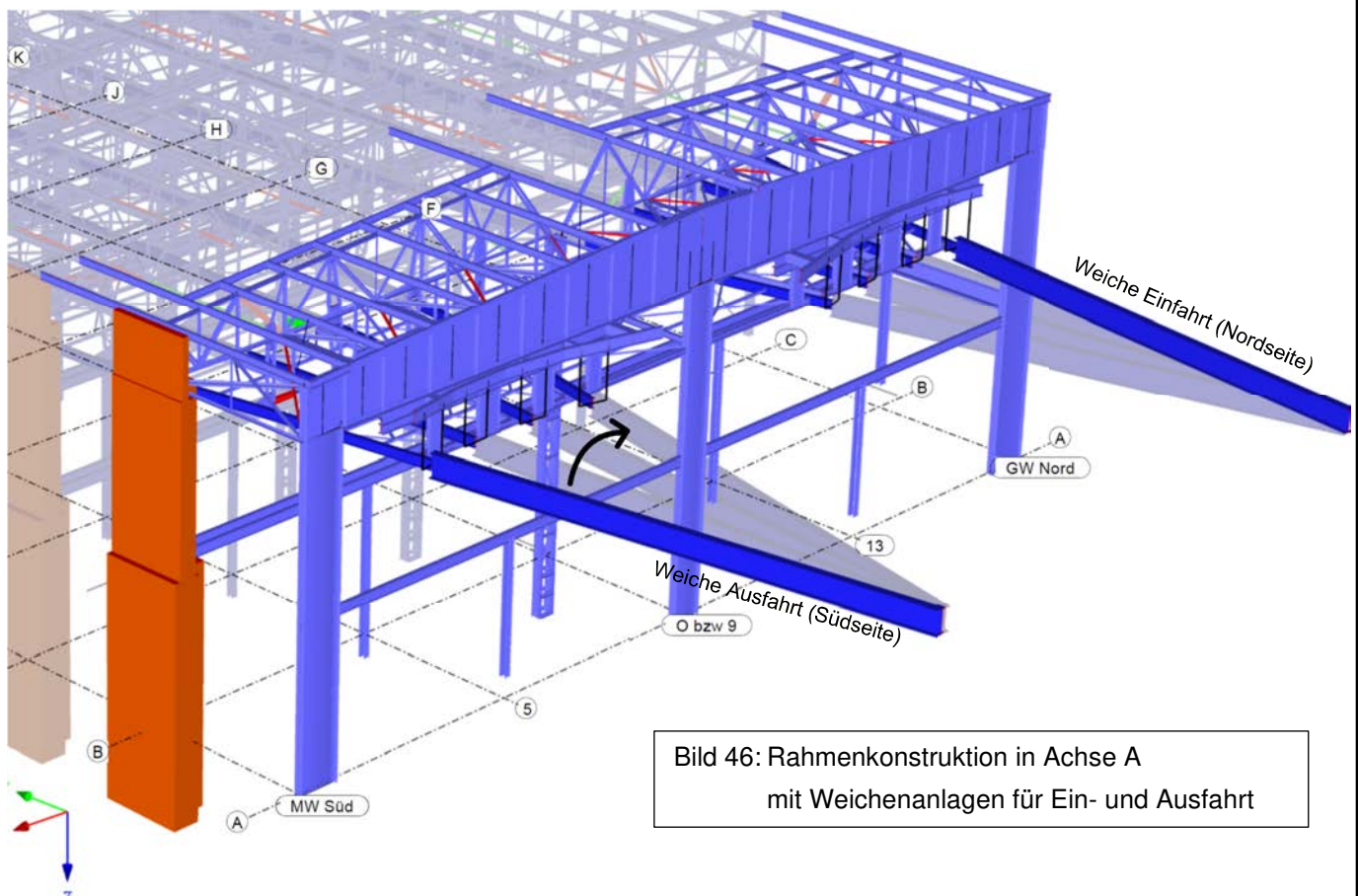


Bild 46: Rahmenkonstruktion in Achse A
mit Weichenanlagen für Ein- und Ausfahrt

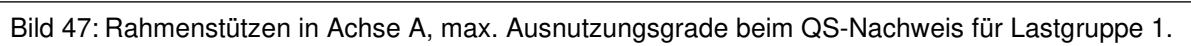


Bild 48: Rahmenstützen in Achse A, max. Ausnutzungsgrade beim QS-Nachweis für Lastgruppe 2.

3.2.3.9 Stützen in der Achse 17 (Glaswand)

Die Stützen der Glaswand in der Achse 17 (Nordseite) sind für den derzeitigen Betrieb und für eine spätere zu erwartende Lasterhöhung nach heutigem Stand ausreichend bemessen:

Aktueller Betrieb mit Lastgruppe 1 (EK 101)

Querschnitts-Nachweis ergibt Ausnutzungsgrad: $\eta = 0,53$

Stabilitäts-Nachweis ergibt Ausnutzungsgrad: $\eta = 0,74$

Künftiger Betrieb mit Lastgruppe 2 (EK 102)

Querschnitts-Nachweis ergibt Ausnutzungsgrad: $\eta = 0,71$

Stabilitäts-Nachweis ergibt Ausnutzungsgrad: $\eta = 1,00$

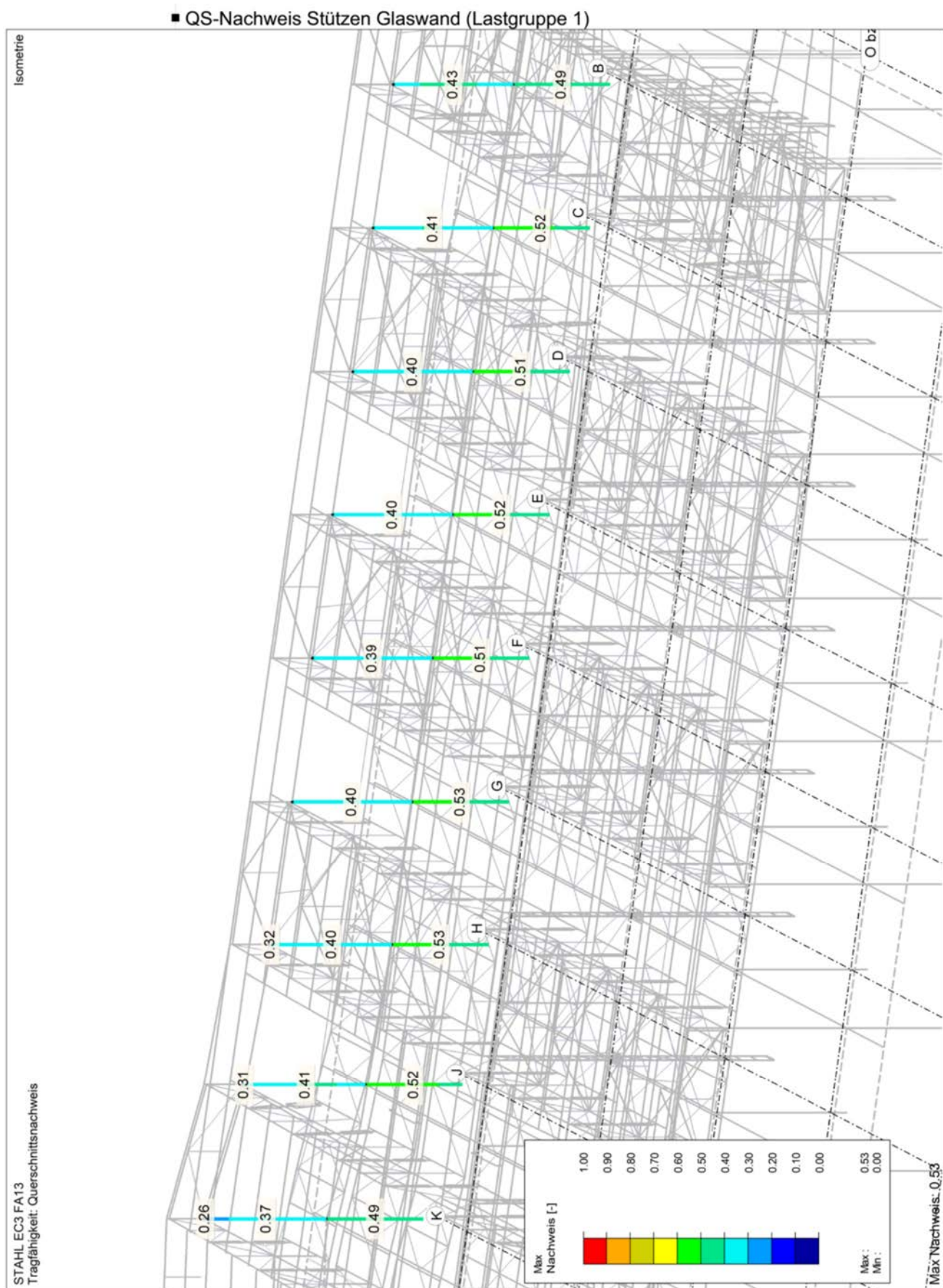


Bild 49: Stützen in der Glaswand Achse 17, max. Ausnutzungsgrade beim QS-Nachweis für Lastgruppe 1.

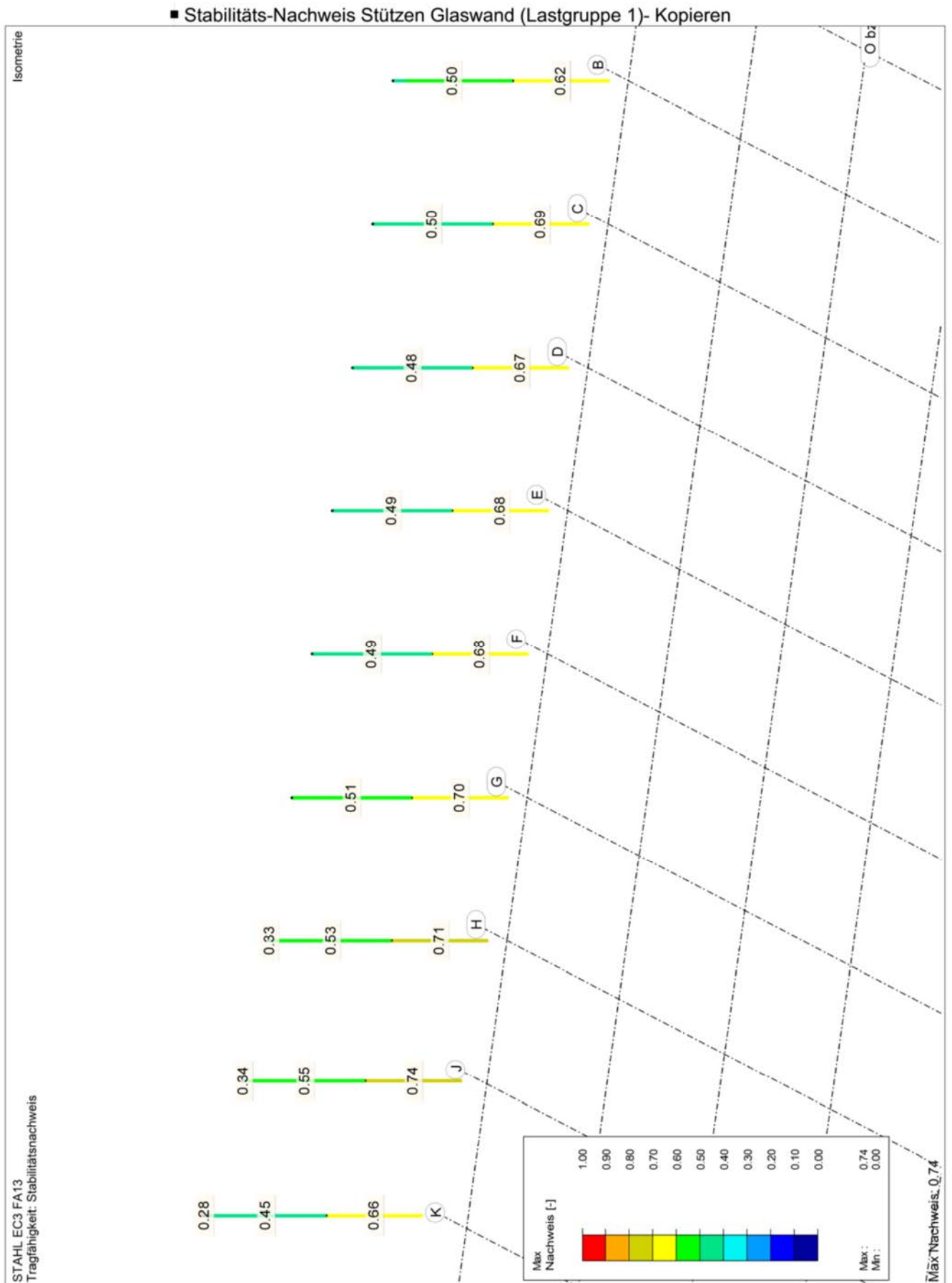


Bild 50: Stützen in der Glaswand Achse 17, max. Ausnutzungsgrade Stabilitätsnachweis für Lastgruppe 1.

■ QS-Nachweis Stützen Glaswand (Lastgruppe 2)

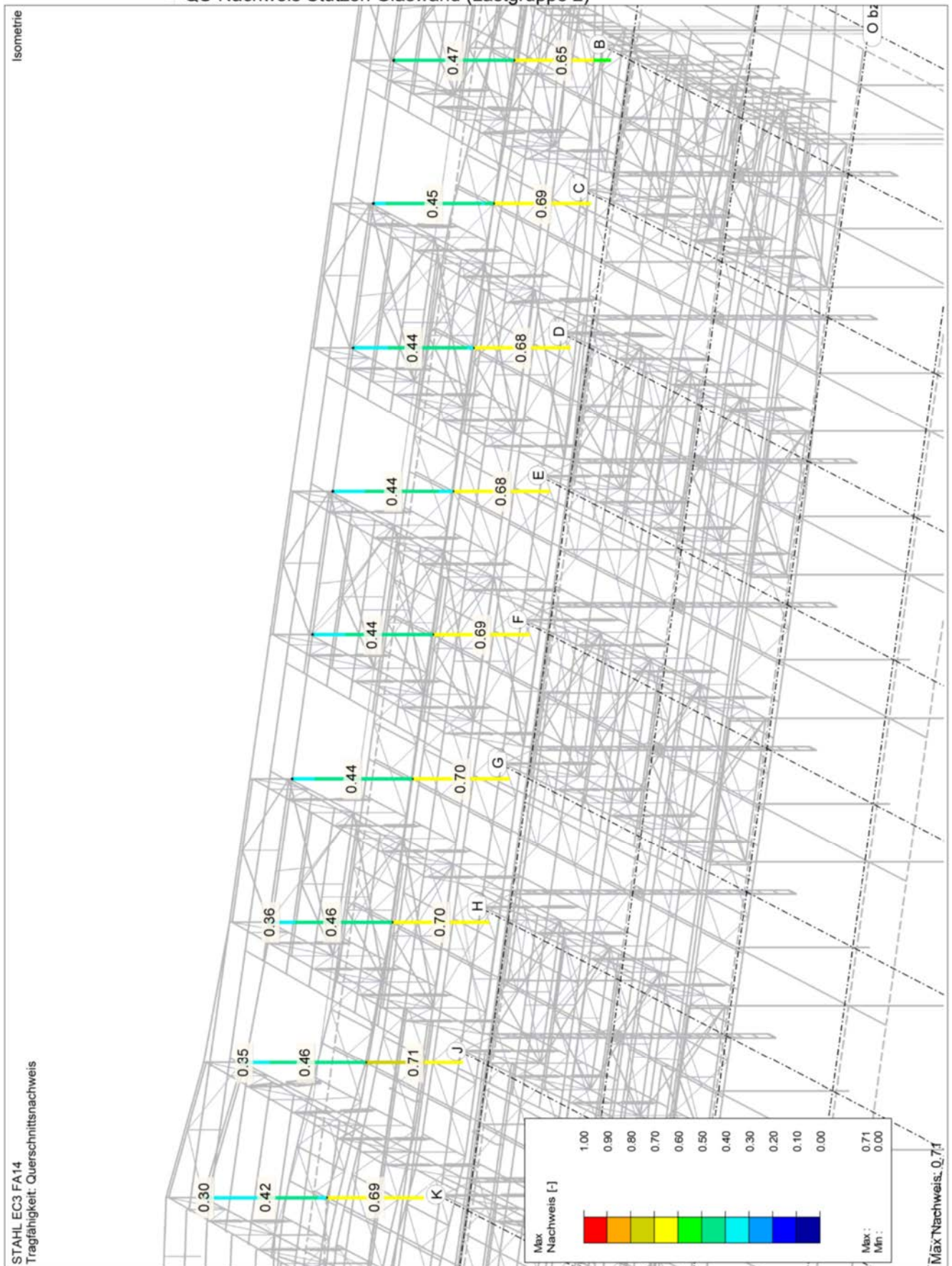


Bild 51: Stützen in der Glaswand Achse 17, max. Ausnutzungsgrade beim QS-Nachweis für Lastgruppe 1.

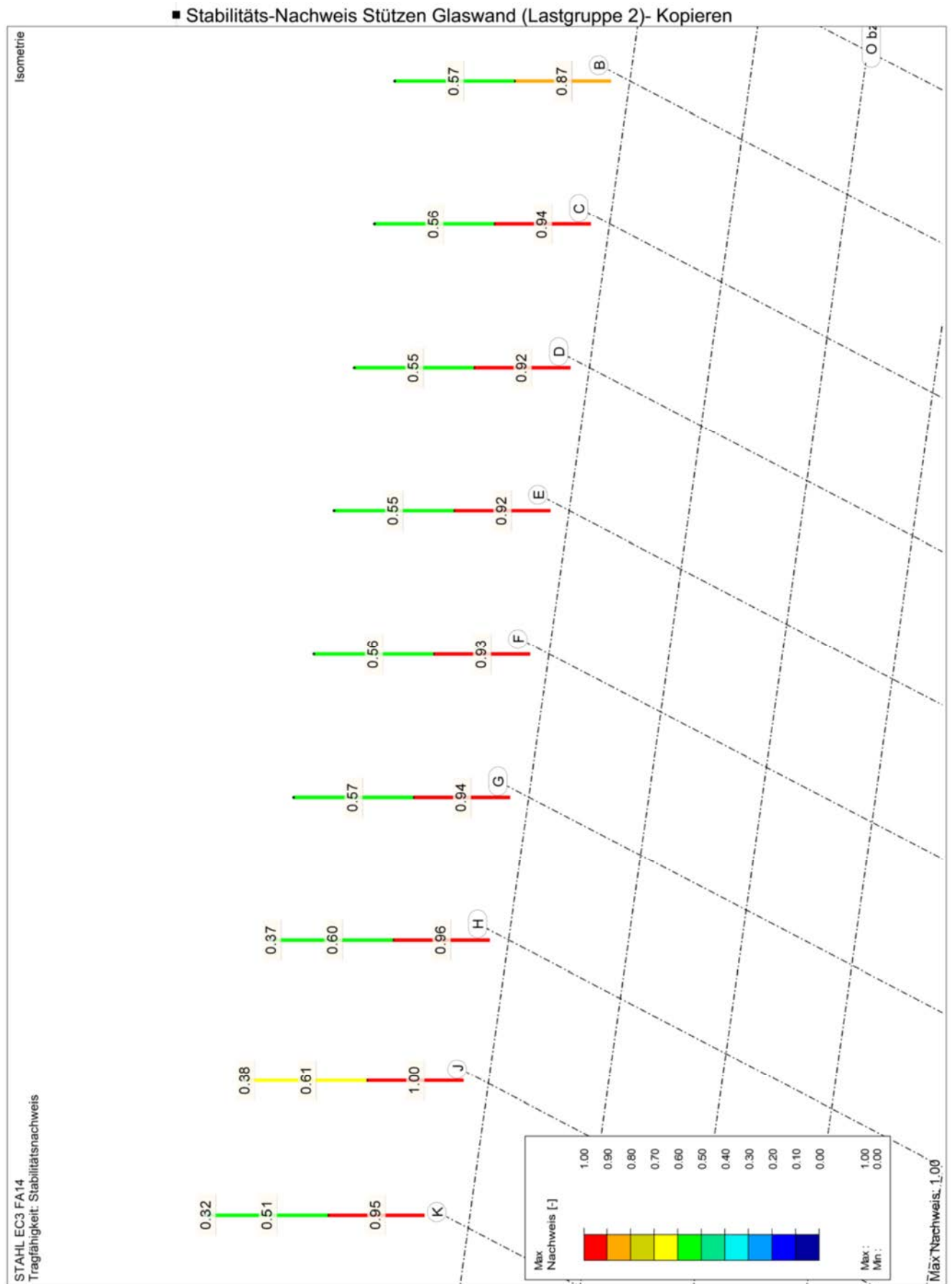


Bild 52: Stützen in der Glaswand Achse 17, max. Ausnutzungsgrade Stabilitätsnachweis für Lastgruppe 2.

3.2.3.10 Zwischenstützen der Werkstattdecke

Die Zwischenstützen in der Werkstatt (von OK Fundament bis UK Querträger der Decke)) sind für den derzeitigen Betrieb und für eine später zu erwartende Lasterhöhung nach heutigem Stand nicht in allen Bereichen ausreichend bemessen:

Aktueller Betrieb mit Lastgruppe 1 (EK 101)

Querschnitts-Nachweis ergibt Ausnutzungsgrad: $\eta = 0,50$

Stabilitäts-Nachweis ergibt Ausnutzungsgrad: $\eta = 1,13$

Für den aktuellen Betrieb sind der Querschnitt und der Zustand der Stütze M/9 zu klären, ggf. sind Verstärkungsmaßnahmen vorzunehmen oder Betriebsabläufe anzupassen

Künftiger Betrieb mit Lastgruppe 2 (EK 102)

Querschnitts-Nachweis ergibt Ausnutzungsgrad: $\eta = 0,95$

Stabilitäts-Nachweis ergibt Ausnutzungsgrad: $\eta = 2,17$

Für den künftigen Betrieb ist der größte Teil der Stützen in Bezug auf die Stabilität nicht ausreichend dimensioniert. Hier wären umfangreiche Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich.

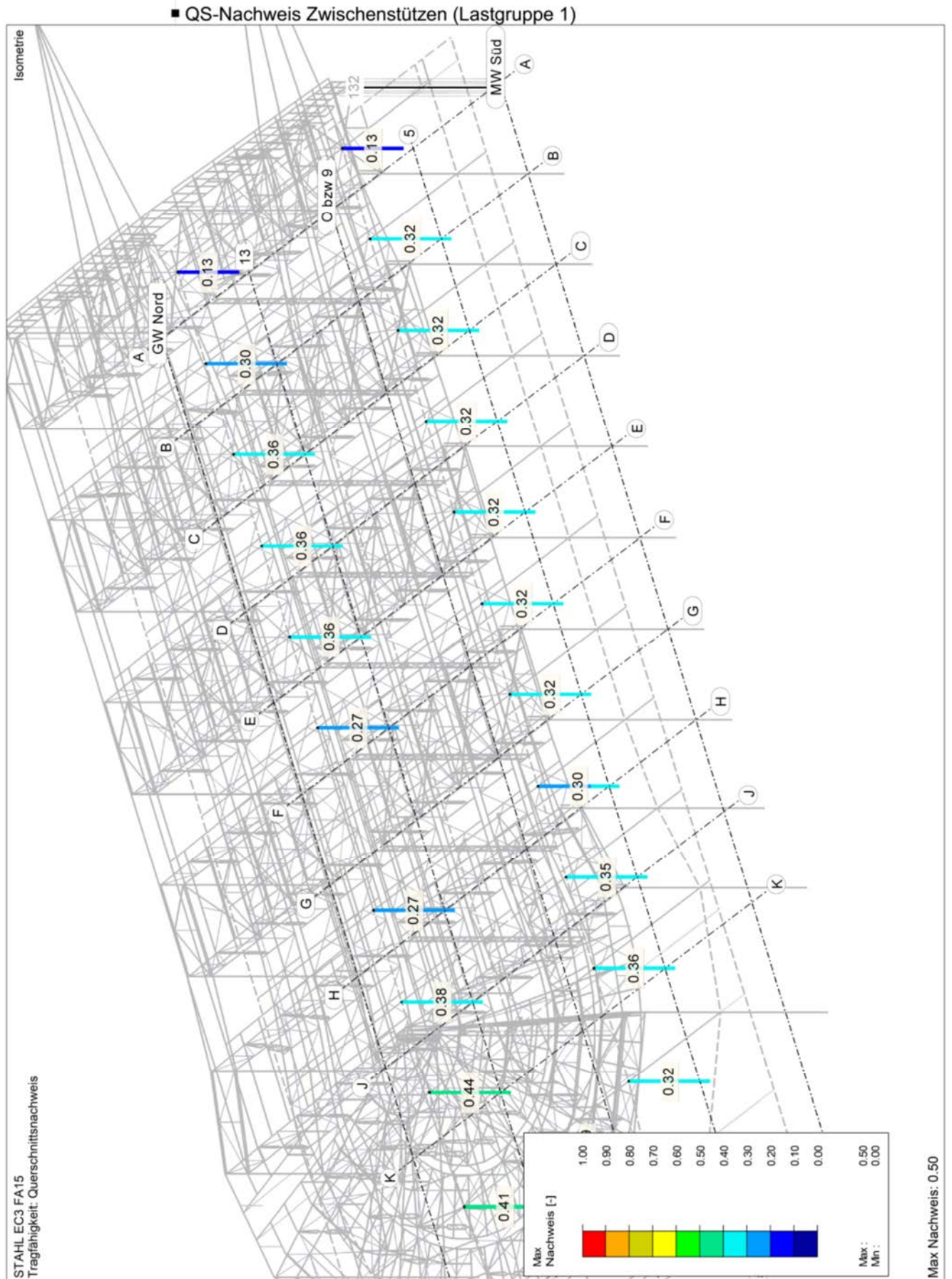


Bild 53: Zwischenstützen im Erdgeschoss, max. Ausnutzungsgrade beim QS-Nachweis für Lastgruppe 1.

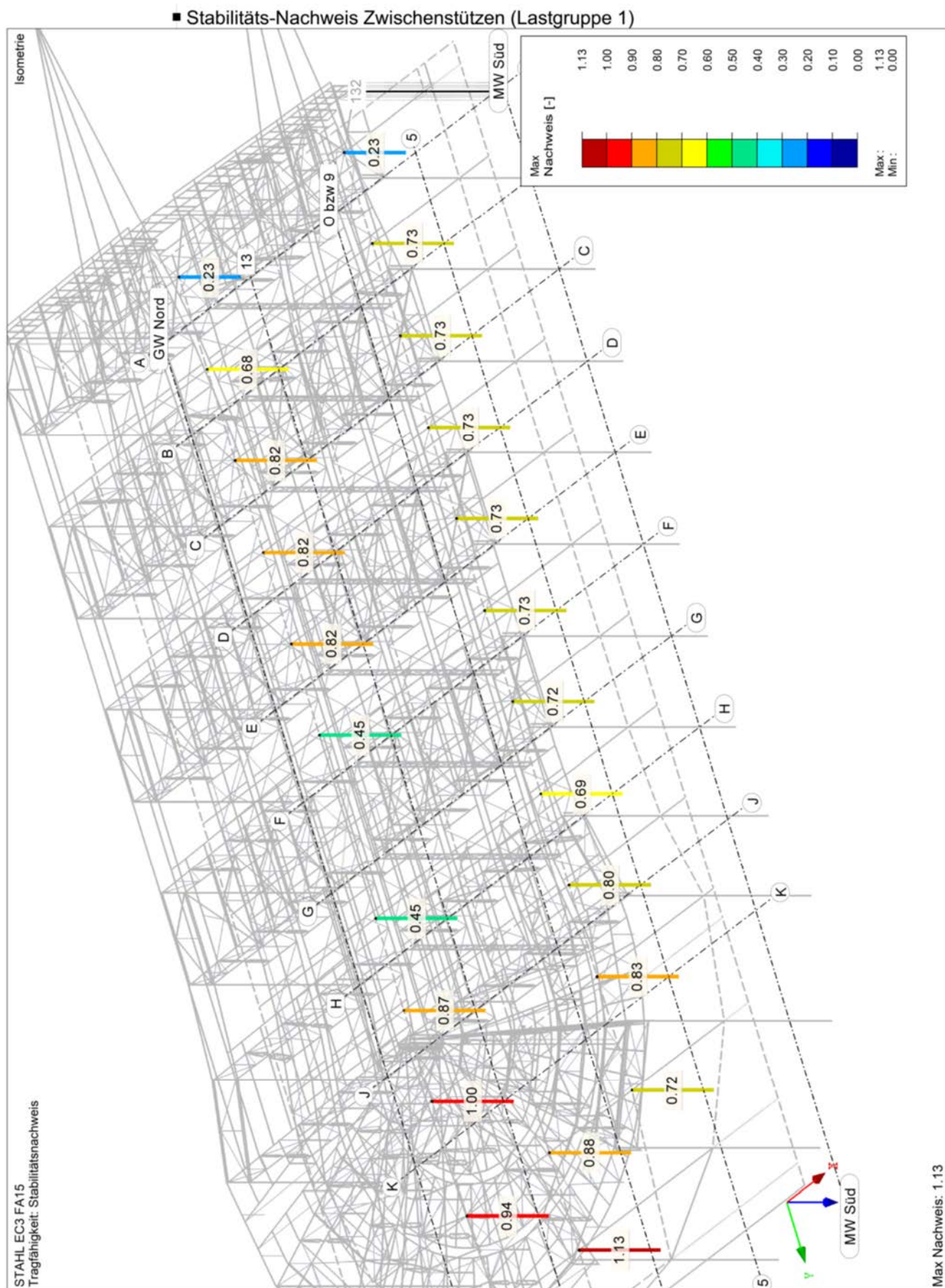


Bild 54: Zwischenstützen im Erdgeschoss, max. Ausnutzungsgrade Stabilitätsnachweis für Lastgruppe 1.

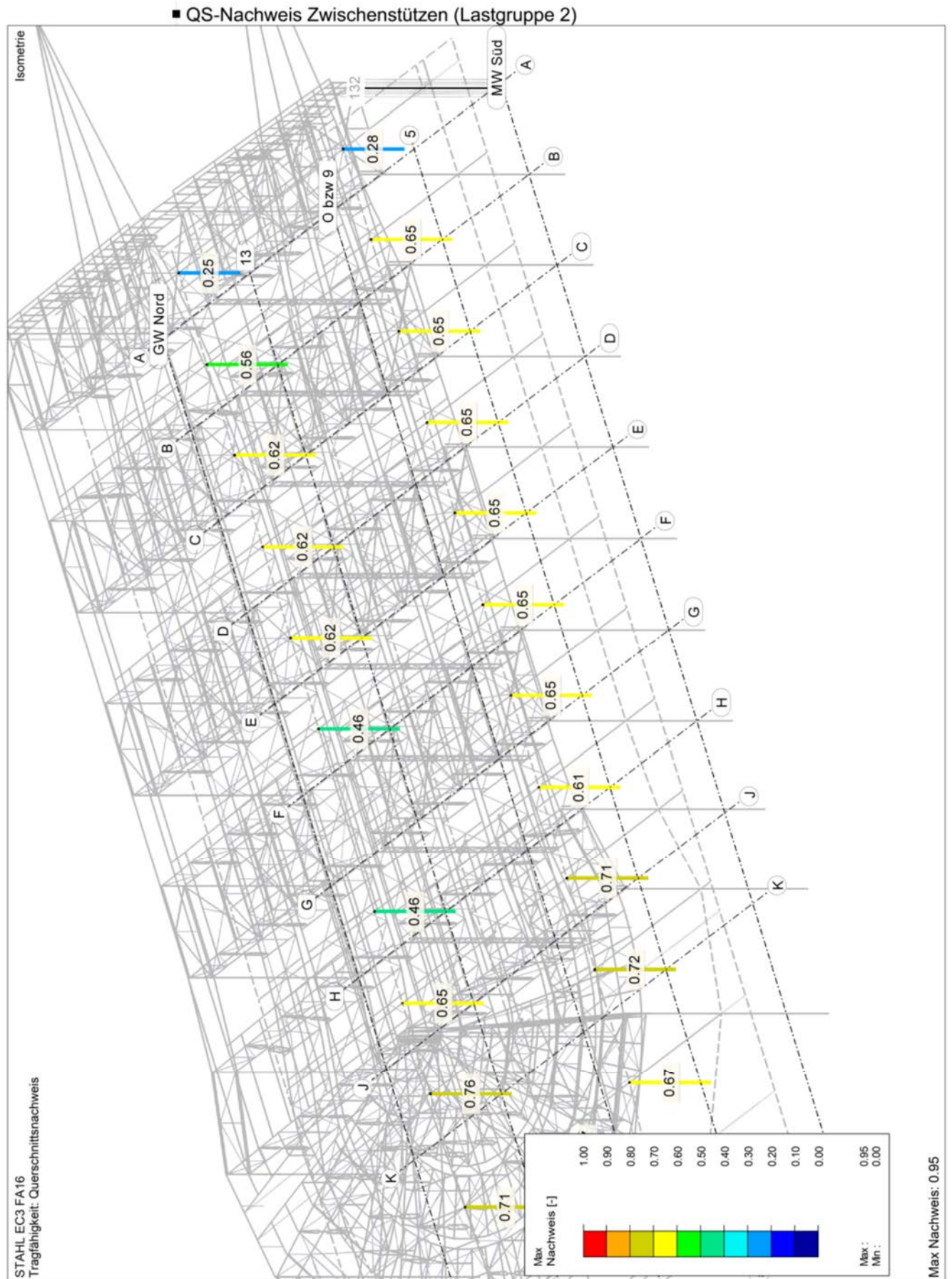


Bild 55: Zwischenstützen im Erdgeschoss, max. Ausnutzungsgrade beim QS-Nachweis für Lastgruppe 2

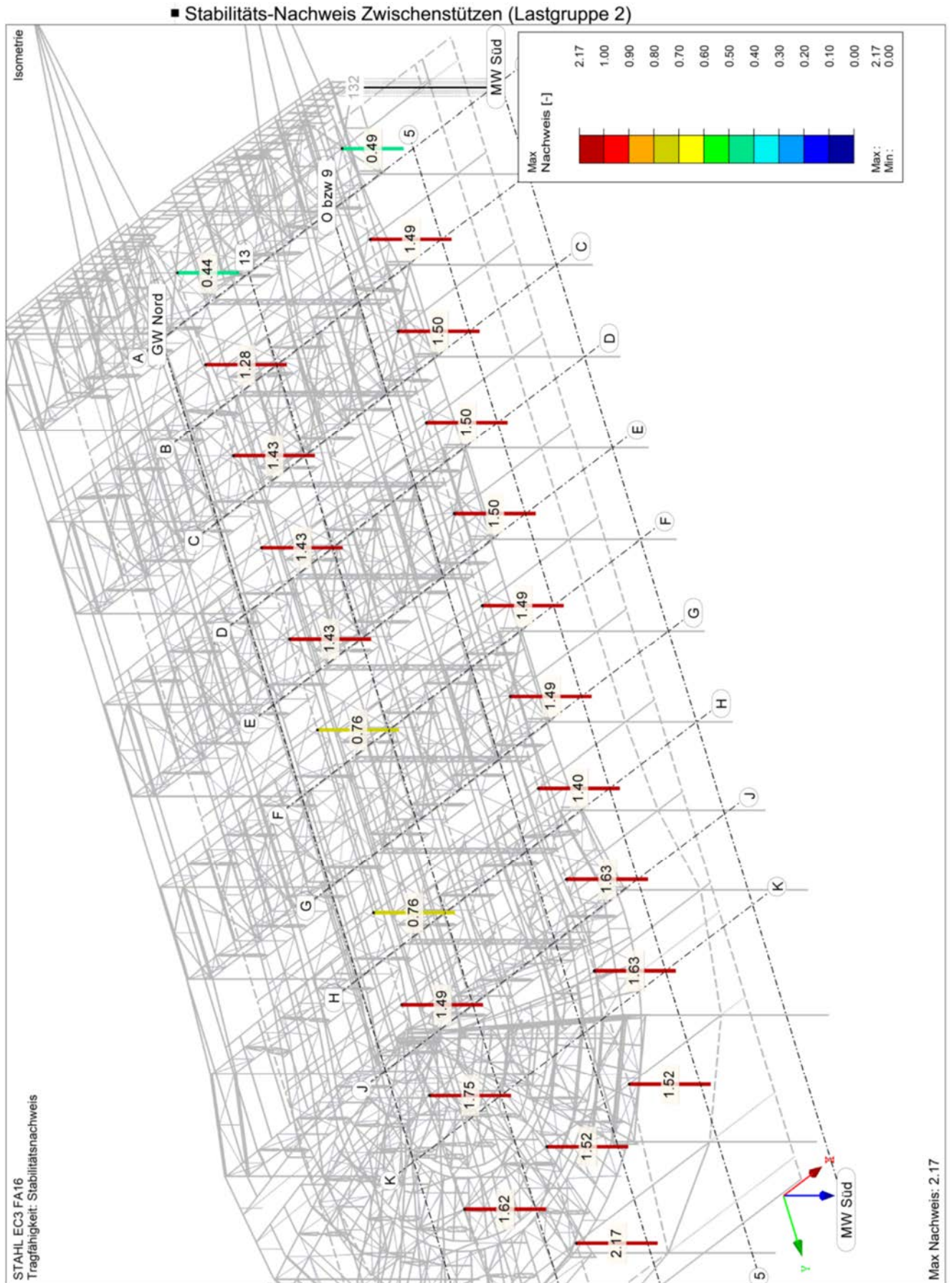


Bild 56: Zwischenstützen im Erdgeschoss, max. Ausnutzungsgrade Stabilitätsnachweis für Lastgruppe 2.

3.2.3.11 Stützen im Erdgeschoss (Zusammenstellung)

Die Stützen in der Werkstatt (von OK Fundament bis UK Querträger der Decke)) sind für den derzeitigen Betrieb und für eine später zu erwartende Lasterhöhung nach heutigem Stand nicht in allen Bereichen ausreichend bemessen:

Aktueller Betrieb mit Lastgruppe 1 (EK 101)

Querschnitts-Nachweis ergibt Ausnutzungsgrad: $\eta = 0,59$

Stabilitäts-Nachweis ergibt Ausnutzungsgrad: $\eta = 1,08$

Für den aktuellen Betrieb sind der Querschnitt und der Zustand der Stütze M/9 zu klären, ggf. sind Verstärkungsmaßnahmen vorzunehmen oder Betriebsabläufe anzupassen

Künftiger Betrieb mit Lastgruppe 2 (EK 102)

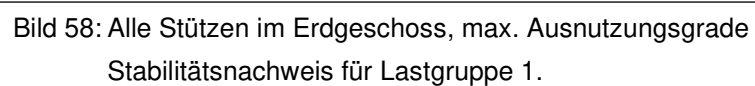
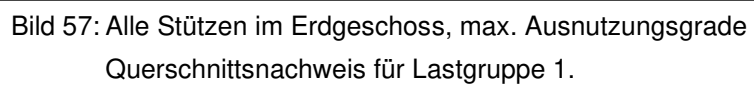
Querschnitts-Nachweis ergibt Ausnutzungsgrad: $\eta = 0,95$

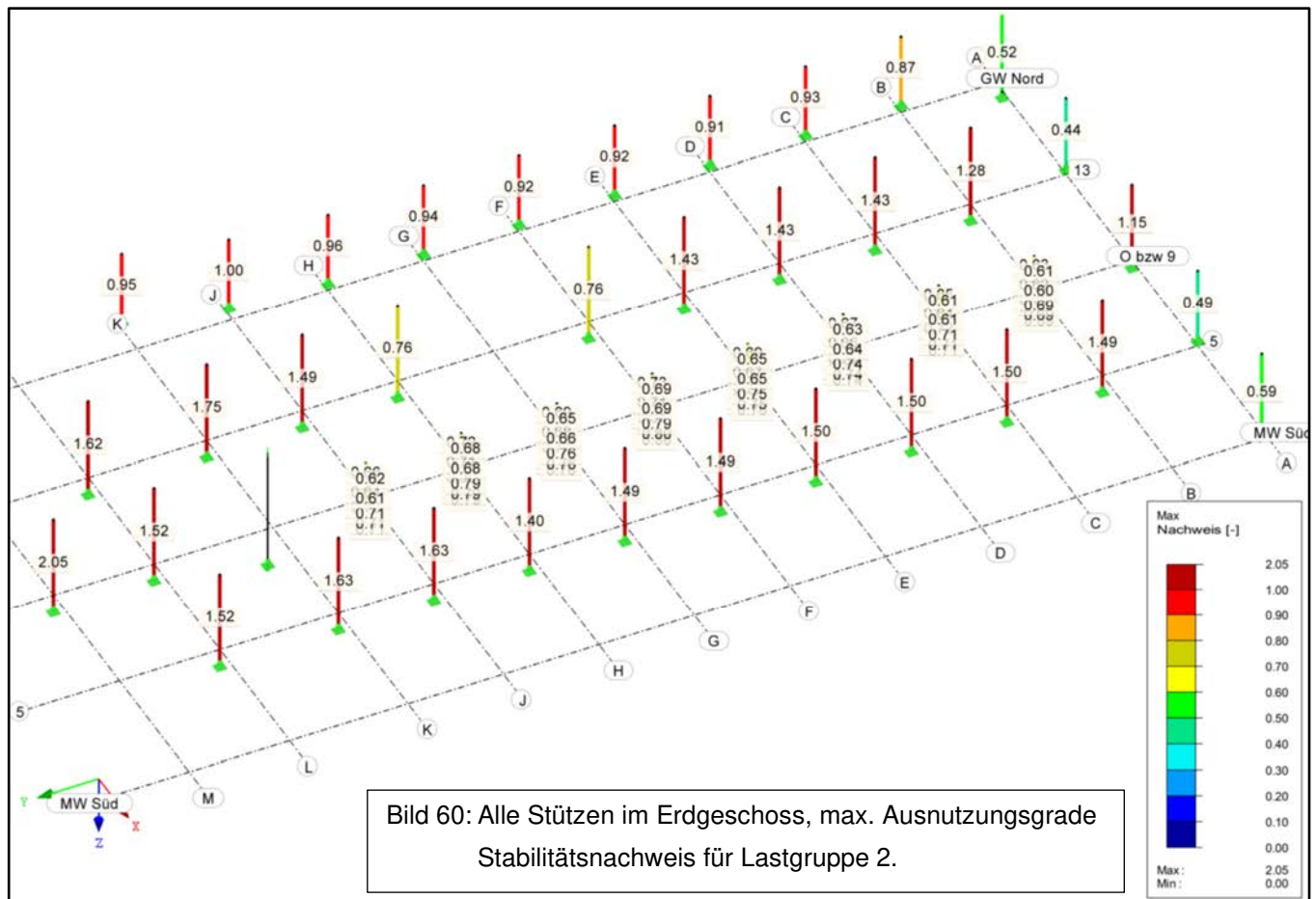
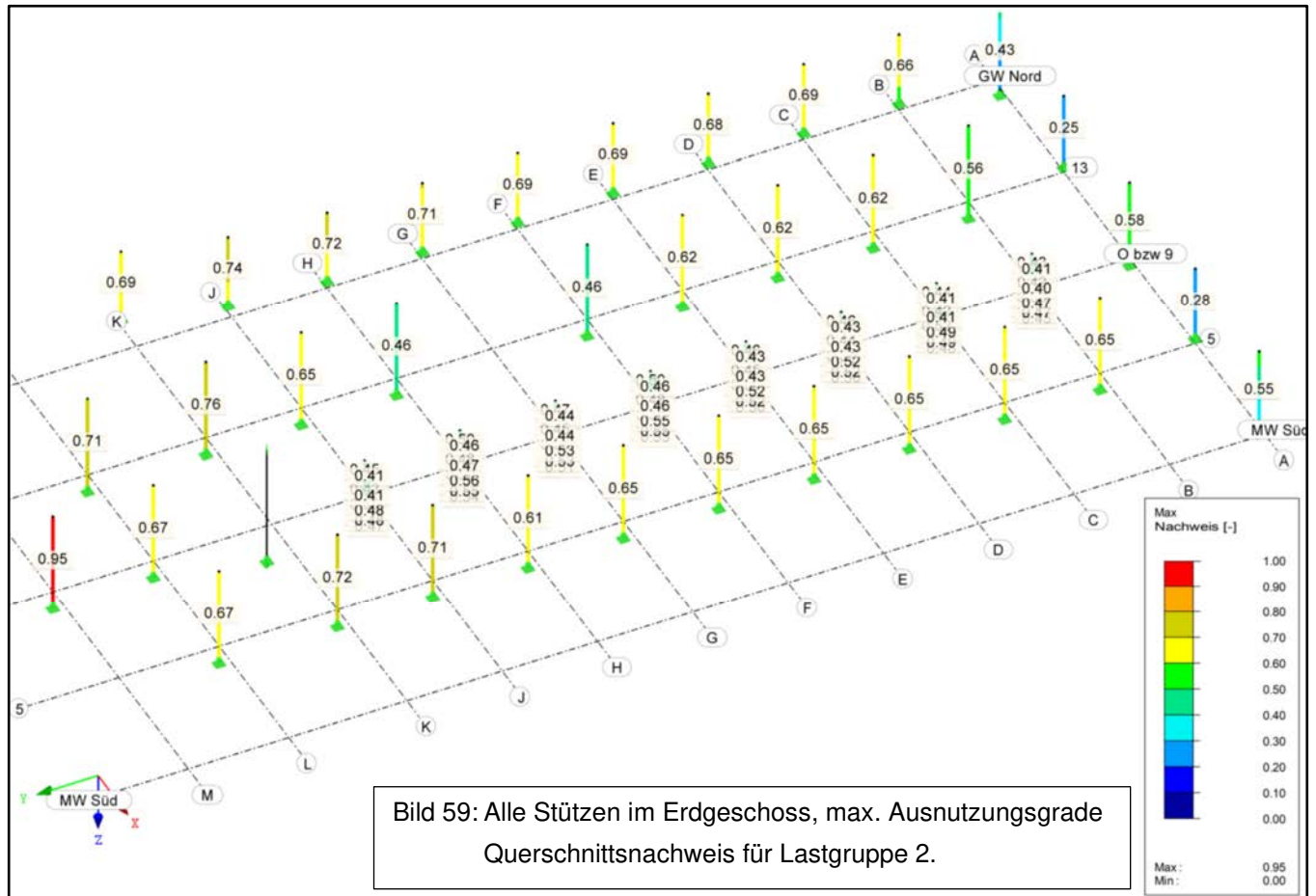
Stabilitäts-Nachweis ergibt Ausnutzungsgrad: $\eta = 2,05$

Für den künftigen Betrieb ist der größte Teil der Stützen in Bezug auf die Stabilität nicht ausreichend dimensioniert. Hier sind umfangreiche Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich.

Zu den Ausnutzungsgraden der drei Rahmenstiele in Achse A wird auf die Anmerkung im Abschnitt 3.2.3.8 verwiesen.

Das Tragvermögen der Halbrundstütze in Achse K/9 wurde im Abschnitt 3.2.3.7 überschlägig ermittelt. Es sind ausreichende Tragreserven vorhanden.





3.2.3.12 Mauerwerk in Südwand und Rotunde

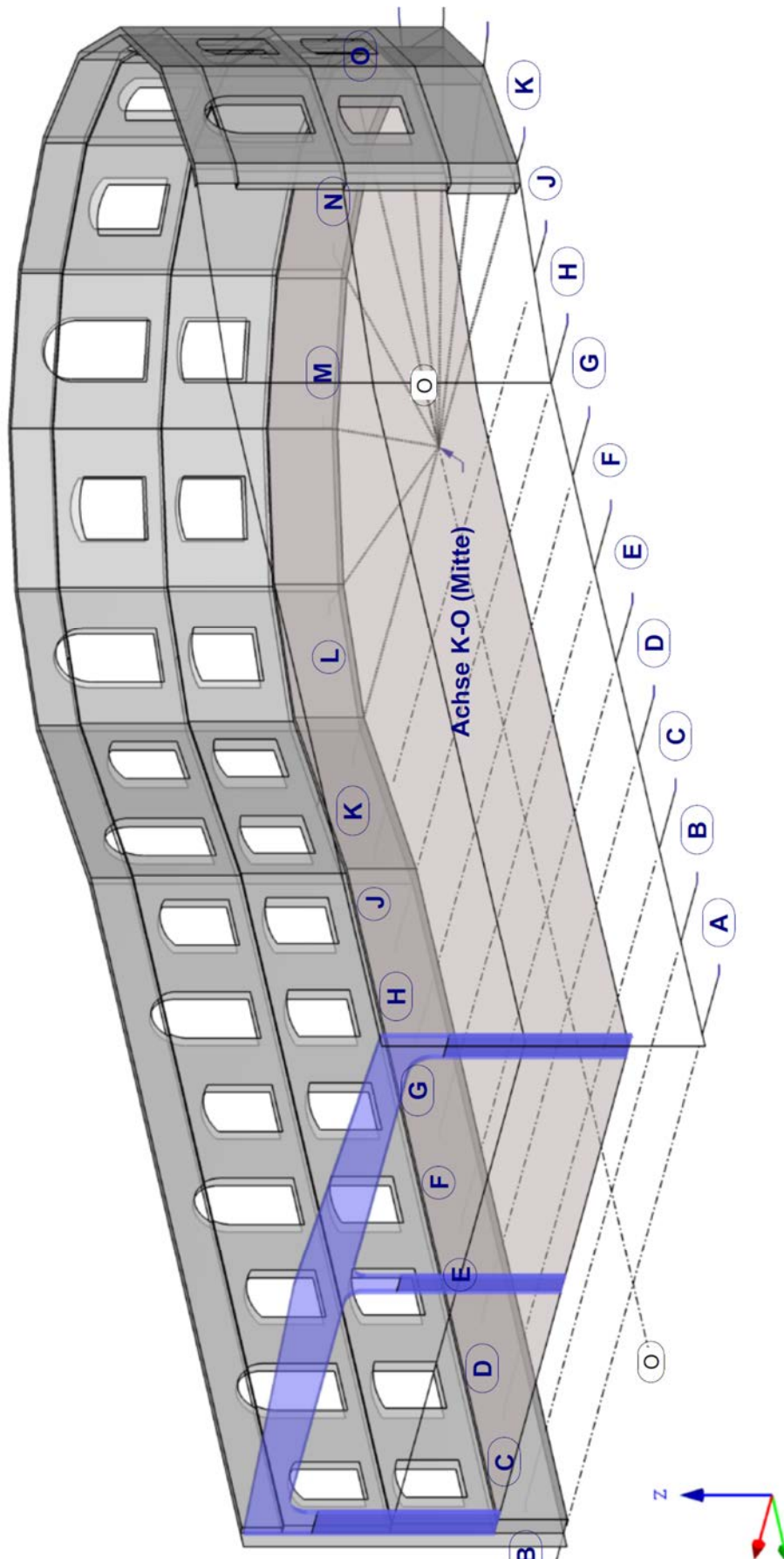


Bild 61: Isometrische Darstellung der MW-Wände von UK Gründung bis OK Dach gemäß Ursprungsplanung (ohne Ziergiebel)

(Fotos der Außenansichten der Wände siehe auch Abb. 3 dieses Berichtes)

Das Mauerwerk in der südlichen Außenwand und der Rotunde besteht aus Vollziegeln und ist in der Dicke über die Höhe abgestuft. Es ist in der Südwand im unteren Fundamentbereich der Pfeilervorlagen rd. 1,85 m dick und wird nach oben in mehreren Stufen auf etwa 38 cm zwischen den MW-Vorlagen beigezogen, im Bereich der Rotunde sind die Pfeiler unten ca. 2,15 m dick. Zur Gründung liegen keine aussagekräftigen Unterlagen vor. Es wird nicht ausgeschlossen, dass das Mauerwerk direkt auf den Boden aufgesetzt wurde. Die Gründungstiefe liegt bei + 167,900 m für die Mauerwerksvorlagen und bei + 168,300 m für die Wände zwischen den Pfeilern. Die Einbindetiefe im Boden beträgt bezogen auf + 170,50 m des Hallenbodens somit rd. 2,60 m für die Pfeiler, bzw. 2,20 m für die Wände dazwischen.

Die Mauerwerkswände sind gegenüber dem Ursprungszustand stark verändert worden. Vergleicht man die Darstellungen der Abb. 61 mit dem derzeitigen Zustand, dann ist festzustellen, dass hier eine Vielzahl von Änderungen erfolgt ist. Infolge Kriegsschäden und Anpassung an fortschreitende Betriebsanforderungen und/oder anderer Randbedingungen wurden die Ziergiebel entfernt, Fensteröffnungen ganz oder teilweise zugemauert und in Form und Breite geändert. Die ursprünglichen Bögen wurden ersetzt durch gerade Fensterstürze, die Fensterbreite durch seitliche Aufmauerungen deutlich verringert. Zusätzlich wurden Fensterbrüstungen entfernt um Durchgänge für Tore und Türen zu schaffen, ebenso wurden auch neue Wanddurchbrüche erstellt.

Das Mauerwerk konnte auf der Außenseite nicht in Augenschein genommen werden. Von innen war das Mauerwerk weitgehend intakt, zeigt jedoch in den oberen Bereichen einige Risse. Diese sind besonders im Bereich der Bögen und neben den Pfeilern im Übergang zum Zwischenmauerwerk (Abb. 62 und 63) zu erkennen.



Bild 62: Riss im Ursprungsmauerwerk über dem oberen zugemauerten Fenster



Bild 63: Riss im Ursprungsmauerwerk im Pfeiler und der Zwischenwand

Da es im Bereich der vorgenannten Mauerwerksteile auch immer wieder zu weiteren Abplatzungen von Putz und MW-Teilen kommt (zuletzt am 26.03.2025), wurde bereits in der Vergangenheit eine Überwachung und Dokumentation des Rissverhaltens angeordnet.



Bild 64 und 65: Abplatzung im Bereich eines FW-Binders und Bruchstücke, Fotos vom 26.03.2025)

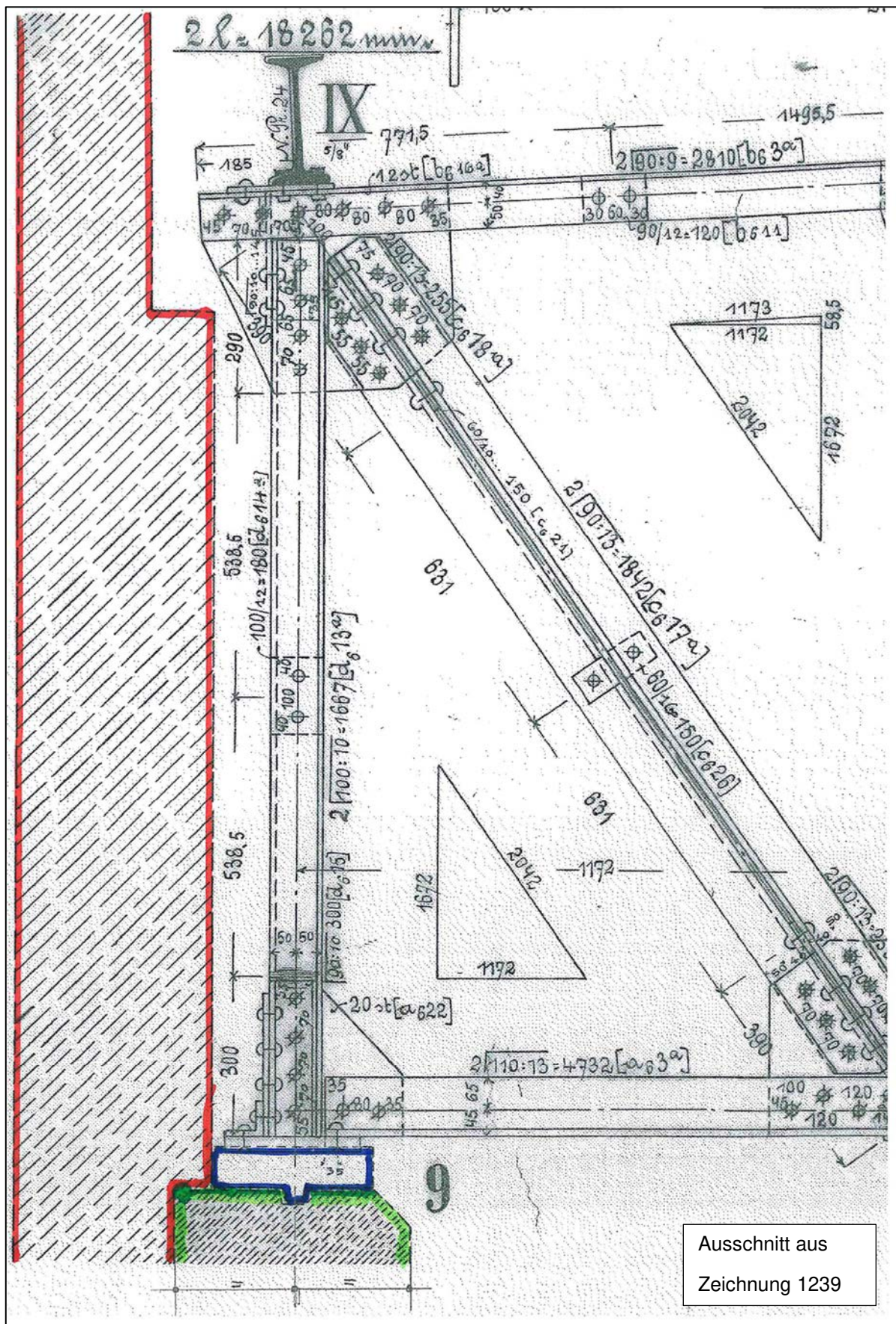


Bild 66: Auflagerung der stählernen FW-Binder auf den MW-Pfeilern

Die **Linienkipplager** zwischen den stählernen Fachwerkbindern und den gemauerten Pfeilervorlagen haben gemäß Ursprungszeichnung Nr. 1808 der MAN eine Grundfläche von

$$A = L \cdot B = 35 \cdot 28 \text{ cm} = 980 \text{ cm}^2 (=0,098 \text{ m}^2)$$

Unter dem Lager ist gemäß MAN-Zeichnung Nr. 1239 ein Betonpolster angedeutet, das mit einer Breite von 55 cm aus dem Plan abgegriffen wurde.

Es wird angenommen, dass die Dicke des Betonpolsters $h \geq 25 \text{ cm}$ beträgt und die Neigung der Lastausbreitung $\geq 60^\circ$ ausmacht. Damit ergeben sich für das

Betonpolster folgende Abmessungen und Rechenwerte:

$$L \cdot B \cdot H \geq 70 \cdot 55 \cdot 25 \text{ cm}$$

Beton C8/10 (angenommen)

$$\text{mit } f_{cd} = 4,53 \text{ MN/m}^2$$

Für den Nachweis der **Teilflächenpressung** des Betons unter dem stählernen Lager wird angesetzt:

Lagerkraft (aufgerundet):

$$F_{s,d} = \text{rd. } 560 \text{ kN} \quad (= 0,56 \text{ MN})$$

Teilflächen

$$A_{c0} = L \cdot B = 35 \cdot 28 \text{ cm} = 980 \text{ cm}^2 (= 0,098 \text{ m}^2)$$

$$A_{c1} = L \cdot B = 62 \cdot 55 \text{ cm} = 3410 \text{ cm}^2 (= 0,341 \text{ m}^2)$$

$$F_{Rdu} = 0,098 \cdot 4,53 \sqrt{(3410 / 980)} \leq (3 \cdot 4,53 \cdot 0,098)$$

$$= 0,828 \text{ MN} \quad < 1,332 \text{ MN})$$

$$\eta = 0,56 / 0,828 = 0,68 < 1,0 \quad \text{ok, o.w.N}$$

Da zum **Mauerwerk** keine weiteren Unterlagen bei der Berechnung zur Verfügung standen wurde hier angenommen:

Vollziegel Mz mit Festigkeitsklasse 6 und

Mauermörtel M2,5 (MG II)

Die Druckfestigkeit für Steinklasse 6 und Normalmörtel NM II ist damit:

$$f_k = 3,6 \text{ N/mm}^2 \quad (= 3,6 \text{ MN/m}^2)$$

Die **Auflagerpressung** des **Mauerwerks** unter dem Betonpolster beträgt

$$\sigma_{\text{MW,d}} = 0,520 / 0,341 = 1,64 \text{ MN/m}^2 \quad (= 0,164 \text{ kN/cm}^2)$$

$$f_d = 0,85 \cdot 3,6 / 1,5 = 2,04 \text{ MN/m}^2 \quad (= 0,204 \text{ kN/cm}^2)$$

$$\eta = 1,64 / 2,04 = 0,81 < 1,0 \quad \text{ok, o.w.N}$$

Die Horizontallasten

- parallel zur Wandscheibe $H_{y,\text{Ed}} \approx 10 \text{ bis } 25 \text{ kN}$ (geglättete Werte ohne Extreme)
- normal zur Wandebene $H_{x,\text{Ed}} \approx 20 \text{ bis } 40 \text{ kN}$ (geglättete Werte ohne Extreme)

wirken nicht gleichzeitig. Ihr Einfluss auf das Tragverhalten des Mauerwerks wird hier rechnerisch nicht weiter nachgewiesen.

Die Risse im Mauerwerk stellen keine akute Gefährdung der Standsicherheit dar und erfordern keine Sofortmaßnahmen. Sie sollten jedoch laufend kontrolliert und dokumentiert werden.

Sofern kein weiteres oder beschleunigtes Wachstum der vorhandenen Risse gemessen und/oder keine zusätzlichen Risse festgestellt werden, kann derzeit von einer ausreichenden Standsicherheit ausgegangen werden.

Grundsätzlich ist das vorhandene Mauerwerk als Tragwerk für die hier abzutragenden, nicht ruhenden Lasten aus dem Zugverkehr der Schwebebahn auf längere Dauer nicht geeignet, zumal die vertikalen Radlasten auch Beanspruchungen normal zu den Wandebenen erzeugen. Desweiteren wirken beim Anfahren und Bremsen nicht zu vernachlässigende Horizontallasten, die einschließlich eines Versatzmoments infolge des Abstands zwischen Pfeilerachse und Wandebene vom Mauerwerk der Wandscheiben abgetragen werden müssen. Auch Festigkeitsverluste infolge häufiger Belastungsänderungen des Mörtels sind zu beachten.

■ Schnittgrößen N = min./max. Auflagerkräfte der stählernen FW-Binder auf den
MW-Pfeilern

EK101 : Bemess mit FZ leer + p=2,0 kN/m²

Schnittgrößen N

Ergebniskombinationen: Max und Min-Werte

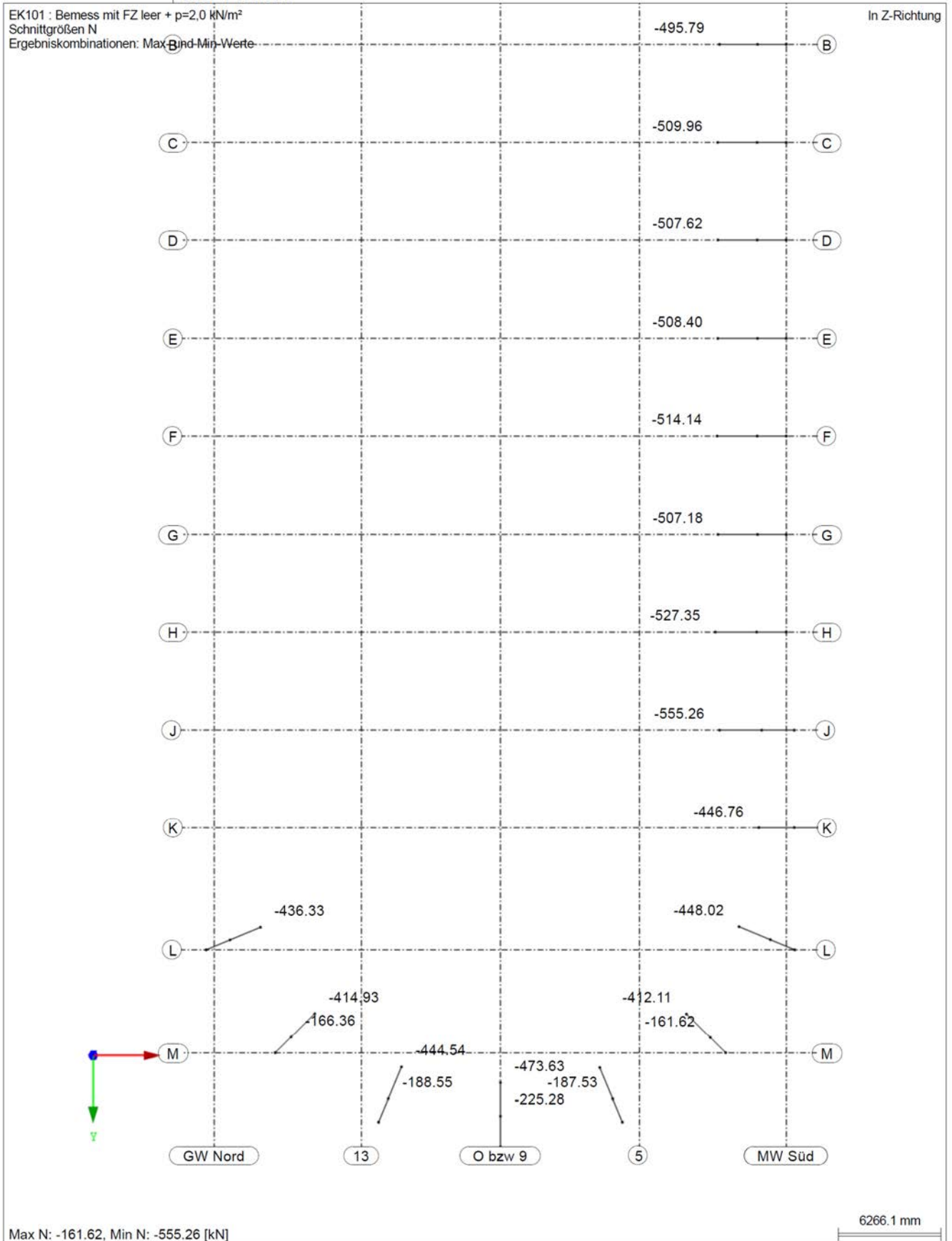


Bild 67: Vertikale Last N_{Ed} aus den FW-Bindern auf den Pfeilerköpfen

■ Schnittgrößen V-y = H-Lagerkräfte der FW-Binder auf den MW-Pfeilern (wandparallel)

EK101 : Bemess mit FZ leer + p=2,0 kN/m²
Schnittgrößen V-y/V-u
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

In Z-Richtung

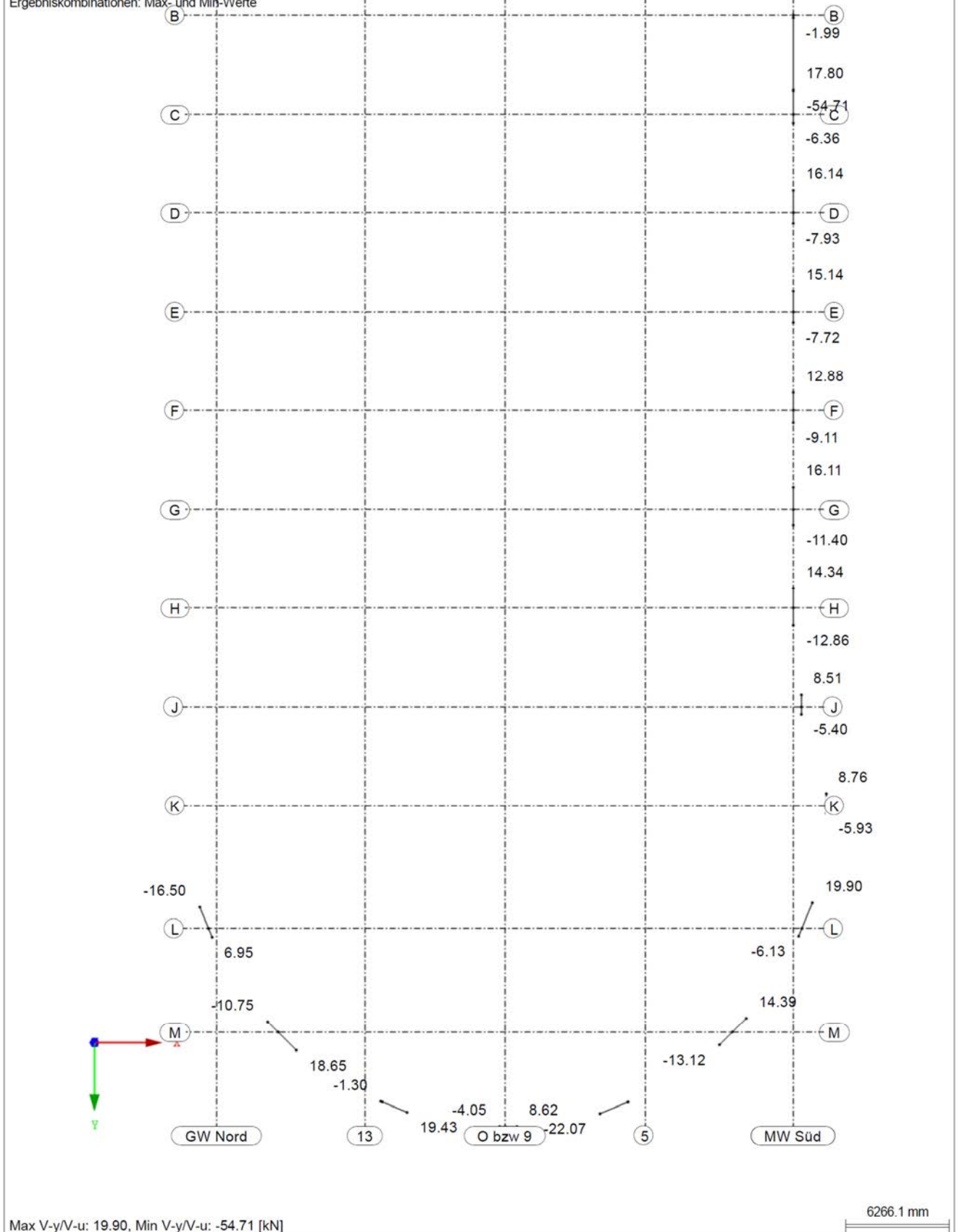


Bild 68: Horizontale Last $F_{y,Ed}$ der FW-Binder auf den Pfeilerköpfen (parallel zur Wandebene)

■ Schnittgrößen V-z = H-Lagerkräfte der FW-Binder auf den MW-Pfeilern (quer zur Wand)

EK101 : Bemess mit FZ leer + p=2,0 kN/m²
Schnittgrößen V-z/V-v
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

In Z-Richtung

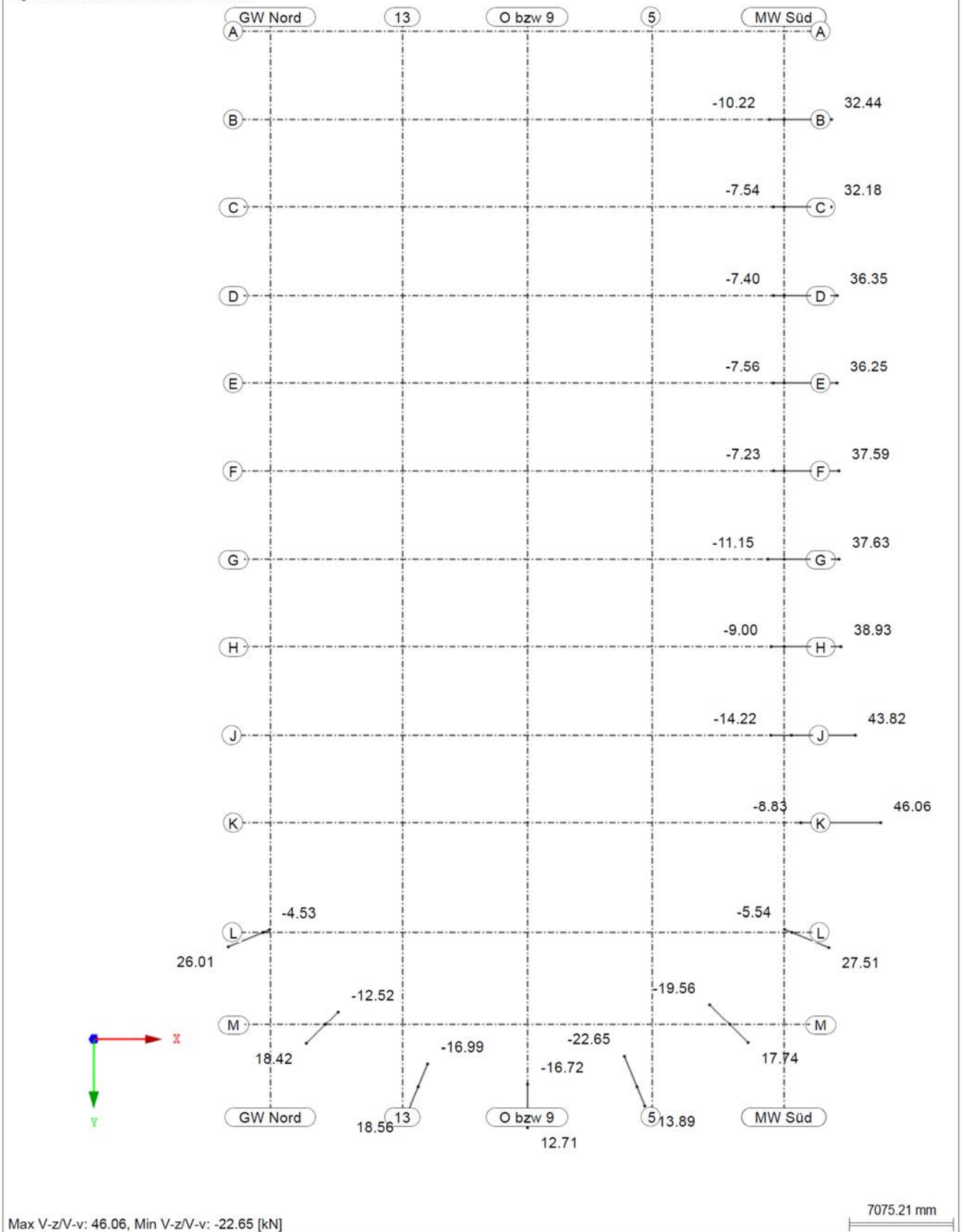


Bild 69: Horizontale Last $F_{x,Ed}$ der FW-Binder auf den Pfeilerköpfen (normal zur Wandebene)

Die Standsicherheit des Mauerwerks hat großen Einfluss auf das Tragverhalten des gesamten südlichen Hallenteils und der Rotunde, sodass es entscheidend ist, das Rissverhalten auch weiter engmaschig zu kontrollieren und die Rissweiten zu dokumentieren.

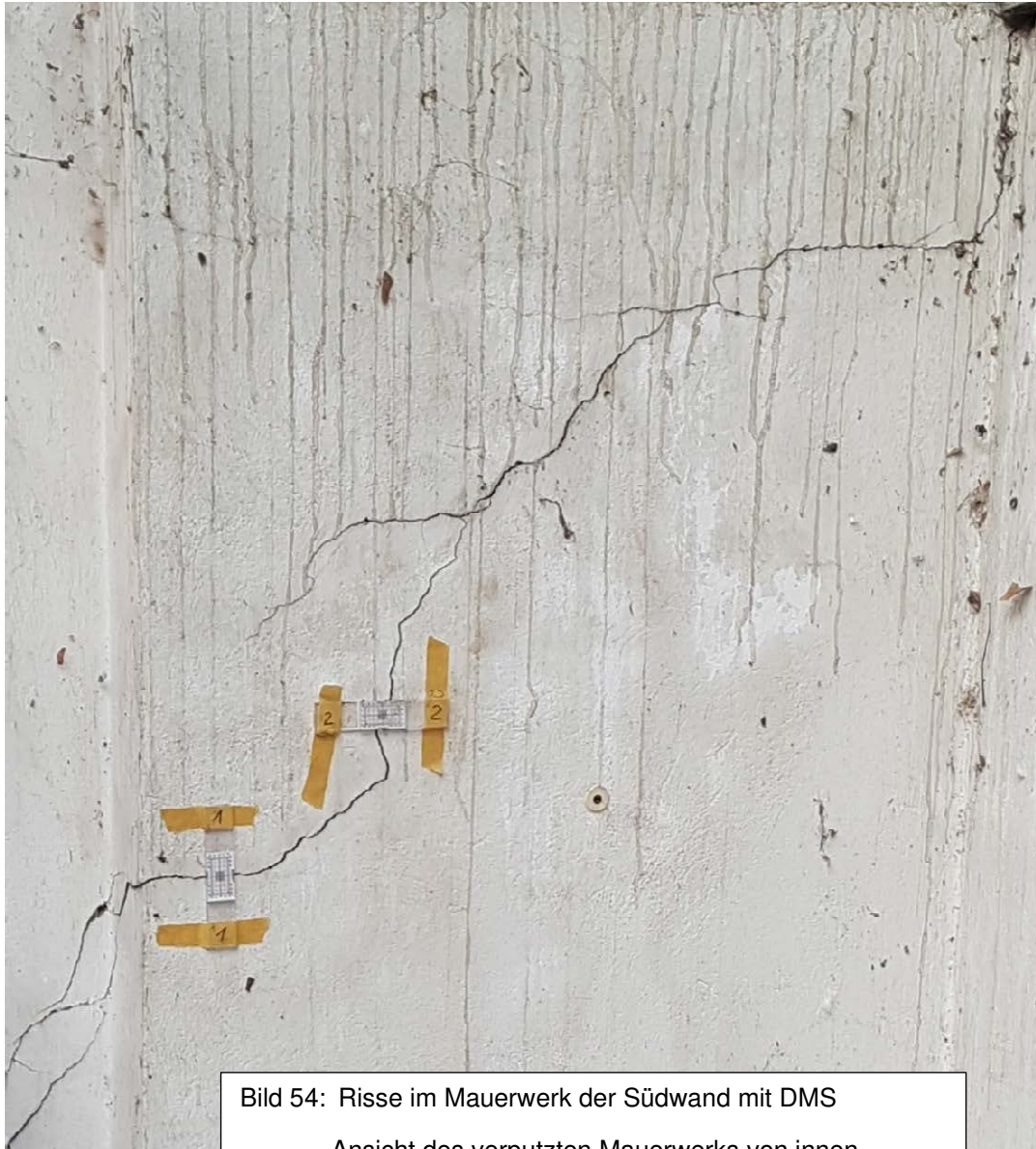


Bild 54: Risse im Mauerwerk der Südwand mit DMS
Ansicht des verputzten Mauerwerks von innen

Eine ausreichende Standsicherheit des Mauerwerks ist nur dann gewährleistet, wenn die Auflagen für den Betrieb Ziffer 3.1.1 und die Beschränkung der Lasten nach 3.1.2 eingehalten werden und eine engmaschige Kontrolle des Rissverhaltens sichergestellt ist.

3.2.3.13 Gründung der Stützen K/9 und H/9

Stellvertretend für die Hallenfundamente werden hier die Gründungen der Halbrundstütze K/9 im Übergang vom „geraden“ Teil der Halle zur Rotunde und die Stütze H/9 untersucht. Diese Stützen wurden ausgewählt, da beide hoch belastet sind und in diesem Bereich auch Untersuchungen [8] des Untergrundes vom Bodengutachter vorliegen, die von ihm Anfang 2025 durchgeführt wurden.

Abmessungen der Fundamente (Grundrissmaße) und maximale gerundete Vertikallasten für Lastgruppen 1 und 2:

Stütze K: $L \times B = 2,70 \times 2,70 \text{ m}$ max. $V_{Ed} = 3150 / 3500 \text{ kN}$

Stütze H: $L \times B = 2,00 \times 2,00 \text{ m}$ max. $V_{Ed} = 1650 / 1950 \text{ kN}$

Da die Fundamente tief im Boden eingebunden sind und die genauen Fundamenthöhen nicht bekannt sind, wird nur ein grober Nachweis für die Vertikallastabtragung geführt,

Stütze K: Lastgruppe 1: $\sigma_{E,d} = 3150 / 2,70^2 = 432 \text{ kN/m}^2$

 Lastgruppe 2: $\sigma_{E,d} = 3500 / 2,70^2 = 480 \text{ kN/m}^2$

Beide Werte liegen zwar über dem unteren Grenzwert von $\sigma_{R,d} = 400 \text{ kN/m}^2$ des Bodengutachtens, aber deutlich unterhalb des noch zulässigen oberen Grenzwertes von $\sigma_{R,d} = 800 \text{ kN/m}^2$

Stütze H: Lastgruppe 1: $\sigma_{E,d} = 1650 / 2,00^2 = 413 \text{ kN/m}^2$

 Lastgruppe 2: $\sigma_{E,d} = 1950 / 2,00^2 = 488 \text{ kN/m}^2$

Bei der Lastgruppe 1 liegt der Wert unter dem unteren Grenzwert von $\sigma_{R,d} = 480 \text{ kN/m}^2$ des Bodengutachtens.

Bei der Lastgruppe 2 liegt der Wert knapp über dem unteren Grenzwert von $\sigma_{R,d} = 480 \text{ kN/m}^2$ des Bodengutachtens, aber deutlich unterhalb des oberen Grenzwertes von $\sigma_{R,d} = 800 \text{ kN/m}^2$

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass der Boden auch unter allen anderen Bauteilen ausreichend tragfähig ist.

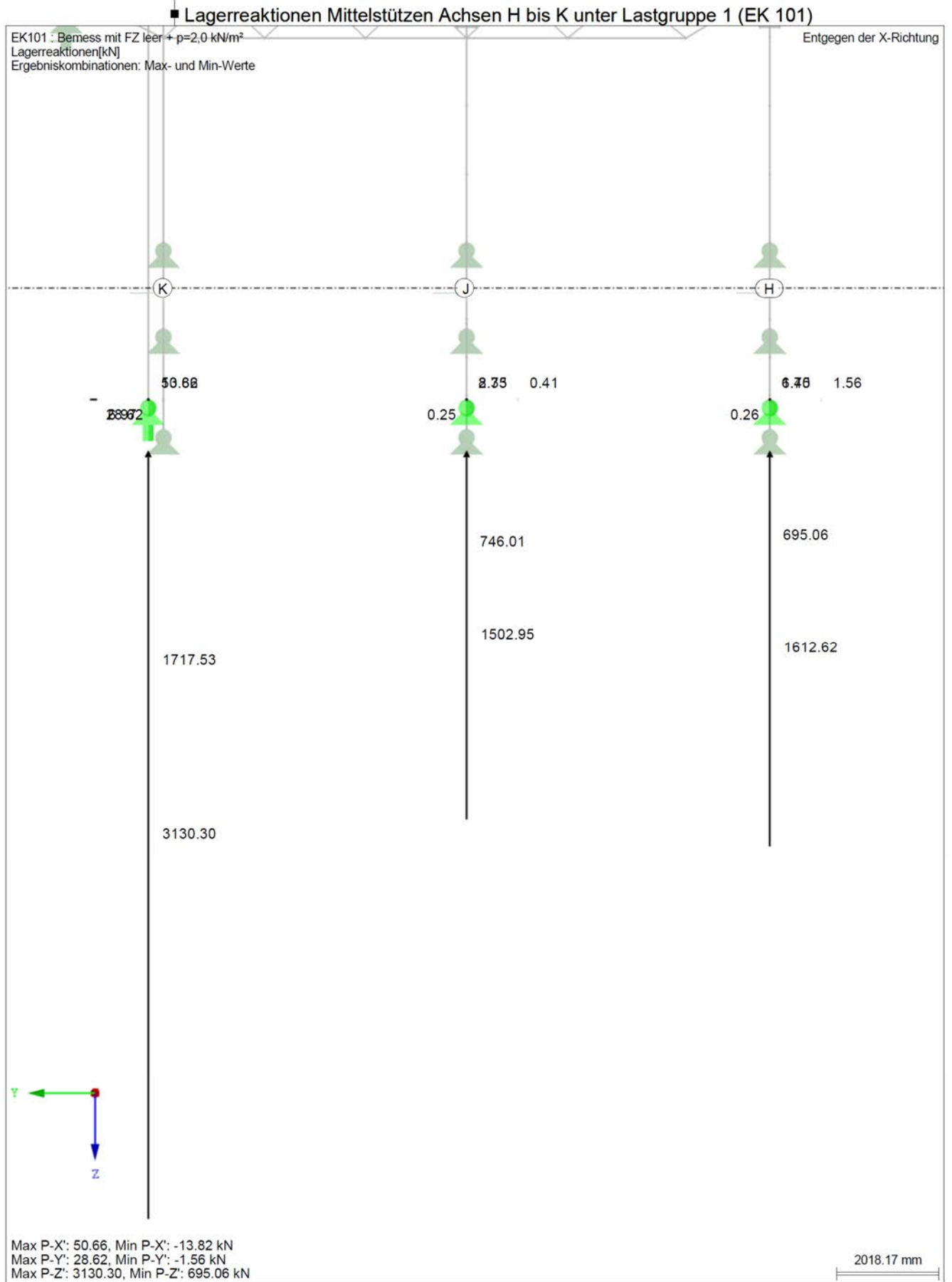


Bild 70: Max. und min. Fundamentlasten Mittelstützen H bis K Lastgruppe 1 (EK 101)

■ Lagerreaktionen Mittelstützen Achsen H bis K unter Lastgruppe 2 (EK 102)

EK102: Bemess mit FZ voll Gleis 4; sonst leer + $p=7,5 \text{ kN/m}^2$
Lagerreaktionen[kN]
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

Entgegen der X-Richtung

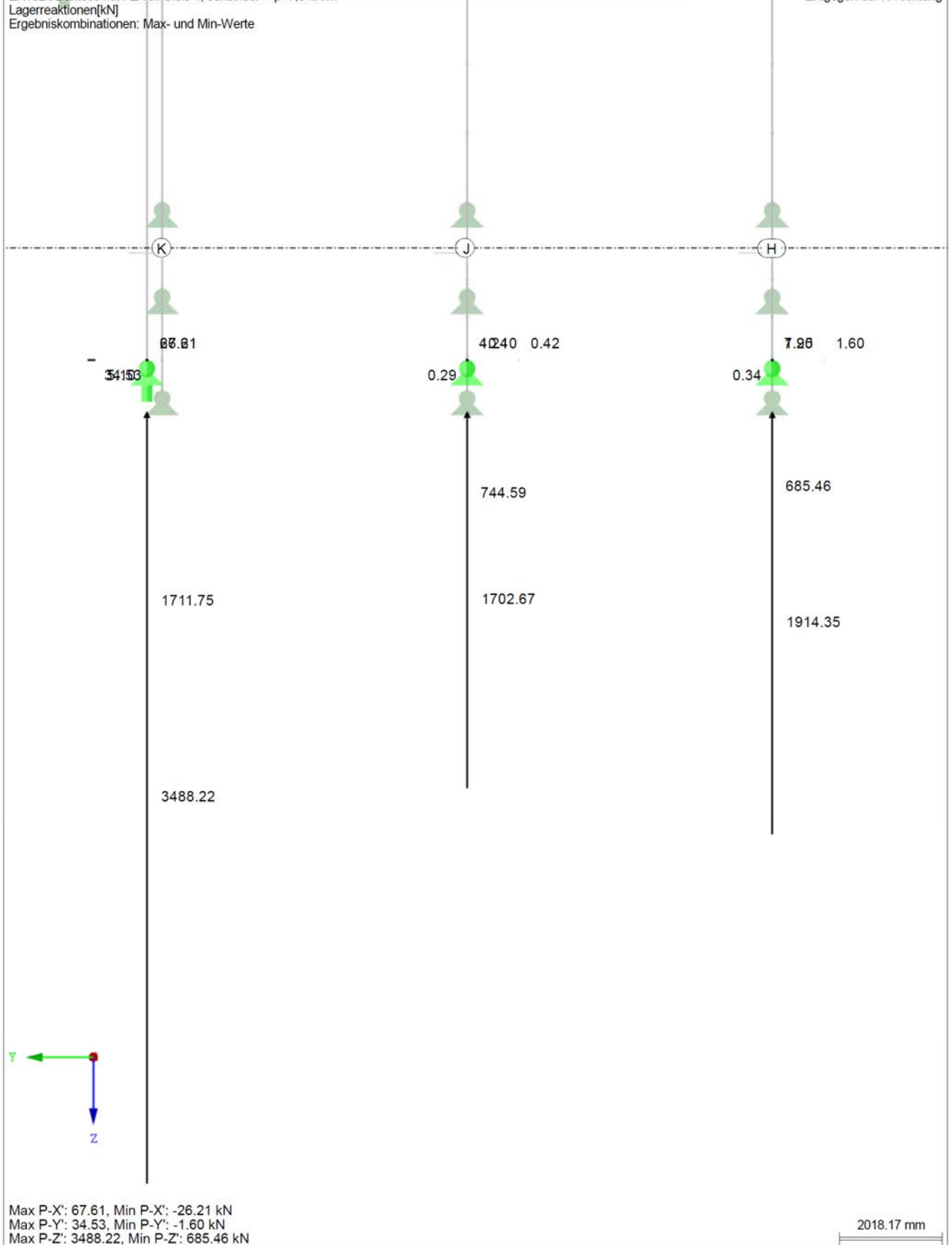


Bild 71: Max, und min. Fundamentlasten Mittelstützen H bis K Lastgruppe 1 (EK 101)

4 Standsicherheit Einflüsse und Monitoring

4.1 Allgemeines

Da auch bei Bauwerken die Einflüsse der Standzeit, die Art der Beanspruchung, der Schutz vor Witterung und Temperatur, der Korrosionsschutz usw. bei der Beurteilung des Tragverhaltens nicht außer Acht gelassen werden dürfen, werden hier einige wesentliche Einflussfaktoren aufgelistet.

4.1.1 Mauerwerk in der Südwand und Rotunde

- Die nicht ruhenden vertikalen Kräfte aus Fahrzeugen, die am Kopf der Pfeiler eingeleitet werden und als schwellende Lasten zur „Alterung“ des Mauerwerks wesentlich beitragen.
- Horizontallasten parallel zur Wandebene, die bei allen Brems- und Anfahrvorgängen der Fahrzeuge entstehen und deren Anteile in die Mauerwerksvorlagen (Pfeiler) eingeleitet werden. Von dort müssen sie mit entsprechenden Versatzmomenten in die Wandscheiben des MW weitergeleitet werden.
- Horizontalbeanspruchungen des MW quer zur Wandebene infolge Durchbiegung der Binder und der damit verbundenen Verlängerung der Untergurte (siehe Abb. 52). Auch diese Beanspruchung ist nicht ruhend, sie entsteht bei jedem Fahrvorgang.
- In jedem 2. Feld der Pfeiler schließen die Horizontal- und Vertikalverbände der Binder an (siehe Abb. auf der folgenden Seite). Hier spannt ein stählerner Querriegel von Pfeilerkopf zu Pfeilerkopf. Bei (plötzlichen) Temperaturänderungen kann es zu Zwängungsspannungen zwischen MW und Stahlbauteilen kommen, da die geringe Stahlmasse auf diese T-Änderungen schneller reagiert als das massive Mauerwerk.
- Die vielfältigen Umbauvorgänge im Bereich der Fensteröffnungen durch vollständiges oder teilweises Schließen, aber auch das Entfernen von Brüstungen für Tore und Durchgänge und das Schaffen von neuen Öffnungen haben das Tragverhalten des MW verändert.
- Ungleichmäßige Setzungen der Fundamente und Erschütterungen durch Schwerlastverkehr auf der Straße vor der Südwand.

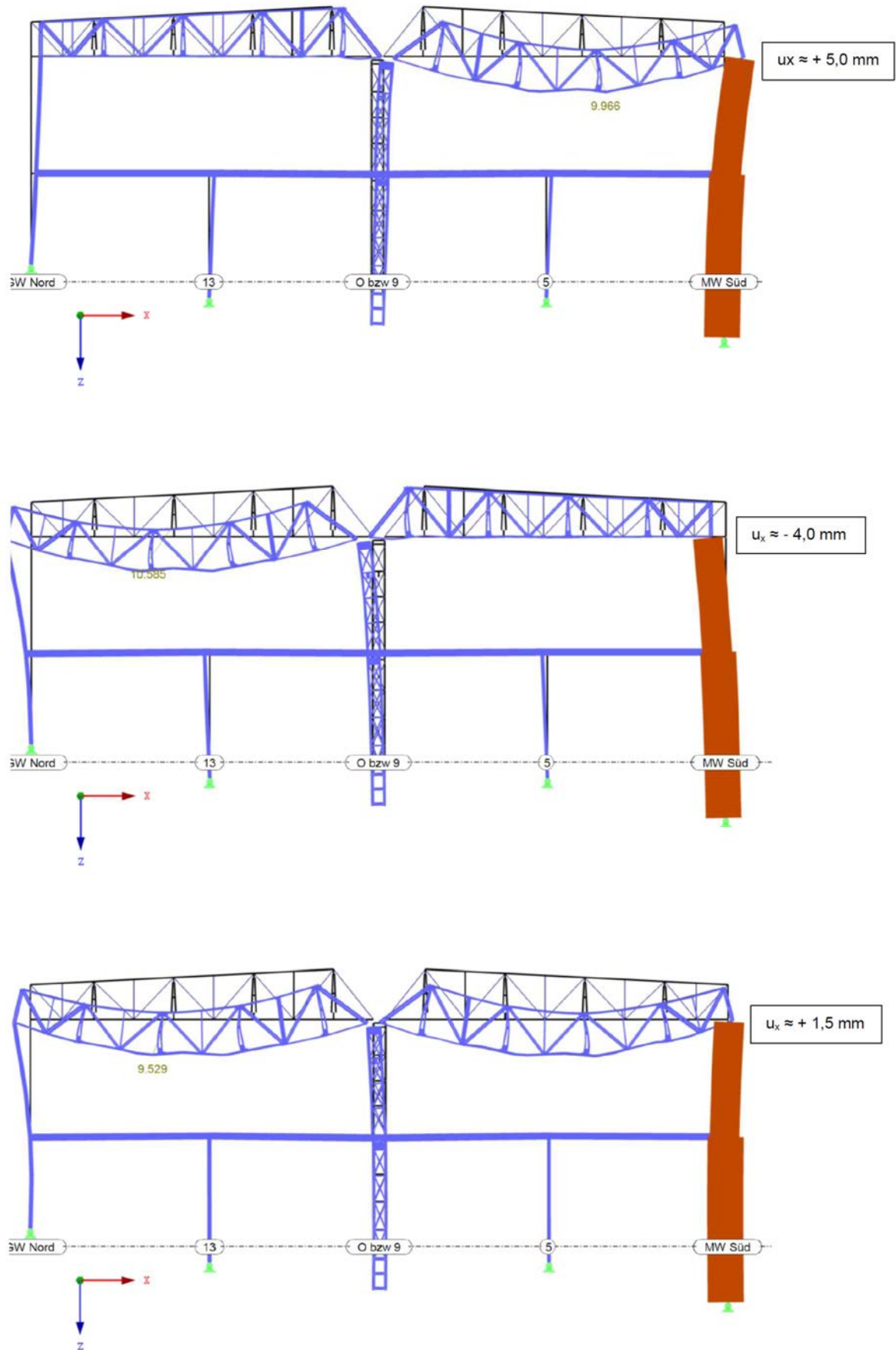


Bild 52: Horizontalverschiebung (charakteristisch) der MW-Pfeilerköpfe
induziert durch vertikale Radlasten der Fahrzeuge (hier: Achse F)

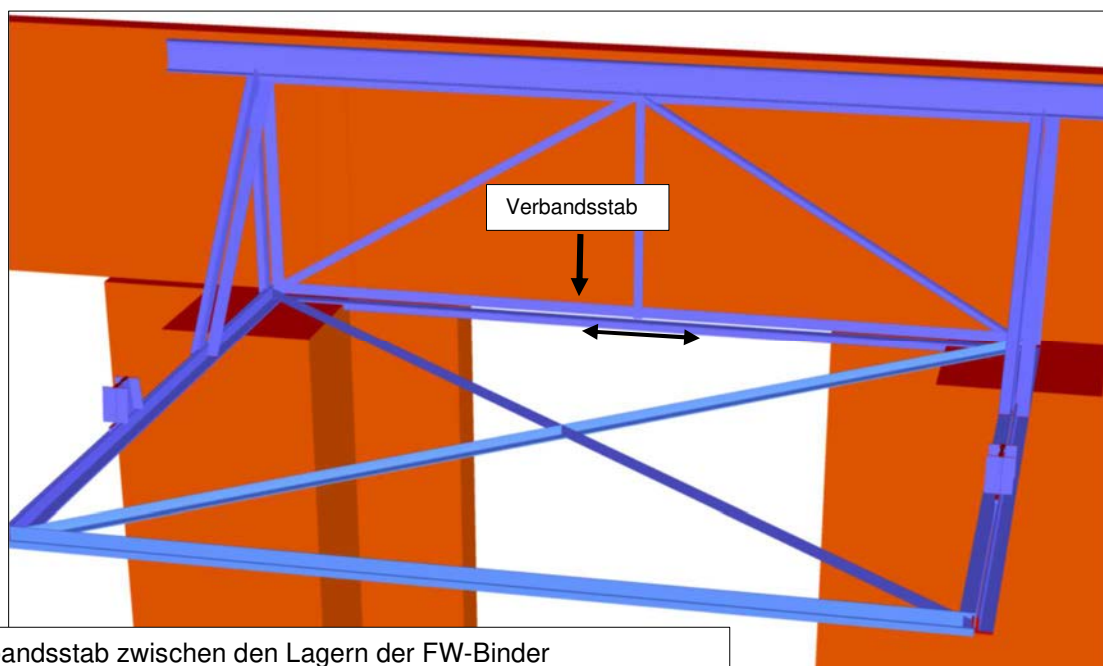
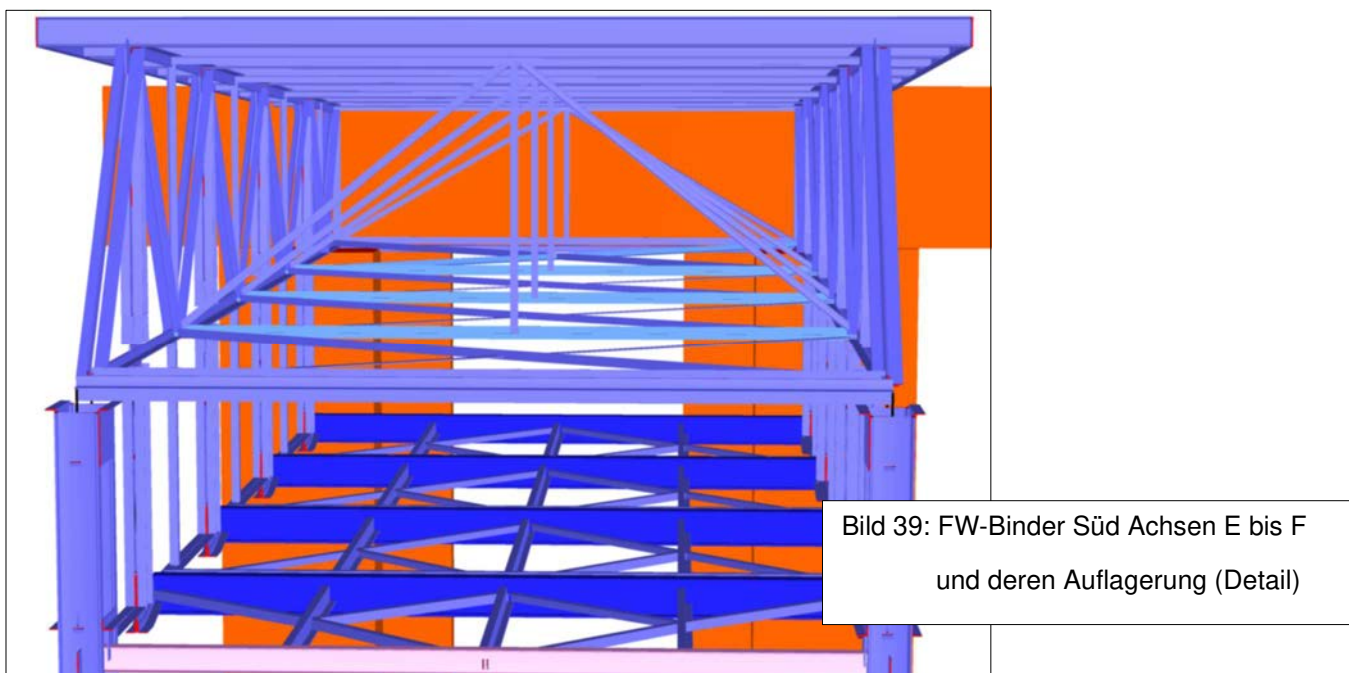


Bild 63: Verbandsstab zwischen den Lagern der FW-Binder
mit Wirkrichtung der Brems- und Zwängungskräfte

4.1.2 Ermüdung und Alterung der stählernen Bauteile

Die Restlebensdauer infolge Ermüdung wurde bereits von CSK mit Gutachten Nr..2008-003-1 vom 05.11.2012 und in der CSK-Berechnung T1-001 vom 20.01.2022 untersucht. In den letztgenannten Nachweisen wurden neben den vertikalen Fahrzeuglasten auch die horizontalen Kräfte aus Anfahren und Bremsen berücksichtigt, da bei diesen Vorgängen die gesamte jeweilige Gleisebene in Schwingung versetzt wird. Besonders in den Hängern der Fahrschienenenträger und den Untergurten der Fachwerkbinder werden dadurch erhebliche Zusatzspannungen erzeugt, die sowohl bei den Querschnitts- und Stabilitätsnachweisen als auch bei den Berechnungen zur Ermüdung berücksichtigt wurden.

Des Weiteren ist zu beachten, dass an den o.g. Haupttragelementen im Laufe der Jahre weitere Anlageteile angeschweißt wurden, die für den Betrieb erforderlich sind. Diese nachträglichen Schweißnähte schließen an den Werkstoffen der Ursprungsteile an, die nicht schweißgeeignet sind. Darüber hinaus erzeugen sie eine deutlich höhere Kerbwirkung, die zu einer schnelleren Ermüdung führen und damit die Restlebensdauer verkürzen. Auch diese Effekte wurden bei den CSK-Untersuchungen abgeschätzt und in die Ergebnisse einbezogen.

Für evtl. Ertüchtigungen und/oder Änderungen an den Stahlkonstruktionen des Bestands sind auch die Ergebnisse der Materialprüfung gemäß Gutachten der SLV Duisburg vom 20.06.2024 [7] zu beachten (siehe Abb. 64: Zusammenfassung auf der nächsten Seite). Insbesondere die fehlende Schweißeignung und die Alterung mit beginnender oder fortgeschrittener Versprödung der Stähle erschweren evtl. erforderliche Bau- und Verstärkungsmaßnahmen oder machen sie unmöglich. Da das Fortschreiten der Versprödung zu einem plötzlichen Versagen eines Stabes im Fachwerk der Binder oder eines Trägers der Werkstatt führen kann, müssen diese Teile in absehbarer Zeit ausgetauscht werden.

Für das plötzliche Versagen wurden auch Ausfalluntersuchungen im Rahmen dieses Gutachtens an einigen Stäben der Fachwerkbinder zusätzlich durchgeführt. All diese Berechnungen zeigen, dass es zu Spannungsumlagerungen und einer nicht tolerierbaren Überlastung verbleibender Bauteile kommt. Eine genaue Berechnung der Schädigung lässt sich nur mit beträchtlichem Rechenaufwand nach Theorien höherer Ordnung abschätzen, auf die hier verzichtet wird.

Als Beispiel ist hier der Ausfall des Knotenblechs Element 2080 im Hänger für das Gleis 4 Süd in der Achse F dargestellt (Abb. 65 und 66). Bei anderen Ausfallbetrachtungen ergaben sich theoretische Ausnutzungsgrade bis $\eta \approx 12$ und Durchbiegungen $u_z \approx 150$ mm.

Es ist zu beachten, dass in den vorgenannten Berechnungen auch Lastumlagerungen zu den Nachbarbindern stattfinden, da alle FW-Dachbinder über die FS-Träger miteinander gekoppelt sind.

WSW Wagenhalle Vohwinkel: Zusammenfassende Tabelle der Werkstoffuntersuchungen der SLV Duisburg von Juni / Juli 2024 (Tabelle erstellt von CSK)											
		Ergebnisse der Untersuchungen an den Materialproben (SLV-Bericht)					Bewertung der SLV gemäß Bericht				
		Chemische Analyse			Mechanische Werte						
Nr	Bauteil + Ort	Element	Messwerte der Proben	Grenzwert nach DIN 17100	Grenzwert nach DIN EN 10025-3	Streckgrenze R _{EH} Zugfestigkeit R _m Bruchdehnung A	Werkstoffzuordnung nach DIN 17100	Schweißeignung	Kerbschlagwerte	Alterung und Spröbruchgefahr	
		1)	2)	USt37	S235JR	Mpa (N/mm ²) bzw. %					
E1	Hängestab für UH-Bühne Achse G, Gleis 2	P	0,082	0,100	0,035	R _{EH} 323	St37	nein	gut		
		S	0,073	0,063	0,035	R _m 413					
		N	0,007	-	0,012	A 40,0%					
E2	Bühnenträger UH	P	0,063	0,100	0,035	R _{EH} 344	St42	nein	ohne Bewertung		
		S	0,085	0,063	0,035	R _m 427					
		N	0,012	-	0,012	A 34,0%					
E3	Zugdiagonale im horiz. Verband in der OH-Ebene	P	0,064	0,100	0,035	R _{EH} 372	St42	nein	gut		
		S	0,086	0,063	0,035	R _m 433					
		N	0,019	-	0,012	A 33,5%					
E4	Bindeblech im Kopf der FW-Mittelstütze	P	0,042	0,100	0,035	R _{EH} 337	St42	nein	ohne Bewertung		
		S	0,074	0,063	0,035	R _m 472					
		N	0,005	-	0,012	A 26,0%					
E5	"Bindebleche" in der Halbrundstütze Achse K	P	0,075	0,100	0,035	R _{EH} 412	St42	nein	ohne Bewertung		
		S	0,087	0,063	0,035	R _m 440					
		N	0,006	-	0,012	A 30,0%					
E6	Stegblech im oberen Abschnitt der Mittelstütze	P	0,109	0,100	0,035	R _{EH} 304	St42	nein	gering	Alterung fort-	
		S	0,070	0,063	0,035	R _m 439				geschritten	
		N	0,016	-	0,012	A 35,0%				Versprödung	
E7	Stegblech des Fahr- schienenträgers in der Rotunde Gleis 2	P	0,090	0,100	0,035	R _{EH} 272	St37	nein	gering	Alterung fort-	
		S	0,089	0,063	0,035	R _m 387				geschritten	
		N	0,021	-	0,012	A 39,0%				Versprödung	
1) Diese Elemente sind "unerwünschte Eisenbegleiter", die i.a. die Werkstoffeigenschaften verschlechtern. Weitere Werte im SLV-Bericht											
2) Fett gedruckte rote Werte übersteigen die Grenzwerte des "alten" USt37, unterlegte Werte übersteigen die Werte des heute gebräuchlichen S235JR											

Abb. 64: Tabelle mit den Ergebnissen der Materialuntersuchungen der SLV

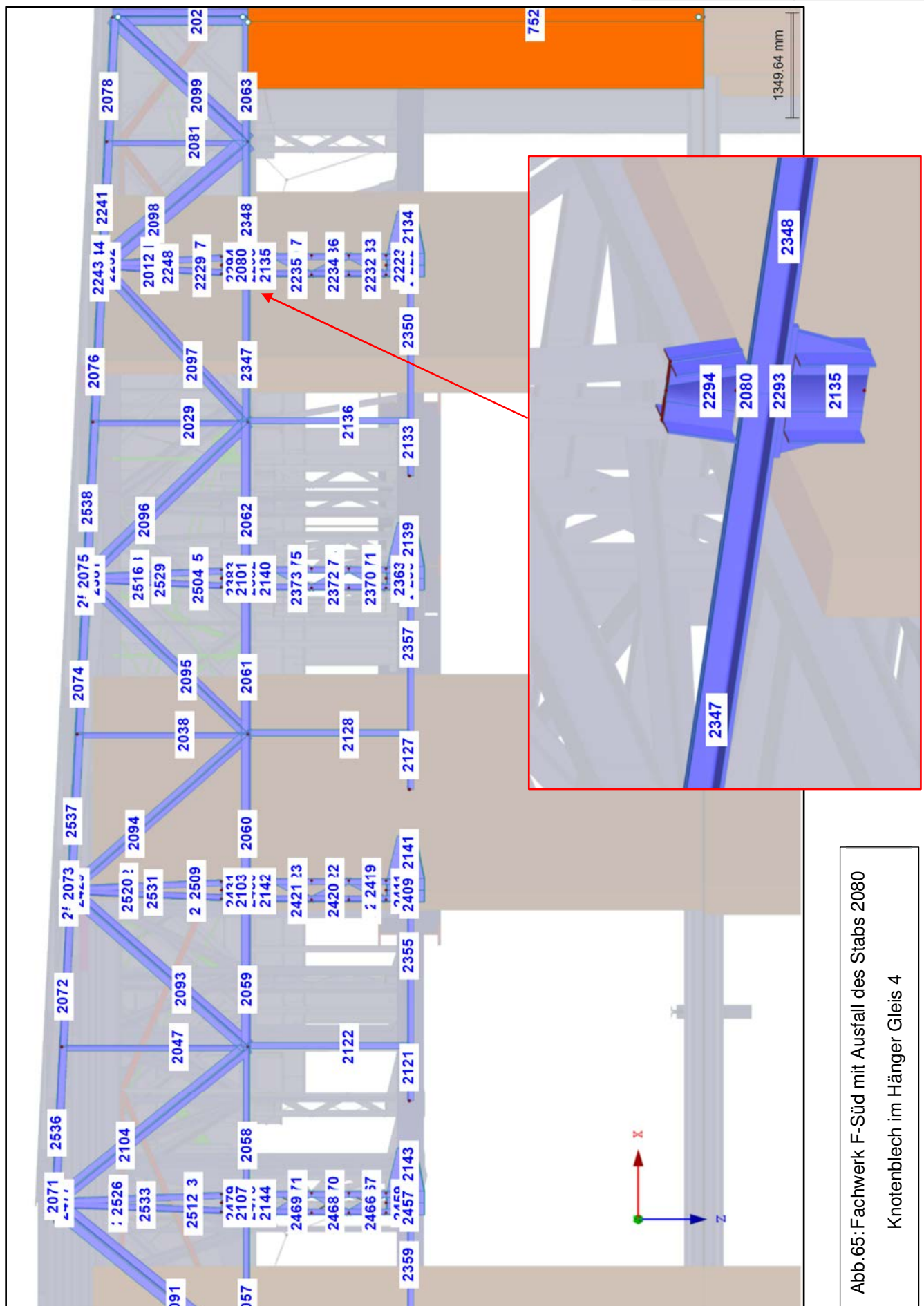
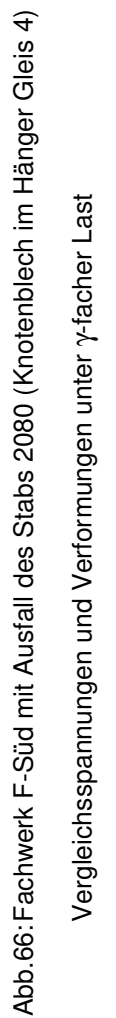


Abb. 65: Fachwerk F-Süd mit Ausfall des Stabs 2080
Knotenblech im Hänger Gleis 4



4.1.3 Einbettung von Stahlstützen im Boden

Gemäß vorliegender Ursprungszeichnungen reichen die Bauteile der stählernen Stützen bis in eine Tiefe von ca. 2.20 m unter OK FFB der Werkstatt. Bei der Untergrunderkundung der Fundamentabmessungen [8] wurde festgestellt, dass die Oberkanten der stichprobenhaft untersuchten Fundamente K/9 und H/9 erst bei rd. 0,50 m bis 0,65 m unter dem Werkstattboden liegen. Der obere Teil der Fundamente besteht aus einem „sehr groben, porigen Beton von nur mäßiger Betonqualität“, bei der in [8] „vorbehaltlich entsprechender Druckversuche - nur von der Güteklasse C 16/20 nach aktueller Norm DIN EN 1992-1 ausgegangen werden kann“.

Ob für die Stahlstützen nach einer Standzeit von rd. 125 Jahren noch ein ausreichender Korrosionsschutz vorhanden ist, lässt sich nicht mit Sicherheit sagen. Da eine Kontrolle durch Freilegen der Profile schwierig bis unmöglich ist und dadurch auch die Standsicherheit gefährdet würde, sollten die Stützen kurz oberhalb des Werkstattboden so beobachtet werden, dass alle vertikalen und horizontalen Bewegungen erfasst, protokolliert und beurteilt werden können, um ggf. Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen rechtzeitig durchzuführen.

4.1.4 Monitoring

Im ersten Expertenhearing zur Wagenhalle Vohwinkel am 16.08.2024 wurden Vorträge zu verschiedenen Themen gehalten. Hierzu gehörten „Denkmalwert der Wagenhalle Vohwinkel“ und „Veränderte Randbedingungen und betriebliche Anforderungen an die Wagenhalle Vohwinkel“, auf die im Rahmen dieser Stellungnahme nicht weiter eingegangen wird. Zwei weitere Vorträge behandelten die Themen „Ermüdung“ und „Ermüdungsbewertung“ und sind damit relevant für die Ermittlung der Restlebensdauer und Standsicherheit.

Im Vortrag „Ermüdung, ein Problem? Eine erste Einschätzung der Nachrechnung und die Option messwertgestützter Nachweisführung“ wird zunächst verwiesen auf die Unterschiede in den Normen für die Berechnung von Neubauten und für die Nachrechnung des Bestandes. Da die Regelwerke zur Nachrechnung z.T. noch nicht bauaufsichtlich eingeführt sind und als Überbrückungshilfe dazu dienen, eine sofortige Außerbetriebnahme oder Stilllegung einer Konstruktion zu vermeiden, sind sie zur Nachweisführung eines Bauwerks ungeeignet, das für eine (weitere) Standzeit von mindestens 50 bis 100 Jahren auszulegen ist.

Im Weiteren wurde die Ermittlung des Betriebslastfaktors ($\lambda_e = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4$) sowie der Spielraum der Ansätze für die Teilfaktoren λ_1 bis λ_4 untersucht und dargelegt wie sensibel der Ermüdungsnachweis auf die Variation dieser Teilwerte reagiert. Beim Ansatz günstigerer Werte ließen sich vom Vortragenden durchaus Werte für die Restlebensdauer von 100 Jahren und mehr aufzeigen. Diesen Darstellungen können sich die Verfasser nicht anschließen, da überwiegend nur auf den Abtrag der

vertikalen Radlasten eingegangen wurde und z.B. die Biegespannungen in den Bauteilen bei den Anfahr- und Bremsvorgängen sowie die dabei festzustellenden horizontalen Auslenkungen einschließlich des Nachschwingverhaltens außer Acht gelassen wurden.

Auch die Schlussfolgerungen des Vortrags „Vermutlich können die Dachbinder mit realistischen und progressiven Ansätzen für einen weiteren Nutzungszeitraum von über 100 Jahren nachgewiesen werden.“ und „Die aktuellen & historischen Lastwechselzahlen und die daraus erzeugten Spannungsschwingspiele sind unbekannt. Durch Monitoring kann (der) Sachverhalt teilweise geklärt werden.“ sind aus Sicht der Verfasser nicht haltbar und vermitteln einen völlig falschen Eindruck des Gebäudes und seiner Standsicherheit sowie der künftigen Beanspruchbarkeit und Restlebensdauer.

Im Vortrag „Condition and Structural Health Monitoring: Herausforderungen und Methoden der Ermüdungsbewertung“ (TU Dortmund, Lehrstuhl für Werkstoffkunde, Prof. Dr.-Ing. Frank Walther) werden die Grundlagen der Ermüdung, Messverfahren sowie Auswertung der Messergebnisse und Bewertung behandelt. Inwieweit die hier vorgestellten Verfahren auch für die Konstruktionen der Wagenhalle angewendet werden können und wie belastbar deren Ergebnisse bei der Beurteilung der Standsicherheit und Ermüdung sind, muss zunächst noch abschließend geklärt werden. Es werden nicht nur Werte zur Spannungsausnutzung und Verformung des Tragwerks benötigt, um sie zum Bsp. mit den Ergebnissen der rechnerischen Nachweise zu vergleichen, sondern auch Aussagen zum Werkstoff und dessen Veränderung infolge Alterung und Ermüdung.

In diesem Zusammenhang ist eine Reihe elementarer Fragen zu klären:

- Sind die vorgestellten Verfahren nicht nur Stand der Wissenschaft, sondern auch zur Unterstützung oder Ersatz rechnerischer Nachweise anerkannt?
- Welcher Aufwand muss betrieben werden, um belastbare Ergebnisse zu erzielen; genügen Stichproben oder sind umfassende Messreihen erforderlich?
- Wer wertet die Messreihen aus und beurteilt die erzielten Werte für die Verwendung in den Standsicherheitsnachweisen?
- Wer übernimmt letztendlich die Verantwortung für die momentane und künftige Standsicherheit (Restlebensdauer)?

Erst nach Klärung der o.a. Fragen erscheint es sinnvoll, festzulegen ob und in welchem Umfang ein Monitoring anzustreben ist.

4.1.5 Betriebsanweisungen und Aushang

Datum:	28.05.2021	BETRA Schweb Betriebsanweisung Schwebebahn
Aushang bis:	Widerruf	
Vertraulichkeits-Klassifizierung:	intern	

Verteiler: 11/11 Frau Schnake, 11/111 Herr Froning,
11/1121 Herr Bergstein, 11/1121 BLZ, 11/1122 Herr Bollongino
11/13 Herr Sommer, 11/131 Herr Wienand, 11/132 Herr Willing, 11/1321 Herr Haus,
11/14 Herr Krietemeyer, 11/141 Herr Pfingst, 11/142 Herr Jodocy,
11/143 Herr Kampa, 11/144 Herr Schöneberg

Aushang: 11/1121 BLZ, 11/132 Aufenthaltsräume VOH u. OBB, 11/142, 11/143

zusätzlich: **Aushang „Kranbetrieb Wagenhalle Vohwinkel“** in der Ausfahrt sowie an den Bedieneinrichtungen der Krananlagen in der Wagenhalle Vohwinkel

Betriebsordnung Wagenhalle Vohwinkel

Zur Vermeidung möglicher Schäden an der Tragkonstruktion der Wagenhalle Vohwinkel müssen mit sofortiger Wirkung Betriebseinschränkungen für die Wagenhalle erlassen werden:

1. Es dürfen **nur noch leere Fahrzeuge** in der Wagenhalle **abgestellt werden**. Außerdem ist das Beladen von Fahrzeugen mit Gewichten (z.B. für Mess-/Testfahrten) verboten.
2. Es dürfen **keine beladenen Fahrzeuge** in die Wagenhalle **einfahren**. Als beladen gelten Fahrzeuge, die mit mehr als 1 t Gewicht beladen oder mit mehr als 15 Personen besetzt sind.

Nach Einfahrt eines beladenen Fahrzeugs in die Wagenhalle ist eine Sonderinspektion der Wagenhalle erforderlich. Die OE 11/141 ist unverzüglich schriftlich zu informieren, wenn ein beladenes Fahrzeug in der Wagenhalle gewesen ist.

Die bestehenden Regelungen für Kranvorgänge werden entsprechend aktualisiert:

Bei Kranbetrieb (10 t Kräne) darf:

- Entweder auf Gleis 2 Süd oder Gleis 3 Süd in derselben Fzg.-Position maximal ein leeres Fahrzeug stehen (das andere Gleis ist freizuhalten!).
- Auf Gleis 4 Süd darf in derselben Fzg.-Position zusätzlich ein leeres Fahrzeug stehen.

Der Aushang „Kranbetrieb Wagenhalle Vohwinkel“ (siehe Anlage) ist zu ersetzen.



Dr. Christian Kindinger

Datum:	23.09.2019	BETRA Schweb Betriebsanweisung Schwebebahn
Aushang bis:	Widerruf	

Verteiler: 11/111 Herr Froning,
11/1121 Herr Bergstein, 11/1121 BLZ
11/13 Herr Sommer, 11/131 Herr Wienand, 11/132 Herr Willing, 11/1321 Herr Haus,
11/14 Herr Kriemeyer, 11/141 Herr Pfingst, 11/142 Herr Jodocy,
11/143 Herr Kampa, 11/144 Herr Schöneberg

Aushang: 11/143

Verfahren der Schwenk-Biegeweichen Vohwinkel

Die nördliche und die südliche Schwenk-Biegeweiche zwischen Kehre und Wagenhalle Vohwinkel dürfen nur dann verfahren werden,

- wenn sich kein Zug
- oder
- wenn sich ein Leerzug

auf dem betreffenden Schwenkarm befindet.

Der Zug muss stehen, während einer Fahrbewegung darf der Schwenkarm nicht bewegt werden!

Ein Zug, der mit Gewichten beladen ist, gilt nicht als Leerzug.

Befindet sich ein beladener Zug auf den Schwenkarmen, darf der Schwenkarm nicht bewegt werden.

Die Bekanntmachung "Verfahren der Schwenk-Biegeweichen Vohwinkel" vom 15. Juli 2010 wird hiermit ungültig. Bitte entfernen Sie den Aushang.



Dr. Kindinger

Aushang „Kranbetrieb Wagenhalle Vohwinkel“

11/141
Pfungst - 2959

Achtung bei Kranbetrieb

Bei Kranbetrieb (10 t Kräne) darf:

- Entweder auf **Gleis 2 Süd**
oder auf **Gleis 3 Süd** in
derselben Fzg.-Position maximal
ein leeres Fahrzeug stehen.
Das andere Gleis ist freizuhalten!
- Auf **Gleis 4 Süd** darf in
derselben Fzg.-Position zusätzlich
ein leeres Fahrzeug stehen.

Stand: 27.05.2021

5 Zusammenfassung

Die Wagenhalle Vohwinkel ist für den aktuellen Fahrbetrieb bei Berücksichtigung all seiner Auflagen und Beschränkungen ausreichend standsicher.

Eine Aufstockung des Zugverkehrs mit gleichzeitiger Fahrt von Einzel- oder Doppelzugeinheiten, oder Erhöhungen und Ausweitungen von Flächenlasten auf den Arbeits-, Wartungs- und Pflegebereichen ist ohne Ertüchtigungsmaßnahmen nicht möglich.

Der Zeithorizont für die weitere Nutzung des Gebäudes ist entsprechend der vorlaufenden Gutachten und Berechnungen mit 7 bis 9 Jahren (maximal bis etwa zum Jahr 2034) bereits sehr überschaubar.

Eine Ertüchtigung für einen „betriebsgerechten“ Betrieb ohne gravierende „Behinderung“ der Fahr- und Arbeitsabläufe würde bedeuten, dass alle Bauteile –mit Ausnahme der Teile in den Achsen A und B, die in 2011/12 erneuert wurden- ausgetauscht werden müssen. Dazu zählen:

- Alle Stahlbauteile, die infolge Ermüdung und/oder Alterung (=beginnende oder fortgeschrittene Versprödung) in absehbarer Zeit unbrauchbar werden. Auch eine teilweise Weiterverwendbarkeit der Stahlteile scheidet aus, da die Schweißbarkeit nicht gegeben ist und der Grad der Ermüdung und Alterung der Altstähle nur an Hand einer Vielzahl aufwendiger Materialprüfungen vorher ermittelt werden müsste.
- Alle Mauerwerksteile, die zum Abtrag von nicht ruhenden Fahrzeuglasten dienen und wegen ihrer Abplatzungen und Risse bereits unter fortlaufender Beobachtung und Kontrolle stehen. (Diese Bauteile müssten für eine langfristige Nutzung sinnvollerweise durch Stahltragwerke ersetzt werden.)
- Alle Gründungen, die entweder aus Mauerwerk oder Betonen mit nicht definierter Rezeptur und Festigkeit bestehen, müssten ebenfalls erneuert werden, um sie an die neuen Anforderungen anzupassen.

Eine Weiterverwendbarkeit von Bauteilen des Altbestands ist nicht möglich, da die Werkstoffe des Bestands nicht schweißbar sind und auch nicht mehr über ausreichende Zähigkeitseigenschaften verfügen.

Ein Monitoring-Verfahren zur Stützung (oder Korrektur) bisheriger Standsicherheitsnachweise führt nach Auffassung der Unterzeichner ebenfalls nicht zu einer sinnvollen Verlängerung der Lebensdauer von 50 bis 100 Jahren. Selbst bei Einhaltung aller ständigen Kontrollen der Tragstruktur und Beachtung der Betriebs-beschränkungen gelingt es nicht, einen Standsicherheitsnachweis für den vorgenannten Zeitraum zu erbringen, da die altersbedingten Unzulänglichkeiten der Werkstoffe das nicht zulassen.

6 Verzeichnisse zugehöriger Unterlagen

6.1 Zugehörige Anhänge (EDV-Protokolle)

Zugehörige Anhänge (Ausdruckprotokolle der EDV)

-  WGH Anhang 1-1 - QS-Nachweis FW-Binder, Hänger, UH-Ebene und OH-Bleche+MW-Lager.pdf
-  WGH Anhang 1a - QS-Nachweis FW-Binder, Hänger und Knotenblech Ausfall Stab 2080 in Achse F.pdf
-  WGH Anhang 1b - QS-Nachweis FW-Binder, Hänger und Knotenblech Ausfall Stab 2104 in Achse F.pdf
-  WGH Anhang 1c - QS-Nachweis FW-Binder, Hänger und Knotenblech Ausfall Stab 2061 in Achse F.pdf
-  WGH Anhang 1d - QS-Nachweis FW-Binder, Hänger und Knotenblech Ausfall Stab 2098 in Achse F.pdf
-  WGH Anhang 1e - QS-Nachweis FW-Binder, Hänger und Knotenblech Ausfall Stab 2430 in Achse F.pdf
-  WGH Anhang 1f - QS-Nachweis FW-Binder, Hänger und Knotenblech Ausfall Stab 1085 Rotunde K-M.pdf
-  WGH Anhang 1g- QS-Nachweis FW-Binder, Hänger und Knotenblech Ausfall Stab 1083 Rotunde K-M.pdf

6.2 Verzeichnis der verwendeten Zeichnungen

7	8	4	e							Grundriss
1	1	0	5	b						Lageplan
1	2	0	7							Gleisanlage ungueltig
1	2	1	0							Gleisanlage ungueltig
1	2	1	1							Gleisanlage ungueltig
1	2	1	6							Gleisanlage ungueltig
1	2	1	7							Gleisanlage ungueltig
1	2	1	8							Gleisanlage ungueltig
1	2	1	9							Gleisanlage ungueltig
1	2	2	3							Gleisanlage
1	2	2	6							Anschluss der Arbeitsbuehne und Schienentraeger an die Haenger der Dachbinder
1	2	2	6	a	-	b				Anschlusse der Dachbinder an die Gleise
1	2	2	6	c	-	d				Anschlusse der Dachbinder an die Gleise
1	2	2	7							Arbeitsbuehne in der Kehre Schienentraeger, Anschlusstraeger und Verbaende
1	2	2	8							suedliche Arbeitsbuehne mit Schienentraeger Randtraeger und Verbaende
1	2	3	2	a						Systemmaße der Dachbinder
1	2	3	3							Aufhaengung des Schienentraegers Abnormale Dachbinder in Achse B-b
1	2	3	4							Aufhaengung des Schienentraegers Abnormale Dachbinder in Achse C-c
1	2	3	5							Aufhaengung des Schienentraegers Abnormale Dachbinder in Achse I

Auftrags Nr.:										Wagenhalle Vohwinkel
Zeichnungs Nr.: AN										
										Bezeichnung
1	2	3	6							Radial Dachbinder
1	2	3	6	a						Aufhaengung des vierten Gleises am Radial-Dachbinder
1	2	3	6	b						Aenderung des Endfeldes im Binder K-K der Wagenhalle
1	2	3	6	c						Aufhaengung der Gleise am Radial-Dachbinder
1	2	3	6	d						Wagenhalle_VOH_Radialdachbinder_ Achse_K_abnormales_Endfeld_1
1	2	3	6	e						Wagenhalle_VOH_Radialdachbinder_ Achse_K_abnormales_Endfeld_2
1	2	3	9							Horizontale u vertikale Dachverbaende im geraden Teil des Gebaeudes
1	2	4	0							Pfetten- Dachübersicht
1	2	4	0	a						Randabschluss der Pfetten
1	2	4	1							Übersicht OH_Dachebene
1	2	4	1	a						Übersicht Teil 1
1	2	4	1	b						Übersicht Teil 2
1	2	4	1	c						Übersicht UH_Gleisebene
1	2	4	1	d						Uebersicht bearbeitet
1	2	4	2							Vertikale Verbaende zwischen den Stuetzen der Binder
1	2	4	3							Ergänzung zu Bl. 1226;1235;1236;1239
1	2	4	6							noerdliche Arbeitsbuehne und Schienentraeger Abschlussraeger und Verbaende
1	2	4	7							noerdliche Arbeitsbuehne mit Schienentraeger Abschlussraeger und Verbuende
1	2	4	8							noerdliche Arbeitsbuehne und Schienentraeger Abschlussraeger und Verbaende

Auftrags Nr.:											Wagenhalle Vohwinkel	
Zeichnungs Nr.: AN												
											Bezeichnung	
1	2	4	9								suedliche Arbeitsbuehne und Schienentrager Abschlussrager und Verbaende	
1	2	5	0								suedliche Arbeitsbuehne und Schienentraeger Abschlussrager und Verbaende	
1	4	9	6								Grundriss und Traegeranordnung zwischen Stuetze 2b und 3	
1	5	0	4								Endfelder des Hauptlaengstraegers zwischen Stuetze 2b und 3 noerdlich	
1	5	3	5								Dachbinder zwischen Stuetze 2b und 3	
1	5	9	1								Horizontale und vertikale Dachverbaende im geraden Teil des Gebäudes	
1	6	1	6	a							suedliche Arbeitsbuehne Schienentraeger und Verbaende	
1	6	1	6	b							noerdliche Arbeitsbuehne Schienentraeger und Verbaende	
1	6	1	6	c							Arbeitsbuehne Ergaenzungsblatt	
1	6	2	1	a							Hofanlage	
1	6	5	4								Schienenbefestigung der Laufbahn des Drehtraegers am Endbinder	
1	7	7	0								Stuetze 1a_b und 2a_b suedlicher und noerdlicher Schenkel	
1	7	7	9								Stuetze 1a+b und 2a+b Blatt 1	
1	7	7	9	a							Stuetze 1a+b und 2a+b Blatt2	
1	7	8	4								Ankerstuetze 1a_b und Jochbalken 1b	
1	7	8	5								Stuetze 1a_b und Jochbalken 1a	
1	7	8	8								Stuetze 1a_b + 2 a_b Konstruktionsuebersicht	
1	8	0	1	b							suedliche Arbeitsbuehne mit Schienentraeger Randtraeger und Verbaende	
1	8	0	2	a							Saeulen im geraden Teil der Halle	

Auftrags Nr.:										Wagenhalle Vohwinkel	
Zeichnungs Nr.: AN											
										Bezeichnung	
1	8	0	2	c						Saeulen in der Kehre und am Wagenaufzugsschacht	
1	8	0	2	d						Konsolen an den mittleren Saeulen	
1	8	0	3	a						Decke ueber den Werkstaetten Deckenunterzuege	
1	8	0	3	b						Decke ueber den Werkstaetten Deckenunterzuege	
1	8	0	4							Decke ueber den Werkstaetten Kappentraeger	
1	8	0	4	b						Decke ueber den Werkstaetten Kappentraeger	
1	8	0	5	b						Deckentraeger ueber den Werkstaetten Kappentraeger	
1	8	0	5	c						Deckentraeger ueber den Werkstaetten Verlaschung des Kappentraegers	
1	8	0	6	a						Glaswand	
1	8	0	6	b						Befestigung der Fensterrahmen in der Glaswand	
1	8	0	7	a						Fahrbahn für die Laufkatzen des Wagenaufzuges	
1	8	0	8							Wagenhalle Vohwinkel Auflager	
1	8	0	8	a						Saeulenaufleger der Glaswand	
1	8	0	8	b						Auflager der Saeulen Binder und Deckentraeger	
1	8	0	9							Uebersichtzeichnung zur Deckentraegerlage ueber den Werkstaetten	
1	8	0	9	b						Verankerung der Randpfetten	
1	8	1	1	a						Queroberlichter	
1	8	1	2	a						Oberlichter	
1	8	1	3	a						Laengsoberlichter in der Halle	

Auftrags Nr.:											Wagenhalle Vohwinkel	
Zeichnungs Nr.: AN												
											Bezeichnung	
1	8	1	4	a							Oberlichter und Lueftungsklappen in der Kehre	
1	8	1	5	a							Bohlenbelag auf der Fahrbahn	
1	8	1	6	a							Bohlenbelag auf der Fahrbahn	
1	8	1	7	a							Bohlenbelag auf der Fahrbahn	
1	8	1	8	b							Bohlenbelag auf der Fahrbahn	
1	8	1	9	b							Bohlenbelag auf der Fahrbahn	
1	8	2	0	a							Bohlenbelag auf der Fahrbahn	
1	8	2	1								Bohlenbelag auf der Fahrbahn	
1	8	2	2								Bohlenbelag auf der Fahrbahn	
1	8	2	3								Arbeitsbuehne um Aufzugschacht	
1	8	2	4	a							Fenster	
1	8	2	9								Einfahrtstore u Klappen	
1	8	3	2	a							Aufzugsvorrichtung der Lueftungsklappen	
1	8	3	2								Treppenanordnung	
1	8	9	2	a							Fenster Versteifungen im Mauerwerk	
1	8	9	4	a							Fensterversteifungen in der Glaswand	
2	2	0	4	a							Weichenanlage Vohwinkel Uebersicht	
2	7	0	7								Lageplan Stuetze 1a_b bis 4	
2	7	0	8								Uebersicht	
2	7	6	2								Querschnitt durch die Halle	
2	8	0	6								Umgrenzungsmauer der Halle	

Auftrags Nr.:											Wagenhalle Vohwinkel	
Zeichnungs Nr.: AN												
											Bezeichnung	
2	8	0	8								Fenstergitter	
2	8	9	3								Aufmass von Bruchstein und Futtermauern	
2	8	9	3	a							Aufmass vom Untergeschoss der Maurerarbeiten	
2	8	9	3	b							Aufmass von Erd und Dachgeschoss der Wagenhalle der Maurerarbeiten	
2	8	9	3	c							Schnitt durch die Rueckwand	
2	8	9	5								Aufmass der Erdarbeiten	
2	8	9	5	a							Aufmass der Erdarbeiten	
2	8	9	8	a							Aufmass der Maurerarbeiten	
4	3	7	7								Umlegbare Radschuhe zur Gleissicherung	
4	7	2	1								Treppen fuer die Dach-Oberlichte	
4	7	2	1	a							Treppen fuer die Dach-Oberlichte	
5	6	4	5								Kehrenschiene	
5	6	8	5								Noerdliche Arbeitsbuehne Aenderung des Abschlussstraegers im geraden Teil	
5	6	9	1	a							Entwaesserungsplan der Halle	
5	6	9	1	b							Entwaesserungsplan der Halle	
5	6	9	9								Umbau Hofanlage	
5	7	8	2								Anbau der Sozialraeume	
5	8	3	9								Scheiben fuer Dachoberlichter	
5	9	2	0								S-Bahnwerkstatt Vohwinkel Renovierung der Fassade	
5	9	2	1								Wagenhalle	
5	9	2	2								Renovierung der Fassade	
5	9	2	4								OEL VOW 2	

Auftrags Nr.:										Wagenhalle Vohwinkel	
Zeichnungs Nr.: AN											
										Bezeichnung	
5	9	2	5							GAS VOW 2	
1	-	5	2	0	-	0	1	-	1	Aussentore - Bereich STR Ausführungszeichnung	
8	5	6	0	0	3					Trestlestütze zur Sanierung der Stützen in der Wagenhalle	
G	S	2	7	9	9	L				Halbmesser und Abstände der Fahrschienen1	
S	0	0	1							Verankerungsplan Arbeitsbühne Werkstatt Vohwinkel	
S	B	0	0	8	7	6	8	0	6	Aufhängung Kranbahn	
S	B	0	0	8	8	6	8	0	6	Aufhängung der Kranbahn	
S	B	1	5	1	6	8	0	5		Windverband in der Glaswand	
S	B	0	3	5	1	6	8	0	0	Abstellgleise	
S	B	0	3	5	8	6	8	0	5a	Waschanlage Absturzsicherung	
W	4	2	9	7	V	O				Änderung der S-Bahn Konstruktion	
W	5	4	2	7	V	O				Grundriss der S-Bahn-Werkstatt	
W	5	4	2	7	V	O				Grundriss	
W	6	9	5	4	V	O				Grundriss EG	
W	6	9	5	5	V	O				Grundriss 1. OG	
W	6	9	5	6	V	O				Grundriss 2. OG	
										Anlage 11 Bestand Grundriss Verbandsebene Weichenanlage Vohwinkel	
										Anlage 12 Weichenanlage Vohwinkel Fahrschienenenebene	
										Anlage 13 Weichenanlage Vohwinkel Ebene WUK	
										Anlage 14 Weichenanlage Vohwinkel Schnitte AA+BB	
										Betriebsgebäude	

7 Schlussseite

Aufgestellt: Dortmund, den 28.05.2025



(Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. Hartmann)



(Dr.-Ing. Volker Kaltofen)