

| | |
|--|--|
| Freigabe (Serien- / Anwenderfreigabe) | |
| - Als Handlungsanweisung gemäß Rahmenrichtlinie 138.0202 - | |
| TM: 4-2015-10254 I.NPF 2 | |
| Sachlich zugehörige Ril: | 804 |
| Ersatz für TM: | TM 2009-307, TM 2009-308, TM 2009-309 |
| | |

TM-Titel / Handlungsbedarf:

4-2015-10254 I.NPF 2 zu Ril 804: Anwendererklärungen der Firma K. Schütte GmbH für ein- und beidseitige hochabsorbierende ALU - Lärmschutzwandelemente, Typ ELC 500 FA zur Verwendung an Schienenwegen der Eisenbahn des Bundes

| | | | |
|-----------------------|------------|-----|--|
| Inkraftsetzung am : | 10.12.2015 | | |
| Umsetzungsfrist bis : | | | |
| Rückmeldung bis : | | An: | |

Diese TM umfasst die Seiten 1 bis 2 (ohne Anlagen).

| Mitzeichnung: | | Fachlinie: | |
|--------------------------|--|-------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | | LST | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | | Tk | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | | EA | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | | Oberbau | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | | KIB | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | | Betrieb | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | | Sonstige | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | | | |

Freigabe:

gez. Tilman Reisbeck, I.NPF 2 # 10.12.2015

gez. Jens ZA Müller, I.NPF 21 # 30.11.2015

Sachverhalt / Anlass / Begründung:

Zuständigkeiten / Ansprechpartner:

| OE | Name | Mail-Adresse | Telefonnummer |
|-----------------------------|-----------------|----------------------------------|------------------|
| I.NVT 42(L) \ Lärmschutz | Michael Neudeck | michael.neudeck@deutschebahn.com | +49 69 265 45224 |
| I.NPF 21(F) | Peter Lippert | peter.lippert@deutschebahn.com | +49 89 1308 6256 |

- Verteiler gemäß TM-Abo-System (DB Netz AG)**
- Verteiler gemäß externem Postverteiler**
- Verteilung an Dritte durch Einstellung im DBPortal**
- Besonderer Verteiler**

Zusätzliche Information an:

| | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | DB Engineering & Consulting | <input checked="" type="checkbox"/> | DVLV, Herr Ralph Brenner |
| <input type="checkbox"/> | DB Systemtechnik | <input checked="" type="checkbox"/> | Herr Heltriegel, K. Schütte GmbH |
| <input type="checkbox"/> | DB Bahnbau Gruppe GmbH | <input type="checkbox"/> | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | EBA Herr Michael Fiedler | <input type="checkbox"/> | |

Anlage:

TM 4-2015-10254 I.NPF 2
Verwendungsleitfaden

Fachtechnische Stellungnahme

Anwendererklärungen der Firma K. Schütte GmbH für ein- und beidseitige hochabsorbierende ALU - Lärmschutzwandelemente, Typ ELC 500 FA zur Verwendung an Schienenwegen der Eisenbahn des Bundes

1. Anlass /Ausgangssituation

Mit Schreiben [U1] vom 24.02.2015 stellt die der Firma K. Schütte GmbH einen Antrag auf Anwendererklärungen für die ein- und beidseitig hochabsorbierenden Aluminiumlärmschutzwandelemente Typ ELC 500 FA einschließlich der EPDM - Profile zur Elementlagerung, auf Grundlage der Zulassungen vom 31.10.2014 [U4].

Bei den Aluminiumschallschutzwandelementen handelt es sich um ein- und beidseitig hochabsorbierende Schallschutzwandelemente zur Errichtung an Hochgeschwindigkeitsstrecken.

Diese Fachtechnische Stellungnahme beschränkt sich auf ein- und beidseitig absorbierende Aluminiumschallschutzkassetten des **Typs**

- **ELC500FA (einseitig)** Blechdicke Lochblech und Rückwand $t = 1,1 \text{ mm}$ $L = 2,5 \text{ m}/5,0 \text{ m}$
- **ELC500FA (beidseitig)** Blechdicke Lochblech $t = 1,1 \text{ mm}$ $L = 2,5 \text{ m}/5,0 \text{ m}$

2. Beteiligung des EBA

Die Zulassung des EBA vom 31.10.2014 [U4] für die Aluminiumlärmschutzwandelemente ein- und beidseitig wurde den Antragsunterlagen auf Anwendererklärung beigelegt. Die Zulassung ist bis zum 30.10.2019 befristet.

3. Stellungnahme, ggf. mit zusätzlichen Auflagen/Hinweise

Zu den Antragsunterlagen der Firma K. Schütte GmbH für die ein- und beidseitig hochabsorbierenden Aluminiumlärmschutzwandelemente Typ ELC500FA (einseitig) und ELC500FA (beidseitig) einschließlich der EPDM - Profile zur Elementlagerung sind folgende Anmerkungen zu machen:

- 1.) Die Aluminiumschallschutzkassetten Typ ELC500FA (einseitig) und ELC500FA (beidseitig) wurden von Prof. Dr.-Ing. Mangerig versuchstechnisch untersucht und durch Prof. Dr.-Ing. Kruse gutachtlich bewertet.

Die Durchführung dieser Untersuchungen entspricht dem EBA-Leitfaden [U3] für die Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen für Wandelemente von

Lärmschutzwänden im Anwendungsbereich der DB im Rahmen des Zulassungsverfahrens beim EBA.

- 2.) Die Verwendung der ein- und beidseitige hochabsorbierende Aluminiumlärmschutzwandelemente, Typ ELC500FA einschließlich der EPDM - Profile zur Elementlagerung gelten für nachfolgende Anwendungsgrenzen:

Die Lärmschutzwandelemente sind sowohl für die Verwendung an konventionellen als auch an Strecken des Hochgeschwindigkeitsverkehrs konzipiert.

An Hochgeschwindigkeitsstrecken darf der Gleisabstand nicht kleiner als 3,80 m und an Strecken mit Geschwindigkeiten bis $v = 160$ km/h nicht kleiner als 3,30 m sein.

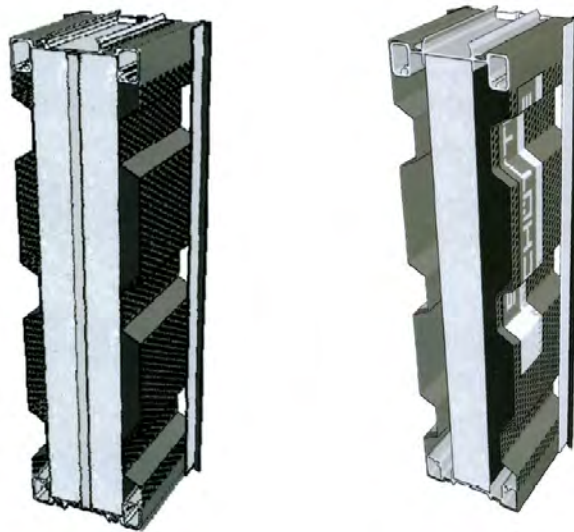


Bild 1: Lärmschutzwandelemente ELC500FA (ein- und beidseitig)

3.) Werkstoffe

- Gurtprofile: EN 573 AW 6063 T66
- Endprofil: EN 573 AW 6063 T66
- Bleche: EN 573 AW 3005 H26
- ELC500FA(einseitig) Blechdicke Lochblech und Rückwand t = 1,1 mm
- ELC500FA(beidseitig) Blechdicke Lochblech t = 1,1 mm
- Faserzementplatte: Eternit nach Z-31.4-183 t = 8,0 mm
- Koppelemente: EPDM-Profil 70^{±5} Shore A nach DIN 7863

Die Elemente sind hinsichtlich der Elementbreite standardmäßig für den Einsatz in Pfostenprofilen bzw. Pfosten mit gleichem Kammermaß, der Typen HEA160/HEB160 konzipiert, zusätzlich stehen angepasste Endprofile für Pfostenprofile HEA180/HEB180 und HEA200/HEB200 zur Verfügung. bzw. in Pfosten/Steher mit gleichem Kammermaß.

Sämtliche Elemente sind dauerhaft und eindeutig mit Typ ELC500FA (einseitig) und ELC500FA (beidseitig) zu kennzeichnen.

Wesentliche Eigenschaften und Widerstandswerte

Technisches Datenblatt (Version 01.1 - 09.2014)

Lärmschutzelement Schütte Aluminium ELC500FA
 Elementbeschreibung Leichtbauweise Aluminium
 Tragstruktur Flächig Diskret
 Hersteller K. Schütte GmbH

| Elementtyp | Pfostenabstand L | | Max. Höhe H _{max} [mm] | Breite B [mm] | Einbauraum/ Kammermaß | |
|------------|------------------|-----------|------------------------------------|------------------|--------------------------|------|
| | L ≤ 5,0 m | L ≤ 2,5 m | | | min | max |
| | [ja/nein] | [ja/nein] | | | [mm] | [mm] |
| ELC500FA | ja | ja | 500 | 132 | 132 | 140 |
| ELC500FA | ja | ja | 500 | 152 | 152 | 158 |
| ELC500FA | ja | ja | 500 | 170 | 170 | 177 |

Tabelle 1: Geometrische Eigenschaften

| Elementtyp | Gewicht ¹⁾ | Biegesteifigkeit EI ¹⁾ | Eigenfrequenz f ²⁾ | | Torsions- weich ³⁾ |
|------------------------|---|---|-------------------------------|-----------|----------------------------------|
| | | | L ≤ 5,0 m | L ≤ 2,5 m | |
| | <input checked="" type="checkbox"/> [kg/m] <input type="checkbox"/> [kg/m ²] | <input checked="" type="checkbox"/> [Nm ²] <input type="checkbox"/> [Nm ² /m] | [Hz] | [Hz] | [ja/nein] |
| ELC500FA beidseitig | 18,4 | 189250 | 6,5 | 25,9 | nein |
| ELC500FA einseitig | 9,9 | 189250 | 8,2 | 32,9 | nein |

1) Je 1 m Elementlänge bei diskreter Tragstruktur bzw. je 1 m² Fläche bei flächiger Tragstruktur
 2) Je Element bei diskreter Tragstruktur bzw. je 1 m Höhe bei flächiger Tragstruktur
 3) Gemäß EBA-Leitfaden, Abs. 2.2 (4), gültig für H = H_{max} unter Berücksichtigung des Einflusses der Auflagerung

Tabelle 2: Mechanische Eigenschaften

| Elementtyp | Horizontale Flächenlast q _{Rd,stat} | | Stapellast ΣV _{Rd,stat} [kN] | gegenläufige Pfostenverdrehung Δφ _{Rd,stat} [mrad] |
|------------|--|----------------------|---|--|
| | L ≤ 5,0 m | L ≤ 2,5 m | | |
| | [kN/m ²] | [kN/m ²] | | |
| ELC500FA | 4,00 | 4,00 | 15 | 15 |

Tabelle 3: Statische Widerstandswerte für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (gültig für H ≤ H_{max})

| Elementtyp | Horizontale Flächenlast q _{Rd,dyn} | | Pfostenverdrehung Δφ _{Rd,dyn} [mrad] |
|------------|---|----------------------|--|
| | L ≤ 5,0 m | L ≤ 2,5 m | |
| | [kN/m ²] | [kN/m ²] | |
| ELC500FA | 0,97 | 1,17 | 15 |

Tabelle 4: Dynamische Widerstandswerte für den Grenzzustand der Ermüdungsfestigkeit (gültig für H ≤ H_{max})

Anwendungsbereich

Die Zulassung umfasst das Errichten von Lärmschutzanlagen an Schienenwegen mit folgenden der Nachweisführung zugrunde gelegten Streckenparametern:

Die Elemente dürfen bei Einhaltung folgender Randbedingungen verwendet werden:

- max. Streckengeschwindigkeit Typ ELC500FA (ein- und beidseitig) nach [A1]
(Pfostenabstand 5,00 m) $v \leq 250$ km/h
(Pfostenabstand 2,50 m) $v \leq 250$ km/h

Es ist zu beachten, dass die in den Tabellen des Anwendungsleitfadens [A1] wiedergegebenen Mindestwerte für die Systemeigenfrequenz einer Lärmschutzwand nur eine technische Anforderung für die übrige Wandkonstruktion - bestehend aus Pfosten und Gründung - für die jeweiligen Randbedingungen darstellt. Daher muss im Rahmen der Projektplanung bei Anwendung des Leitfadens des Lärmschutzwandelementes zusätzlich zur Einhaltung der Mindesteigenfrequenz noch die wirtschaftliche Auslegung der Gesamtkonstruktion überprüft werden.

- minimaler Gleisabstand zur Gleisachse ($v > 160$ km/h) $a_g = 3,80$ m
- minimaler Gleisabstand zur Gleisachse ($v \leq 160$ km/h) $a_g = 3,30$ m
- Wandhöhe über SO $h_w \leq 5,00$ m
- Elementlänge (freie Strecke) $l_E \leq 5,00$ m
Wandbereiche A bis D nach DIN EN 1991-1-4, Abschnitt 7.4.1 für die maßgebende Windzonen 1 bis 4 nach DIN EN 1991-1-4/NA, Anhang NA.A
- Elementlänge (auf Ingenieurbauwerken) $l_E \leq 2,50$ m
DIN EN 1991-1-4, Abschnitt 8 sowie DIN EN 1991-1-4/NA, Anhang NA.N.
- Elementhöhe $h_E \leq 0,50$ m

- 4.) Für die Elemente ist in jedem Einzelfall ein Nachweis nach Modul 804.5501 [U2] für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und für den Grenzzustand der Ermüdung zu führen. Für die Nachweise sind die Regelungen und Eingangsparameter der Zulassung [U4] umzusetzen.
- 5.) Die Elemente sind so zu kennzeichnen, dass Verwechslungen ausgeschlossen werden können. Die Kennzeichnung muss daher über die gesamte Nutzungsdauer beständig lesbar sein. Zusätzlich zur Typbezeichnung muss das Aktenzeichen der Zulassung, und die Grenzparameter angegeben werden.
- 6.) Zur Sicherung des Lärmschutzwandelementes im Pfosten gegen Herausheben sind generell Pfostenabdeckungen vorzusehen.
- 7.) Für die Nachweisverfahren, Herstellung und Gütesicherung sowie der Inspektion gelten die Regelungen die in den Zulassungen [U4] angegeben sind.
- 8.) Die akustischen Freigaben [U5, U6] die durch DB Systemtechnik I.TVI32(1) für die ein- und beidseitig absorbierenden Aluminiumschallschutzkassetten erteilt wurde, sind bis zum 17.12.2018 (einseitig) und bis zum 26.11.2018 (beidseitig) gültig.

- 9.) Die Inspektionen sind gemäß den Modulen 804.8001 und 804.8004 durchzuführen. Werden sicherheitsrelevante Mängel festgestellt, sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, die die öffentliche Sicherheit und die Sicherheit des Eisenbahnverkehrs wieder herstellen. Das Eisenbahn-Bundesamt ist unverzüglich und unaufgefordert zu informieren [U4].
- 10.) Die Anwendererklärung und Zulassung ist dem Bauwerksbuch/-heft hinzuzufügen I.NVS2(Ü).

4. Schlussbemerkungen

Die in der Ril 804.5501 und dem „Leitfaden für die Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen für Wandelemente von Lärmschutzwänden im Anwendungsbereich der DB im Rahmen des Zulassungsverfahrens beim EBA“ für Lärmschutzwandelemente aus Aluminium definierten Anforderungen werden als ausreichend erfüllt angesehen.

Die Anwendererklärung der ein- und beidseitig hochabsorbierenden Aluminiumlärmschutzwandelemente Typ ELC 500 FA einschließlich der EPDM - Profile zur Elementlagerung der Firma K. Schütte GmbH wird bei Einhaltung der in den Antragsunterlagen angegebenen erforderlichen Nachweise und bei Beachtung der Ausführungen hiermit erteilt.

5. Unterlagen und Normen

- [U1] Antragsunterlagen ELB 500 FA vom 06.11.2013, Firma K. Schütte GmbH
- [U2] Ril 804, Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten Modul 5501 "Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken"
- [U3] Leitfaden für die Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen für Wandelemente von Lärmschutzwänden im Anwendungsbereich der DB im Rahmen des Zulassungsverfahrens beim EBA
- [U4] EBA-Zulassung GZ 21.51-21 izbia/021-2101#004 vom 31.10.2014
- [U5] Prüfbericht Akustik 14-21497-I.TVI32(1)-SSW-Schuette_-EL-B 500-FA-einseitig vom 13.08.2014
- [U6] Prüfbericht Akustik 14-21498-I.TVI32(1)-SSW-Schuette_-EL-B 500-FA-beidseitig vom 18.08.2014
- [U7] Prüfbericht 1/312049- ELB500FA_{hd} aufgestellt am 12.03.2012 durch Prof. Dr.-Ing. Kruse (Seiten 1 bis 4)
- [U8] Ergänzender Prüfbericht 1/312049- ELB500FA_{hda} aufgestellt am 12.06.2012 durch Prof. Dr.-Ing. Kruse (Seiten 1 bis 3)
- [U9] Ergänzender Prüfbericht 2/312049- ELB500FA_s aufgestellt am 23.08.2012 durch Prof. Dr.-Ing. Kruse (Seiten 1 bis 3)
- [U10] Ergänzender Prüfbericht 3/312049- ELB500FA_{s/hda/ul} aufgestellt am 01.10.2012 durch Prof. Dr.-Ing. Kruse (Seiten 1 bis 3)

Nachgereichte Unterlagen vom 21.08.15

- [U11] Schütte Lärmschutzwand ELB500FA (beidseitig) Dynamische und statische Berechnung zur Erweiterung des Anwendungsbereichs der bestehenden Zulassung und

Anwendererklärung TM 2009-308 I.NVT 4 (K) vom 22.03.2010, Bellmer Arend Behrens Gildehaus Ritter - Beratende Ingenieure VBI vom 13.09.2013

- [U12] Schütte Lärmschutzwand ELB500FA (beidseitig) Dynamische und statische Berechnung zur Erweiterung des Anwendungsbereichs der bestehenden Zulassung und Anwendererklärung vom 18.09.2013
- [U13] Schütte Lärmschutzwand ELB500FA (beidseitig) Dynamische und statische Berechnung zur Erweiterung des Anwendungsbereichs der bestehenden Zulassung und Anwendererklärung vom 11.09.2013
- [U14] Ergänzender Typenprüfbericht 1/313 029 Lärmschutzwand ELB 500 FA (beidseitig) aufgestellt am 13.09.2013 durch Prof. Dr.-Ing. Kruse (Seiten 1 bis 3)
- [U15] Ergänzender Typenprüfbericht 2/313 029 Lärmschutzwand ELB 500 FA (beidseitig) aufgestellt am 18.09.2013 durch Prof. Dr.-Ing. Kruse (Seiten 1 bis 3)
- [U16] Gutachterliche Stellungnahme Nr. GS 4.2/15-072-1 Schalldämmung hochabsorbierender Lärmschutzwände der Fa. Schütte aus Aluminium mit unterschiedlichen Ausführungen der horizontalen Elementfugen aufgestellt am 19.02.2015 durch MFPA Leipzig GmbH
- [U17] Typenprüfbericht 1/313 029 Lärmschutzwand ELB 500 FA (beidseitig) aufgestellt am 10.09.2013 durch Prof. Dr.-Ing. Kruse (Seiten 1 bis 5)

Nachgereichte Unterlagen vom 26.08.15

- [U18] Aktualisierungen zum Lärmschutzelement ELB 500 FA, akustische Stellungnahme, Herr Dr. Behr, T.TVI 32(1) vom 25.08.2013
- [U19] Belastungsversuche an beidseitig absorbierenden Lärmschutzelementen der Firma K. Schütte GmbH, Überprüfung des Tragvermögens und der Ermüdungsfestigkeit zum Antrag auf Verwendung in Lärmschutzwänden an Strecken der Deutschen Bahn AG, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ingbert Mangerig vom 04.07.2014

Nachgereichte Unterlagen vom 27.08.15

- [U20] Verwendungsleitfaden ELC500FA vom 27.08.15
- [U21] Stellungnahme Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ingbert Mangerig vom 27.08.2015

Nachgereichte Unterlagen vom 28.10.15

- [U22] Verwendungsleitfaden ELC500FA vom 22.10.15
- [U23] Ergänzender Typenprüfbericht 4/313 029 Lärmschutzwand ELC 500 FA (beidseitig) aufgestellt am 22.10.2013 durch Prof. Dr.-Ing. Kruse (Seiten 1 bis 3)

6. Anlagen

- [A1] Verwendungsleitfaden ELC500FA vom 22.10.15

i. A. gez. Neudeck



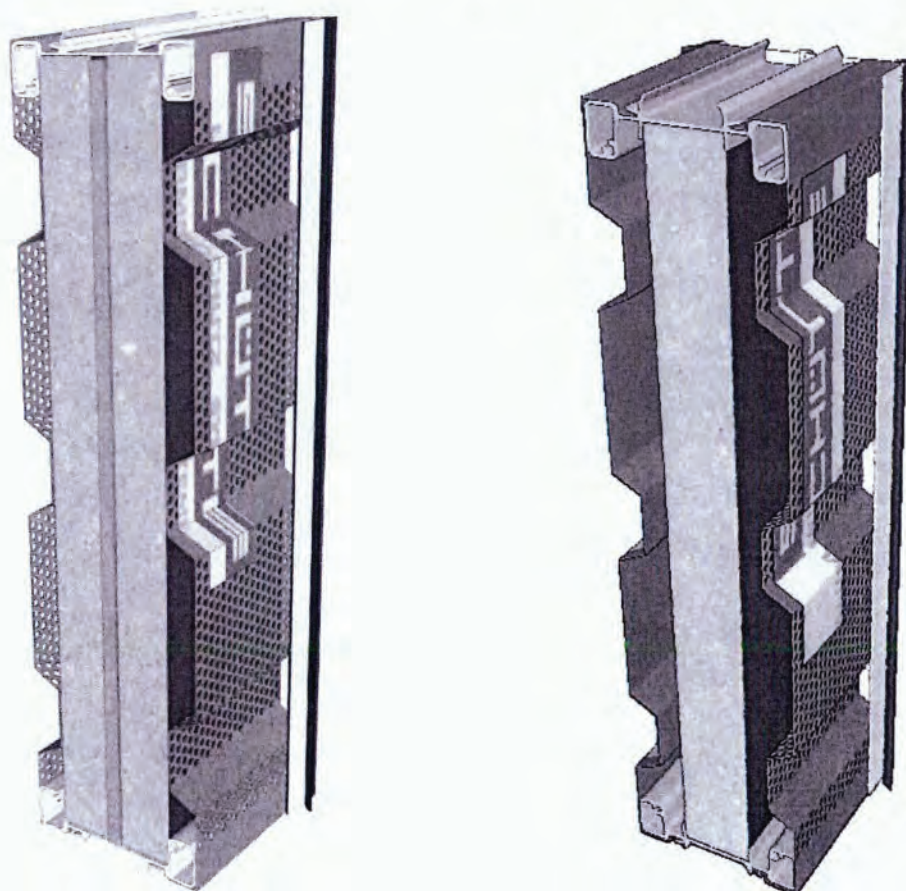
Verwendungsleitfaden für Schütte Lärmschutzelement ELC500FA

K. Schütte GmbH
Schütte-Weg 1-3

27777 Ganderkesee

EBA-Zulassung

21.51- 21izbia/021-2101#004-(004/14-ZUL)



1. Beschreibung Lärmschutzelemente ELC500FA

Die Leichtbau-Lärmschutzelemente der Schütte GmbH ELC500FA¹ bestehen aus zwei parallel verlaufenden horizontal orientierten Aluminium-Strangpressprofilen mit einem Querschnitt aus Hohlzellengurten und einem dazwischen liegenden Verbindungssteg. An den Stegen sind nach außen orientiert Lippen angeordnet, die eine Nut-/Feder-Verbindung für eine Lagesicherung bzw. Zentrierung übereinander gestapelter Lärmschutzelemente gewährleisten. An den Übergängen der Hohlzellen zu den Stegen sind Führungsnuten vorhanden, in die Blechbeplankungen aus gekanteten Aluminium-Lochblechen mit einer Blechdicke von 1,1mm in Längsrichtung eingeschoben werden. An den Innenseiten der Stege sind weitere Lippen vorhanden, in denen Dämmplatten aus Mineralwolle bzw. Faserzementplatten mit einer Dicke von 8mm eingesetzt werden. Die Seitenwandbleche sind nicht schubfest mit den Tragprofilen verbunden. Folglich entstehen unter Biegebeanspruchung Relativverschiebungen dieser Komponenten in Längsrichtung.

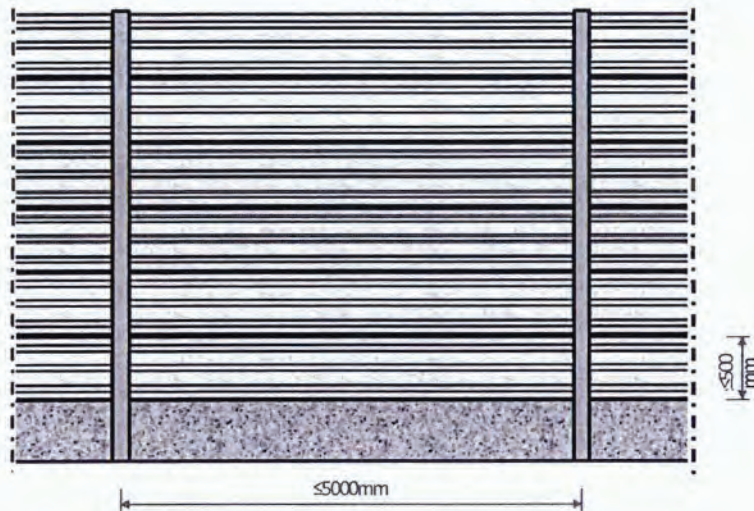
An den Enden der beiden längsorientierten Tragprofile sind quer dazu Endprofile mit Verschraubungen befestigt. Diese als Auflagerquerträger ausgebildeten Endprofile sind ebenfalls aus Aluminium gefertigte Strangpressprofile. Die Verschraubung der Endprofile mit den Tragprofilen erfolgt an jeder Hohlzelle der Tragprofile mit einer Schraube in Schraubkanäle der beiden längsorientierten Riegel. Damit sich Relativverschiebungen zwängungsfrei einstellen können, ist keine schubfeste Verbindung mit den Seitenwandblechen vorhanden.

Anwendungsbereich

Das Leichtbau-Lärmschutzelement ELC500FA der K. Schütte GmbH ist für die Verwendung beim Bau von Lärmschutzwänden im Schienennetz der Deutschen Bahn AG konzipiert. Die Lärmschutzelemente werden in den nachfolgend angegebenen Abmessungen gefertigt:

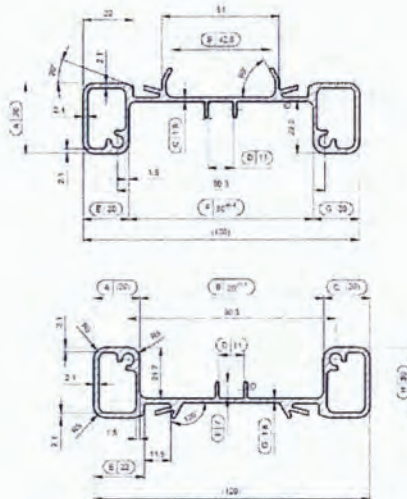
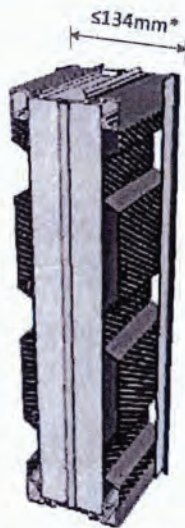
| | |
|---------------------|--|
| Elementlänge | ≤ 5000 mm |
| Elementhöhe | ≤ 500 mm |
| Masse | ≤ ca. 49,0 kg einschl. Mineralwollfüllung (einseitig absorb.) |
| Masse | ≤ ca. 92,0 kg einschl. Trennplatte aus Faserzement und Mineralwollfüllung (beidseitig absorb.) |
| | (jeweils Feuchtmasse) |

¹ Das Element wurde in der Entwicklungsphase auch als Element ELB500 FA (beidseitig) bezeichnet und hat später zur eindeutigen Abgrenzung vom Element ELB500FA eine geänderte Typenbezeichnung erhalten.



Schnitt Endbereich

Tragprofile



* Elementdicke einschl. Dichtungen
ohne Kammermaßenanpassung

Abbildung 1: Konstruktiver Aufbau des Lärmschutzelements ELC 500 FA

3. Konstruktiver Aufbau

Das im Rahmen des vorliegenden Verwendungslaufplans behandelte Standard-LSW-Element ist auf das Kammermaß von Lärmschutzwandpfosten aus Profilen HEA160/HEB160 ausgelegt. Angepasste Endprofile für einen passgenauen Einsatz von Stützenquerschnitten mit größeren Querschnittshöhen bzw. Kammermaßen HEA180/HEB180 und HEA200/HEB200 wurden numerisch analysiert und in Validierungsversuchen für eine dauerfeste Auslegung überprüft.

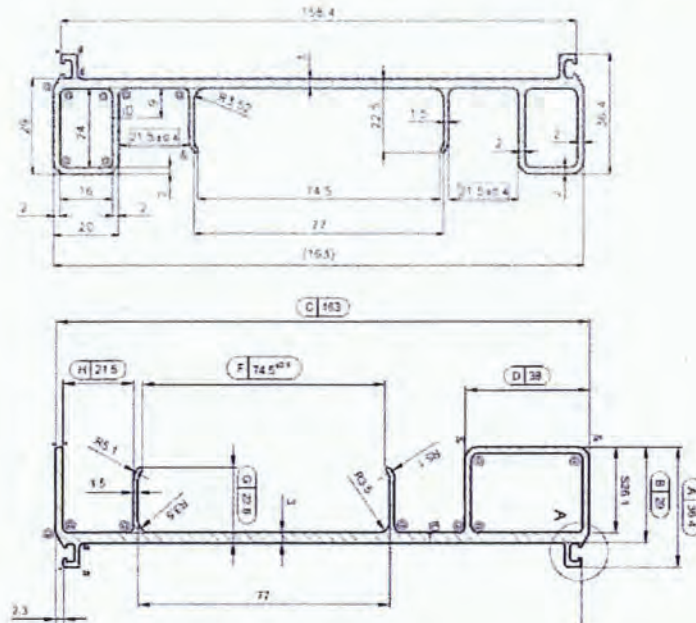


Abbildung 2: Sonderendprofile für Kammermaßenanpassungen (Beispiele)

Bei der Kombination des Lärmschutzelements ELC500FA mit anderen Elementen des gleichen Herstellers sind Nachweise eines verträglichen dynamischen Verhaltens erforderlich. Bei Kombinationen des Lärmschutzelements ELC500FA mit zugelassenen Elementen anderer Hersteller können spezielle Adapterprofile erforderlich werden, deren Verwendbarkeit in Lärmschutzwänden an Bahnstrecken nachzuweisen ist. Bei einem gegebenenfalls unvermeidbaren Zusammenwirken von Leichtbau-Lärmschutzelementen ELC500FA mit benachbarten Elementen anderer Bauart sind erforderlichenfalls die aus der Behinderung möglicher Relativverschiebungen zu erwartenden Auswirkungen auf das Trag- und Ermüdungsverhalten experimentell oder mit aussagekräftigen numerischen Analysen zu untersuchen.

Der Mindestwert des Abstands der Lärmschutzwand von der Gleisachse sowie die Maximalwerte der Lärmschutzwandhöhen richten sich nach den Vorgaben der DB-Richtlinie 804.5501 - Eisenbahnbrücken und sonstige Ingenieurbauwerke - Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken [1].

4. Werkstoffe

- Tragprofil: EN AW 6063 T66 gemäß DIN EN 573-3
- Endprofil: EN AW 6063 T66 gemäß DIN EN 573-3
- Seitenwandbleche: EN AW 3005 H26 gemäß DIN EN 573-3

Faserzementplatten: Zulassung Z-31.4-183 (Eternit, Oberfläche Natura)

Dichtungsprofile: Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk, EPDM, 70 +/-5 Shore A

5. Tragfähigkeitsnachweise

5.1. Allgemeines

Für die Konstruktionselemente von Lärmschutzwänden an Bahnstrecken sind gemäß Modul 804.5501 [1] Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und für den Grenzzustand der Ermüdung zu erbringen. Bei der Verwendung von nicht torsionsweichen Lärmschutzelementen gilt zur Begrenzung der Auswirkungen aus Torsion zusätzlich, dass die aus den Verformungen der Wandpfosten aufgrund der Druck- Sogwirkung vorbeifahrender Züge resultierenden, gegenseitigen Verdrehungen der Enden der Elemente zu begrenzen sind.

5.2. Einwirkungen

Für die Ermittlung der Einwirkungen aus Wind gilt DIN EN 1991-1-4 (2010-12) [3] und der zugehörige Nationale Anhang DIN EN 1991-1-4/NA (2010-12) [4]. Die maßgebenden Einwirkungen aus Wind auf Wände an der freien Strecke sind für die jeweiligen Wandbereiche A bis D nach DIN EN 1991-1-4, Abschnitt 7.4.1 für die maßgebende Windzone 1 bis 4 nach DIN EN 1991-1-4/NA, Anhang NA.A zu ermitteln. Für Wände auf Ingenieurbauwerken gelten die Regelungen nach DIN EN 1991-1-4, Abschnitt 8 sowie DIN EN 1991-1-4/NA, Anhang NA.N.

Die Ersatzlasten für Druck-Sogwirkungen aus vorbeifahrenden Zügen sind nach Modul 804.5501, Abschnitt 5.4 [1] zu bestimmen. Für die Ermittlung des gemäß Modul 804.5501 Abschnitt 5.4.1(3) zur Erfassung der dynamischen Effekte erforderlichen Dynamikbeiwerts ist projektbezogen unter Berücksichtigung aller maßgebenden Randbedingungen die niedrigste Eigenfrequenz des Lärmschutzwandsystems realitätsnah zu bestimmen. Ein Vorschlag zur EDV-orientierten Diskretisierung eines Lärmschutzwandsystems ist in nachfolgender Abbildung dargestellt. Bei den Berechnungen kann das Lärmschutzelement ELC500FA bei Einhaltung des weiter hinten angegebenen Grenzwerts für Verdrehungsunterschiede der Elementenden als torsionsweich eingestuft werden.

Für Berechnungen unter Verwendung von Stabwerksprogrammen ist es gestattet, die Lärmschutzelemente entsprechend Abbildung 3 vereinfacht als Stabelemente zu modellieren. Für diese Elemente sind die Steifigkeiten und Massen den jeweiligen EBA-Zulassungen zu entnehmen.

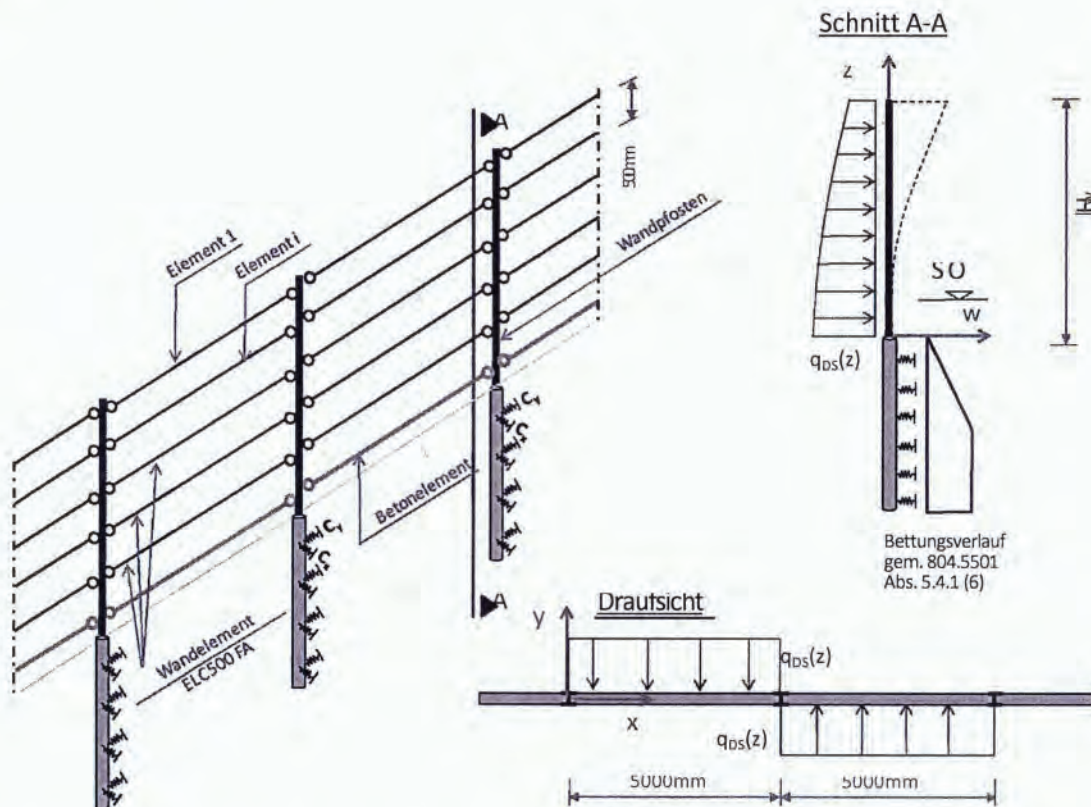


Abbildung 3: Ausschnitt eines Vorschlags zur Diskretisierung einer Lärmschutzwand für die Ermittlung der im Modul 804.5501 Abschnitt 5.4.1(3) zur Angabe des Dynamikbeiwerts erforderlichen niedrigsten Eigenfrequenz (Grundschiwingung) unter Verwendung eines Stabwerkprogramms

Kenngrößen der Stabelemente bei Berechnungsmodellen für Stabwerksprogramme

Trägheitsmoment $I_r = 270 \text{ cm}^4$

Elastizitätsmodul Aluminium $E = 7000 \text{ kN/cm}^2$, Biegesteifigkeit $EI = 189250 \text{ Nm}^2$

Masse incl. Dämmung (wassergesättigt) und Trennplatte $m = 18,4 \text{ kg/m}$ (beids.)

Masse incl. Dämmung (wassergesättigt) $m = 9,9 \text{ kg/m}$ (eins.)

Analog zur Modellierung eines Lärmschutzwandausschnitts als Stabwerksmodell ist der Aufbau eines Berechnungsmodells zur Bestimmung der gemäß Modul 804.5501 Abschnitt 5.4.1(3) er-

forderlichen niedrigsten Eigenfrequenz unter Verwendung von finiten Volumen- und Flächenelementen oder einer Kombination mit Stabelementen möglich.

5.3. Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit

Der Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit ist im Abschnitt 5.5(1) des Moduls 804.5501 geregelt. Der Widerstand gegen Versagen im Grenzzustand der Tragfähigkeit wurde für die im Rahmen des vorliegenden Verwendungslaufplans behandelten Lärmschutzelemente an Prüfkörpern mit Bauteilhöhen von 0,5 m und Bauteillängen von 5,0 m experimentell bestimmt.

Bemessungswerte der Widerstände zum Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit:

Für Lärmschutzelemente ELC500FA mit Bauteilhöhen von 500mm in Lärmschutzwänden gilt:

- Bemessungswert für die im Grenzzustand der Tragfähigkeit ohne Stabilitätsversagen aufnehmbare Grenzflächenlast:

$$q_{Rd} = 4,00 \text{ kN/m}^2$$

Der **Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit** ist für das höchst belastete Lärmschutzelement wie folgt zu führen:

$$q_{Ed} \leq q_{Rd} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

q_{Ed} der auf das höchstbelastete Element gleichmäßig einwirkende Bemessungswert der Flächenlast [kN/m²] aus der auf das Lärmschutzelement flächenhaft einwirkenden Windbeanspruchung bzw. der gemäß Richtlinie 804.5501 Abschnitt 5.5(1) anzusetzenden Kombination aus Wind und Druck- Sogwirkung vorbeifahrender Züge

5.4. Nachweis des Grenzzustands der Ermüdung

Der Grenzzustand der Ermüdung gilt als nachgewiesen, wenn in einem Lärmschutzelement die aus der Druck- Sogwirkung vorbeifahrender Züge mit den Ersatzlasten nach Modul 840.5501 Abschnitt 5.4.1(3) berechneten Größen die nachfolgend angegebenen Bemessungswerte nicht überschreiten.

Die Bemessungswerte zum Nachweis des Grenzzustands der Ermüdung für das 5 m Element wurden aus den Ergebnissen von experimentellen Untersuchungen an Lärmschutzelementen ELC500 FA abgeleitet. Die Elemente wurden als dauerhaft eingestuft, nachdem in 3 Ermüdungsversuchen unter gleichmäßigen Lastdoppelamplituden, wechselseitig die den angegeben Bemessungswerten entsprechende Schnittgrößen bei mehr als 5 Millionen Lastwechseln ohne visuell wahrnehmbare Schädigungen möglich waren.

Bei der Bestimmung der nachfolgend angegebenen Bemessungswerte für Nachweise im Grenzzustand der Ermüdung wurde bereits ein Sicherheitsbeiwert gemäß Richtlinie 804.5501, Abschnitt 5.5(3) berücksichtigt. Für $a=2,5$ wurden die Werte rechn. ermittelt.

Bemessungswerte eines Lärmschutzelements für Nachweise im Grenzzustand der Ermüdung:

Für Bauteilhöhen von 500mm mit einen Pfostenabstand $a = 5,0m$ gilt:

- Bemessungswert der Flächenlast im Grenzzustand der Ermüdung: $q_{Rd,fat} = +/-0,97 \text{ kN/m}^2$

Für Bauteilhöhen von 500mm mit einen Pfostenabstand $a = 2,5m$ gilt:

- Bemessungswert der Flächenlast im Grenzzustand der Ermüdung: $q_{Rd,fat} = +/-1,17 \text{ kN/m}^2$

Der **Nachweis für den Grenzzustand der Ermüdung** ist für das höchst belastete Lärmschutzelement wie folgt zu führen:

$$q_{DS} < q_{Rd,fat} \text{ [kN/m]}$$

q_{DS} die auf das höchstbelastete Lärmschutzelement umgerechnet gleichmäßig einwirkende Flächenlast [kN/m²], ermittelt aus der nach Richtlinie 804.5501 Abschnitt 5.4.1(3) flächenhaft auf das Lärmschutzelement einwirkenden Druck- Sogwirkung aus verbeifahrenden Zügen

6. Eigenfrequenzen und Steifigkeiten des Lärmschutzelements

In Versuchen und numerischen Berechnungen konnten für das Lärmschutzelement nachfolgend angegebene Kenngrößen ermittelt werden:

| | |
|---|---|
| L=5,0m, H=0,5m (einseitig / beidseitig absorb.) | $f_1 = 8,2 \text{ Hz} / 6,5 \text{ Hz}$ |
| L=2,5m, H=0,5m (einseitig / beidseitig absorb.) | $f_1 = 32,9 \text{ Hz} / 25,9 \text{ Hz}$ |
| Trägheitsmoment des Gesamtelements | $I_z = 270 \text{ cm}^4$ |
| Torsionsträgheitsmoment des Elements | $I_T = 33,6 \text{ cm}^4$ |

Die Eigenfrequenzen wurden für unverschiebliche Auflager ohne Berücksichtigung des Verformungsverhaltens der Pfosten und Fundamente ermittelt. Bei Verdrehungsunterschieden benachbarter Stützenenden, berechnet mit den Druck- Sogeinwirkungen aus Zugverkehr nach Richtlinie 804.5501 Abschnitt 5.4.1(3), von weniger als 15 Promille darf der Einfluss der Torsionssteifigkeit auf die Beanspruchungen bei der Nachweisführung der Werkstoffermüdung vernachlässigt werden.

7. Hinweise für die Montage

Bei der Montage ist zu beachten, dass nur Lärmschutzelemente, die frei von visuell wahrnehmbaren Beschädigungen sind, eingebaut werden dürfen.

Die Lärmschutzelemente werden von oben in die Kammern der Wandstützen eingeführt. Auf ein gleichmäßiges Anliegen der EPDM-Dichtungen an den Flanschen der Wandstützen ist beim Einbau zu achten.

8. Verwendete Unterlagen und technische Regelwerke:

- [1] Richtlinie 804, Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke), planen bauen und in-stand halten, Modul 804.5501: Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken, Ausgabe 1.1.2013
- [2] EBA-Leitfaden für die Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen für Wand-elemente von Lärmschutzwänden im Anwendungsbereich der Eisenbahnen des Bundes im Rahmen des Zulassungsverfahrens beim Eisenbahn-Bundesamt
- [3] DIN EN 1991-1-4: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwir-kungen – Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010, 12-2010
- [4] DIN EN 1991-1-4: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1:Einwir-kungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten, 10-2010
- [5] MFPA Leipzig, PB 2.1/13 vom 25.09.2013 - Untersuchung der aufnehmbaren Belastungen eines Lärmschutzelements

| | |
|---|--|
| Verfasser:  Gerd Heltfegel Diplomingenieur TU Maschinenbau 19.10.2015 | Auf Übereinstimmung geprüft: Prüfingenieur: |
| Kontakt: K. Schütte GmbH Schütte-Weg 1-3 27777 Ganderkesee Deutschland Tel.: +49 (0)4222 9421-0 Fax: +49 (0)4222 9421-22 E-Mail: info@schuette-aluminium.de | |

Seite 1 ÷ 23

| | |
|---|---------------|
| In bautechnischer Hinsicht geprüft | |
| Prüfnummer des Prüfverzeichnisses: | 3.13.0.29 |
| Prüfbericht Nr.: | 4 |
| Oldenburg, den | 22. Okt. 2015 |
| Prüfer für bautechnische Nachweise im Eisenbahnbau Tätigkeitsbereiche: Stahlbau, Massivbau, Schweißtechnik Anerkennungszeichen: 21/12/1018, Nr. vom 28.08.2012 Anerkannt durch das Eisenbahn-Bundesamt | |

Technisches Datenblatt (Version 01.1 - 09.2014)

| | | |
|---------------------|----------------------------------|---|
| Lärmschutzelement | Schütte Aluminium ELC500FA | |
| Elementbeschreibung | Leichtbauweise Aluminium | |
| Tragstruktur | <input type="checkbox"/> Flächig | <input checked="" type="checkbox"/> Diskret |
| Hersteller | K. Schütte GmbH | |

| Elementtyp | Pfostenabstand L | | Max. Höhe H _{max} | Breite B | Einbauraum/ Kammermaß | |
|------------|------------------|-----------|----------------------------|----------|--------------------------|------|
| | L ≤ 5,0 m | L ≤ 2,5 m | | | min | max |
| | [ja/nein] | [ja/nein] | | | [mm] | [mm] |
| ELC500FA | ja | ja | 500 | 132 | 132 | 140 |
| ELC500FA | ja | ja | 500 | 152 | 152 | 158 |
| ELC500FA | ja | ja | 500 | 170 | 170 | 177 |

Tabelle 1: Geometrische Eigenschaften

| Elementtyp | Gewicht ¹⁾ | Biegesteifigkeit EI ¹⁾ | Eigenfrequenz f ²⁾ | | Torsions- weich ³⁾ |
|------------------------|---|---|-------------------------------|-----------|----------------------------------|
| | | | L ≤ 5,0 m | L ≤ 2,5 m | |
| | <input checked="" type="checkbox"/> [kg/m] <input type="checkbox"/> [kg/m ²] | <input checked="" type="checkbox"/> [Nm ²] <input type="checkbox"/> [Nm ² /m] | [Hz] | [Hz] | [ja/nein] |
| ELC500FA beidseitig | 18,4 | 189250 | 6,5 | 25,9 | nein |
| ELC500FA einseitig | 9,9 | 189250 | 8,2 | 32,9 | nein |

- 1) Je 1 m Elementlänge bei diskreter Tragstruktur bzw. je 1 m² Fläche bei flächiger Tragstruktur
 2) Je Element bei diskreter Tragstruktur bzw. je 1 m Höhe bei flächiger Tragstruktur
 3) Gemäß EBA-Leitfaden, Abs. 2.2 (4), gültig für H = H_{max} unter Berücksichtigung des Einflusses der Auflagerung

Tabelle 2: Mechanische Eigenschaften

| Elementtyp | Horizontale Flächenlast q _{Rd,stat} | | Stapellast $\sum V_{Rd,stat}$ | gegenläufige Pfostenverdrehung $\Delta\varphi_{Rd,stat}$ |
|------------|--|----------------------|----------------------------------|--|
| | L ≤ 5,0 m | L ≤ 2,5 m | | |
| | [kN/m ²] | [kN/m ²] | | |
| ELC500FA | 4,00 | 4,00 | 15 | 15 |

Tabelle 3: Statische Widerstandswerte für den Grenzzustand der Tragfähigkeit
(gültig für H ≤ H_{max})

| Elementtyp | Horizontale Flächenlast q _{Rd,fat} | | Pfostenverdrehung $\Delta\varphi_{Rd,dyn}$ |
|------------|---|----------------------|--|
| | L ≤ 5,0 m | L ≤ 2,5 m | |
| | [kN/m ²] | [kN/m ²] | |
| ELC500FA | 0,97 | 1,17 | 15 |

Tabelle 4: Dynamische Widerstandswerte für den Grenzzustand der Ermüdungsfestigkeit
(gültig für H ≤ H_{max})

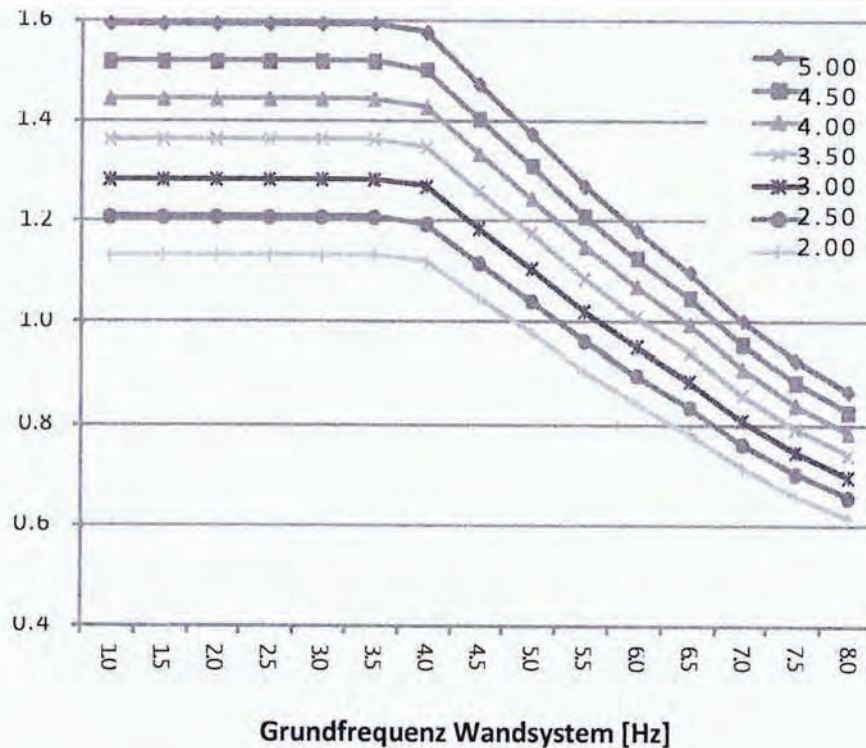
Anhaltswerte für Anwendungsgrenzen

In diesem Anhang sind einige Berechnungsbeispiele auf Grundlage der Richtlinie 804.5501: Ausgabe 1.1.2013 - Abschnitt 5.4 (Regelverfahren) auf der Basis $\phi_H = 1$ zusammengestellt. Berechnet wurden Elemente gem. Technischem Datenblatt mit Bauteillängen von 5,0m ($q_{DS}=0,97 \text{ kN/m}^2$) und 2,5m ($q_{DS}=1,17 \text{ kN/m}^2$).

In nachfolgenden Tabellen sind die Mindestwerte q_{DS} [kN/m^2] in Abhängigkeit von der Wandhöhe über SOK und der Grundfrequenz des Wandsystems für ausgewählte Streckenparameter angegeben. Die Tabellen sind für eine Abschätzung der Verwendbarkeit der Lärmschutzelemente ELC500FA vorgesehen und ersetzen nicht die geforderten Standsicherheitsnachweise gemäß Richtlinie 804.5501.

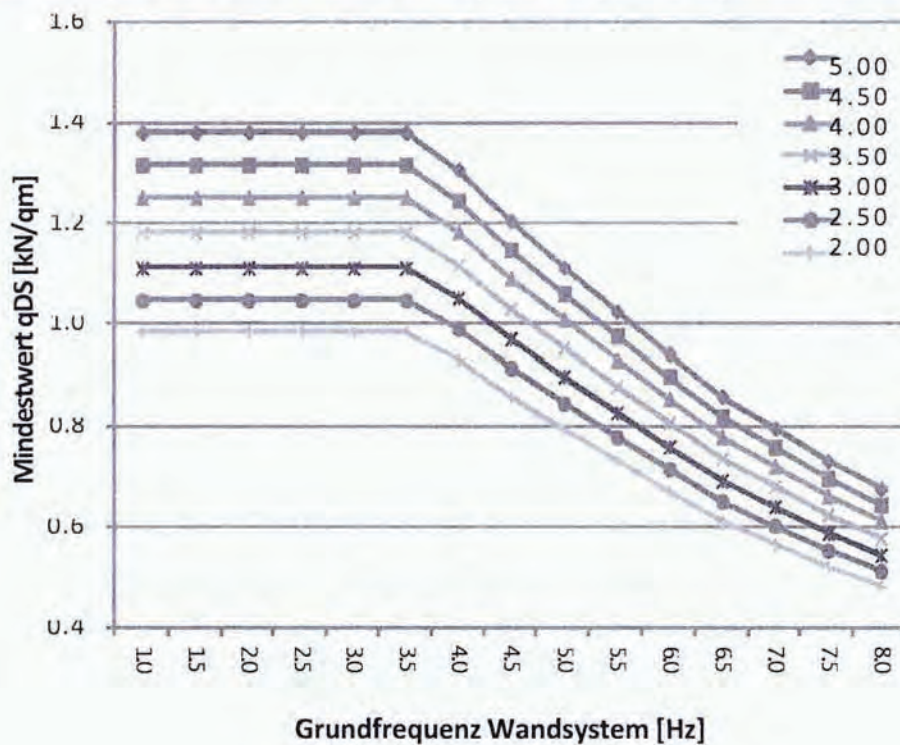
~~Aus den Tabellen ergibt sich unter Einhaltung der angegebenen Randbedingungen eine Verwendbarkeit bei Elementen mit Bauteillängen von 5,0m für Streckengeschwindigkeiten bis 250km/h bzw. bei Elementen mit Bauteillängen von 2,5m für Streckengeschwindigkeiten bis 300km/h.~~

| l=5,0m | | Wandhöhe [m] über SOK | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 5.00 | 4.50 | 4.00 | 3.50 | 3.00 | 2.50 | 2.00 |
| Grundfrequenz Wandsystem [Hz] | 1.0 | 1.594 | 1.519 | 1.444 | 1.364 | 1.284 | 1.209 | 1.134 |
| | 1.5 | 1.594 | 1.519 | 1.444 | 1.364 | 1.284 | 1.209 | 1.134 |
| | 2.0 | 1.594 | 1.519 | 1.444 | 1.364 | 1.284 | 1.209 | 1.134 |
| | 2.5 | 1.594 | 1.519 | 1.444 | 1.364 | 1.284 | 1.209 | 1.134 |
| | 3.0 | 1.594 | 1.519 | 1.444 | 1.364 | 1.284 | 1.209 | 1.134 |
| | 3.5 | 1.594 | 1.519 | 1.444 | 1.364 | 1.284 | 1.209 | 1.134 |
| | 4.0 | 1.577 | 1.503 | 1.429 | 1.349 | 1.270 | 1.196 | 1.122 |
| | 4.5 | 1.474 | 1.404 | 1.335 | 1.261 | 1.187 | 1.118 | 1.048 |
| | 5.0 | 1.375 | 1.311 | 1.246 | 1.177 | 1.107 | 1.043 | 0.978 |
| | 5.5 | 1.270 | 1.211 | 1.151 | 1.087 | 1.023 | 0.963 | 0.904 |
| | 6.0 | 1.183 | 1.127 | 1.072 | 1.012 | 0.953 | 0.897 | 0.842 |
| | 6.5 | 1.101 | 1.049 | 0.997 | 0.942 | 0.886 | 0.835 | 0.783 |
| | 7.0 | 1.004 | 0.957 | 0.910 | 0.859 | 0.809 | 0.762 | 0.715 |
| | 7.5 | 0.927 | 0.883 | 0.840 | 0.793 | 0.746 | 0.703 | 0.659 |
| 8.0 | 0.866 | 0.825 | 0.785 | 0.741 | 0.698 | 0.657 | 0.616 | |



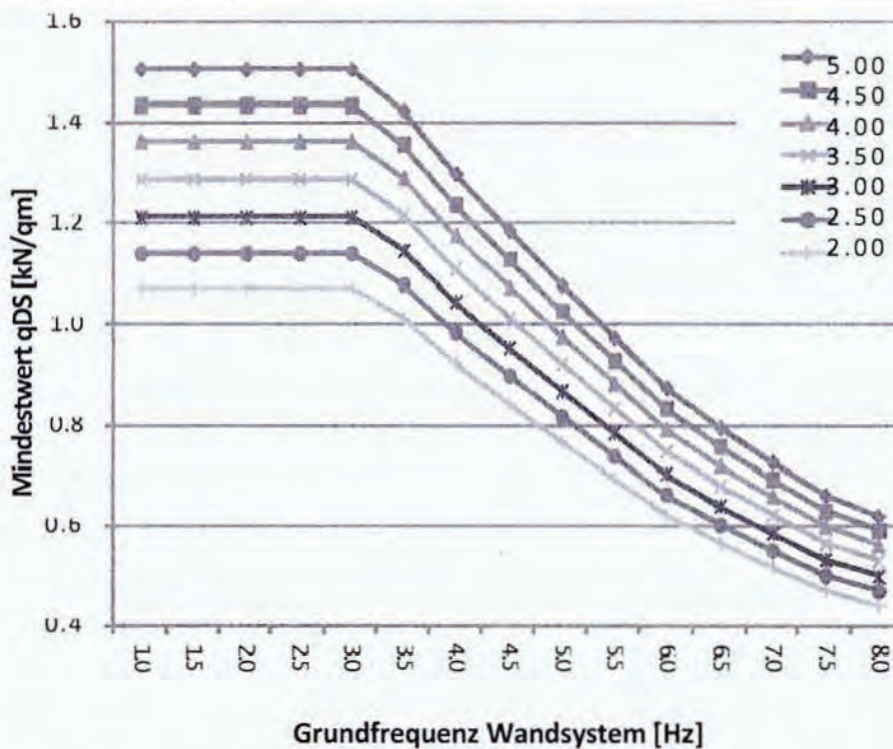
v= 250 km/h (Streckengeschwindigkeit)
 a_g= 3,80m (Gleisachsenabstand)
 Zugform: stromlinienförmig

| ±5,0m | Wandhöhe [m] über SOK | | | | | | |
|-------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 5.00 | 4.50 | 4.00 | 3.50 | 3.00 | 2.50 | 2.00 |
| 1.0 | 1.381 | 1.316 | 1.252 | 1.182 | 1.113 | 1.048 | 0.983 |
| 1.5 | 1.381 | 1.316 | 1.252 | 1.182 | 1.113 | 1.048 | 0.983 |
| 2.0 | 1.381 | 1.316 | 1.252 | 1.182 | 1.113 | 1.048 | 0.983 |
| 2.5 | 1.381 | 1.316 | 1.252 | 1.182 | 1.113 | 1.048 | 0.983 |
| 3.0 | 1.381 | 1.316 | 1.252 | 1.182 | 1.113 | 1.048 | 0.983 |
| 3.5 | 1.381 | 1.316 | 1.252 | 1.182 | 1.113 | 1.048 | 0.983 |
| 4.0 | 1.307 | 1.246 | 1.184 | 1.118 | 1.053 | 0.991 | 0.930 |
| 4.5 | 1.205 | 1.149 | 1.092 | 1.031 | 0.971 | 0.914 | 0.858 |
| 5.0 | 1.114 | 1.061 | 1.009 | 0.953 | 0.897 | 0.845 | 0.792 |
| 5.5 | 1.025 | 0.977 | 0.929 | 0.877 | 0.826 | 0.777 | 0.729 |
| 6.0 | 0.942 | 0.898 | 0.853 | 0.806 | 0.759 | 0.714 | 0.670 |
| 6.5 | 0.859 | 0.818 | 0.778 | 0.735 | 0.691 | 0.651 | 0.611 |
| 7.0 | 0.795 | 0.757 | 0.720 | 0.680 | 0.640 | 0.603 | 0.565 |
| 7.5 | 0.730 | 0.696 | 0.662 | 0.625 | 0.588 | 0.554 | 0.519 |
| 8.0 | 0.676 | 0.644 | 0.612 | 0.578 | 0.544 | 0.513 | 0.481 |



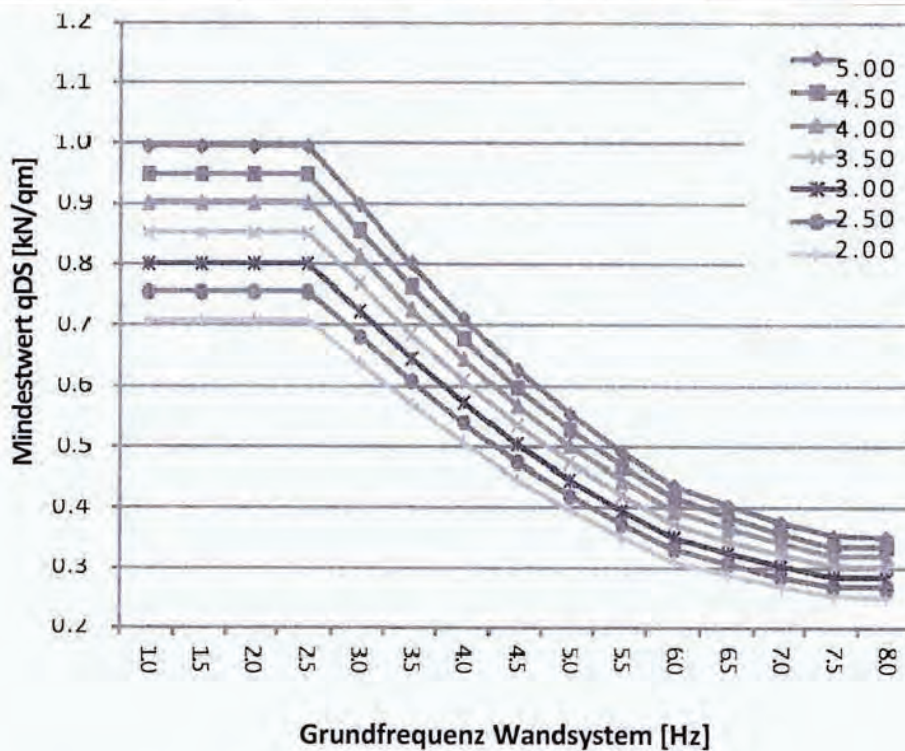
$v = 230 \text{ km/h}$ (Streckengeschwindigkeit)
 $a_g = 3,80\text{m}$ (Gleisachsenabstand)
 Zugform: stromlinienförmig

| l=5,0m | | Wandhöhe [m] über SOK | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 5.00 | 4.50 | 4.00 | 3.50 | 3.00 | 2.50 | 2.00 |
| Grundfrequenz Wandsystem [Hz] | 1.0 | 1.505 | 1.435 | 1.364 | 1.288 | 1.212 | 1.142 | 1.071 |
| | 1.5 | 1.505 | 1.435 | 1.364 | 1.288 | 1.212 | 1.142 | 1.071 |
| | 2.0 | 1.505 | 1.435 | 1.364 | 1.288 | 1.212 | 1.142 | 1.071 |
| | 2.5 | 1.505 | 1.435 | 1.364 | 1.288 | 1.212 | 1.142 | 1.071 |
| | 3.0 | 1.505 | 1.435 | 1.364 | 1.288 | 1.212 | 1.142 | 1.071 |
| | 3.5 | 1.424 | 1.357 | 1.290 | 1.219 | 1.147 | 1.080 | 1.013 |
| | 4.0 | 1.299 | 1.238 | 1.177 | 1.111 | 1.046 | 0.985 | 0.924 |
| | 4.5 | 1.186 | 1.130 | 1.074 | 1.015 | 0.955 | 0.899 | 0.844 |
| | 5.0 | 1.078 | 1.028 | 0.977 | 0.923 | 0.868 | 0.818 | 0.767 |
| | 5.5 | 0.975 | 0.929 | 0.883 | 0.834 | 0.785 | 0.739 | 0.693 |
| | 6.0 | 0.875 | 0.834 | 0.793 | 0.749 | 0.705 | 0.664 | 0.623 |
| | 6.5 | 0.796 | 0.758 | 0.721 | 0.681 | 0.641 | 0.603 | 0.566 |
| | 7.0 | 0.728 | 0.694 | 0.660 | 0.623 | 0.586 | 0.552 | 0.518 |
| | 7.5 | 0.661 | 0.630 | 0.599 | 0.566 | 0.533 | 0.502 | 0.471 |
| 8.0 | 0.621 | 0.591 | 0.562 | 0.531 | 0.500 | 0.471 | 0.442 | |



$v = 200 \text{ km/h}$ (Streckengeschwindigkeit)
 $a_g = 3,80\text{m}$ (Gleisachsenabstand)
 Zugform: gut profiliert

| l=5,0m | | Wandhöhe [m] über SOK | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 5.00 | 4.50 | 4.00 | 3.50 | 3.00 | 2.50 | 2.00 |
| Grundfrequenz Wandsystem [Hz] | 1.0 | 0.996 | 0.949 | 0.903 | 0.852 | 0.802 | 0.755 | 0.709 |
| | 1.5 | 0.996 | 0.949 | 0.903 | 0.852 | 0.802 | 0.755 | 0.709 |
| | 2.0 | 0.996 | 0.949 | 0.903 | 0.852 | 0.802 | 0.755 | 0.709 |
| | 2.5 | 0.996 | 0.949 | 0.903 | 0.852 | 0.802 | 0.755 | 0.709 |
| | 3.0 | 0.900 | 0.857 | 0.815 | 0.770 | 0.725 | 0.682 | 0.640 |
| | 3.5 | 0.803 | 0.765 | 0.728 | 0.687 | 0.647 | 0.609 | 0.571 |
| | 4.0 | 0.714 | 0.680 | 0.647 | 0.611 | 0.575 | 0.541 | 0.508 |
| | 4.5 | 0.628 | 0.598 | 0.569 | 0.537 | 0.506 | 0.476 | 0.447 |
| | 5.0 | 0.555 | 0.529 | 0.503 | 0.475 | 0.447 | 0.421 | 0.395 |
| | 5.5 | 0.492 | 0.469 | 0.446 | 0.421 | 0.396 | 0.373 | 0.350 |
| | 6.0 | 0.438 | 0.417 | 0.397 | 0.375 | 0.353 | 0.332 | 0.311 |
| | 6.5 | 0.405 | 0.386 | 0.367 | 0.346 | 0.326 | 0.307 | 0.288 |
| | 7.0 | 0.377 | 0.359 | 0.342 | 0.323 | 0.304 | 0.286 | 0.268 |
| | 7.5 | 0.354 | 0.337 | 0.320 | 0.303 | 0.285 | 0.268 | 0.252 |
| 8.0 | 0.352 | 0.336 | 0.319 | 0.302 | 0.284 | 0.267 | 0.251 | |

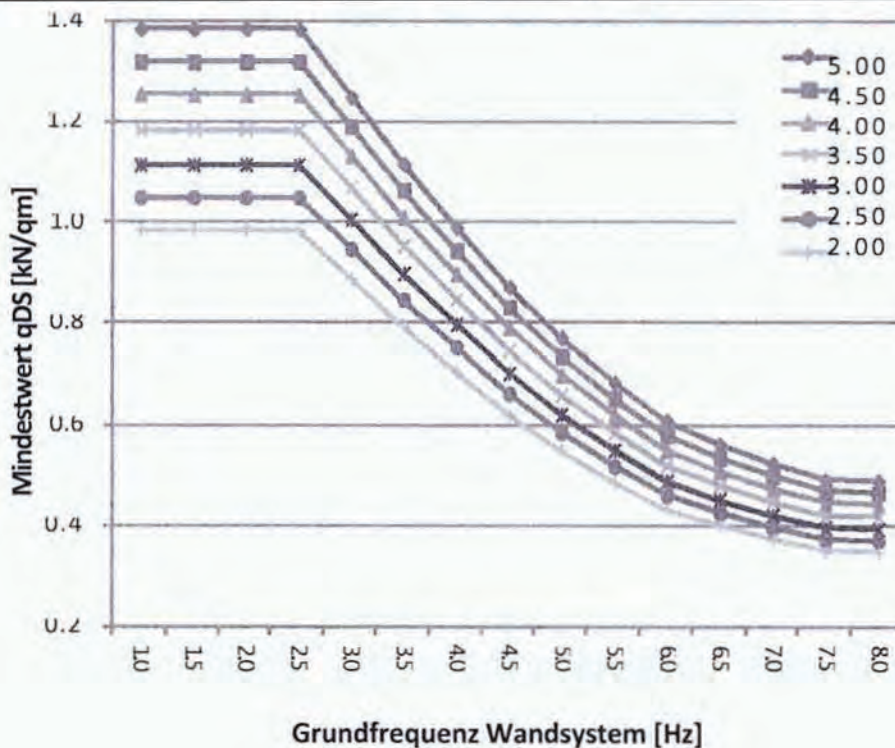


$v = 160$ km/h (Streckengeschwindigkeit)

$a_g = 3,80$ m (Gleisachsenabstand)

Zugform: ungünstige Form

| l=5,0m | | Wandhöhe [m] über SOK | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 5.00 | 4.50 | 4.00 | 3.50 | 3.00 | 2.50 | 2.00 |
| Grundfrequenz Wandsystem [Hz] | 1.0 | 1.384 | 1.319 | 1.254 | 1.184 | 1.114 | 1.049 | 0.984 |
| | 1.5 | 1.384 | 1.319 | 1.254 | 1.184 | 1.114 | 1.049 | 0.984 |
| | 2.0 | 1.384 | 1.319 | 1.254 | 1.184 | 1.114 | 1.049 | 0.984 |
| | 2.5 | 1.384 | 1.319 | 1.254 | 1.184 | 1.114 | 1.049 | 0.984 |
| | 3.0 | 1.249 | 1.191 | 1.132 | 1.069 | 1.006 | 0.948 | 0.889 |
| | 3.5 | 1.115 | 1.063 | 1.011 | 0.954 | 0.898 | 0.846 | 0.793 |
| | 4.0 | 0.991 | 0.945 | 0.898 | 0.848 | 0.798 | 0.752 | 0.705 |
| | 4.5 | 0.872 | 0.831 | 0.790 | 0.746 | 0.702 | 0.661 | 0.620 |
| | 5.0 | 0.771 | 0.734 | 0.698 | 0.659 | 0.621 | 0.584 | 0.548 |
| | 5.5 | 0.684 | 0.652 | 0.619 | 0.585 | 0.551 | 0.519 | 0.486 |
| | 6.0 | 0.608 | 0.579 | 0.551 | 0.520 | 0.490 | 0.461 | 0.432 |
| | 6.5 | 0.562 | 0.536 | 0.509 | 0.481 | 0.453 | 0.426 | 0.400 |
| | 7.0 | 0.524 | 0.499 | 0.474 | 0.448 | 0.422 | 0.397 | 0.373 |
| | 7.5 | 0.491 | 0.468 | 0.445 | 0.420 | 0.396 | 0.373 | 0.349 |
| 8.0 | 0.490 | 0.467 | 0.444 | 0.419 | 0.394 | 0.371 | 0.348 | |

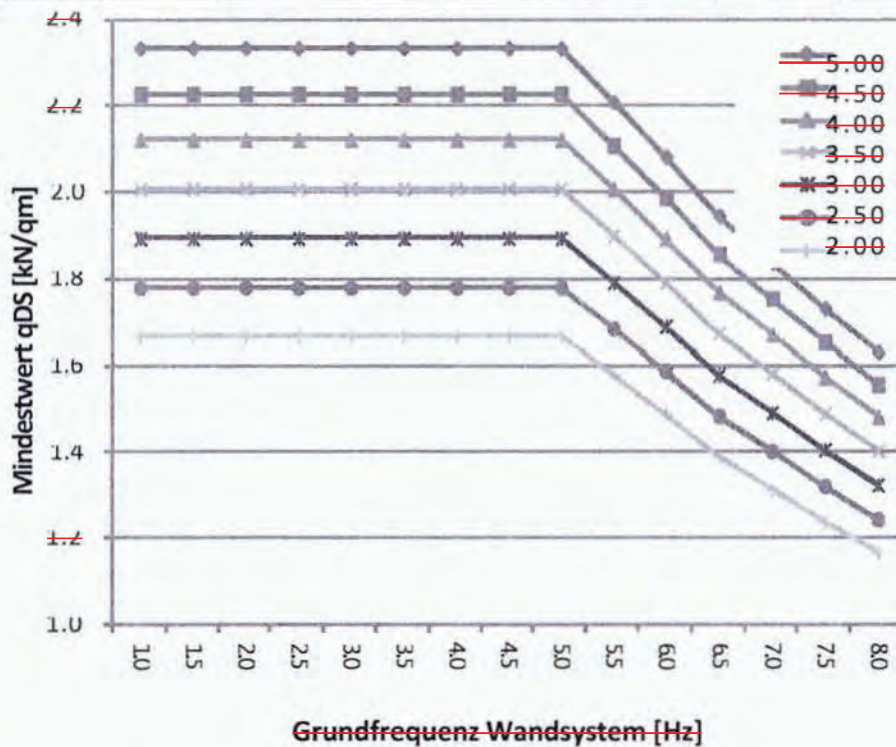


$v = 160$ km/h (Streckengeschwindigkeit)

$a_g = 3,30$ m (Gleisachsenabstand)

Zugform: ungünstige Form

| l=2,5m | | Wandhöhe [m] über SOK | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 5.00 | 4.50 | 4.00 | 3.50 | 3.00 | 2.50 | 2.00 |
| Grundfrequenz Wandsystem [Hz] | 1.0 | 2.334 | 2.228 | 2.122 | 2.008 | 1.894 | 1.781 | 1.667 |
| | 1.5 | 2.334 | 2.228 | 2.122 | 2.008 | 1.894 | 1.781 | 1.667 |
| | 2.0 | 2.334 | 2.228 | 2.122 | 2.008 | 1.894 | 1.781 | 1.667 |
| | 2.5 | 2.334 | 2.228 | 2.122 | 2.008 | 1.894 | 1.781 | 1.667 |
| | 3.0 | 2.334 | 2.228 | 2.122 | 2.008 | 1.894 | 1.781 | 1.667 |
| | 3.5 | 2.334 | 2.228 | 2.122 | 2.008 | 1.894 | 1.781 | 1.667 |
| | 4.0 | 2.334 | 2.228 | 2.122 | 2.008 | 1.894 | 1.781 | 1.667 |
| | 4.5 | 2.334 | 2.228 | 2.122 | 2.008 | 1.894 | 1.781 | 1.667 |
| | 5.0 | 2.334 | 2.228 | 2.122 | 2.008 | 1.894 | 1.781 | 1.667 |
| | 5.5 | 2.208 | 2.108 | 2.007 | 1.900 | 1.792 | 1.685 | 1.577 |
| | 6.0 | 2.082 | 1.988 | 1.893 | 1.792 | 1.690 | 1.589 | 1.487 |
| | 6.5 | 1.946 | 1.858 | 1.769 | 1.674 | 1.580 | 1.485 | 1.390 |
| | 7.0 | 1.838 | 1.755 | 1.671 | 1.582 | 1.492 | 1.403 | 1.313 |
| 7.5 | 1.732 | 1.653 | 1.575 | 1.490 | 1.406 | 1.322 | 1.237 | |
| 8.0 | 1.631 | 1.557 | 1.483 | 1.404 | 1.324 | 1.245 | 1.165 | |

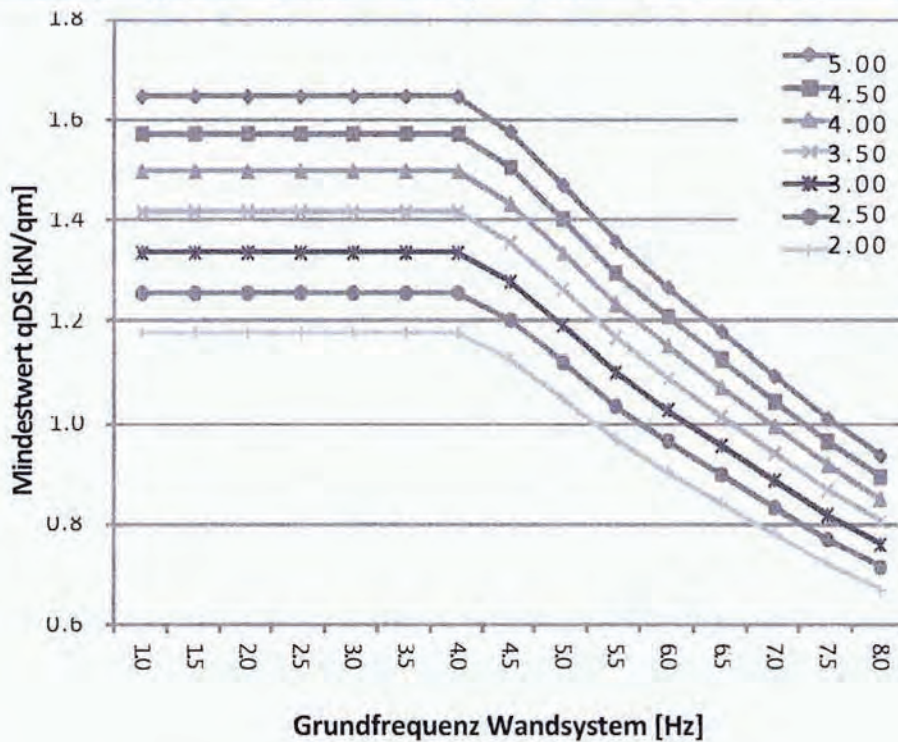


$v = 300 \text{ km/h}$ (Streckengeschwindigkeit)

$a_g = 3,80 \text{ m}$ (Gleisachsenabstand)

Zugform: stromlinienförmig

| f=2,5 m | Wandhöhe [m] über SOK | | | | | | |
|---------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 5.00 | 4.50 | 4.00 | 3.50 | 3.00 | 2.50 | 2.00 |
| 1.0 | 1.647 | 1.572 | 1.498 | 1.417 | 1.337 | 1.257 | 1.177 |
| 1.5 | 1.647 | 1.572 | 1.498 | 1.417 | 1.337 | 1.257 | 1.177 |
| 2.0 | 1.647 | 1.572 | 1.498 | 1.417 | 1.337 | 1.257 | 1.177 |
| 2.5 | 1.647 | 1.572 | 1.498 | 1.417 | 1.337 | 1.257 | 1.177 |
| 3.0 | 1.647 | 1.572 | 1.498 | 1.417 | 1.337 | 1.257 | 1.177 |
| 3.5 | 1.647 | 1.572 | 1.498 | 1.417 | 1.337 | 1.257 | 1.177 |
| 4.0 | 1.647 | 1.572 | 1.498 | 1.417 | 1.337 | 1.257 | 1.177 |
| 4.5 | 1.576 | 1.505 | 1.433 | 1.356 | 1.280 | 1.203 | 1.126 |
| 5.0 | 1.470 | 1.403 | 1.336 | 1.265 | 1.193 | 1.122 | 1.050 |
| 5.5 | 1.358 | 1.297 | 1.235 | 1.169 | 1.103 | 1.036 | 0.970 |
| 6.0 | 1.267 | 1.210 | 1.152 | 1.090 | 1.029 | 0.967 | 0.905 |
| 6.5 | 1.180 | 1.126 | 1.073 | 1.015 | 0.958 | 0.900 | 0.843 |
| 7.0 | 1.095 | 1.045 | 0.995 | 0.942 | 0.889 | 0.835 | 0.782 |
| 7.5 | 1.011 | 0.965 | 0.919 | 0.870 | 0.820 | 0.771 | 0.722 |
| 8.0 | 0.938 | 0.895 | 0.852 | 0.807 | 0.761 | 0.715 | 0.670 |

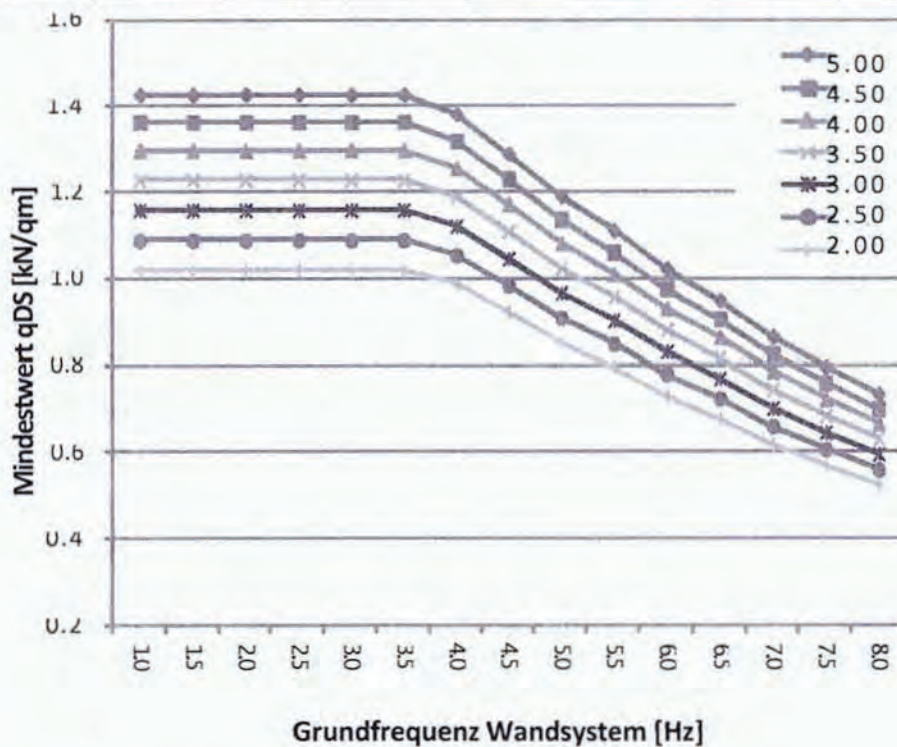


v= 250km/h (Streckengeschwindigkeit)

a_g= 3,80m (Gleisachsenabstand)

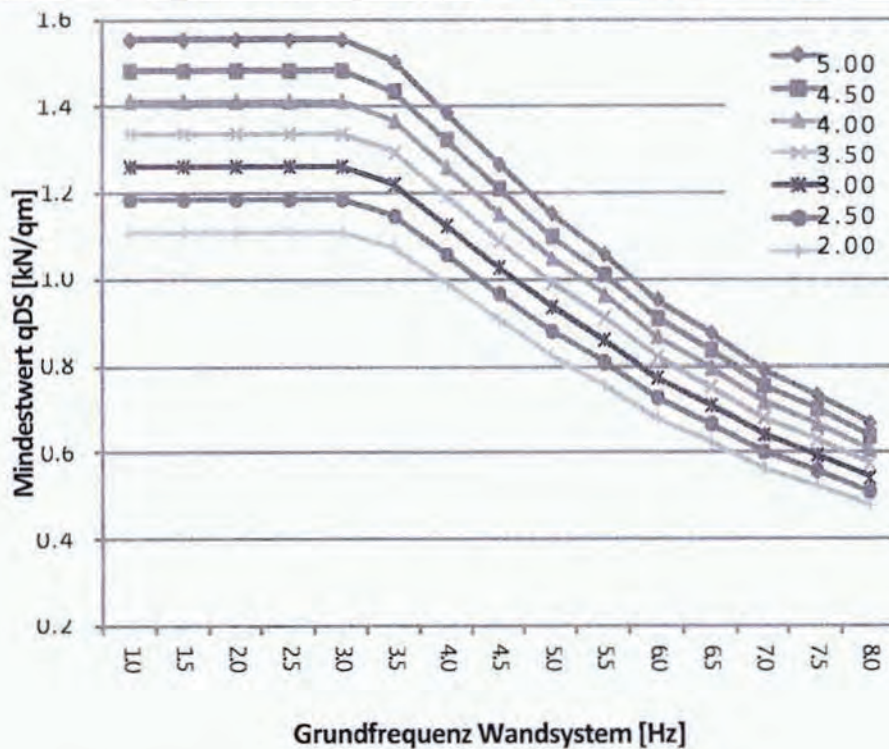
Zugform: stromlinienförmig

| l=2,5m | | Wandhöhe [m] über SOK | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 5.00 | 4.50 | 4.00 | 3.50 | 3.00 | 2.50 | 2.00 |
| Grundfrequenz Wandsystem [Hz] | 1.0 | 1.428 | 1.363 | 1.298 | 1.228 | 1.159 | 1.089 | 1.020 |
| | 1.5 | 1.428 | 1.363 | 1.298 | 1.228 | 1.159 | 1.089 | 1.020 |
| | 2.0 | 1.428 | 1.363 | 1.298 | 1.228 | 1.159 | 1.089 | 1.020 |
| | 2.5 | 1.428 | 1.363 | 1.298 | 1.228 | 1.159 | 1.089 | 1.020 |
| | 3.0 | 1.428 | 1.363 | 1.298 | 1.228 | 1.159 | 1.089 | 1.020 |
| | 3.5 | 1.428 | 1.363 | 1.298 | 1.228 | 1.159 | 1.089 | 1.020 |
| | 4.0 | 1.382 | 1.319 | 1.256 | 1.189 | 1.121 | 1.054 | 0.987 |
| | 4.5 | 1.289 | 1.231 | 1.172 | 1.109 | 1.047 | 0.984 | 0.921 |
| | 5.0 | 1.190 | 1.136 | 1.082 | 1.024 | 0.966 | 0.908 | 0.850 |
| | 5.5 | 1.111 | 1.061 | 1.010 | 0.956 | 0.902 | 0.848 | 0.794 |
| | 6.0 | 1.023 | 0.976 | 0.930 | 0.880 | 0.830 | 0.780 | 0.730 |
| | 6.5 | 0.949 | 0.906 | 0.863 | 0.816 | 0.770 | 0.724 | 0.678 |
| | 7.0 | 0.865 | 0.825 | 0.786 | 0.744 | 0.702 | 0.660 | 0.618 |
| 7.5 | 0.795 | 0.759 | 0.723 | 0.684 | 0.645 | 0.607 | 0.568 | |
| 8.0 | 0.734 | 0.700 | 0.667 | 0.631 | 0.595 | 0.560 | 0.524 | |



v= 230km/h (Streckengeschwindigkeit)
 $a_g= 3,80m$ (Gleisachsenabstand)
 Zugform: stromlinienförmig

| l=2,5m | | Wandhöhe [m] über SOK | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 5.00 | 4.50 | 4.00 | 3.50 | 3.00 | 2.50 | 2.00 |
| Grundfrequenz Wandsystem [Hz] | 1.0 | 1.556 | 1.485 | 1.414 | 1.339 | 1.263 | 1.187 | 1.111 |
| | 1.5 | 1.556 | 1.485 | 1.414 | 1.339 | 1.263 | 1.187 | 1.111 |
| | 2.0 | 1.556 | 1.485 | 1.414 | 1.339 | 1.263 | 1.187 | 1.111 |
| | 2.5 | 1.556 | 1.485 | 1.414 | 1.339 | 1.263 | 1.187 | 1.111 |
| | 3.0 | 1.556 | 1.485 | 1.414 | 1.339 | 1.263 | 1.187 | 1.111 |
| | 3.5 | 1.506 | 1.437 | 1.369 | 1.295 | 1.222 | 1.149 | 1.075 |
| | 4.0 | 1.388 | 1.325 | 1.262 | 1.194 | 1.127 | 1.059 | 0.992 |
| | 4.5 | 1.269 | 1.211 | 1.153 | 1.091 | 1.030 | 0.968 | 0.906 |
| | 5.0 | 1.155 | 1.102 | 1.050 | 0.993 | 0.937 | 0.881 | 0.825 |
| | 5.5 | 1.061 | 1.013 | 0.964 | 0.913 | 0.861 | 0.809 | 0.758 |
| | 6.0 | 0.955 | 0.911 | 0.868 | 0.821 | 0.775 | 0.728 | 0.682 |
| | 6.5 | 0.876 | 0.836 | 0.796 | 0.754 | 0.711 | 0.668 | 0.626 |
| | 7.0 | 0.792 | 0.756 | 0.720 | 0.681 | 0.643 | 0.604 | 0.566 |
| | 7.5 | 0.735 | 0.702 | 0.668 | 0.633 | 0.597 | 0.561 | 0.525 |
| 8.0 | 0.670 | 0.640 | 0.609 | 0.577 | 0.544 | 0.511 | 0.479 | |

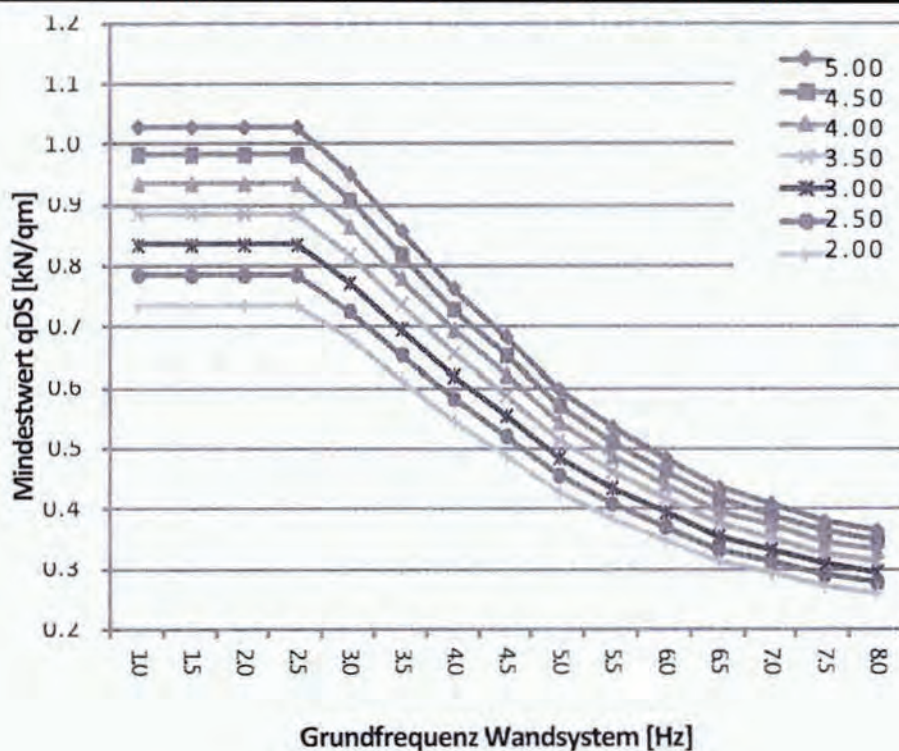


v= 200km/h (Streckengeschwindigkeit)

a_g= 3,80m (Gleisachsenabstand)

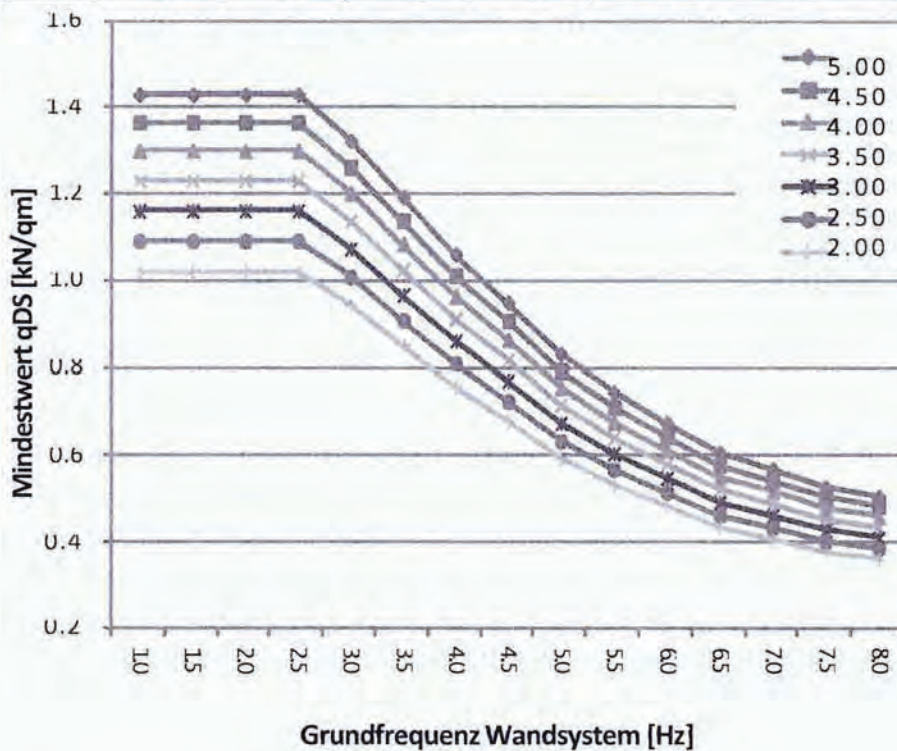
Zugform: gut profiliert

| l=2,5m | | Wandhöhe [m] über SOK | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 5.00 | 4.50 | 4.00 | 3.50 | 3.00 | 2.50 | 2.00 |
| Grundfrequenz Wandsystem [Hz] | 1.0 | 1.030 | 0.983 | 0.936 | 0.886 | 0.836 | 0.786 | 0.735 |
| | 1.5 | 1.030 | 0.983 | 0.936 | 0.886 | 0.836 | 0.786 | 0.735 |
| | 2.0 | 1.030 | 0.983 | 0.936 | 0.886 | 0.836 | 0.786 | 0.735 |
| | 2.5 | 1.030 | 0.983 | 0.936 | 0.886 | 0.836 | 0.786 | 0.735 |
| | 3.0 | 0.952 | 0.909 | 0.865 | 0.819 | 0.773 | 0.726 | 0.680 |
| | 3.5 | 0.859 | 0.820 | 0.780 | 0.739 | 0.697 | 0.655 | 0.613 |
| | 4.0 | 0.764 | 0.729 | 0.695 | 0.657 | 0.620 | 0.583 | 0.546 |
| | 4.5 | 0.684 | 0.653 | 0.622 | 0.589 | 0.555 | 0.522 | 0.489 |
| | 5.0 | 0.599 | 0.572 | 0.544 | 0.515 | 0.486 | 0.457 | 0.428 |
| | 5.5 | 0.537 | 0.512 | 0.488 | 0.462 | 0.436 | 0.409 | 0.383 |
| | 6.0 | 0.487 | 0.464 | 0.442 | 0.419 | 0.395 | 0.371 | 0.348 |
| | 6.5 | 0.437 | 0.417 | 0.397 | 0.376 | 0.355 | 0.334 | 0.312 |
| | 7.0 | 0.410 | 0.391 | 0.373 | 0.353 | 0.333 | 0.313 | 0.293 |
| 7.5 | 0.380 | 0.363 | 0.346 | 0.327 | 0.309 | 0.290 | 0.272 | |
| 8.0 | 0.364 | 0.348 | 0.331 | 0.313 | 0.296 | 0.278 | 0.260 | |



$v = 160$ km/h (Streckengeschwindigkeit)
 $a_g = 3,80$ m (Gleisachsenabstand)
 Zugform: ungünstige Form

| l=2,5m | | Wandhöhe [m] über SOK | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 5.00 | 4.50 | 4.00 | 3.50 | 3.00 | 2.50 | 2.00 |
| Grundfrequenz Wandsystem [Hz] | 1.0 | 1.430 | 1.365 | 1.300 | 1.230 | 1.161 | 1.091 | 1.021 |
| | 1.5 | 1.430 | 1.365 | 1.300 | 1.230 | 1.161 | 1.091 | 1.021 |
| | 2.0 | 1.430 | 1.365 | 1.300 | 1.230 | 1.161 | 1.091 | 1.021 |
| | 2.5 | 1.430 | 1.365 | 1.300 | 1.230 | 1.161 | 1.091 | 1.021 |
| | 3.0 | 1.322 | 1.262 | 1.202 | 1.138 | 1.073 | 1.009 | 0.944 |
| | 3.5 | 1.192 | 1.138 | 1.084 | 1.026 | 0.968 | 0.910 | 0.852 |
| | 4.0 | 1.061 | 1.013 | 0.965 | 0.913 | 0.861 | 0.810 | 0.758 |
| | 4.5 | 0.950 | 0.907 | 0.864 | 0.818 | 0.771 | 0.725 | 0.679 |
| | 5.0 | 0.832 | 0.794 | 0.756 | 0.716 | 0.675 | 0.635 | 0.594 |
| | 5.5 | 0.745 | 0.711 | 0.678 | 0.641 | 0.605 | 0.569 | 0.532 |
| | 6.0 | 0.676 | 0.645 | 0.614 | 0.581 | 0.549 | 0.516 | 0.483 |
| | 6.5 | 0.607 | 0.580 | 0.552 | 0.522 | 0.493 | 0.463 | 0.434 |
| | 7.0 | 0.569 | 0.543 | 0.518 | 0.490 | 0.462 | 0.434 | 0.407 |
| | 7.5 | 0.528 | 0.504 | 0.480 | 0.454 | 0.429 | 0.403 | 0.377 |
| 8.0 | 0.506 | 0.483 | 0.460 | 0.435 | 0.411 | 0.386 | 0.361 | |



$v = 160$ km/h (Streckengeschwindigkeit)

$a_g = 3,30$ m (Gleisachsenabstand)

Zugform: ungünstige Form