

## **Projekt Glasbogenwand- Abschlussbericht**

Das Projekt einer für Bahnsteige geeigneten transparenten Lärmschutzwand, die gleichzeitig für Wartende auf dem Bahnsteig auch noch einen gewissen Witterungsschutz bietet, ist seit der Vorstellung der Projektidee im Mai 2013 (Anlage 1) in Bezug auf die wesentlichen Fragestellungen und in Bezug auf die Genehmigungsfähigkeit mit positivem Ergebnis geprüft worden. Dies wird im Folgenden dargestellt.

Anlass für das Projekt war die in den Planfeststellungsunterlagen zum Ausdruck kommende Absicht der DB AG, auch die Bahnhöfe bzw. Haltepunkte mit undurchsichtigen Lärmschutzwänden einzufassen und sogar noch die Sichtbeziehung zwischen den Gleisen durch Mittelwände zu unterbrechen. Abgesehen von der für eine Bahnhofssituation völlig unangemessenen städtebaulichen Gestaltung ist mit dem von der Bahn bisher verfolgten Planungskonzept auch ein völliger Verlust jeglicher sozialen Kontrolle für die Bahnsteige und damit ein erheblicher Unsicherheitsfaktor für wartende Fahrgäste verbunden. Da die Bahn nicht bereit war, von sich aus eine umsetzbare, wenigstens teiltransparente Lösung zu entwickeln, blieb für die betroffenen Kommunen nur der Weg, dies selbst in die Hand zu nehmen.

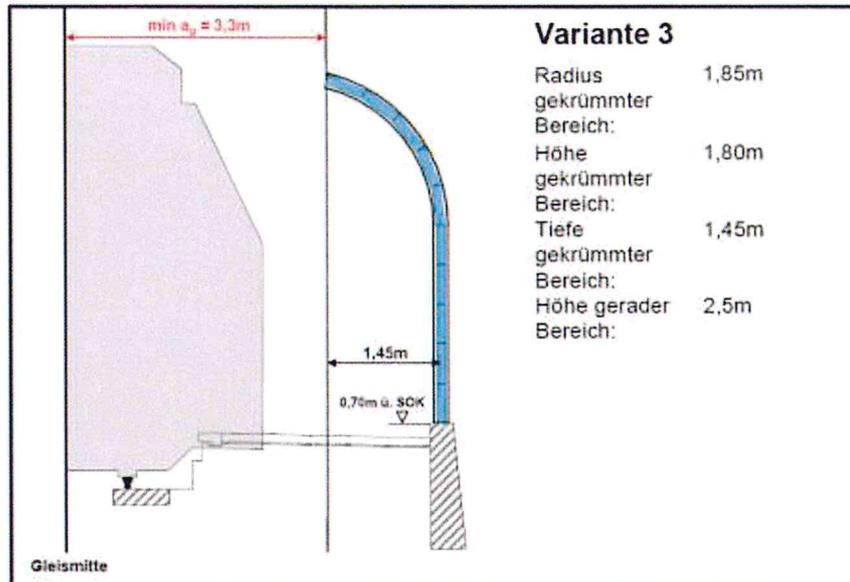
Ziel der Ausarbeitung war dabei, die Machbarkeit einer transparenten Lösung nachzuweisen, damit im Planfeststellungsverfahren überhaupt erst die Möglichkeit einer sachgerechten Entscheidung geschaffen wird.

### **1. Geometrie**

Grundidee zur Lösung der Problematik war die Verwendung zugelassener transparenter Elemente. Damit können teure und zeitaufwändige Zulassungs- und Genehmigungsvorgänge vermieden werden.

Das bei der vorliegenden Konstruktion vorgesehene Element T 15 der Firma Bongard und Lind muss aufgrund der bei der Zulassung zugrunde gelegten Rahmenbedingungen einen Mindestabstand von 3,3 m von der Gleismitte einhalten. Das gilt auch für das obere Ende des Bogens, so dass dieser nicht, wie ursprünglich vorgesehen, bis dicht an das Lichtraumprofil des Gleises herangeführt werden kann. Es wurde daher eine veränderte Geometrie festgelegt, die nunmehr alle Anforderungen für das Ele-

ment T 15 einhält. Die Gesamthöhe der Wand über Schienenoberkante bleibt bei 5 m.



Auf dieser Grundlage wurde die statische und fahrdynamische Machbarkeit sowie die akustische Untersuchung durchgeführt.

## 2. Untersuchungsergebnisse

### 2.1 Akustik

In Bezug auf die akustische Wirksamkeit der transparenten Lärmschutzanlage war zu untersuchen,

- ob der Lärmschutz für die Nachbarschaft sichergestellt werden kann und
- ob es aufgrund der schallreflektierenden Oberfläche zu nennenswert erhöhten Lärmbelastungen für auf dem Bahnsteig wartende Fahrgäste kommt.

Dabei wurde die Beibehaltung einer hochabsorbierenden Mittelwand in einer reduzierten Höhe (1,5 m über Gleisoberkante) vorausgesetzt. Diese Höhe ist in Bezug auf Blickbeziehungen zwischen den Bahnsteigen unproblematisch.

Die akustischen Auswirkungen wurden durch das Ingenieurbüro Treiber Lärmschutz (Anlage 2) geprüft.

Demnach wird die Lärmbelastung für die Nachbarschaft im Bereich der Glasbogenwand allein schon wegen der größeren Höhe geringfügig (im Einzelfall sogar bis zu -3 dB A im Bereich der Bahnhofstraße) abnehmen, während es an den Übergangsbereichen zu geringfügigen Erhöhungen unterhalb der Wahrnehmungsschwelle (hier liegt der Spitzenwert bei +1,3 dB A am Voshalsfeld) kommen

wird. Diese Erhöhung könnte allein durch die Verwendung von Schienenstegdämpfern ausgeglichen werden. Die Pegelerhöhung auf dem Bahnsteig hat sich trotz der reflektierenden Oberfläche als vernachlässigbar gering herausgestellt (maximal +1,4 dB A auf dem Nord-Ost-Bahnsteig). Da Veränderungen des Lärms erst bei einer Pegeländerung von 2-3 dB A wahrnehmbar sind, sind zusätzliche Maßnahmen zur Schallabsorption (Teilfläche der Wand, Bahnsteigoberfläche) nicht erforderlich.

Insgesamt erfüllt nach der schalltechnischen Stellungnahme die jetzt vorgeschlagene Konstruktion die akustischen Anforderungen an den Lärmschutz. Der Gleichwertigkeitsnachweis gegenüber der standardmäßigen gemäß Schall 03 (alte Fassung) berechneten Lärmschutzwand ist damit erbracht.

## **2.2 Bautechnik**

Auch der technische Nachweis in Bezug auf die statischen und dynamischen Belastungen, die an einer Strecke mit einer Fahrgeschwindigkeit von 160 km/h (Außenngleise) zu erwarten sind, war nach der Studie des Ingenieurbüros Niemann & Partner möglich (Anlage 3). Im Ergebnis konnte der Nachweis auch ohne ungewöhnlich stark profilierte Pfosten erbracht werden, so dass eine weitere Optimierung in Windkanalversuchen usw. nicht erforderlich ist.

## **3. Zwischenergebnis**

Die soweit vorliegenden Unterlagen wurden über den häufig bei Zulassungsfragen für die Bahn tätigen Prof. Dr. Hanswille von der Universität Wuppertal der entsprechenden Stelle beim Eisenbahnbundesamt zugeleitet. Über das nachfolgende Telefongespräch (bei dem es um die Abstimmung eines Gesprächstermins ging) berichtet Prof. Hanswille Folgendes:

Nach Meinung von Herrn Fiedler ist dieser Termin jedoch nicht zwingend erforderlich, da durch das EBA eine Zustimmung im Einzelfall erteilt werden kann, wenn

- ein abschließendes Gutachten zu den Einwirkungen von Herrn Prof. Niemann vorliegt,
- ein zugelassenes transparentes Element verwendet wird und für die Auflagerung in gekrümmten Pfosten eine gutachterliche Stellungnahme des für das Element zuständigen Gutachters vorliegt. Wenn der Pfosten polygonartig abschnittsweise gerade ausgeführt wird und die einzelnen Elemente auf geraden Pfostenabschnitten liegen, müssten die Voraussetzungen der Zulas-

sung des Elementes erfüllt sein, so dass keine weiteren Stellungnahmen erforderlich sind.

- eine durch einen EBA-Prüfer geprüfte statische Berechnung vorliegt.

Der Hinweis im zweiten Spiegelstrich führte zu einer Kontaktaufnahme mit der Herstellerfirma der transparenten Lärmschutzelemente (Bongard und Lind). Hierbei zeigte sich, dass der Einbau der geraden Elemente in die gebogenen Pfosten insbesondere in Bezug auf die Dichtungen und die bauliche Durchführung einige Probleme aufwirft.

#### **4. Konstruktive Einzelheiten**

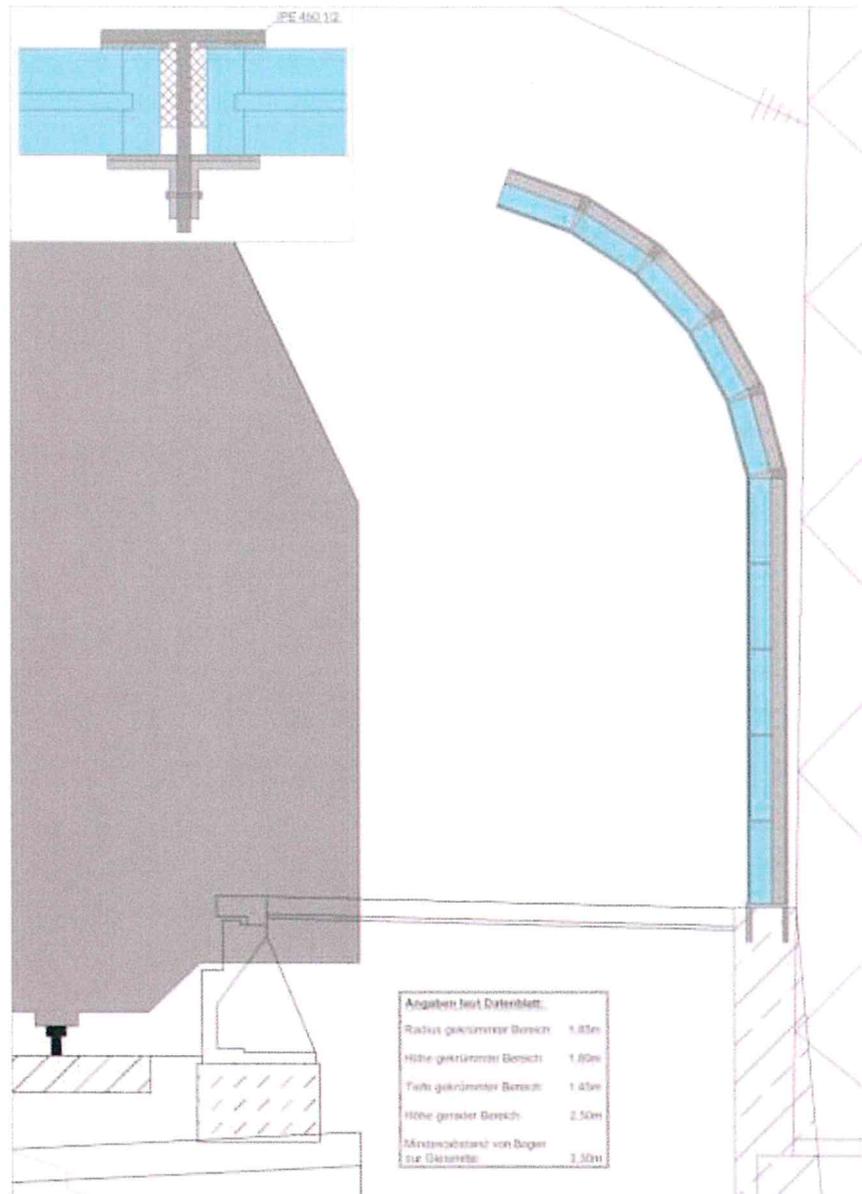
Aus dem Hinweis des EBA ergibt sich, dass für die Lagerung der Schallschutzelemente in den gekrümmten Pfosten und die dafür erforderlichen Dichtungen ein weiterer Gutachter zu beteiligen wäre (im Allgemeinen derjenige, der im Auftrag der Herstellerfirma seinerzeit die Zulassungsfähigkeit des Elements selber geprüft hat). Hinzu kommt, dass die bauliche Durchführung eher schwierig ist, weil die einzelnen Elemente zunächst durch den Bogen „eingefädelt“ werden müssten; der Bogen daher mit einer größeren Weite ausgeführt werden müsste, welche im geraden Bereich wiederum durch eine breitere Dichtung zu schließen wäre.

Im Gespräch mit der Firma Bongard und Lind ist daher der Vorschlag entwickelt worden, im gebogenen Teil der Pfosten ein T-Profil zu verwenden und die einzelnen Schallschutzelemente jeweils von der Rückseite durch Winkelschienen zu befestigen. Wenn dann der Träger nicht gebogen, sondern von vornherein als Polygon ausgebildet wird (was bei T-Trägern stahlbautechnisch einfacher ist als bei H-Profilen), können bereits zugelassene Dichtungen verwendet werden. Die Einbeziehung eines weiteren Gutachters ist dann nicht mehr erforderlich.

Die Konstruktion ändert sich dementsprechend wie aus der nachfolgenden Zeichnung ersichtlich.

In der oberen linken Ecke ist im Detail die Konstruktion für den gebogenen Teil mit T-Träger und Winkelschienen dargestellt.

Aufgrund der geänderten Konstruktion musste auch die bautechnische Überprüfung angepasst werden. Dies erfolgte mit einer ergänzenden Studie durch das Büro Niemann & Partner (Anlage 4).



## 5. Ergebnis

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass nach Lage der Dinge nichts ersichtlich ist, was gegen eine Machbarkeit einer transparenten und gebogenen Lärmschutzwand unter Verwendung zugelassener transparenter Lärmschutzelemente sprechen könnte:

- Die akustischen Daten entsprechen den Anforderungen. Die konstruktive Änderung (T-Profile im Bogenbereich) hat keinen Einfluss auf die schalltechnische Berechnung.
- Der statisch-dynamische Nachweis bezüglich der Beanspruchung durch den Bahnbetrieb ist er-

bracht worden. Die Entwicklung und Prüfung besonderer Dichtungen ist nicht erforderlich.

Das Ziel der Projektstudie bestand nicht in der Festlegung auf eine bestimmte Gestaltung oder Konstruktion, sondern in dem Nachweis, dass eine transparente Lösung für die Bahnsteige machbar ist.

Diese Machbarkeit wurde durch das Eisenbahnbundesamt nach Einsichtnahme in die vorgelegten Gutachten mit folgender E-Mail vom 24.10.2014 bestätigt:

Sehr geehrter Herr Seydel,

um aktiv zu werden und ein Verwaltungsverfahren zu eröffnen, benötige ich natürlich zunächst einen formlosen Antrag auf Zustimmung im Einzelfall für die gekrümmten Pfosten.

Mindestens gleichzeitig sollten Sie bei:

DB Netz AG

Technologiemanagement Fahrbahn

Konstruktiver Ingenieurbau (I.NVT 42(L))

Richelstraße 3

80634 München

einen Antrag auf Unternehmensinterne Genehmigung stellen.

Die Voraussetzung für die Erteilung der ZiE ist das Vorliegen der UiG.

Hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit gehe ich bei dem positiven Votum Prof. Hanswilles davon aus, dass diese gegeben ist.

Mit freundlichen Grüßen

M. Fiedler

In einem nachfolgenden Telefongespräch mit Herrn Fiedler bestand Übereinstimmung darin, dass die Einleitung eines solchen formellen Genehmigungsverfahrens erst im Rahmen der Ausführungsplanung sinnvoll wäre. Seitens des EBA bestünden ausdrücklich keine Bedenken, die Aussagen zur Machbarkeit der „Glasbogenwand“ (letzter Absatz der E-Mail) im Planfeststellungsverfahren zu verwenden.

Für den Fortgang des Planfeststellungsverfahrens ist diese grundsätzliche Bestätigung der Machbarkeit Voraussetzung dafür, dass das EBA als Planfeststellungsbehörde eine transparente Gestaltung im Bahnhofsbereich dem Grunde nach als Nebenbestimmung in die Planfeststellung aufnehmen kann. Einzelheiten der Gestaltung werden dort ohnehin nicht geregelt; eine Aufnahme wäre aber nicht möglich, wenn die Machbarkeit nicht geklärt wäre.

Weitere Untersuchungen, die zu Anfang angedacht waren (Windkanal, absorbierende Teilflächen), sind aus heutiger Sicht nicht mehr erforderlich, da der schalltechnische Nachweis auch so erbracht werden konnte und die kon-

struktiven Elemente (insbesondere die Pfosten) sich im üblichen Rahmen halten.

Die Machbarkeitsstudie ist damit abgeschlossen.

Im Nachgang wird von hier noch versucht, eine Kostenschätzung für die jetzt zu Grunde gelegte Konstruktion zu erhalten. Angesichts der relativ kurzen davon betroffenen Streckenabschnitte und der von der Bahn ohnehin sehr hoch angesetzten Kosten für den Lärmschutz scheint das aus heutiger Sicht jedoch nicht mehr von so hoher Bedeutung zu sein.

S e y d e l

Anlagen:

1. Projektidee (Mai 2013)
2. Akustische Stellungnahme zur bautechnischen Vorstudie gebogener Lärmschutzwände an der Betuwe-Strecke, Treiber Lärmschutz, Januar 2014
3. Vorstudie zum bautechnischen Entwurf von Lärmschutzwänden am DB-Bahnhof Voerde, Niemann & Partner, Bochum, Dezember 2013
4. Vorstudie zum bautechnischen Entwurf von Lärmschutzwänden am DB-Bahnhof Voerde - Erweiterung, Niemann & Partner, Bochum, September 2014.



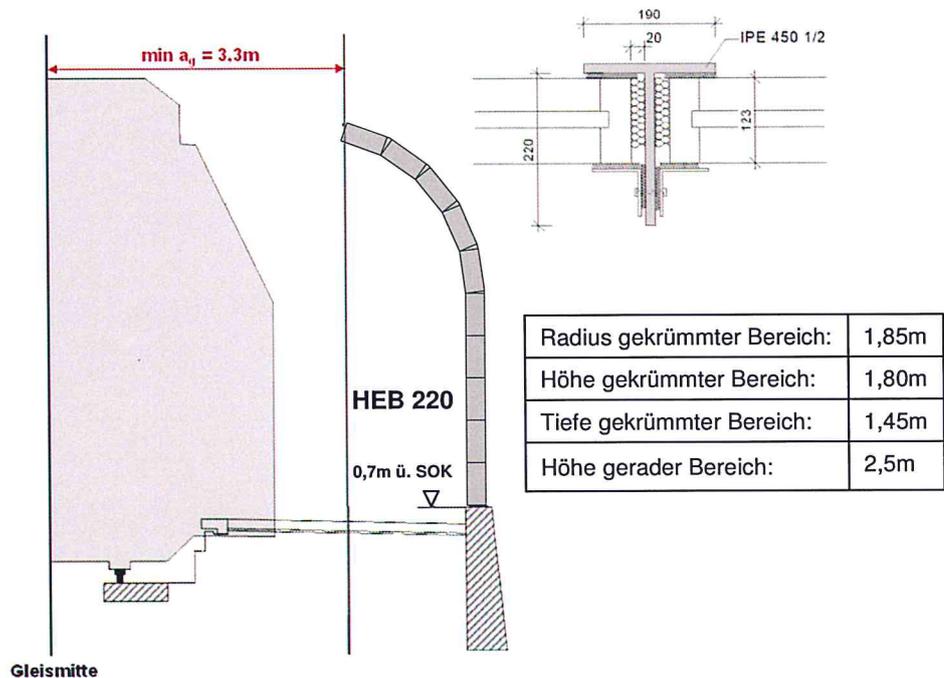
## Ingenieurgesellschaft Niemann & Partner GbR

WINDINGENIEURWESEN • BAUDYNAMIK • UMWELTECHNIK • STRÖMUNGSTECHNIK

Prof. Dr.-Ing. H.-J. Niemann, Dr.-Ing. N. Hölscher

Technologiezentrum Ruhr · Universitätsstr. 142 · D 44 799 Bochum

### VORSTUDIE ZUM BAUTECHNISCHEN ENTWURF VON LÄRMSCHUTZWÄNDEN AM DB-BAHNHOF VOERDE - ERWEITERUNG



ENDBERICHT

Bochum, im September 2014



# **VORSTUDIE ZUM BAUTECHNISCHEN ENTWURF VON LÄRMSCHUTZWÄNDEN AM DB-BAHNHOF VOERDE - ERWEITERUNG**

## **ENDBERICHT**

### **Auftraggeber:**



**Stadt Voerde**  
Der Bürgermeister  
Rathausplatz 20  
46562 Voerde

### **Auftragnehmer:**



**Ingenieuresellschaft Niemann & Partner GbR**  
Prof. Dr.-Ing. H.-J. Niemann  
Dr.-Ing. N. Hölscher

### **Mitarbeiter:**

**Ingenieuresellschaft Niemann & Partner GbR**  
Dipl.-Ing. Susanne Diburg  
Dr.-Ing. Stefan Lachmann

**Bericht:** B14-633-1

**Auftrag:** B14-633

**Bochum, September 2014**

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>1</b>
<b>1. Allgemeines</b>	<b>2</b>
1.1 Veranlassung und Aufgabenstellung	2
1.2 Verwendete Unterlagen und Literatur	6
<b>2. Geometrie der Lärmschutzkonstruktion</b>	<b>7</b>
<b>3. Abschätzung der Druck-Sog-Wirkungen aus Zugverkehr</b>	<b>10</b>
<b>4. Vorentwurfsnachweise</b>	<b>14</b>
4.1 Allgemeines	14
4.2 Einwirkungen und Einwirkungskombinationen	14
4.3 Nachweis des Pfostens nach DIN EN 1993-1-1	18
<b>5. Zusammenfassung</b>	<b>29</b>
<b>Anhang: Statische und dynamische Analyse der polygonal gekrümmten Lärmschutzwand mit der Berechnungssoftware RSTAB</b>	<b>32</b>
<b>6. Bild- und Tabellenverzeichnis</b>	<b>46</b>

## **1. Allgemeines**

### **1.1 Veranlassung und Aufgabenstellung**

Die Bahnstrecke Oberhausen – Emmerich stellt die direkte Schienenverbindung von der deutsch-niederländischen Grenze zum westlichen Ruhrgebiet her und zählt damit zu den bedeutendsten Strecken dieser Region. Auf einer Länge von insgesamt 73 km überführt sie zum einen den Güterverkehr aus dem Ballungsraum Rhein/Ruhr zur niederländischen Betuwe-Linie, die ihrerseits die Verbindung zum Rotterdamer Nordseehafen Europoort herstellt. Sie ist zum anderen Teilstrecke des internationalen Hochgeschwindigkeitsnetzes und verbindet im Nahverkehr die Region des nördlichen Niederrheins mit den Großstädten der Rheinschiene und des Ruhrgebiets.

Durch ihre besondere Bedeutung im DB-Schienennetz ist ein Ausbau der bislang zweigleisigen Streckenführung um ein weiteres Gleis geplant. Das mittlere Gleis (Strecke 2279) soll dabei den Hochgeschwindigkeitsverkehr sowie Teile des Schienengüterverkehrs aufnehmen. Die Außengleise (Strecke 2270a Richtung Emmerich, Strecke 2270b Richtung Oberhausen) sind zur Abwicklung des verbleibenden Güterverkehrs sowie des Nahverkehrs vorgesehen.

Durch den geplanten Gleisausbau ergibt sich für den DB Bahnhof der Stadt Voerde die Notwendigkeit, die baulichen Gegebenheiten vor Ort in geeigneter Weise anzupassen. Betroffen hiervon sind neben den Gleisen selbst insbesondere die Bahnsteig- sowie Schallschutzanlagen. Bild 1.1 stellt beispielhaft die erforderlichen Baumaßnahmen in roter Farbmarkierung in einer Querschnittszeichnung dar.

Zur Erzielung eines ausreichenden Schallschutzes plant die DB die Errichtung von Lärmschutzwänden an der gleisabgewandten Seite der Bahnsteige, die die Gleisanlagen über eine Länge von 180m einschließen. Eine dritte Wand ist zwischen den Gleisen vorgesehen. Die Wandhöhe beträgt an den Bahnsteigen 3m, für die Zwischenwand 4m über SOK, s. Bild 1.1. Der Lärmschutz kommt bei dem Entwurf der DB teilweise durch schallabsorbierende



Die **Ingenieurgesellschaft Niemann & Partner** wurde vor diesem Hintergrund mit der Prüfung der bautechnischen Realisierbarkeit einer gekrümmten Lärmschutzwand beauftragt. In einer ersten Untersuchungsphase ist zu diesem Zweck ein den bautechnischen Erfordernissen genügendes Profil festgelegt und baustatisch nachgewiesen worden, s. [9]. Nach Rücksprache des Auftraggebers mit dem Hersteller der Lärmschutzelemente hat sich indessen gezeigt, dass ein Einbau der Wandelemente in die gekrümmten Pfosten nicht realisierbar ist. Ebenso problematisch ist zudem die Lagerung der Elemente in den Profilen zu bewerten. Die Lärmschutzwand soll daher alternativ als polygonal gekrümmte Wand ausgeführt werden. Das vorliegende Gutachten fasst die in analoger Weise zum Erstgutachten [9] durchgeführten Untersuchungen zur bautechnischen Realisierbarkeit einer solchen Wand in allen Einzelheiten zusammen.

In Kap. 2 wird zunächst eine geeignete Wandgeometrie definiert, die sowohl den schallschutztechnischen Ansatz einer schallreflektierenden Wand als auch baulichen Erfordernissen gerecht wird. Für die bautechnische Auslegung der Lärmschutzwand sind die bei Zugvorbeifahrt induzierten Druck-Sog-Einwirkungen auf die Wände von entscheidender Bedeutung. Die für Lärmschutzanlagen an Bahnstrecken zuständige Richtlinie RiL 804.5501 [15] kann für diese Fragestellung in diesem Fall nicht unmittelbar herangezogen werden, da sie auf gerade Wände beschränkt ist. Für gekrümmte Wände sind höhere Lasten oder ungünstigere Lastverteilungen zu erwarten. Sie werden in Kap. 3 auf sicherer Seite liegend abgeschätzt. Hierzu wird in Anlehnung an RiL 804.5501 eine quasi-statische Ersatzlast definiert, die die statische als auch dynamische Wirkung der Druckstöße geeignet abbildet. Zur Erfassung der dynamischen Lastwirkung sind dabei die Schwingungseigenschaften der Bauteile und der Gesamtstruktur festzustellen. Als weitere Einwirkungen werden im Kap. 4 das Eigengewicht und die Windlast anhand der zuständigen Normen zusammengestellt. Ausgehend hiervon erfolgt unter Einbeziehung der Lasten aus Zugvorbeifahrt der bautechnische Nachweis der definierten Lärmschutzwand. Infolge des dynamischen Charakters der Einwirkungen aus Zugverkehr ist neben dem

Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit auch der Nachweis der Ermüdung zu erbringen. Kap. 5 fasst die Untersuchung schließlich in kompakter Form zusammen.

## 1.2 Verwendete Unterlagen und Literatur

### Projektunterlagen

- [1] **Entwurfszeichnungen der gebogenen Lärmschutzwand**  
Lärmschutzwand1 A4\_Querschnitt (1).pdf, Lärmschutzwand1 A4\_Ansicht und Längsschnitt (1).pdf
- [2] **Projektentwurf Glasbogenwand**  
se-Projektentwurf Glasbogenwand.docx, Planungsamt der Stadt Vorde
- [3] **Betriebsprogramm der Strecke 2270a/2270b (a: Richtung Emmerich/b: Richtung Oberhausen)**
- [4] **TM 2012-184 I.NVT 42 zu Ril 804**  
Anwendererklärung der Fa. Bongard & Lind Noise Protection GmbH & Co KG, Transparente Lärmschutzwände Typ T15-Acryl für Entwurfsgeschwindigkeiten bis 300 km/h, DB Netz AG, April 2013
- [5] **Verwendungsleitfaden Transparentes Lärmschutzelement „Typ T15-Acryl“**  
Verwendungsleitfaden der Fa. Bongard & Lind Noise Protection GmbH & Co KG
- [6] **Datenblatt Transparentes Lärmschutzelement „Typ T15-Acryl“**  
Datenblatt der Fa. Bongard & Lind Noise Protection GmbH & Co KG
- [7] **Pläne:**  
A8-0\_4-21-IB-HP-001-0.pdf: Draufsicht Bahnsteiganlage Hp Friedrichsfeld,  
A8-0\_4-21-IB-HP-002-0.pdf: Querschnitt A-A Bahnsteiganlage Hp Friedrichsfeld  
A8-0\_4-21-IB-HP-003-0.pdf: Querschnitt B-B Bahnsteiganlage Hp Friedrichsfeld  
BW 55\_Steinstraße.pdf: EÜ Steinstraße  
BW 56\_Bahnhofstraße.pdf: EÜ Bahnhofstraße
- [8] **Entwurfszeichnung der polygonal gebogenen Lärmschutzwand**  
Bm-zei-Glasbogenwand\_Mai2014.jpg, Skizze Bogen oder Polygon.pdf, Skizze Einbau m T-Träger.pdf
- [9] **Niemann, H.-J., Hölscher, N.**  
Vorstudie zum bautechnischen Entwurf von Lärmschutzwänden am DB Bahnhof Voerde, Bochum, Dezember 2013, B13 640

### Normen

- [10] **DIN EN 1991-1-4:2010-12**  
Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen, Windlasten, Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2010, Deutsches Institut für Normung e.V., Dez. 2010.
- [11] **DIN EN 1991-1-4/NA 1:2010-12**  
Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten, Dez. 2010.
- [12] **DIN EN 1993-1-1:2010-12**  
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Dez. 2010.
- [13] **DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12**  
Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Deutsches Institut für Normung e.V., Dez. 2010.
- [14] **DIN EN 1993-1-9:2010-12**  
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung, Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009, Deutsches Institut für Normung e.V., Dez. 2010.
- [15] **Richtlinie 804.5501**  
Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke– planen, bauen und instand halten): Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken, DB Netz AG, Juni 2010
- [16] **DIN-Fachbericht 101:2009-03**  
Einwirkungen auf Brücken, Deutsches Institut für Normung e.V., März 2009

## 2. Geometrie der Lärmschutzkonstruktion

Die Stadt Voerde sieht als Schallschutz am DB Bahnhof die Errichtung von transparenten Lärmschutzwänden an der gleisabgewandten Seite der Bahnsteige vor. Das geringe Schallabsorptionsvermögen von transparenten Werkstoffen wie z. B. Plexiglas macht dabei eine im Querschnitt gekrümmte Geometrie erforderlich. Sie bewirkt, dass der von der Emissionsquelle Zug ausgehende Schall durch die in Richtung der Bahngleise gekrümmte Wand in den Innenraum reflektiert und zum Teil absorbiert wird. Falls nach schalltechnischer Beurteilung erforderlich, kann der Schallschutz auf den Bahnsteigen durch zusätzliche absorbierende Elemente verbessert werden. Als geeignetes Beispiel hierzu ist die Ausstattung der Bahnsteige mit einem schallaufnehmenden Bodenbelag zu nennen.

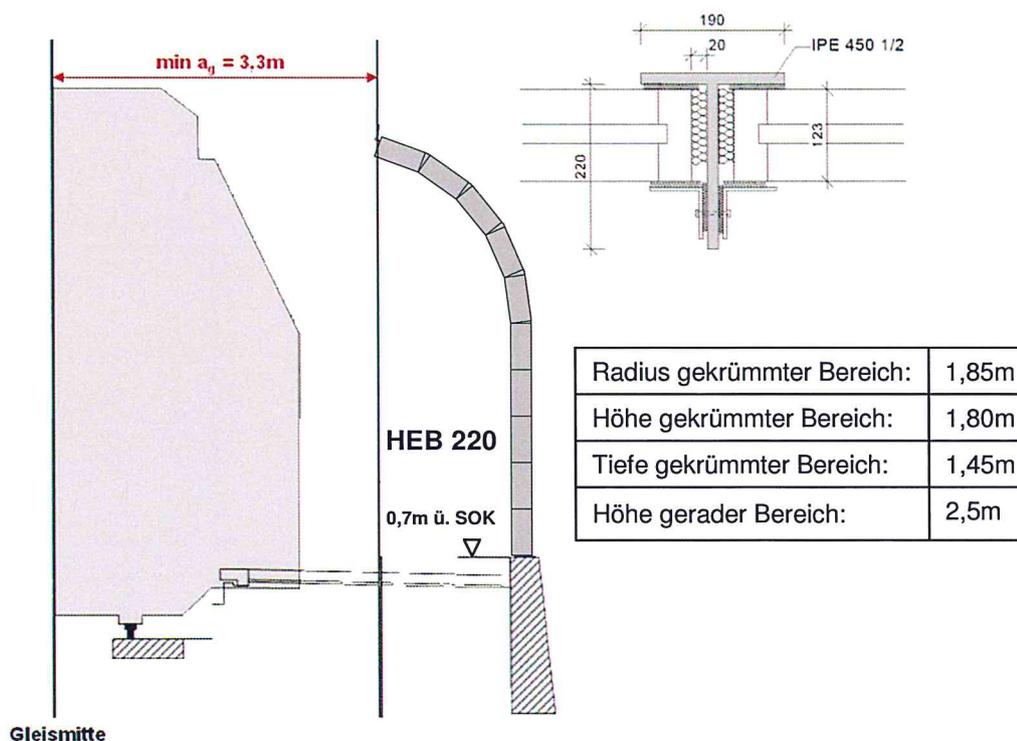


Bild 2.1: Entwurf der Lärmschutzwand

Bild 2.1 zeigt den seitens der Stadt Voerde zur Verfügung gestellten Entwurf der Lärmschutzwand [7]. Er beruht auf der im Erstgutachten ausgewählten Variante 3. Die Wand besteht demnach aus in äquidistanten Abständen von 2.5 m angeordneten und im oberen Bereich polygonal gebogenen Profilen, in die ca. 0.5 m hohe Lärmschutzelemente eingelassen werden. Die Wand weist eine Gesamthöhe von ca. 5.0 m ü. SOK auf. Der gerade ausgeführte Wandbereich erstreckt sich dabei von ca. 0.7 m ü. SOK bis ca. 3.2 m ü. SOK und besitzt einen Gleisabstand von etwa 4,75 m. Oberhalb des geraden Wandbereiches schließt der mit einem Radius von ca. 1.85 m gekrümmte Wandabschnitt an. Der kleinste Gleisabstand ergibt sich hier am Wandkopf zu ca. 3.3 m. Im geraden Wandbereich soll ein Profil HE-B 220 zum Einsatz kommen. Im Hinblick auf einen geeigneten Einbau der Wandelemente besteht der gebogene Pfostenbereich aus einem IPE 450 1½ Profil, an dessen Steg zur Fixierung der Wandelemente beidseitig 70x70x6 Winkel angeschraubt werden.

Als Lärmschutzelemente sollen nach Wunsch des Auftraggebers durch das Eisenbahnbundesamt zugelassene Elemente zum Einsatz kommen. Sie besitzen den Vorteil, dass bei ihrer Verwendung auf ein zeit- sowie kostenintensives Zulassungs- sowie Genehmigungsverfahren durch das EBA verzichtet werden darf. Im Rahmen dieses Gutachtens wird das transparente Lärmschutzelement „Typ T15-Acryl“ ([4], [5] und [6]) der Firma Bongard und Lind betrachtet. Es setzt sich aus einem umlaufenden Aluminiumrahmen zusammen, in dem das Plexiglas mit einer Nenndicke von 20mm nachgiebig gelagert ist.

Der vorstehend gezeigte Entwurf der Lärmschutzwand ist in erster Linie nach schallschutztechnischen Erfordernissen konzipiert. Er muss darüber hinaus den baulichen Anforderungen genügen, die sich aus den zuständigen Regelwerken sowie der Zulassung der Lärmschutzelemente ergeben. So fordert die RiL 804.5501 in Abschnitt 5.4.1 die Einhaltung folgender Anwendungsbedingungen:

- Statisch bestimmte Pfosten-Wandelement-Konstruktion
- Pfostenabstand:  $\leq 5.00$  m
- Wandhöhe über Schienenoberkante:  $\leq 5.00$  m
- vernachlässigbar geringe Torsion der Wandelemente
- keine weiteren dynamischen Einwirkungen

Bei Beachtung der Bedingungen darf das vereinfachte Verfahren mit quasi-statischen Ersatzlasten zur Ermittlung der Druck-Sog-Einwirkung aus Zugverkehr herangezogen werden. Andernfalls wird eine aufwändige dynamische Analyse auf Grundlage des analytischen Lastbildes nach Abschnitt 2 des Anhangs 5 erforderlich, das automatisch eine unternehmensinterne Genehmigung (UiG) der DB Netz AG nach sich zieht.

Für den vorliegenden Wandentwurf sind die Bedingungen bei Verwendung des Schallschutzelements Typ T15-Acryl erfüllt. Im zugehörigen Datenblatt [6] ist insbesondere ausdrücklich vermerkt, dass die Wandelemente als torsionsweich unterstellt werden dürfen. Aus der EBA-Zulassung 21.51-21 izbia/012-2101#039-(053/10-ZUL) der Lärmschutzelemente ergibt sich der folgende Anwendungsbereich:

- Wandhöhe über Schienenoberkante:  $\leq 5.00$  m
- Minimaler Gleisabstand:  $a_g \geq 3.3$  m
- Regelpfostenabstand:
  - $\leq 5.00$  m (Wände auf freier Strecke)
  - $\leq 2.50$  m (Wände auf Ingenieurbauwerken)
- Pfostenprofile: Vorzugsweise HE\_Reihe (HE\_160 bis HE\_240) bzw. Sonderprofile mit gleichem Einbauaum
- Zuggeschwindigkeiten:  $\leq 300$  km/h bei ein- oder beidseitigem Zugverkehr

Der Entwurf gemäß Bild 2.1 erfüllt die o. a. Anforderungen.

### 3. Abschätzung der Druck-Sog-Wirkungen aus Zugverkehr

Der Zugverkehr ruft auf entlang einer Bahnstrecke angeordneten Lärmschutzwänden eine ausgeprägt zeitvariante Belastung hervor, die diese statisch und dynamisch stark beansprucht. Zur Verdeutlichung der besonderen Charakteristik der Belastung gibt Bild 3.1 das in Abschnitt 2 des Anhangs 5 der RiL 804.5501 für gerade Wände zur Verfügung gestellte, analytische Lastbild in einer 3D-Darstellung wieder. Die zugehörigen Drücke sind mit dem Höchstwert der Drücke normiert und beziehen sich auf einen Wandabstand von  $a_g = 3.8$  m sowie eine Wandhöhe von 5.0m.

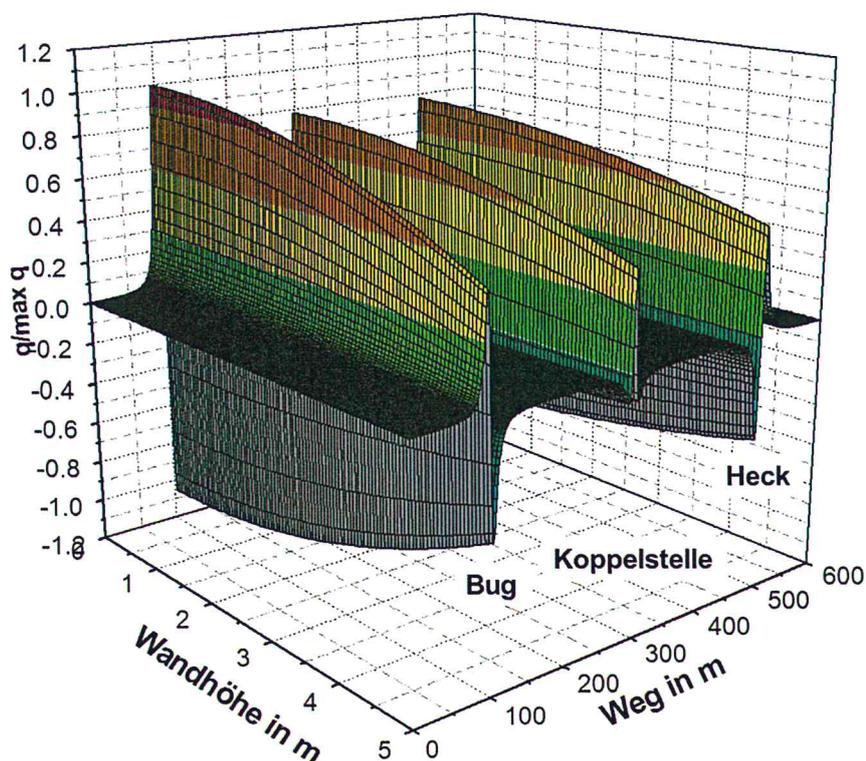


Bild 3.1: Charakteristischer Verlauf der Druck-Sog-Einwirkungen infolge Zugverkehr bei geraden Wänden  
Gleisabstand  $a_g = 3.8$  m, Wandhöhe 5.0m über SOK

Der Druckverlauf setzt sich aus drei impulsartigen Lasten der charakteristischen Druckereignisse Bugwelle, Koppelstelle der Zugteile und Heckwelle zusammen. Die betragsmäßig größten Wanddrücke liefert der Druck-Sog-Wechsel infolge des Zugkopfes, bei dem der Druck- und der Sogbereich einen nahezu identischen Zeitverlauf

aufweisen. Die Druckereignisse der Koppelstelle und des Heckbereichs verhalten sich bezüglich ihrer zeitlichen Entwicklung ähnlich der Bugwelle, allerdings sind die Amplitudenwerte deutlich geringer. Die Heckwelle ist aufgrund des umgekehrten Effekts der Luftverdrängung durch einen Sog-Druck-Wechsel ausgezeichnet.

Bei allen drei Ereignissen ist eine Abnahme der Drücke mit zunehmender Wandhöhe zu beobachten. Die größten Drücke ergeben sich folglich auf Höhe Schienenoberkante, während die kleinsten Drücke am Wandkopf resultieren.

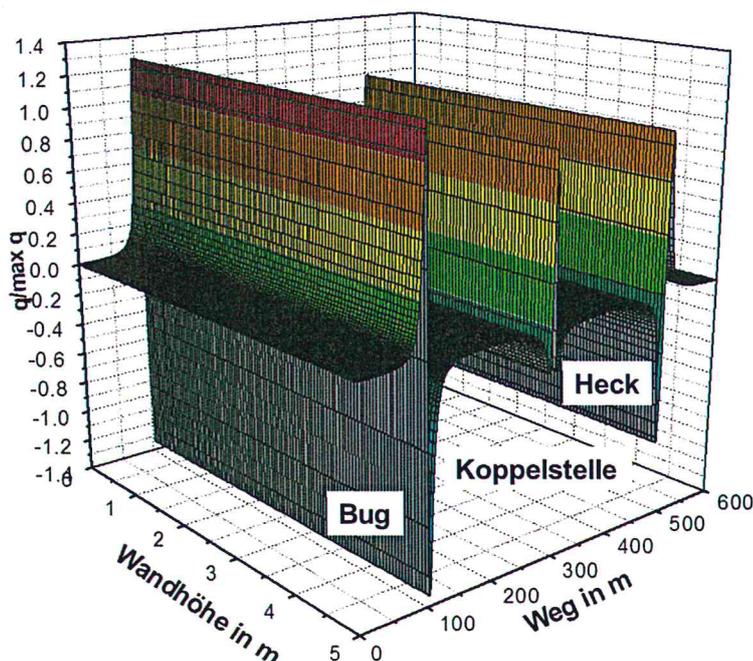


Bild 3.2: Abschätzung für den Verlauf der Druck-Sog-Einwirkungen infolge Zugverkehrs bei gekrümmten Wänden

*Gleisabstand  $a_g = 3.3$  m, Wandhöhe 5.0m über SOK*

Infolge der polygonal gekrümmten Wandgeometrie sind für die zu untersuchende Variante 3 abweichende Lasten aus Zugverkehr zu erwarten. Dabei wird sich die Druckverteilung über die Höhe gegenüber einer geraden Wand ändern. Insbesondere kommt der Druckausgleich über den Wandkopf hinweg, der bei einer geraden Wand eine Druckabnahme bewirkt, hier nicht mehr in vollem Umfang zum Tragen. Als sichere Abschätzung werden daher folgende Annahmen unterstellt:

- Der Druck behält den Maximalwert in SOK über die gesamte Wandhöhe bei.
- Zur Ermittlung des Druckes in SOK wird der kleinste Gleisabstand der gekrümmten Wand an OK-Wand von  $a_g = 3,3$  m in Ansatz gebracht.

Mit diesen Annahmen ergibt sich der in Bild 3.2 gezeigte Druckverlauf. Er ist im Verlauf über die Wandhöhe wiedergegeben. Der tatsächliche Druckverlauf über die Wandhöhe und die Wandlänge kann bei der gekrümmten Wand im Vergleich zur geraden Wand von Bild 3.2 abweichen. Er ist ggf. zutreffend zu ermitteln.

Für die Vorbemessung im Rahmen dieses Gutachtens wird die statische Ersatzlast gemäß RiL 804.5501 [15] benutzt. Das ist aufgrund der auf Seite 9 bis 10 aufgeführten geometrischen Eigenschaften bei gerader Wand zulässig. Da es sich hier um den Sonderfall einer gekrümmten Wand handelt, wird für die Ausführungsplanung empfohlen, Zeitverlaufsrechnungen durchzuführen. Dazu ist zu empfehlen, dass die tatsächliche Druckverteilung an der gekrümmten Wand geklärt ist.

RiL 804.5501 [15] stellt im Abschnitt 5.4.1 einen geeigneten Lastansatz für gerade Wände zur Verfügung. Er beruht auf dem in Anhang 5 ausgewiesenen analytischen Lastbild und ist wie folgt definiert:

$$q_{DS} = \pm \varphi_L \cdot \varphi_H \cdot \varphi_{dyn} \cdot q_k$$

Dabei sind

$\varphi_L$  – Längenbeiwert nach [15], Tabelle 1

$\varphi_H$  – Höhenbeiwert nach [15], Tabelle 2;

$\varphi_{dyn}$  – Dynamikbeiwert nach [15], Bild 1

$q_k$  - Maximaldruck bzw. Minimalsog analog zum DIN Fachbericht [16]

Die Ersatzlast wird unter Einbeziehung der vorstehend aufgeführten Gründe auf gekrümmte Wände übertragen, indem der Höhenbeiwert für alle Höhen  $z$  konstant zu 1.0 gesetzt wird. Sie ist auch für polygonal näherungsweise gekrümmte Ausführungen geeignet.

Zur Ermittlung des Dynamikbeiwertes wird dabei die Eigenfrequenz des Pfostens benötigt. Die Eigenfrequenzberechnung erfolgt für die gewählten Profile mit dem Programm RSTAB, s. Anhang. Als mit-schwingende Massen finden das Eigengewicht der Pfosten, der angeschraubten Winkel sowie der Lärmschutzelemente Berücksichtigung. Zur Modellierung der Wandausführungen auf Brückenbauwerken sowie Bohrpfählen wird die Einspannung des Pfostens in den Boden dabei als voll eingespannt unterstellt. Die zugehörige Eigenfrequenz ergibt sich dabei zu 6.53 Hz.

Tabelle 3.1 fasst den Berechnungsgang zur Ermittlung der Ersatzlast mit den benötigten Angaben zusammen. Sie gelten für Züge ungünstiger aerodynamischer Form sowie für eine dem Betriebsprogramm der Strecke 2270a/b [3] entnommenen Zuggeschwindigkeit von max. 160 km/h.

Tabelle 3.1: Vereinfachte statische Ersatzlast

	Bemessung der Stützen
Längenbeiwert $\varphi_L$	1.49
Höhenbeiwert $\varphi_H$	1.00
Dynamikbeiwert $\varphi_{dyn}$	1.268
Horizontaler Abstand zwischen Laststellungen maximaler Bauteilbeanspruchungen $S_{DS}$	8.8m
Verhältniswert $\kappa_t$	1.293
Maximaldruck aus Zugvorbeifahrt $q_{1,k}$	0,269 kN/m <sup>2</sup>
<b>Quasi-statische Ersatzlast <math>q_{DS}</math></b>	<b>0,509 kN/m<sup>2</sup></b>

## 4. Vorentwurfsnachweise

### 4.1 Allgemeines

Im Hinblick auf eine ausreichende Zuverlässigkeit der Lärmschutzwände ist der Nachweis zu erbringen, dass alle während der vorgesehenen Nutzungsdauer aufgeprägten Einwirkungen durch die Wandelemente aufgenommen und über die Pfosten sicher in den Baugrund abgetragen werden. Im Folgenden werden zunächst die relevanten Einwirkungen für die in Kap. 2 festgelegte Wandgeometrie zusammengestellt. Ausgehend hiervon erfolgt auf der Grundlage geeigneter Einwirkungskombinationen der baustatische Nachweis der polygonal gekrümmten Pfosten und ihrer Anschlüsse. Dabei wird eine Anschlusskonstruktion gewählt, die sowohl bei Ausführungen auf Brückenbauwerken als auch bei auf Bohrpfehlen aufgeständerten Wänden Verwendung finden kann. Auf einen expliziten Nachweis der Wandelemente darf dabei verzichtet werden. Gemäß Abschnitt 5 des Verwendungsleitfadens der Herstellerfirma [5] können die statische Tragfähigkeit und Ermüdungssicherheit der Elemente bei der hier vorliegenden Standardanwendung (Wandhöhe  $\leq 5,0$  m,  $v_{Zug} \leq 160$  km/h, Gleisabstand  $a_g \geq 3,3$ m) als erfüllt angesehen werden.

### 4.2 Einwirkungen und Einwirkungskombinationen

#### ***Einwirkungen aus dem natürlichen Wind***

Die natürliche Windströmung ruft auf den Lärmschutzwänden eine senkrecht gerichtete Windbelastung hervor, die sich gemäß Windlastnorm DIN EN 1991-1-4 ([10] und [11]) über folgende Bestimmungsgleichung ermittelt:

$$q_w = c_{p,net} \cdot q_p(z_e) = c_{p,net} \cdot c_e(z_e) \cdot q_b$$

Dabei ist

$q_w$ : Resultierender Böendruck auf die Lärmschutzwand

$q_b$ : Basiswindgeschwindigkeitsdruck in  $\text{kN/m}^2$

Für die der Windzone 2 zuzuordnende Stadt Voerde resultiert ein Wert von  $q_b = q_{b,0} = 0.39 \text{ kN/m}^2$ .

$c_e(z_e)$ : Geländefaktor

Der Bahnhof Voerde ist in eine nicht durchgängig städtisch geprägte Umgebung eingebettet, die der normgemäßen Geländekategorie III mit einem Geländefaktor von  $c_e(z_e) = 1.6 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0.31}$  entspricht.

$c_{p,net}$ : aerodynamischer Nettodruckbeiwert

Der aerodynamische Druckbeiwert wird entsprechend *Abschnitt 7.4.1: Freistehende Wände und Brüstungen* festgelegt. Unter Annahme eines Verhältnis von Wandlänge zu -höhe von  $l/h \geq 10$  sowie des Wandbereiches C resultiert ein Beiwert von  $c_{p,net} = 1.7$ . Er deckt die im Mittenbereich der Lärmschutzwand aufgeprägten Windlasten sicher ab. In den Endbereichen treten höhere Belastungen auf, die gegebenenfalls eine Verstärkung des nachfolgend festgelegten Profils erforderlich machen. Zur Beurteilung der generellen Machbarkeit der Lärmschutzwand wird im Rahmen dieser Vorstudie ausschließlich der Mittenbereich betrachtet.

$z_e$ : Bezugshöhe des Nettodruckes, hier  $z_e = h = 10.0 \text{ m}$

Unter Einbeziehung der vorstehend getroffenen Annahmen ergibt sich der Böendruck auf die zu untersuchende Lärmschutzwand zu:

$$q_w = c_{p,net} \cdot c_e(z_e) \cdot q_b = 1.7 \cdot 1.6 \cdot \left(\frac{10}{10}\right)^{0.31} \cdot 0.39 \text{ kN/m}^2 = 1.061 \text{ kN/m}^2$$

### ***Druck-Sogeinwirkungen infolge Zugvorbeifahrt***

Gemäß Kap. 3 ist zur Erfassung der Druck-Sog-Einwirkungen aus Zugverkehr eine quasi-statische Ersatzlast von  $q_{DS} = \pm 0.509 \text{ kN/m}^2$  zu berücksichtigen.

### **Eigengewicht**

Neben dem Eigengewicht der Stahlpfosten ist das Gewicht der aus Acrylglas gefertigten Lärmschutzelemente einzubeziehen. Im Einzelnen gelten für die weiteren Berechnungen folgende Annahmen:

- Eigengewicht Pfosten:

*Polygonal gekrümmter Bereich*

IPE 450 ½ + 2 L 70x70x6 mit einem Eigengewicht von 38.8 kg/m + 12.76 kg/m

*Gerader Wandbereich*

HE-B 220 mit einem Eigengewicht von 71.5 kg/m

- Das Gesamtgewicht des sich aus Aluminiumrahmen und Acrylglasfüllung zusammensetzenden Lärmschutzelementes beläuft sich gemäß zugehörigem Datenblatt [6] auf 59,0kg.

### **Einwirkungskombinationen**

Zur Ermittlung der Beanspruchungen in den Pfosten sind die aufgeprägten Einwirkungen nach bestimmten Kombinationsregeln zu überlagern. Die für Lärmschutzanlagen an Bahngleisen zuständige Richtlinie 804 [15] sieht für die rechnerische Untersuchung gegenüber Festigkeitsversagen folgende zwei Einwirkungskombinationen vor:

#### Einwirkungskombination 1:

$$E_d = E(\gamma_G \cdot g + \gamma_{F,w} \cdot q_w)$$

#### Einwirkungskombination 2:

$$E_d = E(\gamma_G \cdot g + \gamma_{F,DS} \cdot q_{DS} + \psi_{0,w} \cdot \gamma_{F,w} \cdot q_w)$$

Tabelle 4.1 stellt die in die jeweiligen Einwirkungskombinationen einzubringenden Teilsicherheits- und Kombinationsbewerte in tabellarischer Form zusammen.

Tabelle 4.1: Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Einwirkung	Teilsicherheitsbeiwert	Kombinationsbeiwert
Eigengewicht g	$\gamma_g = 1,35$	/
Druck- und Sogeinwirkungen aus Zugverkehr	$\gamma_{F,DS} = 1,3$	/
Windeinwirkungen	$\gamma_{F,w} = 1,5$	$\Psi_{0,w} = 0,6$

Die Ermittlung der Schnittgrößen zu den zwei zu betrachtenden Einwirkungskombinationen erfolgt mit der Berechnungssoftware RSTAB unter Zugrundelegung der Theorie II. Ordnung, s. Anhang. Seite 38 bzw. Seite 39 stellen die aus den jeweiligen Kombinationen resultierenden Schnittgrößen in graphischer Form zusammen.

Für den Ermüdungsnachweis werden für die maßgeblich gefährdeten Tragwerkspunkte zudem die Schnittgrößen aus den charakteristischen Lasten bei Zugvorbeifahrt benötigt. Sie ergeben sich am Stützenfuß (Nachweispunkt 1) sowie am Übergang gekrümmter zu geradem Wandbereich (Nachweispunkt 2) gem. Seite 37 dabei wie folgt:

- Druck-Sogeinwirkungen infolge Zugvorbeifahrt:

Nachweispunkt 1

$$N_{DS,k} = -1.92\text{kN}, V_{z,DS,k} = -5.59\text{kN}, M_{y,DS,k} = 13.88\text{kNm}$$

Nachweispunkt 2

$$N_{DS,k} = -1.58\text{kN}, V_{z,DS,k} = -2.64\text{kN}, M_{y,DS,k} = 3.86\text{kNm}$$

#### 4.3 Nachweis des Pfostens nach DIN EN 1993-1-1

##### *Grenzzustand der Tragfähigkeit*

##### Nachweis des Querschnittes

Zum Nachweis der Pfosten gegenüber den Einwirkungskombinationen 1 und 2 wird das RSTAB-Zusatzmodul RF-/STAHL EC3 „Bemessung nach Eurocode 3“ angewendet. Die auf Seite 41 unten dargestellte Isometrie fasst die stabweise durchgeführten Nachweise in Form des Ausnutzungsgrades der Beanspruchbarkeiten der jeweiligen Querschnitte zusammen. Die Ausnutzungsgrade im gesamten Pfosten liegen mit einem Maximalwert von 0.5 dabei deutlich unter 1.0.

⇒ **Die gewählten Querschnitte können den Beanspruchungen sicher widerstehen**

##### Stabilitätsnachweis

##### Stabilitätsnachweise:

Aufgrund der geringen Normalkraft in den Pfosten werden die Stabilitätsnachweise nach DIN EN 1993-1-1: 2010-12, Kapitel 6.3.1.1 und 6.3.2.1 geführt.

##### HEB 220: (Biegeknicken)

gemäß EDV-Berechnung:  $N_{cr} = 7,00$  (LK2)

$$N_{cr} = 18,47 \cdot 7,00 = 129,29 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \left( 2139 / 129,29 \right)^{1/2} = 4,067$$

$$KL_c \Rightarrow \alpha = 0,49$$

$$\bar{\Phi} = 0,5 \cdot \left( 1 + 0,49 \cdot (4,067 - 0,2) + 4,067^2 \right) = 9,717$$

$$\chi = 1 / \left( 9,717 + (9,717^2 - 4,067^2)^{1/2} \right) = 0,054 < 1,0$$

$$N_{b,Rd} = 0,054 \cdot 2139 / 1,1 = 105,0 \text{ kN}$$

$$NW: 18,47 / 105,0 = 0,176 < 1,0$$

HEB 220: (Biegedrillknicken)

$$M_{cr} = 47,92 \cdot 7,00 = 335,44 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left( 194,4 / 335,44 \right)^{1/2} = 0,761$$

$$KL_a \Rightarrow \alpha_{LT} = 0,21$$

$$\bar{\Phi}_{LT} = 0,5 \cdot \left( 1 + 0,21 \cdot (0,761 - 0,2) + 0,761^2 \right) = 0,848$$

$$\chi_{LT} = 1 / \left( 0,848 + (0,848^2 - 0,761^2)^{1/2} \right) = 0,818 < 1,0$$

$$M_{b,Rd} = 0,818 \cdot 194,4 / 1,1 = 144,56 \text{ kNm}$$

$$NW: 47,92 / 144,56 = 0,331 < 1,0$$

1/2 IPE 450: (Biegeknicken)

$$N_{cr} = 12,02 \cdot 7,00 = 84,14 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \left( 98,82 \cdot 23,5 / (2 \cdot 84,14) \right)^{1/2} = 3,715$$

$$KLc \Rightarrow \alpha = 0,49$$

$$\Phi = 0,5 \cdot \left( 1 + 0,49 \cdot (3,715 - 0,2) + 3,715^2 \right) = 0,262$$

$$\chi = 1 / \left( 0,262 + (0,262^2 - 3,715^2)^{-1/2} \right) = 0,064$$

$$N_{b,Rd} = 0,064 \cdot 98,82 \cdot 23,5 / (2 \cdot 1,1) = 67,55$$

$$NW: 12,02 / 67,55 = 0,178 < 1,0$$

1/2 IPE 450: (Biegedrillknicken)

$$M_{cr} = 15,99 \cdot 7,00 = 111,93 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left( 128,92 \cdot 23,5 / 111,93 \right)^{1/2} = 5,203$$

$$KLd \Rightarrow \alpha_{LT} = 0,76$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left( 1 + 0,76 \cdot (5,203 - 0,2) + 5,203^2 \right) = 15,937$$

$$\chi_{LT} = 1 / \left( 15,937 + (15,937^2 - 5,203^2)^{-1/2} \right) = 0,032 < 1,0$$

$$M_{b,Rd} = 0,032 \cdot 128,92 \cdot 23,5 / 1,1 = 88,13 \text{ kNm}$$

$$NW: 15,99 / 88,13 = 0,181 < 1,0$$

⇒ Die Stabilität des Pfostens ist sichergestellt

Nachweis der Schraubverbindung der Winkelprofile

Die Plexiglas-Elemente werden mit Winkelprofilen fixiert. Die Elementlänge beträgt 50 cm.

gewählt: 

3 Schrauben M12, 4.6
----------------------

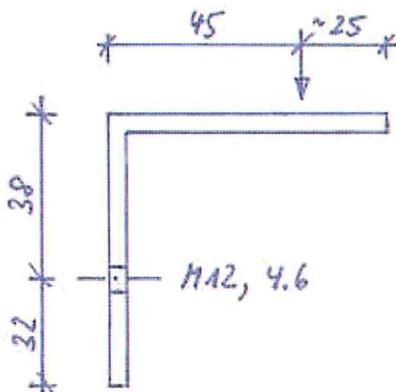
Einzugsbreite je Schraube  $a = 50/3 = 16,67 \text{ cm}$

Lastannahmen:  $q_d = 1,5 \cdot 2,653 = 3,98 \text{ kN/m}$

bzw.  $= 1,3 \cdot 1,272 + 0,9 \cdot 2,653 = 4,04 \text{ kN/m}$

Konstr. gewählt:

Winkel 70x70x6, S235
----------------------



$$M_{d,wi} = \frac{4,04}{2} \cdot 0,1667 \cdot 4,5 \approx 1,52 \text{ kNm}$$

$$W_{wi} = 16,67 \cdot 0,6^2 / 6 = 1,00 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_d = 1,52 / 1,00 = 1,52 \text{ kN/cm}^2 \ll 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

Schraubenkräfte:

$$F_{V,Ed} = \frac{4,04}{2} \cdot 0,1667 = 0,337 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} \approx \frac{4,04}{2} \cdot \frac{4,5}{2,7} \cdot 0,1667 = 0,561 \text{ kN}$$

$$NW: 0,337 / 24,3 + 0,561 / (1,4 \cdot 21,7) = 0,032 \ll 1,0$$

Ermüdungsnachweis entfällt aufgrund der geringen Lasten.

Nachweis der Anschlusskonstruktion

Die Verankerung der gebogenen Pfosten wird durch eine am Stützenfuß angeschweißte Fußplatte realisiert, die über Zuganker mit der Unterkonstruktion verbunden wird:

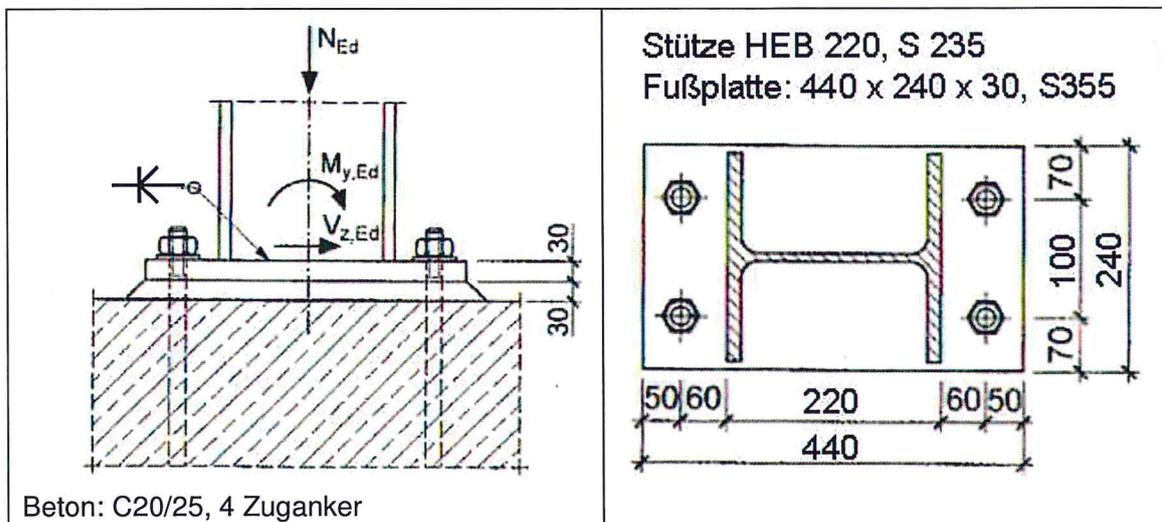


Bild 4.1: Anschlusskonstruktion des Pfostens

$$e_1 = 50\text{mm}, e_2 = 70\text{mm}, p_1 = 340\text{mm}, p_2 = 100\text{mm}$$

Die maßgebenden Schnittgrößen resultieren aus der Lastkombination 2:

$$N_{Ed} = 18.47; V_{Ed} = 17.75 \text{ kN}; M_{Ed} = 47.92\text{kNm}$$

- Resultierende Zug- und Druckkraft:

$$a_D = (22.0 - 1.6) / 2\text{cm} = 10.2\text{cm}$$

$$a_Z = (22.0 / 2 + 6.0)\text{cm} = 17.0\text{cm}$$

$$F_1 = \frac{N_d}{2} - \frac{M_{yd}}{2 \cdot a_D} = \frac{18.47\text{kN}}{2} - \frac{47.92 \cdot 100\text{kN}}{2 \cdot 10.2} = -225.67\text{kN}$$

$$F_2 = \frac{N_d}{2} + \frac{M_{yd}}{2 \cdot a_D} = \frac{18.47\text{kN}}{2} + \frac{47.92 \cdot 100\text{kN}}{2 \cdot 10.2} = 244.14\text{kN}$$

Zugkraft in den Zugankern

$$Z_1 = \frac{-2 \cdot F_1}{1 + a_z / a_D} = \frac{-2 \cdot 225.67 \text{ kN}}{1 + 17.0 / 10.2} = 169.25 \text{ kN}$$

Druckkraft auf den Beton

$$D_2 = N + Z_1 = 18.47 \text{ kN} + 169.25 \text{ kN} = 187.72 \text{ kN}$$

- Bemessung der Zuganker:

gewählt: Zuganker M20 der Festigkeit 5.6

Nachweis der Tragsicherheit auf Zug:

$$F_{t,Ed} = \frac{Z_1}{2} = \frac{169.25 \text{ kN}}{2} = 84.63 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 88.2 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{84.63 \text{ kN}}{88.2 \text{ kN}} = 0.96 \leq 1 \quad \checkmark$$

$$B_{p,Rd} = 171 \text{ kN} \cdot 3 = 513 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{84.63 \text{ kN}}{513 \text{ kN}} = 0.165 \leq 1 \quad \checkmark$$

Nachweis der Tragsicherheit auf Abscheren:

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{zd}}{4} = \frac{17.75 \text{ kN}}{4} = 4.44 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 58.8 \text{ kN} \quad (\text{Scherfuge im Gewinde})$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{4.44 \text{ kN}}{58.8 \text{ kN}} = 0.075 \leq 1 \quad \checkmark$$

Nachweis der Tragsicherheit auf Lochleibung:

$$e_2 = 70 \text{ mm} \geq 1.5 \cdot d_0 = 1.5 \cdot 22 \text{ mm} = 33 \text{ mm}$$

$$p_2 = 100 \text{ mm} \geq 3.0 \cdot d_0 = 3.0 \cdot 22 \text{ mm} = 66 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd}(e_1 = 50\text{mm}) = 109\text{kN} \cdot 3 = 327\text{kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{4.44\text{kN}}{327\text{kN}} = 0.014 \leq 1 \quad \checkmark$$

*Nachweis der Tragsicherheit auf Zug und Abscheren:*

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{4.44\text{kN}}{58.8\text{kN}} + \frac{84.63\text{kN}}{1.4 \cdot 88.2\text{kN}} = 0.76 \leq 1 \quad \checkmark$$

- Nachweis der Tragsicherheit der Fußplatte

Biegemoment an der Außenkante des Stützengurtes:

$$M_{Ed} = Z_1 \cdot 0.06\text{m} = 169.25\text{kN} \cdot 0.06\text{m} = 10.16\text{kNm}$$

$$V_{Ed} = Z_1 = 169.25\text{kN}$$

Der Nachweis erfolgt über die Interaktionsbedingung

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1$$

$$M_{pl,Rd} = 24 \cdot 3^2 \cdot 35.5 / 6 = 1278\text{kNcm} = 12.78\text{kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = 24 \cdot 3 \cdot 35.5 / \sqrt{3} = 1475.71\text{kN}$$

$$\frac{169.25\text{kN}}{1476\text{kN}} + \frac{10.16\text{kNm}}{12.78\text{kNm}} = 0.91 \leq 1 \quad \checkmark$$

- Nachweis der Tragsicherheit der Lagerfuge

Grenzpressung des Fugenmörtels:

$$\min f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot 0.85 \cdot \frac{25.0}{1.5} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 9.44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$A_{eff} = b_{eff} \cdot l_{eff} = (2c + t_f) \cdot l = (2 \cdot 11 + 1.6) \cdot 24\text{cm}^2 = 566.4\text{cm}^2$$

$$\sigma_c = \frac{D_2}{A_{eff}} = \frac{187.72\text{kN}}{566.4\text{cm}^2} = 0.33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq f_{jd} = 9.44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \checkmark$$

- Nachweis der Schweißnähte Stütze-Fußplatte

Querschnitt der Schweißnähte entspricht bei Doppel-HV-Naht dem Profilquerschnitt

$$A_w = 91.0 \text{ cm}^2, I_{y,w} = 8090 \text{ cm}^4, W_{y,w} = 736 \text{ cm}^3$$

Nachweis Flanschnaht:

$$\sigma_{w,Ed} = \sigma_{\perp,Fl} = \frac{18.47 \text{ kN}}{91.0 \text{ cm}^2} + \frac{47.92 \text{ kNm}}{736 \text{ cm}^3} = 6.71 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq f_{vw,d} = 20.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \checkmark$$

Nachweis Stegnaht:

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{\perp,St}^2 + \tau_{II}^2}$$

$$\sigma_{\perp,St} = \frac{18.47 \text{ kN}}{91.0 \text{ cm}^2} + \frac{47.92 \text{ kNm}}{8090 \text{ cm}^3} \cdot 9.4 \text{ cm} = 5.77 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{II,St} = \frac{17.75 \text{ kN}}{0.95 \cdot 18.8 \text{ cm}^2} = 0.99 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{5.77^2 + 0.99^2} = 5.85 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq f_{vw,d} = 20.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \checkmark$$

### ***Nachweis der Ermüdungssicherheit***

Die impulsartige Belastung der Lärmschutzwände bei Zugvorbeifahrt verursacht in den Pfosten eine nicht periodische Schwingbeanspruchung mit unterschiedlichen Spannungsschwingbreiten  $\Delta\sigma_i$ . Die einzelnen Spannungszyklen werden durch die Druck-Sog-Wechsel an Bug, Koppelstelle und Heck des Zuges hervorgerufen. Dabei verursacht die Bugwelle die größten Beanspruchungen mit maximaler Spannungsdoppelamplitude  $\Delta\sigma_{\max,B}$  und höchster Schwingspielzahl. Die an Kuppelstelle und Heck induzierten Wechselbeanspruchungen sind im Vergleich weniger stark ausgeprägt, jedoch hinsichtlich ihrer Größe und Anzahl von vergleichbarer Größenordnung.

Zur Sicherstellung einer ausreichenden Tragfähigkeit der Pfosten während der gesamten Lebensdauer ist entsprechende Ril 804.5501 der Nachweis der Ermüdung unter Berücksichtigung aller Lastwechsel zu führen. Dabei ist für die maßgebenden Kerbstellen des Stahlprofils die Dauerfestigkeit nachzuweisen. Eine Überhöhung der Lastwirkung der einzelnen Belastungsereignisse durch dynamische Effekte ist bei der Ermittlung der Wechselbeanspruchung zu berücksichtigen.

Der Dauerfestigkeitsnachweis für ermüdungsbeanspruchte Stahlbauten ist in DIN EN 1993-1-9:2010-12 [14] dargelegt. Er wird im Folgenden für die Pfosten der gekrümmten Wandkonstruktion durchgeführt. Die Ermittlung der ermüdungsrelevanten Beanspruchungen erfolgt auf Grundlage der in Kap. 3 zusammengestellten Einwirkungen aus Zugverkehr. Einwirkungen aus Eigengewicht und Wind brauchen nicht berücksichtigt zu werden.

- Kerbfälle der Nachweisquerschnitte:

**Nachweisquerschnitt 1** = Anschluss des Pfostens an die Fußplatte

Gem. Tabelle 8.5, Zeile 1 der DIN EN 1993-1-9 mit  $l = 30\text{mm} < 50\text{mm}$  Kerbfallgruppe 80:  $\Rightarrow \Delta\sigma_c = 8 \text{ kN/cm}^2$

**Nachweisquerschnitt 2** = Profilwechsel beim Übergang gerader zu gekrümmtem Wandbereich

Gem. Tabelle 8.3, Zeile 2, Ziffer 6 der DIN EN 1993-1-9  
Kerfallgruppe 90:  $\Rightarrow \Delta\sigma_c = 9 \text{ kN/cm}^2$

(Schweißnähte zwischen polygonalen Segmenten sind als Stumpfnähte ohne Freischnitte auszuführen)

- Ermittlung der maximalen Doppelspannungsamplitude infolge der Bugwelle in den Nachweisquerschnitten:

Nachweisquerschnitt 1 (HEB 220):

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{\max,1} &= \frac{M_{y,DS,k} \cdot 2}{W_y} + \frac{N_{DS,k} \cdot 2}{A} = \frac{13.88 \cdot 100 \text{ kNm} \cdot 2}{736 \text{ cm}^3} + \frac{1.92 \cdot 2}{91.0 \text{ cm}^2} \\ &= 3.81 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\end{aligned}$$

Nachweisquerschnitt 2 (IPE 450 1/2):

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{\max,2} &= \frac{M_{y,DS,k} \cdot 2}{W_y} + \frac{N_{DS,k} \cdot 2}{A} = \frac{3.86 \cdot 100 \text{ kNm} \cdot 2}{129 \text{ cm}^3} + \frac{1.58 \text{ kN} \cdot 2}{49.4 \text{ cm}^2} \\ &= 6.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\end{aligned}$$

Anmerkung: die aus der Querkraft resultierende Schubspannungsschwankung fällt im Vergleich zur Normalspannungsschwankung sehr gering aus und wird vernachlässigt.

- Nachweis der Dauerfestigkeit :

$$\frac{\gamma_{F,f} \cdot \Delta\sigma_{\max}}{0.737 \cdot \Delta\sigma_c / \gamma_{M,f}} \leq 1$$

mit

$$\gamma_{F,f} = 1,0$$

$$\gamma_{M,f} = 1,15$$

Nachweisquerschnitt 1:

$$\frac{\gamma_{F,f} \cdot \Delta\sigma_{\max,1}}{0.737 \cdot \Delta\sigma_c / \gamma_{M,f}} = \frac{1.0 \cdot 3.81}{0.737 \cdot 8.0 / 1.15} = 0.74 \leq 1 \quad \checkmark$$

Nachweisquerschnitt 2:

$$\frac{\gamma_{F,f} \cdot \Delta\sigma_{\max,2}}{0.737 \cdot \Delta\sigma_c / \gamma_{M,f}} = \frac{1.0 \cdot 6.0}{0.737 \cdot 9.0 / 1.15} = 1.04 \leq 1 \quad \checkmark$$

⇒ **Eine Ermüdungsschädigung des Pfostens kann praktisch ausgeschlossen werden**

Neben dem Pfosten ist auch die Anschlusskonstruktion mit allen Konstruktionsdetails gegen Materialermüdung nachzuweisen. Dieser Nachweis wird sinnvollerweise nach Festlegung aller Konstruktionsdetails im Rahmen der Ausführungsplanung geführt. Die prinzipielle Machbarkeit der Konstruktion ist hierdurch nicht berührt.

## 5. Zusammenfassung

Die Stadt Voerde plant alternativ zu Erstentwürfen der Deutschen Bahn für den örtlichen DB Bahnhof eine zu den Gleisen hin gekrümmte Lärmschutzwand aus transparenten Wandelementen. Die bautechnische Machbarkeit sowie die Sicherstellung des erforderlichen Schallschutzes sollen im Abgleich mit den erforderlichen Investitionskosten im Rahmen einer Machbarkeitsstudie geprüft werden.

Vorliegender Untersuchungsbericht fasst das Ergebnis der bautechnischen Prüfungen zusammen. Die Lärmschutzwand ist entsprechend den Anforderungen der DB-Richtlinie RiL 804.5501 [15] gegenüber den aerodynamischen Einwirkungen aus der Zugvorbeifahrt, der Windlast sowie dem Eigengewicht im Grenzzustand der Tragfähigkeit und mit ausreichender Ermüdungssicherheit nachzuweisen. Die Standsicherheitsnachweise sind entsprechend dem Stand der Technik vorzulegen.

Zu diesem Zweck wird für die gekrümmte Lärmschutzwand eine polygonal gekrümmte Wandgeometrie entwickelt, die sich am architektonischen Grundentwurf der Stadt Voerde orientiert sowie zusätzlichen Erfordernissen des DB-Regelwerkes genügt, vgl. Kap. 2. Es wird eine Lösung favorisiert, die weder einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) noch eine unternehmensinterne Genehmigung (UiG) bedarf. In Abstimmung mit den schallschutztechnischen Anforderungen wird daher eine Wand mit folgenden Abmessungen betrachtet, (Bild 2.1):

Wandhöhe, gesamt:	5.0m ü. SOK
Radius gekrümmter Bereich:	1.85m
Höhe gekrümmter Bereich:	1.80m
Tiefe gekrümmter Bereich:	1.45m
Höhe gerader Bereich:	2.50m
minimaler Gleisabstand:	3.30m
(Abstand Gleisachse – Wandkopf)	
Regelpfostenabstand:	2.50m

Als Schallschutzelemente sollen transparente Wandplatten „Typ T15-Acryl“ der Firma Bongard und Lind zum Einsatz kommen. Sie sind für die Verwendung in Lärmschutzwänden genannter Abmessungen zugelassen. Die statische Tragfähigkeit und die Ermüdungssicherheit der Elemente sind nach Herstellerangaben [5] im Standardanwendungsfall gesichert. Gleichwohl wird empfohlen, im Rahmen der Ausführungsplanung Einbau und Lagerung der Elemente in den polygonal gekrümmten Pfosten herstellerseitig zu detaillieren.

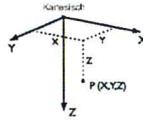
Kap. 3 bietet ein für die gekrümmte Wand geeignetes Lastmodell zur Erfassung der Druck-Sog-Wirkungen aus Zugverkehr. Es wird auf sicherer Seite liegend ein quasi-statischer Lastansatz gewählt, bei dem der Druck bzw. Sog infolge der Bugwelle über die gesamte Wandhöhe konstant verbleibt. Maßgebend für die Lasthöhe ist neben der planmäßigen Zugfahrtgeschwindigkeit von 160 km/h der kleinste Wandabstand von 3.3 m. Dynamische Effekte werden lastseitig abgegolten, der Dynamikbeiwert der Ersatzlast ist für typische Ausführungsvarianten zur Verankerung der Pfosten im Baugrund bestimmt und bleibt mit Maximalwerten von 1.268 mäßig ausgeprägt.

Die durchgeführten baustatischen Nachweise zeigen, dass alle für die Wandkonstruktion maßgebenden Einwirkungen sicher von den Wandelementen aufgenommen und über die Pfosten in den Baugrund abgetragen werden, Kap. 4. Rechnerisch nachzuweisen sind die Tragfähigkeit und die Ermüdungssicherheit der Pfosten und ihrer Anschlüsse. Die für den Tragsicherheitsnachweis maßgebenden Schnittgrößen ergeben sich aus der Einwirkungskombination von Eigenlast und Windeinwirkung bzw. Eigenlast, Windeinwirkung und Last aus Zugvorbeifahrt. Die Tragfähigkeit und Stabilität der Pfosten einschließlich ihrer Verankerung kann mit normgemäßer Sicherheit nachgewiesen werden. Die Wandkonstruktion bietet zudem ausreichend Sicherheit gegen mögliches Ermüdungsversagen.

Die bautechnische Machbarkeit einer mit transparenten Wandelementen ausgestatteten polygonal gekrümmten Lärmschutzwand ist unter den am DB-Bahnhof der Stadt Voerde gegebenen

Randbedingungen dem Stand der Technik entsprechend gewährleistet.

**Anhang:  
Statische und dynamische Analyse der polygonal gekrümmten Lärmschutzwand mit  
der Berechnungssoftware RSTAB**

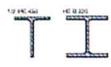


1.1 KNOTEN

Knoten Nr.	Bezugs-Knoten	Koordinaten System	Knotenkoordinaten			Kommentar
			X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	-	Kartesisch	0.000	0.000	0.000	
2	-	Kartesisch	0.000	0.000	-2.508	
3	-	Kartesisch	0.071	0.000	-3.028	
4	-	Kartesisch	0.281	0.000	-3.513	
5	-	Kartesisch	0.613	0.000	-3.927	
6	-	Kartesisch	1.045	0.000	-4.236	
7	-	Kartesisch	1.529	0.000	-4.413	

1.2 MATERIALIEN

Mat. Nr.	Modul E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Modul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Spez. Gewicht $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Wärmedehnz. $\alpha$ [1/°C]	Teilsich.-Bewert $\gamma_{M}$ [-]	Material-Modell
1	Baustahl S 235 JR   EN 10025-1:1994-03 21000.00	8076.92	78.50	1.20E-05	1.10	Standard

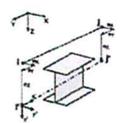


1.3 QUERSCHNITTE

Quers. Nr.	Mater. Nr.	I <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>x</sub> [cm <sup>4</sup> ]	I <sub>z</sub> [cm <sup>4</sup> ]	Hauptachsen $\alpha$ [°]	Drehung $\alpha'$ [°]	Gesamtabmessungen [mm]	
							A [cm <sup>2</sup> ]	A <sub>y</sub> [cm <sup>2</sup> ]
1	1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994	33.50	2220.00	838.00	0.00	180.00	190.0	225.0
		49.40	23.19	16.69				
2	HE B 220   DIN 1025-2:1995	76.80	8090.00	2840.00	0.00	180.00	220.0	220.0
		91.00	58.72	17.98				

1.3.1 QUERSCHNITTE - QUERSCHNITTSDREHUNG

Quers. Nr.	Bezeichnung	Winkel $\alpha$ [°]	Spiegel um Achse y	Spiegel um Achse z
1	1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994	180.00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	HE B 220   DIN 1025-2:1995	180.00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

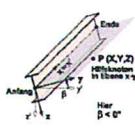


1.5/1 STABEXZENTRIZITÄTEN - ABSOLUT

Exz. Nr.	Bezugs-system	Stabangfang - Exzentrizität [mm]			Stabend - Exzentrizität [mm]			Kommentar
		e <sub>1x</sub>	e <sub>1y</sub>	e <sub>1z</sub>	e <sub>2x</sub>	e <sub>2y</sub>	e <sub>2z</sub>	
1	Global	57.2	0.0	0.0	57.2	0.0	0.0	

1.5/2 STABEXZENTRIZITÄTEN - RELATIV

Exz. Nr.	Querschnittsanordnung		Querversatz vom Querschnitt des anderen Objektes				Axial. Versatz vom anliegenden	
	y-Achse	z-Achse	Objekttyp	Objekt Nr.	y-Achse	z-Achse	Stabangfang	Stabende
1	Mitte	Mitte	Kein	0	Mitte	Mitte	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

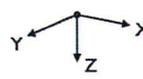


1.7 STÄBE

Stab Nr.	Stabtyp	Knoten		Drehung Typ	Drehung $\beta$ [°]	Querschnitt		Gelenk		Exz. Nr.	Teilung Nr.	Länge L [m]	
		Anfang	Ende			Anfang	Ende	Anfang	Ende				
1	Balkenstab	1	2	Winkel	0.00	2	2	-	-	-	-	2.508	Z
2	Balkenstab	2	3	Winkel	0.00	1	1	-	-	1	-	0.520	XZ
3	Balkenstab	3	4	Winkel	0.00	1	1	-	-	1	-	0.524	XZ
4	Balkenstab	4	5	Winkel	0.00	1	1	-	-	1	-	0.524	XZ
5	Balkenstab	5	6	Winkel	0.00	1	1	-	-	1	-	0.524	XZ
6	Balkenstab	6	7	Winkel	0.00	1	1	-	-	1	-	0.508	XZ

1.8 KNOTENLAGER

Lager Nr.	Knoten Nr.	Folge	Lagerdrehung [°]			Lagerung bzw. Feder						
			um X	um Y	um Z	u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub>	u <sub>z</sub>	f <sub>px</sub>	f <sub>py</sub>	f <sub>pz</sub>	
1	1	XYZ	0.00	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>						



1.11 STABSÄTZE

Stabsatz Nr.	Stabsatz Bezeichnung	Typ	Stab Nr.	Länge [m]	Kommentar

2.1 LASTFÄLLE

Lastfall	LF-Bezeichnung	Keine Norm Einwirkungskategorie	Eigengewicht - Faktor in Richtung			
			Aktiv	X	Y	Z
LF1	Eigengewicht	Ständig	<input checked="" type="checkbox"/>	0,000	0,000	1,000
LF2	Wind in -X	Wind	<input type="checkbox"/>			
LF3	Zugvorbeifahrt -X	Andere	<input type="checkbox"/>			

2.1.1 LASTFÄLLE - BERECHNUNGSPARAMETER

Lastfall	LF-Bezeichnung	Berechnungsparameter	
		Berechnungstheorie	Berechnungsparameter
LF1	Eigengewicht	Berechnungstheorie	☑ Theorie I. Ordnung (linear)
LF2	Wind in -X	Berechnungstheorie	☑ Theorie I. Ordnung (linear)
LF3	Zugvorbeifahrt -X	Berechnungstheorie	☑ Theorie I. Ordnung (linear)

2.5 LASTKOMBINATIONEN

Last kombin.	BS	Lastkombination Bezeichnung	Nr.	Faktor	Lastfall	
LK1		1.35*LF1 + 1.5*LF2	1	1.35	LF1	Eigengewicht
LK2		1.35*LF1 + 0.9*LF2 + 1.3*LF3	2	1.50	LF2	Wind in -X
			1	1.35	LF1	Eigengewicht
			2	0.90	LF2	Wind in -X
			3	1.30	LF3	Zugvorbeifahrt -X

2.5.2 LASTKOMBINATIONEN - BERECHNUNGSPARAMETER

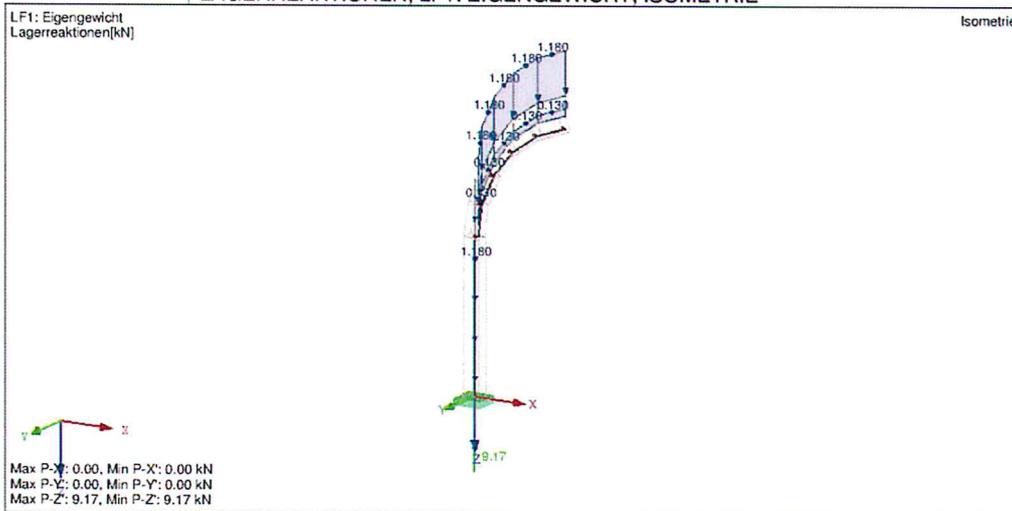
Last kombin.	Bezeichnung	Berechnungstheorie Optionen	Berechnungsparameter	
LK1	1.35*LF1 + 1.5*LF2	Berechnungstheorie Optionen	☑ II. Ordnung (P-Delta)	☑ Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen
LK2	1.35*LF1 + 0.9*LF2 + 1.3*LF3	Berechnungstheorie Optionen	☑ Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für:	☑ Normalkräfte N
			☑ Querkräfte $V_x$ und $V_y$	☑ Momente $M_x$ , $M_y$ und $M_z$
			☑ II. Ordnung (P-Delta)	☑ Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen
			☑ Schnittgrößen auf das verformte System beziehen für:	☑ Normalkräfte N
			☑ Querkräfte $V_x$ und $V_y$	☑ Momente $M_x$ , $M_y$ und $M_z$

3.2 STABLASTEN

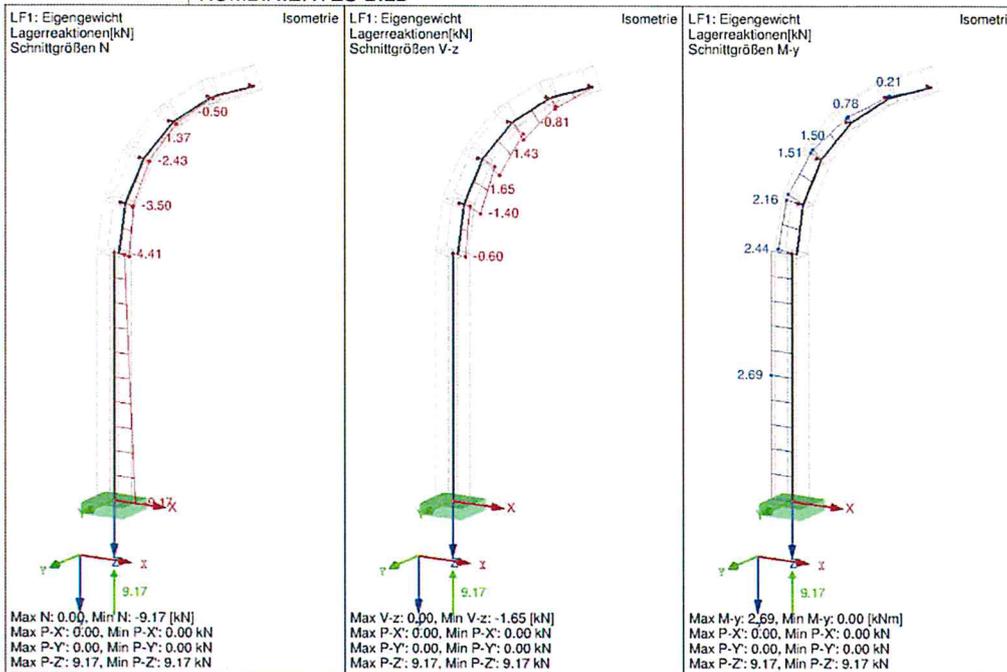
LF1  
Eigengewicht

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Last- Art	Last- verteilung	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Symbol	Lastparameter	
								Wert	Einheit
1	Stäbe 2x Winkel 70x70x6	2-6	Kraft	Konstant	Z	Wahre Länge	p	0.130	kN/m
2	Stäbe Acrylglasplatten	1-6	Kraft	Konstant	Z	Wahre Länge	p	1.180	kN/m

LAGERREAKTIONEN, LF1: EIGENGEWICHT, ISOMETRIE



■ KOMBINIERTES BILD

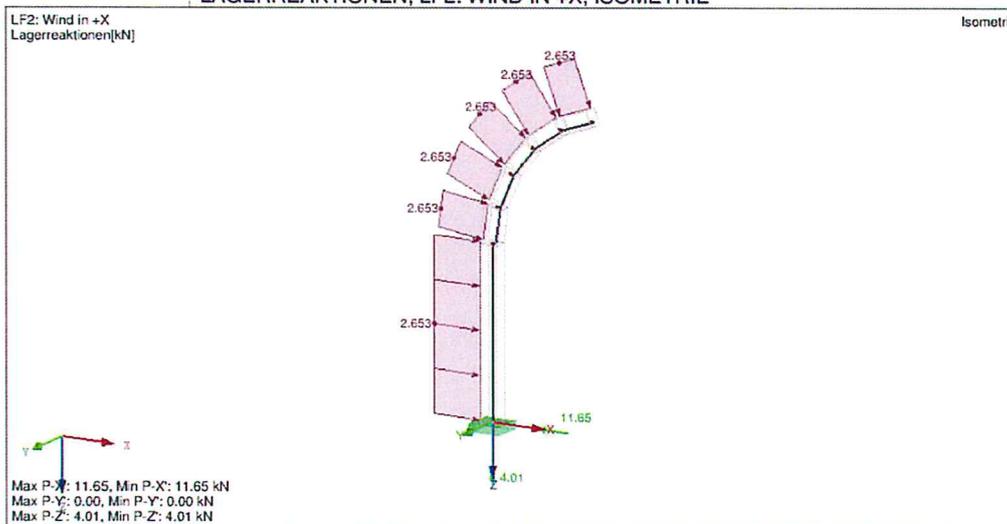


■ 3.2 STABLASTEN

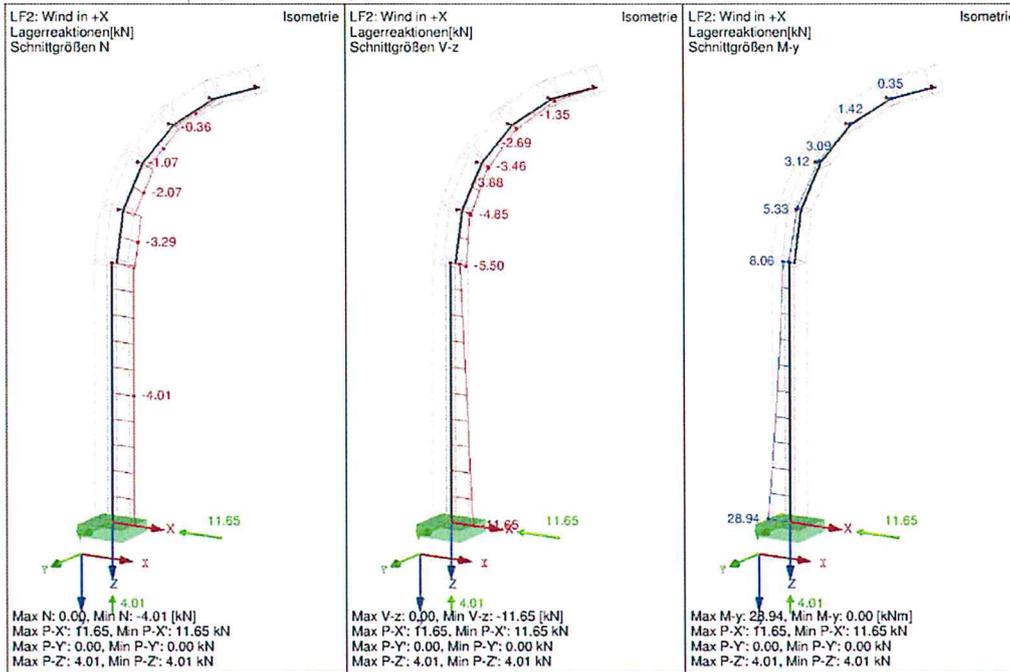
LF2  
Wind in +X

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Last-Art	Last-Verteilung	Last-Richtung	Bezugs-Länge	Symbol	Lastparameter Wert	Einheit
1	Stäbe	2-6	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-2.653	kN/m
2	Stäbe	1	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-2.653	kN/m

■ LAGERREAKTIONEN, LF2: WIND IN +X, ISOMETRIE



■ KOMBINIERTES BILD

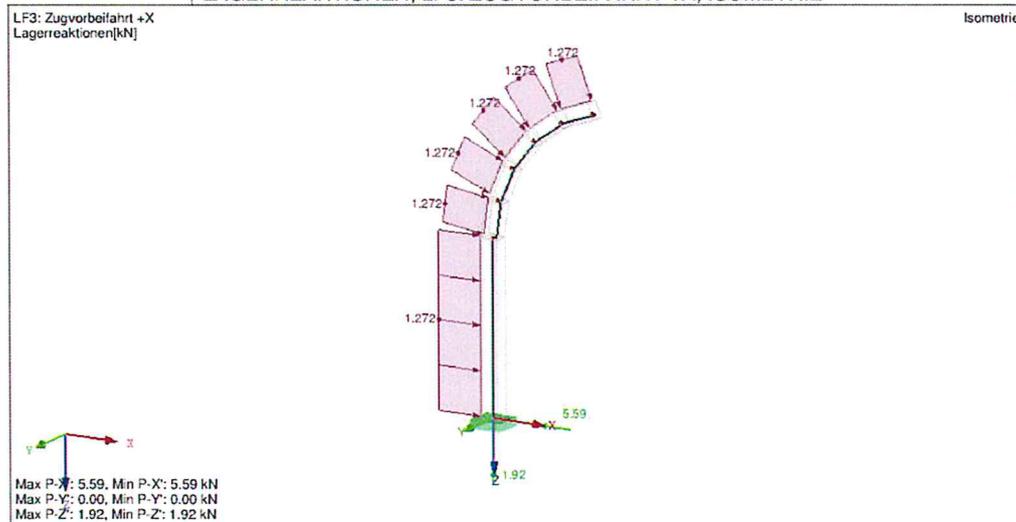


■ 3.2 STABLASTEN

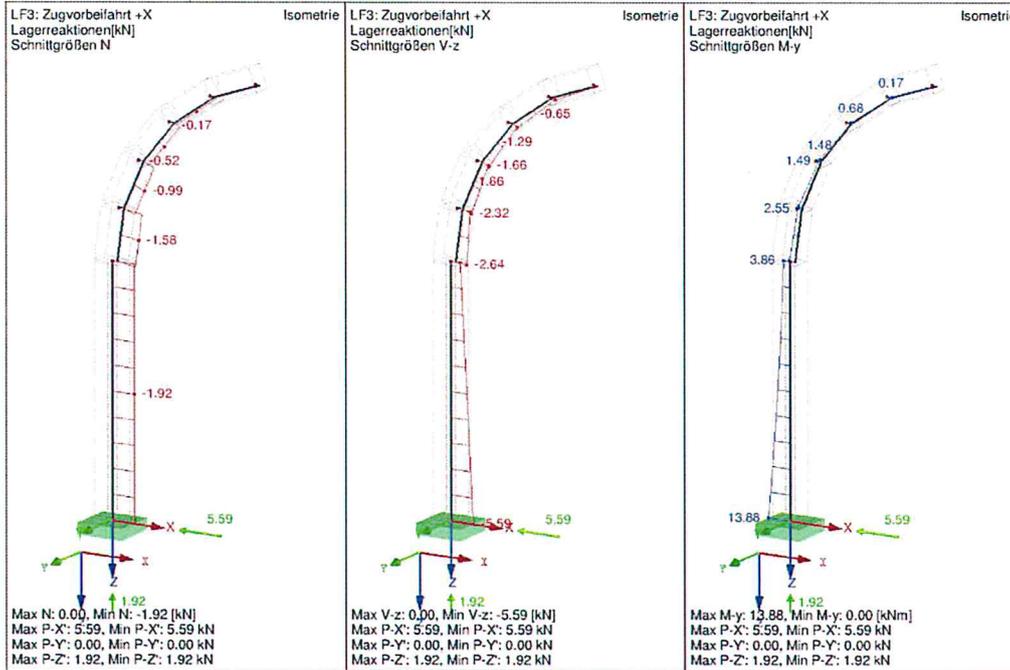
LF3  
Zugvorbeifahrt +X

Nr.	Beziehen auf	An Stäben	Last-Art	Last-verteilung	Last-Richtung	Bezugs-Länge	Symbol	Lastparameter	Wert	Einheit
1	Stäbe	2-6	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-1.272	-1.272	kN/m
2	Stäbe	1	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-1.272	-1.272	kN/m

■ LAGERREAKTIONEN, LF3: ZUGVORBEIFAHRT +X, ISOMETRIE



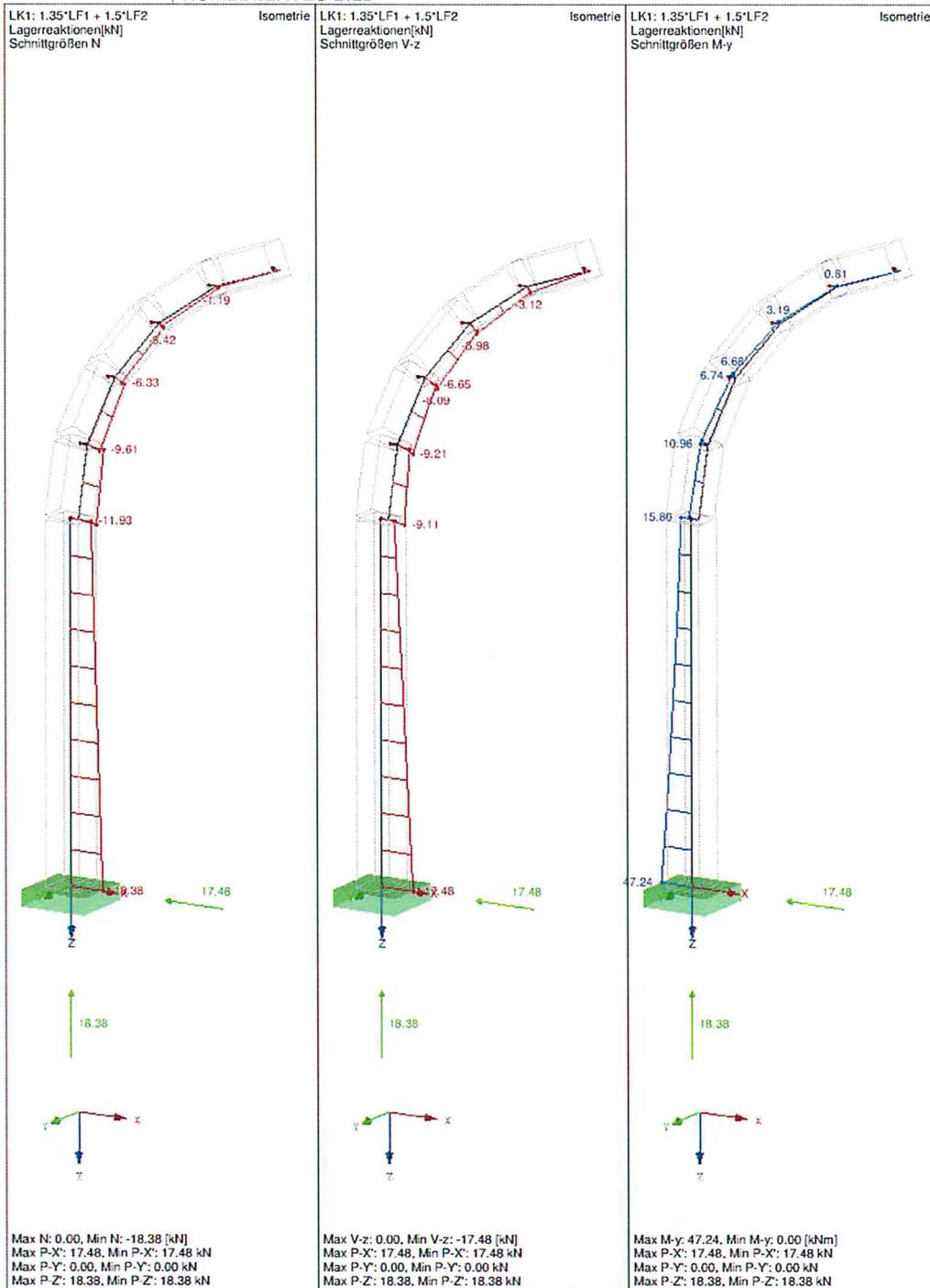
■ KOMBINIERTES BILD

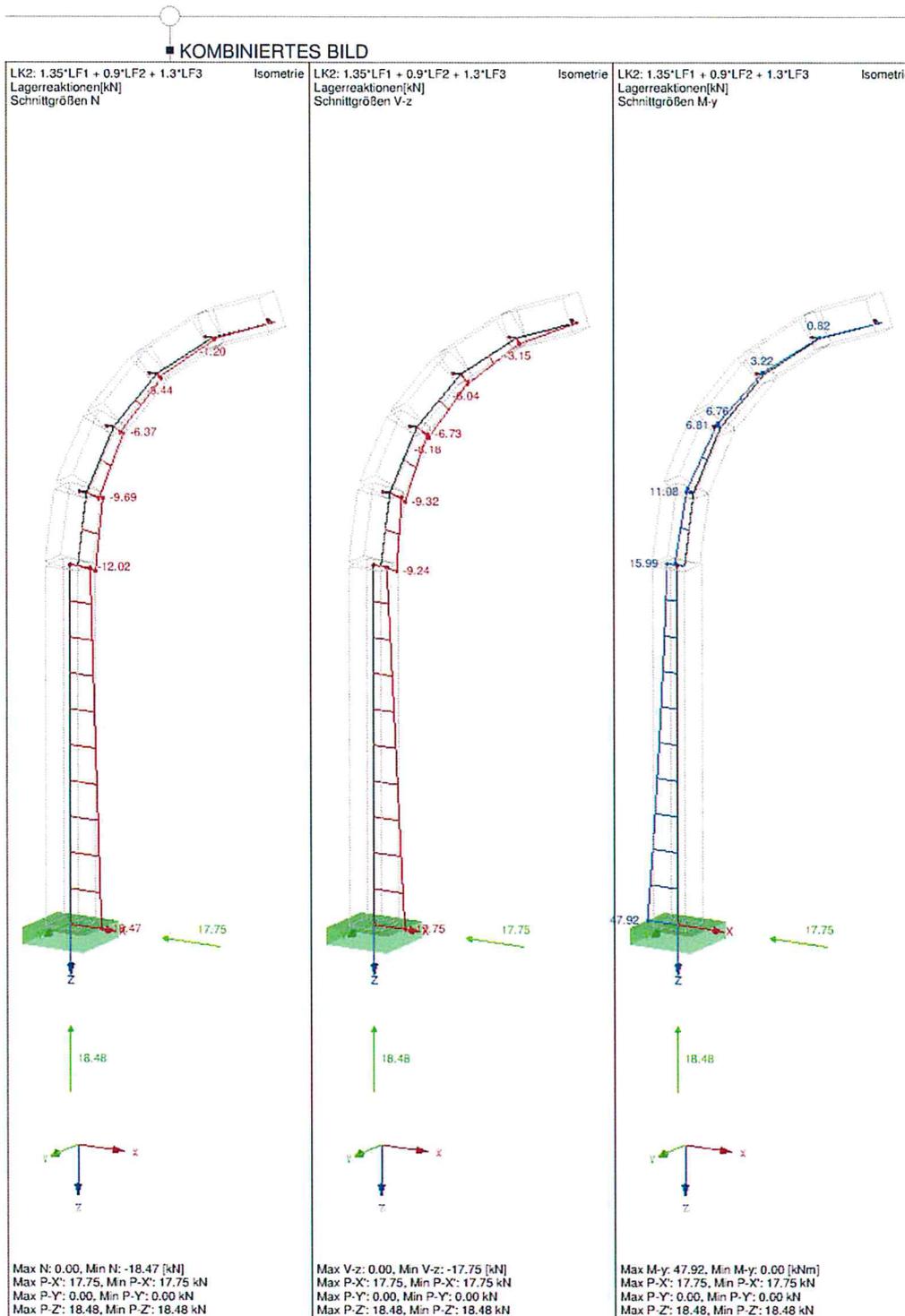


■ 4.3 QUERSCHNITTE - SCHNITTGRÖßEN

Stab Nr.	LF/LK	Knoten Nr.	Stelle x [m]	Kräfte [kN]			Momente [kNm]		
				N	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>
Querschnitt-Nr. 1: 1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994									
1	LF1	MAX N	0.508	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	LK2	MIN N	0.000	-10.57	0.00	-9.24	0.00	15.30	0.00
4	LK2	MAX V <sub>y</sub>	0.000	-4.36	0.00	-8.18	0.00	6.76	0.00
2	LF2	MIN V <sub>y</sub>	0.000	-3.29	0.00	-5.50	0.00	7.83	0.00
6	LF2	MAX V <sub>y</sub>	0.508	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	LK2	MIN V <sub>y</sub>	0.000	-7.47	0.00	-9.32	0.00	11.02	0.00
6	LK2	MAX M <sub>x</sub>	0.508	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	LK2	MIN M <sub>x</sub>	0.000	-10.87	0.00	-9.24	0.00	15.30	0.00
2	LK2	MAX M <sub>y</sub>	0.000	-10.87	0.00	-9.24	0.00	15.30	0.00
6	LK1	MIN M <sub>y</sub>	0.508	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	LK2	MAX M <sub>z</sub>	0.520	-9.69	0.00	-6.88	0.00	11.08	0.00
2	LF2	MIN M <sub>z</sub>	0.000	-3.29	0.00	-5.50	0.00	7.83	0.00
Querschnitt-Nr. 2: HE B 220   DIN 1025-2:1995									
1	LF3	MAX N	0.000	-1.92	0.00	-5.59	0.00	13.88	0.00
1	LK2	MIN N	0.000	-18.47	0.00	-17.75	0.00	47.92	0.00
1	LF1	MAX V <sub>y</sub>	0.000	-9.17	0.00	0.00	0.00	2.69	0.00
1	LK2	MIN V <sub>y</sub>	0.000	-18.47	0.00	-17.75	0.00	47.92	0.00
1	LF1	MAX V <sub>z</sub>	0.000	-9.17	0.00	-17.75	0.00	47.92	0.00
1	LK2	MIN V <sub>z</sub>	0.000	-18.47	0.00	-17.75	0.00	47.92	0.00
1	LF1	MAX M <sub>x</sub>	0.000	-9.17	0.00	0.00	0.00	2.69	0.00
1	LK2	MIN M <sub>x</sub>	2.508	-12.02	0.00	-7.67	0.00	15.99	0.00
1	LK2	MAX M <sub>y</sub>	0.000	-18.47	0.00	-17.75	0.00	47.92	0.00
1	LF1	MIN M <sub>y</sub>	0.000	-9.17	0.00	0.00	0.00	2.69	0.00
1	LK2	MAX M <sub>z</sub>	2.508	-12.02	0.00	-7.67	0.00	15.99	0.00
1	LK2	MIN M <sub>z</sub>	0.000	-18.47	0.00	-17.75	0.00	47.92	0.00

■ KOMBINIERTES BILD





STAHL EC3  
FA1  
Bemessung nach  
Eurocode 3

1.1 BASISANGABEN

Zu bemessende Stäbe:	Alle
Zu bemessende Stabsätze:	1
Tragfähigkeitsnachweise	LK1 1.35*LF1 + 1.5*LF2
Zu bemessende Lastkombinationen:	LK2 1.35*LF1 + 0.9*LF2 + 1.3*LF3

1.2 MATERIALIEN

Material-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul E [kN/cm <sup>2</sup> ]	Schubmodul G [kN/cm <sup>2</sup> ]	Querdehnzahl ν [-]	Streckgrenze f <sub>yk</sub> [kN/cm <sup>2</sup> ]	Max. Bauteildicke t [mm]
1	Baustahl S 235 JR   EN 10025-1994-03	21000.00	8076.92	0.300	23.50 23.50 22.50	3.0 16.0 25.0



1.3 QUERSCHNITTE

Quer-Nr.	Material-Nr.	Querschnitt-Bezeichnung	Querschnittstyp für Klassifizierung	Maximale Ausnutzung	Kommentar
1	1	1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994 Typ Allgemein - nur Klasse 3 möglich	Allgemein	0.50	
2	1	HE B 220   DIN 1025-2:1995	I-Profil gewalzt	0.25	

1.7 KNOTENLAGER

Nr.	Knoten-Nr.	Lagerung Drehung β [°]	Seitliche Stützung u <sub>vr</sub>	Einspannung φ <sub>x</sub> φ <sub>y</sub>	Wölb-Einspannung e <sub>s</sub>	Exzentrizität e <sub>x</sub> [mm] e <sub>y</sub> [mm]	Kommentar
<b>Stabsatz Nr. 1 - Pfosten</b>							
1	1	0.00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.0 0.0	
2	7	0.00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.0 0.0	

1.12 PARAMETER - STÄBE

Stab-Nr.	Bezeichnung	Parameter
1	Querschnitt: Schubfeld Drehbetting Querschnittsfläche für Zugnachweis	2 - HE B 220   DIN 1025-2:1995 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
2	Querschnitt: Schubfeld Drehbetting Querschnittsfläche für Zugnachweis	1 - 1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3	Querschnitt: Schubfeld Drehbetting Querschnittsfläche für Zugnachweis	1 - 1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4	Querschnitt: Schubfeld Drehbetting Querschnittsfläche für Zugnachweis	1 - 1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
5	Querschnitt: Schubfeld Drehbetting Querschnittsfläche für Zugnachweis	1 - 1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
6	Querschnitt: Schubfeld Drehbetting Querschnittsfläche für Zugnachweis	1 - 1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

1.13 PARAMETER - STABSÄTZE

Stabsatz-Nr.	Bezeichnung	Parameter
1	Stabsatz: Stab 1 - Querschnitt Stab 2 - Querschnitt Stab 3 - Querschnitt Stab 4 - Querschnitt Stab 5 - Querschnitt Stab 6 - Querschnitt Schubfeld Drehbetting	Pfosten 2 - HE B 220   DIN 1025-2:1995 1 - 1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994 1 - 1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

STAHL EC3  
FA1  
Bemessung nach  
Eurocode 3

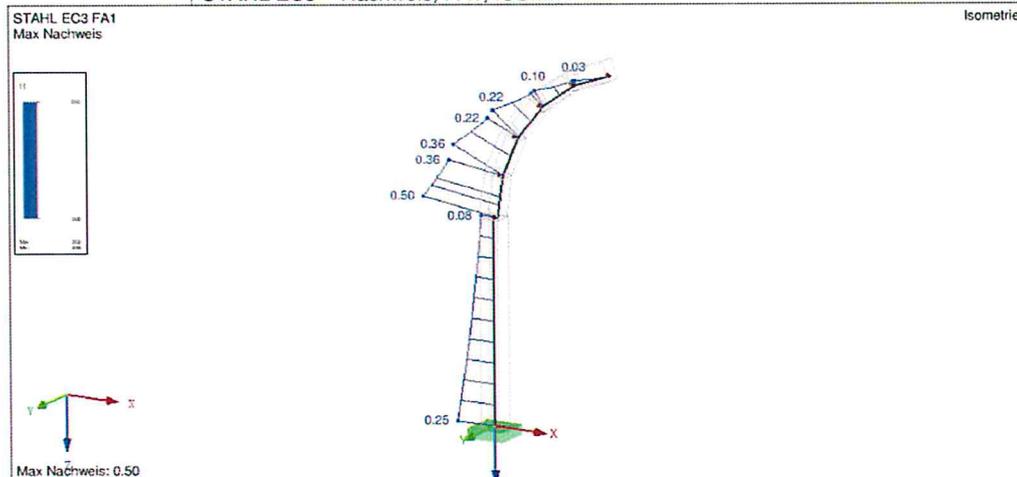
2.3 NACHWEISE STABSATZWEISE

Stabsatz Nr.	Stab Nr.	Stelle x [m]	LF/LK/ EK	Bemessung	Nach Formel
1	Pfeiler (Stab Nr. 1-6)				
	6	0.457	LK2	0.00	≤ 1 100)
	2	0.000	LK2	0.01	< 1 102)
	5	0.000	LK2	0.10	≤ 1 112)
	1	0.000	LK2	0.05	< 1 121)
	3	0.000	LK2	0.05	< 1 122)
	1	0.000	LK1	0.00	< 1 126)
	5	0.000	LK2	0.10	< 1 143)
	1	0.000	LK2	0.25	< 1 181)
	2	0.000	LK2	0.50	< 1 183)

2.4 NACHWEISE STABWEISE

Stab Nr.	Stelle x [m]	LF/LK/ EK	Bemessung	Nach Formel
1	Querschnitt Nr. 2 - HE B 220   DIN 1025-2:1995			
	0.000	LK2	0.01	< 1 102)
	0.000	LK2	0.05	< 1 121)
	0.000	LK1	0.00	< 1 126)
	0.000	LK2	0.25	< 1 181)
2	Querschnitt Nr. 1 - 1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994			
	0.000	LK2	0.01	< 1 102)
	0.000	LK2	0.05	< 1 122)
	0.000	LK2	0.50	< 1 183)
3	Querschnitt Nr. 1 - 1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994			
	0.000	LK2	0.01	< 1 102)
	0.000	LK2	0.05	< 1 122)
	0.000	LK2	0.36	< 1 183)
4	Querschnitt Nr. 1 - 1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994			
	0.000	LK2	0.00	< 1 102)
	0.000	LK2	0.04	< 1 122)
	0.000	LK2	0.22	< 1 183)
5	Querschnitt Nr. 1 - 1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994			
	0.000	LK2	0.10	< 1 112)
	0.000	LK2	0.03	< 1 122)
	0.000	LK2	0.10	< 1 143)
6	Querschnitt Nr. 1 - 1/2 IPE 450   DIN 1025-5:1994			
	0.457	LK2	0.00	< 1 100)
	0.000	LK2	0.03	< 1 112)
	0.000	LK2	0.02	< 1 122)
	0.000	LK2	0.03	< 1 143)

STAHL EC3 - Nachweis, FA1, ISOMETRIE



DYNAM  
FA1  
Dynamische Analyse

1.1 BASISANGABEN

Gewählte Methode:	<input checked="" type="checkbox"/> Eigenschwingungen	<input type="checkbox"/> Erzwungene Schwingungen	<input type="checkbox"/> Ersatzlastenverfahren
Anzahl der kleinsten Eigenwerte:	4		
Berücksichtigung des Eigengewichts - mit Faktor:	<input checked="" type="checkbox"/>	1.00	
Stetigkeitsänderungen aus RSTAB	<input type="checkbox"/>		
Wirkung der Massen in:	<input checked="" type="checkbox"/> X-Richtung	<input checked="" type="checkbox"/> X-Rotatorische	<input checked="" type="checkbox"/> Y-Rotatorische
	<input checked="" type="checkbox"/> Y-Richtung	<input checked="" type="checkbox"/> Y-Rotatorische	<input checked="" type="checkbox"/> Z-Rotatorische
	<input checked="" type="checkbox"/> Z-Richtung		
Interne Stabilisierung wegen - Näherungsmethode:	1		
- Vouten-/Bettungsstäbe:	6		
Typ der Massenmatrix:	<input type="checkbox"/> Diagonal	<input checked="" type="checkbox"/> Konsistent	<input type="checkbox"/> Einheitsmatrix
Normierung der Eigenformen:	So dass $\ u\  = 1$		
Berücksichtigung der Normalkräfte	<input type="checkbox"/>		
Details			
- Endbeschleunigung:	10.00 [m/s <sup>2</sup> ]		
- Max. Anzahl der Iterationen:	100		
- Abbruchschranke:	0.00001		
- Minimale Zugkraft in Seilstäben:	0.001 [kN]		

1.2.2 STAB-ZUSATZMASSEN

Nr.	Liste der Stäbe mit Masse	Masse m [kg/m]
1	2-6	13.00
2	1-6	118.00

2.1 EIGENWERTE UND EIGENFREQUENZEN

Eigen-Nr.	Eigenwert $\lambda_n$ [1/s <sup>2</sup> ]	Eigenkreisfrequenz $\omega_n$ [rad/s]	Eigenfrequenz $f_n$ [Hz]	Eigenperiode $T_n$ [s]
1	65.30579	8.08120	1.28616	0.77751
2	1682.38874	41.01693	6.52805	0.15319
3	2199.35682	46.89730	7.46394	0.13398
4	12014.60883	109.61117	17.44516	0.05732

2.2 EIGENSCHWINGUNGEN

Eigen-Nr.	Stab-Nr.	Knoten-Nr.	Normierte Verschiebung			Normierte Verdrehung		
			$u_x$	$u_y$	$u_z$	$\varphi_x$	$\varphi_y$	$\varphi_z$
1	1	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		2	0.00000	0.01850	0.00000	0.01277	0.00000	0.42951
	2	2	0.00000	0.04309	0.00000	0.01277	0.00000	0.42951
		3	0.00000	0.08123	0.00000	-0.00266	0.00000	0.57469
	3	3	0.00000	0.08255	0.00000	-0.00266	0.00000	0.57469
		4	0.00000	0.20141	0.00000	-0.03061	0.00000	0.64777
2	4	4	0.00000	0.20398	0.00000	-0.03061	0.00000	0.64777
		5	0.00000	0.40448	0.00000	-0.04900	0.00000	0.67390
	5	5	0.00000	0.40833	0.00000	-0.04900	0.00000	0.67390
		6	0.00000	0.65107	0.00000	-0.05433	0.00000	0.67874
	6	6	0.00000	0.65545	0.00000	-0.05433	0.00000	0.67874
		7	0.00000	1.00000	0.00000	-0.05437	0.00000	0.67889
3	1	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		2	-0.34799	0.00000	-0.00021	0.00000	0.23166	0.00000
	2	2	-0.34805	0.00000	-0.01347	0.00000	0.23166	0.00000
		3	-0.49037	0.00000	-0.03302	0.00000	0.30540	0.00000
	3	3	-0.49260	0.00000	-0.03373	0.00000	0.30540	0.00000
		4	-0.65528	0.00000	-0.10366	0.00000	0.35694	0.00000
4	4	4	-0.65742	0.00000	-0.10538	0.00000	0.35694	0.00000
		5	0.81021	0.00000	-0.22764	0.00000	0.38189	0.00000
	5	5	-0.81198	0.00000	-0.23015	0.00000	0.38189	0.00000
		6	-0.93080	0.00000	-0.39592	0.00000	0.39073	0.00000
	6	6	-0.93155	0.00000	-0.39852	0.00000	0.39073	0.00000
		7	-1.00000	0.00000	-0.58563	0.00000	0.39186	0.00000
3	1	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		2	0.00000	0.20982	0.00000	0.13104	0.00000	0.02234
	2	2	0.00000	0.21114	0.00000	0.13104	0.00000	0.02234
		3	0.00000	0.26479	0.00000	0.19158	0.00000	-0.32019
	3	3	0.00000	0.26543	0.00000	0.19158	0.00000	-0.32019
		4	0.00000	0.31121	0.00000	0.35570	0.00000	-0.70609
4	4	4	0.00000	0.31034	0.00000	0.35570	0.00000	-0.70609
		5	0.00000	0.22202	0.00000	0.52469	0.00000	-0.93068
	5	5	0.00000	0.21881	0.00000	0.52469	0.00000	-0.93068
		6	0.00000	-0.02914	0.00000	0.60343	0.00000	-0.99521
	6	6	0.00000	-0.02529	0.00000	0.60343	0.00000	-0.99521
		7	0.00000	-0.39560	0.00000	0.61243	0.00000	-1.00000
4	1	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
		2	0.00000	-0.13544	0.00000	-0.06258	0.00000	0.71272
	2	2	0.00000	-0.09466	0.00000	-0.06258	0.00000	0.71272
		3	0.00000	-0.06997	0.00000	-0.00742	0.00000	0.48841
	3	3	0.00000	-0.06889	0.00000	-0.00742	0.00000	0.48841
		4	0.00000	0.03276	0.00000	0.25249	0.00000	-0.08556
4	4	0.00000	0.03391	0.00000	0.25249	0.00000	-0.08556	
	5	0.00000	0.10335	0.00000	0.65180	0.00000	-0.59189	
5	5	0.00000	0.10776	0.00000	0.65180	0.00000	-0.59189	

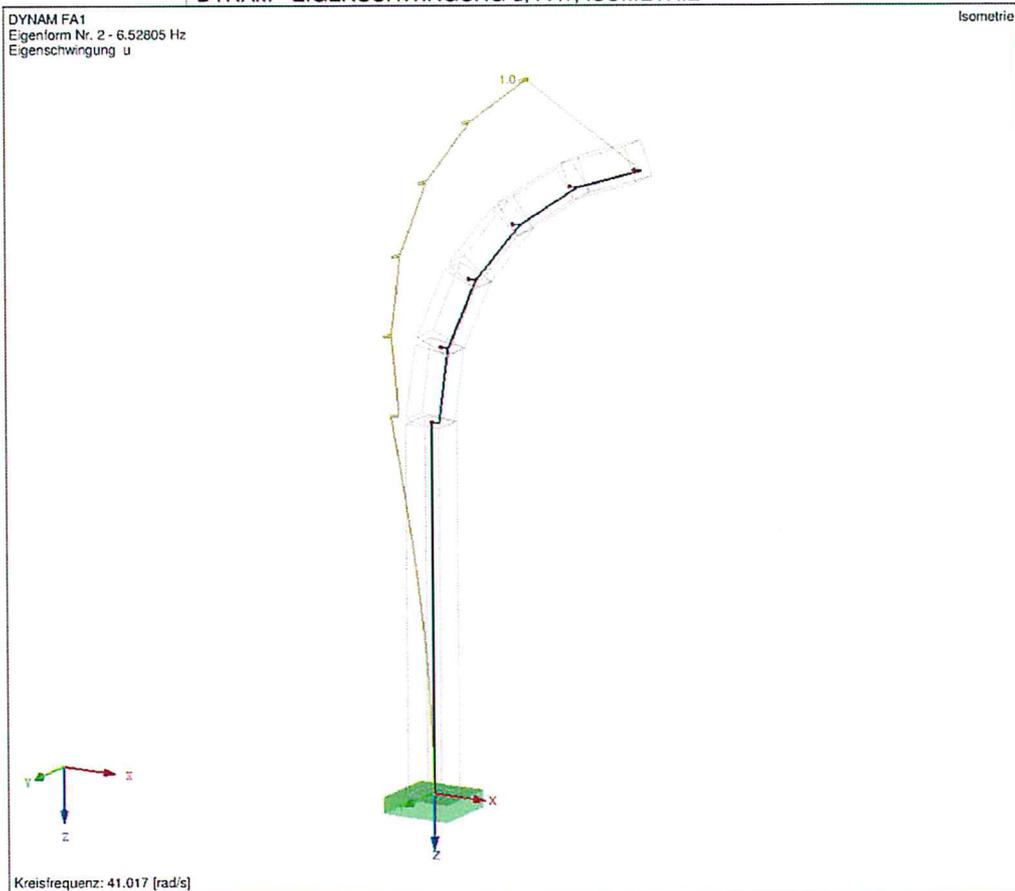
■ 2.2 EIGENSCHWINGUNGEN

Eigen-Nr.	Slab-Nr.	Knoten-Nr.	Normierte Verschiebung			Normierte Verdrehung		
			u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub>	u <sub>z</sub>	φ <sub>x</sub>	φ <sub>y</sub>	φ <sub>z</sub>
	6	6	0.00000	0.05115	0.00000	0.93304	0.00000	-0.80588
		6	0.00000	0.04805	0.00000	0.93304	0.00000	-0.80588
		7	0.00000	-0.17501	0.00000	1.00000	0.00000	-0.83359

■ 2.5 ERSATZMASSENFAKTOREN

Eigen-Nr.	Modale Masse M <sub>i</sub> [kg]	Beteiligungsfaktor			Ersatzmasse			Ersatzmassenfaktor		
		L <sub>x</sub> [kg]	L <sub>y</sub> [kg]	L <sub>z</sub> [kg]	m <sub>ex</sub> [kg]	m <sub>ey</sub> [kg]	m <sub>ez</sub> [kg]	f <sub>max</sub> [-]	f <sub>mev</sub> [-]	f <sub>mez</sub> [-]
1	109.04	0.00	176.33	0.00	0.00	285.14	0.00	0.000	0.420	0.000
2	286.80	-373.34	0.00	-93.17	485.99	0.00	30.26	0.716	0.000	0.045
3	261.83	0.00	283.32	0.00	0.00	306.58	0.00	0.000	0.451	0.000
4	373.01	0.00	-189.50	0.00	0.00	96.28	0.00	0.000	0.142	0.000
Summe					485.99	688.00	30.26	0.716	1.013	0.045

■ DYNAM - EIGENSCHWINGUNG u, FA1, ISOMETRIE



RSKNICK  
FA1  
Stabilitätsanalyse

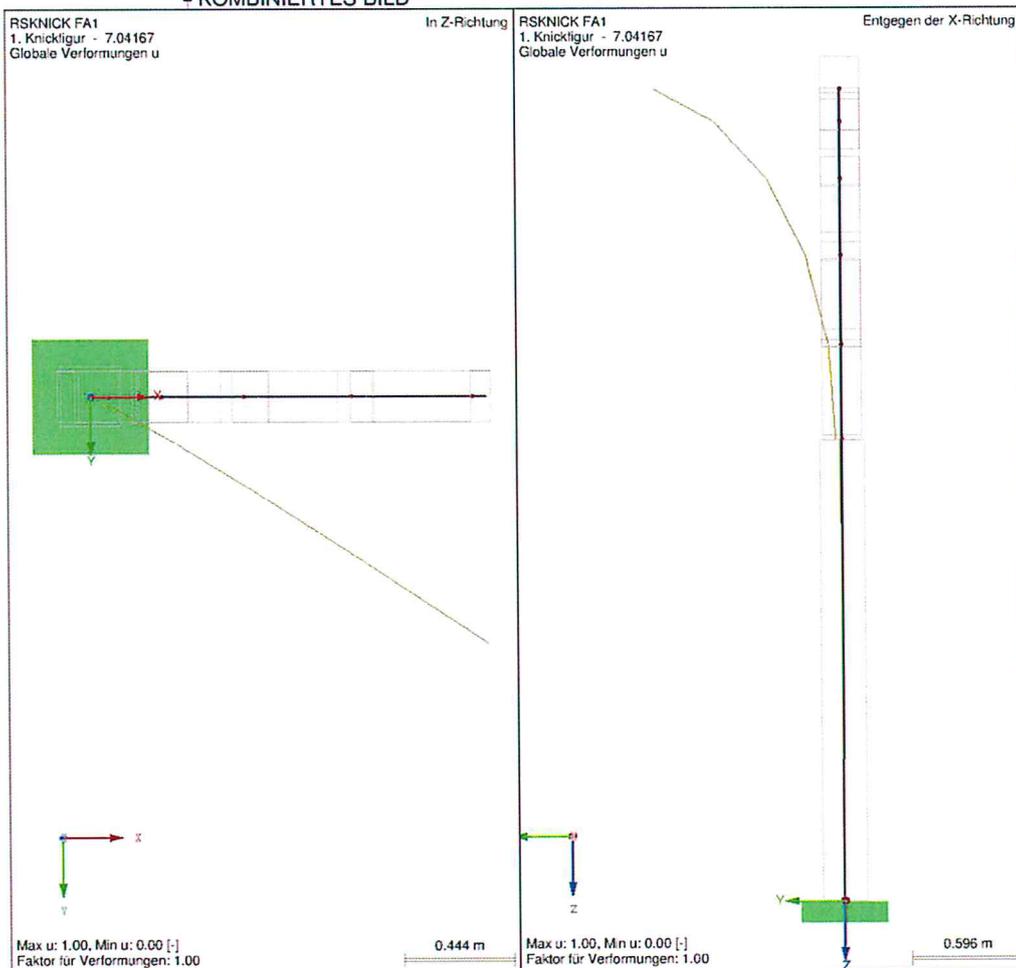
■ 1.1 BASISANGABEN

Anzahl der Knickfiguren:	4
Normalkräfte wurden aus RSTAB LK1 übernommen	
Interne Stabteilung wegen	
- Balkenstäbe:	2
- Fachwerkstäbe:	1
- Vouten bzw. elast. Bettung:	6
Ausnutzung des Entlastungseffektes durch Zugkräfte	<input checked="" type="checkbox"/>
Änderung der Steifigkeit $k_{II}$	<input type="checkbox"/>
Maximale Anzahl der Iteration:	100
Iteration-Abbruchschranke:	1,000E-05

■ 2.3 VERZWEIGUNGSLASTFAKTOREN

Figur Nr.	Verzweigungs- lastfaktor	Vergrößerungs- faktor Alpha
1	7,042	1,166
2	94,032	1,011
3	194,557	1,005
4	234,235	1,004

■ KOMBINIERTES BILD



RSKNICK  
FA2  
Stabilitätsanalyse

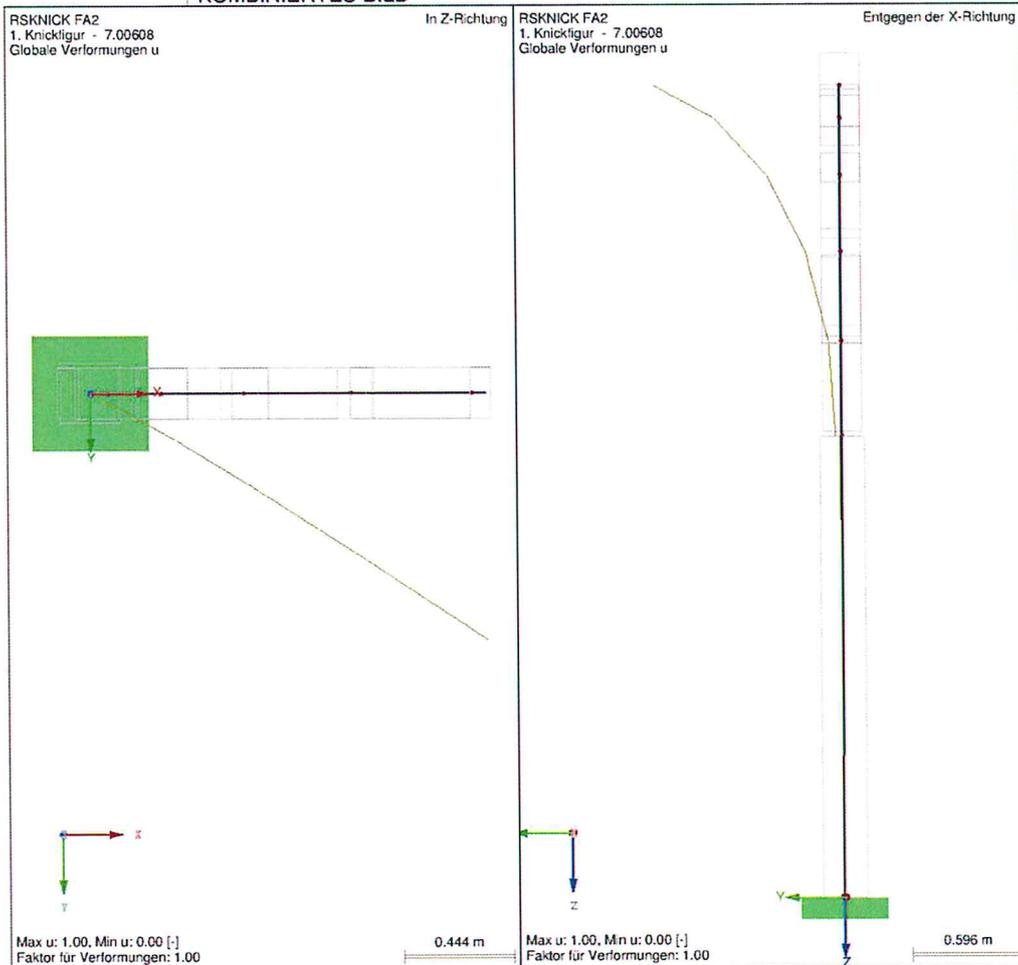
### 1.1 BASISANGABEN

Anzahl der Knickefiguren:	4
Normalkräfte wurden aus RSTAB LK2 übernommen	
Interne Stabteilung wegen	
- Balkenstäbe:	2
- Fachwerksstäbe:	1
- Vouten bzw. elast. Bettung:	6
Ausnutzung des Entlastungseffektes durch Zugkräfte	<input checked="" type="checkbox"/>
Änderung der Steifigkeit $k_{st}$	<input type="checkbox"/>
Maximale Anzahl der Iteration:	100
Iteration-Abbruchschranke:	1,000E-05

### 2.3 VERZWEIGUNGSLASTFAKTOREN

Figur Nr.	Verzweigungs- lastfaktor	Vergrößerungs- faktor Alpha
1	7.006	1.166
2	93.488	1.011
3	193.376	1.005
4	233.094	1.004

### KOMBINIERTES BILD



## 6. Bild- und Tabellenverzeichnis

### **Bildverzeichnis**

<i>Bild 1.1:</i>	<i>Erforderliche Baumaßnahmen aus dem geplanten Gleisusbau am DB Bahnhof Voerde</i>	<i>3</i>
<i>Bild 2.1:</i>	<i>Entwurf der Lärmschutzwand</i>	<i>7</i>
<i>Bild 3.1:</i>	<i>Charakteristischer Verlauf der Druck-Sog-Einwirkungen infolge Zugverkehr bei geraden Wänden</i>	<i>10</i>
<i>Bild 3.2:</i>	<i>Abschätzung für den Verlauf der Druck-Sog-Einwirkungen infolge Zugverkehrs bei gekrümmten Wänden</i>	<i>11</i>
<i>Bild 4.1:</i>	<i>Anschlusskonstruktion des Pfostens</i>	<i>22</i>

### **Tabellenverzeichnis**

<i>Tabelle 3.1:</i>	<i>Vereinfachte statische Ersatzlast</i>	<i>13</i>
<i>Tabelle 4.1:</i>	<i>Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit</i>	<i>17</i>

Dieser Bericht beinhaltet

47 Seiten

5 Bilder

2 Tabellen

Bochum, den 17. September 2014



---

Dr.-Ing. Norbert Hölscher  
Ingenieurgesellschaft Niemann & Partner GbR  
*WINDINGENIEURWESEN • BAUDYNAMIK • UMWELTECHNIK • STRÖMUNGSTECHNIK*



---

Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Niemann  
Ingenieurgesellschaft Niemann & Partner GbR  
*WINDINGENIEURWESEN • BAUDYNAMIK • UMWELTECHNIK • STRÖMUNGSTECHNIK*



## **Ingenieurgesellschaft Niemann & Partner GbR**

**PROF. DR.-ING. H.-J. NIEMANN, DR.-ING. N. HÖLSCHER**

***WINDINGENIEURWESEN • BAUDYNAMIK • UMWELTECHNIK • STRÖMUNGSTECHNIK***

**Technologiezentrum Ruhr      Universitätsstr. 142**

44 799 Bochum

Tel. 0234 / 904 868 - 0 Fax. - / 904 868 - 9

Mobil: 0160 / 9721 0138

e-mail:[info@IGNundP.de](mailto:info@IGNundP.de)

Internet:<http://www.IGNundP.de>





## Akustische Stellungnahme zur bautechnischen Vorstudie gebogener Lärmschutzwände an der Betuwe-Strecke



Hauptsitz Dresden  
Lockwitztalstr. 12e  
01259 Dresden  
+49 351 2 07 33 0  
+49 351 2 07 33 99

Berlin/Brandenburg  
An den Gärten 7  
14469 Potsdam  
Tel. +49 331 20 11 828  
Fax. +49 331 20 12 634

**Auftraggeber:**

**Stadt Voerde (Niederrhein)**  
Rathausplatz 20  
46562 Voerde



**Aufsteller:**

**Ingenieurbüro Treiber Lärmschutz**  
Büro Brandenburg  
An den Gärten 7  
14469 Potsdam



Dipl.-Phys. Günther Weigelt  
Dipl.-Ing. Frank Treiber

**Vorhabenbezeichnung :** ABS 46/2 Grenze D/NL – Emmerich – Oberhausen

**Strecknummer / Strecke:** 2270 Grenze D/NL – Emmerich – Oberhausen

---

# Inhalt

---

1.	Allgemeines .....	4
1.1	Ausgangslage .....	4
1.2	Aufgabenstellung.....	4
2.	Grundlagen und Literatur.....	5
2.1	Rechtliche Grundlagen .....	5
2.2	Literatur .....	5
3.	Schalltechnische Grundlagen .....	5
3.1	Berechnungs- und Bemessungsverfahren.....	5
3.2	Gebietsnutzungen .....	6
4.	Ausgangsdaten und Planungsgrundlagen .....	6
4.1	Ausgangswerte Schienenverkehr .....	6
4.2	Planungsdaten .....	7
4.3	Geometrie der Lärmschutzkonstruktion .....	7
5.	Berechnungen und Ergebnisse.....	7
6.	Vorbeifahrtpegel .....	8
7.	Zusammenfassung.....	9

## 1. Allgemeines

### 1.1 Ausgangslage

[Auszug aus dem „Projekt Glasbogenwand“ der Stadt Voerde]

Beginn des Zitats:

Überall entlang der Betuwe-Ausbaustrecke beabsichtigt die Bahn zur Sicherstellung des Lärmschutzes ausschließlich die Verwendung der Aluminium-Kassettenwände. An den Haltepunkten bedeutet das, dass die Bahnsteige der Sicht aus dem öffentlichen Raum entzogen sind und – wenn gleichzeitig eine Mittelwand vorgesehen wird – auch die Sicht von Bahnsteig zu Bahnsteig unterbrochen ist. Gerade wenn der Bahnhof als Eingangstor in die jeweiligen Ortsteile verstanden wird, entsteht so die denkbar hässlichste Gestaltungsvariante. Von noch größerer Bedeutung ist jedoch der Verlust der sozialen Kontrolle oder, anders ausgedrückt, die Schaffung eines ausgesprochenen „Unsicherheitsraums“.

Dies war der Anlass über alternative, insbesondere transparente Gestaltungsmöglichkeiten nachzudenken.

#### 1. Grundidee

Eine gelungene Bahnsteig-Konstruktion sollte die Ziele Schallschutz, Sichtbeziehungen und möglichst auch Witterungsschutz in einer der städtebaulichen Bedeutung eines Bahnhofs angemessenen Ästhetik gewährleisten. Transparente Wände sind jedoch immer „schallhart“, d. h. der Schall wird nicht absorbiert, sondern reflektiert. Es kommt dann zu einer hin- und her Reflexion zwischen der Wand und dem Zug und dadurch zu einem verstärkten Schallaustritt über die Oberkante der Schallschutzwand.

#### 1.1 Die gebogene Wand

Durch eine Biegung der reflektierenden Wand zum Zug hin kann erreicht werden, dass der Schall wieder zum Zug zurück, zum Gleisbett bzw. auf den Bahnsteig reflektiert wird. Auf diese Weise kann auch mit transparenten Elementen der Schallschutz für die Anlieger sichergestellt werden.

Ende des Zitats.

### 1.2 Aufgabenstellung

Für die im Projekt „Glasbogenwand“ beschriebene gebogene transparente Lärmschutzwand wurden vier verschiedene Gestaltungsvarianten entwickelt und von der Ingenieurgesellschaft Niemann & Partner GbR, Prof. Dr.-Ing. H.-J. Niemann, Dr.-Ing. N. Hölscher auf ihr statisches und dynamisches Verhalten hin untersucht.

Das Ingenieurbüro Treiber Lärmschutz wurde von der Stadt Voerde (Niederrhein) beauftragt, die in den vorgenannten Untersuchungsergebnissen gewonnenen Erkenntnisse auf ihr akustisches Verhalten zu untersuchen.

In Interaktion mit der Ingenieurgesellschaft Niemann & Partner GbR wurde eine von vier Varianten als Vorzugsvariante ermittelt und weiterführend akustisch geprüft.

Des Weiteren soll der Durchfahrpegel eines Zuges für Personen auf den Bahnsteigen ermittelt werden.

## 2. Grundlagen und Literatur

### 2.1 Rechtliche Grundlagen

Es wurden folgende rechtliche Grundlagen verwendet:

- Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz BImSchG) in der Fassung vom 26.09.2002 (BGBl. I S. 3830), zuletzt geändert am 01. März 2011 (BGBl. I S. 282)
- Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990, zuletzt geändert 19. September 2006
- Schall 03 - Richtlinien zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen, Ausgabe 1990

Die ausführlichen rechtlichen Grundlagen sind in [4] erläutert.

### 2.2 Literatur

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz BImSchG) in der Fassung vom 26.09.2002 (BGBl. I S. 3830), zuletzt geändert am 01. März 2011 (BGBl. I S. 282)
- [2] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990, zuletzt geändert 19. September 2006
- [3] Schall 03 - Richtlinien zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen, Ausgabe 1990
- [4] Planfeststellungsunterlage Projekt: ABS 46/2 Grenze D/NL – Emmerich – Oberhausen; 2270 Grenze D/NL – Emmerich – Oberhausen; Planfeststellungsabschnitt 1.4; Bahn-km: 16,394 bis 21,100 von Möhler + Partner Ingenieure AG München vom Februar 2012
- [5] Bautechnischer Entwurf an Lärmschutzwänden am DB-Bahnhof Voerde, Ingenieurgesellschaft Niemann & Partner GbR vom Dezember 2013
- [6] Güterzugschallemissionen Dr. Windelberg, "Immissionsschutz" 13/2008 193- 196

## 3. Schalltechnische Grundlagen

### 3.1 Berechnungs- und Bemessungsverfahren

Die Verkehrslärmemissionen und die Verkehrslärmimmissionen sind gemäß § 3 der Verkehrslärmschutzverordnung grundsätzlich zu berechnen und werden nicht gemessen.

Mit Ausnahme des Durchfahrpegels werden für die Lärmemissionen und die Lärmimmissionen Beurteilungspegel errechnet.

Der Beurteilungspegel ist ein Maß zur Kennzeichnung der auf einen Ort wirkenden Schallimmission. Er dient in erster Linie zur Beurteilung der Schalleinwirkung auf die Bevölkerung u. a. an Verkehrswegen. Er soll die Belastung von Lärmbetroffenen bewerten.

Der Beurteilungspegel wurde als Parameter entwickelt, der die von der Durchschnittsbevölkerung empfundene Lästigkeit eines Geräusches in Form einer Zahl ausdrücken soll. Grundlegend handelt es sich um ein Maß für die Lärmbelastung mit Korrekturfaktoren für Einwirkungen, die besonders lästig sind. Der Beurteilungspegel wird verwendet, um Messwerte mit Grenzwerten zu vergleichen, die meist vom Verwendungszweck des untersuchten Gebäudes abhängen. Grundparameter ist der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel oder  $L_{Aeq}$ . Dieser Schallpegel nimmt zwei verschiedene Mittelungen vor: Einerseits die Mittelung über die beteiligten Frequenzen (A-Bewertung) und andererseits die zeitliche Mittelung (Dauerschallpegel).

Die Immissionsorte werden an den Fassaden der Gebäude in Höhe der Geschosdecken festgelegt. Bei Außenwohnbereichen werden die Immissionsorte in 2 m Höhe über der Mitte der als Außenwohnbereich genutzten Fläche gesetzt.

Es werden nur die relativen Schallpegeländerungen zum Planungszustand des PFA 1.4 (Stand 10.01.2014) ermittelt. Die Absolutwerte der jeweiligen Pegelberechnungen sind nicht vergleichbar, da das genaue Rechenmodell des Vorhabenträgers nicht vorlag.

Der Bahnhof wird gemäß Schall 03 wie eine durchgehende Strecke betrachtet, damit sind auch alle Bahnhofsgeräusche abgedeckt.

Die Ermittlung der Beurteilungspegel wird nicht streng nach Schall 03 (hier werden die Lärmschirme ohne Reflexionen modelliert), sondern in einem modifizierten Verfahren nach Schall 03 mit Reflexionen durchgeführt.

Sämtliche Pegelermittlungen wurden unter Verwendung der Software SoundPLAN 7.3 berechnet.

### **3.2 Gebietsnutzungen**

Die Gebietsnutzungen wurden aus dem Flächennutzungsplan in [4] übernommen.

## **4. Ausgangsdaten und Planungsgrundlagen**

### **4.1 Ausgangswerte Schienenverkehr**

Die Streckenbelegungen wurden der Planfeststellungsunterlage [4] entnommen und sind in der Anlage 1 zusammen mit den Emissionspegeln zusammengestellt.

Der Emissionspegel ist ein Maß für die Schallbelastung, die von einer Strecke ausgeht, unabhängig von der Topographie und den örtlichen Gegebenheiten. Er wird wesentlich bestimmt durch die Anzahl, Art und Geschwindigkeit der verkehrenden Fahrzeuge. Hinzu kommen Zuschläge für Fahrbahnart, Brücken, Bahnübergänge und enge Kurvenradien.

Korrekturwert Fahrbahnart  $D_{Fb}$  in dB(A) - Schotterbett, Betonschwelle +2 dB(A)

## 4.2 Planungsdaten

Zur Erstellung des digitalen Geländemodells wurden folgende Pläne verwendet:

Entwurfsplanung des BV als DXF-Dateien 4.14.VA.LP.101 bis 107 (ohne Höhenangaben) [4]. Daraus wurde mit angenommenen Höhen ein Rechenmodell erstellt.

Die Geometrie der Lärmschutzwände im Bahnhofsbereich ist in Abbildung 1 dargestellt und wurde nach Variante 3 der Vorstudie zum Bautechnischen Entwurf an Lärmschutzwänden am DB-Bahnhof Voerde [5] modelliert.

Außerdem wurden beachtet:

- die Luftabsorption
- die Boden- und Meteorologiedämpfung
- die topographischen Gegebenheiten und baulichen Maßnahmen

## 4.3 Geometrie der Lärmschutzkonstruktion

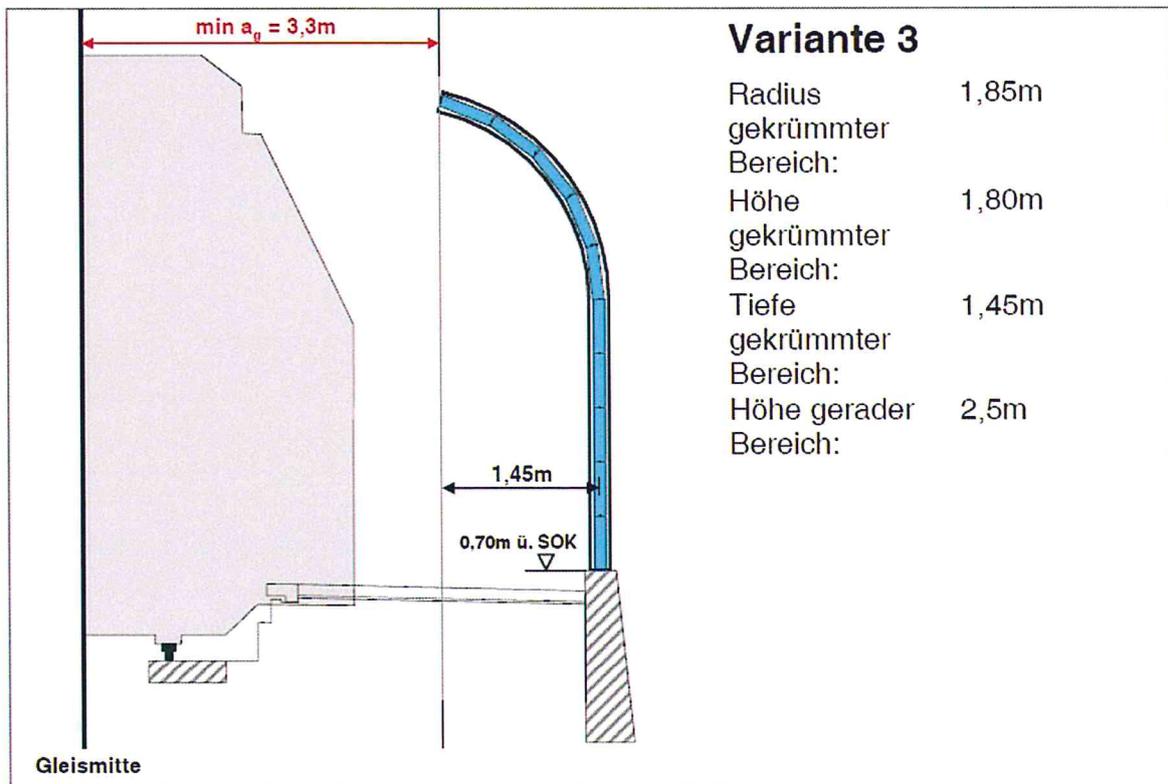


Abbildung 1

## 5. Berechnungen und Ergebnisse

Es wurde ein Vergleich der Beurteilungspegel für folgende Varianten vorgenommen:

Alle Höhenangaben betreffen die Höhe der Lärmschutzwände über der Schienenoberkante (SOK). Die Höhe der Glasbogenwand (5,00 m) setzt sich zusammen aus UK Lsw bis SOK (0,70 m) plus Höhe gerader Bereich (2,50 m) plus Höhe gebogener Bereich (1,80 m). Alle Mittelwände werden als beidseitig hochabsorbierende Lärmschutzwände angesetzt.

a) ursprünglicher (Planungs-)Zustand:

senkrechte hochabsorbierende Außenwände 3,00 m hoch plus beidseitig hochabsorbierende Mittelwand 4,00 m

b) Variante 3.1

hochabsorbierende Bogenwand 5,00 m hoch plus Mittelwand 1,5 m hoch

c) Variante 3.2

reflektierende Glasbogenwand 5,00 m hoch plus Mittelwand 1,5 m hoch

d) Variante 3.3

reflektierende Glasbogenwand 5,00 m hoch plus Mittelwand 2 m hoch

Die Ergebnisse sind in Anlage 2 zusammengestellt.

Der Vergleich Variante 3.1 zur ursprünglichen Planung zeigt, dass die Beurteilungspegel an allen untersuchten Immissionsorten niedriger sind.

Der Vergleich Variante 3.2 zur ursprünglichen Planung zeigt, dass die Beurteilungspegel im Bahnhofsbereich niedriger, vor und nach dem Bahnhof jedoch geringfügig höher sind.

Der Vergleich Variante 3.3 zu Variante 3.2 zeigt, dass die Beurteilungspegel durch eine um 0,5 m erhöhte Mittelwand nur minimal bessere Werte (bis 0,2 dB(A)) ergibt.

Die Erhöhungen liegen in den meisten Fällen im Bereich der Rundung auf das ganze dB(A).

## 6. Vorbeifahrtpegel

Um die Situation der wartenden Passagiere auf den Bahnsteigen zu bewerten, wurden Immissionsorte in 1,7 m Höhe ca. 1,2 m vor den Wänden gesetzt und der Unterschied der einzelnen Varianten betrachtet:

- Auf dem südwestlichen Bahnsteig erhöht sich der Pegel bei Variante 3.1 um 0,1 dB(A), bei Variante 3.2 um 0,8 dB(A) und bei Variante 3.3 um 0,7 dB(A) gegenüber den ursprünglichen Planungen a).
- Auf dem nordöstlichen Bahnsteig erhöht sich der Pegel bei Variante 3.1 um 0,6 dB(A), bei Variante 3.2 um 1,4 dB(A) und bei Variante 3.3 um 1,1 dB(A) gegenüber den ursprünglichen Planungen a).

Die in Anlage 2 berechneten Pegel sind die Beurteilungspegel aller Züge über den Tag / Nacht berechnet. Dies ist zur Darstellung der Unterschiede der einzelnen Varianten ausreichend.

Die tatsächlichen Vorbeifahrtpegel, ermittelt aus dem Grundpegel Rad/Schiene, mit den Korrekturwerten und der Zeitdauer einer Vorbeifahrt liegen dabei deutlich höher (z. B. bei

einem Güterzug 700 m lang, Geschwindigkeit 100 km/h bei ca. 107 dB(A) für 25,2 Sekunden nach [6] Güterzugschallemissionen Dr. Windelberg, "Immissionsschutz" 13/2008 193 - 196) als der Beurteilungspegel.

Die unterschiedlichen Pegel auf den gegenüberliegenden Bahnsteigen resultieren daraus, dass die Mittelwand nicht mittig, sondern zwischen den Gleisen 2 und 3 errichtet wird. Auf dem südwestlichen Bahnsteig sind daher die ermittelten Pegel geringer als auf dem gegenüberliegenden.

Für die wartenden Passagiere auf den Bahnsteigen sind Pegeldifferenzen des Vorbeifahrpegels zwischen der senkrechten hochabsorbierenden Wand und einer transparenten gebogenen Lärmschutzwand nicht wahrnehmbar. Vorbeifahrpegel von weit über 100 dB(A) nähern sich der Schmerzschwelle und werden als besonders störend und lästig empfunden. Die Wahrnehmbarkeitsschwelle für unterschiedlich laute Geräusche liegt für das menschliche Gehör bei 3,0 dB(A), die Unterschiede von max. 0,6 bis 1,4 dB(A) liegen somit unter dieser Wahrnehmbarkeitsschwelle.

Die Pegelunterschiede zwischen Variante 3.1 und 3.2 oder 3.3 betragen zwischen 0,5 und 0,8 dB(A). Das zeigt, dass auch eine hochabsorbierende Ausführung der gesamten gebogenen Wand zu keinen wahrnehmbaren Pegelerhöhungen führt. Somit würde auch eine teilweise Absorption der Glasbogenwand für die wartenden Passagiere auf den Bahnsteigen keine spürbaren Verbesserungen erbringen.

## **7. Zusammenfassung**

Für den Planfeststellungsabschnitt 1.4 zum Ausbau der Bahnstrecke - ABS 46/2 Grenze D/NL – Emmerich – Oberhausen wurde für den Bahnhofsbereich in Voerde eine schalltechnische Untersuchung für eine separate Gestaltung des Lärmschutzes mit geänderten Höhen und Eigenschaften der Lärmschutzwände durchgeführt.

Es wurden die Beurteilungspegel des geplanten Zustandes mit geänderten Varianten verglichen.

Der Vergleich Variante 3.1 zur ursprünglichen Planung zeigt, dass die Beurteilungspegel an allen untersuchten Immissionsorten niedriger sind.

Der Vergleich Variante 3.2 zur ursprünglichen Planung zeigt, dass die Beurteilungspegel im Bahnhofsbereich niedriger, vor und nach dem Bahnhof jedoch geringfügig höher sind.

Der Vergleich Variante 3.3 zu Variante 3.2 zeigt, dass die Beurteilungspegel durch eine um 0,5 m erhöhte Mittelwand nur minimal bessere Werte (bis 0,2 dB(A)) ergibt.

Des Weiteren wurde der Unterschied der einzelnen Varianten beim Vorbeifahrpegel eines Zuges für Personen auf den Bahnsteigen ermittelt. Die Pegelunterschiede für die wartenden Passagiere auf den Bahnsteigen sind sehr gering und betragen zwischen Variante 3.1 und 3.2 oder 3.3 zwischen 0,5 und 0,8 dB (A).

Mit SSD / SSA (-3 dB(A)) zusammen können die Pegelerhöhungen durch Variante 3.2 kompensiert werden.

**ABS 46/2 - Planungsabschnitt 1.4 und 2.1  
Akustische Stellungnahme zu gebogenen Lärmschutzwänden**

Strecke 2270-a Richtung Emmerich

Zugname	Anzahl Tag N(6-22)	Anzahl Nacht N(22-6)	Scheibenbremsen- anteil in % p %	Geschwin- digkeit v km/h	Länge l m	DFz+DAO dB	LmE(6-22) dB(A)	LmE(22-6) dB(A)
RB (DFZ=-2)	40	5	100	140	70	-2	54,4	48,3
RB HVZ	7	0	85	140	180	0	54,9	
RE	16	2	100	160	180	0	57,6	51,6
SGV(fern)	41	17	0	100	700	0	70,5	69,7
SGV(fern,schnell)	3	2	0	120	700	0	60,8	62

Strecke 2270-b Richtung Oberhausen

Zugname	Anzahl Tag N(6-22)	Anzahl Nacht N(22-6)	Scheibenbremsen- anteil in % p %	Geschwin- digkeit v km/h	Länge l m	DFz+DAO dB	LmE(6-22) dB(A)	LmE(22-6) dB(A)
RB (DFZ=-2)	44	2	100	140	70	-2	54,8	44,4
RB HVZ	3	3	85	140	180	0	51,2	54,3
RE	16	2	100	160	180	0	57,6	51,6
SGV(fern)	40	30	0	100	700	0	70,4	72,2
SGV(fern,schnell)	3	2	0	120	700	0	60,8	62

Strecke 2279 Oberhausen - Emmerich

Zugname	Anzahl Tag N(6-22)	Anzahl Nacht N(22-6)	Scheibenbremsen- anteil in % p %	Geschwin- digkeit v km/h	Länge l m	DFz+DAO dB	LmE(6-22) dB(A)	LmE(22-6) dB(A)
ICE (v=200)	14	6	100	200	400	-3	59,5	58,8
SGV(fern)	32	16	0	100	700	0	69,5	69,5

Schiene	KM	DBr dB	Dbü dB	DFb dB	DRa dB	DRz dB	LmE(6-22) pro Gleis dB(A)	LmE(22-6) pro Gleis dB(A)
Strecke 2270-a	0	0	0	2	0	0	71,3	70,5
Strecke 2270-b	0	0	0	2	0	0	71,2	72,7
Strecke 2279	0	0	0	2	0	0	69,9	69,8

Ergebnisse schalltechnischer Berechnungen																							
Beurteilungspegel Bereich Bahnhof Voerde Variantenvergleich Bestand - Glasbogenwand V3 mit niedrigerer Mittelwand und unterschiedlichen Wandeigenschaften																							
Berechnungspunkt				IGW				Bestand				Bogenwand absorbierend				Bogenwand reflektierend				Differenz			
Nr.	Adresse	Gebäude-seite	Ge-schoss	Ge-biets-nutzung	16. BImSchV		Beurteilungspegel		Überschreitung		Beurteilungspegel		Überschreitung		Beurteilungspegel		Überschreitung		Differenz				
					tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts	tags	nachts	
					dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	Alnwickler Ring 23	O	EG	MI	64	54	55,4	55,8	-	1,8	55,4	55,7	-	1,7	55,5	55,9	-	1,9	0,0	-0,1	0,1	0,1	0,1
		O	1.OG	MI	64	54	56,6	57,0	-	3,0	56,6	56,9	-	2,9	56,7	57,0	-	3,0	0,0	-0,1	0,1	0,0	0,0
2	Alnwickler Ring 23	S	EG	MI	64	54	50,6	51,0	-	-	50,3	50,6	-	-	50,7	50,9	-	-	-0,3	-0,4	0,1	-0,1	-0,1
		S	1.OG	MI	64	54	52,0	52,3	-	-	51,7	51,9	-	-	52,1	52,3	-	-	-0,3	-0,4	0,1	0,0	0,0
3	Bahnhofstraße 96	NO	EG	MI	64	54	58,9	59,4	-	5,4	57,2	57,5	-	3,5	57,4	57,7	-	3,7	-1,7	-1,9	-1,5	-1,7	-1,7
		NO	1.OG	MI	64	54	62,2	62,7	-	8,7	59,5	59,8	-	5,8	59,8	60,1	-	6,1	-2,7	-2,9	-2,4	-2,6	-2,6
4	Bahnhofstraße 96	NW	EG	MI	64	54	54,9	55,3	-	1,3	52,5	52,7	-	-	52,9	53,1	-	-	-2,4	-2,6	-2,0	-2,2	-2,2
		NW	1.OG	MI	64	54	56,9	57,4	-	3,4	54,3	54,4	-	0,4	54,8	54,9	-	0,9	-2,6	-3,0	-2,1	-2,5	-2,5
		NW	2.OG	MI	64	54	59,4	59,8	-	5,8	56,2	56,3	-	2,3	57,0	57,0	-	3,0	-3,2	-3,5	-2,4	-2,8	-2,8
5	Bahnhofstraße 96	NO	EG	MI	64	54	58,4	58,9	-	4,9	55,7	55,9	-	1,9	56,6	56,6	-	2,6	-2,7	-3,0	-1,8	-2,3	-2,3
		NO	1.OG	MI	64	54	60,9	61,4	-	7,4	57,5	57,5	-	3,5	58,7	58,6	-	4,6	-3,4	-3,9	-2,2	-2,8	-2,8
		NO	2.OG	MI	64	54	64,2	64,6	0,2	10,6	60,0	59,9	-	5,9	62,0	61,5	-	7,5	-4,2	-4,7	-2,2	-2,8	-3,1
6	Bahnhofstraße 96	SO	EG	MI	64	54	53,8	54,3	-	0,3	51,6	51,7	-	-	53,0	52,8	-	-	-2,2	-2,6	-0,8	-1,5	-1,5
		SO	1.OG	MI	64	54	55,5	55,9	-	1,9	53,2	53,2	-	-	54,8	54,6	-	0,6	-2,3	-2,7	-0,7	-1,3	-1,3
		SO	2.OG	MI	64	54	57,7	58,1	-	4,1	55,4	55,4	-	1,4	57,4	57,0	-	3,0	-2,3	-2,7	-0,3	-1,1	-1,1
7	Kronprinzenstraße 25	NW	EG	MI	64	54	53,8	54,3	-	0,3	51,6	51,7	-	-	52,8	52,7	-	-	-2,2	-2,6	-1,0	-1,6	-1,6
		NW	1.OG	MI	64	54	55,5	55,9	-	1,9	53,1	53,2	-	-	54,5	54,3	-	0,3	-2,4	-2,7	-1,0	-1,6	-1,6
		NW	2.OG	MI	64	54	57,5	57,9	-	3,9	54,8	54,8	-	0,8	56,6	56,3	-	2,3	-2,7	-3,1	-0,9	-1,6	-1,6
8	Kronprinzenstraße 25	NO	EG	MI	64	54	58,6	59,1	-	5,1	56,0	56,2	-	2,2	57,1	57,1	-	3,1	-2,6	-2,9	-1,5	-2,0	-2,0
		NO	1.OG	MI	64	54	61,1	61,5	-	7,5	57,8	57,9	-	3,9	59,3	59,1	-	5,1	-3,3	-3,6	-1,8	-2,4	-2,4
		NO	2.OG	MI	64	54	64,5	64,9	0,5	10,9	60,5	60,3	-	6,3	62,7	62,3	-	8,3	-4,0	-4,6	-1,8	-2,6	-2,6
9	Kronprinzenstraße 25	SO	EG	MI	64	54	52,0	52,5	-	-	50,1	50,2	-	-	51,5	51,3	-	-	-1,9	-2,3	-0,5	-1,2	-1,2
		SO	1.OG	MI	64	54	54,0	54,4	-	0,4	52,1	52,1	-	-	53,6	53,4	-	-	-1,9	-2,3	-0,4	-1,0	-1,0
		SO	2.OG	MI	64	54	56,8	57,2	-	3,2	54,8	54,8	-	0,8	56,6	56,3	-	2,3	-2,0	-2,4	-0,2	-0,9	-0,9
10	Kronprinzenstraße 27	NW	EG	MI	64	54	52,7	53,2	-	-	50,7	50,8	-	-	51,7	51,6	-	-	-2,0	-2,4	-1,0	-1,6	-1,6
		NW	1.OG	MI	64	54	54,7	55,1	-	1,1	52,6	52,7	-	-	53,8	53,6	-	-	-2,1	-2,4	-0,9	-1,5	-1,5
11	Kronprinzenstraße 27	NO	EG	MI	64	54	57,7	58,2	-	4,2	55,5	55,7	-	1,7	56,6	56,6	-	2,6	-2,2	-2,5	-1,1	-1,6	-1,6
		NO	1.OG	MI	64	54	59,6	60,1	-	6,1	57,1	57,1	-	3,1	58,5	58,4	-	4,4	-2,5	-3,0	-1,1	-1,7	-1,7
12	Kronprinzenstraße 27	SO	EG	MI	64	54	52,8	53,2	-	-	50,7	50,8	-	-	52,1	51,9	-	-	-2,1	-2,4	-0,7	-1,3	-1,3
		SO	1.OG	MI	64	54	54,8	55,3	-	1,3	52,8	52,8	-	-	54,3	54,1	-	0,1	-2,0	-2,5	-0,5	-1,2	-1,2
13	Kronprinzenstraße 29	NW	EG	MI	64	54	52,7	53,1	-	-	50,7	50,8	-	-	51,9	51,8	-	-	-2,0	-2,3	-0,8	-1,3	-1,3
		NW	1.OG	MI	64	54	54,7	55,1	-	1,1	52,9	52,9	-	-	54,1	54,0	-	-	-1,8	-2,2	-0,6	-1,1	-1,1
14	Kronprinzenstraße 29	NO	EG	MI	64	54	57,0	57,4	-	3,4	54,8	54,9	-	0,9	55,9	55,8	-	1,8	-2,2	-2,5	-1,1	-1,6	-1,6
		NO	1.OG	MI	64	54	58,9	59,3	-	5,3	56,5	56,5	-	2,5	57,9	57,7	-	3,7	-2,4	-2,8	-1,0	-1,6	-1,6

Ergebnisse schalltechnischer Berechnungen																													
Beurteilungspegel Bereich Bahnhof Voerde Variantenvergleich Bestand - Glasbogenwand V3 mit niedrigerer Mittelwand und unterschiedlichen Wandeigenschaften																													
Nr.	Adresse	Berechnungspunkt	Ge- bäude- seite	Ge- schoss	Ge- biets- nutzung	IGW		Bestand				Bogenwand absorbierend				Mittelwand 1,5 m				Bogenwand reflektierend				Differenz		Differenz			
						tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)
15	Kronprinzenstraße 29	SO	MI	EG	MI	64	54	52,4	52,8	-	-	50,4	50,5	51,4	51,3	51,4	51,3	51,4	51,3	51,4	51,3	51,4	51,3	51,4	51,3	51,4	51,3	-1,0	-1,5
		SO	MI	1.OG	MI	64	54	54,3	54,7	-	0,7	52,3	52,3	53,4	53,3	53,4	53,3	53,4	53,3	53,4	53,3	53,4	53,3	53,4	53,3	53,4	53,3	-2,0	-2,3
16	Kronprinzenstraße 31	NW	MI	EG	MI	64	54	52,4	52,8	-	-	50,6	50,7	51,9	51,8	51,9	51,8	51,9	51,8	51,9	51,8	51,9	51,8	51,9	51,8	51,9	51,8	-1,8	-2,1
		NW	MI	1.OG	MI	64	54	54,3	54,7	-	0,7	52,5	52,5	54,0	53,8	54,0	53,8	54,0	53,8	54,0	53,8	54,0	53,8	54,0	53,8	54,0	53,8	-2,2	-2,2
		NW	MI	2.OG	MI	64	54	57,3	57,7	-	3,7	55,4	55,4	57,2	56,9	57,2	56,9	57,2	56,9	57,2	56,9	57,2	56,9	57,2	56,9	57,2	56,9	-1,9	-2,3
17	Kronprinzenstraße 31	NO	MI	EG	MI	64	54	57,3	57,8	-	3,8	55,3	55,5	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	56,3	-2,0	-2,3
		NO	MI	1.OG	MI	64	54	59,2	59,7	-	5,7	57,0	57,0	58,2	58,1	58,2	58,1	58,2	58,1	58,2	58,1	58,2	58,1	58,2	58,1	58,2	58,1	-2,2	-2,7
		NO	MI	2.OG	MI	64	54	61,7	62,1	-	8,1	59,2	59,1	60,9	60,6	60,9	60,6	60,9	60,6	60,9	60,6	60,9	60,6	60,9	60,6	60,9	60,6	-2,5	-3,0
18	Kronprinzenstraße 31	NO	MI	EG	MI	64	54	57,9	58,4	-	4,4	56,9	57,2	57,5	57,7	57,5	57,7	57,5	57,7	57,5	57,7	57,5	57,7	57,5	57,7	57,5	57,7	-1,0	-1,2
		NO	MI	1.OG	MI	64	54	59,9	60,3	-	6,3	58,8	59,0	59,6	59,7	59,6	59,7	59,6	59,7	59,6	59,7	59,6	59,7	59,6	59,7	59,6	59,7	-1,1	-1,3
		NO	MI	2.OG	MI	64	54	62,7	63,0	-	9,0	61,4	61,5	62,5	62,4	62,5	62,4	62,5	62,4	62,5	62,4	62,5	62,4	62,5	62,4	62,5	62,4	-1,3	-1,5
19	Kronprinzenstraße 31	SO	MI	EG	MI	64	54	53,8	54,2	-	0,2	53,8	54,2	53,9	54,3	53,9	54,3	53,9	54,3	53,9	54,3	53,9	54,3	53,9	54,3	53,9	54,3	0,0	0,0
		SO	MI	1.OG	MI	64	54	55,2	55,5	-	1,5	55,2	55,5	55,2	55,6	55,2	55,6	55,2	55,6	55,2	55,6	55,2	55,6	55,2	55,6	55,2	55,6	0,0	0,0
		SO	MI	2.OG	MI	64	54	57,0	57,3	-	3,3	56,9	57,3	57,1	57,3	57,1	57,3	57,1	57,3	57,1	57,3	57,1	57,3	57,1	57,3	57,1	57,3	-0,1	0,0
20	Kronprinzenstraße 37	N	MI	EG	MI	64	54	57,6	58,1	-	4,1	57,5	57,9	57,7	58,1	57,7	58,1	57,7	58,1	57,7	58,1	57,7	58,1	57,7	58,1	57,7	58,1	-0,1	-0,2
		N	MI	1.OG	MI	64	54	60,8	61,2	-	7,2	60,8	61,2	60,9	61,3	60,9	61,3	60,9	61,3	60,9	61,3	60,9	61,3	60,9	61,3	60,9	61,3	0,0	0,0
21	Kronprinzenstraße 37	O	MI	EG	MI	64	54	58,4	58,9	-	4,9	58,4	58,9	58,4	58,9	58,4	58,9	58,4	58,9	58,4	58,9	58,4	58,9	58,4	58,9	58,4	58,9	0,0	0,0
		O	MI	1.OG	MI	64	54	61,9	62,3	-	8,3	61,9	62,3	62,0	62,4	62,0	62,4	62,0	62,4	62,0	62,4	62,0	62,4	62,0	62,4	62,0	62,4	0,0	0,0
22	KG1	NO	WA	EG	WA	59	49	56,2	56,6	-	7,6	56,2	56,6	56,2	56,6	56,2	56,6	56,2	56,6	56,2	56,6	56,2	56,6	56,2	56,6	56,2	56,6	0,0	0,0
23	KG2	NO	WA	EG	WA	59	49	55,3	55,7	-	6,7	55,3	55,7	55,3	55,7	55,3	55,7	55,3	55,7	55,3	55,7	55,3	55,7	55,3	55,7	55,3	55,7	0,0	0,0
24	KG3	NO	WA	EG	WA	59	49	56,3	56,7	-	7,7	56,3	56,7	56,3	56,7	56,3	56,7	56,3	56,7	56,3	56,7	56,3	56,7	56,3	56,7	56,3	56,7	0,0	0,0
25	Alte Prinzenstraße 25	NW	WA	EG	WA	59	49	48,5	48,8	-	-	48,5	48,8	48,6	48,8	48,6	48,8	48,6	48,8	48,6	48,8	48,6	48,8	48,6	48,8	48,6	48,8	0,0	0,0
		NW	WA	1.OG	WA	59	49	49,0	49,3	-	0,3	49,0	49,3	49,1	49,4	49,1	49,4	49,1	49,4	49,1	49,4	49,1	49,4	49,1	49,4	49,1	49,4	0,0	0,0
26	Alte Prinzenstraße 25	NO	WA	EG	WA	59	49	50,8	51,0	-	2,0	50,8	51,0	50,8	51,1	50,8	51,1	50,8	51,1	50,8	51,1	50,8	51,1	50,8	51,1	50,8	51,1	0,0	0,1
		W	WA	EG	WA	59	49	51,1	51,4	-	2,4	51,1	51,4	51,2	51,4	51,2	51,4	51,2	51,4	51,2	51,4	51,2	51,4	51,2	51,4	51,2	51,4	0,0	0,0
27	Voshalsfeld 23	W	WA	EG	WA	59	49	55,0	55,3	-	6,3	55,0	55,3	55,0	55,3	55,0	55,3	55,0	55,3	55,0	55,3	55,0	55,3	55,0	55,3	55,0	55,3	0,0	0,0
		W	WA	1.OG	WA	59	49	56,1	56,4	-	7,4	56,1	56,4	56,1	56,4	56,1	56,4	56,1	56,4	56,1	56,4	56,1	56,4	56,1	56,4	56,1	56,4	0,0	0,0
28	Voshalsfeld 23	S	WA	EG	WA	59	49	53,7	54,0	-	5,0	53,8	54,1	53,9	54,2	53,9	54,2	53,9	54,2	53,9	54,2	53,9	54,2	53,9	54,2	53,9	54,2	0,1	0,1
		S	WA	1.OG	WA	59	49	54,9	55,2	-	6,2	54,9	55,2	54,9	55,2	54,9	55,2	54,9	55,2	54,9	55,2	54,9	55,2	54,9	55,2	54,9	55,2	0,0	0,0
29	Voshalsfeld 17	SW	WA	EG	WA	59	49	55,6	55,9	-	6,9	55,6	55,9	55,6	55,9	55,6	55,9	55,6	55,9	55,6	55,9	55,6	55,9	55,6	55,9	55,6	55,9	0,0	0,0
		SW	WA	1.OG	WA	59	49	56,6	57,0	-	8,0	56,6	56,9	56,7	57,0	56,7	57,0	56,7	57,0	56,7	57,0	56,7	57,0	56,7	57,0	56,7	57,0	0,0	0,0
30	Voshalsfeld 15	SW	WA	EG	WA	59	49	55,9	56,2	-	7,2	55,9	56,2	56,1	56,4	56,1	56,4	56,1	56,4	56,1	56,4	56,1	56,4	56,1	56,4	56,1	56,4	0,0	0,0
		SW	WA	1.OG	WA	59	49	57,0	57,3	-	8,3	57,0	57,3	57,1	57,5	57,1	57,5	57,1	57,5	57,1	57,5	57,1	57,5	57,1	57,5	57,1	57,5	0,0	0,0
31	Voshalsfeld 13	SW	WA	EG	WA	59	49	55,5	55,8	-	6,8	55,4	55,7	55,4	55,7	55,4	55,7	55,4	55,7	55,4	55,7	55,4	55,7	55,4	55,7	55,4	55,7	-0,1	-0,1
		SW	WA	1.OG	WA	59	49	56,6	56,9	-	7,9	56,6	56,9	56,5	56,8	56,5	56,8	56,5	56,8	56,5	56,8	56,5	56,8	56,5	56,8	56,5	56,8	-0,1	-0,1

Ergebnisse schalltechnischer Berechnungen																				
Beurteilungspegel Bereich Bahnhof Voerde Variantenvergleich Bestand - Glasbogenwand V3 mit niedrigerer Mittelwand und unterschiedlichen Wandeigenschaften																				
Berechnungspunkt			IGW			Bestand			Bogenwand absorbierend			Bogenwand reflektierend			Differenz					
Nr.	Adresse	Ge- bäude- seite	Ge- schoss	Ge- biets- nutzung	16. BlmSchV		Überschreitung der IRW		Beurteilungspegel		Überschreitung der IGW		Beurteilungspegel		Überschreitung der IGW		Differenz			
					tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags Lm,t dB(A)	nachts Lm,n dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags Lm,t dB(A)	nachts Lm,n dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags Lm,t dB(A)	nachts Lm,t dB(A)	tags Lm,t dB(A)	nachts Lm,t dB(A)
32	Voshalsfeld 13	SO	EG	WA	59	49	-	5,4	54,1	54,4	54,4	-	5,4	54,3	54,7	5,7	0,0	0,0	0,2	0,3
		SO	1.OG	WA	59	49	-	6,5	55,1	55,5	55,5	-	6,5	55,4	55,8	6,8	-0,1	0,0	0,2	0,3
33	Voshalsfeld 11	SW	EG	WA	59	49	-	4,0	52,6	53,0	52,9	-	3,9	52,8	53,2	4,2	-0,1	-0,1	0,2	0,2
		SW	1.OG	WA	59	49	-	5,1	53,7	54,1	54,1	-	5,1	53,9	54,4	5,4	-0,1	0,0	0,2	0,3
34	Voshalsfeld 11	SO	EG	WA	59	49	-	3,1	51,7	52,1	52,1	-	3,1	52,2	52,6	3,6	0,0	0,0	0,5	0,5
		SO	1.OG	WA	59	49	-	4,1	52,7	53,1	53,1	-	4,1	53,4	53,8	4,8	0,0	0,0	0,7	0,7
35	Voshalsfeld 109	W	EG	MI	64	54	-	2,0	55,7	56,0	55,9	-	1,9	55,8	56,2	2,2	-0,1	-0,1	0,1	0,2
	Gewerbe	W	1.OG	MI	64	54	-	3,3	56,9	57,3	57,3	-	3,1	57,2	57,6	3,6	-0,1	-0,2	0,3	0,3
36	Voshalsfeld 109	S	EG	MI	64	54	-	2,2	55,9	56,2	56,0	-	2,0	56,6	57,0	3,0	-0,2	-0,2	0,7	0,8
		S	1.OG	MI	64	54	-	4,0	57,8	58,0	58,1	-	4,1	58,8	59,3	5,3	-0,1	0,1	1,0	1,3
37	Sternbuschweg 36	NW	EG	SOS	57	0	-	-	47,4	-	-	-	-	47,9	-	-	0,0	-	0,5	-
		NW	1.OG	SOS	57	0	-	-	48,2	-	-	-	-	48,7	-	-	0,1	-	0,5	-
38	Sternbuschweg 36	SW	EG	SOS	57	0	-	-	51,2	-	-	-	-	51,2	-	-	0,0	-	0,0	-
		SW	1.OG	SOS	57	0	-	-	51,9	-	-	-	-	51,9	-	-	0,0	-	0,0	-
39	Sternbuschweg 36	SO	EG	SOS	57	0	-	-	48,3	-	-	-	-	48,3	-	-	0,0	-	0,0	-
		SO	1.OG	SOS	57	0	-	-	49,0	-	-	-	-	49,0	-	-	0,0	-	0,0	-
40	Sternbuschweg 42a	SW	EG	MI	64	54	-	-	51,7	52,1	52,1	-	-	51,7	52,2	-	0,0	0,0	0,0	0,1
		SW	1.OG	MI	64	54	-	-	52,2	52,6	52,6	-	-	52,2	52,7	-	0,0	0,0	0,0	0,1
41	Prinzenstraße 31	NW	EG	MI	64	54	-	-	50,1	50,5	50,5	-	-	50,2	50,5	-	0,0	0,0	0,1	0,0
		NW	1.OG	MI	64	54	-	-	50,9	51,3	51,3	-	-	50,9	51,3	-	0,0	0,0	0,0	0,0
42	Prinzenstraße 31	SW	EG	MI	64	54	-	-	53,1	53,4	53,4	-	-	53,1	53,4	-	0,0	0,0	0,0	0,0
		SW	1.OG	MI	64	54	-	-	53,7	54,0	54,0	-	-	53,7	54,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0
43	Bahnsteig SW 1	0	EG	WA	59	49	-	-	79,5	80,5	80,6	-	-	80,2	81,3	-	0,1	0,1	0,8	0,8
44	Bahnsteig SW 2	0	EG	WA	59	49	-	-	79,6	80,7	80,7	-	-	80,4	81,5	-	0,1	0,0	0,9	0,8
45	Bahnsteig NO 1	0	EG	WA	59	49	-	-	77,9	77,1	77,1	-	-	79,1	78,5	-	0,4	0,6	1,2	1,4
46	Bahnsteig NO 2	0	EG	WA	59	49	-	-	78,0	77,1	77,1	-	-	79,2	78,5	-	0,3	0,6	1,2	1,4



Ergebnisse schalltechnischer Berechnungen																						
Beurteilungspegel Bereich Bahnhof Voerde Variantenvergleich Bestand - Glasbogenwand mit niedrigerer Mittelwand und unterschiedlichen Wandeigenschaften																						
Berechnungspunkt		IGW			Bestand				Bogenwand reflektierend Mittelwand 1,5 m				Bogenwand reflektierend Mittelwand 2 m				Differenz		Differenz			
		Adresse	Ge- bäude- seite	Ge- schoss	Ge- biets- nutzung	Überschreitung der IRW		Beurteilungspegel		Überschreitung der IGW		Beurteilungspegel		Überschreitung der IGW		Sp12-8 Sp 13-9		Sp16-12 Sp 17-13				
Nr.					tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)	tags dB(A)	nachts dB(A)		
15	Kronprinzenstraße 29	SO	EG	MI	64	54	52,4	52,8	51,4	51,3	-	-	51,4	51,3	-	-	51,4	51,3	-1,0	-1,5	0,0	0,0
		SO	1.OG	MI	64	54	54,3	54,7	53,4	53,3	-	-	53,4	53,2	-	-	53,4	53,2	-0,9	-1,4	0,0	-0,1
16	Kronprinzenstraße 31	NW	EG	MI	64	54	52,4	52,8	51,9	51,8	-	-	51,9	51,8	-	-	51,9	51,8	-0,5	-1,0	0,0	0,0
		NW	1.OG	MI	64	54	54,3	54,7	54,0	53,8	-	-	53,9	53,7	-	-	53,9	53,7	-0,3	-0,9	-0,1	-0,1
		NW	2.OG	MI	64	54	57,3	57,7	57,2	56,9	-	2,9	57,1	56,9	-	2,9	57,1	56,9	-0,1	-0,8	-0,1	0,0
17	Kronprinzenstraße 31	NO	EG	MI	64	54	57,3	57,8	56,3	56,3	-	2,3	56,3	56,3	-	2,3	56,3	56,3	-1,0	-1,5	-0,1	0,0
		NO	1.OG	MI	64	54	59,2	59,7	58,2	58,1	-	4,1	58,1	58,0	-	4,0	58,1	58,0	-1,0	-1,6	-0,1	-0,1
		NO	2.OG	MI	64	54	61,7	62,1	60,9	60,6	-	6,6	60,9	60,6	-	6,5	60,8	60,5	-0,8	-1,5	-0,1	-0,1
18	Kronprinzenstraße 31	NO	EG	MI	64	54	57,9	58,4	57,5	57,7	-	3,7	57,5	57,7	-	3,7	57,5	57,7	-0,4	-0,7	0,0	0,0
		NO	1.OG	MI	64	54	59,9	60,3	59,6	59,7	-	5,7	59,6	59,6	-	5,6	59,6	59,6	-0,3	-0,6	0,0	-0,1
		NO	2.OG	MI	64	54	62,7	63,0	62,5	62,4	-	8,4	62,5	62,4	-	8,3	62,4	62,3	-0,2	-0,6	-0,1	-0,1
19	Kronprinzenstraße 31	SO	EG	MI	64	54	53,8	54,2	53,9	54,3	-	0,3	53,9	54,3	-	0,3	53,9	54,3	0,1	0,1	0,0	0,0
		SO	1.OG	MI	64	54	55,2	55,5	55,2	55,6	-	1,6	55,2	55,6	-	1,6	55,2	55,6	0,0	0,1	0,0	0,0
		SO	2.OG	MI	64	54	57,0	57,3	57,1	57,3	-	3,3	57,1	57,3	-	3,3	57,1	57,3	0,1	0,0	0,0	0,0
20	Kronprinzenstraße 37	N	EG	MI	64	54	57,6	58,1	57,7	58,1	-	4,1	57,7	58,1	-	4,1	57,7	58,1	0,1	0,0	0,0	0,0
		N	1.OG	MI	64	54	60,8	61,2	60,9	61,3	-	7,3	60,9	61,3	-	7,2	60,9	61,2	0,1	0,1	0,0	-0,1
21	Kronprinzenstraße 37	O	EG	MI	64	54	58,4	58,9	58,4	58,9	-	4,9	58,4	58,9	-	4,9	58,4	58,9	0,0	0,0	0,0	0,0
		O	1.OG	MI	64	54	61,9	62,3	62,0	62,4	-	8,4	62,0	62,4	-	8,3	62,0	62,3	0,1	0,1	0,0	-0,1
22	KG1	NO	EG	WA	59	49	56,2	56,6	56,2	56,6	-	7,6	56,2	56,6	-	7,6	56,2	56,6	0,0	0,0	0,0	0,0
23	KG2	NO	EG	WA	59	49	55,3	55,7	55,3	55,7	-	6,7	55,3	55,7	-	6,7	55,3	55,7	0,0	0,0	0,0	0,0
24	KG3	NO	EG	WA	59	49	56,3	56,7	56,3	56,7	-	7,7	56,3	56,7	-	7,7	56,3	56,7	0,0	0,0	0,0	0,0
25	Alte Prinzenstraße 25	NW	EG	WA	59	49	48,5	48,8	48,6	48,8	-	-	48,6	48,8	-	-	48,5	48,8	0,1	0,0	-0,1	0,0
		NW	1.OG	WA	59	49	49,0	49,3	49,0	49,4	-	0,4	49,1	49,4	-	0,3	49,1	49,3	0,1	0,1	0,0	-0,1
26	Alte Prinzenstraße 25	NO	EG	WA	59	49	50,8	51,0	50,8	51,1	-	2,1	50,8	51,1	-	2,1	50,8	51,1	0,0	0,1	0,0	0,0
		NO	1.OG	WA	59	49	51,1	51,4	51,2	51,4	-	2,4	51,2	51,4	-	2,4	51,2	51,4	0,1	0,0	0,0	0,0
27	Voshalsfeld 23	W	EG	WA	59	49	55,0	55,3	55,0	55,3	-	6,3	55,0	55,3	-	6,3	55,0	55,3	0,0	0,0	0,0	0,0
		W	1.OG	WA	59	49	56,1	56,4	56,1	56,4	-	7,4	56,1	56,4	-	7,4	56,1	56,4	0,0	0,0	0,0	0,0
28	Voshalsfeld 23	S	EG	WA	59	49	53,7	54,0	53,9	54,2	-	5,2	53,9	54,2	-	5,2	53,9	54,2	0,2	0,2	0,0	0,0
		S	1.OG	WA	59	49	54,9	55,2	55,0	55,4	-	6,4	55,0	55,4	-	6,4	55,0	55,4	0,1	0,2	0,0	0,0
29	Voshalsfeld 17	SW	EG	WA	59	49	55,6	55,9	55,6	55,9	-	6,9	55,6	55,9	-	6,9	55,6	55,9	0,0	0,0	0,0	0,0
		SW	1.OG	WA	59	49	56,6	57,0	56,7	57,0	-	8,0	56,7	57,0	-	8,0	56,7	57,0	0,1	0,0	0,0	0,0
30	Voshalsfeld 15	SW	EG	WA	59	49	55,9	56,2	56,1	56,4	-	7,4	56,1	56,4	-	7,4	56,0	56,4	0,2	0,2	-0,1	0,0
		SW	1.OG	WA	59	49	57,0	57,3	57,1	57,5	-	8,5	57,1	57,5	-	8,5	57,1	57,5	0,1	0,2	0,0	0,0
31	Voshalsfeld 13	SW	EG	WA	59	49	55,5	55,8	55,4	55,7	-	6,7	55,4	55,7	-	6,7	55,4	55,7	-0,1	-0,1	0,0	0,0
		SW	1.OG	WA	59	49	56,6	56,9	56,5	56,8	-	7,8	56,5	56,8	-	7,8	56,5	56,8	-0,1	-0,1	0,0	0,0



