

Straßenbauverwaltung Freistaat Bayern Straße / Abschnittsnummer / Station: B 2 / Abschn. 255, Stat. 0,000 – Abschn. 230, Stat. 7,045	
B 2 München-Mittenwald Verlegung östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel Bau-km 0+000 bis Bau-km 4+869	
PROJIS-Nr.: 09 890645 00	



FESTSTELLUNGSENTWURF

Erschütterungstechnisches Gutachten

Aufgestellt: Staatliches Bauamt Weilheim	
Scheckinger, Ltd. Baudirektor Weilheim, den 14.02.2025	

Gutachten

B2 München Mittenwald

**Verlegung östlich Garmisch-Partenkirchen mit
Wanktunnel**



Auftraggeber

Staatliches Bauamt Weilheim

Dokumenttitel

Erschütterungstechnisches Gutachten

Dokumentendatum

30.05.2023

Revision: 0



iC consulenten Ziviltechniker GesmbH
Schönbrunner Straße 297, 1120 Wien, Österreich
T +43 1 521 69-0, F +43 1 521 69-180
office@ic-group.org, www.ic-group.org
FN 137252 t

EN ISO 9001

DOKUMENTENKONTROLLBLATT

PROJEKTNUMMER: 13x220282

ERSTELLT DURCH: **iC consulenten Ziviltechniker GesmbH**
Schönbrunner Straße 297, A-1120 Wien
Tel: +43 1 521 69 0
Fax: +43 1 521 69 180
E-Mail: office@ic-group.org

ERSTELLT FÜR: **Staatliches Bauamt Weilheim**
D.I. 8FH) Tobias Wohlgemuth
Münchener Straße 39
82362 Weilheim i. Obb.
e-mail: tobias.wohlgemuth@stbawm.bayern.de

DATUM: 30.05.2023

BEARBEITER: D.I. Dr. Wolfgang Unterberger

Datum	Revision Nr.	Bearbeiter	Geprüft durch	Genehmigt durch	Unterschrift
30.05.2023	Rev. 0	Uw	Om	Uw	

INHALT

1.	Veranlassung	1
1.1.	Beauftragung	1
2.	Projektbeschreibung	2
3.	Verwendete Unterlagen	4
3.1.	Normen und Richtlinien	4
3.2.	Projektunterlagen	4
3.3.	Literatur	4
4.	Grenzwertdefinition	5
4.1.	Einwirkung auf Bauliche Anlagen - DIN 4150-3	5
4.2.	Wohlbefinden der Anrainer – DIN 4150-2	6
4.3.	Wohlbefinden der Anrainer – Sekundärschall	7
5.	Gebäudebestand	9
6.	Immissionsprognose	11
6.1.	Betriebsphase	11
6.2.	Bauphase	11
6.2.1.	Schwerer Tiefbau	11
6.2.2.	Tunnelbau - Sprengerschütterungen	19
6.2.3.	Tunnelbau - Sekundärschallimmissionen	26
7.	Maßnahmen	27
8.	Zusammenfassung	28
9.	Anhang A - Gebäudedokumentation	29
9.1.	Nordportal	29
9.2.	Südportal	41

TABELLEN

Tabelle 1: Anhaltswerte für $v_{i,max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Gebäude.	5
Tabelle 2: Frequenzunabhängige Anhaltswerte zur Beurteilung von kurzzeitigen Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke.	5
Tabelle 3: Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen.	6
Tabelle 4: Analytische Formeln für verschiedene Bautätigkeiten nach Achmus und Wieck.	12
Tabelle 5: Schwinggeschwindigkeiten v_i für verschiedene Walzengewichte.	13
Tabelle 6: W/f Werte für unterschiedliche Geräteleistungen und Arbeitsfrequenzen.	14
Tabelle 7: Schwinggeschwindigkeiten v_i für verschiedene W/f Werte.	15
Tabelle 8: Werte k, b und m nach Lüdeling und Hinzen (1986).	21
Tabelle 9: Messergebnisse des Sekundärschalls, Brenner Basistunnel (Quelle: iC consulenten).	26

ABBILDUNGEN

Abbildung 1: Variantenuntersuchung 2022 – Anschlußsstelle Nord.	3
Abbildung 2: Variantenuntersuchung 2022 – Anschlußsstelle Süd.	3
Abbildung 1: Begrenzung nächtlicher Schallimmissionen – Anzahl der Schallereignisse und Maximalpegel (modifiziert nach Griefahn, 1990)	8
Abbildung 2: Überblick Nordportal (Quelle: Bayernatlas).	9
Abbildung 3: Überblick Südportal (Quelle: Bayernatlas).	10
Abbildung 4: Immissionsmessung mit Versuchs-LKW in Ebensee, Mai 2012 (Quelle: iC consulenten).	11
Abbildung 5: Messergebnisse unterschiedlicher Bauarbeiten. (Quelle: iC consulenten)	12
Abbildung 6: Vergleich von Messdaten mit den Formeln von Achmus (Verdichtung).	14
Abbildung 7: Vergleich von Messdaten mit den Formeln von Achmus (Rammung).	15
Abbildung 8: Messdatensammlung (Bohrpfahl / Rüttelstopfverdichtung).	16
Abbildung 9: Messergebnisse Nordportal Kramertunnel – Schütten / Verdichten v_R	18
Abbildung 10: Messergebnisse Nordportal Kramertunnel – Schütten / Verdichten v_z	19
Abbildung 11: Erschütterungsimmissionen im Tunnelbau (Depta, 2017 bzw. Hiller&Crab, 2000). ..	20
Abbildung 12: Messergebnisse v_z vom Kramertunnel, Nordportal, Abstand 200 – 320 m.	22
Abbildung 13: Messergebnisse v_z vom Kramertunnel, Maximilanshöhe, Abstand 170 – 190 m.	23
Abbildung 14: Prognoseergebnisse Nordportal (Hartgestein / Dolomit).	24
Abbildung 15: Prognoseergebnisse Südportal (weiches bis mittelhartes Gebirge / Schiefer).	25

1. VERANLASSUNG

1.1. BEAUFTRAGUNG

iC consulenten ZT GmbH wurde mit Auftrag 22S0074 mit der Erstellung eines erschütterungstechnischen Gutachtens für das Vorhaben „B2 Ortsumfahrung Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel“ im Planfeststellungsverfahren beauftragt. Das Gutachten soll sich mit den Erschütterungen in Betriebs- und Bauphase – mit Schwerpunktlegung auf die Bauphase – befassen. Neben einer Darstellung der anzuwendenden Normen und Richtlinien und Prognosen der zu erwartenden Erschütterungen sind auch Maßnahmen zur Sicherstellung der Einhaltung der Anhalts- und Grenzwerte durch Beweissicherungen und Messungen zu erarbeiten.

2. **PROJEKTDESCREIBUNG**

Die folgenden Angaben wurden dem Erläuterungsbericht zum Vorentwurf 2022 entnommen und dienen der Übersicht.

Durch den Bau der Umfahrung soll der Ortsteil Partenkirchen vom Durchgangsverkehr in Richtung Bundesgrenze zur Republik Österreich und vom Ziel- und Quellverkehr zu den überregional bedeutsamen Sport- und Wandergebieten von Garmisch-Partenkirchen sowie der Region Mittenwald und Seefeld entlastet werden. Das Kernstück dieser Umfahrungsstraße bildet der Wanktunnel, welcher östlich von Garmisch-Partenkirchen das Wank-Massiv durchfährt.

Die Verlegung der B 2 östlich Garmisch-Partenkirchen mit Wanktunnel bildet zusammen mit der Maßnahme B 23, Verlegung westlich Garmisch-Partenkirchen mit Kramertunnel die Gesamtumfahrung des größten deutschen Wintersportortes und des Hauptortes der bedeutsamen Urlaubsregion am Fuße des Wettersteingebirges. Beide Maßnahmen zusammen bilden den südlichen Abschluss des Gesamtkonzeptes zur Ertüchtigung des Bundesstraßenzuges B 2/B 2 neu in Fortführung der Bundesautobahn A 95, München - Garmisch-Partenkirchen, die südlich der AS Eschenlohe endet und in die B 2/B 2 neu übergeht.

Die Baumaßnahme befindet sich am Südwesthang des Wank-Massives und liegt zur Gänze innerhalb der Gemeindegrenzen von Garmisch-Partenkirchen im Landkreis Garmisch-Partenkirchen.

Im Zuge einer Variantenstudie wurde die Trassenvariante A als Grundlage für die weiteren Planungen ausgewählt.

Die südliche Portallage dieser Variante wurde unter folgenden Gesichtspunkten konzipiert:

- Möglichst weites Abrücken vom Siedlungsgebiet Anzlesau
- Vermeidung von Eingriffen in landschaftlich wertvolle Bereiche (z.B. bestehende Buckelwiesen nördlich der bestehenden Bundesstraße 2)
- Ebene talseitige Flächen zur Kostenminimierung (Vermeidung von großen talseitigen Stützbauwerken) bei der Herstellung der Vollanschlussstelle (Entwicklungslänge der Anschlussstelle von ca. 1 km)

Die Tunnellänge bei dieser Variante beträgt ca. 3,5 km, die Gradientenneigung ca. 3,6%.

Das Tunnelbauwerk besteht aus einer Fahrrohre und einem parallel angeordneten befahrbaren Rettungstollen. Der Rettungstollen ist in Abständen von ca. 600 m über Querschläge mit der Fahrrohre verbunden.

Für die Anschlussstelle Nord wurde die im Vorentwurf 2011 ausgewählte Variante 1 richtlinienkonform adaptiert.

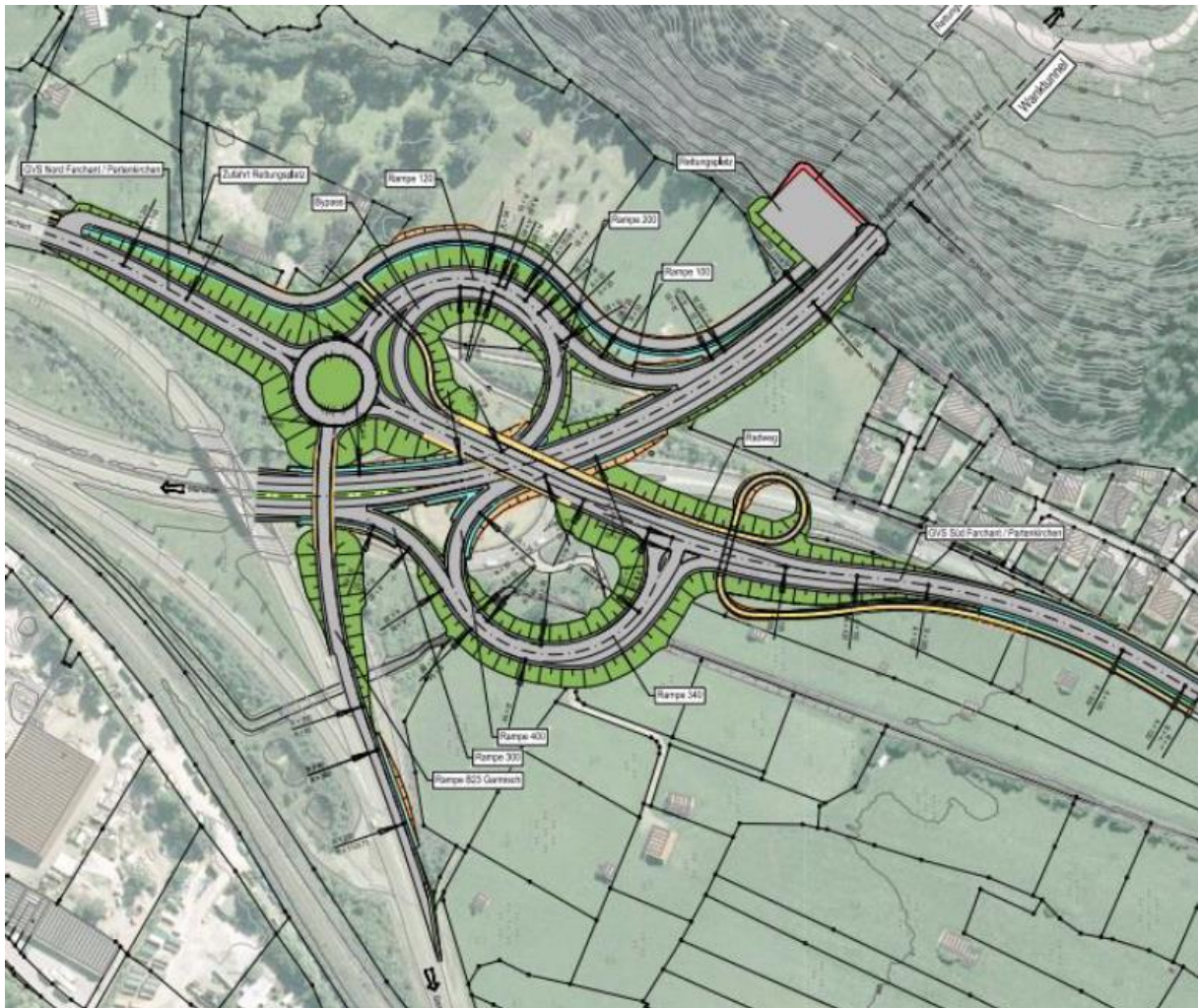


Abbildung 1: Variantenuntersuchung 2022 – Anschlussstelle Nord

Für die Anschlussstelle Süd wurde die im Vorentwurf 2011 ausgewählte Variante 1 richtlinienkonform adaptiert.

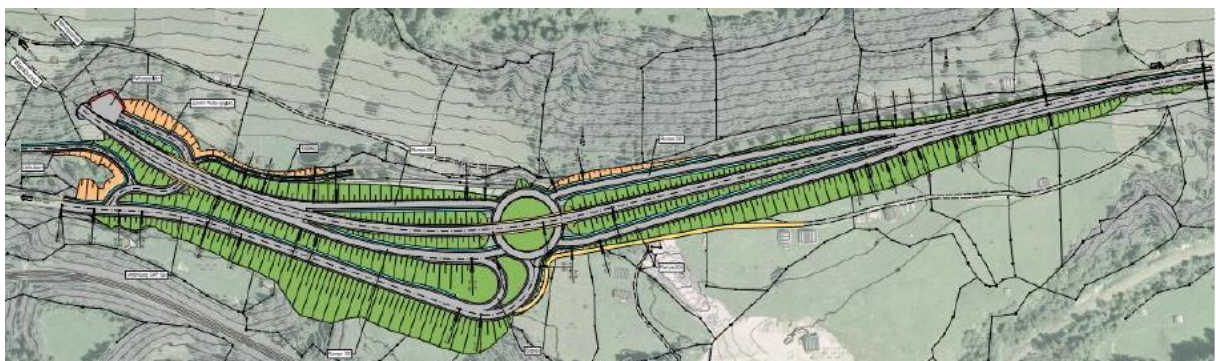


Abbildung 2: Variantenuntersuchung 2022 – Anschlussstelle Süd

Das Lüftungssystem sieht eine Lüftung mit Lüftergebäude am Südportal vor. Die Abluft wird über den vom Fahrraum durch eine Zwischendecke getrennten Luftkanal zum Südportal geführt.

3. VERWENDETE UNTERLAGEN

3.1. NORMEN UND RICHTLINIEN

- DIN 4150-1 (2001/06): „Erschütterungen im Bauwesen – Teil 1: Vorermittlung von Schwingungsgrößen“.
- DIN 4150-2 (1999/06): „Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden“.
- DIN 4150-3 (2016/12): „Erschütterungen im Bauwesen – Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen“.

3.2. PROJEKTUNTERLAGEN

- Planunterlagen zum Vorhaben, Planungsgemeinschaft Wanktunnel ILF-MH, 2022.
- Geologisch-hydrogeologischer Bericht und geologischer Längenschnitt zum Vorhaben, ILF Consulting Engineers Austria GmbH, 2022.

3.3. LITERATUR

- Achmus, M.; Kaiser, J.; F. tom Wörden (2005): „Bauwerksererschütterungen durch Tiefbauarbeiten“, Berichtsheft 20 des Instituts für Bauforschung e.V., Hannover.
- Achmus, M (2006): „Gebäudeerschütterungen infolge Erschütterungseinwirkungen aus Tiefbauarbeiten.“, Universität Hannover.
- Wieck, J. (2003), „Die vorsorgliche Beweissicherung im Bauwesen“ in „Schadensfreies Bauen“, Bd. 31, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- Koch, H.W. (1958): „Zur Möglichkeit der Abgrenzung von Lademengen bei Steinbruchsprengungen nach festgestellten Erschütterungsstärken.“ Nobel Heft 24, Seite 92 – 96.
- Lüdeling, R.; Hinzen, K.G. (1986): „Erschütterungsprognose und Erschütterungskataster - Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Sprengerschütterungen.“ Nobelhefte, April bis September 1986, S. 105 – 123.
- Depta, N. (2017): „Erschütterungen aus dem Baubetrieb.“, Masterarbeit am Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb der Ruhruniversität Bochum
- Hiller, D., Crabb, G. (2000) “TRL Report 429: groundborne vibration caused by mechanised construction works.” England: Transport Research Library (zitiert in Depta, N. (2017)).
- Wittke et al. (2007): “Stability Analysis and Design for Mechanized Tunnelling, Chapter 7, Vibrations and Ground Borne Noise.”, WBI Print 6, Aachen.
- Griefahn, B. (1990): “Präventivmedizinische Vorschläge für den nächtlichen Schallschutz.“, Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 37: 7-14.

4. GRENZWERTDEFINITION

4.1. EINWIRKUNG AUF BAULICHE ANLAGEN - DIN 4150-3

Der Schutz der Anrainerbebauung wird in der DIN 4150, Teil 3 (2016/12) geregelt. Es ist dabei die Schwinggeschwindigkeit v_i heranzuziehen. Dieser „Betrag maximalwert“ v_i ist der betragsmäßig größte Wert des Signals $v(t)$ in einer der drei Messrichtungen (x,y und z).

Arts des Gebäudes	Maximale Schwinggeschwindigkeit v_i [mm/s]			
	Frequenz f [Hz] am Fundament			Oberste Deckenebene, horizontal/vertikal
	1 bis 10 Hz	10 bis 50 Hz	50 – 100 Hz	Alle Frequenzen
Gewerblich genutzte Gebäude, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40 / 20
Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15 / 20
Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert sind.	3	3 bis 8	8 bis 10	8 / 20

Tabelle 1: Anhaltswerte für $v_{i,max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Gebäude.

Für automatisierte Messverfahren wurde in der Fassung der DIN 4150-3 vom Dezember 2016 in Anhang B / Tabelle B.1 ein „Alternatives Mess- und Auswerteverfahren“ festgelegt, bei dem für die Schwingungen am Fundament frequenzunabhängige Anhaltswerte festgelegt wurden. Die Verwendung dieses Verfahrens setzt den Einsatz bestimmter Filter nach DIN 45669-1 voraus.

Gebäudeart	Filter nach DIN 45669-1	Bezeichnung der Beurteilungsgeschwindigkeit	Anhaltswert [mm/s]
Gewerblich genutzte Gebäude, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	H_{VB1}	V_{B1}	20
Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	H_{VB2}	V_{B2}	5
Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen und besonders erhaltenswert sind.	H_{VB3}	V_{B3}	3

Tabelle 2: Frequenzunabhängige Anhaltswerte zur Beurteilung von kurzzeitigen Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke.

4.2. WOHLBEFINDEN DER ANRAINER – DIN 4150-2

Für Bauarbeiten gelten die Regelungen der DIN 4150-2, Kapitel 6.4.2. Es sind nur die Erschütterungseinwirkungen durch Bauarbeiten zu berücksichtigen. Es gilt das grundsätzliche Beurteilungsverfahren der DIN 4150-2, mit Anhaltswerten A_u , bei deren Unterschreitung die Forderungen der Norm eingehalten sind, Anhaltswerten A_o bei deren Überschreitung die Forderungen der Norm nicht eingehalten sind und von der Einwirkungsdauer abhängigen Anhaltswerten A_r , bei deren Unterschreitung die Norm zwischen A_u und A_o eingehalten ist.

Für die Einwirkungen von Bauarbeiten bei Tag gilt die folgende Tabelle 3, in der die Anhaltswerte von der Dauer der Bauarbeiten in Werktagen abhängig sind. Tage werden nur gezählt, wenn an ihnen tatsächlich Erschütterungseinwirkungen auftreten. Für Baustellensprengungen gilt allein das A_o Kriterium.

Die Beurteilung der Erschütterungseinwirkungen erfolgt in drei Stufen. Eine Einstufung in höhere Stufen erfordert begleitende Maßnahmen zur Minderung erheblicher Belästigungen. Für Stufe 3 sind erforderlich:

- Umfassende Information der Betroffenen über die Baumaßnahmen, die Bauverfahren, die Dauer und die zu erwartenden Erschütterungen aus dem Baubetrieb.
- Aufklärung über die Unvermeidbarkeit von Erschütterungen infolge der Baumaßnahmen und die damit verbundene Belästigung.
- Zusätzliche baubetriebliche Maßnahmen zu Minderung und Begrenzung der Belästigung (Pausen, Ruhezeiten, Betriebsweise der Erschütterungsquelle usw.).
- Benennung einer Ansprechstelle, an die sich Betroffene wenden können, wenn sie besondere Probleme haben.
- Information der Betroffenen über die Erschütterungseinwirkungen auf das Gebäude.
- Nachweis der tatsächlich auftretenden Erschütterungen durch Messungen sowie deren Beurteilung bezüglich der Wirkungen auf Menschen und Gebäude.

Alle diese Maßnahmen sind bei Großvorhaben wie der Errichtung des Wanktunnels als Teil des Abwicklungskonzeptes vorgesehen.

Dauer	D ≤ 1 Tag			6 Tage < D < 26 Tage			26 Tage < D < 78 Tage		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Anhaltswerte	A_u	A_o^*	A_r	A_u	A_o^*	A_r	A_u	A_o^*	A_r
Stufe I	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
Stufe II	1,2	5	0,8	0,8	5	0,6	0,6	5	0,4
Stufe III	1,6	5	1,2	1,2	5	1,0	0,8	5	0,6
*) Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt $A_o = 6$									

Tabelle 3: Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen.

4.3. WOHLBEFINDEN DER ANRAINER – SEKUNDÄRSCHALL

Sekundärschalleinwirkungen sind vor allem während der Sprengarbeiten bei Nacht zu beachten, hier besteht die Gefahr des Aufwachens. In Deutschland bestehen keine Normvorgaben für die einzuhaltenden Anhalts- oder Grenzwerte bei erschütterungsinduziertem Sekundärschall.

Im Bereich der Verkehrsimmissionen wird oft ein Urteil des Bundesverwaltungsgerichts (BVG) vom 19.04.2014 für den aus Erschütterungsimmissionen entstehenden sekundären Luftschall herangezogen, in dem festgelegt ist:

„Weder für die Ermittlung und Beurteilung von Geräuschimmissionen aus sekundärem Luftschall noch für eine diesbezügliche Zumutbarkeitsschwelle gibt es normative Festsetzungen. Welche Innenschallpegel für die Bewohner von Häusern zumutbar sind, kann jedoch in Orientierung an den Vorgaben der auf öffentliche Verkehrsanlagen bezogenen Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung (24. BImSchV [12]) bestimmt werden, da es sich auch beim sekundären Luftschall um einen verkehrs-induzierten Lärm handelt ... Zutreffend geht diese auch davon aus, dass in Übereinstimmung mit den Vorgaben der 24. BImSchV die Zumutbarkeitsschwelle für einwirkenden sekundären Luftschall bei 40 dB(A)/tags für Wohnräume und 30 dB(A) nachts für Schlafräume liegt.“

Allerdings sind diese, auf äquivalente Dauerschallpegel ausgelegten, Zumutbarkeitsschwellen für die nur zwei bis drei Mal pro Nacht auftretenden Sprengungen wenig geeignet. Immissionen von Sprengarbeiten dauern wenige Sekunden, bei Ermittlung äquivalenter Dauerschallpegel werden zu niedrige Werte ermittelt.

Alternativ wird daher hier eine Herangehensweise nach B. Griefahn (1990) vorgeschlagen, deren Untersuchungen auf Betrachtungen des Fluglärms aufbauen. Wird in Abbildung 3 ein Maximum von drei Sprengereignissen pro Nacht angenommen, ergibt sich eine Nullreaktion bei $L_{A,max} = 50$ dB und Aufwachreaktionen ab $L_{A,max} = 57$ dB. Es wird daher vorgeschlagen, die Sekundärschallimmissionen zufolge Sprengungen **auf $L_{A,max} = 55$ dB** zu begrenzen.

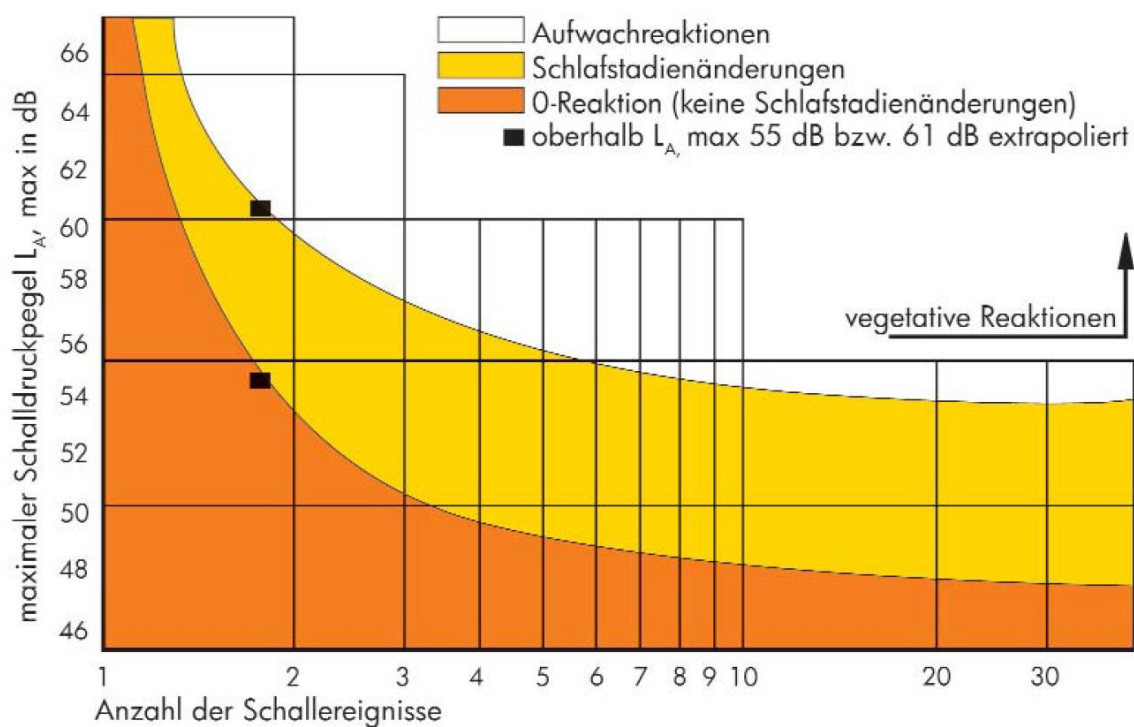


Abbildung 3: Begrenzung nächtlicher Schallimmissionen – Anzahl der Schallereignisse und Maximalpegel (modifiziert nach Griefahn, 1990)

5. GEBÄUDEBESTAND

Eine Fotodokumentation der wesentlichen Gebäude im Einflussbereich der Bauarbeiten findet sich im Anhang.

Am Nordportal befindet sich eine Siedlung mit Wohngebäuden süd-westlich des Tunnelportals, die nach Zeile 2 der Tabelle 1 der DIN 4150-3 zu beurteilen sind. Nord-östlich des Tunnelportals befinden sich die Betriebsanlagen der Baufirma Feuerecker, die nach Zeile 1 der Tabelle 1 der DIN 4150-3 zu beurteilen sind. Ein Containerdorf direkt in Straßenachse wird abgetragen, ein Transformatorgebäude am Rand der Siedlung Münchnerstraße / Am Brännl ist nach Zeile 1 der Tabelle 1 der DIN 4150-3 zu beurteilen. Die restlichen Gebäude in diesem Bereich sind landwirtschaftliche Nutzgebäude in Holzbauweise, die nicht näher untersucht werden, auch weil ihr Abstand zu den Bauarbeiten eine negative Beurteilung ausschließt.

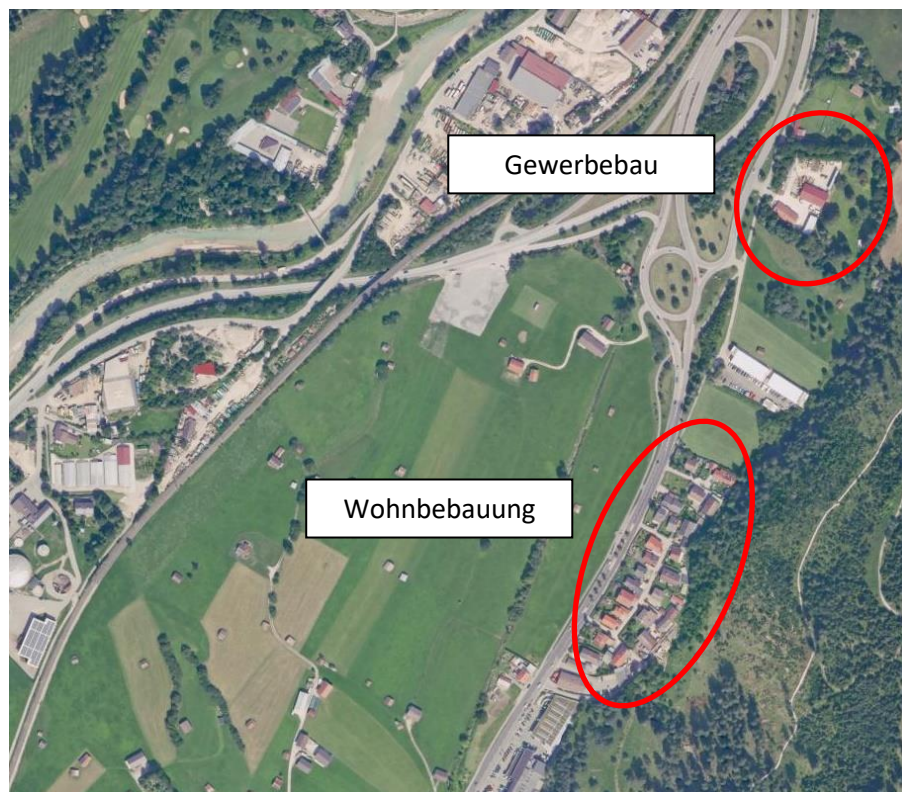


Abbildung 4: Überblick Nordportal (Quelle: Bayernatlas)

Am Südportal befinden sich zwei Wohnbauten im Einflußbereich der Arbeiten (Anwesen Anzelsau), die nach Zeile 2 der Tabelle 1 der DIN 4150-3 zu beurteilen sind. Direkt über der Tunneltrasse (ca. 50 m Überlagerung) befindet sich der Hochbehälter Gsteig. Der Hochbehälter wäre grundsätzlich der Zeile 1 zuzuordnen, wird aber auf Grund der Anforderung an die Wasserdichtigkeit wie ein Wohngebäude behandelt (Zeile 2 der DIN 4150-3). Die restlichen Gebäude in diesem Bereich sind landwirtschaftliche Nutzgebäude in Holzbauweise, die nicht näher untersucht werden, auch weil ihr Abstand zu den Bauarbeiten eine negative Beurteilung ausschließt.

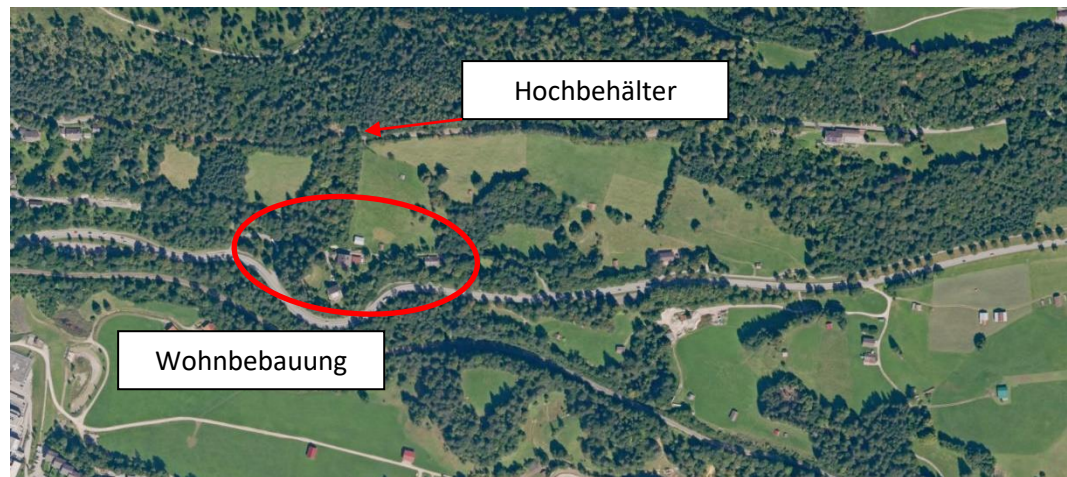


Abbildung 5: Überblick Südportal (Quelle: Bayernatlas)

Weder am Nord- noch am Südportal liegen Baudenkmäler oder geschützte Ensembles vor (Quelle: Bayernatlas).

6. IMMISSIONSPROGNOSE

6.1. BETRIEBSPHASE

Der gummibereifte LKW-Verkehr erzeugt in der Regel auf befestigten Straßen, sofern diese in gutem Zustand sind, keine Erschütterungen, die Gebäudeschäden erzeugen oder unzulässige Einwirkungen auf die Menschen in Gebäuden verursacht.

Dies wurde im Mai 2012 neuerlich im Rahmen der UVE für das Pumpspeicherkraftwerk Ebensee in Oberösterreich messtechnisch überprüft. Ein 40 Tonnen LKW fuhr dabei mehrfach mit ca. 40 km/h an Gebäuden vorbei, in denen Messgeräte aufgestellt waren.

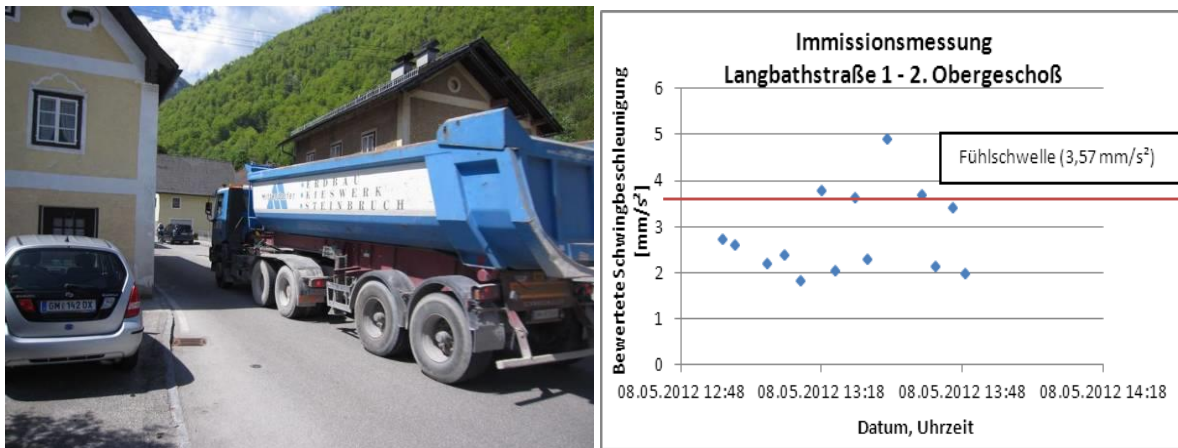


Abbildung 6: Immissionsmessung mit Versuchs-LKW in Ebensee, Mai 2012 (Quelle: iC consulenten)

Die Messungen in einem Gebäude alter Bauart im 2. Stock auf einer Holzdecke zeigen, dass auch bei dieser worst-case Belastung die Immissionen im Bereich der Fühlschwelle ($a_w = 3,57 \text{ mm/s}^2$ entspricht $KB=0,1$) liegen. In Gebäuden modernerer Bauart blieben die Immissionen unter der Fühlschwelle.

Wichtig ist – besonders in der Bauphase – die Sicherstellung einer Fahrbahnoberfläche in gutem Zustand.

6.2. BAUPHASE

6.2.1. Schwerer Tiefbau

Für die Auswirkungen des schweren Tiefbaus, besonders Verdichtungs-, Spundwand- und Tiefgründungsarbeiten wird auf eine Kombination von Erfahrungswerten aus Messungen bei anderen Baustellen und analytischen Formeln zurückgegriffen.

Abbildung 7 gibt als erste Information einen Überblick über die Messdatenbank von iC consulenten. Die Daten wurden bei unterschiedlichen, meist großen Projekten im Voralpenraum gemessen. Die Daten stellen am Fundament gemessene Vektorsummen der Schwinggeschwindigkeit dar. Es zeigt sich im großen Überblick, dass die Immissionen in 5 m Abstand zum Gebäude nur geringfügig über 10 mm/s ansteigen können und in 15 m Entfernung meist unter 5 mm/s liegen.

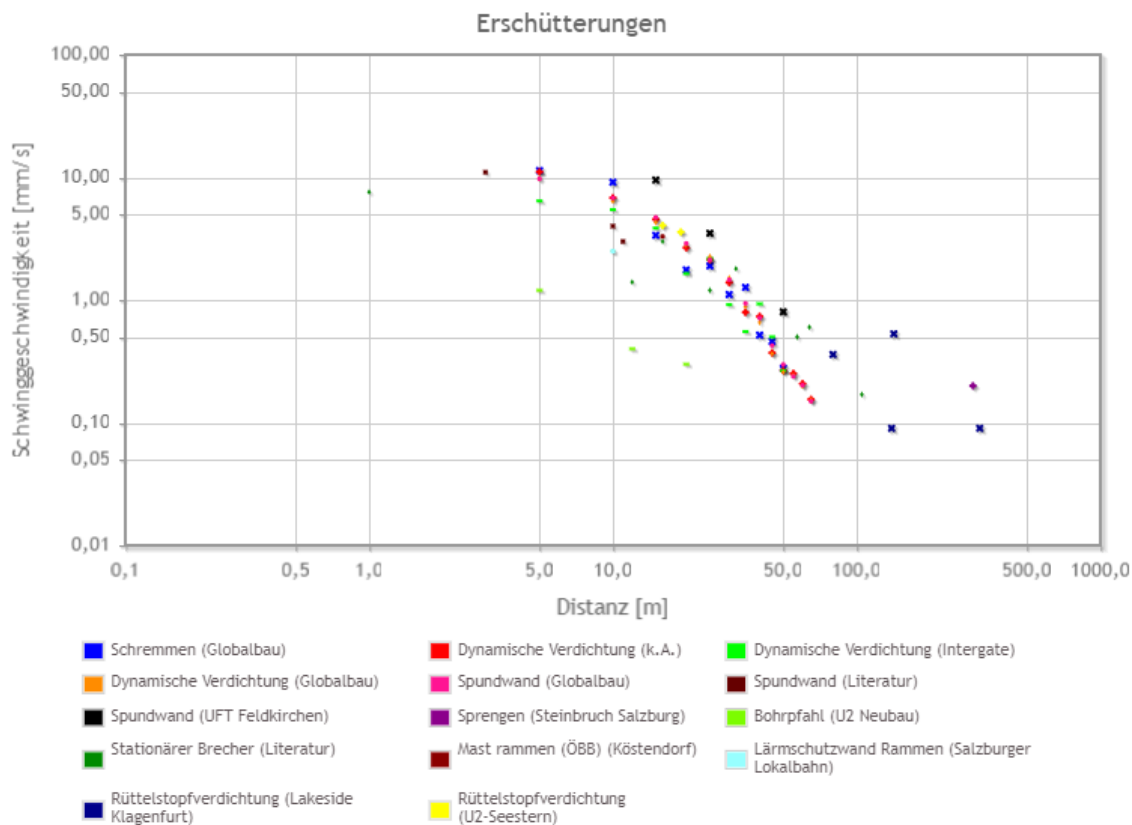


Abbildung 7: Messergebnisse unterschiedlicher Bauarbeiten. (Quelle: iC consulenten)

Eine in der Praxis häufig angewendete analytische Vorgangsweise ergibt sich aus den Veröffentlichungen von Achmus (2005, 2006) und Wieck (2003).

		Wahrscheinlicher Wert (50% Überschreitungs- wahrscheinlichkeit)	Ungünstiger Wert (2,25% Überschreitungs- wahrscheinlichkeit)
nRammung	Vibration	$v_{i.max}^F = 7,9 \frac{\sqrt{W/f}}{r}$	$v_{i.max}^F = 18,52 \frac{\sqrt{W/f}}{r}$
	Schlagrammung (Dieselbär)	$v_{i.max}^F = 2,45 \frac{\sqrt{E}}{r}$	$v_{i.max}^F = 3,82 \frac{\sqrt{E}}{r}$
	Schlagrammung (Freifallbär)	$v_{i.max}^F = 11,07 \frac{\sqrt{E}}{r^{1,3}}$ nach Wieck	
		$v_{i.max}^F = 6,2 \frac{\sqrt{E}}{r}$	$v_{i.max}^F = 14,1 \frac{\sqrt{E}}{r}$
Verdichtung	Vibrationsplatte	$v_{i.max}^F = 4,31 \frac{\sqrt{G}}{r}$	$v_{i.max}^F = 10,87 \frac{\sqrt{G}}{r}$
	Vibrationswalze		
E bzw. W/f in kNm, r in m, G in t, v in mm/s			

Tabelle 4: Analytische Formeln für verschiedene Bautätigkeiten nach Achmus und Wieck.

In den obigen Formeln bedeutet W die Motorleistung der Ramme in kW, f die Rüttelfrequenz, E die Fallenergie einer Ramme (Masse x Weg) und G das Gewicht einer Verdichtungswalze.

Dynamische Verdichtung

Werden die obigen Formeln auf gängige Walzengewichte angewendet (wobei hier als G die „Radlast“ der mit dynamischer Unwucht versehenen Walze verstanden wird, was üblicherweise ca. 60% der Gesamtmasse der Walze entspricht), so ergeben sich in Tabellenform die folgenden Aufstellungen:

Vibrationswalze 50% Überschreitungswahrscheinlichkeit				
v_i [mm/s]				
Abstand [m]	2,50 to	5,00 to	10,00 to	15,00 to
5	1,36	1,93	2,73	3,34
10	0,50	0,60	0,71	0,79
15	0,20	0,22	0,24	0,25
20	0,10	0,10	0,11	0,11
25	0,05	0,05	0,06	0,06

Vibrationswalze 2,25%				
v_i [mm/s]				
Abstand [m]	2,50 to	5,00 to	10,00 to	15,00 to
5	3,44	4,86	6,87	8,42
10	2,02	2,40	2,85	3,15
15	1,03	1,12	1,22	1,29
20	0,55	0,58	0,60	0,62
25	0,32	0,33	0,34	0,34

Tabelle 5: Schwinggeschwindigkeiten v_i für verschiedene Walzengewichte.

Achmus prognostiziert mit seinen Formeln die größte Komponente v_i der Fundamentalschwingungen im Sinne der DIN 4150-3. Fachlich ist hier zu beachten, dass dynamische Verdichtung in großer Nähe zu Gebäuden (Gräben für Entwässerungen, Hausanschlüsse etc.) meist mit leichten Walzen erfolgen und dynamische Verdichtung mit schweren Walzen auf großen Schüttungen in größeren Abständen erfolgen. Die Tabellen zeigen aber deutlich, dass eine Beschränkung der Fundamentalschwingungen auf 5 mm/s durch entsprechende Wahl des Verdichtungsgerätes leicht möglich ist.

In Abbildung 8 werden nun die Messdaten aus der iC Datenbank der Formel von Achmus gegenübergestellt. Für die Formel von Achmus wird ein schweres Gerät mit 15 to Auflast auf der dynamisch angeregten Walze angenommen und die 2,25% Formel verwendet. Für die Daten aus der Messdatenbank wird die größte Komponente v_i aus den gemessenen v_R Werten über $v_i = v_R/\sqrt{2}$ abgeschätzt.

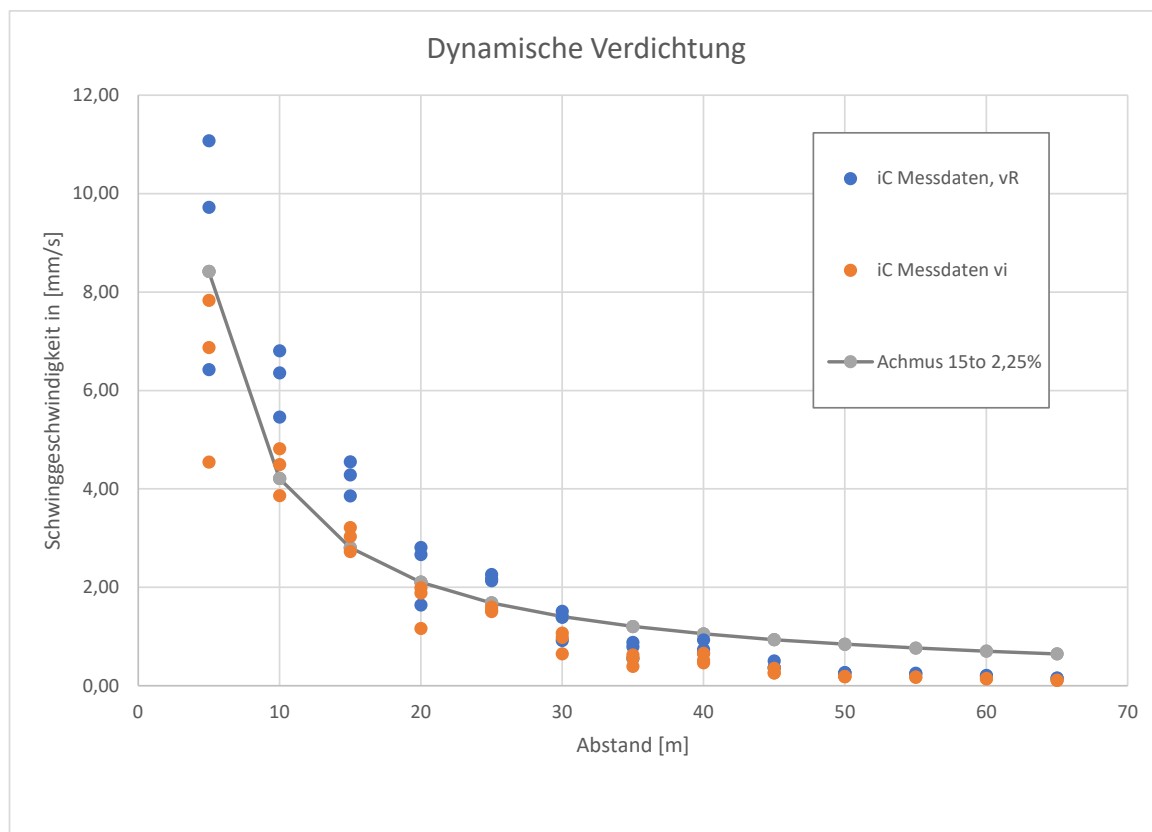


Abbildung 8: Vergleich von Messdaten mit den Formeln von Achmus (Verdichtung).

Im Nahfeld zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den Vorhersagen von Achmus und den Messwerten. Ab etwa 30 m ist die Formel von Achmus konservativ, vermutlich auf Grund der fehlenden Ansätze für die Bodendämpfung. Ein Wert von 5 mm/s am Fundament kann in 10 m Entfernung zum Gerät eingehalten werden.

Spundwandaarbeiten

Beim Einrütteln von Spundwänden sind die Formeln von Achmus vom Faktor W/f abhängig, der Motorleistung der Ramme dividiert durch die Arbeitsfrequenz. Dieser Wert ist nur beschränkt intuitiv, daher die folgenden Beispiele. Arbeitsfrequenzen um 30 Hz sind gängig. Eine relativ schwere Ramme ist die Liebherr LRB 16 mit 390 kW Leistung.

Tabelle 6 gibt W/f Werte für eine leichte (200 kW) und eine schwere (400 kW) Ramme und unterschiedliche Arbeitsfrequenzen.

	20 Hz	30 Hz	40 Hz
200 kW	10,00	6,67	5,00
400 kW	20,00	13,33	10,00

Tabelle 6: W/f Werte für unterschiedliche Geräteleistungen und Arbeitsfrequenzen.

Vibrationsramme 50% Überschreitungswahrscheinlichkeit					
v_i [mm/s]					
Abstand [m]	7,50 kNm	10,00 kNm	12,50 kNm	15,00 kNm	20,00 kNm
5	4,33	5,00	5,59	6,12	7,07
10	1,64	1,77	1,87	1,95	2,10
15	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76
20	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35
25	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19

Vibrationsramme 2,25% Überschreitungswahrscheinlichkeit					
v_i [mm/s]					
Abstand [m]	7,50 kNm	10,00 kNm	12,50 kNm	15,00 kNm	20,00 kNm
5	10,14	11,71	13,10	14,35	16,56
10	5,90	6,34	6,70	7,01	7,54
15	3,00	3,11	3,20	3,27	3,39
20	1,60	1,63	1,66	1,67	1,70
25	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97

Tabelle 7: Schwinggeschwindigkeiten v_i für verschiedene W/f Werte.

Auch hier zeigt sich, dass durch Wahl eines leichteren Gerätes in der Nähe von Gebäuden Rammungen ohne Grenzwertüberschreitungen durchgeführt werden können.

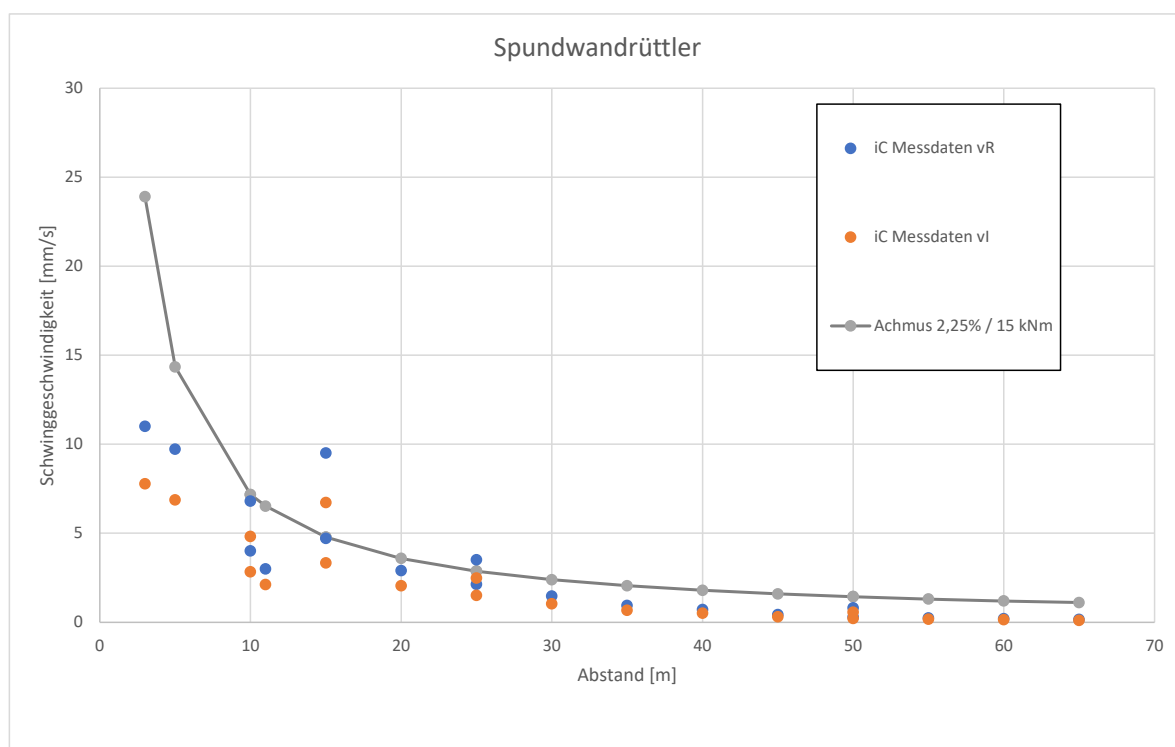


Abbildung 9: Vergleich von Messdaten mit den Formeln von Achmus (Rammung).

In Abbildung 9 werden wieder die Messdaten aus der iC Datenbank der Formel von Achmus gegenübergestellt. Für die Formel von Achmus wird ein schweres Gerät $W/f = 15$ kNm und die 2,25% Formel verwendet. Für die Daten aus der Messdatenbank wird die größte Komponente v_i aus den gemessenen v_R Werten über $v_i = v_R/\sqrt{2}$ abgeschätzt.

Auch hier zeigt sich grundsätzlich eine gute Übereinstimmung, wobei im extremen Nahfeld (< 10 m) die Prognosen von Achmus deutlich über den Messwerten liegen. Neben wellendynamischen Überlegungen gilt hier, dass die Anregung der Erschütterung stark am Bohlenfuß erfolgt und die höchste Maschinenkraft bei Erreichen der Solltiefe der Bohle erforderlich ist. Dementsprechend entspricht dann der horizontale Abstand nicht mehr dem Raumabstand.

Mit Ausnahme eines einzelnen Messwertes zeigen die Prognosen von Achmus und die Messungen, dass die Schwingungen in 15 m Abstand auf 5 mm/s begrenzt werden können.

Tiefgründung

Für Tiefgründungen wie Bohrpfahlarbeiten fehlen analytische Formeln im Werk von Achmus. Hier wird allein auf die Bauerschütterungsdatenbank von iC consulenten zurückgegriffen, die aber – wie in den vorigen Abschnitten dargestellt – gut mit vorsichtigen Ansätzen aus dem analytischen Formelwerk übereinstimmen.

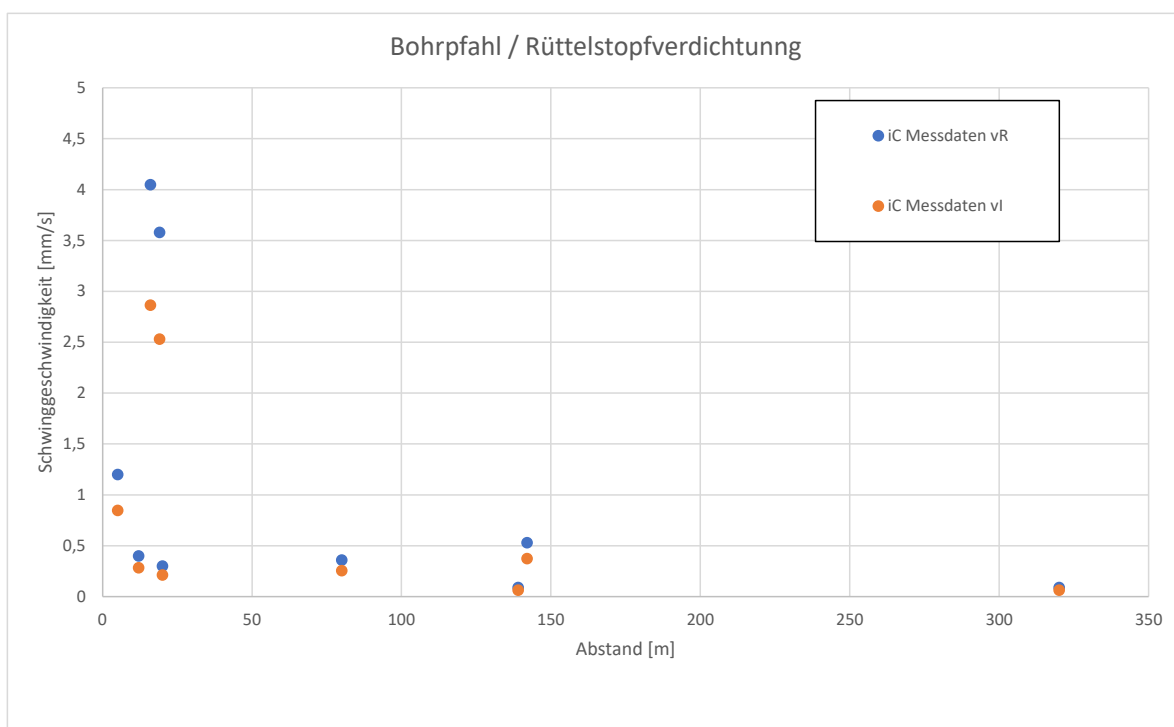


Abbildung 10: Messdatensammlung (Bohrpfahl / Rüttelstopfverdichtung).

Die Messdaten von Tiefgründungen zeigen generell kleinere Werte als die anderen Bauverfahren. Die höheren Werte sind dabei den Rüttelstopfverdichtungen zuzuordnen. Bei Bohrpfählen sind vor allem dann, wenn Schneckenförderung ausreicht, die Immissionen sehr niedrig.

Projektspezifische Interpretation

Im Projekt Wanktunnel sind für die Anrainergebäude am Nord- und Südportal die dynamischen Verdichtungsarbeiten für die Schüttungen der Rampenbauwerke der

Anschlußstellen die relevantesten Bauarbeiten. Spundwanddrämmungen sind nur in sehr beschränktem Umfang geplant, Tiefgründungen nur im Bereich der Brückenbauwerke (K 0/1 und K 0/3), die mittig in den Anschlußstellen gelegen sind und in größerem Abstand zu den Anrainergebäuden liegen. Zusätzlich wurden die Tiefgründungen (siehe Abbildung 10) als untergeordnete Immission klassifiziert.

Für die dynamische Verdichtung kann auch bei Einsatz schweren Gerätes und unter Verwendung der konservativen Formel von Achmus mit hoher Prognosesicherheit (siehe Abbildung 8) das Einhalten von $v_i = 5 \text{ mm/s}$ am Fundament von Wohngebäuden in einem Abstand von unter 10 m sichergestellt werden. Für gewerblich genutzte Bauten (wie die Anlagen der Bauunternehmung Feurerecker und die verschiedenen landwirtschaftlichen Nutzgebäude) wird ein Einhalten des Anhaltswertes von $v_i = 20 \text{ mm/s}$ auch bei sehr geringem Abstand $< 5 \text{ m}$ prognostiziert.

In Bezug auf die Einwirkung auf Menschen in Gebäuden ist eine genaue Prognose der zu erwartenden Immissionen nicht sinnhaft bzw. möglich, da hier der gesamte – noch unbekannte – Maschineneinsatz berücksichtigt werden müsste. Eine Abschätzung ist jedoch über die erwarteten Emissionen der Verdichtungsarbeiten möglich.

Die Dimensionierung erfolgt nach DIN 4150-2, Tabelle 2 für den Bereich mit Bauarbeiten von 26 – 78 Tagen Dauer. Es kann von einer Betreuung der Baustelle nach Stufe III ausgegangen werden, womit A_u bei 0,8 liegt.

Bei Verwendung der – sehr konservativen – Formel nach Achmus (schweres Gerät mit hoher Prognosesicherheit (siehe Abbildung 8) kann mit einem Erhöhungsfaktor Fundament – Decke von 3,0 und einer Arbeitsfrequenz von 30 Hz über die Formeln (6) und (7) aus DIN 4150-2:

$$KB = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{v_{max}}{\sqrt{\left(1 + \left(\frac{fo}{f}\right)^2\right)}}$$
$$KB_{Fmax}^* = KB \cdot c_F$$

bei vorsichtiger Annahme von $c_F = 0,9$ ein Unbedenklichkeitsabstand von 30 – 35 m abgeschätzt werden, bei dem $A_u = 0,8$ eingehalten ist. Dies ist bei den Schüttungen der Anschlußstellen praktisch überall gegeben (lediglich am Nordportal liegen zwei Gebäude in einem geringeren Abstand zum Beginn der Rampe GVS Süd Farchant / Partenkirchen mit extrem niedrigen Schütthöhen) wobei zusätzlich zu bedenken, dass sich Verdichtungsarbeiten naturgemäß über einen größeren Bereich erstrecken und im Laufe eines Arbeitstages die Walze sich über Dutzende bis Hunderte Meter bewegt und Arbeiten im Minimalabstand von 30 – 35 m zum Gebäude nur über wenige Minuten erfolgen.

Die Arbeiten werden in exponierten Gebäuden messtechnisch begleitet, was eine Steuerung der Arbeiten (neben Wahl leichteren Gerätes und Änderung der Arbeitsfrequenz vor allem gute Verteilung der Arbeitsorte über das Baufeld ohne übermäßige Belastung von Einzelgebäuden) erlaubt.

Erfahrungswerte vom Kramertunnel

Zur Verifikation der obenstehenden Überlegungen stehen Messergebnisse vom Nordportal des Kramertunnels zur Verfügung, wo ebenfalls eine Anschlussstelle errichtet wurde. Der Untergrund ist in diesem Bereich (Siedlung Weidlegraben) aber ungünstiger – weil weicher – als im Bereich der Portale des Wanktunnels.

Während der Schüttung und Verdichtung eines Lärmschutzwalles wurden in einem den Bauarbeiten nahe liegendem Gebäude die in Abbildung 11 und Abbildung 12. dargestellten Immissionen gemessen. Der minimale Abstand der Arbeiten betrug ca. 30 m. Die Schütt- und Verdichtungsarbeiten erstreckten sich jedoch über einen Bereich von ca. 150 m. Die resultierende Schwinggeschwindigkeit betrug mit wenigen Ausnahmen maximal 0,5 bis 0,6 mm/s, die Komponente mit der größten Schwinggeschwindigkeit war die vertikale Komponente mit – wiederum mit wenigen Ausnahmen – 0,4 bis 0,5 mm/s.

Die Messergebnisse liegen tendenziell unter den Werten aus Abbildung 8.

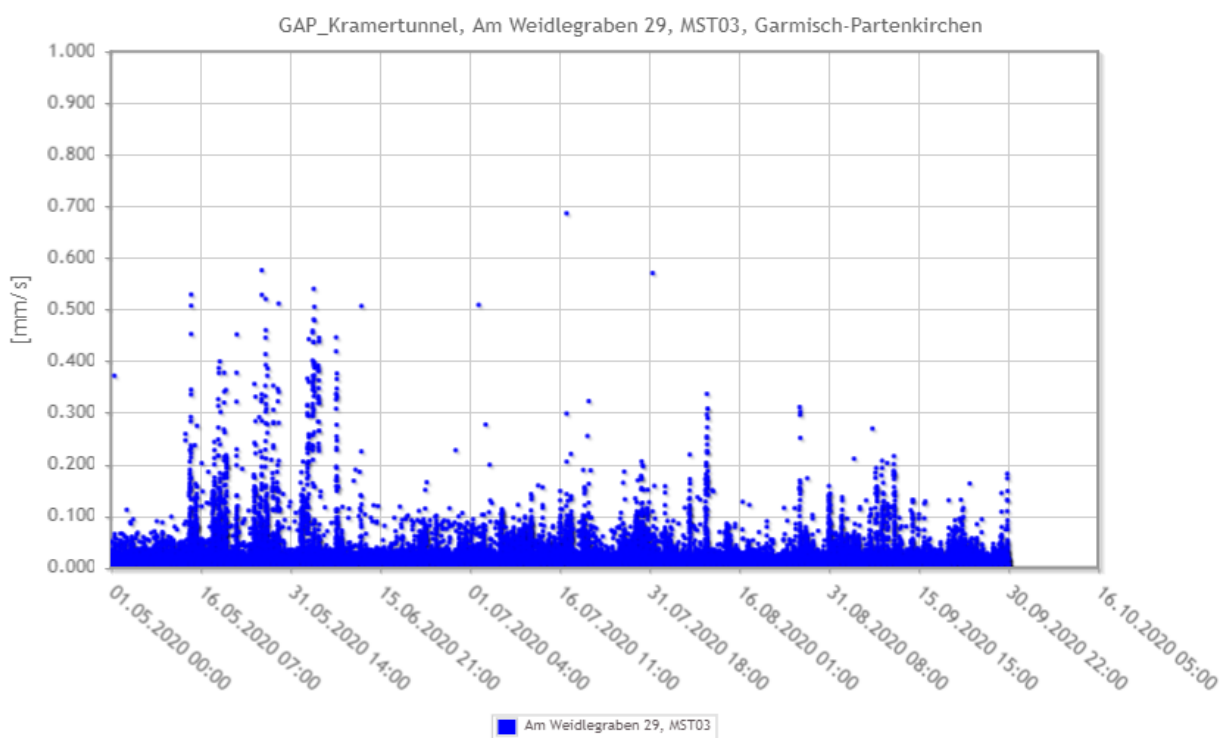


Abbildung 11: Messergebnisse Nordportal Kramertunnel – Schütten / Verdichten v_R

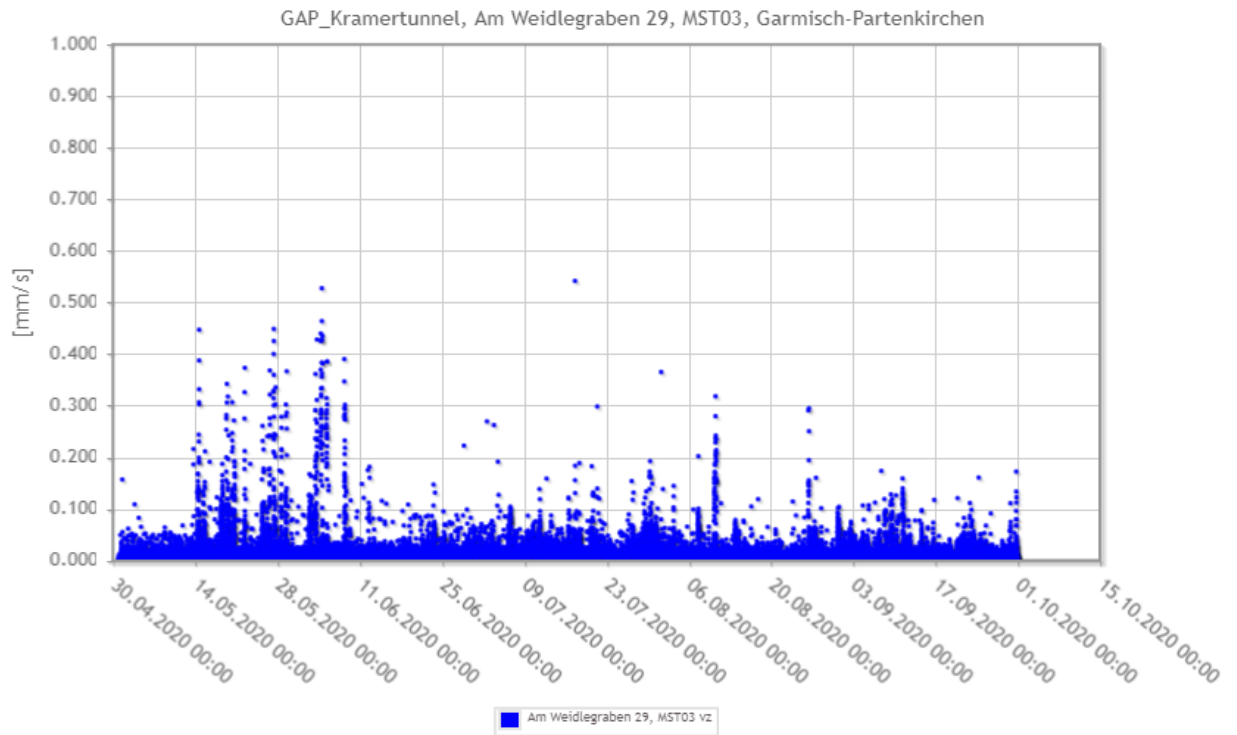


Abbildung 12: Messergebnisse Nordportal Kramertunnel – Schütten / Verdichten v_z

6.2.2. Tunnelbau - Sprengerschütterungen

Im Tunnelbau sind generell vor allem Sprengerschütterungen von Bedeutung. Depta (2017) gibt in Ihrer Masterarbeit einen guten Überblick über die verschiedenen Erschütterungsquellen im Tunnelbau mit unterschiedlichen Bauverfahren, die auf Untersuchungen von Hiller & Crab (2000) basieren (siehe Abbildung 13). Diese Untersuchungen zeigen deutlich die Dominanz der Sprengerschütterungen.

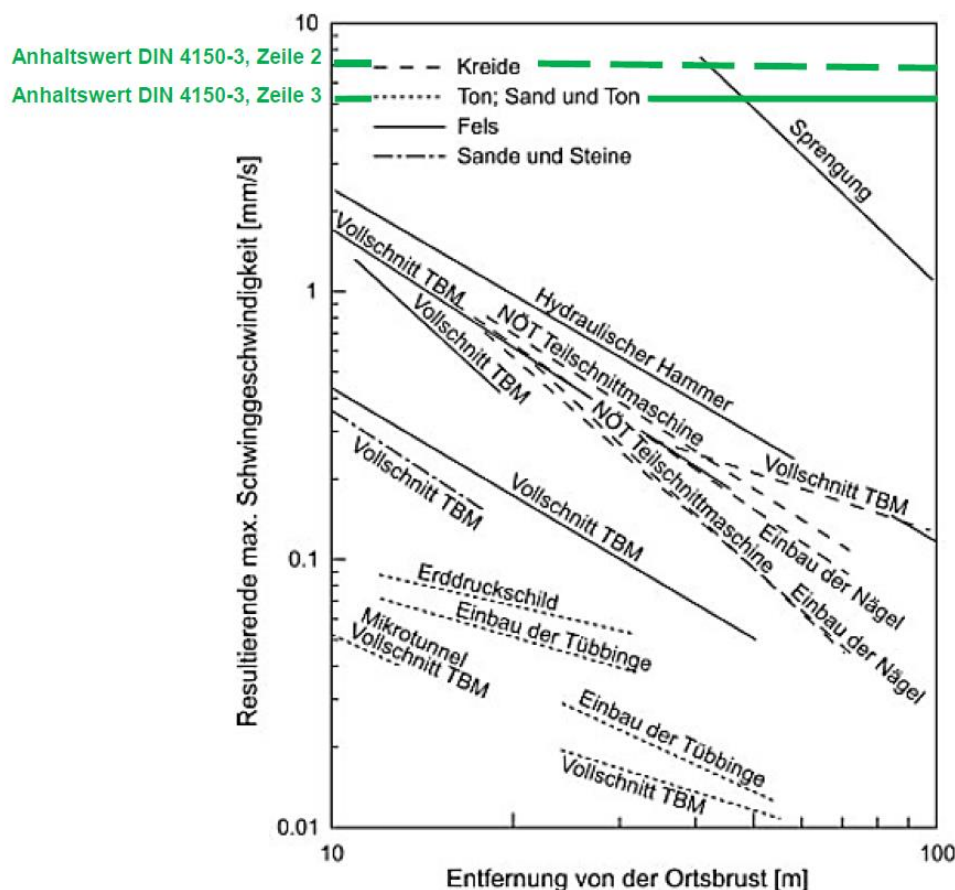


Abbildung 13: Erschütterungsimmissionen im Tunnelbau (Depta, 2017 bzw. Hiller&Crab, 2000).

Am Wanktunnel kommt im Tunnelbau weitgehend Sprengvortrieb zum Einsatz, lediglich im Bereich des Südportals wird von 20 – 100 m Lockergesteinsvortrieb ausgegangen.

Die Ermittlung der zu erwartenden Sprengerschütterungen basiert auf empirischen Formeln, deren Ergebnisse mit Erfahrungswerten erhärtet werden. Prognoseverfahren für Sprengerschütterungen beruhen meist auf der Koch'schen Formel (Koch, 1958), die in DIN 4150-1 wie folgt erweitert wird:

$$v = k \cdot L^b \cdot R^m$$

Wo:

v	Schwinggeschwindigkeit [mm/s]
k,b,m	empirische Faktoren
L	Lademenge pro Zündstufe [kg]
R ...	Abstand [m]

Lüdeling und Hinzen (1986) haben auf dieser Basis das „Erschütterungszahlverfahren“ erarbeitet und Kennwerte für k, b und m für unterschiedliche Gesteine vorgeschlagen. Für unterschiedliche Gebirgsarten geben Lüdeling und Hinzen folgende Werte an:

	Kristallines Gestein	Hartes Gestein	Harter Kalkstein	Hartgestein	Sedimente	Weiches bis mittelhartes Gestein
	z.B. Granit, Granodiorit	z.B. Gneise	z.B. Wettersteinkalk	z.B. Dolomit	z.B. weicher Kalk	z.B. Schiefer
k	206	235	646	897	969	1299
b	0,8	0,8	0,59	0,68	0,6	0,6
m	-1,30	-1,27	-1,52	-1,51	-1,50	-1,52

Tabelle 8: Werte k, b und m nach Lüdelling und Hinzen (1986).

Von verschiedenen Autoren wurden für andere Gesteinsarten derartige Werte vorgeschlagen, etwa Wittke et al. (2007). Eine gute Zusammenfassung findet sich in Depta (2017). Die Werte nach Tabelle 8 reichen aber meist aus bzw. geben sie die vorsichtigeren Ergebnisse.

Entsprechend den vorliegenden geologischen Untersuchungen wurden für das Nordportal die Werte für Hartgestein / Dolomit herangezogen. Am Südportal spricht das geologische Gutachten von „Tonen und Mergeln in Wechsellagerung mit Kalken und Mergeln“, es wurden daher die Werte für „weiches bis mittelhartes Gebirge / Schiefer“ herangezogen.

Die Formel von Lüdelling und Hinzen prognostiziert den Vektor der Schwinggeschwindigkeit im Freifeld. Um auf Anhaltswerte $v_{i,max}$ am Fundament zu kommen, wird einerseits nach DIN 4150-1 ein Übertragungswert Boden – Fundament von 0,5 angesetzt (die Sprengimmissionen haben einen Frequenzgehalt deutlich über der Bauwerkseigenfrequenz) und andererseits v_i durch $v_R/\sqrt{2}$ abgeschätzt.

Zu Plausibilisierung stehen Messergebnisse der Bauwerksüberwachung vom Kramertunnel zur Verfügung. Am Nordportal wurden in einem Abstand von 200 – 320 m in einem exponierten Gebäude Fundamentalschwingungen v_z von 0,15 bis 0,25 mm/s gemessen (Abbildung 14). Im Bereich Maximilanshöhe wurden in einem Abstand von 175 – 190 m (der Tunnel umfährt dort das Gebäude nahezu kreisförmig) in einem exponierten Gebäude Fundamentalschwingungen v_z von 0,20 bis 0,30 mm/s gemessen (Abbildung 15).

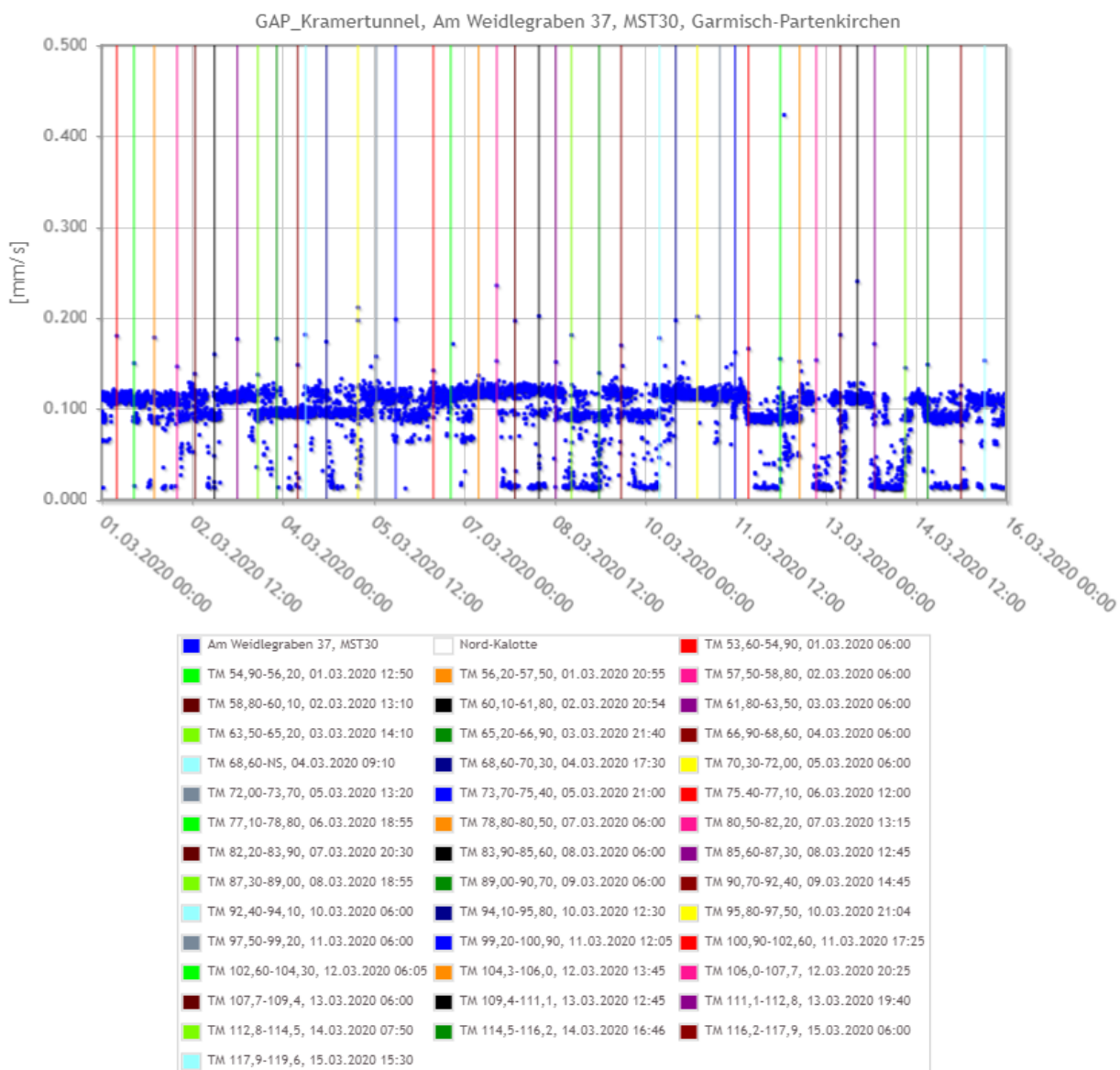


Abbildung 14: Messergebnisse v_z vom Kramertunnel, Nordportal, Abstand 200 – 320 m.

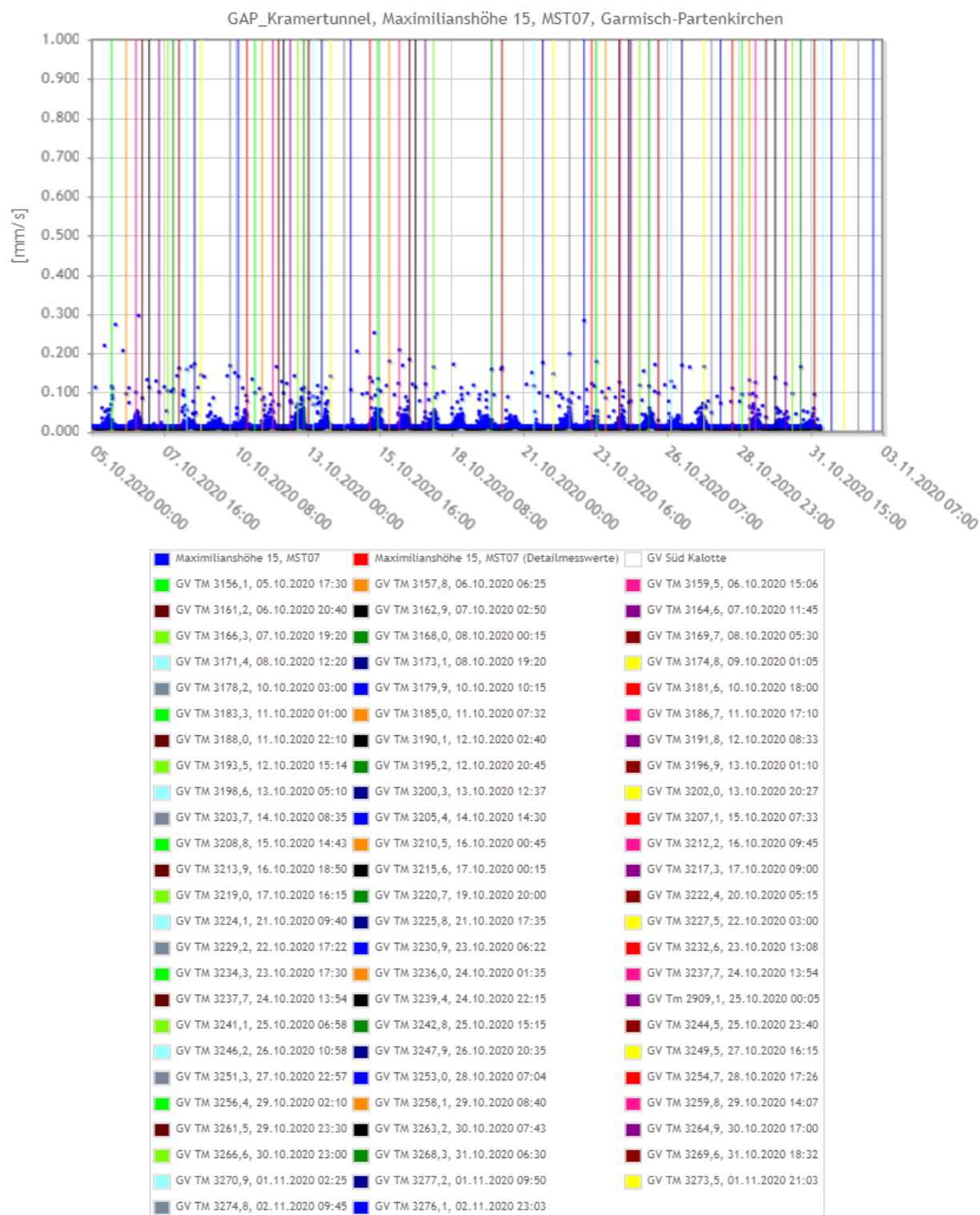


Abbildung 15: Messergebnisse vz vom Kramertunnel, Maximilianshöhe, Abstand 170 – 190 m.

Die Prognosen erfolgen für Sprengmittelmengen von 2 bis 7 kg pro Zündstufe getrennt für das Nord- und das Südportal. Am Kramertunnel bewegten sich die Sprengmittelmengen pro Bohrloch zwischen 1,5 und 2 kg, selten bis zu 2,5 kg. Bei 7 kg pro Zündstufe werden drei Bohrlöcher zu einer Zündstufe verbunden.

Wanktunnel													
Ermittlung der Schwingungsgeschwindigkeiten nach dem Erschütterungszahlverfahren nach Koch bzw. Lüdeling & Hinzen													
$v = k \cdot L^b \cdot R^m$													
L ... Lademenge pro Zündstufe [kg] R ... Abstand [m]													
k	897												
b	0,68												
m	-1,51												
k, b, m für "Hartgestein, Dolomit"													
Freifeld v_R													
Fundament v_i													
L [kg]	2	3	4	5	6	7	L [kg]	2	3	4	5	6	7
R [m]	v [mm/s]	v [mm/s]	v [mm/s]	v [mm/s]	v [mm/s]	v [mm/s]	R [m]	v [mm/s]	v [mm/s]	v [mm/s]	v [mm/s]	v [mm/s]	v [mm/s]
5	126,49	166,64	202,65	235,86	266,99	296,49	5	44,72	58,92	71,65	83,39	94,39	104,83
10	44,41	58,51	71,15	82,81	93,74	104,10	10	15,70	20,69	25,16	29,28	33,14	36,81
15	24,08	31,72	38,57	44,89	50,82	56,44	15	8,51	11,21	13,64	15,87	17,97	19,95
20	15,59	20,54	24,98	29,08	32,91	36,55	20	5,51	7,26	8,83	10,28	11,64	12,92
25	11,13	14,67	17,84	20,76	23,50	26,10	25	3,94	5,19	6,31	7,34	8,31	9,23
30	8,45	11,14	13,54	15,76	17,84	19,82	30	2,99	3,94	4,79	5,57	6,31	7,01
45	4,56	6,04	7,34	8,55	9,67	10,74	45	1,62	2,13	2,60	3,02	3,42	3,80
50	3,91	5,15	6,26	7,29	8,25	9,16	50	1,38	1,82	2,21	2,58	2,92	3,24
60	2,97	3,91	4,76	5,53	6,27	6,96	60	1,05	1,38	1,68	1,96	2,22	2,46
70	2,35	3,10	3,77	4,39	4,96	5,51	70	0,83	1,10	1,33	1,55	1,76	1,95
80	1,92	2,53	3,08	3,58	4,06	4,51	80	0,68	0,90	1,09	1,27	1,43	1,59
90	1,61	2,12	2,58	3,00	3,40	3,77	90	0,57	0,75	0,91	1,06	1,20	1,33
100	1,37	1,81	2,20	2,56	2,90	3,22	100	0,49	0,64	0,78	0,90	1,02	1,14
110	1,19	1,57	1,90	2,22	2,51	2,79	110	0,42	0,55	0,67	0,78	0,89	0,98
120	1,04	1,37	1,67	1,94	2,20	2,44	120	0,37	0,49	0,59	0,69	0,78	0,86
130	0,92	1,22	1,48	1,72	1,95	2,16	130	0,33	0,43	0,52	0,61	0,69	0,77
140	0,83	1,09	1,32	1,54	1,74	1,94	140	0,29	0,38	0,47	0,54	0,62	0,68
150	0,74	0,98	1,19	1,39	1,57	1,74	150	0,26	0,35	0,42	0,49	0,56	0,62
160	0,67	0,89	1,08	1,26	1,42	1,58	160	0,24	0,31	0,38	0,44	0,50	0,56
170	0,62	0,81	0,99	1,15	1,30	1,44	170	0,22	0,29	0,35	0,41	0,46	0,51
180	0,56	0,74	0,91	1,05	1,19	1,32	180	0,20	0,26	0,32	0,37	0,42	0,47
190	0,52	0,69	0,83	0,97	1,10	1,22	190	0,18	0,24	0,29	0,34	0,39	0,43
200	0,48	0,63	0,77	0,90	1,02	1,13	200	0,17	0,22	0,27	0,32	0,36	0,40
210	0,45	0,59	0,72	0,83	0,94	1,05	210	0,16	0,21	0,25	0,30	0,33	0,37
220	0,42	0,55	0,67	0,78	0,88	0,98	220	0,15	0,19	0,24	0,28	0,31	0,35
Fundamentwert < 5 mm/s													
Fundamentwert 5 - 15 mm/s													
Fundamentwert 15 - 20mm/s													
Fundamentwert > 20 mm/s													
Fundamentwert < 5 mm/s													
Fundamentwert 5 - 15 mm/s													
Fundamentwert 15 - 20mm/s													
Fundamentwert > 20 mm/s													
Messwerte Kramertunnel													
Maximilianshöhe: 0,2-0,3 mm/s													
Nordportal: ca 0,2 mm/s													

Abbildung 16: Prognoseergebnisse Nordportal (Hartgestein / Dolomit).

Abbildung 17: Prognoseergebnisse Südportal (weiches bis mittelhartes Gebirge / Schiefer).

Die Prognoseergebnisse zeigen, dass ein Anhaltswert $v_i = 5 \text{ mm/s}$ am Fundament in 70 m Abstand, wie ihn die naheliegendsten Gebäude am Nord- und Südportal aufweisen, auch mit 7 kg Sprengstoff pro Zündstufe eingehalten werden kann. Auch am Hochbehälter Gsteig (50 m Überlagerung) kann ein Anhaltswert unter $v_i = 5 \text{ mm/s}$ erwartet werden.

6.2.3. Tunnelbau - Sekundärschallimmissionen

Sekundärschallimmissionen durch Tunnelsprengungen lassen sich nur schwer prognostizieren. Messungen bei anderen Tunnelprojekten haben gezeigt, dass ein Raumabstand von ungefähr 300 m nötig ist, um den Wert von $L_{A,\max} = 55 \text{ dB}$ einzuhalten.

Tabelle 9 zeigt die Ergebnisse von Sekundärschallmessungen in Anrainergebäuden am Brenner Basistunnel. In 400m Abstand zu den Sprengungen waren der Wert von 55 dB deutlich eingehalten. In 190 m Abstand war der Wert deutlich überschritten.

Objekt	Abstand	$L_{A,S,\max}$
Lanserstrasse 18e, Okt. 2016	190 m	61,9 – 63,9 dB
Heiligwasserweg 21, Feb. 2016	430 m	47,3 – 51,1 dB
Heiligwasserweg 21, Jan. 2016	520 m	45,2 – 50,6 dB
Lanserstrasse 18e, Nov. 15	190 m	57,8 – 60,6 dB

Tabelle 9: Messergebnisse des Sekundärschalls, Brenner Basistunnel (Quelle: iC consulenten).

Die Gegenmaßnahme zur Sicherstellung der Einhaltung der Zumutbarkeitsschwelle von $L_{A,\max} = 55 \text{ dB}$ sind Nachtsprengverbote in den Portalbereichen. Ihre Einhaltung wird durch begleitende Sekundärschallmessungen überprüft. Für die Zwecke der derzeitigen Planungsphase wird festgelegt, dass von Nachtsprengverboten bis in einen Raumabstand von 350 m zur nächstliegenden Bebauung ausgegangen werden soll.

7. MAßNAHMEN

Zur Sicherstellung der Einhaltung der Anhaltswerte für den Gebäude- und Anrainer-schutz und der Zumutbarkeitsschwelle für Sekundärschall und zur weitgehenden Verhinderung von Schäden an Gebäuden werden bei der Umsetzung des Vorhabens die folgenden Maßnahmen gesetzt:

Bautechnische Beweissicherung

Vor Beginn der erschütterungsrelevanten Arbeiten erfolgt eine bautechnische Beweissicherung der Wohn- und Gewerbebauten auf bestehende Putz- und Mörtelrisse und ähnliche Schäden in einem Umkreis von 75 m zu den Arbeiten an den Anschlussstellen und einem Umkreis von 100 m zu den Tunnelbauarbeiten.

Messtechnische Begleitung

In ausgewählten Gebäuden werden, nach Maßgabe der Zustimmung der Anrainer, begleitende Erschütterungsmessungen während der erschütterungsrelevanten Tiefbau- und Tunnelbauarbeiten durchgeführt. Diese Messungen erfolgen mit Datenfernübertragung und automatischer Alarmierung von Baustellenbeteiligten per SMS oder e-mail. Entsprechend den Messergebnissen erfolgen Maßnahmen im Bauablauf, insbesondere Änderungen am Sprengschema beim Tunnelvortrieb (Reduktion der Sprengmittelmenge pro Zündstufe).

Anrainerbetreuung

Entsprechend den Vorgaben der Stufe 3 nach DIN 4150-2 erfolgt eine Information der Anrainer über Art und Zeitdauer der geplanten Arbeiten und die Benennung von Ansprechpartnern für die Arbeiten.

Nachtsprengverbote und Sekundärschallmessungen

Zur Sicherstellung der Einhaltung der Sekundärschallwerte gelten zu Anfang der Vortriebsarbeiten Nachtsprengverbote. Als erster Ansatz wird davon ausgegangen, dass die Nachtsprengverbote bis in einen Raumabstand von 350 m zu den nächstgelegenen Wohngebäuden erforderlich sein werden. Die Aufhebung der Nachtsprengverbote erfolgt auf Basis von entsprechenden Messungen in exponierten Wohngebäuden. Hier ist sowohl eine direkte Messung der Schallimmissionen als auch eine Messung der Deckenschwingung und rechnerischer Ermittlung der Sekundärschallpegel zulässig. Diese Messungen erfolgen voraussichtlich bei Tag, da zu diesem Zeitpunkt keine Sprengungen bei Nacht stattfinden.

Sicherstellung eines guten Straßenzustandes

Um unzulässige Erschütterungen aus dem Baustellenverkehr zu vermeiden, ist auf einen guten Zustand der Fahrbahn von Baustraßen und vom Bauverkehr benutzter öffentlicher Straßen zu achten. Wenn erforderlich sind Reparaturen an der Fahrbahn durchzuführen.

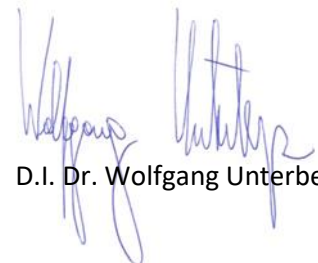
8. ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Errichtung des Wanktunnels ist zu beachten, dass die entsprechenden Anhaltswerte der DIN 4150-2 und DIN 4150-3 eingehalten werden. Für den Sekundärschall wurde eine Zumutbarkeitsschwelle auf Basis von Untersuchungen aus dem Fluglärm definiert.

Analytische Untersuchungen und Erfahrungen von vergleichbaren Baustellen zeigen, dass diese Werte bei entsprechender Wahl der Bauverfahren und messtechnischer Begleitung eingehalten werden können.

Als Maßnahmen werden eine bautechnische Beweissicherung, begleitende Erschütterungsmessungen, Öffentlichkeitsarbeit, Nachtsprengverbote und Sekundärschallmessungen vorgeschlagen.

Wien/Salzburg, am 30.05.2023



D.I. Dr. Wolfgang Unterberger

9. ANHANG A - GEBÄUDEDOKUMENTATION

9.1. NORDPORTAL



Quelle: Bayernatlas

Nr.	Adresse	Nutzung
1	Münchnerstraße 126a	Wohnen



Nr.	Adresse	Nutzung
2	Münchnerstraße 128	Wohnen



Nr.	Adresse	Nutzung
3	Münchnerstraße 126	Wohnen



Nr.	Adresse	Nutzung
4	Münchnerstraße 126b	Wohnen



Nr.	Adresse	Nutzung
5	Münchnerstraße 124	Wohnen




Nr.	Adresse	Nutzung
6	Münchnerstraße 122	Wohnen



Nr.	Adresse	Nutzung
7	Münchnerstraße 120	Wohnen



Nr.	Adresse	Nutzung
8	Münchnerstraße 118	Wohnen



Nr.	Adresse	Nutzung
9	Münchenerstraße 116	Wohnen



Nr.	Adresse	Nutzung
10	Münchnerstraße 114	Wohnen



Nr.	Adresse	Nutzung
11	Münchnerstraße 112	Wohnen





Nr.	Adresse	Nutzung
14	Am Brünnl 2	Wohnen





Quelle: Bayernatlas

Nr.	Adresse	Nutzung
15	Münchenerstraße 93	Wohnen




Quelle: Bayernatlas

Nr.	Adresse	Nutzung
20	Münchnerstrasse 140 Bauunternehmung Feurerecker	Gewerbe



Nr.	Adresse	Nutzung
21	Containerdorf	Abtrag



Nr.	Adresse	Nutzung
22	Transformator	Infrastruktur



9.2. SÜDPORTAL



Quelle: Bayernatlas

Nr.	Adresse	Nutzung
30	Anzlesau 3	Wohnen

Nr.	Adresse	Nutzung
31	Anzlesau 1	Wohnen / Landwirtschaft



Nr.	Adresse	Nutzung
32	Hochbehälter Gsteig	Infrastruktur

