
Anhang J

Bericht Erschütterungen

Umweltverträglichkeitsbericht Sanierung Stadtmist Solothurn

Dokument-Information:

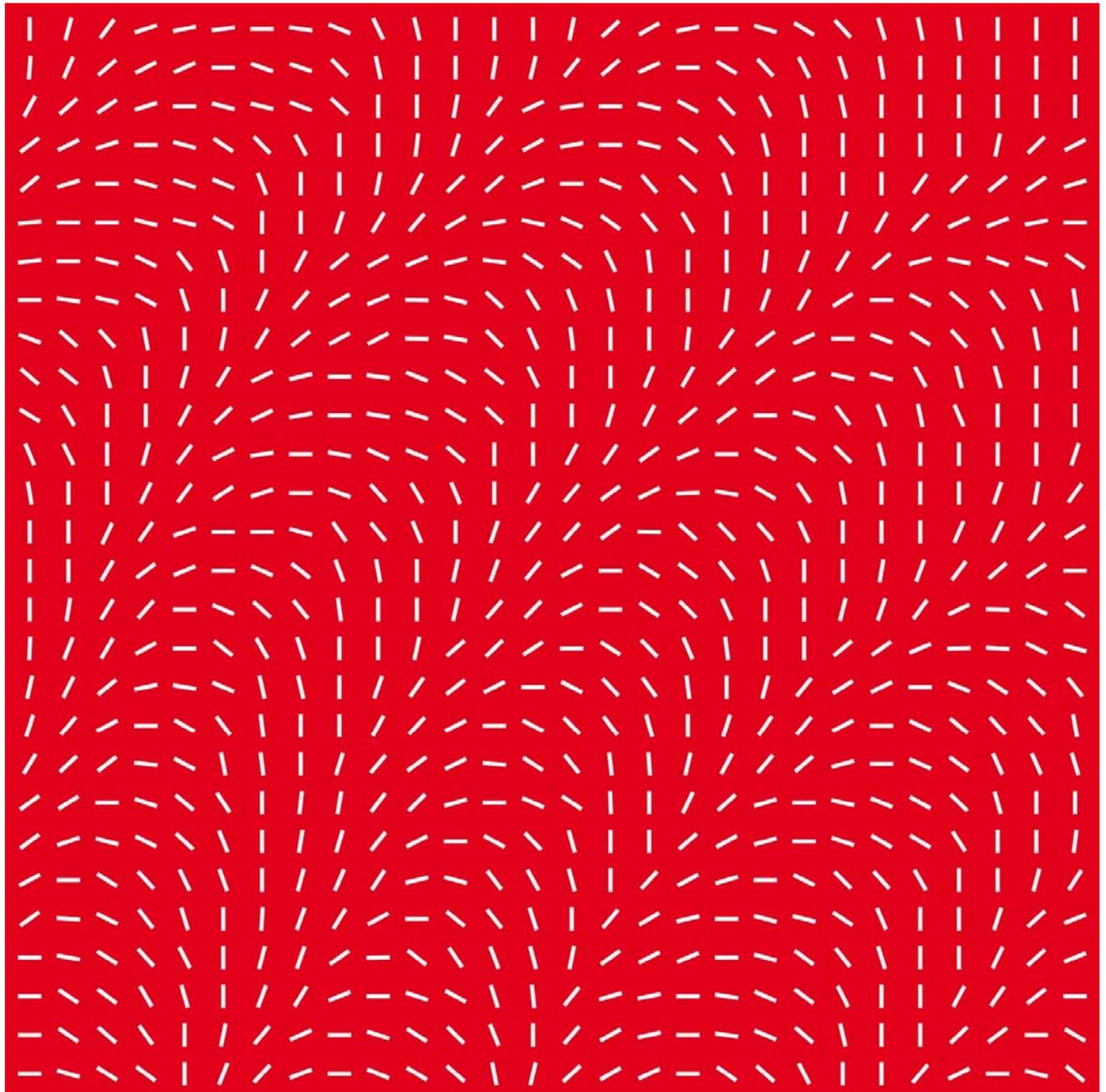
Autor: ARGE Vision Solothurn, Projektteam

Datum: 28. Mai 2021



Erschütterungen

Bodenaufbereitungsanlage Stadtmist Solothurn
Prognose der zu erwartenden Erschütterungen
Bericht 3093-01a
Zürich, 13.04.2021



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Vorgehen	3
3	Mess-System	4
4	Messorte	5
5	Messresultate	10
5.1	Aktivitäten in Rümlang	10
5.2	Admittanzmessung in Rümlang	13
5.3	LKW Vorbeifahrten Solothurn	14
5.4	Admittanz- und Transfer-Admittanzmessung in Solothurn	15
5.5	Messung der Eigenfrequenzen und der zugehörigen Dämpfungen im Gebäude Centris	17
6	Simulationsmodell	18
6.1	Modell	18
6.2	Admittanzen und Transfer-Admittanzen aus dem Simulationsmodell	20
6.3	Situation Solothurn	21
7	Prognostizierte Erschütterungen für das Centris Gebäude	22
7.1	Erschütterungen infolge Betrieb Brecher	22
7.2	Erschütterungen infolge Betrieb Bunker	23
8	Zulässige Erschütterungen	25
8.1	Serveranlagen auf der Bodenplatte und Gebäude	25
8.2	Einwirkung auf den Menschen	25
9	Zusammenfassung und Beurteilung	27

Projekt:
 Bodenaufbereitungsanlage Stadtmist Solothurn
 Erschütterungen
 Solothurn

Auftraggeber:
 Eberhard Unternehmungen
 Steinackerstrasse 56
 8302 Kloten

1 Einleitung

In Solothurn an der Kreuzung Brühlbergstrasse / Libellenweg ist geplant, eine Bodenaufbereitungsanlage zu installieren, die während längerer Zeit betrieben wird. Auf dem Nachbargrundstück befindet sich das Gebäude der Firma Centris, dessen Nutzung durch Erschütterungen aus dem Betrieb der Aufbereitungsanlage und dem Baustellenverkehr beeinträchtigt werden könnte.

Mit Hilfe von Messungen vor Ort und an einer vergleichbaren Anlage (ESAR in Rümlang) wird abgeschätzt, ob die Erschütterungen aus dem Betrieb der Bodenaufbereitungsanlage möglicherweise störend sein können und ob ggf. Massnahmen zur Reduktion der Erschütterungen notwendig sind.



Bild 1.1 Situation Bodenaufbereitungsanlage in Solothurn



Bild 1.2 Situation (googlemaps.ch)

2 Vorgehen

Um die zu erwartenden Erschütterungen im Gebäude der Centris abschätzen zu können, wurde wie folgt vorgegangen:

1. Messung der Erschütterungen an einer vergleichbaren, bestehenden Anlage:
In Rümlang betreibt die Eberhard Unternehmungen eine Bodenaufbereitungsanlage, welche vergleichbar mit der geplanten Anlage in Solothurn ist. Die Erschütterungen infolge der erschütterungsintensivsten Arbeiten und Prozesse wurden aufgezeichnet. Zudem wurde die Admittanz (dynamische Steifigkeit des Bodens) innerhalb der Anlage gemessen. Als erschütterungsintensive Arbeiten wurden der Brecher, der Bunker und die Arbeiten mit einem grossen Radlader vom Auftraggeber benannt und somit untersucht.
2. Messung der Erschütterungsausbreitung am Standort der geplanten Anlage:
In Solothurn wurde mit Hilfe eines Fallgewichtes die Admittanz und die Ausbreitung der Erschütterungen gemessen.
3. Prognose der zu erwartenden Erschütterungen:
Mit Hilfe der an beiden Standorten gemessenen Admittanzen können die in Rümlang gemessenen Erschütterungen auf den Standort der neuen Anlage in Solothurn umgerechnet werden. Die Messung der Erschütterungsausbreitung in Solothurn erlaubt eine Prognose der Erschütterungsimmissionen, mit welchen im Gebäude der Centris gerechnet werden muss. Diese

Immissionen werden anschliessend beurteilt, mit Fokus auf die menschliche Wahrnehmung und den störungsfreien Betrieb der Serveranlagen der Firma Centris.

4. Weitere Untersuchungen:

Zusätzlich wurde das dynamische Verhalten der Geschossdecken der Firma Centris untersucht. Die Deckeneigenfrequenzen und die zugehörigen Dämpfungseigenschaften wurden bestimmt. Damit können die zu erwartenden Erschütterungsimmissionen auf den Deckenfeldern besser abgeschätzt werden. Direkt vor dem Gebäude der Centris wurden zudem Fahrten mit einem LKW durchgeführt und die Erschütterungen auf der Fundation des Gebäudes gemessen. Dies erlaubt eine grobe Abschätzung der zu erwartenden Erschütterungen infolge des zukünftigen Verkehrs mit grossen Baufahrzeugen auf dem Areal der geplanten Bodenaufbereitungsanlage.

3 Mess-System

Für die Schwingungsmessungen wurden die Messgeräte MR3000TR mit den tri- und uniaxialen Schwinggeschwindigkeitssensoren MS2003+ von SYSCOM verwendet. Die wichtigsten Kenndaten finden sich in Tabelle 3.1. Die dynamische Steifigkeit des Bodens wird mit einer Impulsanlage gemessen. Dazu wird ein Sandsack von 120 kg aus ca. 2.0 m Höhe auf eine Kraftmessplatte fallen gelassen. Drei Schlagkraftmessdosen PCB-200C20 werden zur dynamischen Kraftmessung verwendet.

Tabelle 3.1

Aufnehmer	Tri- und uniaxiale Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer (Geophone)
Abtastfrequenz	2000 Messwerte pro Sekunde
Frequenz	1 - 800 Hz
Amplitude	$5 \cdot 10^{-5}$ bis 100 mm/s



Bild 3.1 Messgerät MR3000TR mit triaxialem Schwinggeschwindigkeitssensor MS2003+ von SYSCOM



Bild 3.2 Uniaxiale Schwinggeschwindigkeitssensoren MS2003+



Bild 3.3 Schlagkraftmessdose PCB-200C20



Bild 3.4 Impulsmaschine mit 120 kg Sandsack.

4 Messorte

In Tabelle 4.1 sind die Standorte der Messgeräte beschrieben, Bilder 4.1a bis 4.1c zeigen die Positionen der Messpunkte (MP) und der Anregungspunkte (IM) im Situationsplan. In den Bildern 4.2a bis 4.2h sind Beispiele der Messpunkte und der Fahrzeuge und Anlagen abgebildet. Die Messungen in Solothurn wurden am Vormittag des 03.03.2021 durchgeführt. Die Messungen in Rümlang wurden am Abend des 10.03.2021 durchgeführt. Die Admittanzmessungen in Rümlang fanden nach 22 Uhr statt, als die Arbeiten auf dem Areal ruhten.

Tabelle 4.1

	Messgerät	Messgrösse	Position
Standort Rümlang			
MP 11	ZC531	v-uniaxial	a, b, c: neben Brecher
MP 12	ZC527	v-uniaxial	a, b: unter Bunker c: neben Rampe Bunker
MP 13	ZC527	v-triaxial	Neben Aktivitäten Radlader (x, y: horizontal / z vertikal)
MP 14	ZC537	v-triaxial	Ausserhalb des Geländes auf der Wibachstrasse (x, y: horizontal / z vertikal)
IM_R1	ZC531	Kraft v-uniaxial	Vor dem Brecher
IM_R2	ZC543	Kraft v-uniaxial	Vor dem Bunker
Standort Solothurn			
MP 01	ZC524	v-uniaxial	a: in 5 m Distanz zur Impulsanlage b: in 5 m Distanz zur Impulsanlage c: in 17 m Distanz zur Impulsanlage
MP 02	ZC528	v-uniaxial	a: in 68 m Distanz zur Impulsanlage b: in 51 m Distanz zur Impulsanlage c: in 31 m Distanz zur Impulsanlage
MP 03	ZC514	v-triaxial	Auf Foundation des Gebäudes Centris in 68 m Distanz zur Impulsanlage (x, y: horizontal / z vertikal)

MP_04	ZC531	v-uniaxial	a: Foundation Aussenwand Gebäude Centris b: Foundation Innenwand Gebäude Centris c: Foundation Aussenwand Gebäude Centris
IM_S1	ZC543	Kraft	Standort zukünftige Bodenaufbereitungsanlage
MP_A	ZC531	v-triaxial	Foundation Gebäude Centris
MP_B	ZC514	v-triaxial	Foundation Gebäude Centris

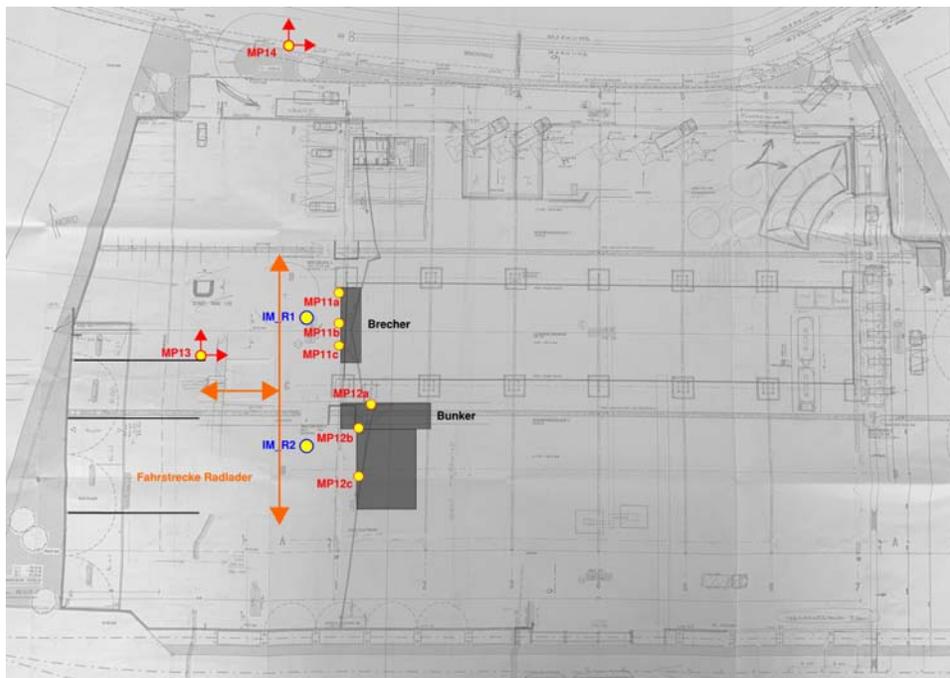


Bild 4.1a Positionen der Messpunkte (MP), der Standorte der Impulsanlage (IM) und der Fahrwege des Radladers in Rümlang.

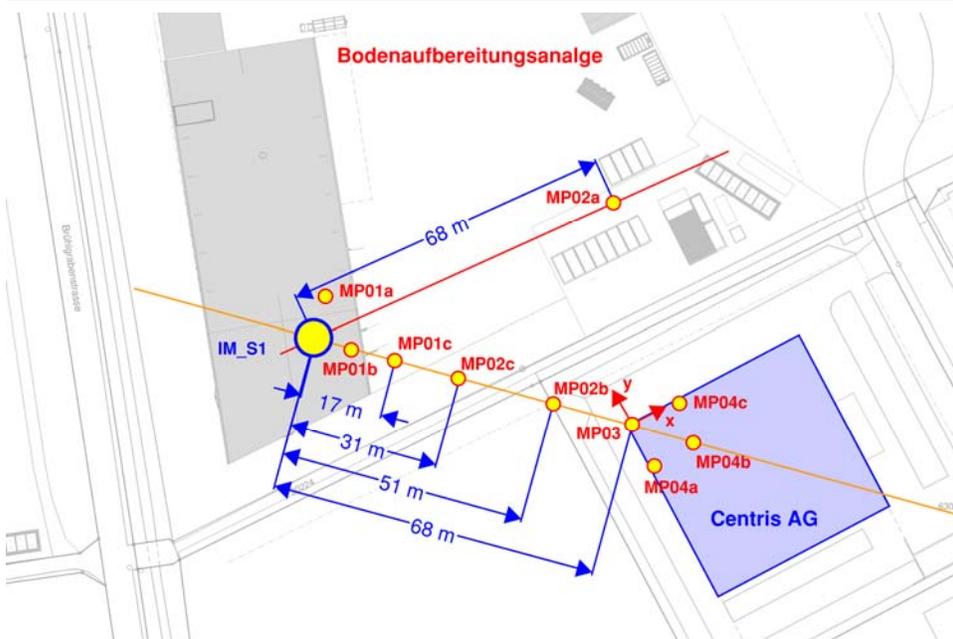


Bild 4.1b Positionen der Messpunkte (MP) und der Standorte der Impulsanlage (IM) in Solothurn.

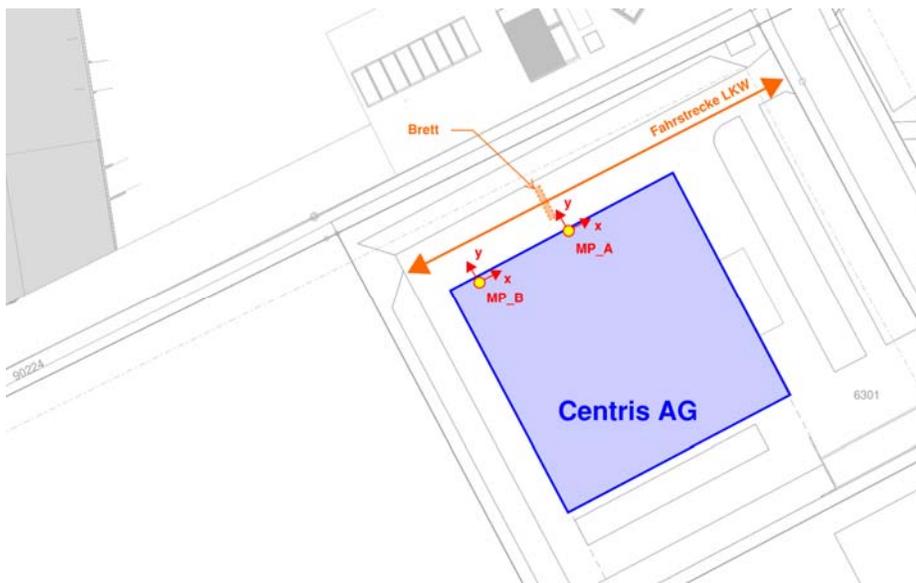


Bild 4.1c Positionen der Messpunkte (MP) und des Fahrweges des LKW's in Solothurn.



Bild 4.2a Radlader beim Bunker in Rümlang



Bild 4.2b Brecher in Rümlang



Bild 4.2c Messpunkte MP 11b in Rümlang neben Brecher



Bild 4.2d Messpunkt MP 12a unter Bunker



Bild 4.2e Messpunkte MP 13 in Rümlang



Bild 4.2f LKW (ca. 25to) bei Brettüberfahrt in Solothurn



Bild 4.2g Messpunkte MP 02b in Solothurn



Bild 4.2h Messpunkt MP 03 in Solothurn

5 Messresultate

5.1 Aktivitäten in Rümlang

In Bild 5.1a sind die vertikalen Erschütterungen neben dem Brecher an den Messpunkten MP 11a bis MP 11c dargestellt. In Bild 5.1b ist das Ausschalten des Brechers beim MP 14 dargestellt. In Bild 5.1c ist das zu Bild 5.1a gehörige Spektrum dargestellt und in Bild 5.1d die entsprechenden spektralen Leistungsdichten.

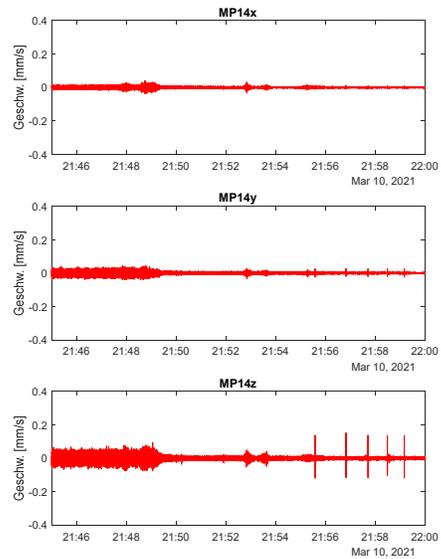
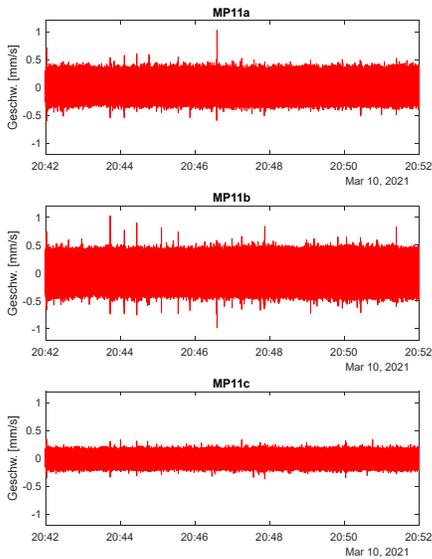


Bild 5.1a Schwinggeschwindigkeiten neben dem Brecher.

Bild 5.1b Schwinggeschwindigkeiten beim MP 14, abstellen des Brechers

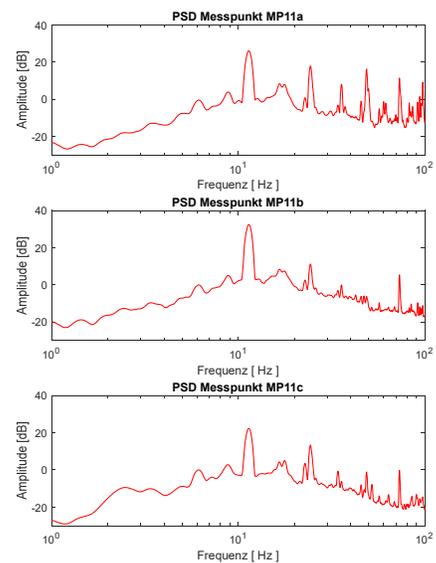
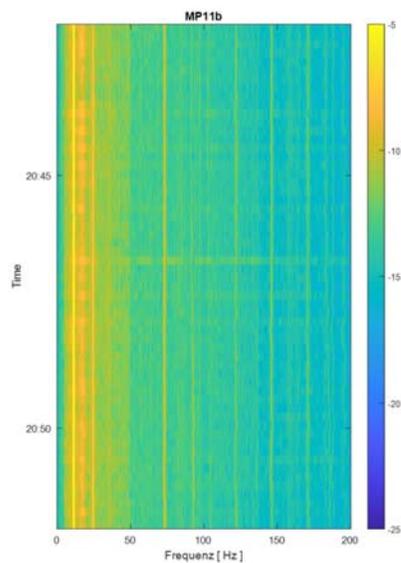


Bild 5.1c Spektrum

Bild 5.1d Spektrale Leistungsdichte

In Bild 5.1e sind die gemessenen Erschütterungen neben dem Bunker, während der Radlader ablädt, an den Messpunkten MP 12a bis MP 12c dargestellt. Zudem sind in Bild 5.1f die gemessenen Erschütterungen Messpunkt MP 14 dargestellt (diese sind auch in Bild 5.1b sichtbar). Der Messpunkt MP 14 liegt in einer Distanz von ca. 70 m zum Bunker.

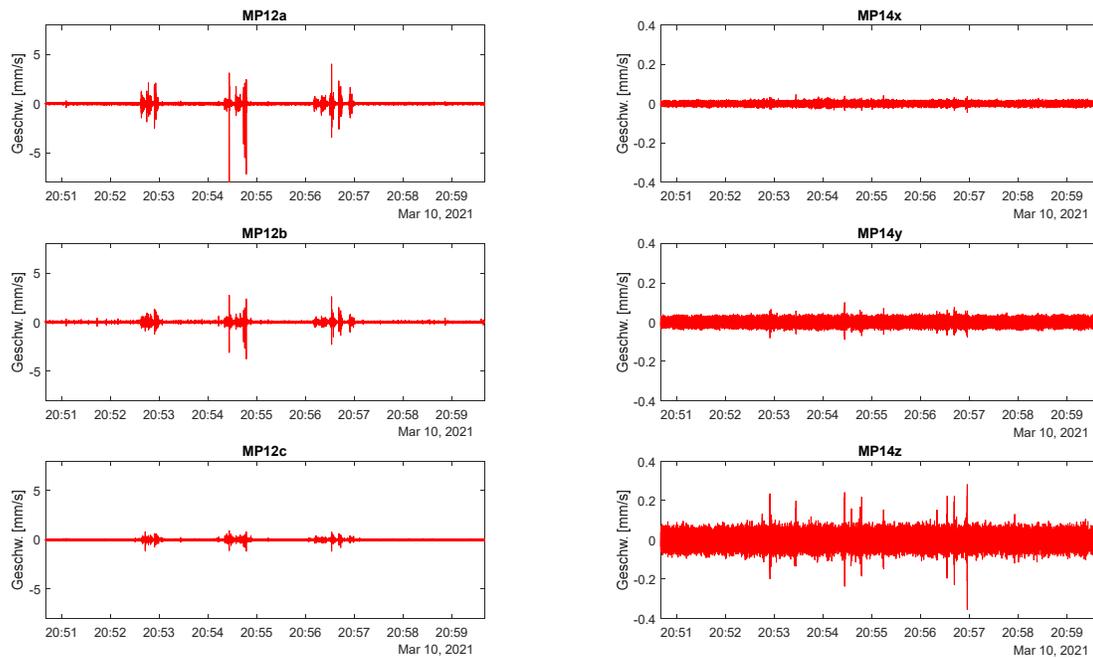


Bild 5.1e Schwinggeschwindigkeiten neben dem Bunker.

Bild 5.1f Schwinggeschwindigkeiten beim Befüllen des Bunkers beim Messpunkt MP 14

In Bild 5.1g sind die gemessenen Erschütterungen beim MP 13, während der Radlader vorbeifährt und während der Radlader schaufelt dargestellt. Zudem sind in Bild 5.1h die gleichzeitig gemessenen Erschütterungen Messpunkt MP 14 dargestellt. Der Messpunkt MP 14 liegt in einer Distanz von ca. 45 m zum Ort an dem geschauelt wurde.

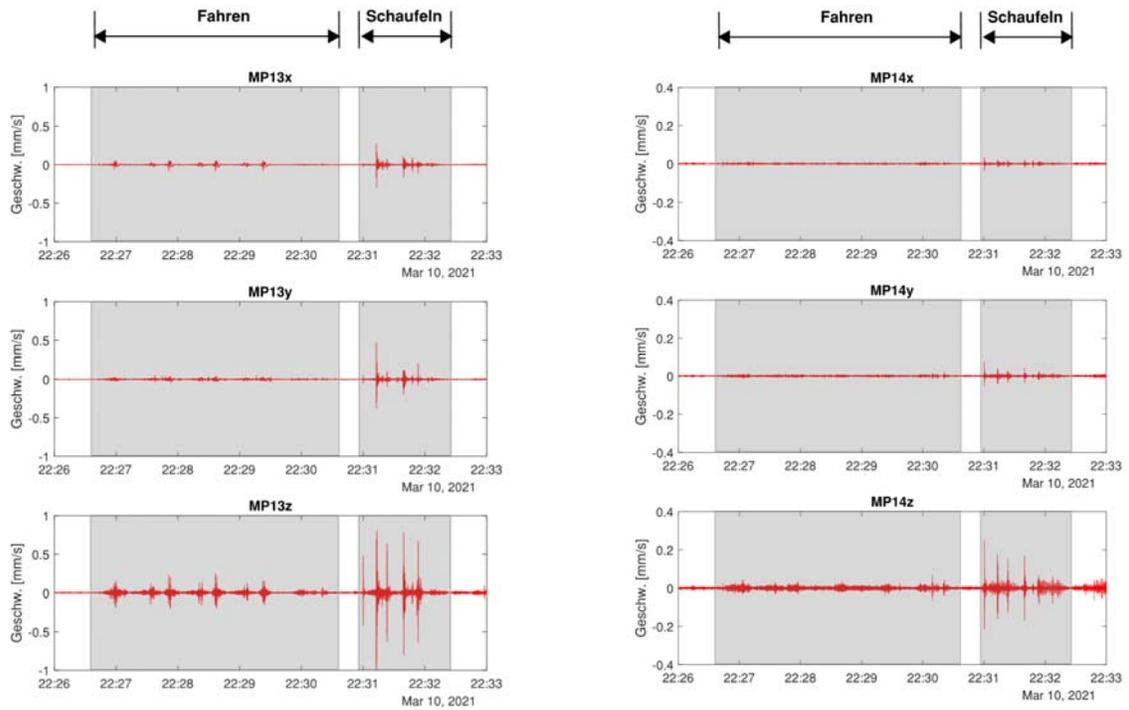


Bild 5.1g Schwinggeschwindigkeiten neben dem Radlader.

Bild 5.1f Schwinggeschwindigkeiten bei Aktivitäten mit dem Radlader beim Messpunkt MP 14

5.2 Admittanzmessung in Rümlang

Die Admittanz ist ein Mass für die dynamische Bodensteifigkeit. Die Admittanz gibt die zu erwartenden Schwinggeschwindigkeiten bei einer Einheitskraft mit einer bestimmten Anregungsfrequenz an. In den Bildern 5.2a und 5.2b sind die in Rümlang an den Standorten R1 und R2 gemessenen Admittanzen abgebildet. Die Admittanzen werden in den folgenden Kapiteln benötigt, um die in Rümlang gemessenen Schwinggeschwindigkeiten am Boden auf den Standort Solothurn zu übertragen. Die Admittanzen werden aus je 8 Versuchen mit dem Fallenlassen des Sandsacks ermittelt und anschliessend wird der Mittelwert gebildet. Dadurch können Störungen von aussen eliminiert werden.

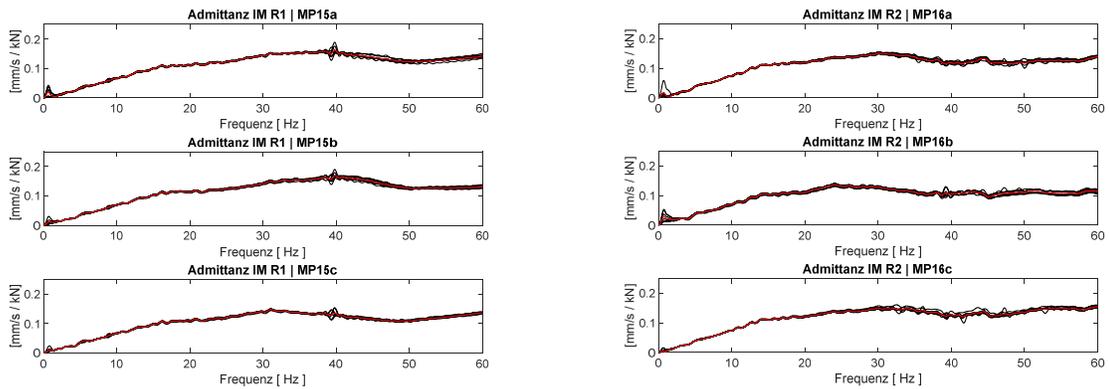


Bild 5.2a Admittanz am Standort R1 an den Punkten MP 15a bis MP 15c. Schwarz aus den einzelnen Signalen ermittelt, rot der Mittelwert aus allen Signalen.

Bild 5.2b Admittanz am Standort R2 an den Punkten MP 16a bis MP 16c. Schwarz aus den einzelnen Signalen ermittelt, rot der Mittelwert aus allen Signalen.

Die an den beiden Standorten gemessenen Admittanzen sind gut vergleichbar. Das müssen sie auch sein, da der Bodenaufbau an beiden Standorten in Rümlang derselbe ist.

5.3 LKW Vorbeifahrten Solothurn

In den Bildern 5.3a und 5.3b sind die am Fundament des Gebäudes Centris gemessenen Erschütterungen während den LKW Durchfahrten dargestellt. Das totale Gewicht des LKW's beträgt ca. 25 to. Die Versuche wurden mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten gefahren, wobei immer eine Hin- und eine Rückfahrt mit derselben Geschwindigkeit durchgeführt wurde. In der ersten Phase wurde auf der ebenen Strasse gefahren, wobei um 09:30 Uhr absichtlich über einen Schachtdeckel gefahren wurde. Anschliessend wurde auf dem Fahrweg zuerst ein und dann noch ein zweites Brett gelegt. Das Brett war 40 mm stark, 300 mm breit und ca. 5 m lang.

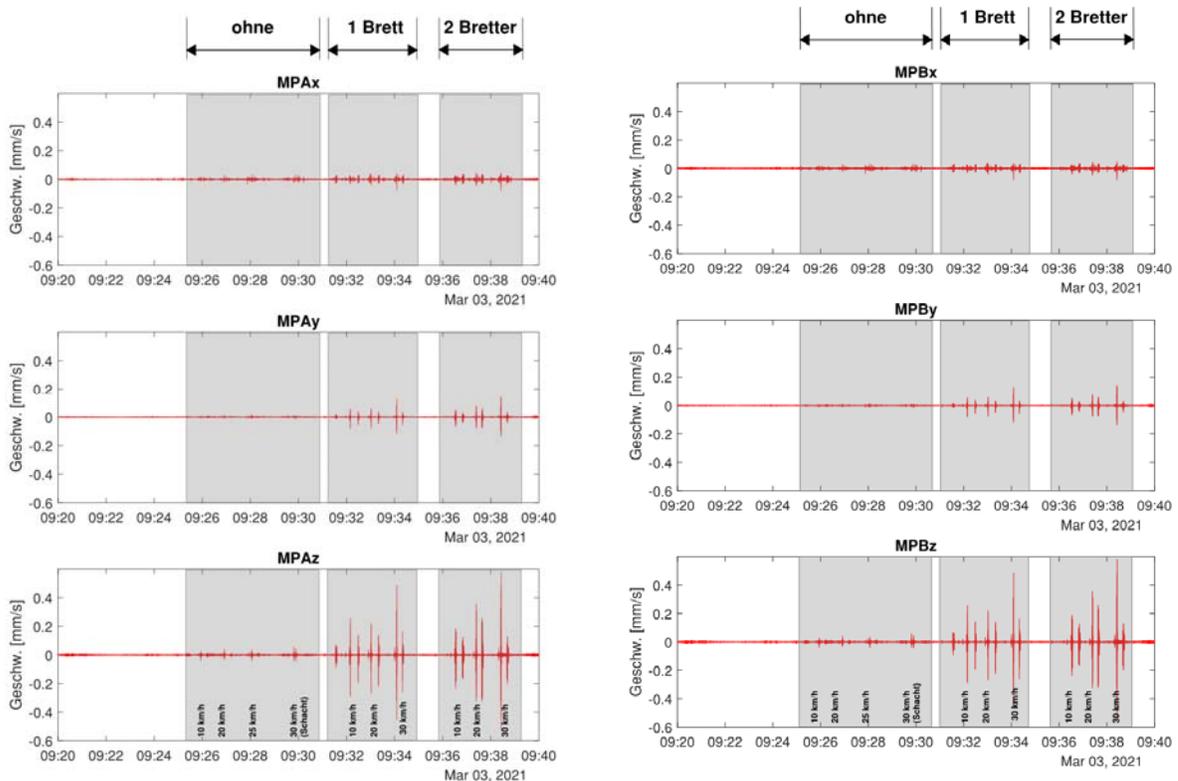


Bild 5.3a Schwinggeschwindigkeiten beim Messpunkt MP_A während den LKW Durchfahrten.

Bild 5.3b Schwinggeschwindigkeiten beim Messpunkt MP_B während den LKW Durchfahrten.

Bei normalen Durchfahrten eines LKW's unmittelbar vor dem Gebäude, selbst wenn über einen Schachtdeckel gefahren wird, werden maximale vertikale Schwinggeschwindigkeiten auf dem Fundament von 0.06 mm/s gemessen. Dies ist für den Menschen, auch auf den Geschossdecken, nicht spürbar. Bei der Überfahrt über die dicken Bretter werden am Fundament Schwinggeschwindigkeiten von bis zu 0.5 mm/s gemessen. Das ist für den Menschen spürbar bis gut spürbar, für die Serveranlagen im Untergeschoss des Gebäudes aber kein Problem. Bei modernen Computeranlagen gilt ein Grenzwert der typischerweise über 2.0 mm/s anzusetzen ist.

5.4 Admittanz- und Transfer-Admittanzmessung in Solothurn

In Solothurn wurden die Impulse auf eine kleine Betonplatte (1.25 m x 1.25 m x 0.3 m), die auf dem gewachsenen Boden liegt, abgegeben. Die Erschütterungen wurden an mehreren Punkten, auch in grösserer Distanz und im Gebäude der Centris gemessen (Bis 4.1b). Aus den Erschütterungsmessungen können auch die Transferfunktionen von einem zum nächsten Punkt ermittelt werden.

In den Bildern 5.4a, 5.4c, 5.4 e und 5.4g sind jeweils der gemessene Kraftimpuls und die gemessenen Schwinggeschwindigkeiten bei den Messpunkten MP 01 bis MP 04 dargestellt. Die 12 Impulse sind überlagert dargestellt. In den Bildern 5.4b, 5.4d, 5.4 f und 5.4h sind die ermittelten Transferadmittanzen dargestellt.

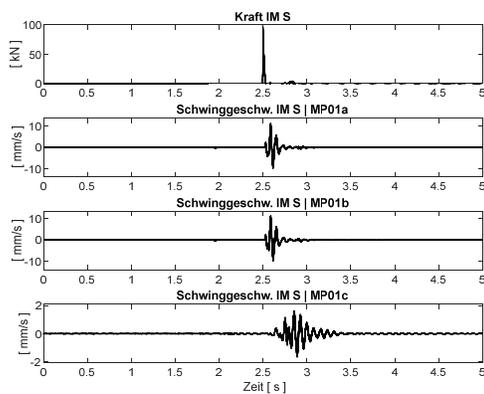


Bild 5.4a Gemessener Impuls sowie die gemessenen vertikalen Schwinggeschwindigkeiten an den Messpunkten MP 1a bis MP 1c.

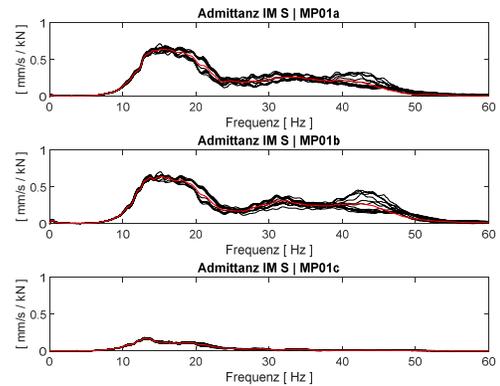


Bild 5.2b Transfer-Admittanz am Standort S an den Punkten MP 1a bis MP 1c. Schwarz aus den einzelnen Signalen ermittelt, rot der Mittelwert aus allen Signalen.

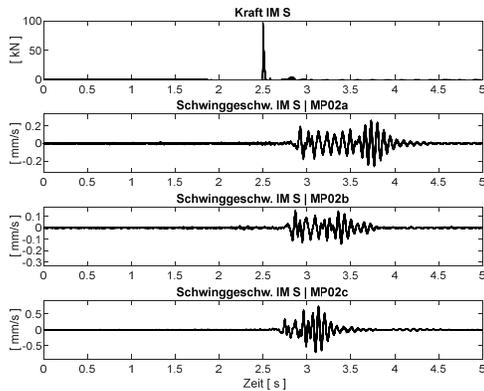


Bild 5.4c Gemessener Impuls sowie die gemessenen vertikalen Schwinggeschwindigkeiten an den Messpunkten MP 2a bis MP 2c.

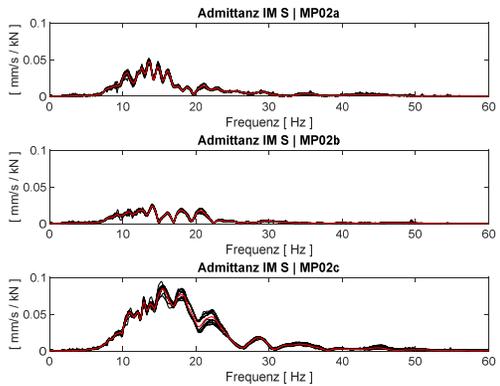


Bild 5.2d Transfer-Admittanz am Standort S an den Punkten MP 2a bis MP 2c. Schwarz aus den einzelnen Signalen ermittelt, rot der Mittelwert aus allen Signalen.

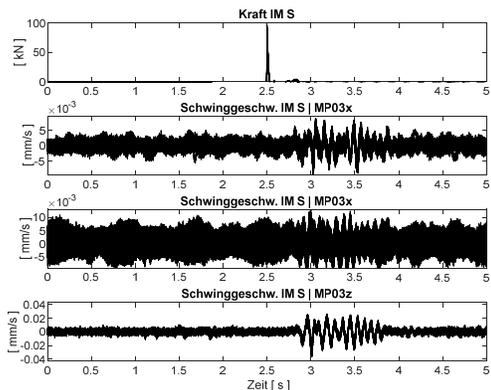


Bild 5.4e Gemessener Impuls sowie die gemessenen Schwinggeschwindigkeiten an den Messpunkten MP 3x bis MP 3z.

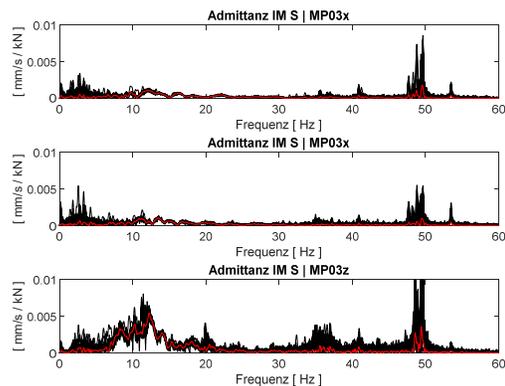


Bild 5.2f Transfer-Admittanz am Standort S an den Punkten MP 3x bis MP 3z. Schwarz aus den einzelnen Signalen ermittelt, rot der Mittelwert aus allen Signalen.

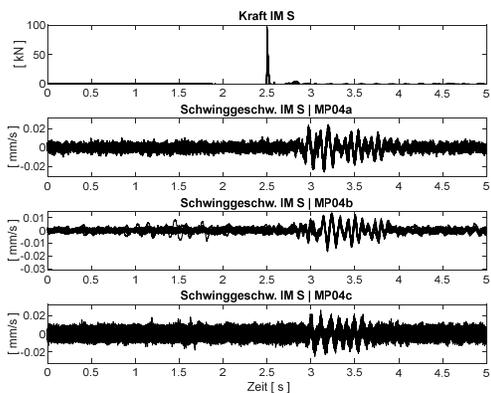


Bild 5.4g Gemessener Impuls sowie die gemessenen Schwinggeschwindigkeiten an den Messpunkten MP 4a bis MP 4c.

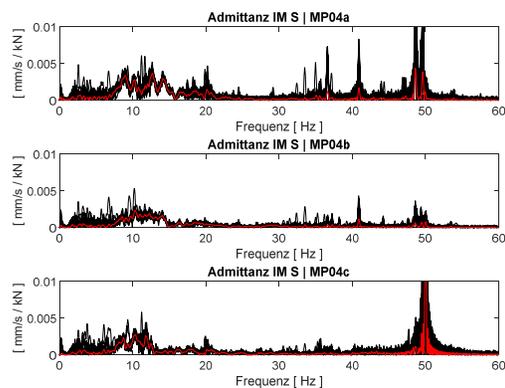


Bild 5.2h Transfer-Admittanz am Standort S an den Punkten MP 4a bis MP 4c. Schwarz aus den einzelnen Signalen ermittelt, rot der Mittelwert aus allen Signalen.

Die Abnahme der Schwingungsamplitude und die Zeitverzögerung über die Distanz kann nachvollziehbar in den Diagrammen erkannt werden. Auch in den Admittanzen, bzw. den Transferadmittanzen kann die Abnahme gut beobachtet werden. Zu den Messungen im Gebäude der Centris ist zu erwähnen, dass Haustechnikanlagen die Messungen durch Vibrationen bei 50 Hz stören.

5.5 Messung der Eigenfrequenzen und der zugehörigen Dämpfungen im Gebäude Centris

Im 3. Obergeschoss des Gebäudes der Centris wurden im Bereich der Fassade (Nord-West) in Deckenfeldmitte und im Bereich einer Gebäudeecke (Nord), ebenfalls Deckenfeldmitte, die Eigenfrequenzen und die zugehörige Dämpfung bestimmt. Dazu wurde ein Heeldrop (sich auf die Ferse fallenlassen) ausgeführt. Aus den gemessenen Schwinggeschwindigkeiten wird mit Hilfe eines Algorithmus (Matrix Pencil Method for Estimating Parameters of Exponentially Damped/Undamped Sinusoids in Noise, Yingbo Hua, Tapan K. Sarkar, Department of Electrical Engineering & Computer Science) das Ausschwingssignal in die einzelnen gedämpften Sinusschwingungen zerlegt und deren Frequenz sowie Dämpfung und Amplitude bestimmt. In den Bildern 5.5a und 5.5b ist diese Auswertung dargestellt.

Die tiefsten der ermittelten Eigenfrequenzen liegen zwischen 9 und 12 Hz, die Dämpfungskonstanten betragen 3 – 5 % der kritischen Dämpfung.

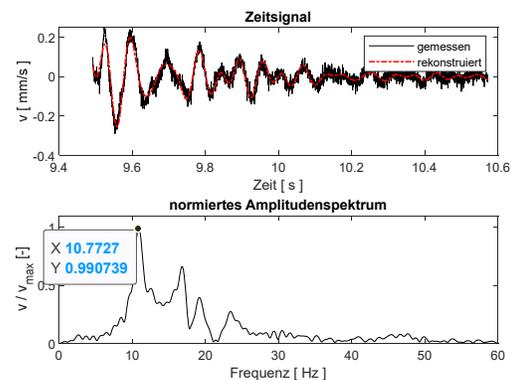
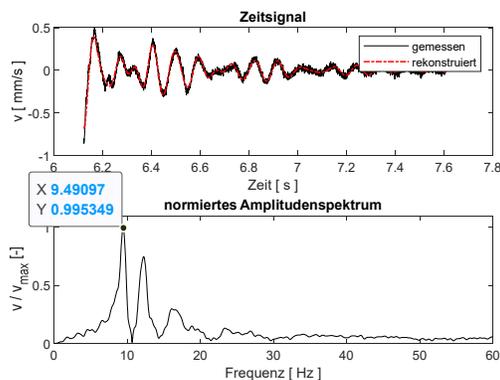


Bild 5.5a Ausschwingversuch im 3.Obergeschoss des Gebäudes Centris, an der Nord-West Fassade in Deckenfeldmitte

Bild 5.5b Ausschwingversuch im 3.Obergeschoss des Gebäudes Centris, an der Ecke Nord in Deckenfeldmitte

6 Simulationsmodell

6.1 Modell

Mit dem Software Paket Sofistik 2020 (Finite Element Methode) wurde der Untergrund modelliert. Der Impulsversuch (Sandsack fällt auf kleine Betonplatte am Boden) wird nachgebildet um das Bodenmodell soweit anzupassen, dass die gemessenen und die simulierten Admittanzen in vernünftiger Übereinstimmung liegen. Zudem wird die Situation der geplanten Bodenplatte der Aufbereitungsanlage (ca 30 cm Schüttmaterial 50 cm Kieskoffer und 25 cm Konstruktionsbeton) im Modell abgebildet. Zusätzlich wird der Fall einer 0.8 m starken Bodenplatte mit den Abmessungen 10 m x 10 m unter den beiden geplanten Bunkern und einer 0.5 m starken Bodenplatte mit den Abmessungen 10 m x 15 m unter dem geplanten Brecher untersucht.

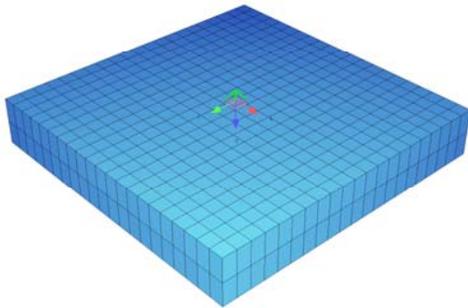


Bild 6.1a Simulationsmodell Boden mit kleinem Fundament

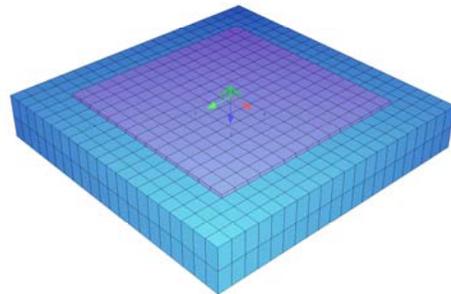


Bild 6.1b Simulationsmodell Boden mit zukünftiger Bodenplatte

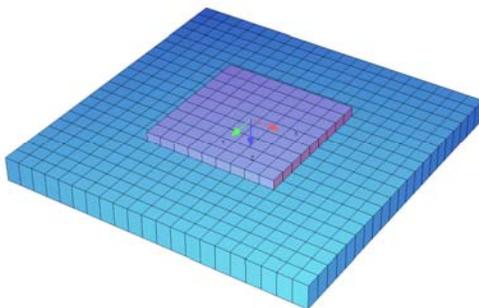


Bild 6.1c Simulationsmodell Boden mit zukünftiger Bodenplatte Bunker

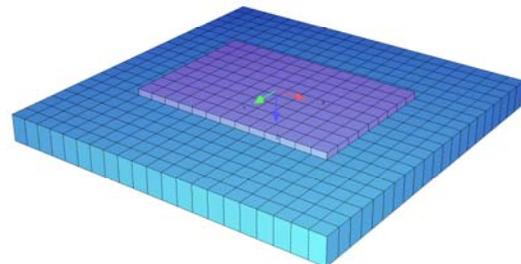


Bild 6.1d Simulationsmodell Boden mit zukünftiger Bodenplatte Brecher

6.2 Admittanzen und Transfer-Admittanzen aus dem Simulationsmodell

In den Bildern 6.2a bis 6.2c sind die mit dem Modell ermittelten Transfer-Admittanzen für die 3 untersuchten Fälle (kleines Fundament analog Versuch, geplante Bodenplatte und dicke Bodenplatte) an einem Punkt in 17 m Distanz zur Anregung, was dem Messpunkt MP 1c entspricht, dargestellt.

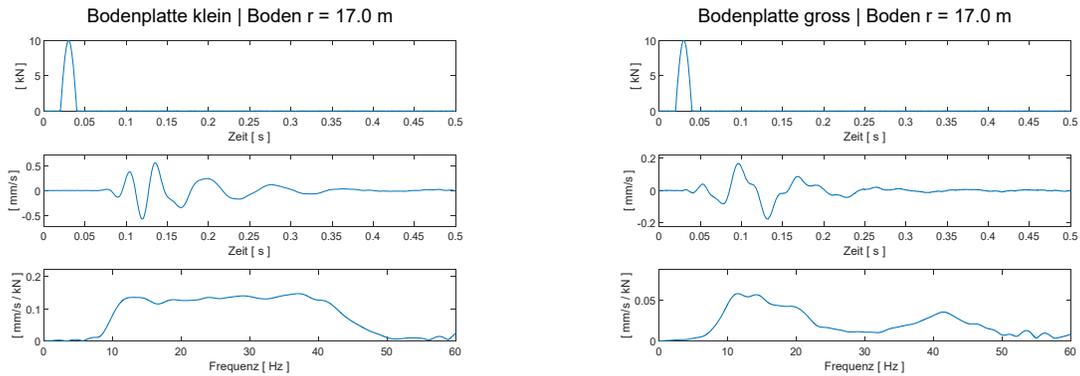


Bild 6.2a Impuls, resultierende Schwinggeschwindigkeit im Abstand 17 m und berechnete Transfer-Admittanz im Simulationsmodell mit dem kleinen Fundament.

Bild 6.2b Impuls, resultierende Schwinggeschwindigkeit im Abstand 17 m und berechnete Transfer-Admittanz im Simulationsmodell mit der zukünftigen Bodenplatte.

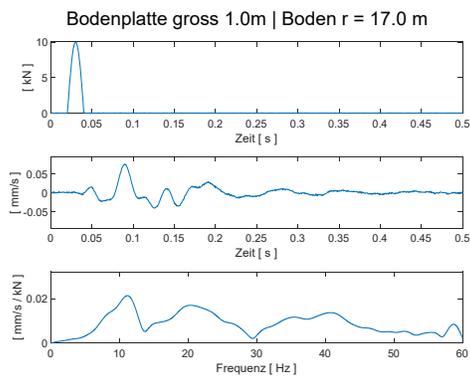


Bild 6.2c Impuls, resultierende Schwinggeschwindigkeit im Abstand 17 m und berechnete Transfer-Admittanz im Simulationsmodell mit der grossen, 1.0m starken Bodenplatte Fundament.

6.3 Situation Solothurn

In Bild 6.3a ist die geplante Situation in Solothurn dargestellt. Untersucht werden die Erschütterungen infolge Betriebes des Bunkers in ca. 68 m zu Gebäude der Centris und infolge Betriebes des Brechers in ca. 80 m Distanz zum Gebäude der Centris.

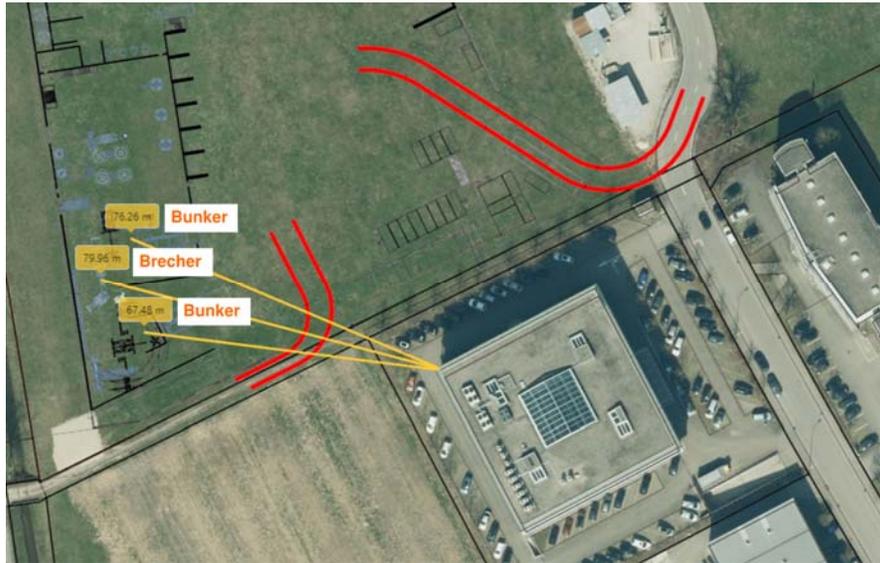


Bild 6.3 Situation in Zukunft in Solothurn

7 Prognostizierte Erschütterungen für das Centris Gebäude

7.1 Erschütterungen infolge Betrieb Brecher

In den Bildern 7.1a und 7.1b sind die prognostizierten Erschütterungen am Standort in Solothurn infolge Betriebes des Brechers dargestellt. Die in Rümlang gemessenen Kräfte auf die Foundation wurden, in der Prognose nur zu 50 % angesetzt. Nach Aussage des Auftraggebers bringt der geplante Brecher in Solothurn maximal die Hälfte der in Rümlang gemessenen Kräfte auf den Boden. Bei den prognostizierten vertikalen Erschütterungen ist ein Sicherheitsfaktor von 1.5 zur Berücksichtigung der zahlreichen Modellungenauigkeiten beaufschlagt. Der Faktor berücksichtigt grob die zahlreichen Modellungenauigkeiten. In Bild 7.1a ist die Situation für die geplante Bodenplatte und in Bild 7.1b für die Situation mit einer unter dem Brecher auf 0.5 m verstärkten Bodenplatte dargestellt.

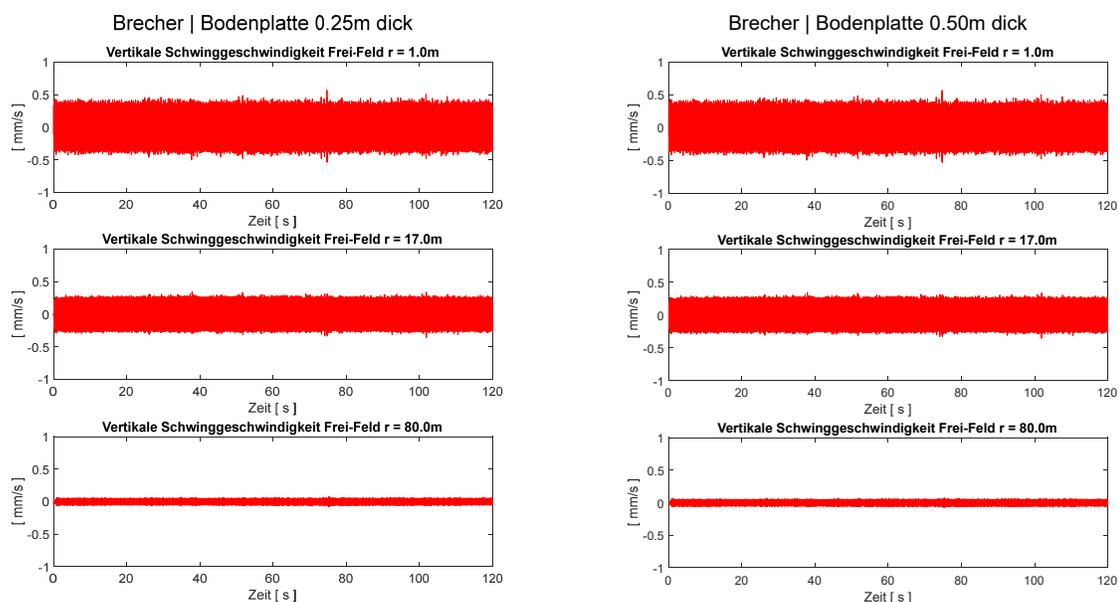


Bild 7.1a Prognostizierte vertikale Erschütterungen für die geplanten Bodenplatte der Bodenwaschanlage infolge Betriebes des Brechers am Standort Solothurn in unterschiedlichen Entfernungen zum Brecher.

Bild 7.1b Prognostizierte vertikale Erschütterungen für die partiell auf 0.5 m verdickte Bodenplatte der Bodenwaschanlage infolge Betriebes des Brechers am Standort Solothurn in unterschiedlichen Entfernungen zum Brecher.

Mit der geplanten Bodenplatte von 0.5 m Stärke im Bereich des Brechers, dem anstehenden Boden und dem Materialersatz darunter sowie der Annahme, dass der geplante Brecher in Solothurn ca. 50 % der Erschütterungen vom Brecher in Rümlang bringt, ist am Standort Solothurn mit etwas tieferen Erschütterungen direkt beim Brecher zu rechnen als dies in Rümlang der Fall ist. Die vertikalen Schwinggeschwindigkeiten in 80 m Distanz (entspricht ca. dem Abstand des geplanten Brechers vom Gebäude der Centris) liegen im Freien-Feld mit maximalen Schwinggeschwindigkeiten von 0.02 mm/s klar unter der Wahrnehmungsgrenze des Menschen.

7.2 Erschütterungen infolge Betrieb Bunker

In den Bildern 7.2a und 7.2b sind die prognostizierten Erschütterungen am Standort in Solothurn infolge normalen Befüllens des Bunkers dargestellt. Bei den prognostizierten vertikalen Erschütterungen ist ein Sicherheitsfaktor von 1.5 zur Berücksichtigung der zahlreichen Modellungenauigkeiten beaufschlagt. In Bild 7.2a ist die Situation für eine 0.25 m starke Bodenplatte und in Bild 7.2b für die Situation mit einer unter dem Bunker aus 0.8 m verstärkten Bodenplatte dargestellt.

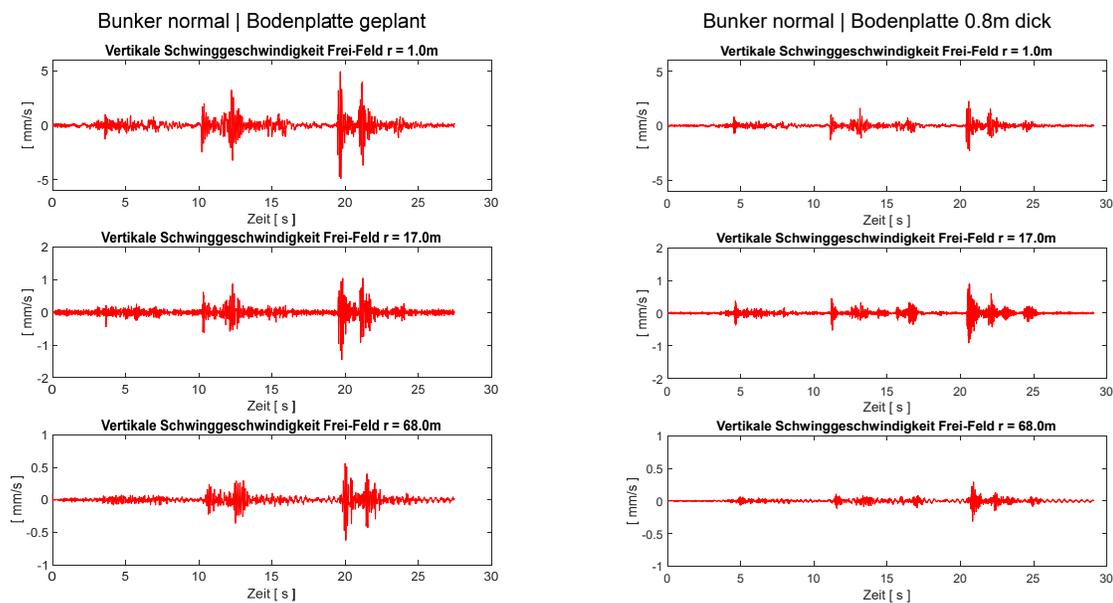


Bild 7.2a Prognostizierte vertikale Erschütterungen für die geplanten Bodenplatte der Bodenwaschanlage infolge normalen Befüllens des Bunkers am Standort Solothurn in unterschiedlichen Entfernungen zum Bunker.

Bild 7.2b Prognostizierte vertikale Erschütterungen für die partiell auf 0.80 m verdickte Bodenplatte der infolge normalen Befüllens des Bunkers am Standort Solothurn in unterschiedlichen Entfernungen zum Bunker.

In den Bildern 7.2c und 7.2d sind die prognostizierten Erschütterungen am Standort in Solothurn infolge ausserordentlich kräftigen, ruppigen Befüllens des Bunkers dargestellt. Bei den prognostizierten vertikalen Erschütterungen ist ein Sicherheitsfaktor von 1.5 zur Berücksichtigung der zahlreichen Modellgenauigkeiten beaufschlagt. In Bild 7.2c ist die Situation für die geplante Bodenplatte und in Bild 7.2d für die Situation mit einer unter dem Brecher 0.8 m verstärkten Bodenplatte dargestellt.

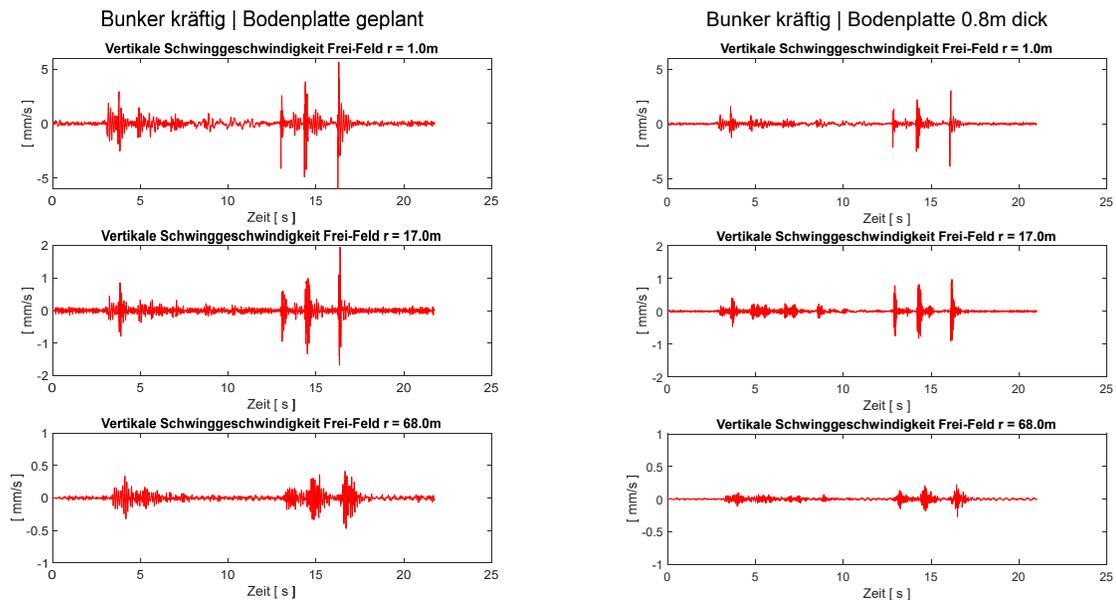


Bild 7.2c Prognostizierte vertikale Erschütterungen für die geplanten Bodenplatte der Bodenwaschanlage infolge kräftigen Befüllens des Bunkers am Standort Solothurn in unterschiedlichen Entfernungen zum Bunker.

Bild 7.2d Prognostizierte vertikale Erschütterungen für die partiell auf 0.8 m verdickte Bodenplatte der Bodenwaschanlage infolge kräftigen Befüllens des Bunkers am Standort Solothurn in unterschiedlichen Entfernungen zum Bunker.

Mit der geplanten Bodenplatte von 0.8 m Stärke im Bereich des Bunkers und dem anstehenden Boden und dem Materialersatz darunter, betragen die prognostizierten maximalen vertikalen Schwinggeschwindigkeiten in 68 m Distanz (entspricht ca. dem Abstand des geplanten Bunkers vom Gebäude der Centris) im Freien-Feld beim Befüllen des Bunker ca. 0.2 – 0.3 mm/s. Das liegt im Bereich der Wahrnehmungsgrenze des Menschen.

8 Zulässige Erschütterungen

Im vorliegenden Fall sind zwei Aspekte zu betrachten. Einerseits die Serveranlagen der Firma Centis, welche sich im Untergeschoss des Gebäudes auf der Bodenplatte befinden sowie das Gebäude selber. Andererseits sollen die Menschen im Gebäude nicht übermässigen Erschütterungsimmissionen ausgesetzt sein.

8.1 Serveranlagen auf der Bodenplatte und Gebäude

Es existieren keine allgemeinen, verbindlichen Richtwerte maximal zulässiger Erschütterungen für Serveranlagen. Aus Erfahrung kann ein Wert von 2 mm/s genannt werden, bei dem moderne Serveranlagen problemlos bzw. störungsfrei arbeiten. Neben diesem Richtwert kann hier für das Gebäude auch auf die VSS 40 312 (Erschütterungen - Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke, 2019) verwiesen werden. Bei normalempfindlichen Gebäuden, bei permanenten Erschütterungen im Frequenzbereich zwischen 8 – 30 Hz sind 3 mm/s zulässig, ohne dass mit strukturellen Schäden am Gebäude zu rechnen ist.

8.2 Einwirkung auf den Menschen

Die Erschütterungseinwirkung auf den Menschen ist in der Schweiz normativ nicht geregelt. Oft wird dazu die ISO 10137:2007 oder die DIN 4150-2 herangezogen.

Die ISO 10137:2007 gibt für permanente Beschleunigungen Richtwerte vor. Dazu ist die Kurve C1 (Bild 8.2a) und die Tabelle C.1 (Bild 8.2b) zu verwenden. Auf maximale Schwinggeschwindigkeiten umgerechnet ergibt dies bei 11 Hz (entsprechend der Anregung durch den Brecher und der Eigenfrequenz der Decke):

- Ruhige Büros: 0.25 mm/s
- Normale Büros: 0.50 mm/s

Zu bemerken ist hier, dass Erschütterungen mit 0.5 mm/s Schwinggeschwindigkeit in vertikaler Richtung gut spürbar sind und auch in einem Bürobetrieb, wenn die Immissionen permanent vorhanden sind, als störend empfunden werden.

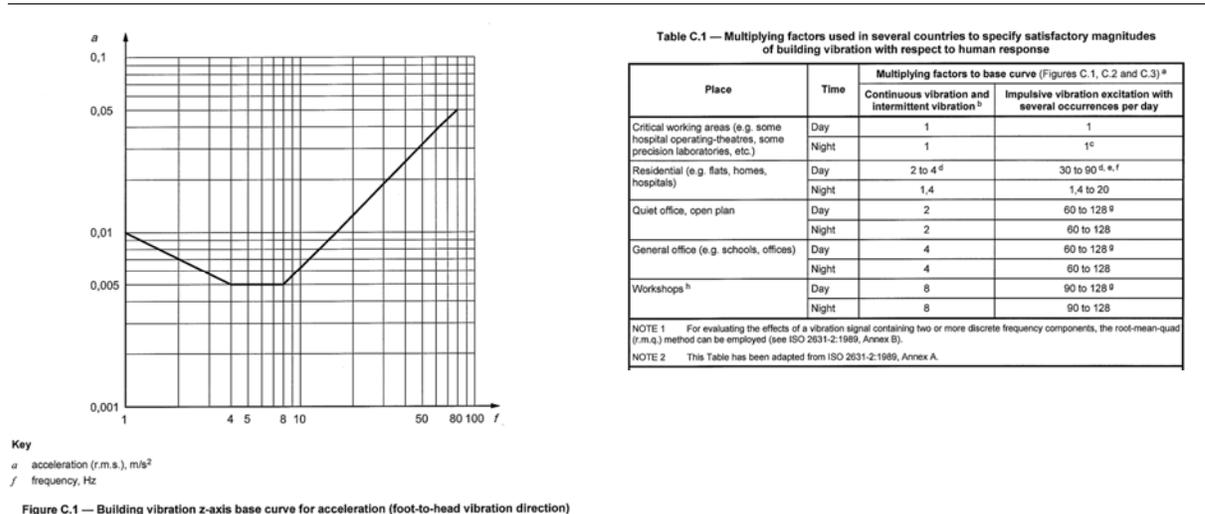


Bild 8.2a Grenzkurve C.1 nach ISO 10137.

Bild 8.2b Tabelle C.1 nach der ISO 10137

Für die maximalen Schwinggeschwindigkeiten gibt die ISO sehr hohe Werte an, die auch noch stark interpretationsbedürftig sind an. Es wird daher die DIN 4150-2 herangezogen. Die DIN 4150-2 gibt in der Tabelle 1 für die Mischzone einen oberen Anhaltswert A_0 von 5 an. Es handelt sich dabei um die bewertete Schwingstärke. Bei Impulsen liegt diese bei ca. der Hälfte der maximalen Schwinggeschwindigkeit. Also wären gegen 10 mm/s zulässig, dies aber nur als seltene Einzelereignisse (alle 5 Stunden ein solches Ereignis). Dies sind extrem gut spürbare, störende Ereignisse.

Tabelle 1: Anhaltswerte A für die Beurteilung von Erschütterungsimmissionen in Wohnungen und vergleichbar genutzten Räumen

Zeile	Einwirkungsort	Tags			Nachts		
		A_b	A_o	A_t	A_b	A_o	A_t
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 (vergleiche Industriegebiete BauNVO, § 9).	0,4	6	0,2	0,3	0,6	0,15
2	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend gewerbliche Anlagen untergebracht sind (vergleiche 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 (vergleiche Kerngebiete BauNVO, § 7, Mischgebiete BauNVO, § 6, Dorfgebiete BauNVO, § 5).	0,2	5	0,1	0,15	0,3	0,07
4	Einwirkungsorte, in deren Umgebung vorwiegend oder ausschließlich Wohnungen untergebracht sind (vergleiche reines Wohngebiet 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

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 gegen Erschütterungseinwirkungen vorgenommen ist, die Gebieteinteilung in der BauNVO aber auch anderen planerischen Erfordernissen Rechnung trägt.

Bild 8.2c Tabelle 1 nach DIN 4150-2.

Bei den Einzelereignissen müssten die über den Tag verschmierten Werte KB_{Fr} ermittelt werden. Dazu wäre aber die Kenntnis der Anzahl Ereignisse notwendig. Starke Erschütterungsereignisse sind auf der Bodenaufbereitungsanlage insbesondere beim Befüllen des Bunkers zu verzeichnen. Dies ist ein kurzes Ereignis, das maximal alle paar Minuten stattfindet. Solche Erschütterungen sollten auf maximal 1.0 mm/s Schwinggeschwindigkeit begrenzt werden.

9 Zusammenfassung und Beurteilung

Die durchgeführten Messungen und Prognoseberechnungen für die erschütterungsintensivsten Vorgänge der geplanten Bodenaufbereitungsanlage in Solothurn, basierend auf Erschütterungsmessungen an der Bodenaufbereitungsanlage in Rümlang sowie Messungen am Standort in Solothurn, zeigen Folgendes:

Verkehr mit Baufahrzeugen:

Die Erschütterungsimmissionen im Gebäude der Centris infolge Verkehrs mit Baufahrzeugen auf dem Areal der Bodenaufbereitungsanlage ist unkritisch. Sie liegen klar unterhalb der typischen Wahrnehmungsgrenze des Menschen von 0.2 mm/s. Sie sind somit auch für die Serveranlagen im Untergeschoss der Firma Centis unproblematisch. Es ist jedoch darauf zu achten, dass keine relevanten Unebenheiten in den Fahrbahnen vorhanden sind. Sollten solche, grösseren Unebenheiten entstehen, welche zu störenden Immissionen führen, so müssen diese ausgebessert, bzw. geglättet werden.

Betrieb des Bunkers:

Infolge Befahrens der Rampe des Bunkers (Bodenplatte 0.8 m stark) und insbesondere infolge ruppigen Befüllens des Bunkers, bzw. dem Leeren und dem Ausschütteln der grossen Schaufel des Radladers, entstehen im Gebäude der Centris, Erschütterungen auf den Geschossdecken, die schwach spürbar bis spürbar sein können. Die maximalen vertikalen Schwinggeschwindigkeiten auf den Deckenfeldern liegen beim normalen Befüllen des Bunkers typischerweise unter 0.5 mm/s. Damit liegen die erwarteten Erschütterungen klar unter dem zulässigen Wert für Serveranlagen von 2.0 mm/s und auch unter dem Richtwert für Einzelereignisse für den Menschen von 1.0 mm/s.

Betrieb des Brechers:

Unter Annahme, dass der Brecher so wie in Rümlang betrieben wird, jedoch nur 50 % der Erschütterungsamplituden emittiert und die Bodenplatte 0.5 m stark ist, betragen die prognostizierten Erschütterungen im Freien-Feld vor dem Gebäude der Centris 0.02 mm/s. Diese sind also nicht spürbar. In Rümlang wurde eine dominante Frequenz von 11 Hz beim Brecher gemessen. Da die Eigenfrequenzen der Decken der Centris auch im Bereich von 11 Hz liegen, so ist auf den Deckenfeldern mit vertikalen Schwinggeschwindigkeiten von 0.2 mm/s zu rechnen. Dies liegt bei der Wahrnehmungsgrenze des Menschen. Der Grenzwert der ISO 10137 für normale Büros liegt für Frequenzen um 11 Hz bei 0.5 mm/s, für ruhige Büros bei 0.25 mm/s. Damit wird auch der Grenzwert für ruhige Büros eingehalten.