Prof. Dr.-Ing. Jörg Reymendt
Prof. Dr.-Ing. Alexander Vogel

Beratende Ingenieure
Sachverständige WHG/AwSV

Schottener Weg 8
D-64289 Darmstadt

Telefon +49 61 51 77 06 - 0
Telefax +49 61 51 77 06 -44

e-mail info@isg-ingenieure.de
internet www.isg-ingenieure.de

Messbericht

zu Schwingungsmessungen an einer DB-Bahnstrecke an einem Neubaugebiet Wohnquartier „Alte Stobbefabrik“

PROJEKT:	Schwingungsmessungen an einer DB-Bahnstrecke Neubaugebiet Wohnquartier „Alte Stobbefabrik“ Schillerstraße 76 64625 Bensheim
AUFTRAGGEBER:	Immotolia GmbH & Co. KG vertreten durch Hendrik Friedrich Schillerstraße 80 64625 Bensheim
AUFSTELLER:	ISG GmbH Schottener Weg 8 64289 Darmstadt
BEARBEITER:	Prof. Dr.-Ing. Jörg Reymendt Reyk Sander
PROJEKTNUMMER:	230125
ERSTELLDATUM:	27.10.2025 Rev. 01 vom 22.04.2026
UMFANG DES DOKUMENTS:	19 Textseiten und 14 Seiten Anlagen

Inhaltsverzeichnis

1 Auftrag und Veranlassung 3
2 Unterlagen 4
3 Schwingungsmessungen 5
3.1 Messpunkte 5
3.2 Messgerätschaften 7
3.3 Messprogramm 7
3.4 Messergebnisse 8
4 Auswertung der Messungen 9
4.1 Erschütterungen allgemein 9
4.2 Ausbreiten von Schwingungen im Untergrund 9
4.3 Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen 11
4.4 Bewertung der Messungen nach DIN 4105-2 14
5 Zusammenfassung und Empfehlung 18

1 Auftrag und Veranlassung

Die Immotolia GmbH & Co.KG plant in Bensheim, Schillerstraße den Neubau eines Wohnquartiers „Alte Stobbefabrik“. Dabei sollen laut aktueller Planung auf dem bestehenden Werksgelände „Stobbefabrik“ auf insgesamt 5 Baufeldern Wohngebäude mit Mehrfamilien-Wohnhäusern, Gebäude mit gewerblicher Nutzung, ein Forumsgebäude und Garagen sowie Parkhäuser für PKW entwickelt werden.

Das Gelände grenzt unmittelbar an eine parallel verlaufende Bahntrasse mit zwei stark befahrenen Gleisen der Deutschen Bahn mit einem Gleisabstand zum Grundstück von ca. 5 Meter. Entlang der Bahntrasse ist als Grenzbebauung ein Parkhaus über zwei Etagen mit aufgesetzter Wohnbebauung in Modulbauweise geplant.



Abbildung 1 *Luftbild Werksgelände Stobbefabrik mit parallel verlaufender Bahntrasse (aus Google-Maps)*



Abbildung 2 *Bebauungskonzept für das geplante Wohnquartier „Alte Stobbefabrik“ (Stand 14.04.26)*

Die vorhandene Bahntrasse ist über den gesamten Tagesverlauf sowohl tagsüber, als auch nachts stark frequentiert mit Zugdurchfahrten von Regionalbahnen, Fernzügen/ICE und Güterverkehrszügen auf beiden Gleisen.

Unser Büro wurde damit beauftragt Schwingungsmessungen auf dem Gelände „Alte Stobbefabrik“ durchzuführen und die Ergebnisse hinsichtlich der Einwirkungen von Erschütterungen auf Menschen in Gebäuden zu beurteilen.

2 Unterlagen

[1] 2025_08_20_Vorentwurf Alte Stobbefabrik; 19 Seiten PDF Präsentation Werkstadt Fischer Architekten

[2] Messprotokolle der durchgeführten Schwingungsmessungen vom 07.10.2025 und 08.10.2025, 297 Zeitverläufe und zugehörige Frequenzspektren; ISG GmbH, Darmstadt

[3] DIN 4150-1 Erschütterungen im Bauwesen, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen; Ausgabe Dezember 2022

[4] DIN 4150-2: Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Ausgabe August 2025

3 Schwingungsmessungen

3.1 Messpunkte

Zur Feststellung einer möglichen Beeinträchtigung von Menschen in Gebäuden infolge Erschütterungen durch Zugverkehr, wurden vom 07.10.2025, 10:30 Uhr bis 08.10.2025, 14:00 Uhr nahe der Gleisstrecke Erschütterungsmessungen nach DIN 4150-2 [4] durchgeführt. Dabei wurden alle Ereignisse von Zugdurchfahrten auf beiden Gleisen messtechnisch erfasst.

Um eine Aussage über die Einwirkung von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr auf die geplanten Gebäude zu erhalten, wurde die Messung im 1. OG eines Bestandsgebäudes repräsentativ in Deckenmitte eines Büroraums mit üblicher Deckenspannweite am Messpunkt MP1 durchgeführt. Dabei wurden in Deckenmitte Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer in die drei Achsenrichtungen x/y/z aufgestellt. Der Abstand des Messpunkts zur naheliegenden Gleisstrecke betrug dabei ca. 20 Meter. Im Abstand von ca. 13 Meter zur Bahntrasse wurde zudem auf der dort aktuell bestehenden Straße ein weiterer Messpunkt MP2 eingerichtet und ergänzend zum ersten Messpunkt die Schwinggeschwindigkeiten in z-Richtung ermittelt.

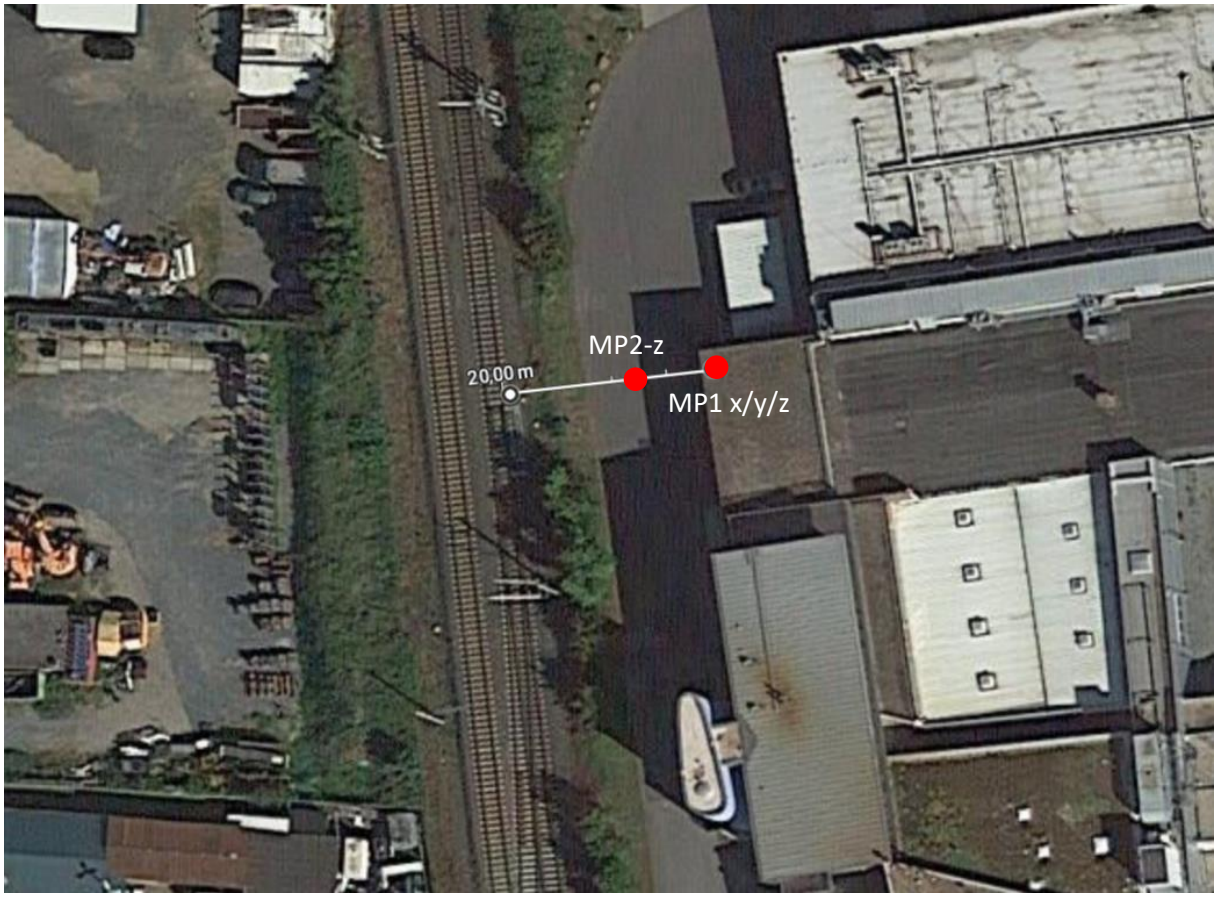


Abbildung 3 *Messpunkte MP1 (Deckenmitte in einem angrenzenden Bürogebäude und MP2 auf der Straße vor dem Gebäude*

Der Messpunkt 2 befindet sich dabei ca. 9 Meter von der Grundstücksgrenze entfernt und liegt somit direkt im Innenbereich der künftigen grenznahen Parkhausbebauung mit optionaler Aufstockung Wohnen in Modulbauweise (vgl. Abbildung 4 aus [1]).

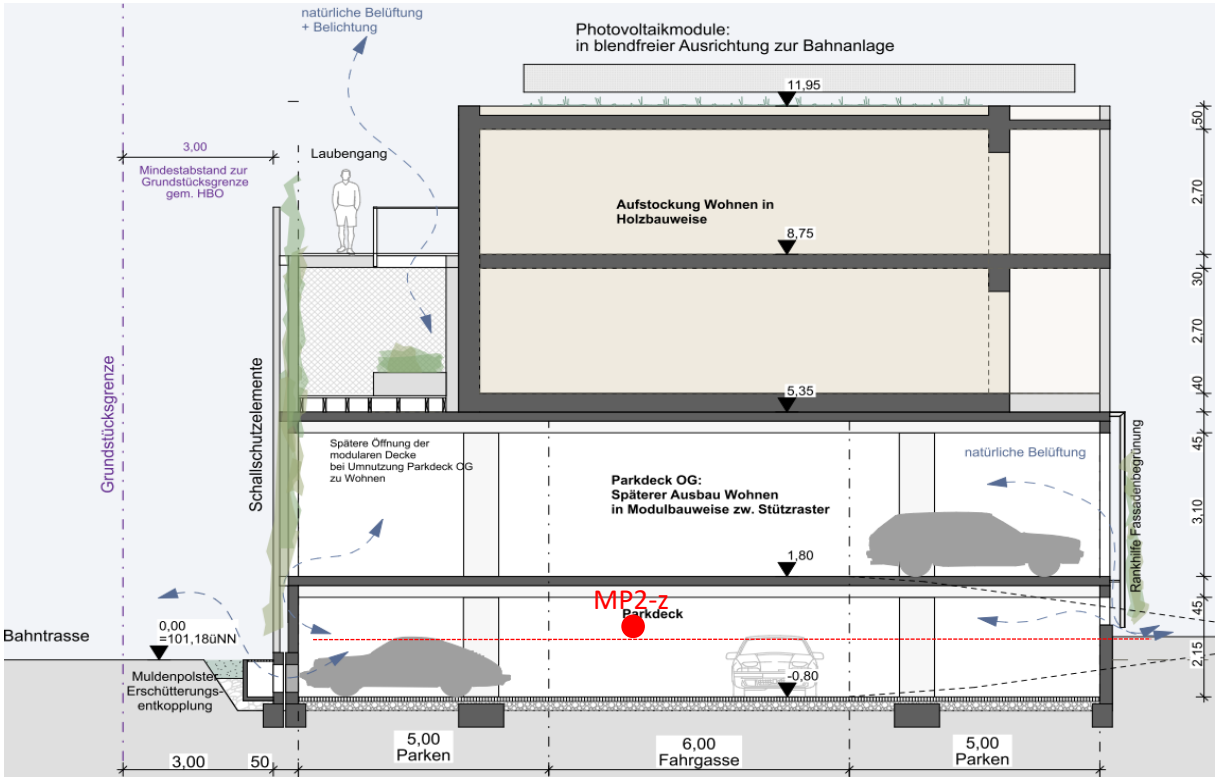


Abbildung 4 *Lage des Messpunkts MP2 bezogen auf das künftig geplante grenznahe Parkhausgebäude mit optionaler Aufstockung Wohnen*



Abbildung 5 *Messpunkt MP1 im Gebäude, 1. OG*

Die Messrichtungen am Messpunkt 1 verliefen in x-Richtung 90° zur Bahnstrecke, in y-Richtung parallel zu den Gleisen und in z-Richtung in lotrechter Richtung.



Abbildung 6 *Messpunkt MP2 auf der vorhandenen Straße zwischen Gebäude und Bahntrasse*

3.2 Messgerätschaften

Der Messpunkt 1 bestand aus drei Schwinggeschwindigkeitsaufnehmern vom Typ HBM S50V inkl. Messverstärker, AD-Wandler Mess-Notebook mit Messsoftware. Am Messpunkt 2 kam ein einaxialer Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer vom Typ HBM SMU-31 zum Einsatz. Alle vier Kanäle wurden gleichzeitig mit der Messsoftware mit 1000 Hz abgetastet.

3.3 Messprogramm

Da zu erwarten war, dass die Messwerte in z-Richtung auf beiden Messpunkten bei Zugdurchfahrten ähnlich große Amplituden aufweisen werden, wurden alle Messungen durch einen Trigger auf dem z-Kanal Messpunkt 1 ausgelöst. Dadurch konnte weitgehend ausgeschlossen werden, dass Erschütterungen unmittelbar um den Messpunkt 2 durch z.B. Personen zu einer Fehlmessung führen können.

3.4 Messergebnisse

Insgesamt wurden im betrachteten Zeitraum über 24 Stunden 267 Zugdurchfahrten aufgezeichnet, davon 189 Zugdurchfahrten am Tag und 78 Zugdurchfahrten in der Ruhezeit nachts zwischen 22:00 Uhr und 6:00 Uhr. Die Zugdurchfahrten werden zudem nach DIN 4150-2 [4] unterschieden in Personenverkehrszüge sowie Güterzüge. In Anlage 7 sind alle erfassten Ereignisse zusammenfassend aufgeführt.

Tabelle 1 *Gemessene Zugdurchfahrten innerhalb 24 Stunden*

Zugkategorie	***Zeitraum***	***Anzahl Vorbeifahrten***	***Gesamt***
Personenverkehrszug	Tags (6 -22 Uhr)	98	189
Güterzug	Tags (6 -22 Uhr)	91	
Personenverkehrszug	Nachts (22 – 6 Uhr)	18	78
Güterzug	Nachts (22 – 6 Uhr)	60	

Als Messdaten wurden gemäß DIN 4150-2 das rohe Schnellesignal (Schwinggeschwindigkeiten) in [mm/s] mit einer Messfrequenz von 1.000 Hz (1.000 Messwerte je Sekunde) erfasst. Das Schnellesignal liefert bei der weiteren Auswertung der Messergebnisse nach DIN 4150-2 die Grundlage für die bewerteten Schwingstärken sowie Beurteilungsgrößen.

In den Anlagen 1–6 sowie Tabelle 2 sind exemplarisch die Messergebnisse von typischen Zugdurchfahrten nach Zugart und Gleis aufgeführt. Dabei liegt Gleis 1 grundstücksnah (Fahrtrichtung hauptsächlich von Süden nach Norden) und Gleis 2 (Fahrtrichtung hauptsächlich von Norden nach Süden). Die dargestellten Diagramme zeigen den Zeitverlauf x/y/z für Messpunkt 1 (grün/rot/blau) sowie die z-Messung für Messpunkt 2 (schwarz). Unterhalb der Zeitverläufe sind die zugehörigen Frequenzspektren dargestellt.

Tabelle 2 *Typische Messwerte Zugdurchfahrten Gleis 1 (grundstücksnah) und 2 (grundstücksfern)*

Messung Nr.	***Zugart***	***Gleis***	***Messpunkt 1***			***Messpunkt 2***
			v_{max} (x) [mm/s]	v_{max} (y) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]
9	Regional	1	0,17	0,15	0,48	0,43
10	Regional	2	0,19	0,10	0,27	0,36
34	ICE	1	0,27	0,20	0,62	0,62
53	ICE	2	0,23	0,19	0,24	0,36
4	Güterzug	1	0,22	0,16	0,59	0,53
22	Güterzug	2	0,12	0,22	0,64	0,41

4 Auswertung der Messungen

4.1 Erschütterungen allgemein

Erschütterungen sind mechanische Schwingungen fester Körper mit potentiell schädigender oder belästigender Wirkung. Erschütterungen im Bauwesen werden in der einschlägigen Norm DIN 4150, Teile 1 bis 3 behandelt:

- DIN 4150, Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen (2022-12)
- DIN 4150, Teil 2: Einwirkung auf Menschen in Gebäuden (2025-08)
- DIN 4150, Teil 3: Einwirkung auf bauliche Anlagen (2016-12)

Dabei wird in Teil 1 insbesondere auf die Ausbreitung von Schwingungen im Untergrund und die Übertragung auf Bauwerke eingegangen sowie durch zahlreiche Beispiele und Messergebnisse die Auswirkungen von Ereignissen auf das unmittelbare Umfeld dargestellt. Sie beschreibt die Durchführung und Auswertung von Messungen und hilft bei der Einstufung der Erschütterungen auf das Umfeld.

DIN 4150, Teil 2 enthält Angaben für die Beurteilung von Erschütterungen im Frequenzbereich zwischen 1 Hz bis 80 Hz auf Menschen in Gebäuden.

Der Anwendungsbereich des Teils 2 der Norm wird wie folgt beschrieben:

> *Zweck der Norm ist die angemessene Berücksichtigung des Erschütterungsschutzes im Immissionsschutz. Es werden Anforderungen und Anhaltswerte genannt, bei deren Einhaltung erwartet werden kann, dass in der Regel erhebliche Belästigungen von Menschen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen vermieden werden.*

Luftschall wird in dieser Norm nicht beurteilt und ist getrennt zu betrachten.

Die DIN 4150, Teil 3 ist zudem hilfreich bei der Beurteilung von Schäden an Gebäuden und legt mit unterschiedlichen Anhaltswerten Erschütterungsintensitäten fest, bei deren Einhaltung aus der Erfahrung an Gebäuden keine Schäden entstehen.

4.2 Ausbreiten von Schwingungen im Untergrund

Erschütterungen, auch aus Schienenverkehr breiten sich im Untergrund von der Erschütterungsquelle beginnend radial aus. Dabei klingen die Erschütterungen im Erdreich, abhängig von der Beschaffenheit des Untergrundes einer Exponentialfunktion folgend ab. Die Ausbreitung und Abnahme der Amplituden einer Erschütterung ist dabei abhängig von

- der Gliederung des Bodens (Schichtaufbau),
- vorhandener Bebauung,
- Geländeversprüngen,
- Zusammenwirkung mehrerer Erschütterungsquellen.

Die Erschütterung selbst kann als Schwingung beschrieben werden, die in der Regel einer sinusförmigen Funktion mit Überlagerung unterschiedlicher Frequenzen (Sinusverläufe je Sekunde) folgt.

Bei der Ausbreitung von Schwingungen im Untergrund entstehen zwei Arten von Schwingungswellen (vgl. Abbildung 7):

1) Raumwellen (Kompressions- und Scherwellen)
2) Oberflächenwellen (Rayleighwellen)

Die Größe und Intensität der Wellen ist abhängig von verschiedenen Faktoren des Umfeldes sowie von der Art der Quelle und der Energieeinleitung in den Boden. Wenn sich das Material des Baugrundes entsprechend des elastischen Spannungs-Verzerrungsgesetzes verformt, pflanzen sich Schwingungen als elastische Wellen fort. Dabei wird nur Energie, keine Masse transportiert.

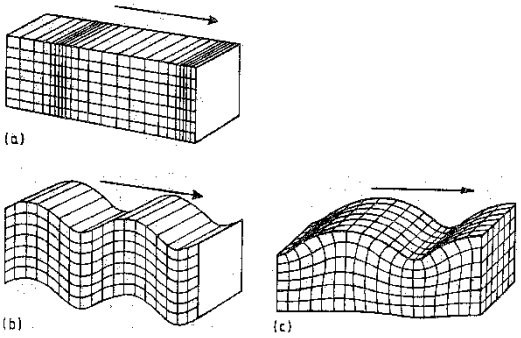


Abbildung 7 *Wellenarten im Untergrund:*
a) Kompressionswelle b) Scherwelle c) Rayleighwelle

Die von einer Erschütterungsquelle in den Untergrund eingeleitete Schwingungsenergie breitet sich in Form verschiedener Wellenarten im Boden aus. Es treten Raumwellen (Kompressions- und Scherwellen) und Oberflächenwellen (Rayleighwellen) auf, die je nach Art der Quelle und Energieeinleitung in den Boden unterschiedliche Intensitäten haben können. Schwingungswellen im Untergrund klingen in Abhängigkeit vom Abstand zur Quelle ab. Das Abklingen folgt einer Exponentialfunktion, der Abklinggrad ist abhängig von der Dämpfung des Untergrundes. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen dem Nahbereich und dem Fernfeld einer Schwingungsquelle. Im Nahbereich wirkt sich die Materialdämpfung des Bodens gegenüber der Amplitudenabnahme nur gering aus, mit zunehmender Entfernung spielt die Materialdämpfung eine zunehmende Bedeutung.

Zur Beurteilung der Auswirkung und Intensität von Schwingungen im Baugrund infolge einer eingeleiteten Schwingung spielen zahlreiche Parameter eine Rolle. Die wichtigsten Parameter sind:

- Quellentyp (geometrisch und zeitlich),
- Frequenz der Quelle,
- Dauer der Einwirkung,
- Räumliche Situation (Homogenität des Untergrundes),
- Material, Schichtung und Dämpfung des Untergrundes,
- Geometrie (Größe/Gründungstiefe), Lage (Abstand) und Masse des von den Einwirkungen betroffenen Gebäudes.

4.3 Anhaltswerte für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen

Nach DIN 4150, Teil 2: „Erschütterungen im Bauwesen, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ sollen Menschen in Gebäuden, insbesondere in Wohnungen, grundsätzlich so wenig wie möglich wahrnehmbaren Erschütterungen ausgesetzt werden. Wahrnehmbare Erschütterungen sind jedoch nach dem Stand der Technik nicht immer zu vermeiden [4].

Art und Grad der individuellen Beeinträchtigung und Belästigung durch Erschütterungen hängen vom Ausmaß der Erschütterungsbelastung und deren Wechselwirkung mit individuellen Eigenschaften und situativen Bedingungen des betroffenen Menschen ab [4].

Die Belästigung des Menschen durch Erschütterungen hängt nach [4] insbesondere von folgenden Faktoren ab:

- der Größe (Stärke) der auftretenden Erschütterungen,
- der Frequenz,
- der Einwirkungsdauer,
- der Häufigkeit und Tageszeit des Auftretens und der Auffälligkeit (Überraschungseffekt),
- der Art und Betriebsweise der Erschütterungsquelle.

Von den individuellen Eigenschaften und der situativen Bedingung sind nach [4] unter anderem von Bedeutung:

- der Gesundheitszustand (physisch, psychisch),
- die Tätigkeit während der Erschütterungsbelastung,
- der Grad der Gewöhnung,
- die Einstellung zum Erschütterungserzeuger,
- die Erwartung in Bezug auf ungestörtes Wohnen, die unter Umständen von der Art des Wohngebiets (Wohnumfeld) abhängig ist,
- der Sekundäreffekte wie z.B. hörbares Klappern von Gläsern, Geschirr in Schränken.

Als Bewertungsmaßstab für Erschütterungen gibt die DIN 4150, Teil 2 ein komplexes Rechenverfahren vor. Hierbei wird aus dem Effektivwert das Erschütterungssignal mit einer Frequenzbewertung als $KB_{F(t)}$-Filter auf die Empfindlichkeit eines Menschen als Bezugsbewertungskurve gebildet.

Erschütterungen im Rahmen der DIN 4150, Teil 2 werden nach dem folgenden Ablaufdiagramm bewertet und den Anhaltswerten A_u, A_o und A_r gegenübergestellt. In Abschnitt 6.5.3 der Norm werden bei Erschütterungen aus Schienenverkehr zudem zusätzliche Kriterien eingeführt, die zu beachten sind.

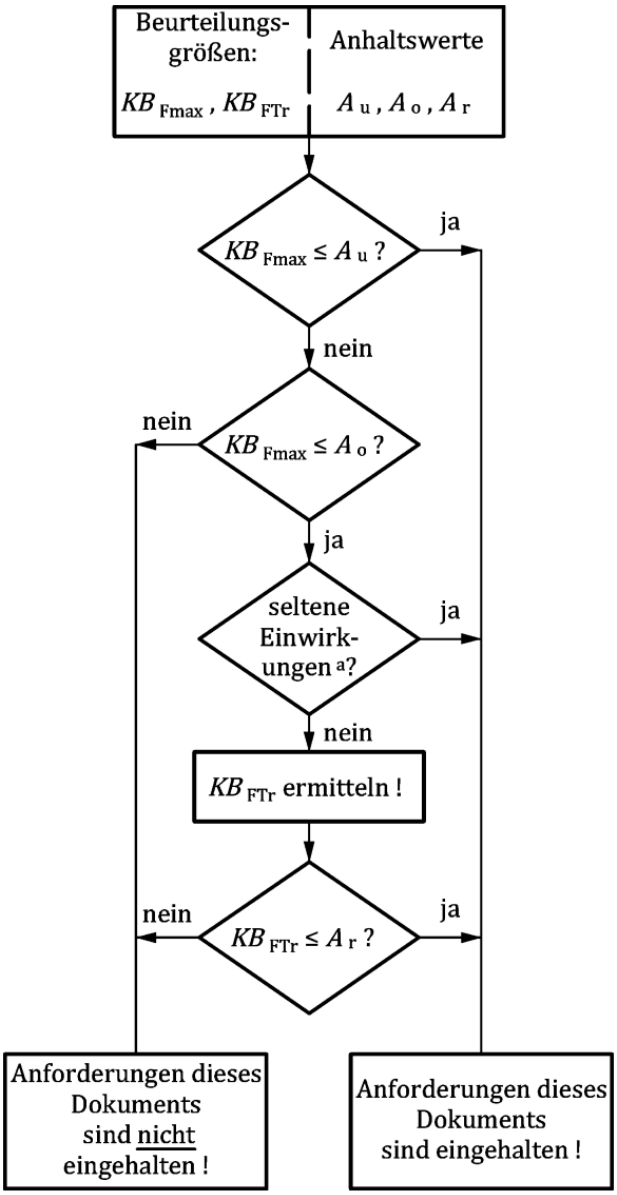


Abbildung 8 *Flussdiagramm für das Beurteilungsverfahren nach DIN 4150-2 (aus [4])*

Die einzuhaltenden Anhaltswerte sind in Tabelle 3 aus [4] aufgeführt. Dabei haben die Anhaltswerte folgende Bedeutung:

A_u: Ist KB_{Fmax} kleiner oder gleich dem (unteren) Anhaltswert A_u, dann ist die Anforderung dieser Norm eingehalten.

A_o: Ist KB_{Fmax} größer als der (obere) Anhaltswert A_o, dann ist die Anforderung dieser Norm nicht eingehalten.

A_r: Für häufige Einwirkungen, bei denen KB_{Fmax} größer als A_u aber kleiner als A_o ist, ist in besonderen Fällen ein weiterer Prüfschritt für die Entscheidung erforderlich (Bestimmung der Beurteilungsschwingstärke KB_{FTr}). Ist in diesem Fall KB_{FTr} kleiner als A_r, dann sind die Anforderungen der Norm ebenfalls eingehalten.

Tabelle 3 *Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in schutzbedürftigen Räumen, die in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen auftreten (aus DIN 4150-2 [4])*

Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1	Einwirkungsorte, in deren Umgebung nur gewerbliche Anlagen und gegebenenfalls ausnahmsweise Wohnungen für Inhaber und Leiter der Betriebe sowie für Aufsichts- und Bereitschaftspersonen untergebracht sind (siehe Industriegebiete BauNVO, § 9).	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (siehe Gewerbegebiete BauNVO, § 8).	0,3	6	0,15	0,2	0,4	0,1
3	Einwirkungsorte, in deren Umgebung weder vorwiegend gewerbliche Anlagen noch vorwiegend Wohnungen untergebracht sind (siehe Kerngebiete BauNVO, § 7, urbane Gebiete BauNVO, § 6a Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5, dörfliche Wohngebiete BauNVO, § 5a, besondere Wohngebiete BauNVO, § 4a).	0,2	5	0,1	0,1	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (siehe reine Wohngebiete BauNVO, § 3, allgemeine Wohngebiete BauNVO, § 4, Kleinsiedlungsgebiete BauNVO, § 2).	0,15	3	0,07	0,1	0,2	0,05
5	Besonders schutzbedürftige Einwirkungsorte, z. B. in Krankenhäusern, Kurkliniken, soweit sie in dafür ausgewiesenen Sondergebieten liegen.	0,1	3	0,05	0,1	0,15	0,05

ANMERKUNG In Klammern sind jeweils die Gebiete der Baunutzungsverordnung BauNVO angegeben, die in der Regel den Kennzeichnungen unter Zeile 1 bis 4 entsprechen. Eine schematische Gleichsetzung ist jedoch nicht möglich, da die Kennzeichnung unter Zeile 1 bis 4 ausschließlich nach dem Gesichtspunkt der Schutzbedürftigkeit gegenüber Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die Gebietseinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Für den vorliegenden Fall werden die Anhaltswerte aus Tabelle 3, Zeile 4, zugrunde gelegt.

Die dimensionslosen bewerteten Schwingstärken sind getrennt nach Tag oder Nacht zu betrachten, wobei die Nachtstunden als Ruhezeiten von 22 – 6 Uhr (8h) definiert werden. An Sonn- und Feiertagen gelten zudem auch die Tageszeiten zwischen 6 – 22 Uhr als Ruhezeiten.

Tabelle 4 *Wahrnehmung von Schwingungen nach der bewerteten Schwingstärke*

Bewertete Schwingstärke KB	***Wahrnehmung durch den Menschen***
< 0,1	nicht spürbar, Fühlschwelle ab ca. 0,1
0,1 – 0,4	gerade spürbar bis spürbar
0,4 – 1,6	gut spürbar
1,6 – 6,3	stark spürbar
> 6,3	sehr stark spürbar

4.4 Bewertung der Messungen nach DIN 4105-2

Während der Messung vom 07.10.2025 bis 08.10.2025 wurden im Messzeitraum insgesamt die größten Ereignisse ausgewertet, getrennt für Tag und Nacht (Ruhezeiten zwischen 22 – 6 Uhr).

In der folgenden Tabelle 5 werden die Maximalwerte aller Messergebnisse v_{max} der innerhalb 24 h insgesamt 267 gemessenen Zugdurchfahrten für die Tageszeit zwischen 6:00 Uhr und 22:00 Uhr sowie die Nachtzeiten von 22:00 Uhr bis 6:00 Uhr aufgeführt. In Abbildung 9 sind die Zugdurchfahrten mit ihren Maximalwerten über alle Messrichtungen für Tages- und Nachtzeit grafisch dargestellt.

Tabelle 5 *Zusammenstellung der Maximalwerte v_{max} [mm/s]aller Messungen im betrachteten Zeitraum für 24h von Messbeginn 07.10.2025, 10:30 Uhr bis 08.10.2025, 10:30 Uhr*

Tageszeit	***Anzahl Messungen***	***Messpunkt 1***			***Messpunkt 2***
		v_{Fmax} (x) [mm/s]	v_{Fmax} (y) [mm/s]	v_{Fmax} (z) [mm/s]	v_{Fmax} (z) [mm/s]
Tag (6:00 – 22:00)	189	0,46	0,36	0,96	0,86
Nacht (22:00 – 6:00)	78	0,37	0,32	0,67	0,72

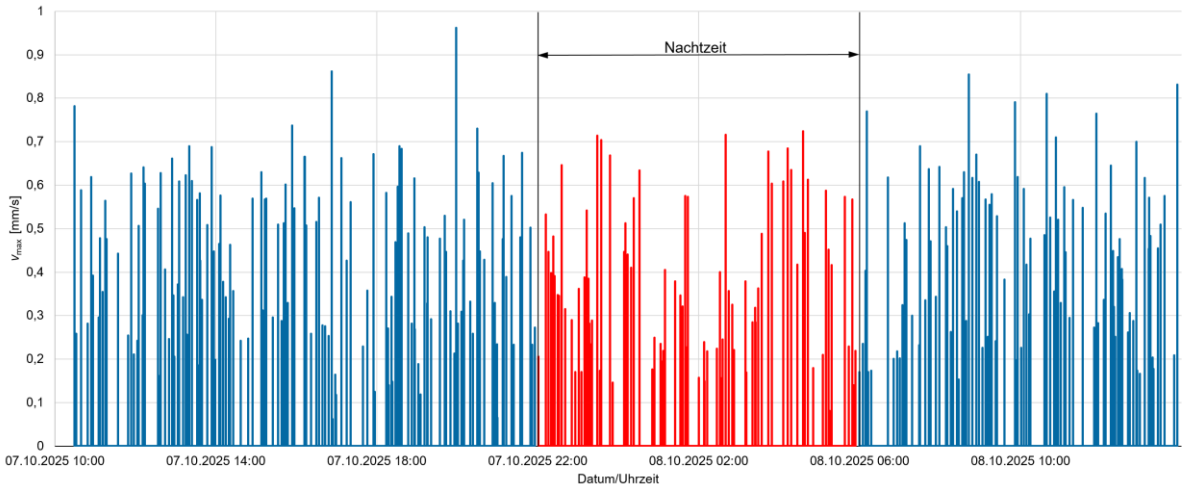


Abbildung 9 *Darstellung aller maximalen Schnellesignale v_{max} [mm/s] über alle Messpunkte für die Zugdurchfahrten über den gesamten Messzeitraum*

Da für die Anhaltswerte im Falle einer Wohnnutzung insbesondere die Nachtzeit (Ruhezeit) von Bedeutung ist und sich die Zugdurchfahrten zwischen Tages- und Nachtzeit unwesentlich unterscheiden (vgl. Abbildung 9), wird im Weiteren die Einhaltung der kritischen Anhaltswerte für die Ruhezeiten beurteilt. Die Messung für nachts wird somit als maßgebend für die Auswertung nach DIN 4150-2 angesetzt.

Für die Beurteilung von Erschütterungen durch Schienenverkehr führt die DIN 4150-2 in Abschnitt 6.5.3 „Erschütterungen durch Schienenverkehr“ eine gesonderte Berechnungsmethode der Anhaltswerte von gemessenen Immissionen an Schienenverkehrswegen durch. Danach ist für die Ermittlung der Beurteilungsgröße KB_{Fmax} abweichend der sogenannte Taktmaximal-Effektivwert $KB_{FTm,Zug}$ gesondert für jede Zugkategorie nach folgender Formel zu ermitteln.

$$KB_{FTm,Zug} = \sqrt{\frac{1}{Z}\sum_{i=1}^{Z} KB^2_{FTi,Zug}}$$

mit

Z die Anzahl der messtechnisch erfassten Zugvorbeifahrten je Zugkategorie,

$KB_{FTi,Zug}$ der Taktmaximal-Effektivwert einer einzelnen Zugvorbeifahrt innerhalb einer Zugkategorie.

Bei der Anwendung der beschriebenen Gleichung sind auch $KB_{FTi,Zug}$-Werte <0,1 zu berücksichtigen. Für jede Zugkategorie wird ein $KB_{Fmax,Zug}$ ermittelt zu:

$$KB_{Fmax,Zug} = 1{,}5 \times KB_{FTm,Zug}$$

Die Gesamtbewertung erfolgt mittels der maximalen bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} zu:

$$KB_{Fmax} = \max\{KB_{Fmax,Zug}\}$$

Wird der obere Anhaltswert A_o eingehalten, so kann über eine genauere Betrachtung zur Ermittlung der Beurteilungs-Schwingstärke die Einhaltung des Anhaltswerts A_r untersucht werden.

In den folgenden Abbildungen sind repräsentativ die Maximalwerte der drei Messrichtungen der Schwinggeschwindigkeitssignale v(t) am Messpunkt 1 sowie der gleitende Effektivwert $KB_F(t)$ für die Durchfahrt eines ICE (Abbildung 10) sowie eines Güterverkehrszugs (Abbildung 11) nachts dargestellt.

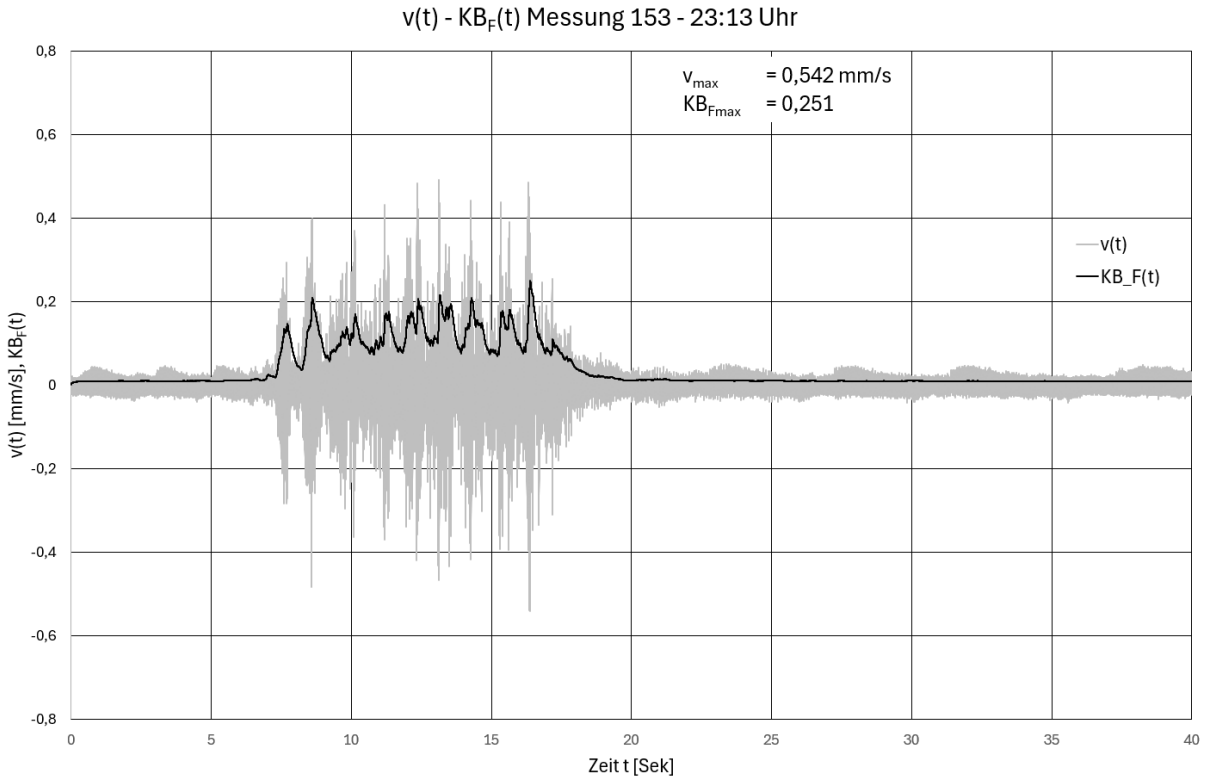


Abbildung 10 *Schwinggeschwindigkeitssignal und gleitender Effektivwert KB$_F$(t) einer ICE-Zugdurchfahrt nachts*

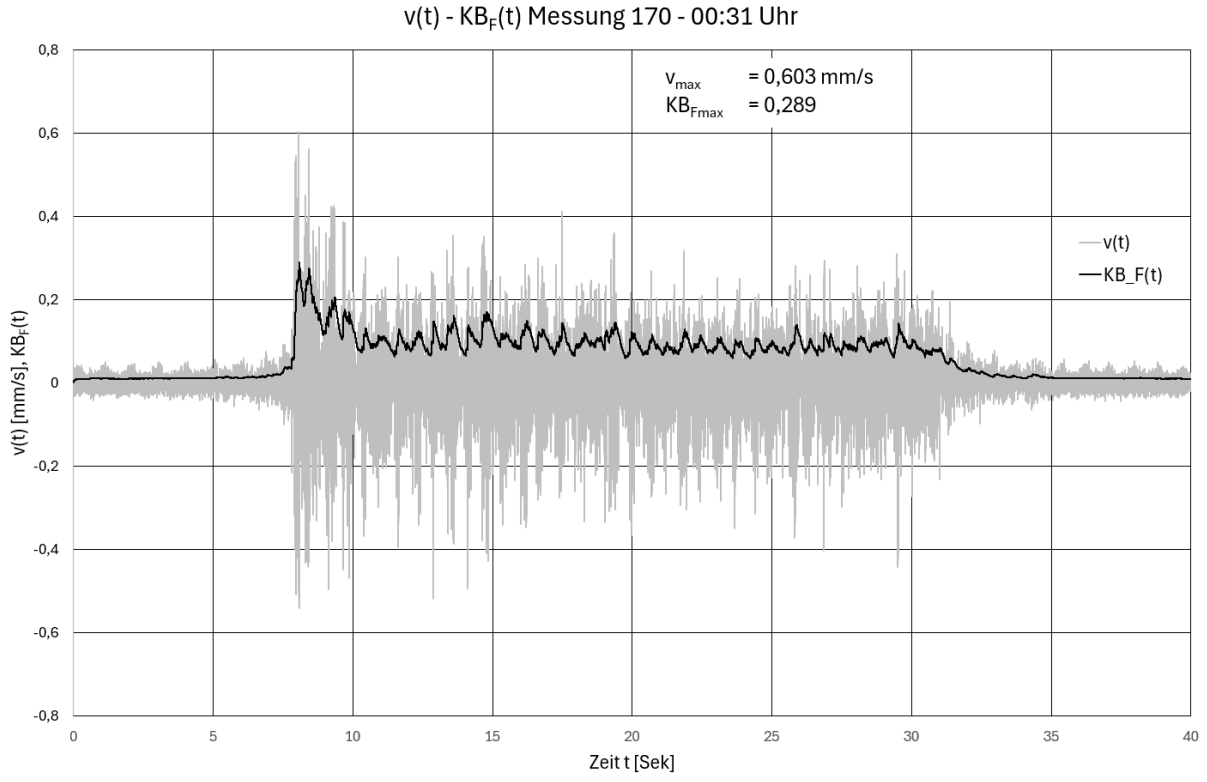


Abbildung 11 *Schwinggeschwindigkeitssignal und gleitender Effektivwert KB$_F$(t) einer Güterzugdurchfahrt nachts*

Für die als kritisch zu bewertende Nachtzeit ergeben sich nach DIN 4150-2, Abschnitt 6.5.3 zusammenfassend folgende Auswertungsergebnisse:

Tabelle 6 *Ergebnisse der bewerteten Schwingstärke KB_{Fmax} für die Nachtzeit*

Zugart	***Anzahl***	***Zeitraum***	$KB_{FTm,Zug}$	$KB_{Fmax,Zug}$	KB_{Fmax}
Güterzüge	60	Nachts	0,151	0,227	0,255
Personenverkehrszüge	18	Nachts	0,170	0,255	

Gemäß DIN 4150-2 [4] ist für die kritische zu betrachtende Nachtzeit (Ruhezeit) gemäß Tabelle 3, Zeile 4 sowohl der untere Anhaltswert A_u = 0,1, als auch der obere Anhaltswert A_o = 0,2 mit einem ermittelten KB_{Fmax} = 0,26 überschritten, so dass die Anforderungen der DIN 4150-2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ für den betrachteten Messpunkt 1 im Gebäude **nicht eingehalten werden**. Der obere Anhaltswert A_o wird dabei um ca. 30 % überschritten.

5 Zusammenfassung und Empfehlung

Im Rahmen der geplanten Erschließung eines ehemaligen Werksgeländes zum Neubau des Wohnquartiers „Alte Stobbefabrik“ wurden aufgrund der nahe liegenden Bahntrasse Schwingungsmessungen an einem Bestandsgebäude sowie auf der nahe am Gleis verlaufenden Straße durchgeführt. Die Messungen sollen zeigen, ob die Anforderungen der DIN 4150-2 (2025-08) „Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“ [4] für die geplante Wohnbebauung eingehalten werden oder ob ggf. weitere bauliche Maßnahmen im Rahmen der Neubauten erforderlich werden.

Im Messzeitraum vom 07.10.2025, 10:29 Uhr bis 08.07.2025, 13:24 Uhr konnten auf der nahe liegenden 2-spurigen Gleistrasse insgesamt 319 Erschütterungsereignisse infolge Zugdurchfahrten messtechnisch festgestellt werden, über 24 Stunden betrachtet wurden 267 Zugdurchfahrten aufgezeichnet. Damit sind insgesamt betrachtet durchschnittlich ca. 12 Zugdurchfahrten je Stunde am Tag festzustellen, in den Nachtzeiten zwischen 22:00 Uhr und 6:00 Uhr ca. 10 Zugfahrten je Stunde.

Die Norm betrachtet für Tages- und Nachtzeiten sogenannte Anhaltswerte A_u und A_o. Wird der obere Anhaltswert A_o überschritten, so sind die Anforderungen der Norm nicht eingehalten und entsprechende erschütterungsmindernde Maßnahmen bei der Planung zu berücksichtigen. In der betrachteten Nachtzeit liegen bei insgesamt 78 Ereignissen 35 einzelne Erschütterungsereignisse bei Zugdurchfahrt am betrachteten Messpunkt 1 im Gebäude oberhalb des oberen Anhaltswerts A_o.

Die Auswertung nach DIN 4150-2 [4], Abschnitt 6.5.3 „Erschütterungen durch Schienenverkehr“ zeigt, dass für die kritische zu betrachtende Nachtzeit (Ruhezeit) sowohl der untere Anhaltswert $A_u = 0{,}1$, als auch der obere Anhaltswert $A_o = 0{,}2$ mit einem ermittelten $KB_{Fmax} = 0{,}26$ überschritten sind, so dass die Anforderungen der DIN 4150-2 „Einwirkung auf Menschen in Gebäuden“ für den betrachteten Messpunkt 1 im Referenzgebäude nicht eingehalten werden.

Die Anforderungen der DIN 4150-2 [4] sind somit für die Nachtzeiten nicht eingehalten und es kann empfohlen werden, weitere Maßnahmen zur Minderung der Erschütterungen in den künftigen Gebäuden im Rahmen der Planung vorzusehen. Die Frequenzspektren der ermittelten Erschütterungseinwirkungen liegen im Bereich ab ca. 5 Hz. Erschütterungsreduzierende Maßnahmen durch z.B. Dämpfungsmaßnahmen sind dann für solche tiefen Frequenzanteile am wirksamsten, wenn die Eigenfrequenz der Dämpfungsmaßnahme idealerweise den Faktor $\sqrt{2}$ unterhalb der Anregefrequenz liegt.

Typische und übliche Maßnahmen zum Erschütterungsschutz sind z.B. das Herstellen einer Bodenschlitzung entlang der Bahntrasse oder das individuelle Entkoppeln der Gebäude in Fundament- oder Deckenebene, z.B. durch vollflächig verlegte Elastomer- bzw. Polyurethan- Entkopplungslager oder Federlager, deren Eigenfrequenz unterhalb der einwirkenden Frequenzen ausgelegt ist. Die Maßnahmen sind in der Praxis erprobt und in der Regel mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand umsetzbar.

Es kann davon ausgegangen werden, dass durch die zur Verfügung stehenden und oben genannten technischen Möglichkeiten die Einwirkungen durch Erschütterungen soweit reduziert werden können, dass die Anforderungen und Anhaltswerte der Norm eingehalten und erhebliche Belästigungen von Menschen in den Gebäuden vermieden werden können.

Die Auswahl einer wirkungsvollen Entkopplungsvariante sollten in Abhängigkeit der Konstruktion der künftigen Bebauung erfolgen und im Rahmen der Gebäudeplanung untersucht und festgelegt werden.

ISG GmbH

Ingenieure und Sachverständige



Prof. Dr.-Ing. Jörg Reymendt



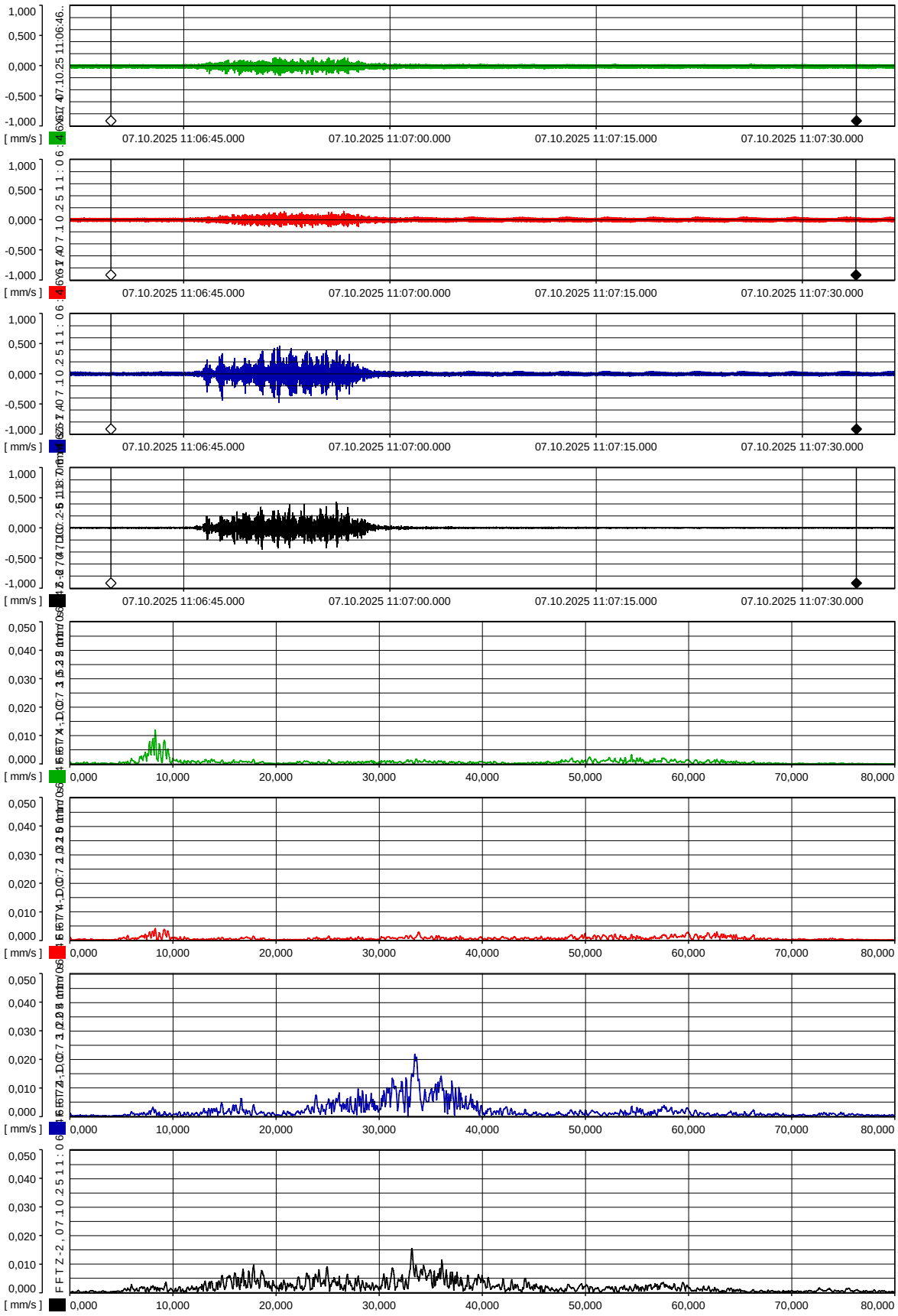
Reyk Sander

Anlagen:
Messwerte, Zeitverläufe und Frequenzspektren der durchgeführten Messungen

Sanner - Bensheim, Schillerstraße

Messung am 07. und 08.10.2025

Datum: 23.10.25 18:12:53
Bearbeiter:
Firma: ISG Ingenieure

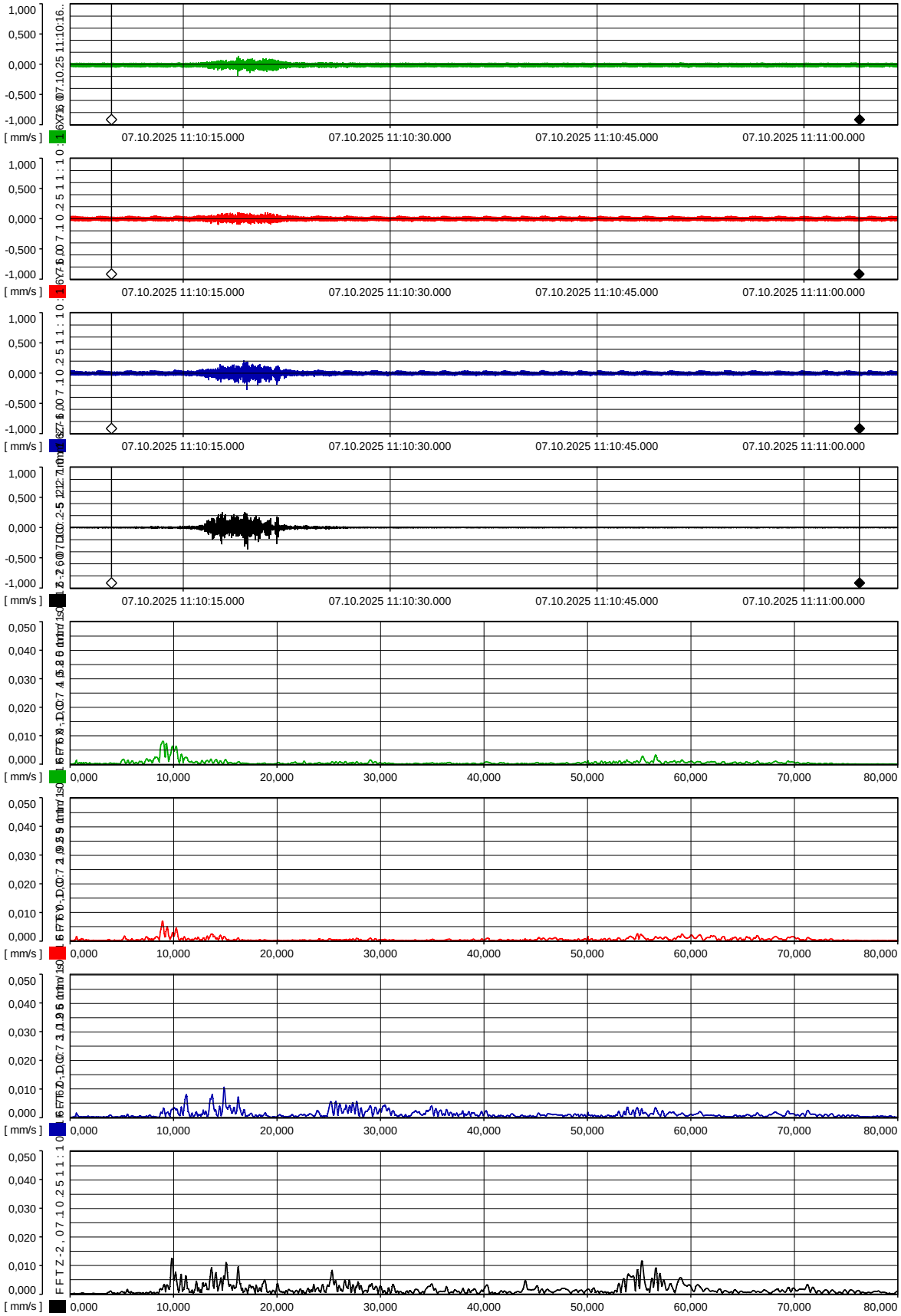


Anlage 1 *Messung 9: Durchfahrt einer Regionalbahn auf Gleis 1 (grundstücksnah)*

Sanner - Bensheim, Schillerstraße

Messung am 07. und 08.10.2025

Datum: 23.10.25 18:19:56
Bearbeiter:
Firma: ISG Ingenieure

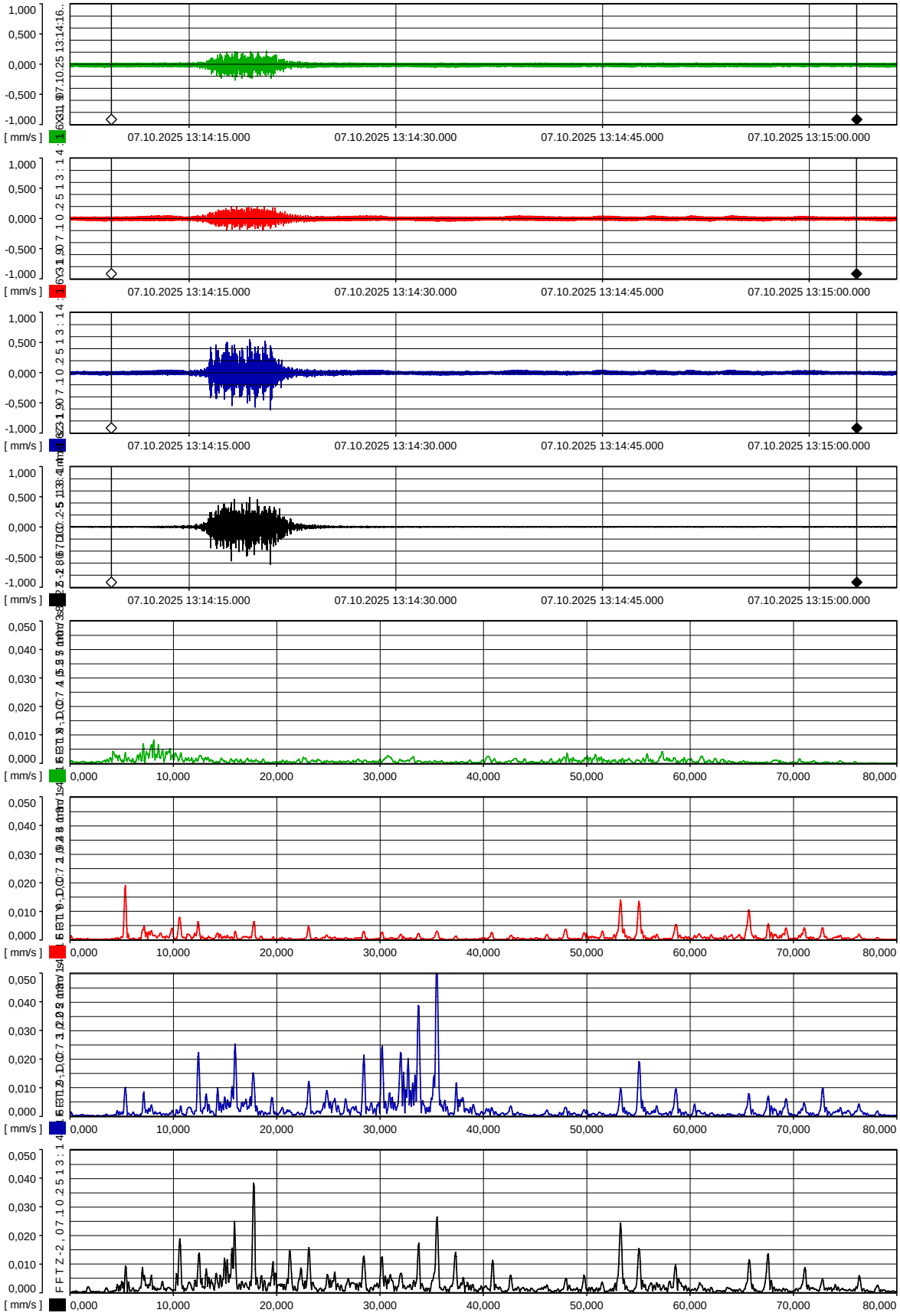


Anlage 2 *Messung 10: Durchfahrt einer Regionalbahn auf Gleis 2 (grundstücksfern)*

Sanner - Bensheim, Schillerstraße

Messung am 07. und 08.10.2025

Datum: 24.10.25 13:18:36
Bearbeiter:
Firma: ISG Ingenieure

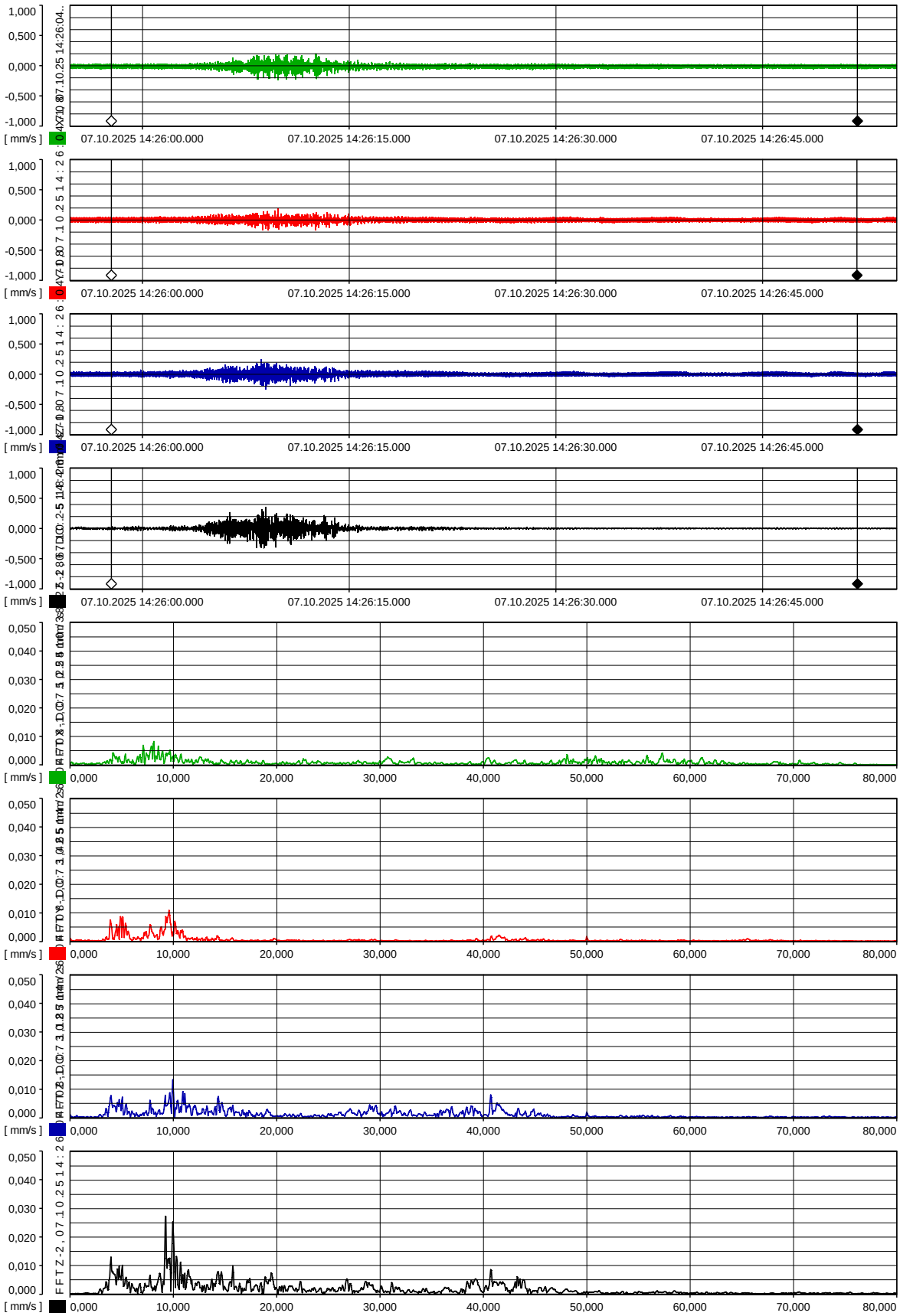


Anlage 3 *Messung 34: Durchfahrt eines ICE auf Gleis 1 (grundstücksnah)*

Sanner - Bensheim, Schillerstraße

Messung am 07. und 08.10.2025

Datum: 24.10.25 15:07:00
Bearbeiter:
Firma: ISG Ingenieure

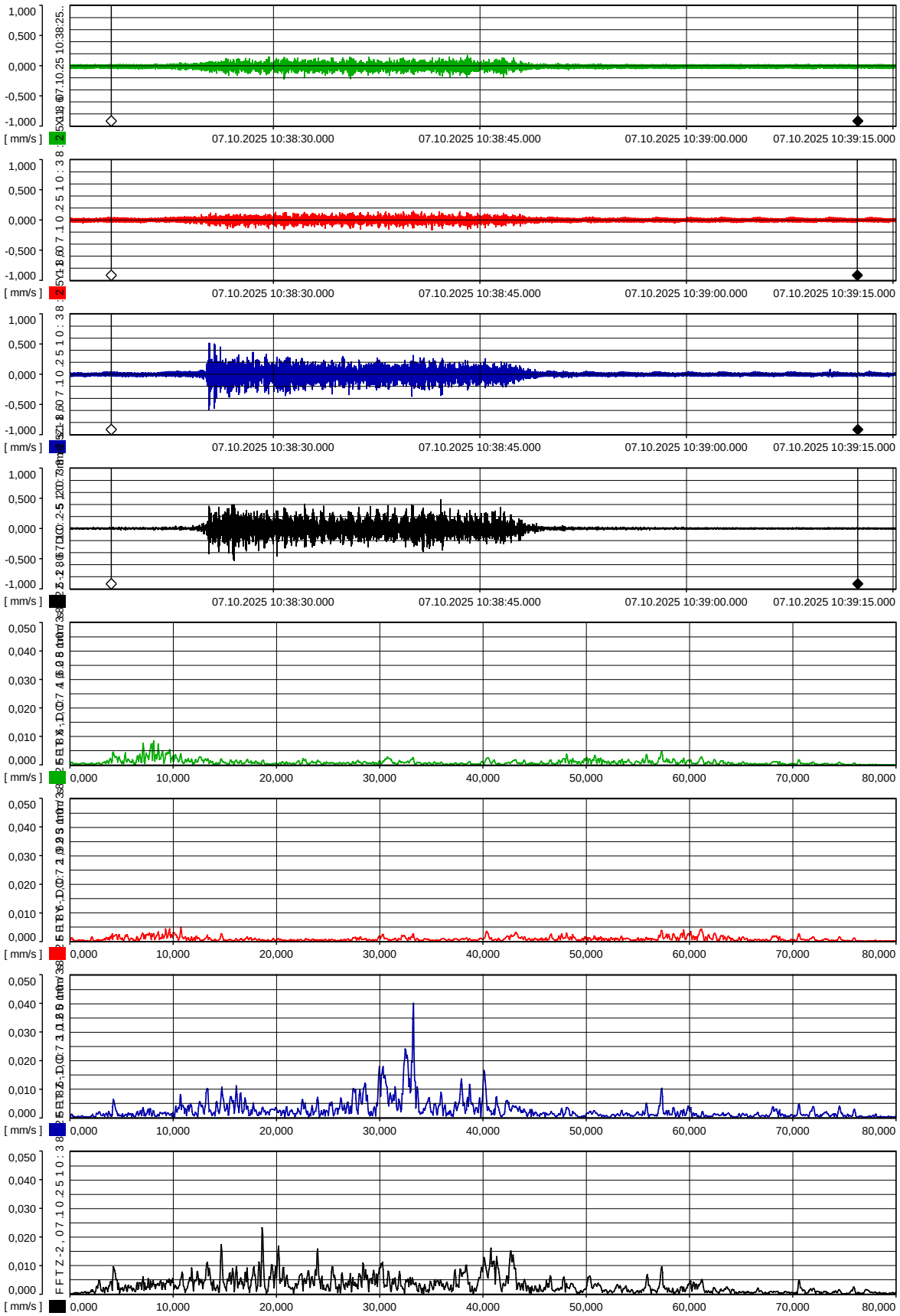


Anlage 4 *Messung 53: Durchfahrt eines ICE auf Gleis 2 (grundstücksfern)*

Sanner - Bensheim, Schillerstraße

Messung am 07. und 08.10.2025

Datum: 23.10.25 18:03:35
Bearbeiter:
Firma: ISG Ingenieure

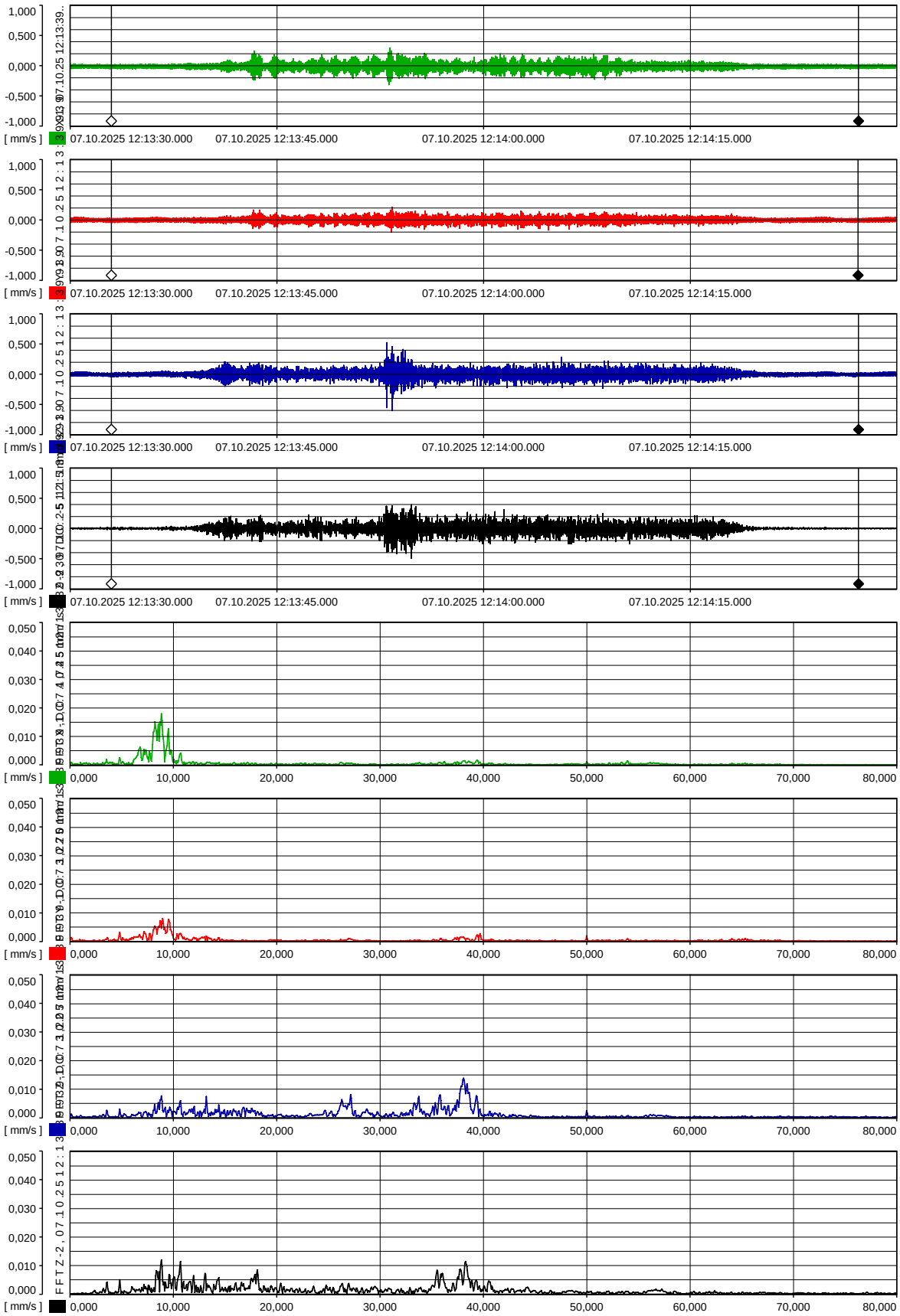


Anlage 5 *Messung 4: Durchfahrt eines Güterzugs auf Gleis 1 (grundstücksnah)*

Sanner - Bensheim, Schillerstraße

Messung am 07. und 08.10.2025

Datum: 23.10.25 19:12:39
Bearbeiter:
Firma: ISG Ingenieure



Anlage 6 *Messung 22: Durchfahrt eines Güterzugs auf Gleis 2 (grundstücksfern)*

Anlage 7 *Tabelle der Ergebnisse aller Messungen über den Messzeitraum 10:29 Uhr – 13:54 Uhr*

Messung Nr./ Abbildung	***Datum/Uhrzeit***	***Tag/ Nacht***	***Messpunkt 1***			***Messpunkt 2***
			v_{max} (x) [mm/s]	v_{max} (y) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]
1	07:10.2025 10:29:00	Tag	0,19	0,10	0,17	0,25
2	07:10.2025 10:29:00	Tag	0,28	0,22	0,73	0,78
3	07:10.2025 10:32:00	Tag	0,15	0,11	0,17	0,26
4	07:10.2025 10:39:00	Tag	0,22	0,16	0,59	0,53
5	07:10.2025 10:49:00	Tag	0,14	0,13	0,17	0,28
6	07:10.2025 10:54:00	Tag	0,19	0,10	0,17	0,25
7	07:10.2025 10:29:00	Tag	0,21	0,25	0,62	0,47
8	07:10.2025 10:29:00	Tag	0,19	0,11	0,39	0,37
9	07:10.2025 10:32:00	Tag	0,20	0,14	0,18	0,30
10	07:10.2025 10:39:00	Tag	0,17	0,15	0,48	0,43
11	07:10.2025 10:49:00	Tag	0,19	0,10	0,27	0,36
12	07:10.2025 10:54:00	Tag	0,24	0,21	0,55	0,56
13	07:10.2025 10:57:00	Tag	0,15	0,11	0,28	0,28
14	07:10.2025 11:05:00	Tag	0,22	0,28	0,43	0,48
15	07:10.2025 11:07:00	Tag	0,22	0,16	0,44	0,43
16	07:10.2025 11:11:00	Tag	0,11	0,12	0,19	0,25
17	07:10.2025 11:15:00	Tag	0,24	0,23	0,63	0,60
18	07:10.2025 11:16:00	Tag	0,14	0,18	0,18	0,21
19	07:10.2025 11:17:00	Tag	0,17	0,11	0,17	0,24
20	07:10.2025 11:34:00	Tag	0,22	0,14	0,51	0,47
21	07:10.2025 11:49:00	Tag	0,14	0,11	0,22	0,30
22	07:10.2025 11:54:00	Tag	0,12	0,22	0,64	0,41
23	07:10.2025 11:58:00	Tag	0,32	0,22	0,60	0,50
24	07:10.2025 12:03:00	Tag	0,28	0,22	0,55	0,52
25	07:10.2025 12:05:00	Tag	0,10	0,07	0,16	0,14
26	07:10.2025 12:11:00	Tag	0,26	0,21	0,63	0,54
27	07:10.2025 12:12:00	Tag	0,14	0,13	0,27	0,41
28	07:10.2025 12:14:00	Tag	0,14	0,15	0,22	0,25
29	07:10.2025 12:34:00	Tag	0,21	0,20	0,66	0,63
30	07:10.2025 12:37:00	Tag	0,15	0,12	0,33	0,35
31	07:10.2025 12:38:00	Tag	0,12	0,07	0,17	0,21
32	07:10.2025 12:44:00	Tag	0,23	0,16	0,26	0,37
33	07:10.2025 12:50:00	Tag	0,18	0,16	0,61	0,50
34	07:10.2025 12:55:00	Tag	0,12	0,12	0,34	0,32
35	07:10.2025 12:57:00	Tag	0,27	0,20	0,62	0,62
36	07:10.2025 12:58:00	Tag	0,20	0,12	0,21	0,26
37	07:10.2025 13:03:00	Tag	0,28	0,21	0,69	0,47
38	07:10.2025 13:05:00	Tag	0,25	0,16	0,24	0,61
39	07:10.2025 13:11:00	Tag	0,28	0,24	0,57	0,57
40	07:10.2025 13:15:00	Tag	0,10	0,08	0,13	0,19
41	07:10.2025 13:17:00	Tag	0,23	0,21	0,53	0,58
42	07:10.2025 13:20:00	Tag	0,40	0,23	0,29	0,43

Messung Nr./ Abbildung	*Datum/Uhrzeit*	*Tag/ Nacht*	*Messpunkt 1*			*Messpunkt 2*
			v_{max} (x) [mm/s]	v_{max} (y) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]
43	07:10.2025 13:24:00	Tag	0,16	0,11	0,31	0,34
44	07:10.2025 13:32:00	Tag	0,24	0,18	0,51	0,47
45	07:10.2025 13:33:00	Tag	0,15	0,22	0,69	0,54
46	07:10.2025 13:59:00	Tag	0,13	0,09	0,13	0,20
47	07:10.2025 14:05:00	Tag	0,22	0,13	0,29	0,47
48	07:10.2025 14:07:00	Tag	0,24	0,18	0,58	0,48
49	07:10.2025 14:11:00	Tag	0,16	0,11	0,26	0,38
50	07:10.2025 14:15:00	Tag	0,34	0,20	0,25	0,34
51	07:10.2025 14:19:00	Tag	0,24	0,12	0,22	0,29
52	07:10.2025 14:21:00	Tag	0,22	0,24	0,46	0,43
53	07:10.2025 14:26:00	Tag	0,23	0,19	0,24	0,36
54	07:10.2025 14:37:00	Tag	0,17	0,11	0,22	0,24
55	07:10.2025 14:48:00	Tag	0,11	0,12	0,22	0,25
56	07:10.2025 14:55:00	Tag	0,32	0,20	0,50	0,57
57	07:10.2025 15:08:00	Tag	0,24	0,20	0,63	0,42
58	07:10.2025 15:10:00	Tag	0,14	0,11	0,18	0,31
59	07:10.2025 15:13:00	Tag	0,21	0,23	0,57	0,53
60	07:10.2025 15:15:00	Tag	0,23	0,18	0,49	0,57
61	07:10.2025 15:25:00	Tag	0,20	0,13	0,22	0,30
62	07:10.2025 15:33:00	Tag	0,24	0,22	0,48	0,51
63	07:10.2025 15:38:00	Tag	0,20	0,16	0,19	0,29
64	07:10.2025 15:41:00	Tag	0,26	0,17	0,45	0,51
65	07:10.2025 15:44:00	Tag	0,30	0,19	0,60	0,56
66	07:10.2025 15:47:00	Tag	0,11	0,13	0,21	0,33
67	07:10.2025 15:54:00	Tag	0,20	0,24	0,74	0,65
68	07:10.2025 15:57:00	Tag	0,19	0,12	0,55	0,38
69	07:10.2025 16:12:00	Tag	0,19	0,19	0,67	0,41
70	07:10.2025 16:13:00	Tag	0,15	0,11	0,67	0,32
71	07:10.2025 16:15:00	Tag	0,19	0,18	0,51	0,50
72	07:10.2025 16:22:00	Tag	0,14	0,12	0,20	0,26
73	07:10.2025 16:30:00	Tag	0,20	0,18	0,52	0,48
74	07:10.2025 16:34:00	Tag	0,28	0,16	0,57	0,53
75	07:10.2025 16:39:00	Tag	0,19	0,12	0,20	0,28
76	07:10.2025 16:43:00	Tag	0,17	0,12	0,17	0,28
77	07:10.2025 16:48:00	Tag	0,12	0,12	0,25	0,25
78	07:10.2025 16:53:00	Tag	0,25	0,29	0,86	0,49
79	07:10.2025 16:54:00	Tag	0,05	0,05	0,06	0,04
80	07:10.2025 16:58:00	Tag	0,10	0,07	0,14	0,16
81	07:10.2025 16:59:00	Tag	0,09	0,07	0,10	0,12
82	07:10.2025 17:07:00	Tag	0,26	0,24	0,58	0,66
83	07:10.2025 17:15:00	Tag	0,19	0,17	0,40	0,43
84	07:10.2025 17:21:00	Tag	0,25	0,18	0,52	0,56
85	07:10.2025 17:39:00	Tag	0,18	0,11	0,19	0,23
86	07:10.2025 17:46:00	Tag	0,11	0,13	0,25	0,36
87	07:10.2025 17:55:00	Tag	0,26	0,28	0,67	0,52

Messung Nr./ Abbildung	*Datum/Uhrzeit*	*Tag/ Nacht*	*Messpunkt 1*			*Messpunkt 2*
			v_{max} (x) [mm/s]	v_{max} (y) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]
88	07:10.2025 17:57:00	Tag	0,13	0,08	0,12	0,13
89	07:10.2025 18:14:00	Tag	0,20	0,24	0,58	0,50
90	07:10.2025 18:17:00	Tag	0,12	0,09	0,22	0,27
91	07:10.2025 18:18:00	Tag	0,14	0,08	0,11	0,13
92	07:10.2025 18:22:00	Tag	0,11	0,09	0,25	0,34
93	07:10.2025 18:23:00	Tag	0,09	0,07	0,15	0,15
94	07:10.2025 18:28:00	Tag	0,15	0,10	0,41	0,47
95	07:10.2025 18:31:00	Tag	0,19	0,13	0,51	0,60
96	07:10.2025 18:34:00	Tag	0,26	0,13	0,69	0,45
97	07:10.2025 18:37:00	Tag	0,16	0,17	0,68	0,49
98	07:10.2025 18:47:00	Tag	0,31	0,24	0,42	0,49
99	07:10.2025 18:52:00	Tag	0,12	0,11	0,24	0,28
100	07:10.2025 18:56:00	Tag	0,23	0,22	0,62	0,54
101	07:10.2025 18:57:00	Tag	0,14	0,10	0,23	0,27
102	07:10.2025 19:02:00	Tag	0,11	0,11	0,15	0,19
103	07:10.2025 19:05:00	Tag	0,09	0,06	0,08	0,12
104	07:10.2025 19:11:00	Tag	0,23	0,18	0,50	0,37
105	07:10.2025 19:15:00	Tag	0,16	0,13	0,24	0,33
106	07:10.2025 19:16:00	Tag	0,15	0,16	0,32	0,48
107	07:10.2025 19:21:00	Tag	0,13	0,13	0,20	0,29
108	07:10.2025 19:34:00	Tag	0,20	0,15	0,25	0,48
109	07:10.2025 19:41:00	Tag	0,22	0,16	0,46	0,53
110	07:10.2025 19:43:00	Tag	0,20	0,15	0,28	0,45
111	07:10.2025 19:50:00	Tag	0,14	0,14	0,21	0,31
112	07:10.2025 19:56:00	Tag	0,12	0,08	0,21	0,21
113	07:10.2025 19:58:00	Tag	0,32	0,32	0,96	0,81
114	07:10.2025 20:01:00	Tag	0,21	0,12	0,25	0,28
115	07:10.2025 20:06:00	Tag	0,21	0,13	0,24	0,31
116	07:10.2025 20:09:00	Tag	0,13	0,09	0,43	0,27
117	07:10.2025 20:10:00	Tag	0,22	0,17	0,52	0,51
118	07:10.2025 20:19:00	Tag	0,20	0,21	0,29	0,33
119	07:10.2025 20:23:00	Tag	0,22	0,11	0,20	0,26
120	07:10.2025 20:30:00	Tag	0,27	0,20	0,61	0,73
121	07:10.2025 20:32:00	Tag	0,23	0,14	0,63	0,42
122	07:10.2025 20:34:00	Tag	0,19	0,12	0,42	0,45
123	07:10.2025 20:40:00	Tag	0,26	0,19	0,41	0,43
124	07:10.2025 20:53:00	Tag	0,20	0,23	0,61	0,54
125	07:10.2025 20:56:00	Tag	0,22	0,13	0,32	0,33
126	07:10.2025 20:59:00	Tag	0,11	0,09	0,15	0,23
127	07:10.2025 21:00:00	Tag	0,07	0,05	0,06	0,04
128	07:10.2025 21:08:00	Tag	0,24	0,21	0,30	0,48
129	07:10.2025 21:09:00	Tag	0,22	0,20	0,67	0,60
130	07:10.2025 21:13:00	Tag	0,13	0,10	0,36	0,39
131	07:10.2025 21:21:00	Tag	0,24	0,15	0,58	0,56
132	07:10.2025 21:24:00	Tag	0,19	0,12	0,22	0,23

Messung Nr./ Abbildung	*Datum/Uhrzeit*	*Tag/ Nacht*	*Messpunkt 1*			*Messpunkt 2*
			v_{max} (x) [mm/s]	v_{max} (y) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]
133	07:10.2025 21:34:00	Tag	0,21	0,19	0,39	0,48
134	07:10.2025 21:37:00	Tag	0,46	0,25	0,67	0,67
135	07:10.2025 21:49:00	Tag	0,24	0,16	0,42	0,50
136	07:10.2025 21:52:00	Tag	0,13	0,10	0,20	0,23
137	07:10.2025 21:56:00	Tag	0,13	0,10	0,17	0,27
138	07:10.2025 22:01:00	Nacht	0,20	0,13	0,15	0,21
139	07:10.2025 22:12:00	Nacht	0,24	0,20	0,53	0,52
140	07:10.2025 22:16:00	Nacht	0,20	0,16	0,36	0,45
141	07:10.2025 22:20:00	Nacht	0,18	0,16	0,38	0,40
142	07:10.2025 22:23:00	Nacht	0,24	0,16	0,43	0,48
143	07:10.2025 22:25:00	Nacht	0,36	0,24	0,28	0,39
144	07:10.2025 22:30:00	Nacht	0,25	0,15	0,24	0,35
145	07:10.2025 22:32:00	Nacht	0,19	0,13	0,28	0,35
146	07:10.2025 22:36:00	Nacht	0,32	0,19	0,65	0,58
147	07:10.2025 22:41:00	Nacht	0,32	0,14	0,10	0,13
148	07:10.2025 22:51:00	Nacht	0,15	0,11	0,23	0,29
149	07:10.2025 22:56:00	Nacht	0,14	0,08	0,12	0,17
150	07:10.2025 23:01:00	Nacht	0,36	0,15	0,24	0,03
151	07:10.2025 23:05:00	Nacht	0,14	0,09	0,16	0,17
152	07:10.2025 23:10:00	Nacht	0,33	0,21	0,29	0,39
153	07:10.2025 23:13:00	Nacht	0,24	0,17	0,54	0,43
154	07:10.2025 23:16:00	Nacht	0,15	0,11	0,39	0,38
156	07:10.2025 23:18:00	Nacht	0,22	0,13	0,19	0,23
157	07:10.2025 23:21:00	Nacht	0,21	0,13	0,22	0,25
158	07:10.2025 23:21:00	Nacht	0,12	0,09	0,26	0,29
159	07:10.2025 23:29:00	Nacht	0,26	0,20	0,59	0,71
161	07:10.2025 23:35:00	Nacht	0,32	0,27	0,58	0,70
162	07:10.2025 23:48:00	Nacht	0,26	0,25	0,67	0,66
163	07:10.2025 23:52:00	Nacht	0,10	0,07	0,15	0,13
164	08:10.2025 00:09:00	Nacht	0,28	0,14	0,26	0,45
165	08:10.2025 00:11:00	Nacht	0,21	0,17	0,51	0,51
166	08:10.2025 00:13:00	Nacht	0,30	0,19	0,24	0,33
167	08:10.2025 00:14:00	Nacht	0,21	0,21	0,39	0,44
168	08:10.2025 00:19:00	Nacht	0,17	0,12	0,38	0,41
169	08:10.2025 00:23:00	Nacht	0,11	0,11	0,24	0,57
170	08:10.2025 00:32:00	Nacht	0,22	0,19	0,60	0,63
171	08:10.2025 00:51:00	Nacht	0,10	0,07	0,13	0,18
172	08:10.2025 00:54:00	Nacht	0,12	0,08	0,23	0,25
173	08:10.2025 01:03:00	Nacht	0,16	0,11	0,24	0,23
174	08:10.2025 01:06:00	Nacht	0,09	0,08	0,20	0,19
175	08:10.2025 01:07:00	Nacht	0,10	0,08	0,19	0,22
176	08:10.2025 01:10:00	Nacht	0,22	0,20	0,34	0,41
177	08:10.2025 01:25:00	Nacht	0,37	0,24	0,23	0,38
178	08:10.2025 01:33:00	Nacht	0,31	0,15	0,22	0,35
179	08:10.2025 01:36:00	Nacht	0,21	0,15	0,32	0,29

Messung Nr./ Abbildung	*Datum/Uhrzeit*	*Tag/ Nacht*	*Messpunkt 1*			*Messpunkt 2*
			v_{max} (x) [mm/s]	v_{max} (y) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]
180	08:10.2025 01:40:00	Nacht	0,22	0,22	0,42	0,58
181	08:10.2025 01:42:00	Nacht	0,19	0,12	0,20	0,23
182	08:10.2025 01:44:00	Nacht	0,21	0,25	0,50	0,57
183	08:10.2025 02:00:00	Nacht	0,12	0,09	0,15	0,16
184	08:10.2025 02:08:00	Nacht	0,11	0,09	0,16	0,24
185	08:10.2025 02:09:00	Nacht	0,10	0,08	0,15	0,15
186	08:10.2025 02:13:00	Nacht	0,15	0,09	0,15	0,22
187	08:10.2025 02:27:00	Nacht	0,22	0,13	0,22	0,22
188	08:10.2025 02:32:00	Nacht	0,20	0,14	0,35	0,40
190	08:10.2025 02:36:00	Nacht	0,17	0,12	0,25	0,22
191	08:10.2025 02:40:00	Nacht	0,27	0,20	0,55	0,72
192	08:10.2025 02:45:00	Nacht	0,17	0,19	0,36	0,31
193	08:10.2025 02:50:00	Nacht	0,23	0,14	0,24	0,33
194	08:10.2025 02:53:00	Nacht	0,13	0,09	0,20	0,22
195	08:10.2025 03:10:00	Nacht	0,28	0,16	0,37	0,38
196	08:10.2025 03:11:00	Nacht	0,17	0,09	0,16	0,17
198	08:10.2025 03:24:00	Nacht	0,12	0,11	0,25	0,32
199	08:10.2025 03:25:00	Nacht	0,11	0,09	0,23	0,29
200	08:10.2025 03:29:00	Nacht	0,22	0,12	0,34	0,36
201	08:10.2025 03:34:00	Nacht	0,30	0,23	0,41	0,49
202	08:10.2025 03:44:00	Nacht	0,28	0,20	0,65	0,68
203	08:10.2025 03:49:00	Nacht	0,23	0,18	0,60	0,51
204	08:10.2025 04:06:00	Nacht	0,26	0,16	0,61	0,55
205	08:10.2025 04:13:00	Nacht	0,34	0,32	0,63	0,69
206	08:10.2025 04:18:00	Nacht	0,37	0,18	0,64	0,49
207	08:10.2025 04:27:00	Nacht	0,17	0,16	0,36	0,42
208	08:10.2025 04:36:00	Nacht	0,28	0,21	0,60	0,72
210	08:10.2025 04:43:00	Nacht	0,27	0,17	0,61	0,53
211	08:10.2025 04:51:00	Nacht	0,09	0,08	0,16	0,18
212	08:10.2025 05:05:00	Nacht	0,13	0,10	0,15	0,21
213	08:10.2025 05:10:00	Nacht	0,26	0,15	0,49	0,45
214	08:10.2025 05:14:00	Nacht	0,21	0,14	0,35	0,45
216	08:10.2025 05:18:00	Nacht	0,17	0,12	0,42	0,38
217	08:10.2025 05:38:00	Nacht	0,21	0,20	0,57	0,56
218	08:10.2025 05:44:00	Nacht	0,18	0,11	0,22	0,23
219	08:10.2025 05:49:00	Nacht	0,26	0,18	0,44	0,57
220	08:10.2025 05:51:00	Nacht	0,11	0,08	0,11	0,14
221	08:10.2025 05:54:00	Nacht	0,14	0,09	0,17	0,22
222	08:10.2025 06:00:00	Tag	0,09	0,08	0,16	0,17
223	08:10.2025 06:05:00	Tag	0,13	0,09	0,15	0,24
224	08:10.2025 06:09:00	Tag	0,12	0,11	0,24	0,40
225	08:10.2025 06:10:00	Tag	0,08	0,08	0,11	0,13
226	08:10.2025 06:11:00	Tag	0,24	0,17	0,77	0,55
227	08:10.2025 06:13:00	Tag	0,13	0,10	0,17	0,17
228	08:10.2025 06:17:00	Tag	0,15	0,11	0,15	0,17

Messung Nr./ Abbildung	*Datum/Uhrzeit*	*Tag/ Nacht*	*Messpunkt 1*			*Messpunkt 2*
			v_{max} (x) [mm/s]	v_{max} (y) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]
229	08:10.2025 06:42:00	Tag	0,30	0,20	0,58	0,62
230	08:10.2025 06:51:00	Tag	0,12	0,10	0,17	0,20
231	08:10.2025 06:56:00	Tag	0,18	0,12	0,22	0,21
232	08:10.2025 07:00:00	Tag	0,14	0,10	0,15	0,20
233	08:10.2025 07:04:00	Tag	0,13	0,11	0,29	0,32
234	08:10.2025 07:07:00	Tag	0,20	0,18	0,51	0,49
235	08:10.2025 07:10:00	Tag	0,17	0,20	0,40	0,47
236	08:10.2025 07:18:00	Tag	0,14	0,14	0,19	0,30
237	08:10.2025 07:29:00	Tag	0,20	0,14	0,02	0,23
238	08:10.2025 07:30:00	Tag	0,32	0,27	0,57	0,69
239	08:10.2025 07:38:00	Tag	0,16	0,12	0,33	0,34
240	08:10.2025 07:43:00	Tag	0,25	0,24	0,64	0,60
241	08:10.2025 07:44:00	Tag	0,20	0,13	0,18	0,27
242	08:10.2025 07:46:00	Tag	0,23	0,15	0,34	0,47
243	08:10.2025 07:54:00	Tag	0,16	0,13	0,22	0,34
244	08:10.2025 07:59:00	Tag	0,21	0,23	0,64	0,46
245	08:10.2025 08:09:00	Tag	0,28	0,18	0,47	0,50
246	08:10.2025 08:11:00	Tag	0,17	0,16	0,25	0,46
247	08:10.2025 08:16:00	Tag	0,18	0,15	0,21	0,26
248	08:10.2025 08:19:00	Tag	0,19	0,18	0,59	0,48
249	08:10.2025 08:25:00	Tag	0,24	0,16	0,54	0,48
250	08:10.2025 08:28:00	Tag	0,11	0,08	0,12	0,15
251	08:10.2025 08:33:00	Tag	0,18	0,19	0,57	0,47
252	08:10.2025 08:35:00	Tag	0,18	0,14	0,15	0,26
253	08:10.2025 08:36:00	Tag	0,25	0,23	0,60	0,63
254	08:10.2025 08:39:00	Tag	0,20	0,13	0,19	0,29
255	08:10.2025 08:43:00	Tag	0,23	0,26	0,74	0,86
256	08:10.2025 08:48:00	Tag	0,35	0,25	0,55	0,62
257	08:10.2025 08:54:00	Tag	0,22	0,27	0,67	0,67
258	08:10.2025 08:58:00	Tag	0,27	0,15	0,61	0,47
259	08:10.2025 09:03:00	Tag	0,13	0,11	0,23	0,21
260	08:10.2025 09:08:00	Tag	0,22	0,21	0,57	0,46
261	08:10.2025 09:11:00	Tag	0,21	0,12	0,17	0,25
262	08:10.2025 09:14:00	Tag	0,27	0,22	0,53	0,56
263	08:10.2025 09:16:00	Tag	0,27	0,18	0,25	0,29
264	08:10.2025 09:17:00	Tag	0,27	0,22	0,56	0,58
265	08:10.2025 09:23:00	Tag	0,18	0,12	0,18	0,24
266	08:10.2025 09:25:00	Tag	0,27	0,16	0,53	0,53
267	08:10.2025 09:36:00	Tag	0,25	0,16	0,36	0,38
268	08:10.2025 09:52:00	Tag	0,31	0,36	0,66	0,79
269	08:10.2025 09:55:00	Tag	0,15	0,13	0,19	0,20
270	08:10.2025 09:56:00	Tag	0,24	0,19	0,46	0,62
271	08:10.2025 10:01:00	Tag	0,12	0,09	0,19	0,23
272	08:10.2025 10:05:00	Tag	0,27	0,23	0,59	0,57
273	08:10.2025 10:09:00	Tag	0,16	0,16	0,29	0,42

Messung Nr./ Abbildung	*Datum/Uhrzeit*	*Tag/ Nacht*	*Messpunkt 1*			*Messpunkt 2*
			v_{max} (x) [mm/s]	v_{max} (y) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]
274	08:10.2025 10:13:00	Tag	0,18	0,13	0,24	0,30
275	08:10.2025 10:15:00	Tag	0,22	0,23	0,06	0,48
276	08:10.2025 10:36:00	Tag	0,23	0,17	0,46	0,49
277	08:10.2025 10:39:00	Tag	0,29	0,20	0,61	0,81
278	08:10.2025 10:44:00	Tag	0,23	0,18	0,43	0,53
279	08:10.2025 10:50:00	Tag	0,18	0,16	0,25	0,36
280	08:10.2025 10:53:00	Tag	0,21	0,21	0,71	0,67
281	08:10.2025 10:56:00	Tag	0,29	0,15	0,52	0,44
282	08:10.2025 11:00:00	Tag	0,25	0,16	0,21	0,33
283	08:10.2025 11:05:00	Tag	0,21	0,17	0,60	0,52
284	08:10.2025 11:07:00	Tag	0,19	0,18	0,30	0,45
285	08:10.2025 11:13:00	Tag	0,17	0,12	0,19	0,30
286	08:10.2025 11:18:00	Tag	0,28	0,20	0,46	0,57
287	08:10.2025 11:33:00	Tag	0,38	0,18	0,55	0,55
288	08:10.2025 11:50:00	Tag	0,15	0,16	0,22	0,27
289	08:10.2025 11:53:00	Tag	0,21	0,25	0,66	0,77
290	08:10.2025 11:56:00	Tag	0,13	0,10	0,28	0,28
291	08:10.2025 12:04:00	Tag	0,15	0,13	0,21	0,34
292	08:10.2025 12:07:00	Tag	0,15	0,12	0,54	0,35
293	08:10.2025 12:15:00	Tag	0,19	0,18	0,65	0,41
294	08:10.2025 12:17:00	Tag	0,18	0,13	0,43	0,43
295	08:10.2025 12:18:00	Tag	0,20	0,13	0,45	0,35
296	08:10.2025 12:19:00	Tag	0,15	0,12	0,26	0,32
297	08:10.2025 12:21:00	Tag	0,13	0,10	0,22	0,25
298	08:10.2025 12:21:00	Tag	0,06	0,05	0,06	0,06
299	08:10.2025 12:25:00	Tag	0,18	0,12	0,33	0,44
300	08:10.2025 12:28:00	Tag	0,14	0,10	0,34	0,48
301	08:10.2025 12:31:00	Tag	0,14	0,11	0,41	0,35
302	08:10.2025 12:32:00	Tag	0,16	0,13	0,19	0,38
303	08:10.2025 12:40:00	Tag	0,21	0,15	0,21	0,26
304	08:10.2025 12:43:00	Tag	0,18	0,19	0,25	0,31
305	08:10.2025 12:48:00	Tag	0,11	0,12	0,25	0,29
306	08:10.2025 12:53:00	Tag	0,29	0,36	0,70	0,64
307	08:10.2025 12:54:00	Tag	0,12	0,07	0,17	0,17
308	08:10.2025 12:58:00	Tag	0,13	0,08	0,13	0,17
309	08:10.2025 13:05:00	Tag	0,23	0,19	0,62	0,45
310	08:10.2025 13:11:00	Tag	0,22	0,17	0,45	0,41
311	08:10.2025 13:12:00	Tag	0,24	0,22	0,57	0,49
312	08:10.2025 13:14:00	Tag	0,22	0,14	0,43	0,48
313	08:10.2025 13:17:00	Tag	0,14	0,09	0,19	0,20
314	08:10.2025 13:18:00	Tag	0,12	0,08	0,18	0,18
315	08:10.2025 13:25:00	Tag	0,46	0,19	0,22	0,32
316	08:10.2025 13:29:00	Tag	0,28	0,20	0,51	0,46
317	08:10.2025 13:35:00	Tag	0,26	0,19	0,58	0,56
318	08:10.2025 13:49:00	Tag	0,13	0,11	0,20	0,21

Messung Nr./ Abbildung	***Datum/Uhrzeit***	***Tag/ Nacht***	***Messpunkt 1***			***Messpunkt 2***
			v_{max} (x) [mm/s]	v_{max} (y) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]	v_{max} (z) [mm/s]
319	08:10.2025 13:54:00	Tag	0,20	0,27	0,83	0,65