

Masterarbeit

zum Erwerb des akademischen Grades
Master of Science
der Studienrichtung Rohstoffgewinnung und Tunnelbau

ausgeführt am
Lehrstuhl für Subsurface Engineering
an der Montanuniversität Leoben

von Cornelia Müller, BSc
Leoben

Leoben, im August 2017

Thema

**Messung der Umweltbedingungen im
Tunnelbau**

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, keine anderen als die angeführten Quellen verwendet und die wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Leoben, August 2017

Cornelia Müller (geb. Bergmann)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich für die Unterstützung der Firmen und Personen bedanken, ohne jene die Erstellung dieser Arbeit unmöglich gewesen wäre.

Ein herzliches Dankeschön gebührt den Baufirmen „Baresel GmbH“ und „SWIETELSKY TUNNELBAU GmbH & Co KG“, welche mir das Messen an den jeweiligen Baulosen ermöglichten. Zusätzlich möchte ich mich bei der Bauleitung des Bauloses Wolf 2 und der örtlichen Bauaufsicht des Bauabschnitts Stein für ihre Unterstützung bedanken.

Die Firma „ZWEIKAINZ GmbH“ und Herr Christian Ressler, „ÖSBS“, unterstützte mich mit ihrem Fachwissen. Danke dafür. Herr Ludwig Handschuh, Firma „Konica Minolta Sensing Europe B.V.“, Herr Robert Daniel, Firma „MSA Österreich GmbH“ und der Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft stellten mir ihre Messgeräte zur Verfügung und die Fahrschule „Easy Drivers“ ermöglichte mir die Geschwindigkeitsmessung. Dafür bedanke ich mich bei allen Beteiligten.

Mein Dank geht auch an alle Mitglieder des Lehrstuhls für Subsurface Engineering für ihre Unterstützung und an Professor Galler, der mir das Verfassen der Arbeit am Institut ermöglicht hat.

Und nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mir über die gesamte Studienzeit und im Besonderen beim Verfassen dieser Arbeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden ist. Danke.

Kurzfassung

Für diese Masterarbeit wurden die Umweltbedingungen in drei Tunnelbaustellen erfasst. Im Baulos Wolf 2, BBT, wurde ein tiefliegender und in Lind West und Stein West, beide Bauabschnitt Stein - Koralmbahn, wurden seichtliegende Tunnel erbaut. Außerdem war BL Wolf 2 mit einer Länge von ca. 5.000 m viel weiter vorgetrieben als Lind West, TM 360, oder Stein West, TM 260.

In BL Wolf 2 wurden drei und in Lind West und Stein West jeweils zwei fixe Messpunkte für 24-Stunden-Messungen aufgebaut. An diesen wurden Staub- und Gaskonzentrationen, Lufttemperatur, Wettergeschwindigkeit, relative Luftfeuchtigkeit und barometrischer Druck gemessen und gespeichert. Zusätzlich wurden die Wandtemperatur, die Beleuchtungsstärke, der Schalldruckpegel und die Geschwindigkeit der Fahrzeuge überprüft. Die Geschwindigkeit lag in allen drei Tunneln zwischen 20 km/h und 34 km/h. Bei der Wettergeschwindigkeit wurden bei den Messpunkten starke Schwankungen um einen konstanten Mittelwert festgestellt. Eine Ausnahme bildete Messpunkt 1, Wolf 2. Bei ihm war kein konstanter Mittelwert erkennbar.

Die Staub- und Gaskonzentrationen wurden mit den MAK-Werten verglichen. Durch die fixen Messpunkte konnte die Wanderung der Schwaden von der Ortsbrust bis zum Portal nachvollzogen werden. Bei Wolf 2 dauerte das ungefähr drei Stunden lang, in den beiden kürzere Tunnel nur ein paar Minuten.

Die gemessenen Gase umfassten Sauerstoff (O_2), Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Schwefelwasserstoff (H_2S), Schwefeldioxid (SO_2), Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO_2), Methan (CH_4) und brennbare Gase (COMB/EX). In allen drei Tunneln lag der Sauerstoff-Gehalt im Bereich von 20,8 %. Der Sprengvortrieb wirkte sich auf die Konzentration der Gase CO und NO aus. Nach einer Sprengung wurden Expositionsspitzen bei beiden Gasen festgestellt. Bei NO wurden die Grenzwerte eingehalten, bei CO wurde der KZW, auch nach Verstreichen der 15 Minuten Bewetterungszeit, in Wolf 2 zum Teil überschritten. CO_2 -Konzentrationen stiegen durch Sprengungen sowie durch Fahrzeuge an.

Aus den Messungen der Beleuchtungsstärke wurden große Unterschiede zwischen einem wolkenfreien Himmel, BBT, und einem bedeckten, Bauabschnitt Stein, erkannt. Außerdem war die Beleuchtungsstärke stark von der Entfernung zu Lichtquellen abhängig. Sie sank schon nach einigen Metern deutlich ab.

Der Schalldruckpegel erreichte regelmäßig unangenehme und auch gehörschädigende Werte. Beim Sprengen war der maximal erfassbare Schalldruckpegel des Messgerätes, 130 dB, nicht ausreichend.

Luft- und Wandtemperatur stiegen mit der Tunnellänge an. Zusätzliche Veränderungen der Wandtemperatur wurden bei feuchten Stellen (Abnahme) oder in der Nähe einer Leuchte (Zunahme) registriert. Beide Temperaturen wurden bei Messungen in Portalnähe durch die Witterung stark beeinflusst.

Jedes System, das Untertage verwendet wird, muss auf die zum Teil hohen Staubkonzentrationen ausgelegt sein. Für den Arbeitnehmerschutz ist die Konzentration der Gase CO, CO_2 , NO und NO_2 zu überwachen.

Abstract

Within this master thesis, the environmental conditions of three tunnel sites were investigated. Contract section "Wolf 2" was a deep tunnel. In section "Stein", "Koralmbahn", two shallow tunnels, "Lind West" and "Stein West", were monitored. Section "Wolf 2" had a length of about 5.000 m, "Lind West" had 360 m and "Stein West" had 260 m.

Three permanent measuring points for long-term measurements were installed in "Wolf 2". The others, "Lind West" and "Stein West", were equipped with two each. The measured data included airborne dust concentration, gases, temperature, air velocity, relative humidity and barometric pressure. Additionally the wall temperature, illumination level, sound pressure level and the velocity of vehicles were gauged. The vehicle speed was in the range of 20 km/h to 34 km/h.

The air velocity fluctuated at all permanent measuring points around a constant average. Measuring point 1, "Wolf 2", was the sole exception to that observation.

The dust and gas concentrations were compared with the MAC (maximal allowable concentration). The permanent measuring points allowed the determination for the movement of fumes from face to portal. The fumes in "Wolf 2" needed approximately three hours. In "Lind West" and "Stein West" this took only some minutes.

The gas concentrations of oxygen (O₂), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), hydrogen sulphide (H₂S), sulphur dioxide (SO₂), nitrogen monoxide (NO), nitrogen dioxide (NO₂), methane (CH₄) and combustible gases (COMB/EX) were gauged. Oxygen was always at about 20,8 %.

A high peak in the concentration of CO and NO was measured after blasting. All safety values of NO were met but the short term exposure value of CO was violated at "Wolf 2", even after a ventilation of 15 minutes. The concentration of CO₂ increased due to blasting and vehicles.

The illumination level showed a strong dependence on the distance to a light source. It decreased rapidly within some meters. Differences in the illumination level were found for measurements at a sunny, "Wolf 2", or cloudy day, section "Stein".

The sound pressure level got uncomfortably and even painfully high. The maximum measurable sound pressure level of the analyser, 130 dB, was insufficient to measure blasting.

Temperature and wall temperature increased along the tunnel length from portal to face. The wall temperature decreased due to damp areas and increased close to lamps. Measurements taken near the portal were strongly affected by the weather conditions.

Every underground used system must be able to resist the sometimes high dust concentrations. The concentrations of the gases CO, CO₂, NO und NO₂ should be monitored for the safety of the workers.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	i
Danksagung.....	ii
Kurzfassung	iii
Abstract	iv
Abkürzungsverzeichnis	1
1 Einleitung	3
2 Grundlagen.....	4
2.1 Beleuchtung ^{[1] [2] [3]}	4
2.2 Schall ^{[1] [4]}	5
2.3 MAK und TRK-Werte	8
2.4 Gase.....	9
2.5 Staub.....	10
2.6 Wettergeschwindigkeit	11
2.7 Geschwindigkeitsmessung ^{[10] [11]}	11
3 Die verwendeten Messgeräte	13
3.1 Luxmeter: T-10A ^{[12] [13]}	13
3.1.1 Relative spektrale Empfindlichkeit	14
3.1.2 Kosinuskorrektur – Charakteristiken	15
3.2 Schallpegelmessgerät Nor-116.....	16
3.3 Gasmesstechnik	18
3.3.1 ALTAIR 4X ^[15]	18
3.3.2 ALTAIR 5X ^[16]	21
3.3.3 MultiRAE Lite ^{[17] [18]}	22
3.4 Feuchte- und Temperaturmessgeräte.....	23
3.4.1 Vaisala HMI41 ^{[19] [20] [21] [22]}	23
3.4.2 Optris® LaserSight Infrarot-Thermometer ^[23]	25
3.4.3 Digitales Thermo-Hygrometer ^[24]	27
3.5 Wettergeschwindigkeit	27
3.5.1 Flügelradanemometer: MiniAir20 ^[25]	27
3.5.2 Hitzdrahtanemometer ^[26]	28
3.6 Staubmessung	30
3.6.1 Photometrische Staubmessung ^{[29] [30]}	30
3.6.2 Gravimetrische Staubmessung	32

3.7	Bushnell Velocity Speed Gun 101911 ^[31]	33
4	Das Messprogramm	35
4.1	Brenner Basis Tunnel: Baulos Wolf 2.....	35
4.1.1	Messpunkt 1	36
4.1.2	Messpunkt 2	36
4.1.3	Messpunkt 3	37
4.1.4	Kaverne: Startpunkt des EKS Wolf	38
4.1.5	EKS Wolf: MQ 43.....	38
4.1.6	Beleuchtungsstärke	38
4.1.7	Schalldruckpegelmessung.....	39
4.1.8	Wettergeschwindigkeit	39
4.1.9	Fahrbahnverhältnisse im Tunnel.....	39
4.1.10	Geschwindigkeit der Fahrzeuge	39
4.2	Koralmbahn: Bauabschnitt Stein ^[35]	39
4.2.1	Lind West	40
4.2.2	Stein West.....	42
4.2.3	Beleuchtungsstärke	44
4.2.4	Schalldruckpegelmessung.....	44
4.2.5	Wettergeschwindigkeit	44
4.2.6	Fahrbahnverhältnisse im Tunnel.....	45
4.2.7	Geschwindigkeit der Fahrzeuge	45
5	Messergebnisse Baulos Wolf 2.....	46
5.1	Beleuchtungsstärke	46
5.1.1	Portalbereich	46
5.1.2	Bereich TM 1500 des Zufahrtstunnels Wolf.....	47
5.1.3	Kaverne der Radladerversuche.....	48
5.1.4	300 bis 100 m von der Ortsbrust entfernt.....	50
5.1.5	Während der Vortriebsarbeiten: Von MP3 in Richtung Ortsbrust	51
5.2	Schalldruckpegelmessung.....	52
5.2.1	Umgebungsärm: Messpunkt 1	52
5.2.2	Umgebungsärm: Messpunkt 2	54
5.2.3	Umgebungsärm: Lutten-Verlängerung.....	55
5.2.4	Umgebungsärm: Luttenende	56
5.2.5	Schweißen: Im Bereich Messpunkt 3.....	58

5.2.6	Schüttern: Von Messpunkt 3 aus	58
5.2.7	Auftragen von Spritzbeton	59
5.2.8	Gittern: Vom Luttenende aus	63
5.2.9	Bohren	64
5.2.10	Sprengen	67
5.2.11	Vorbeifahrende Fahrzeuge und Baumaschinen	68
5.3	Gasmessung	69
5.3.1	Ohne Vortriebsarbeiten	69
5.3.2	Mit Vortriebsarbeiten	72
5.4	Temperaturmessung	81
5.4.1	Lufttemperatur.....	81
5.4.2	Wandtemperatur	86
5.5	Relative Luftfeuchtigkeit	87
5.5.1	Messpunkt 1, Messpunkt 2 und Messpunkt 3 während der Vortriebsarbeiten.....	87
5.5.2	Portalbereich	88
5.5.3	Messpunkt 1	89
5.5.4	Messpunkt 2	90
5.5.5	Messpunkt 3	91
5.5.6	300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt	92
5.5.7	Erkundungsstollen Wolf: MQ 43.....	93
5.5.8	Kaverne der Radladerversuche.....	94
5.6	Barometrischer Druck	95
5.7	Wettergeschwindigkeit	96
5.7.1	Messpunkt 1, Messpunkt 2 und Messpunkt 3 während der Vortriebsarbeiten.....	96
5.7.2	Portalbereich	97
5.7.3	Messpunkt 2	98
5.7.4	Messpunkt 3	102
5.7.5	300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt	102
5.7.6	Erkundungsstollen Wolf: MQ 43.....	105
5.7.7	Kaverne der Radladerversuche.....	106
5.8	Staubmessung	109
5.8.1	Messpunkt 1	109
5.8.2	Messpunkt 2	110

5.8.3	Messpunkt 3	111
5.9	Fahrbahnverhältnisse	114
5.10	Geschwindigkeitsmessung	116
6	Messergebnisse Bauabschnitt Stein	118
6.1	Beleuchtungsstärke	118
6.1.1	Lind West	118
6.1.2	Stein West	119
6.2	Schalldruckpegelmessung	120
6.2.1	Lind West	120
6.2.2	Stein West	141
6.3	Gasmessung	161
6.3.1	Lind West	161
6.3.2	Stein West	166
6.4	Temperaturmessung	170
6.4.1	Lind West	170
6.4.2	Stein West	174
6.5	Relative Luftfeuchtigkeit	179
6.5.1	Lind West	179
6.5.2	Stein West	181
6.6	Barometrischer Druck	182
6.6.1	Lind West	182
6.6.2	Stein West	183
6.7	Wettergeschwindigkeit	183
6.7.1	Lind West	184
6.7.2	Stein West	186
6.8	Staubmessung	189
6.8.1	Lind West	189
6.8.2	Stein West	190
6.9	Fahrbahnverhältnisse	192
6.9.1	Lind West	192
6.9.2	Stein West	194
6.10	Geschwindigkeitsmessung	195
7	Zusammenfassung	196
8	Literaturverzeichnis	199

9	Tabellenverzeichnis.....	203
10	Abbildungsverzeichnis	213
11	Formelverzeichnis.....	221
12	Anhang A: Messgeräte	222
12.1	Luxmeter T-10A	222
12.2	Technische Daten des ALTAIR 4X ^[15]	224
12.3	Technische Daten des ALTAIR 5X ^[16]	225
12.4	Vaisala HMI41 und HMP46 ^[19]	226
12.5	VelociCalc Modelle 9545 und 9565.....	227
13	Anhang B: Messergebnisse Baulos Wolf 2	229
13.1	Beleuchtungsstärke	229
13.2	Schalldruckpegel	234
13.3	Gaskonzentrationen	265
13.4	Temperaturmessung	396
13.5	Relative Luftfeuchtigkeit.....	407
13.6	Barometrischer Druck	418
13.7	Wettergeschwindigkeit	428
13.8	Staubmessung	439
14	Anhang C: Messergebnisse Bauabschnitt Stein	512
14.1	Beleuchtungsstärke	512
14.2	Schalldruckpegel	513
14.3	Gaskonzentrationen	597
14.4	Temperaturmessung	666
14.5	Relative Luftfeuchtigkeit.....	692
14.6	Barometrischer Druck	708
14.7	Wettergeschwindigkeit	719
14.8	Staubmessung	732

Abkürzungsverzeichnis

Symbol	Einheit	Begriff
ASchG		ArbeitnehmerInnenschutzgesetz
AStV		Arbeitsstättenverordnung
GKV 2011		Grenzwerteverordnung 2011
MAK		Maximale Arbeitsplatzkonzentration
TRK		Technische Richtkonzentration
TMW		Tagesmittelwert
KZW		Kurzzeitwert
Mow		Momentanwert
Miw		Mittelwert über den Beurteilungszeitraum
AUVA		Allgemeine Unfallversicherungsanstalt
BG-Bau		Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft
ppm		parts per million = 10^{-6}
UEG		Untere Explosionsgrenze
VDE		Verband der Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik
ÖVE		Österreichischer Verband für Elektrotechnik
TM	m	Tunnelmeter
BL Wolf 2		
BBT		Brenner Basis Tunnel
BL Wolf 2		Baulos Wolf 2
EKS		Erkundungsstollen
SST		Schutterstollen
Beleuchtung		
Φ_v	lm	Lichtstrom
E_v	lx = lm/m ²	Beleuchtungsstärke
$V(\lambda)$	-	Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad
$S_{rel}^*(\lambda)$	nm ⁻¹	Normierte relative spektrale Empfindlichkeit
$S_A(\lambda)$	nm ⁻¹	Spektrale Verteilung der Kalibrierlichtart
$S_{rel}(\lambda)$	nm ⁻¹	Relative spektrale Empfindlichkeit mit willkürlichem Bezug
f_1	%	Abweichung der relativen spektralen Empfindlichkeit zur $V(\lambda)$ -Kurve
f_2	%	Kenngroße für die richtungsabhängige Empfindlichkeit
$f_2(\theta)$	%	Messabweichung der räumlichen Bewertung der einfallenden Strahlung
Y_0	lx	Vertikale Beleuchtungsstärke
$Y(\theta)$	lx	Beleuchtungsstärke im Einfallswinkel θ
θ	°	Einfallswinkel, gemessen gegen die Flächennormale der Referenzebene oder der optischen Achse
λ	nm	Wellenlänge

Symbol	Einheit	Begriff
Gase		
FAS		Frischluftabgleich
NO	ppm	Stickstoffmonoxid
NO ₂	ppm	Stickstoffdioxid
CO	ppm	Kohlenstoffmonoxid
CO ₂	Vol.-%	Kohlenstoffdioxid
O ₂	Vol.-%	Sauerstoff
CH ₄		Methan
COMB	% UEG	brennbare (combustible) Gase
H ₂ S	ppm	Schwefelwasserstoff
SO ₂	ppm	Schwefeldioxid
Schall		
p	Pa	Schalldruck
p ₀	μPa	Referenzschalldruck
L _s	phon	Lautstärke
L _p	dB	Schalldruckpegel
L(t)	dB	Schalldruckpegel (zeitlicher Verlauf)
L _{eq}	dB	Äquivalenter Dauerschallpegel
SEL	dB	sound exposure level
Temperatur und Luftfeuchtigkeit		
HMI		Humidity Indicator
HMP		Humidity and Temperature Probe
RTD		Resistance Temperature Detector (Widerstands-Temperatursensor)
rH	%	relative Luftfeuchtigkeit
ε	-	Emissionsgrad
SF-Modus		Standard-Fokus-Modus
CF-Modus		Close-Focus-Modus (Scharfpunktoptik)

1 Einleitung

Parallel zu den Testreihen mit der Sensorik zur Personenerkennung wurden die Umweltbedingungen im Tunnelbau untersucht. Diese Untersuchungen sollen weitere Daten liefern, um zu erkennen in welchen Umgebungsbedingungen die Sensorik arbeiten muss. Die Ergebnisse zur Sensorik sind im Bericht zum Projektabschlussstreifen des Projekts X3T2 - „Virtuelles Fahrzeug“ (ViF) und in der Diplomarbeit von Herrn Paul Melbinger, mit dem Titel „Personenerkennungssystem für Baufahrzeuge im Tunnel- und Bergbau“, zu finden.

Da diese Tests im Baulos Wolf 2 ohne Vortriebsarbeiten stattfanden, wurden die Umweltbedingungen zusätzlich in Baustellen mit Vortrieb untersucht. Diese Messungen erfolgten wiederum in Wolf 2, sowie in den Tunneln Lind West und Stein West, Bauabschnitt Stein – Koralmbahn.

In Wolf 2 wurden drei fixe Messpunkte aufgebaut. Gemessen wurde im Portalbereich (Messpunkt 1), bei TM 1500 des Zufahrtstunnels (Messpunkt 2), bei Messquerschnitt 43 (MQ 43) des Erkundungsstollens (EKS) und von der Ortsbrust des EKS ausgehend auf einer Strecke von 300 m. Während der Vortriebsarbeiten war bei TM 1027 des EKS Messpunkt 3 aufgebaut. MQ 43 des Erkundungsstollens Wolf entsprach TM 43 des EKS.

In Lind West und Stein West wurden jeweils zwei fixe Messpunkte eingerichtet. Für Lind West lag Messpunkt 1 bei TM 125 und Messpunkt 2 bei TM 245. In Stein West wurde Messpunkt 1 bei TM 38 und Messpunkt 2 bei TM 190 aufgebaut. An allen fixen Messpunkten wurden Langzeitmessungen durchgeführt.

Die Ergebnisse der Stäube und der giftigen Gase wurden auf ihre möglichen Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen untersucht. Dies erfolgte durch einen Abgleich mit den maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK), nach der Grenzwertverordnung 2011. Zusätzlich wurden der Sauerstoffgehalt, brennbare Gase und Methan überwacht.

Um einen möglichst guten Eindruck der Umweltbedingungen zu erhalten, wurden Luft- und Wandtemperaturen, die Beleuchtungsstärke, die relative Luftfeuchtigkeit, die Wettergeschwindigkeit und der barometrische Druck untersucht. Außerdem wurden die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge im Tunnel und die Fahrbahnverhältnisse betrachtet.

2 Grundlagen

2.1 Beleuchtung ^{[1] [2] [3]}

Die Beleuchtungsstärke (E_V) ist als Lichtstrom (Φ_V) pro Fläche definiert. Ihre Einheit ist das Lux ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$). Wenn eine punktförmige Lichtquelle, mit einer Stärke von einer Candela, auf eine, in einem Meter Entfernung und in Strahlrichtung senkrecht stehende Fläche wirkt, so wird eine Beleuchtung von einem Lux hervorgerufen. In Tab. 2-1 ist eine Auswahl unterschiedlicher Beleuchtungsstärken aufgeführt.

Beleuchtung	Beleuchtungsstärke
Sonne, Sommer	70.0000 lx
Sonne, Winter	5.500 lx
Tageslicht, bedeckter Himmel	1.000 bis 2.000 lx
Vollmond	0,25 lx
Wohnzimmerbeleuchtung	120 lx
Straßenbeleuchtung	1 lx bis 16 lx

Tab. 2-1: Daten zur Beleuchtungsstärke^[1]

Die Arbeitsstättenverordnung (AStV) schreibt in § 2 Abs. 7 Z 2 vor, dass die Beleuchtung von Verkehrswegen mindestens mit 30 lx betragen muss.

Nach § 24 Abs. 1 AschG müssen Arbeitsstätten auf Baustellen ausreichend künstlich beleuchtet werden. Genauere Aussagen zur künstlichen Beleuchtung in Arbeitsräumen und an Arbeitsplätzen trifft § 29 AStV. Sie schreibt vor, dass Arbeitsplätze erforderlichenfalls zusätzlich zu beleuchten sind, „wobei auf den Stand der Technik, die jeweilige Sehaufgabe und die möglichen Gefährdungen am Arbeitsplatz Bedacht zu nehmen ist.“^[§ 29 Abs. 2 AStV]

Eine eigene gesetzliche Grundlage für Tunnelbaustellen ist nicht vorhanden. Die AUVA hat zusammen mit der BG-Bau das Merkblatt „Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau“ herausgegeben. Nach diesem Merkblatt ist eine „gute und zuverlässige Beleuchtung der Arbeitsplätze und Verkehrswege“^[3] wichtig zur Vermeidung von Unfällen, der Erkennung von Gefährdungen, Reduzierung von Ermüdungserscheinungen und der Sicherung der Arbeitsqualität. „Arbeitsplätze und Verkehrswege im Tunnelbau dürfen von Beschäftigten nur betreten werden, wenn sowohl die Allgemeinbeleuchtung als auch die Sicherheitsbeleuchtung vorhanden sind.“^[3]

Die Allgemeinbeleuchtung muss so bemessen sein, dass Arbeiten sicher durchgeführt und Verkehrswege sicher begangen werden können. Dies wird durch die Einhaltung der empfohlenen Mindestwerte für die Allgemeinbeleuchtung bzw. für die Sicherheits-/Notbeleuchtung erfüllt. In Tab. 2-2 sind die empfohlenen Mindestwerte für die Allgemeinbeleuchtung aufgelistet.

Für die Sicherheitsbeleuchtung liegen die empfohlenen Mindestwerte, 0,2 m über dem Boden, in Flucht- und Rettungswegen bei 1 lx und an Arbeitsplätzen bei 15 lx.

Verkehrswege	10 lx
Arbeitsplätze, Abbau- und Ladestellen	60 lx
andere Betriebsanlagen und stationäre Einrichtungen	120 lx

Tab. 2-2: Beleuchtungsstärke (empfohlene Mindestwerte)

Für die im Tunnelbau eingesetzten Leuchten existiert eine eigene Norm. Die Leuchten müssen VDE 0711-1//ÖVE/ÖNORM EN 60598-1 entsprechen. Zusätzlich dazu müssen sie mindestens in der Schutzart IP 54 ausgeführt sein. Leuchten, die als Bodenleuchten eingesetzt werden, müssen mindestens in der Schutzart IP 55 gefertigt sein.

2.2 Schall^{[1] [4]}

Zur Messung des Schalldruckpegels schreibt die ÖNORM EN ISO 9612 folgendes vor: „Falls die Zeitdauer der Tätigkeit kürzer als 5 min ist, muss sich die Messung über die gesamte Zeitdauer der Tätigkeit erstrecken. Für längere Tätigkeiten muss die Messzeit mindestens 5 min betragen. Die Messzeit darf jedoch reduziert werden, falls der Pegel konstant oder gut reproduzierbar ist [...]“. ^{„[ÖNORM EN ISO 9612]}

Der Schalldruckpegel ergibt sich aus dem Bezug des Schalldrucks (p) auf den Referenzschalldruck (p_0), Gl. 2-1. Der Referenzschalldruck liegt bei 20 μ Pa und er entspricht näherungsweise der Hörschwelle bei 1000 Hz.

$$\text{Gl. 2-1: } L_p = 10 * \lg \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right)$$

Durch statistische Reihenuntersuchungen wurde herausgefunden, dass das menschliche Ohr nur dann auf Schallwellen reagieren kann, wenn die Schallfrequenz zwischen 16 Hz und 20 kHz liegt. Außerdem muss der Effektivwert des Schalldrucks den Referenzschalldruck übersteigen damit eine Schallempfindung im Bewusstsein möglich ist. Bei Schalldrücken über 20 Pa oder Schalldruckpegeln die größer als 120 dB sind, werden vom Menschen nahezu keine Frequenz- und Amplitudenabhängigkeit des Schalls, sondern nur noch Schmerzen wahrgenommen. Diese Werte stellen die akustische Schmerzgrenze dar.

Das Lautheitsempfinden des menschlichen Gehörs wird als Lautstärke (L_s), in [phon], abgebildet. Bei einer Schallfrequenz von 1000 Hz entspricht der Wert der Lautstärke jenem Wert des Schalldruckpegels.

Um die Frequenzabhängigkeit der Hörempfindung zu berücksichtigen, werden Frequenzbewertungskurven festgelegt. Mit ihnen werden die tieffrequenten und sehr hochfrequenten Geräuschanteile, welche vom menschlichen Ohr als nicht so laut empfunden werden, gedämpft. Für Schalldruckpegelmessungen werden die Frequenzbewertungskurven A und C, welche in Abb. 2-1 dargestellt sind, verwendet.

„Der A-bewertete Schalldruckpegel beschreibt sowohl die Gehörgefährdung als auch die Lästigkeit und Störwirkung von Geräuschen.“^[4] Die A-Bewertung nähert den

Verlauf der Schallempfindung für Lautstärken unter 90 phon an. Schallpegel mit einer Lautstärke über 100 phon gehören zum gehörschädigenden Lärm. Sie werden mit der C-Kurve bewertet. Aus diesem Grund wird der Spitzenschalldruckpegel in der Regel in C-Bewertung, als L_{Cpeak} , gemessen.

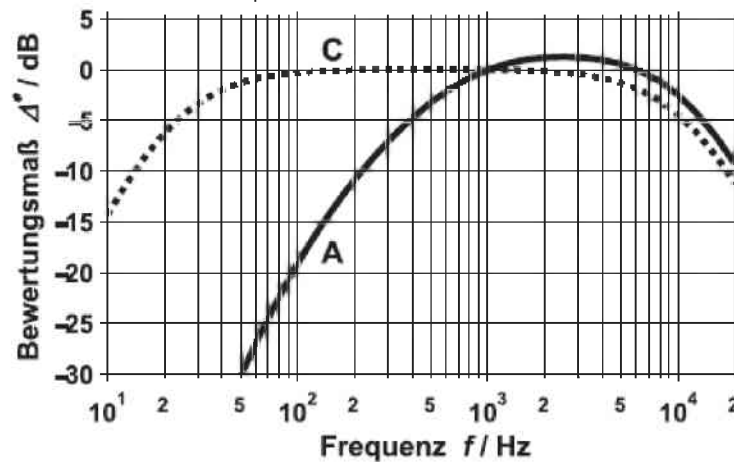


Abb. 2-1: Bewertungskurven A und C nach DIN EN 61 672-1^[1]

„Darüber hinaus lässt sich durch einen Vergleich des C-bewerteten Pegels mit dem A-bewerteten Pegel eine Aussage zur Frequenzcharakteristik von Geräuschen treffen, was z. B. im Zusammenhang mit der Auswahl von Gehörschutzmitteln von Bedeutung ist [...].“^[4]

Zeitbewertung	Zeitkonstante	
	Pegelanstieg	Pegelabfall
S – langsam	1 s	
F – schnell	125 ms	
I - Impuls	35 ms	1500 ms

Tab. 2-3: Zeitbewertungen nach DIN EN 61672^[4]

In der Norm für Schallpegelmesser, DIN EN 61672, sind die unterschiedlichen Anzeigeträgheiten durch Zeitkonstanten, Tab. 2-3, definiert. Die drei Zeitbewertungen „F“, „S“ und „I“ sind, am Beispiel eines Schmiedehammers, in Abb. 2-2 dargestellt.

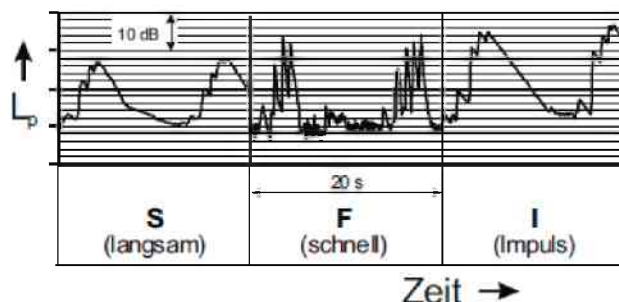


Abb. 2-2: Aufzeichnung des Schalldruckpegels L_p für Lärmimpulse eines Schmiedehammers bei unterschiedlichen Zeitbewertungen^[4]

Bei der Zeitbewertung „S“ (langsam) ergibt sich eine stark gedämpfte Anzeige des Schalldruckpegels. Wenn die Zeitbewertung „F“ (schnell) verwendet wird, ist die

Anzeige unruhiger und bei einer Verwendung von „I“ (Impuls) treten ein sehr schneller Pegelanstieg und, nach dem Schallereignis, ein verzögerter Pegelabfall auf.

„Zusätzlich zu diesen Zeitbewertungen für das gleichgerichtete Signal gibt es die Zeitbewertung „Spitze“ („peak“) zur Erfassung des absoluten Spitzenwertes (Scheitelwertes) eines Schallsignals. Dabei wird die höchste auftretende Pegelspitze nahezu verzögerungsfrei erfasst.^[4] Der Vergleich der beiden gleichgerichteten Schalldrucksignale, in den Zeitbewertungen „S“ und „F“, mit dem Schalldruckspitzenwert „Peak“ ist in Abb. 2-3 abgebildet. Bei einem konstanten Einzelton fällt der Spitzenschalldruckpegel (L_{peak}) um 3 dB höher aus als die Effektivwerte in den Zeitbewertungen „F“ bzw. „S“.

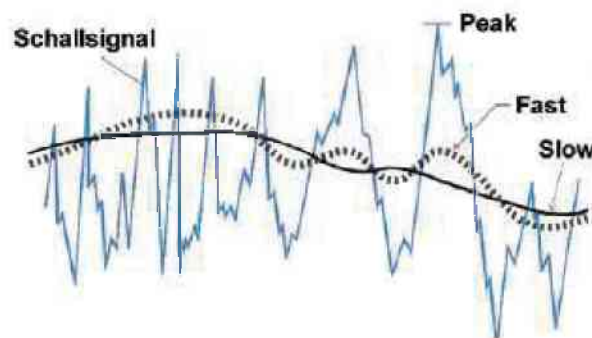


Abb. 2-3: Schalldrucksignal in den Zeitbewertungen „F“, „S“ und „Peak“^[4]

Das Messgerät zeichnet Verläufe des C-bewerteten Spitzenschalldruckpegels (L_{Cpeak}) und der A-bewerteten maximalen Schalldruckpegel (F_{Amax}) und äquivalenten Dauerschallpegel (L_{Aeq}) auf. Zusätzlich werden für jede Dauermessung die minimalen und maximalen Schalldruckpegel (F_{Amin} , F_{Cmin} , F_{Amax} und F_{Cmax}), die „sound exposure level“ (SEL_A und SEL_C), die Spitzenschalldruckpegel (L_{Apeak} und L_{Cpeak}) und die äquivalenten Dauerschallpegel (L_{Aeq} und L_{Ceq}) in einer Übersicht ausgegeben. Diese Daten werden in beiden Frequenzbewertungen aufgezeichnet.

„Der äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} ist der zeitliche Mittelwert eines Schalldruckpegels $L(t)$, der in einer bestimmten Frequenzbewertung und einer bestimmten Zeitbewertung aufgenommen wird [...].^[4] Er ist ein „Maß für die Schallbelastung des Gehörs.“^[1] Gleichung Gl. 2-2 ist zur Berechnung des L_{eq} heranzuziehen. Bei ausreichend langer Messzeit führt die Pegelermittlung in den Zeitbewertungen „F“ und „S“ zum gleichen Ergebnis. Die Pegelermittlung in der Zeitbewertung „I“ führt zu einem höheren äquivalenten Dauerschallpegel.

$$\text{Gl. 2-2: } L_{\text{eq}} = 10 * \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1 * L(t)} * dt \right]$$

Der SEL-Pegel („sound exposure level“) entspricht dem auf eine Sekunde normalisierten äquivalenten Dauerschallpegel. Er ist der auf eine Sekunde wirkende

konstante Pegel, welcher die gleiche akustische Energie wie das ursprüngliche Geräusch aufweist.^[5]

Um die gemessenen Schalldruckpegel in einen Zusammenhang setzen zu können, sind in Tab. 2-4 Beispiele für Geräuschquellen, mit Schalldruckpegel von 0 dB bis 175 dB, aufgelistet.

Dezibel: Skala	
0	Hörschwelle
10	Normales Atmen
40	Wohngegend bei Nacht
60	Unterhaltung zweier Personen
70	Lebhafter Verkehr
90	Rauschen eines Wasserfalls
140	Düsenjäger beim Start
160	Windkanal
175	Weltraumrakete beim Start

Tab. 2-4: Dezibel Skala^[6]

2.3 MAK und TRK-Werte

Die MAK- und TRK-Werte sind Grenzwerte, welche in § 45 Abs. 1 und Abs. 2 des ArbeitnehmerInnenschutzgesetzes (ASchG) definiert sind. Für diese Arbeit sind die Grenzwerte für Gas- und Staubkonzentrationen wichtig.

Nach § 5 Abs. 1 ASchG ist der MAK-Wert (maximale Arbeitsplatz-Konzentration) *„der Mittelwert in einem bestimmten Beurteilungszeitraum, der die höchstzulässige Konzentration eines Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz angibt, die nach dem jeweiligen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse auch bei wiederholter und langfristiger Exposition im allgemeinen die Gesundheit von Arbeitnehmern nicht beeinträchtigt und diese nicht unangemessen belästigt.“*^[§ 45 Abs.1 ASchG]

TRK-Werte sind nur für solche gefährlichen Arbeitsstoffe festzusetzen, für die nach dem jeweiligen Stand der Wissenschaft keine toxikologisch-arbeitsmedizinisch begründeten MAK-Werte aufgestellt werden können.“^[§ 45 Abs. 2 ASchG] Laut § 3 der Grenzwerteverordnung (GKV 2011) soll *„die Einhaltung der TRK-Werte [...] das Risiko einer Beeinträchtigung der Gesundheit vermindern, vermag dieses jedoch nicht vollständig auszuschließen.“*^[§ 3 Abs. 2 GKV 2011]

Des Weiteren ist in § 45 ASchG der Umgang mit Arbeitsstoffen, für welche MAK- bzw. TRK-Werte festgelegt sind, vorgegeben. MAK-Werte dürfen nicht überschritten werden. Bei beiden Grenzwerten muss der Arbeitgeber dafür sorgen, dass *„dieser Wert stets möglichst weit unterschritten wird.“* Außerdem *„müssen die Arbeitgeber Maßnahmen festlegen, die im Falle von Grenzwertüberschreitungen infolge von Zwischenfällen zu treffen sind.“*^[§ 45 ASchG]

Die Stoffliste der MAK- und TRK-Werte ist Anhang I/2011 der GKV 2011 zu entnehmen. Beide Grenzwerte sind in der Tabelle als Tagesmittelwerte (TMW) und Kurzzeitwerte (KZW) aufgelistet. Der Beurteilungszeitraum nach TMW und KZW ist in § 4 GKV 2011 definiert. *„Wenn der Grenzwert als „Tagesmittelwert“ angegeben ist, gilt als Beurteilungszeitraum eine in der Regel achtstündige Exposition [...]“*^[§ 4 GKV 2011] Für Kurzzeitwerte *„gilt als Beurteilungszeitraum ein Zeitraum von 15 Minuten oder wenn in Anhang I [...] ein anderer Zeitraum festgelegt ist, dieser Zeitraum.“*^[§ 4 GKV 2011] Des Weiteren ist in der Spalte „Häufigkeit pro Schicht“ des Anhangs I/2011 festgelegt, wie oft der KZW in acht Stunden erreicht werden darf.

Weder der KZW noch der TMW dürfen in ihren Beurteilungszeiträumen übertreten werden. Kurzfristige Überschreitungen des Tagesmittelwertes sind erlaubt, wenn der TMW bei der Mittelung auf acht Stunden nicht erreicht wird. *„Zwischen den Expositionsspitzen, in denen der Tagesmittelwert überschritten wird, „muss ein Zeitabstand von mindestens dem Dreifachen der zulässigen Kurzzeitwertdauer liegen.“*^[§ 4 Abs. 3 Z 2 GKV 2011]

In Anhang I/2011 kommt, in Verbindung mit der Dauer des KZW, der Begriff „Momentanwert“ vor. Dieser ist in § 4 Abs. 4 der GKV 2011 definiert. *„Als „Momentanwert“ wird ein Kurzzeitwert bezeichnet, dessen Höhe in seinem Beurteilungszeitraum zu keiner Zeit, das ist die nach dem Stand der Technik kürzest mögliche Mess- oder Anzeigezeit des Messverfahrens, überschritten werden darf.“*^[§ 4 GKV 2011]

Falls die maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen überschritten werden, müssen zuerst technische, dann organisatorische und zuletzt persönliche Schutzmaßnahmen getroffen werden. Als technische Maßnahmen würden zum Beispiel eine stärkere Bewetterung und, bei hohen Staubexpositionen, eine nasse Fahrbahn zählen. Organisatorisch könnte die Arbeitszeit geteilt werden, sodass ein Teil der Belegschaft vier Stunden lang im exponierten Bereich und vier Stunden in einem geschützteren Bereich arbeitet. Wenn technische und organisatorische Maßnahmen nicht ausreichend sind, folgt als letzter Schritt die persönliche Schutzausrüstung der Belegschaft.

2.4 Gase

Alle überwachten Gase kommen typischerweise im Tunnelbau vor. Für sechs der insgesamt acht gemessenen Gase sind die MAK-Werte, keine TRK-Werte, in der Grenzwerteverordnung 2011 aufgelistet. Sie befinden sich in Anhang I/2011 dieser Verordnung. Ein Auszug, welcher die relevanten Gase beinhaltet, ist in Tab. 2-5 angeführt. Bei allen Gasen sind MAK und keine TRK-Werte angegeben.

Die Tagesmittelwerte einiger Gase werden geplanter Weise im August 2018, durch die Europäische Union, herunter gesetzt. Für Stickstoffdioxid gilt dann voraussichtlich ein TMW von 0,5 ppm, für Stickstoffmonoxid 2 ppm und für

Kohlenstoffmonoxid 20 ppm. Diese Änderung der Grenzwerte ist auf die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der Stoffe zurückzuführen.

In Tab. 2-5 sind sowohl die Tagesmittelwerte als auch die Kurzzeitwerte aufgezählt. Eine Ausnahme bildet Stickstoffmonoxid, welches nur über einen TMW und keinen KZW verfügt.

Stoff	Fortpflanzungsgefährdend	Grenzwert					
		TMW		KZW		Dauer [min]	Häufigkeit pro Schicht
		[ppm]	[mg/m ³]	[ppm]	[mg/m ³]		
Kohlenstoffdioxid		5000	9000	10000	18000	60(Mow)	3x
Kohlenstoffmonoxid	D	30	33	60	66	15(Miw)	4x
Schwefeldioxid		2	5	4	10	5(Mow)	8x
Schwefelwasserstoff		5	7	5	7	(Mow)	
Stickstoffdioxid		3	6	6	12	5(Mow)	8x
Stickstoffmonoxid		25	30				

D: kann das Kind im Mutterleib schädigen

Tab. 2-5: Auszug aus Anhang I/2011 (Stoffliste) der GKV 2011

Keiner der Stoffe gilt als „krebserzeugend“, weist eine „besondere Gefahr der Hautresorption auf“ oder löst „in weit überdurchschnittlichem Maß allergische Überempfindlichkeitsreaktionen aus“.

Der Sauerstoffgehalt (O₂) der Luft liegt bei 20,93 %.^[7] Im Gegensatz zu anderen Gasen wird beim Sauerstoff vor allem ein möglicher Abfall des Volumenanteils überwacht.

Laut § 30 Abs. 1 und Abs. 3 der Grenzwerteverordnung 2011 sind Überwachungen an repräsentativen Stellen vor allem bei Arbeitsvorgängen nötig, bei denen plötzliche Grenzwertüberschreitungen nicht sicher ausgeschlossen werden können und kein Atemschutz verwendet wird. Dabei besteht die Gefahr, dass sich gesundheitsgefährdende Gase bilden oder der Sauerstoffgehalt unter 17 % absinkt.

Der Methan-Gehalt wird überprüft, da ein „Gas-Luft-Gemisch [...] von Methan und Luft [...] bei einem Methangehalt zwischen 5 und 14 % explosionsfähig ist.“^[8] Unter der unteren Explosionsgrenze von 5 % ist das Gemisch zu mager und über der oberen Explosionsgrenze von 14 % ist es zu reichhaltig.

2.5 Staub

„Die Messung von Stäuben am Arbeitsplatz ist die Basis für eine Abschätzung, ob eine Gesundheitsgefährdung der ArbeitnehmerInnen vorliegt. Die gemessenen Werte dienen dem Vergleich mit den festgelegten Grenzwerten. Diese sind je nach Beschaffenheit und Wirkmechanismus in verschiedene Gruppen eingeteilt, sogenannte MAK-Werte (Maximale Arbeitsplatzkonzentration) beziehungsweise TRK-Werte (Technische Richtkonzentration). Nach der Größe werden Stäube in alveolengängige (A-) Fraktion und einatembare (E-) Fraktion unterschieden.“^[9]

Laut §1. Abs. 4 der Grenzwertverordnung 2011 GKV 2011 ist die einatembare Fraktion „der Massenanteil aller Schwebstoffe, der durch Mund und Nase eingeatmet wird.“ Des Weiteren definiert die GKV 2001 die alveolengängige Fraktion als den „Massenanteil der eingeatmeten Partikel, der bis in die nichtcilierten Luftwege vordringt.“ Der A-Staub dringt bis in die Alveolen vor und ist ein Teil des E-Staubes. Früher wurde der E-Staub als Gesamtstaub und der A-Staub als Feinstaub bezeichnet. Als zusätzliche Quelle ist auf die Norm „ÖNORM EN 481: 1993 1001 - Arbeitsplatzatmosphäre - Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel“ hinzuweisen.

Die MAK-Werte für biologisch inerte Schwebstoffe sind in § 5 GVK 2011 aufgelistet. Der Tagesmittelwert beträgt 10 mg/m^3 für die einatembare Fraktion und 5 mg/m^3 für die alveolengängige. Für den Kurzzeitwert der E-Fraktion sind 20 mg/m^3 und für den KZW der A-Fraktion sind 10 mg/m^3 bestimmt. Bei beiden Fraktionen ist ein Beurteilungszeitraum von einer Stunde festgelegt. „Der Kurzzeitwert darf innerhalb von acht Stunden höchstens zwei Mal erreicht werden.“^[§ 5 Abs. 3 GKV 2011] Des Weiteren gilt § 4 Abs. 3 GKV 2011. Demnach muss „zwischen den Expositionsspitzen, in denen der Tagesmittelwert überschritten wird, [...] ein Zeitabstand von mindestens dem Dreifachen der zulässigen Kurzzeitwertdauer liegen.“^[§ 4 GKV 2011] Außerdem darf der Konzentrationswert des Tagesmittelwerts, gemittelt über jeden dieser Zeitabstände, nicht überschritten werden.

2.6 Wettergeschwindigkeit

Die Wettergeschwindigkeit ist als die „Strömungsgeschwindigkeit der Wetter in einem Grubenbau bestimmten Querschnitts und in Lutten verschiedener Durchmesser“^[8] definiert. Wobei Wetter „sich durch untertägige Grubenbaue bewegende Luftströme“^[8] darstellen.

§ 96 BauV schreibt eine Frischluftmenge von mindestens $2 \text{ m}^3/\text{min}$ pro beschäftigten Arbeitnehmer sowie mindestens $4 \text{ m}^3/\text{min}$ pro kW Nennleistung vor. Außerdem muss die gemessene Luftgeschwindigkeit in Brusthöhe $0,2 \text{ m/s}$ betragen.

2.7 Geschwindigkeitsmessung^{[10] [11]}

Die Geschwindigkeitsmessung der Fahrzeuge beruht auf den Doppler Effekt. Das Messgerät sendet eine elektromagnetische Welle aus.

Der Doppler Effekt beschreibt die Frequenzänderung durch die Relativbewegung des Senders und Empfängers zueinander. „Bei elektromagnetischen Wellen hängt die Frequenzänderung nur von der Relativgeschwindigkeit v zwischen Sender und Empfänger ab.“^[10] Für Schallwellen ist zusätzlich zwischen bewegten Sendern und bewegten Empfängern zu unterscheiden.

$$\text{Gl. 2-3: } f_E = f_S \frac{1 + \frac{v}{c_0}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c_0^2}}}$$

In Gl. 2-3 ^[10] ist die Abhängigkeit der vom Empfänger aufgenommenen Frequenz (f_E) von der vom Sender abgestrahlten Frequenz (f_S), der Relativgeschwindigkeit zwischen Sender und Empfänger (v) und der Lichtgeschwindigkeit (c_0) dargestellt.

$$\text{Gl. 2-4: } f_E = f_S \left(1 + \frac{v}{c_0}\right)$$

Meist gilt $v \ll c_0$. Für diesen Zustand kann Gl. 2-3 vereinfacht werden und „in erster Näherung folgt aus“ Gl. 2-3 die Gleichung Gl. 2-4 ^[10], welche zur Gleichung der Frequenzänderung, Gl. 2-5 ^[10], umgeformt werden kann.

$$\text{Gl. 2-5: } \Delta f = f_S \frac{v}{c_0}$$

3 Die verwendeten Messgeräte

3.1 Luxmeter: T-10A ^[12] ^[13]

Das Luxmeter T-10A ist ein Handmessgerät. Der Messkopf ist mit einer Silizium-Photodiode ausgestattet. Er ist abnehmbar und kann auf einem Stativ befestigt werden. Als Referenzebene wird der höchste Punkt des Messkopfes verwendet. In Abb. 3-1 sind die wichtigsten Teile des T-10A beschrieben.



Abb. 3-1: Luxmeter T-10A

Beim Einschalten des Messgerätes erfolgt automatisch ein Nullpunktgleich. Dazu erscheint im Display „CAL“. Sobald der Abgleich beendet ist wird „0 lx“ angezeigt und das Gerät ist messbereit.

Das Luxmeter T-10A verfügt über fünf Messbereiche. In der Grundeinstellung schaltet das Messgerät automatisch zwischen ihnen um. Mit dem T-10A können Lichtstärken von 0,01 lx bis 299.900 lx gemessen werden. Der aktuelle Messbereich ist durch die Anzeige am Luxmeter erkennbar. In Tab. 3-1 sind die unterschiedlichen Anzeigen den dazugehörigen Messbereichen, sowie für manuelle als auch die automatische Auswahl, gegenübergestellt.

Anzeige T-10A	Messbereich [lx]	
	Manuell	Automatisch
0.00 lx	(0,00 ~ 29,99)	(0,00 ~ 29,99)
0.0 lx	(0,0 ~ 299,9)	(25,0 ~ 299,9)
0 lx	(0 ~ 2.999)	(250 ~ 2.999)
00 lx	(00 ~ 29.990)	(2.500 ~ 29.990)
000 lx	(000 ~ 299.900)	(25.000 ~ 299.900)

Tab. 3-1: Messbereiche des Luxmeters T-10A

3.1.1 Relative spektrale Empfindlichkeit

Idealerweise sollte die relative spektrale Empfindlichkeit des Luxmeters mit dem spektralen Hellempfindlichkeitsgrad, $V(\lambda)$, des menschlichen Auges für Tagessehen, übereinstimmen. Der Fehler f_1 (nach DIN 5031) kennzeichnet die Abweichung der relativen spektralen Empfindlichkeit zu $V(\lambda)$. Seine Berechnung ist aus den folgenden Gleichungen ersichtlich.

$$\text{Gl. 3-1: } f'_1 = \frac{\int_0^{100} |S_{rel}^*(\lambda) - V(\lambda)| d\lambda}{\int_0^{100} V(\lambda) d\lambda} * 100(\%)$$

$$\text{Gl. 3-2: } S_{rel}^*(\lambda) = \frac{\int_0^{100} S_A(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_0^{100} S_A(\lambda) S_{rel}(\lambda) d\lambda} * S_{rel}(\lambda)$$

f_1	Abweichung der relativen spektralen Empfindlichkeit zur $V(\lambda)$ -Kurve.
$S_{rel}^*(\lambda)$	Normierte relative spektrale Empfindlichkeit
$S_A(\lambda)$	Spektrale Verteilung der Kalibrierlichtart
$S_{rel}(\lambda)$	Relative Spektrale Empfindlichkeit mit willkürlichem Bezug
$V(\lambda)$	Spektraler Hellempfindlichkeitsgrad

Die relative spektrale Empfindlichkeit des Luxmeters T-10A liegt nach DIN 5031 innerhalb von 6% (f_1) des spektralen Hellempfindlichkeitsgrads. Der Vergleich der beiden Hellempfindlichkeitskurven ist Abb. 3-2 zu entnehmen.

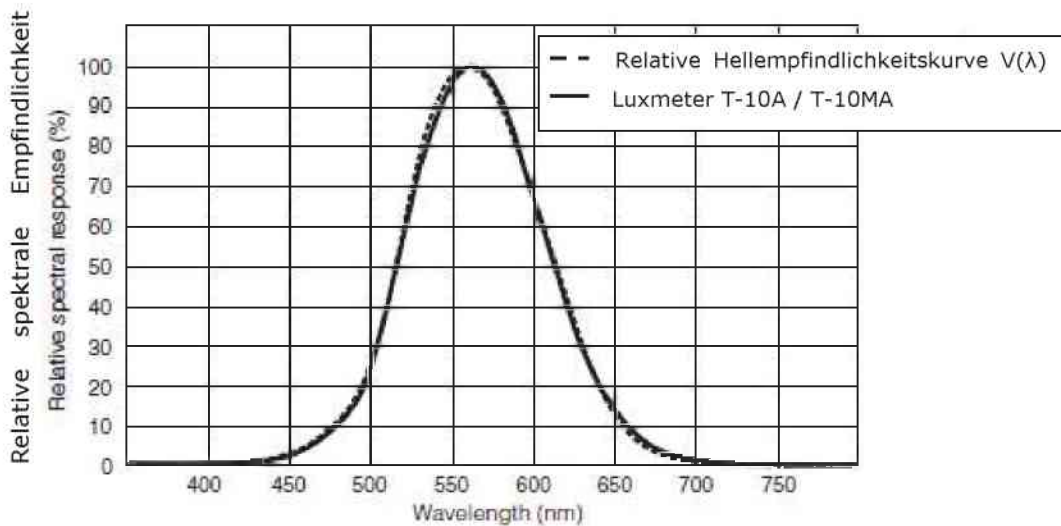


Abb. 3-2: Vergleich der relativen Hellempfindlichkeitskurven für Tagessehen und des T-10A, in Abhängigkeit von der Wellenlänge

3.1.2 Kosinuskorrektur – Charakteristiken

Da die Helligkeit an der Messebene proportional zum Kosinus des Einfallswinkels ist, muss die Empfindlichkeit des Messkopfes auch proportional zum Einfallswinkel sein. Die Kosinusfehler des T-10A sind in Tab. 3-2 ersichtlich.

Einfallswinkel [°]	Kosinusfehler (innerhalb)
10°	± 1%
30°	± 2%
50°	± 6%
60°	± 7%
80°	± 25%

Tab. 3-2: Kosinusfehler des Luxmeters T-10A

Die optischen Charakteristiken des Luxmeter T-10A bezüglich schräg einfallenden Lichtes lassen eine Einordnung des Gerätes in die Klasse B nach der DIN zu. Die richtungsabhängige Empfindlichkeit ist mit der Kenngröße f_2 gekennzeichnet und beträgt in der Klasse B maximal 3 %. In Tab. 3-3 sind die Klassen der richtungsabhängigen Empfindlichkeit aufgelistet. Die Formel zu ihrer Berechnung ist in Gleichung Gl. 3-3 zu finden.

Klasse	L	A	B	C
f_2 [%]	1,5	1,5	3	6

Tab. 3-3: Klassen der richtungsabhängigen Empfindlichkeit nach DIN

$$\text{Gl. 3-3: } f_2 = \int_0^{\frac{85^\circ \cdot \pi}{180^\circ}} |f_2(\theta)| \cdot \sin(2\theta) d\theta$$

Für die Silizium-Photodiode des Messkopfes wird die Messabweichung der räumlichen Bewertung der einfallenden Strahlung durch folgende Gleichung ermittelt.

$$\text{Gl. 3-4: } f_2(\theta) = \left| \frac{Y(\theta)}{Y_0 \cos \theta} - 1 \right| \cdot 100(\%)$$

f_2	Kenngroße für die richtungsabhängige Empfindlichkeit
$f_2(\theta)$	Messabweichung der räumlichen Bewertung der einfallenden Strahlung
Y_0	Vertikale Beleuchtungsstärke
$Y(\theta)$	Beleuchtungsstärke im Einfallswinkel θ
θ	Einfallswinkel, gemessen gegen die Flächennormale der Referenzebene oder der optischen Achse

Zur weiteren Information sind in Abb. 12-1 des Anhangs 12.1 die Abmessungen und die Referenzebene des T-10A ersichtlich. Im gleichen Anhang ist das Datenblatt des Luxmeters T-10A abgebildet.

3.2 Schallpegelmessgerät Nor-116



Abb. 3-3: Nor-116: Beschriftung

Das integrierende Schallpegelmessgerät Nor-116 ist ein Messgerät des Typ 1 mit der Software-Version 2.20d. Mit ihm können der A- und der C-bewertete Schalldruckpegel gemessen werden. Das Nor-116 wird sowohl zum Ablesen aktueller Messwerte, als auch zum Erfassen der Lärmbeeinträchtigung bei bestimmten Arbeiten und in bestimmten Umgebungen verwendet. Diese Messungen finden über den Zeitraum von einigen Minuten statt. Die Messdauer hängt von der Art der Tätigkeit ab und die erfassten Daten werden auf dem Nor-116 gespeichert. Der maximal messbare Schalldruckpegel beträgt 130 dB. Sollte er höher sein, wird

das Messgerät übersteuert und die Ergebnisse sind nicht zuverlässig. Im Gerätespeicher wird dies mit „OVL“ gekennzeichnet.

Die Zeitkonstante ist auf „F“ (schnell) oder auf „S“ (langsam) eingestellt. Zusätzlich zu dieser Einstellung gibt es die Zeitbewertung „peak“, zur Erfassung des Spitzenschalldruckpegels.

Das Display ist in Abb. 3-4 abgebildet. Von ihm sind die aktuellen Schalldruckpegel nach A- und C-bewerteter Kurve, die eingestellte Zeitkonstante, die gesamte Messdauer, Datum und Uhrzeit sowie die Balkenanzeige mit dem Skalenendwert ablesbar.



Abb. 3-4: Nor-116: Beschreibung des Displays

Um eine korrekte Messung gewährleisten zu können, muss das Schalldruckpegelmessgerät regelmäßig kalibriert werden. Dies erfolgt mithilfe des Kalibrators. Dazu wird das Messgerät eingeschaltet und der Kalibrator wird nach der Initialisierung angesteckt. Er ist auf einen Schalldruckpegel von 114 dB geeicht. Das Nor-116 wird mit den Tasten INC und DEC so lange justiert, bis der Pegel des Kalibrators am Display angezeigt wird. Während der Justation ändert sich die Mikrofonempfindlichkeit entsprechend. Bei richtiger Anzeige kann durch Drücken von ENTER die Normalanzeige wieder hergestellt werden. ^[14]

Die Lage der einzelnen Tasten des Nor-116 ist in Abb. 3-3 und die Balkenanzeige im Display ist in Abb. 3-4 ersichtlich. Der Kalibrator ist in Abb. 3-5 dargestellt.



Abb. 3-5: Kalibrator für Nor-116

3.3 Gasmesstechnik

Für die Gasmesstechnik werden drei verschiedene Geräte verwendet. Zwei davon sind Handmessgeräte des Typs ALTAIR 4X und ALTAIR 5X. Diese werden während der Messungen im BL Wolf 2 an der Person mitgeführt. Im Bauabschnitt Stein werden sie am Trafoschlitten montiert. Der Grund für die Verwendung von zwei Messgeräten liegt an der begrenzten Menge an Sensoren, welche pro Messgerät einbaubar sind.

An den fixen Messpunkten werden Geräte des Typs MultiRAE Lite verwendet.

3.3.1 ALTAIR 4X ^[15]



Abb. 3-6: ALTAIR 4X ^[Galler, R., 18.08.2016]

Das ALTAIR 4X ist mit drei Sensoren ausgestattet. Dies ist die maximale Anzahl für dieses Messgerät. Der elektrochemische Sauerstoffsensordruck fiel bei den Messungen im Baulos Wolf 2 aus. Vor den Messungen am Bauabschnitt Stein wurde der defekte Sensor ausgetauscht.

Ein elektrochemischer *Doppelsensor für toxische Gase* ^[15] kann Kohlenstoffmonoxid (CO) und Stickstoffdioxid (NO₂) erkennen und ein katalytischer Sensor registriert die brennbaren Gase (COMB/EX).

Die Luftzufuhr zu den Sensoren erfolgt über Diffusion durch drei Sensoreinlässe auf der Vorderseite. Um eine fehlerfreie Messung gewährleisten zu können, dürfen sie nicht blockiert werden. Da das ALTAIR 4X über keine Pumpe zum Ansaugen der Luft verfügt, ertönt kein Alarm wenn die Sensoreinlässe verstopft sind. Zur Überprüfung müssen die Werte mit jenen eines anderen Messgeräts verglichen werden. Wenn der Sauerstoffsensordruck aktiv ist, kann der Sauerstoffalarm durch Atemluft ausgelöst und somit die Funktion der Sensoren kontrolliert werden. Außerdem kann ein BUMP-Test durchgeführt werden.

Die technischen Daten der Sensoren sind aus Tab. 3-4 ersichtlich. Weitere Daten des ALTAIR 4X sind in Anhang 12.2 zu finden.

Gas		Bereich	Auflösung
Sauerstoff	O ₂	0 – 30 Vol.-%	0,1 Vol.-%
Stickstoffdioxid	NO ₂	0 – 50 ppm	0,1 ppm
Kohlenstoffmonoxid	CO	0 – 1999 ppm	1 ppm
brennbare Gase	COMB/EX	0 – 100 % UEG	1 % UEG

Tab. 3-4: ALTAIR 4X: Technische Daten der Sensoren

3.3.1.1 Bedienung des ALTAIR 4X

Die Handhabung des ALTAIR 4X ist auf ein Arbeitsumfeld ausgelegt. Das Gerät verfügt über eine weiche Schutzhülle, die Stürze abfangen soll. Die drei Tasten sind auch mit Handschuhen gut zu greifen.

Zum Ein- bzw. Ausschalten des Geräts muss die Ein/Aus-Taste gedrückt werden. Das ALTAIR 4X fährt eigenständig hoch. Dabei werden die Sensoren erkannt. Nacheinander werden die gespeicherten Grenzen für High-, Low-, STEL- und TWA-Alarm mit ihren Einheiten im Display, Nummer 7 in Abb. 3-7, aufgelistet. Außerdem scheinen die BUMP-Test Anzeige, das Datum, die Uhrzeit und das Datum der letzten Kalibrierung kurz auf.

Nach dem Hochfahren werden am Display, die aktiven Sensoren mit ihren aktuellen Messwerten sowie die Akkuladestandanzeige angezeigt. Durch Drücken der ▼ - Taste kann zwischen den einzelnen Anzeigen durchgeschaltet werden. Wenn in einer Anzeige länger keine Taste betätigt wird, geht das Gerät zum Hauptbildschirm zurück.



Abb. 3-7: ALTAIR 4X: Beschreibung der Komponenten

Die erste Anzeige beinhaltet das Menü für den BUMP-Test, bzw. den Kurzttest-Modus. Hier kann durch Drücken der Ein/Aus-Taste ein BUMP-Test gestartet werden. Als nächstes folgt die PEAK-Seite auf welcher die Höchstmesswerte der Gase COMB/EX, CO und NO₂ für die aktuelle Sitzung angezeigt werden. Wenn ein Sauerstoffsensor aktiv ist, ist auf der nächsten Seite, der MIN-Seite, der Mindestmesswert an O₂, seit dem Einschalten, ablesbar.

Ein weiteres betätigen der ▼-Taste ruft die STEL-Seite auf. Hier wird der Kurzzeitwert (KZW), die durchschnittliche Belastung über einen Zeitraum von 15 min, angezeigt. Mit der ▲-Taste kann der KZW zurückgesetzt werden. Danach folgt die TWA-Seite für die maximale Arbeitsplatzkonzentration. Dieser Wert wird über eine Zeit von acht Stunden gemittelt. Auch der MAK-Wert kann zurückgesetzt werden.

Bei Überschreitung des KZW bzw. des MAK-Wertes wird der Alarm sowohl akustisch als auch optisch ausgelöst. Zusätzlich erscheint im Display das entsprechende Alarmsymbol.

Weitere Anzeigen liefern die aktuelle Zeit und das aktuelle Datum. Zuletzt folgt die Anzeige des MOTION-Alerts. Hier kann durch Drücken der ▲-Taste der Bewegungsalarm aktiviert und deaktiviert werden. Wenn aktiv blinkt das Bewegungsalarm-Symbol alle drei Sekunden auf. Falls sich das Gerät für 20 sek nicht regt, springt der Voralarm an. Dieser kann durch eine Bewegung aufgehoben werden. Wenn das ALTAIR 4X für mindestens 30 sek nicht bewegt wird, muss der Alarm quittiert werden. Die drei Alarm-Symbole sind in Abb. 3-8 erkennbar.

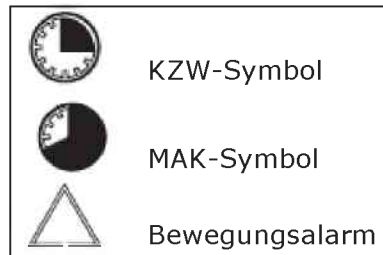


Abb. 3-8: ALTAIR 4X: Symbole für KZW-, MAK- und Bewegungsalarm

Mit der ▲-Taste kann ein Alarm quittiert werden. Sollte der Alarmwert nach dem Quittieren weiterhin überschritten werden, wird er erneut ausgelöst. Die Beleuchtung des Displays wird durch Drücken der Ein/Aus-Taste oder der ▲-Taste eingeschaltet. Die Beleuchtungsdauer ist einstellbar.

3.3.1.2 Frischluftabgleich (FAS)

Bei jedem Einschalten verlangen die Messgeräte ALTAIR 4X und ALTAIR 5X nach einem Frischluftabgleich (FAS). Dieser dient dem automatischen Nullabgleich des Geräts. Der Frischluftabgleich sollte nur verwendet werden, wenn die Umgebung aus nicht kontaminierter Frischluft besteht. Er ersetzt nicht den Kalibriertest. Dieser ist notwendig um die Probegasgenauigkeit zu überprüfen.

3.3.1.3 Kurztest – Modus (BUMP-Test)

Mit diesem Test kann die Funktionstüchtigkeit der Gassensoren schnell überprüft werden. Sollte das Messgerät den BUMP-Test nicht bestehen, ist eine vollständige Kalibrierung erforderlich. Eine solche muss sowieso regelmäßig durchgeführt werden, um die Genauigkeit sicherzustellen.

Für den Kurztest muss der Regler an der Kalibrierprüfgasflasche angeschlossen werden. Im normalen Messbildschirm wird die ▼-Taste gedrückt um die Anzeige für den BUMP-Test aufzurufen.

Nach dem Test wird im Display des Messgerätes entweder „BUMP PASS“, für bestanden, oder „BUMP ERROR“, für nicht bestanden, angezeigt.

3.3.2 ALTAIR 5X^[16]

Das ALTAIR 5X ist mit fünf Sensoren, seiner maximalen Anzahl, ausgestattet. Damit können bis zu sechs verschiedene Gase gemessen werden. Für dieses Messprogramm ist das Gerät mit Sensoren für Sauerstoff (O₂), Kohlenstoffmonoxid, Kohlendioxid (CO₂), Schwefelwasserstoff (H₂S), Schwefeldioxid (SO₂) und Methan (CH₄) bestückt. Die technischen Daten der einzelnen Sensoren sind in Tab. 3-5 aufgelistet.

Gas		Bereich	Auflösung
Sauerstoff	O ₂	0 – 30 Vol.-%	0,1 Vol.-%
Kohlenstoffmonoxid	CO	0 – 2000 ppm	1 ppm
Kohlendioxid IR	CO ₂	0 – 10 Vol.-%	0,01 Vol.-%
Schwefelwasserstoff	H ₂ S	0 – 200 ppm	1 ppm
Schwefeldioxid	SO ₂	0 – 20 ppm	0,1 ppm
Brennbares Gas: Methan	CH ₄	0 – 5 Vol.-%	0,05 Vol.-%

Tab. 3-5: ALTAIR 5X: Technische Daten der Sensoren

Die Handhabung des ALTAIR 5X, Abb. 3-9, ist ähnlich der des ALTAIR 4X. Zum Einschalten des ALTAIR 5X muss die Ein/Aus-Taste gedrückt werden. Beim Hochfahren führt das Gerät einen Selbsttest durch, um die installierten Sensoren, das Pumpen-/Probenahme-System, den akustischen Alarm, die LEDs und den Vibrationsalarm zu überprüfen.

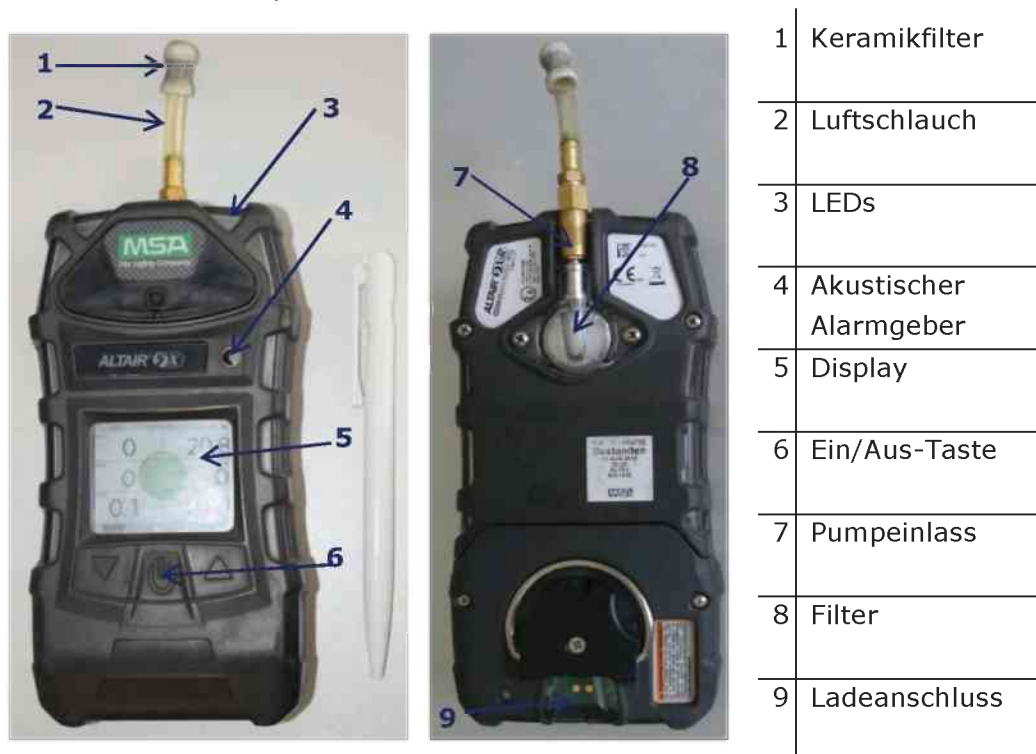


Abb. 3-9:ALTAIR 5X: Beschreibung der Komponenten

Die Überprüfung des Probenahme-Systems erfolgt, nach Aufforderung des Messgerätes, über eine Blockade der Pumpe durch den Benutzer. Bei erfolgreicher Blockade wird das ALTAIR 5X weiter hochgefahren. Ansonsten schaltet sich das Gerät aus. Dies dient um Löcher im Pumpsystem innerhalb des Messgerätes auszuschließen. Dann wird, wie beim ALTAIR 4X, zwischen den einzelnen Anzeigen durchgeschaltet. Zuletzt fordert das ALTAIR 5X zu einem Frischluftabgleich auf.

Am Hauptbildschirm, Abb. 3-10, können die aktuellen Messwerte der Gase, die Uhrzeit und der Akkustand abgelesen werden. Mithilfe der ▼-Taste erfolgt der Zugriff auf die weiteren Anzeigen. Diese umfassen den BUMP-Test, PEAK, MIN, STEL, TWA, das aktuelle Datum, „last cal“, „cal due“ und zuletzt den MOTION-Alarm.



Abb. 3-10: ALTAIR 5X: Display mit Hauptbildschirm

PEAK zeigt die höchste aufgezeichnete Konzentration aller Gase seit Einschalten des Messgerätes an. In MIN ist der geringste gemessene Sauerstoffwert zu sehen. STEL zeigt die berechneten KZW-Messwerte und TWA die berechneten acht Stunden Mittelwerte des Gerätes an. STEL und TWA werden für die Gase CO, CO₂, SO₂ und H₂S angezeigt. Beide können durch Drücken der ▲-Taste zurückgesetzt werden. „Last cal“ zeigt das Datum der letzten Kalibrierung an und „cal due“ gibt die Anzahl der Tage bis zur Nächsten an. Der Motion-Alarm funktioniert analog zum ALTAIR 4X.

In allen Anzeigen schaltet das Gerät, nach einer gewissen Zeit ohne Tastenbetätigung, zurück zum Hauptbildschirm.

Weitere technische Daten des ALTAIR 5X sind in Anhang 12.3 zu sehen.

3.3.3 MultiRAE Lite^[17] [18]

Das verwendete MultiRAE Lite verfügt über eine Pumpe, die Luft in das Gerät zu den Sensoren saugt. Abb. 3-11 zeigt eines der verwendeten Geräte sowie eine Systemskizze. Die Skizze benennt die einzelnen Teile des Gasmessgerätes. Der externe Filter über dem Gaseingang schützt die Sensoren vor Staub. Das Gerät wird an den Messpunkten nicht über eine Batterie betrieben, sondern direkt an den Stromkreislauf angeschlossen. Um einen reibungslosen Messablauf zu gewährleisten, müssen die Bereiche des Gaseintritts und des Gasaustritts frei liegen.

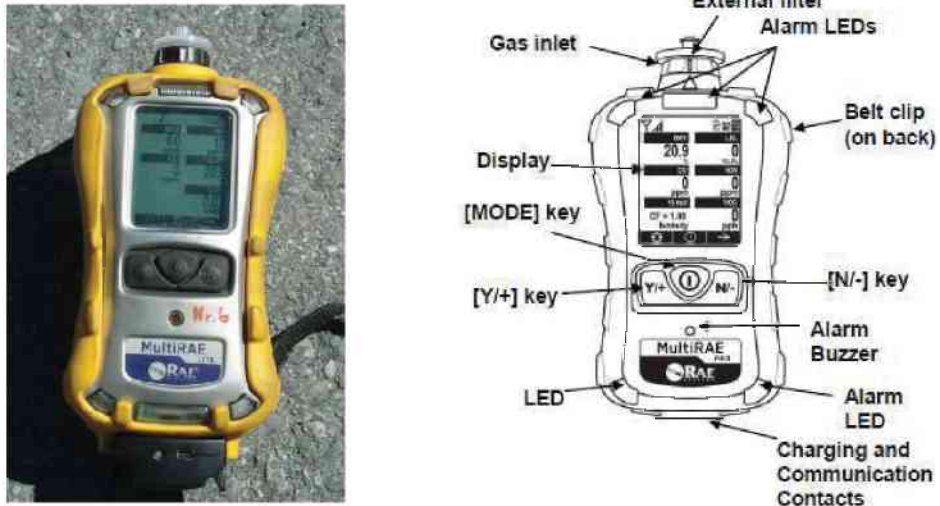


Abb. 3-11: MultiRAE Lite: Systemskizze^[18] und Foto

Mit dem MultiRAE Lite werden die Gase Stickstoffmonoxid (NO), NO₂, CO, CO₂ und O₂ gemessen. Die technischen Daten der Sensoren, mit den Messbereichen der einzelnen Gase und ihrer Auflösung, sind in Tab. 3-6 aufgelistet.

Gas		Bereich	Auflösung
Stickstoffmonoxid	NO	0 – 250 ppm	0,5 ppm
Stickstoffdioxid	NO ₂	0 – 20 ppm	0,1 ppm
Kohlenstoffmonoxid	CO	0 - 500	1 ppm
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	0 – 50.000 ppm	100 ppm
Sauerstoff	O ₂	0 – 30 Vol.-%l	0,1% Vol

Tab. 3-6: MultiRAE Lite: Technische Daten der Sensoren

Die eingebauten Sensoren der Messgeräte variieren zwischen den einzelnen Messpunkten.

3.4 Feuchte- und Temperaturmessgeräte

Zur Messung der relativen Luftfeuchtigkeit und der Lufttemperatur werden verschiedenste Geräte verwendet. Zusätzlich zu den in diesem Kapitel vorgestellten Messgeräten, speichern die Hitzdrahtanemometer beim Messen der Wettergeschwindigkeit Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit. Sie sind in Kapitel 3.5.2 beschrieben.

3.4.1 Vaisala HMI41 ^{[19] [20] [21] [22]}

Das Feuchte- und Temperaturmessgerät Vaisala HMI41 („Humidity Indicator“) ist mit der Sonde HMP46 („Humidity and Temperature Probe“) ausgerüstet. Die Sonde besteht aus rostfreiem Stahl und ist für mechanisch anspruchsvolle Einsätze geeignet. Außerdem ist sie unempfindlich gegenüber Staub, Schmutz und den meisten Chemikalien. Die aktuellen Werte für die relative Luftfeuchtigkeit und die Temperatur können direkt am Display abgelesen werden.

In Abb. 3-12 ist das Vaisala HMI41 abgebildet und beschrieben.



Abb. 3-12: Thermohygrometer Vaisala HMI41

Der Messbereich für die relative Luftfeuchtigkeit (rH) geht von 0 % rH bis 100 % rH. Temperaturen sind von -40 °C bis +100 °C und kurzzeitig bis 180 °C messbar.

Bereits eine kleine Temperaturdifferenz zwischen dem Sensor und der Umgebung führt zu einem Fehler. Bei einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50 % rH hat eine Differenz von ± 1 °C einen Fehler von ± 3 % rH zur Folge. Bei einer Feuchte von 90 % rH beträgt er bereits $\pm 5,4$ % rH. Der Fehler ist am Größten, wenn der Sensor wärmer oder kälter als die Umgebung und die Luftfeuchtigkeit hoch ist. Obwohl der Feuchtesensor schnell auf Veränderungen des Wasserdampfgehalts der Luft reagiert, ändert sich die Temperatur des HMP46 langsamer. Um Fehler aufgrund Temperaturdifferenzen ausschließen zu können, muss der Sensor vor Beginn der Messungen in der Umgebungstemperatur stabilisiert werden. Je größer der Temperaturunterschied, desto länger die Anpassungszeit.

„Die relative Feuchte wird mit dem [...] Feuchtesensor HUMICAP®180 gemessen, dessen Operationsprinzip auf der Kapazitätsänderung des Sensors durch Sorption von Wassermolekülen in einem Polymer-Dünnsfilm beruht.“^[20]

Die Temperatur wird mit dem Platin-Sensor „Pt100 RTD Class F0.1 IEC 60751“ gemessen. RTD (Resistance Temperature Detector) weist ihn als Widerstands-Temperatursensor aus. Die Bezeichnung Pt100 erhält er durch seinen Nennwiderstand von 100 Ω bei einer Temperatur von 0 °C. Der Pt100 verfügt über eine eigene Widerstandskennlinie, welche den Ohm-Wert in Abhängigkeit zur jeweiligen Temperatur liefert. Bei einer Temperaturänderung wird im Sensor eine Widerstandsänderung hervorgerufen, welche wiederum zu einer Spannungsänderung führt. Dieser Spannungsabfall wird gemessen. Beim Pt100 ist der Widerstandsverlauf nahezu temperaturlinear. Die Widerstandsänderung ist in DIN EN 60751:2009 festgelegt. Da sich diese mit steigender Temperatur erhöht, wird von einem PTC (Positive Temperature Coefficient) gesprochen.

Weitere Daten des Feuchte- und Temperaturmessgeräts HMI41 und der Sonde HMP46 sind dem Anhang 12.4 zu entnehmen.

3.4.2 Optris® LaserSight Infrarot-Thermometer ^[23]



Abb. 3-13: LaserSight Infrarot-Thermometer

Mit diesem Messgerät können sowohl die Wand- als auch die Lufttemperatur gemessen werden. Die Messung der Wandtemperatur erfolgt über den Doppellaser, die der Lufttemperatur über das Thermoelement Typ K.

Für die Messung wird die Taste, in Abb. 3-13 erkennbar, betätigt. Solange diese gedrückt ist, wird gemessen. Während der Messung können die aktuelle und die maximale Temperatur vom Display abgelesen werden. Auch der eingestellte Emissionsgrad ist ersichtlich. Nach Loslassen der Taste erscheint HOLD im Display. Das Gerät befindet sich im Hold-Modus. Diese Anzeige ist in Abb. 3-14 zu sehen. Markiert sind der aktuell eingestellte Emissionsgrad ϵ , das Zeichen für den Hold-Modus und die ^-Taste.



Abb. 3-14: LaserSight: Display

Im Hold-Modus kann durch Betätigen der ^-Taste zwischen dem Maximalwert (MAX), dem Minimalwert (MIN), dem Mittelwert (AVG) und der Differenz (DIF), zwischen Maximum und Minimum, umgeschaltet werden. Die einzelnen Anzeigen des Hold-Modus sind in Abb. 3-15 ersichtlich. Wenn keine Taste gedrückt wird, erlischt das Display nach sieben Sekunden.

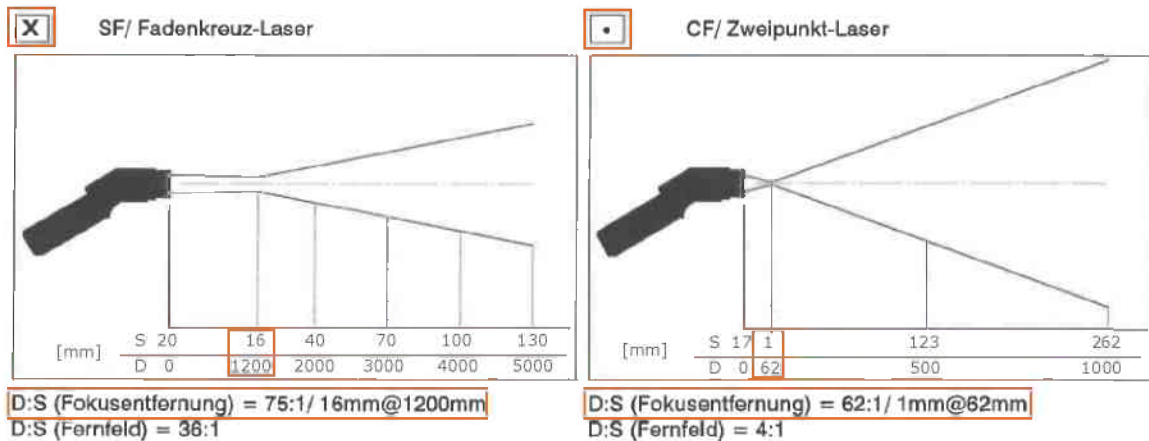


Abb. 3-15: LaserSight: Die Anzeigen im Hold-Modus

Der Emissionsgrad ist eine Materialkonstante, die die Fähigkeit eines Körpers Infrarotstrahlung auszusenden, beschreibt. Er kann zwischen 0 und 1 liegen. Für Beton wird in der Bedienungsanleitung ein Emissionsgrad von $\varepsilon = 0,950$ vorgeschlagen.

Das Infrarot-Thermometer besitzt eine Umschaltoptik. Die Betriebsarten werden als Standard-Fokus-Modus (SF-Modus) und als Close-Focus-Modus (CF-Modus), oder Scharfpunktoptik, bezeichnet. Für die Messungen im Tunnel wird der SF-Modus herangezogen. Damit können Objekte ≥ 16 mm gemessen werden. Der Messfleck wird mit dem Laserfadekreuz markiert. Am kleinsten, 16 mm Durchmesser, ist er in einer Entfernung von 1200 mm vom Messgerät.

Im CF-Modus kann die Temperatur von Objekten ≥ 1 mm gemessen werden. Der Messfleck hängt von der Entfernung des Messgerätes vom zu messenden Objekt ab. Für eine korrekte Messung muss er gleich groß oder kleiner als das Messobjekt sein. Sein Durchmesser wird von einem Zweipunkt-Laser beschrieben. Im Scharfpunkt, 62 mm vom Gerät entfernt, liegen beide Laserpunkte übereinander. Die gemessene Fläche hat einen Durchmesser von 1 mm.



D = Entfernung von der Vorderkante des Gerätes zum Messobjekt
 S = Messfleckgröße

Abb. 3-16: LaserSight: Fokulentfernung und Größenänderung des Messflecks mit der Entfernung^[16]

Abb. 3-16 zeigt die Fokulentfernung und die Größenänderung des Messflecks mit der Entfernung des LaserSight vom zu messenden Objekt. Außerdem sind, jeweils links neben dem Titel, die Symbole des Optikumschalters ersichtlich, welche die beiden Modi kennzeichnen. Der Optikumschalter ist in Abb. 3-13 benannt.

Im Baulos Wolf ist die Messentfernung immer größer als die 1200 mm des Fokuspunktes des SF-Modus. Somit weisen die Messflecke immer einen Durchmesser größer 16 mm auf.

3.4.3 Digitales Thermo-Hygrometer ^[24]



Abb. 3-17: Digitales Thermo-Hygrometer

Das digitale Thermo-Hygrometer misst die Luftfeuchtigkeit von 10 % rH bis 99 % rH, mit einer Genauigkeit von ± 5 % im Bereich von 25 %RH bis 75 %RH. Die Lufttemperatur kann in einem Bereich von -10 °C bis $+60$ °C gemessen werden. Hierfür liegt die Genauigkeit bei ± 1 °C von -10 °C bis $+50$ °C. Dieses Messgerät wird zur Verdichtung der Messergebnisse an einigen Punkten der Tunnelbauwerke aufgestellt. Die Daten werden händisch notiert.

3.5 Wettersgeschwindigkeit

3.5.1 Flügelradanemometer: MiniAir20 ^[25]



Abb. 3-18: Flügelradanemometer [Galler, R., 18.08.2016]

Das MiniAir20 ist die Anzeige- und Bedieneinheit des verwendeten Flügelradanemometers. Diese Einheit muss zur Messung der Luftströmung mit einem Macro- oder einem Mini-Messkopf verbunden werden. Wegen der erwarteten

geringen Luftgeschwindigkeiten wird das Flügelradanemometer mit dem Macro-Flügelrad verwendet. Es spricht schneller auf geringe Luftströmungen an.

Der Macro-Messkopf hat einen Durchmesser von 85 mm und eine Länge von 80 mm. Er besteht aus einem Flügelrad, welches leicht drehend gelagert ist und einer Schutzhülle um ein Anschlagen des Flügelrads am Ulm zu verhindern. Durch die strömende Luft wird das Flügelrad in Rotation versetzt, die Drehzahl des Flügelrades wird in die Wettergeschwindigkeit umgerechnet. Sie kann, in [m/s], an der Anzeige- und Bedieneinheit abgelesen werden.

Auf der Außenseite der Schutzhülle ist oben die Durchströmungsrichtung der Luft mit einem Pfeil gekennzeichnet. Um eine genaue Messung zu gewährleisten muss die Durchströmungsrichtung eingehalten werden. Das Messgerät darf keinesfalls in einem Winkel quer zur Strömungsrichtung positioniert werden.

Das Flügelrad ist am Ende einer 15 mm dünnen Aluminiumstange befestigt. Diese ist mit maximal acht Verlängerungsstangen, zu je 300 mm, erweiterbar.

3.5.2 Hitzdrahtanemometer ^[26]

Die Hitzdrahtanemometrie gehört zu den thermoelektrischen Geschwindigkeits-Messverfahren. Sie ist ein klassisches Analogieverfahren, d.h. ein indirektes Messverfahren. Mit ihr können sowohl zeitlich gemittelte Geschwindigkeiten, als auch Schwankungsgeschwindigkeiten gemessen werden. Das thermoelektrische Messprinzip des Hitzdrahtes ergibt sich aus der Wärmebilanz eines elektrisch geheizten und durch den Luftstrom gekühlten Drahtes.

Für die Hitzdrahtanemometrie wird ein dünner Metalldraht, mithilfe einer Brückenschaltung, aufgeheizt. Die Temperatur liegt deutlich über der Strömungstemperatur und die dafür erforderliche elektrische Heizspannung wird als Maß für die Geschwindigkeit verwendet. Dies wird Konstant-Temperatur-Anemometrie genannt. Bei ihr kann die Übertemperatur des Sensors durch Wahl des Operationswiderstandes gesteuert und über die Brückenschaltung konstant gehalten werden. Die Konstant-Temperatur-Regelung erfolgt durch Ausnutzung der ausgeprägten Temperaturabhängigkeit des Sensorwiderstandes und einem nahezu linearen Zusammenhang zwischen dem elektrischen Widerstand und der Sensortemperatur. Durch die Vorgabe des Operationswiderstandes ist die mittlere Sensortemperatur eindeutig festgelegt.

Hitzdrahtanemometer weisen aufgrund ihres Messprinzips eine starke Abhängigkeit von allen Strömungsparametern auf, die ihren Wärmehaushalt beeinflussen. In erster Linie ist damit die Temperatur der strömenden Luft gemeint. Des Weiteren beeinflusst die Anströmrichtung des Hitzdrahtes das Messergebnis, da seine effektive Oberfläche verändert wird.

Beide Hitzdrahtanemometer stammen von der gleichen Herstellerfirma, wobei das „Model 9565“ über mehr Funktionen verfügt.

3.5.2.1 VelociCalc Modell 9545 ^[27]

Abb. 3-19: Hitzdrahtanemometer VelociCalc 9545

Dieses Hitzdrahtanemometer wurde für die Messungen von 16. bis 18. August 2016, im Baulos Wolf 2, verwendet. Zum einen wurde die Wettergeschwindigkeit direkt vom Display abgelesen, zum anderen wurden „Tests“ mit mehreren Einzelmessungen gestartet. Jede Einzelmessung benötigte ca. 10 sek. Die Tests wurden in ein Excel File ausgelesen und beinhalten Informationen zu Datum, Uhrzeit, Wettergeschwindigkeit und relativer Luftfeuchte. Sie wurden verwendet um in einem Querschnitt mehrere Messpunkte aufzunehmen.



Abb. 3-20: VelociCalc Modell 9545: Display

Am Display, Abb. 3-20, sind die aktuelle Wettergeschwindigkeit, die relative Luftfeuchtigkeit und die Nummer des aktuellen Tests ablesbar. Die Messbereiche und Genauigkeiten des VelociCalc 9545 für Luftgeschwindigkeit, Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit sind in Tab. 3-7 zu finden. Weitere Daten sind dem Datenblatt in Anhang 12.5 zu finden.

	Messbereiche	Genauigkeit	Auflösung
Luftgeschwindigkeit	0 bis 30 m/s	±3 % des Messwertes oder ±0,015 m/s	0,01 m/s
Temperatur	-10 °C bis 60 °C	±0,3 °C	0,1 °C
Luftfeuchtigkeit	0 % rH bis 95 % rH	±0,3 % rH	0,1 % rH

Tab. 3-7: Messbereiche und Genauigkeiten des VelociCalc 9545 ^[27]

3.5.2.2 VelociCalc Modell 9565 ^[28]

Dieses Hitzdrahtanemometer wurde an den fixen Messpunkten montiert. Die Sonde war am Messgerät fixiert und ragte bei den Messpunkten in den Querschnitt hinein. Jede Minute wurde eine Probe genommen und alle Daten wurden im internen Datalogger gespeichert. Sie wurden nach Beendigung des Messprogramms auf einen Computer überspielt.

Das VelociCalc 9565 wird, wie die anderen Messgeräte der fixen Messpunkte, mit einem AC-Netzteil betrieben. „Die ausziehbare Sonde enthält Geschwindigkeits-, Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren. Bei Gebrauch muss das Sensorfenster“, in welchem der Hitzdraht zu sehen ist, „[...] sichtbar sein und der Richtungspunkt muss gegen die Strömung zeigen.“^[28] Für Messungen der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit müssen mindestens 7,5 cm der Sonde in den Luftstrom ragen, damit sich die Sensoren im Luftstrom befinden.

Die Technischen Spezifikationen des Modells 9565 sind ähnlich jenen des Modells 9545. Sie sind in Tab. 12-4, Anhang 12.5, zu finden. Das VelociCalc 9565 ist um ein paar Zentimeter größer und einige Gramm schwerer als das andere Modell. Sein Messbereich für die Wettergeschwindigkeit reicht von 0 m/s bis 50 m/s. Zusätzlich wird der barometrische Druck aufgezeichnet.

3.6 Staubbmessung

3.6.1 Photometrische Staubbmessung ^[29] ^[30]

Für die Photometrische Staubbmessung wurden Großteils Messgeräte des Typs GRIMM, aus der Serie 1.100, verwendet. Es ist in Abb. 3-21 abgebildet. Sie sind auf die kontinuierliche Messung von Stäuben in der Luft ausgelegt. Die Daten werden als Massekonzentration in [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] ausgegeben.



Abb. 3-21: Photometrische Staubbmessung: GRIMM

„Bei allen Geräten der Serie 1.100 kommt die Streulichtmessung der Einzelpartikel zum Einsatz, wobei ein Halbleiterlaser als Lichtquelle dient.“^[29] Dabei wird das „Streulicht [...] über einen Spiegel auf eine Empfängerdiode gelenkt. Wenn die Partikel den Laserstrahl durchqueren, geben sie einen Lichtimpuls ab. Das Signal der Diode wird [...] in acht Größenkanälen klassifiziert.“^[29] Durch die Klassifizierung ist eine Größenbestimmung der Partikel und in weiterer Folge die Einteilung in A- und E-Staub möglich.

„Die Probenluft wird mit Hilfe einer internen, volumenstromgeregelten Pumpe durch die Meßzelle und ein Gravimetriefilter gesaugt. Dieses Filter dient als Staubsammler und kann zu gravimetrischen Kontrollen [...] verwendet werden.“^[29] Des Weiteren fördert die Pumpe die Spülluft, welche aus der Pumpenabluft gewonnen und über einen Feinstfilter gereinigt wird. Mit der Spülluft wird die Verschmutzung der Laseroptik verhindert. Außerdem wird sie beim Geräteselbsttest als partikelfreie Referenzluft verwendet.

Alle sechs Sekunden werden die Messwerte erfasst und auf der LCD-Anzeige angezeigt. Der Mittelwert dieser Messwerte wird minütlich gespeichert.

Im Bereich des Messpunktes 3, BBT, war zusätzlich ein Messgerät des Typs „hund - TM data“ aufgestellt. Bei Messpunkt 1, Lind West, war nur ein „TM data“ montiert, da kein weiteres GRIMM vorhanden war. Die Messwerte wurden bei Messpunkt 3 des Bauloses Wolf 2 alle acht Sekunden und bei Baulos Lind West zuerst alle 16 und dann alle acht Sekunden aufgezeichnet.

Bei der Kontrolle der Messpunkte wird das „TM data“ jedes Mal durch ein neues ausgetauscht. Es speichert auch kein Datum oder Uhrzeit sondern beginnt bei 00:00 und zählt die acht bzw. 16 Sekunden dazu. Die Startzeit muss von einer Uhr notiert werden.



Abb. 3-22: Photometrische Staubmessung: „TM data“

Das „TM data“, Abb. 3-22, misst den Verlauf des A-Staubes. Es arbeitet nach dem Streulichtprinzip. „Die im Strahlengang des Primärlichtes befindlichen Partikel streuen Licht. Das Gerät mißt das von Partikeln unter einem Winkel von 70 Grad zur Richtung des Primärstrahles ausgehende Streulicht.“^[30] In Kombination mit der Messwellenlänge von 950 [nm] werden hierbei nur die Partikel der alveolengängigen Fraktion erfasst. „Das Gerät benötigt dazu keinen Vorabscheider, da durch das gewählte Meßprinzip Partikel kleiner als ca. 8µm bewertet werden.“^[30] Als Messergebnis wird ein Streulichtintensitätswert ausgegeben, welcher direkt proportional zur Staubkonzentration ist.

Da die Staubkonzentration durch die optische Streulichtmessung indirekt gemessen wird, müssen die Ergebnisse mit einem Faktor korrigiert werden. Für diesen werden

zeit- und ortsgleiche Vergleichsmessungen mit einem gravimetrischen Staubmessgerät benötigt.

Die Messabschnitte wurden durch die gravimetrische Staubmessung eingeteilt und die Ergebnisse der photometrischen Staubmessung wurden auf diese zeitlichen Abschnitte gemittelt. Der Faktor ermöglicht eine direkte Bestimmung der Konzentration in [mg/m³]. Er wurde für jeden zeitlichen Messabschnitt und einzeln für E- bzw. A-Staub berechnet.

$$\text{Gl. 3-5: } \text{Faktor} = \frac{\text{gravimetrische Messung}}{\text{Mittelwert photometrische Messung}}$$

In Gl. 3-5 ist die mathematische Beziehung des Faktors angegeben. Für die korrigierten Staubkonzentrationen wurden die Messwerte der photometrischen Staubmessungen mit ihrem jeweiligen Faktor multipliziert.

3.6.2 Gravimetrische Staubmessung

Die gravimetrische Staubmessung erfolgte, an jedem Messpunkt, mit zwei Probenahmepumpen des Typs „Gilian HI FLOW SAMPLER Model HFS-513A“. Bei Lind West und Stein West wurde, an insgesamt drei der vier Messpunkten, je einer dieser Probennehmer durch einen des Typs „GilAir Plus“ ersetzt. Dies war auf die Verfügbarkeit der Probennehmer zurückzuführen.



Abb. 3-23: Gravimetrische Staubmessung: „Gilian HI FLOW SAMPLER“



Abb. 3-24: Gravimetrische Staubmessung: Probennehmer „GilAir“

An jedem Messpunkt war ein Probennehmer mit dem Filter für A-Staub und einer mit dem Filter für den Gesamtstaub ausgerüstet. Die Filter sind in Abb. 3-25 abgebildet, der Probennehmer Gilian in Abb. 3-23 und das Probenahmegerät GilAir in Abb. 3-24.

Die Filter wurden im Labor gewogen und für die Korrektur der photometrischen Staubmessung nach Gl. 3-5 herangezogen.

Der Luftvolumenstrom der Probenehmer kann ist vom verwendeten Filter abhängig. Wenn ein A-Staub-Filter montiert ist, ist der Durchfluss auf 2 l/min eingestellt. Bei einem E-Staub-Filter beträgt er 3,5 l/min.



Abb. 3-25: Gilian: Filter für A-Staub und Gesamtstaub

3.7 Bushnell Velocity Speed Gun 101911 ^[31]

Die „Bushnell Velocity Speed Gun“ ist eine Radarpistole mit Doppler Radar die den Doppler Effekt nutzt. Sie erlaubt eine sofortige Messung der Geschwindigkeit. Für Autos liegt der messbare Bereich zwischen 16 km/h und 322 km/h bei einer Entfernung von 457 m und mit einer Genauigkeit von ± 2 km/h. Der Einsatztemperaturbereich liegt zwischen 0 °C und 40 °C.

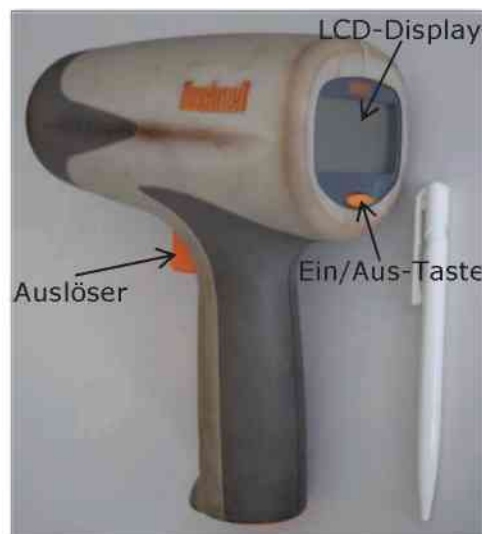


Abb. 3-26: Bushnell Velocity Speed Gun

Abb. 3-26 zeigt die Radarpistole mit der Beschriftung ihrer Einzelteile. Sie wird durch Betätigung der Ein/Aus-Taste eingeschaltet. Ein Drücken des Auslösers startet die Messung und ein Radarzeichen «))» erscheint rechts oben im Bildschirm. Nach Loslassen des Auslösers wird die höchste gemessene Geschwindigkeit im LCD-Display angezeigt. Die Velocity Speed Gun wird durch drei Sekunden langes Drücken der Ein/Aus-Taste wieder ausgeschaltet. Sie deaktiviert sich nach zehn Minuten ohne Verwendung selbst.

Die Geschwindigkeit kann in Meilen pro Stunde [mph] oder [km/h] gemessen werden. Ein Umschalten ist im Betrieb möglich und die Einstellung wird rechts unten am Display angezeigt.

Für eine exakte Messung muss sich das Ziel im Kollisionskurs gerade auf die Radarpistole zubewegen. Je größer die Abweichung von der Gerade ist, desto geringer ist die Genauigkeit. Die gemessene Geschwindigkeit ist langsamer als die tatsächliche. Dieses Phänomen wird Kosinuseffekt genannt, da die gemessene Geschwindigkeit direkt mit dem Kosinus des Winkels zwischen Messgerät und Bewegungsrichtung des Fahrzeuges zusammenhängt.

4 Das Messprogramm

4.1 Brenner Basis Tunnel: Baulos Wolf 2

Das Baulos Wolf 2 besteht aus mehreren Bauwerken. Der Zufahrtstunnel und die Zufahrtsrampe Wolf Süd weisen beide ein Gefälle von 10 % auf. Somit wird über eine Länge von 4000 m ein Höhenunterschied von 400 m überwunden. Auf diesem Niveau schließt der Erkundungsstollen (EKS) an. Der EKS steigt mit 8 ‰ an. Nach Fertigstellung des Bauloses ist er 1200 m lang. Er führt in Richtung Süden. Als weitere Tunnelbauwerke sind der Padastertunnel und der Schutterstollen (SST) zu nennen. Die Lage der einzelnen Tunnel ist Abb. 4-1 zu entnehmen. Im Übersichtsplan ist die Zufahrtsrampe als Querverbindung beschriftet.

Bei diesem Projekt handelt es sich um einen tiefliegenden Tunnel.

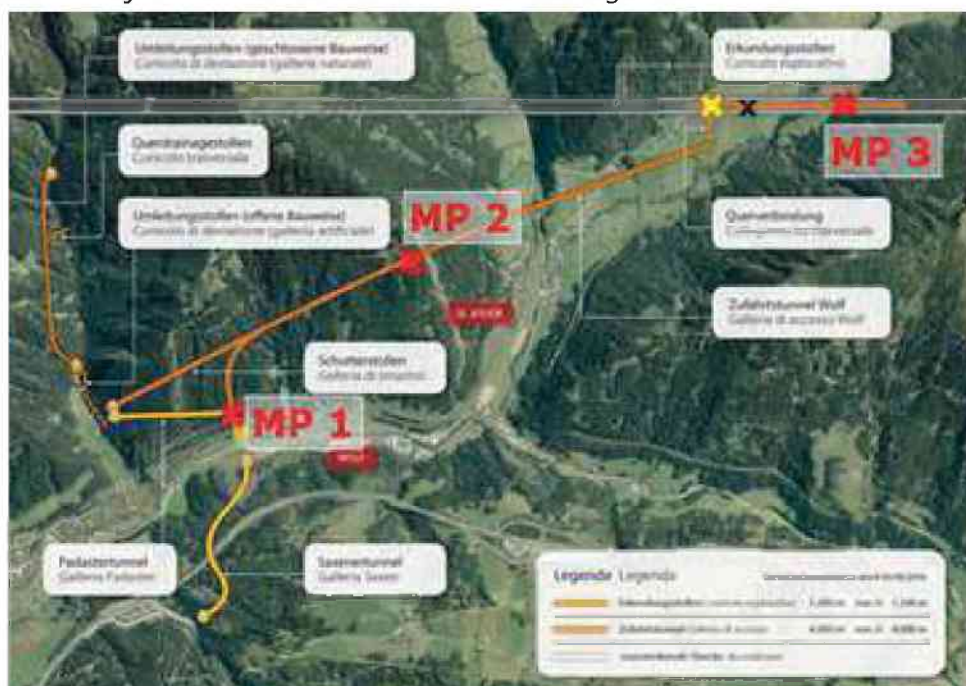


Abb. 4-1: BBT: Übersichtsplan Baulos Wolf 2^[32]

Die Messungen wurden an insgesamt fünf Tagen durchgeführt. Von 16. 08. 2016 bis 18. 08. 2016 und von 23. 08. 2016 bis 24. 08. 2016. An den ersten drei Tagen fanden keine Vortriebsarbeiten statt, an den letzten beiden schon. Die Lichtverhältnisse unterschieden sich nur durch die Beleuchtung der Arbeitsmaschinen und die Lutte fuhr ohne Vortrieb lediglich mit 10 % ihrer Leistung.

Das Messprogramm unterteilte sich in zwei Hauptbereiche. Zum einen wurden Beleuchtungsstärke, Lufttemperatur, Wandtemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Wettergeschwindigkeit, Schalldruckpegel und verschiedenste Gaskonzentrationen mit Handgeräten gemessen, zum anderen wurden, während der Vortriebsarbeiten, drei fixe Messpunkte installiert. An diesen wurden Gaskonzentrationen, Wettergeschwindigkeit, Staubkonzentrationen, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und barometrischer Druck aufgezeichnet. Messpunkt 1 und Messpunkt 2 waren am Ulm

angebracht. Der Hitzdraht des Hitzdrahtanemometers ragte ungefähr 30 cm in den Querschnitt herein. Messpunkt 3 befand sich ungefähr 1,5 m vom Ulm entfernt hinter einer Holzwand. Sie diente als Schutz der Messgeräte während des Sprengens. Der Hitzdraht ragte an der Holzwand vorbei in den Querschnitt hinein.

Die Messgeräteanordnung an den einzelnen Messpunkten ist Abb. 4-2, Abb. 4-3 und Abb. 4-4 zu entnehmen. Für die Messpunkte war ein Anschluss an das Stromnetz benötigt. Die Lage der Messpunkte und der weiteren Messstellen ist dem Plan, A66. 4-1 zu entnehmen. Dabei sind die Messpunkte rot, die Kaverne der Radladerversuche gelb und MQ 43 schwarz gekennzeichnet.

4.1.1 Messpunkt 1

Messpunkt 1 befand sich nach dem ersten Querstollen (Padastertunnel) bei TM 55 auf der linken Seite des Tunnels. An diesem Punkt wurden die Konzentrationen von Staub und Gasen, Wettergeschwindigkeit, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und der barometrische Druck kurz nach dem Portal erhoben. Die hier gemessenen Gase umfassten NO, NO₂, CO und O₂.

Der Messpunkt konnte nicht näher zum Portal verlegt werden, da sich an dem einzigen Ort, an welchem eine Stromversorgung vorhanden war, ein Waschplatz für Baumaschinen befand. Dort wären die Messergebnisse durch das Waschwasser verfälscht worden. Außerdem ist der Hitzdraht des Wettermessgerätes Wasser gegenüber zu empfindlich.

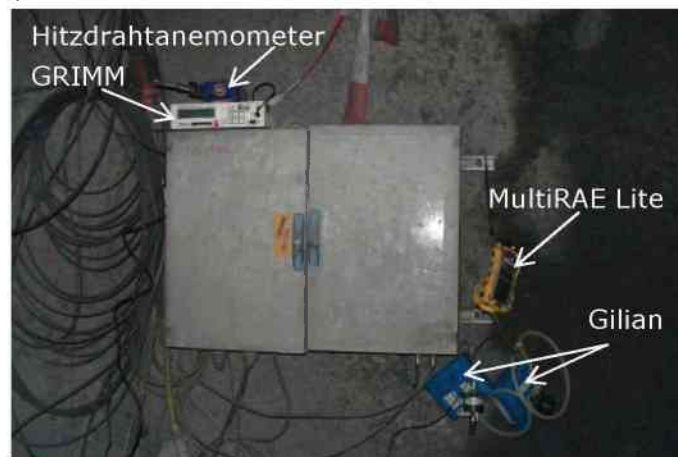


Abb. 4-2: BBT: Messpunkt 1: Geräteanordnung

Messpunkt 1 wurde am 23.08.2016 ab 11:50 Uhr aufgebaut und am 24.08. um ca. 13:30 Uhr wieder abgebaut.

4.1.2 Messpunkt 2

Messpunkt 2 befand sich auf Höhe TM 1500 des Zufahrtstunnels. Hier herrschte der Regelquerschnitt mit einer theoretischen Ausbruchfläche von 130,87 m² und 20 cm Spritzbeton. Das fertige Profil hatte eine Fläche von ca. 120 m². Die nächste Veränderung des Querschnitts war Entwässerungskaverne. Sie war gute 150 m von Messpunkt 2 entfernt. Von der Fahrbahn aus betrug die Überlagerungshöhe an Messpunkt 2 rund 696 m^[33].

Hier wurden die Gase NO, NO₂, CO und CO₂, Staubkonzentrationen, Wettergeschwindigkeit, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und der barometrische Druck gemessen. Die Geräteanordnung ist Abb. 4-3 zu entnehmen.

Außerdem wurde im Bereich des TM 1500 die Wettergeschwindigkeit zusätzlich mit dem Flügelradanemometer aufgenommen und die Beleuchtungsstärke bestimmt. Die Messung der Beleuchtungsstärke begann 35 m unterhalb von TM 1500, vor einer weißen Leuchtstofflampe, und wurde bis 25 m oberhalb von TM 1500 fortgesetzt. Dabei wurden sie sowohl in der Mitte der Fahrbahn, als auch links, in Blickrichtung Portal, gemessen. Dort fanden die Messungen einen Meter vom Wasserlauf entfernt statt. Am linken Ulm waren in einem Abstand von 20 m Halogenleuchten montiert. Die Lutte befand sich, in Blickrichtung Portal, rechts.



Abb. 4-3: BBT: Messpunkt 2: Geräteanordnung

Messpunkt 2 wurde am 23.08.2016 ab 12:25 Uhr aufgebaut und am 24.07.2016 um 13:18 Uhr wieder abgebaut.

4.1.3 Messpunkt 3

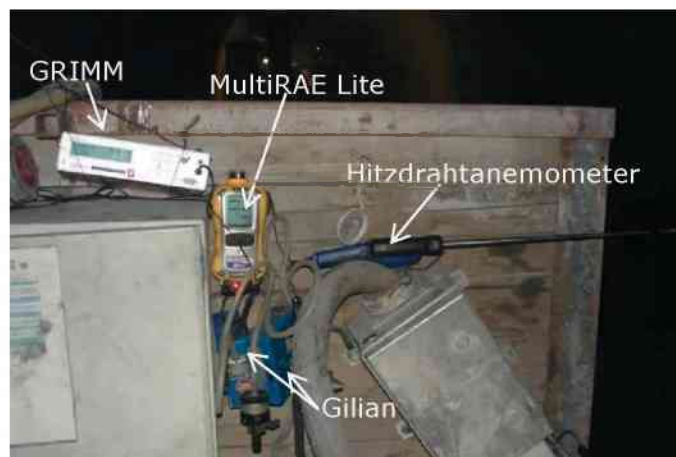


Abb. 4-4: BBT: Messpunkt 3: Geräteanordnung

Messpunkt 3 befand sich auf Höhe TM 1027 des Erkundungsstollens Wolf. Die Messgeräte waren hinter einer Holzwand montiert, damit sie während des Sprengens geschützt waren. Luftverwirbelungen durch die Holzwand, und in Folge dessen von der Umgebung abweichende Messwerte, konnten nicht ausgeschlossen

werden. Ohne den Schutz der Holzwand hätten die Messgeräte vor jedem Sprengen nach hinten und danach wieder nach vorne gebracht werden müssen. Daraus wären weitaus größere Abweichungen, als durch mögliche Luftverwirbelungen, entstanden. Der Messpunkt konnte nicht näher zur Ortsbrust verschoben werden, da weiter vorne kein geschützter Platz vorhanden war.

Die schräge Lage des Staubmessgerätes GRIMM war auf die notwendige geschützte Montage zurückzuführen. Sie hatte keine Auswirkungen auf die Messergebnisse.

Messpunkt 3 wurde am 23.08.2016 ab 14:11 Uhr aufgebaut und am 24.07.2016 um ca. 12:30 Uhr wieder abgebaut. Zum Zeitpunkt des Aufbaus befand sich die Ortsbrust bei TM 1096,3. Der im Vergleich zu den anderen Messpunkten verspätete Aufbau begründete sich durch eine Sprengung um 12:55 Uhr. Wegen des Schutterns, in Verbindung mit schlechter Sicht, und des zu hohen CO-Gehaltes wurde abgewartet.

An diesem Messpunkt wurden die Konzentrationen der Gase NO, NO₂, CO und CO₂ gemessen. Außerdem wurden Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, barometrischer Druck, Wettergeschwindigkeit und Staubkonzentration aufgezeichnet.

4.1.4 Kaverne: Startpunkt des EKS Wolf

Ohne Vortriebsarbeiten fanden in dieser Kaverne die Radladerversuche statt. Hier wurden Lufttemperatur, Wandtemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und die Beleuchtungsstärke gemessen. Außerdem wurde in geringer Entfernung im EKS die Wettergeschwindigkeit mit Flügelrad- und Hitzdrahtanemometer untersucht. Dort herrschte kein Regelquerschnitt, sondern ein erweiterter Querschnitt. Die Fahrbahn der Kaverne befand sich rund 1290 m unter der Geländeoberfläche.^[33]

4.1.5 EKS Wolf: MQ 43

An TM 43 des EKS herrschte das Regelprofil des Erkundungsstollens mit einer theoretischen Ausbruchfläche von 50,71 m². und 20 cm Spritzbeton.^[34] Hier wurde die Wettergeschwindigkeit sowohl bei Betriebsstillstand, als auch während der Vortriebsarbeiten gemessen. Die Messungen fanden mithilfe des Flügelradanemometers und bei Betriebsstillstand zusätzlich mit dem Hitzdrahtanemometer „TSI VelociCalc Model 9545“ statt.

4.1.6 Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke wurde an insgesamt vier Strecken gemessen. Diese lagen im Portalbereich, bei TM 1500 des Zufahrtstunnels, zwischen 300 m und 100 m von der Ortsbrust entfernt und von Messpunkt 3 aus in Richtung Ortsbrust. Zusätzlich wurden die Lichtverhältnisse in der Kaverne der Radladerversuche begutachtet. In der Kaverne und auf der Strecke 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt wurde die Beleuchtungsstärke ohne Vortriebsarbeiten aufgezeichnet. Die restlichen Messungen fanden während der Vortriebsarbeiten statt.

Für die Luxmessung wurde ein Zollstab mit einer Höhe von 1,22 m herangezogen. Auf diesem wurde das Luxmeter waagrecht aufgelegt. Um die Messergebnisse nicht

zu verfälschen musste sich die messende Person so hinstellen, dass die Beleuchtung weder abgedunkelt, noch von der Person reflektiert wurde. Der Arm, mit welchem der Zollstab und das Messgerät gehalten wurden, war ausgestreckt. Außerdem war es notwendig die Stirnlampe auszuschalten. Gemessen wurde, je nach Messstrecke, in der Mitte der Fahrbahn, in einem Abstand von 1,22 m von der Tunnelleitung und in einem Abstand von einem Meter vom Wassergraben.

4.1.7 Schalldruckpegelmessung

Der Schalldruckpegel wurde für einzelne Arbeitsschritte und Umgebungsbereiche in A- und C-bewerteter Kurve gemessen. Dies geschah mit einem Handmessgerät. Die Messung erfolgte immer über einige Minuten. Zum einen wurden Messwerte direkt vom Display abgeschrieben und zum anderen wurden Dauermessungen durchgeführt. Bei den Dauermessungen wurde jede Sekunde ein Messwert am Datalogger des Messgeräts gespeichert.

4.1.8 Wettergeschwindigkeit

Über den Tunnelquerschnitt variierten die punktuell erfassten Wettergeschwindigkeiten. Aus diesem Grund wurde die Wettergeschwindigkeit, mithilfe tragbarer Messgeräte, an mehreren Punkten im Querschnitt gemessen. Als Messgerät wurde Großteils ein Flügelradanemometer verwendet. Einige Datensätze wurden mit einem Hitzdrahtanemometer aufgezeichnet. Diese Messungen fanden zusätzlich zu Langzeitmessungen fest montierter Hitzdrahtanemometer statt.

4.1.9 Fahrbahnverhältnisse im Tunnel

Zusätzlich zu den Messungen wurden die Fahrbahnverhältnisse der Tunnelbaustelle in Augenschein genommen. Dies geschah durch mitfilmen der Tunnel Ein- und Ausfahrt, da die Strecke zu weit war, um sie zu Fuß abzuschreiten. Aus diesen Videos wurden Schlüsse zur Beschaffenheit der Fahrbahn gezogen.

4.1.10 Geschwindigkeit der Fahrzeuge

Bei TM 1500 des Zufahrtstunnels und ca. 300 m hinter der Ortsbrust des EKS, im Bereich der Lutten-Verlängerung, wurde die Geschwindigkeit einzelner vorbeifahrender Fahrzeuge mit der „Bushnell Velocity Speed Gun“ gemessen. Der Zufahrtstunnel Wolf verfügte über ein Gefälle von 10 %, der EKS stieg um 8 ‰ an.

4.2 Koralmbahn: Bauabschnitt Stein ^[35]

Der Bauabschnitt Stein besteht aus zwei Tunnelbauwerken und ist ein Teil des Abschnitts „Mittlern – Althofen/Drau“ der Koralmbahn. Die Gesamtlänge des Tunnels Stein wird im Endzustand rund 2100 m betragen und die des Tunnels Lind 495 m. Es handelt sich bei beiden Tunneln um zweigleisige Eisenbahntunnel.

Beide Tunnelbauwerke zählen zur Kategorie der seichtliegenden Tunnel.

In beiden Tunnel wurden für die ersten beiden Tage der Messungen jeweils zwei Messpunkte aufgebaut. Dabei lag Messpunkt 1 näher am Portal und Messpunkt 2 näher der Ortsbrust. Diese Messungen fanden am 24. und am 25. 10. 2016 statt.

Am dritten Tag, 08. 11. 2016, wurden die tragbaren Gasmessgeräte in beiden Tunneln beim Trafoschlitten montiert.

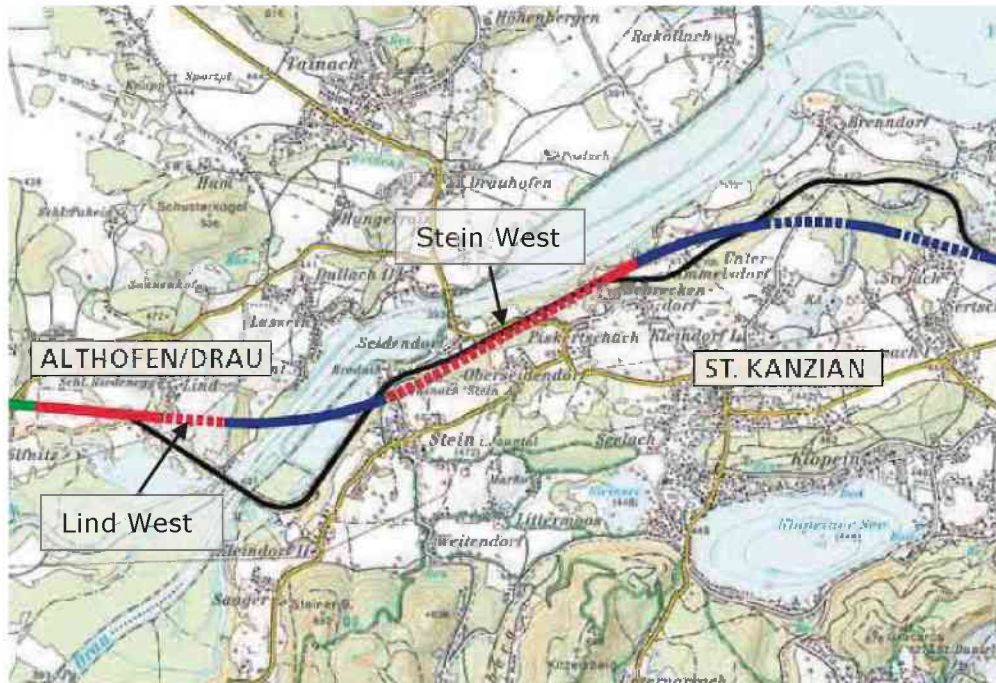


Abb. 4-5: Baulos Stein: Übersichtspl^[36]

4.2.1 Lind West

Im Tunnel Lind West wurde von 06:00 Uhr bis 22:00 Uhr gearbeitet. Darüber hinaus bestand ein Arbeitsverbot. Die Kalotte wurde gesprengt, zusätzlich wurde mit dem Tunnelbagger vorgetrieben. Da die Kalotte vorausgetrieben wurde, befand sich im Tunnel eine Rampe.

Die Ortsbrust von Lind West befand sich zu Beginn des ersten Tages bei TM 305. Um 06:00 Uhr des dritten Messtages waren bereits 359,8 m vorgetrieben. Die Überlagerungshöhe variierte für den bereits ausgebrochenen Tunnelabschnitt zwischen 16 m und 31 m. Sie ist ab der Schienenoberkante angegeben.^[37]

4.2.1.1 Messpunkt 1

Messpunkt 1 war bei TM 125 montiert. Er wurde am 24. 10. 2016 ab 11:47 Uhr aufgebaut und am 25. 10. 2016, gegen 13:58 Uhr, wieder abgebaut.

Bei Messpunkt 1 wurden die Gase NO, CO und O₂ mit dem MultiRAE gemessen. Außerdem wurde der A-Staub mit dem Messgerät „TM data“ und Wettergeschwindigkeit, Lufttemperatur relative Luftfeuchtigkeit und barometrischer Druck mit dem Hitzdrahtanemometer aufgezeichnet. Die Messgeräteanordnung ist in den beiden Fotos, Abb. 4-6, abgebildet.

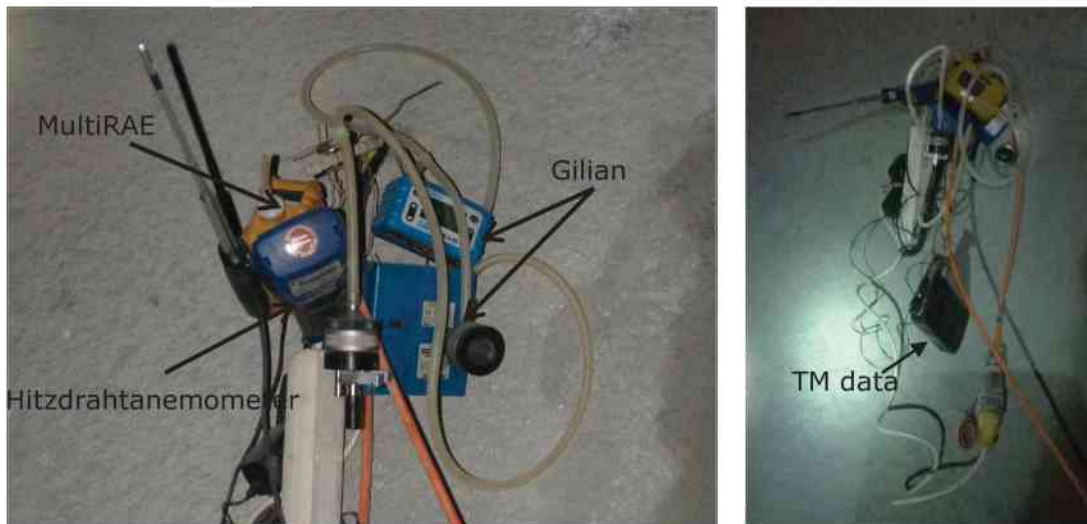


Abb. 4-6: Lind West: Messpunkt 1: Geräteanordnung

4.2.1.2 Messpunkt 2

Messpunkt 2 befand sich bei TM 245. Die Montage der Geräte erfolgte beim Trafoschlitten und ist in Abb. 4-7 ersichtlich. Bei ihm wurden die Gase NO, NO₂, CO und CO₂ aufgezeichnet. Des Weiteren wurden die Staubkonzentrationen beider Fraktionen gravimetrisch und photometrisch erfasst. Das Hitzdrahtanemometer zeichnete Wettergeschwindigkeit, Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit auf.

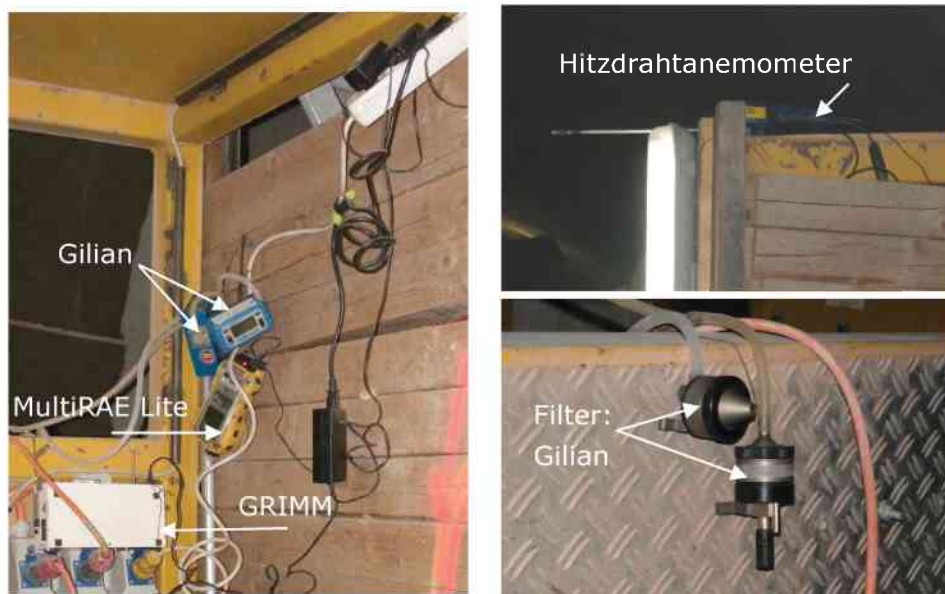


Abb. 4-7: Lind West: Messpunkt 2: Geräteanordnung

Messpunkt 2 wurde am 24. 10. 2016 ab 11:26 Uhr aufgebaut. Der Abbau erfolgte am 25. 10. 2016 um 13:52 Uhr.

4.2.1.3 Gasmessung

Am 08. 11. 2016 wurden das ALTAIR 4X und das ALTAIR 5X um 10:00 Uhr beim Trafoschlitten, im Bereich TM 285, montiert. In Abb. 4-8 ist die Montage der beiden Geräte an diesem Ort ersichtlich.

Die gemessenen Gase umfassten O_2 , NO_2 , CO , CO_2 , H_2S , SO_2 , CH_4 und die brennbaren Gase. Die Aufzeichnung dauerte bis kurz vor 16:00 Uhr des gleichen Tages. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Messgeräte vor dem Portal ausgeschaltet.



Abb. 4-8: Lind West: Trafoschlitten: ALTAIR 4X & ALTAIR 5X

4.2.2 Stein West

Der Vortrieb in Stein West war ein Baggervortrieb mit temporärer Kalottensohle. Die Kalotte wurde zuerst ausgebrochen. Strosse und Sohle wurden gleichzeitig nachgezogen. Aus diesem Grund befand sich im Tunnel eine Rampe, welche den Bereich des Vollaushubs mit jenem des geringeren Querschnitts, und somit der Ortsbrust, verband.

Zu Beginn des ersten Tages befand sich der Vortrieb bei TM 223. Um 06:00 Uhr des dritten Tages waren bereits 257,3 m vorgetrieben. Die Überlagerungshöhe betrug im bereits ausgebrochenen Bereich zwischen 15 m und 32 m. Sie wurde von der Schienenoberkante aus angegeben.^[38]

4.2.2.1 Messpunkt 1



Abb. 4-9: Stein West: Messpunkt 1: Geräteanordnung

Die Geräteanordnung des Messpunktes 1 ist in Abb. 4-9 dargestellt. Er befand sich bei TM 38. Bei ihm wurden keine Gaskonzentrationen gemessen. Der A- und E-Staub wurde sowohl photometrisch als auch gravimetrisch bestimmt. Mit dem Hitzdrahtanemometer wurden die Wettergeschwindigkeit, die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit und der barometrische Luftdruck aufgezeichnet.

Messpunkt 1 wurde am 24. 10. 2016 gegen 12:23 Uhr aufgebaut und am 25. 10. 2016 um 13:26 Uhr wieder abgebaut.

4.2.2.2 Messpunkt 2

Die Geräteanordnung für Messpunkt 2 ist Abb. 4-10 zu entnehmen. Die gemessenen Daten umfassten die Gase NO, NO₂, CO, CO₂ und O₂. Außerdem zeichnete das Hitzdrahtanemometer die Wettergeschwindigkeit, Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und den barometrischen Luftdruck auf. Sowie A- als auch E-Staub wurde gravimetrisch und photometrisch erfasst.

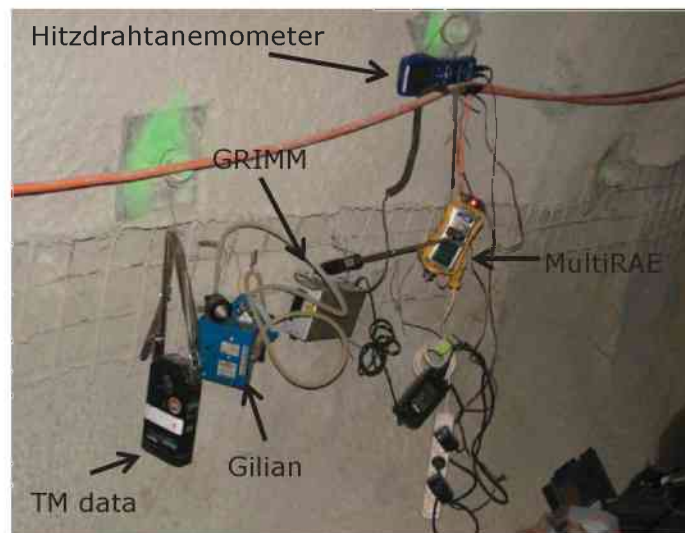


Abb. 4-10: Stein West: Messpunkt 2: Geräteanordnung

Messpunkt 2 wurde am 24. 10. 2016, bei TM 190, ab 12:16 Uhr aufgebaut. Der Abbau erfolgte am 25. 10. 2016 um 13:18 Uhr.

4.2.2.3 Gasmessung

Am 08. 11. 2016 wurden die beiden tragbaren Gasmessgeräte, ALTAIR 4X und ALTAIR 5X, um 16:34 Uhr hinter dem Trafoschlitten des Tunnels Stein West montiert. Der Trafoschlitten befand sich bei TM 100.

Die Messgeräte wurden am gleichen Tag um 19:44 Uhr abgebaut. Beim ALTAIR 5X war die Batterie um diese Zeit bereits ausgefallen. Mit ihm wurde bis 18:50 Uhr gemessen. Das ALTAIR 4X wurde fünf Minuten später vor dem Portal ausgeschalten.



Abb. 4-11: Stein West: Trafoschlitten: ALTAIR 4X & ALTAIR 5X

4.2.3 Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke wurde mithilfe des Luxmeters in einer Höhe von 1,22 m über der Fahrbahn gemessen. Zur Kontrolle dieses Abstands wurde ein Zollstab eingesetzt.

In Lind West wurde die Beleuchtungsstärke zweimal aufgezeichnet. Die erste Messserie begann vor dem Portal und endete bei TM 110. Alle Daten wurden in der Mitte der Fahrbahn gemessen. Bei der zweiten Messserie wurde die Beleuchtungsstärke von TM 200 bis TM 240 aufgenommen. Die Messungen erfolgten in der Mitte des Tunnels und jeweils 1,22 m von jedem Ulm entfernt.

Im Tunnel Stein West wurde die Beleuchtungsstärke vom Punkt der Lufteinsaugung der Lutte bis nach TM 110 aufgezeichnet. Die Daten wurden in Fahrbahnmitte erfasst.

4.2.4 Schalldruckpegelmessung

Einzelne Arbeitsschritte sowie die Umgebungsgeräusche einzelner Bereiche wurden mit dem Schalldruckpegelmessgerät untersucht. Zusätzlich wurden einige Schalldruckpegel vorbeifahrender Fahrzeuge erfasst. Neben händisch notierten Schalldruckpegeln, in A- bzw. C-Bewertung, wurden vom Messgerät, über einige Minuten, durchgehende Dauermessungen aufgezeichnet. Diese Daten wurden sekundlich im Datalogger gespeichert. Die notierten Schalldruckpegel wurden immer gleichzeitig in beiden Bewertungskurven erfasst.

4.2.5 Wettergeschwindigkeit

Die Langzeitmessungen der Wettergeschwindigkeit erfolgten an den fixen Messpunkten. Somit wurde die Wettergeschwindigkeit nur an einem Punkt im Tunnelquerschnitt erfasst, obwohl sie über den Querschnitt verteilt variierte. Um eine Aussage über die mittlere Wettergeschwindigkeit einer Querschnittsfläche treffen zu können, wurde sie mit dem Flügelradanemometer an mehreren Punkten des Tunnelquerschnitts erfasst.

4.2.6 Fahrbahnverhältnisse im Tunnel

Beide Tunnel wurden zu Fuß besichtigt. In Kapitel 6.9 sind die Ergebnisse der Begehungen, in Text und Bild, dargestellt.

4.2.7 Geschwindigkeit der Fahrzeuge

Zusätzlich zu den restlichen Messgrößen wurde die Geschwindigkeit einzelner Fahrzeuge in beiden Tunneln gemessen. Die Messungen erfolgten an verschiedenen Punkten der Bauwerke. Somit wurde auch die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs auf der Rampe erfasst.

5 Messergebnisse Baulos Wolf 2

5.1 Beleuchtungsstärke

Im Tunnel waren zwei Arten von Leuchten angebracht. In den Kavernen befanden sich zusätzlich Hochleistungs-Planflächenstrahler mit einer Leistung von 2000 Watt. An der Tunnelleibung waren in einem Abstand von 20 m Leuchtstofflampen mit einer Lampenleistung von 58 Watt montiert. Einige dieser Leuchten waren färbig überzogen. Diese markierten die Anschlüsse für Löschwasser, in blau, für Kommunikation, in grün, bzw. für die Stromleitung, in rot.

An der Firste befanden sich in einem Abstand von ca. 40 m Kugellampen mit einer Lampenleistung von je 500 Watt. Diese waren nicht auf gleicher Höhe wie die Leuchtstofflampen der Tunnelleibung angebracht.

5.1.1 Portalbereich

Die Messung wurde am 24.08.2016 ab 10:09 Uhr durchgeführt. Sie begann im Freien und führte bis in den Tunnel hinein. Der Tag war sonnig und das Tunnelportal lag im Sonnenschein. Der Startpunkt der Messung ist in Abb. 5-1 ersichtlich. Er lag auf Höhe des orangen Containers. Alle Messpunkte waren in der Mitte der Fahrbahn positioniert.



Abb. 5-1: BBT: Messung der Beleuchtung im Portalbereich: Startpunkt



Abb. 5-2: BBT: Messung der Beleuchtung im Portalbereich: Blick hinaus

In Abb. 5-2 ist der Unterschied zwischen der Beleuchtung im Tunnel und der Belichtung vor dem Portal, bei Sonnenschein, erkennbar. Sowohl Abb. 5-1 als auch Abb. 5-2 wurden am 24.08.2016 direkt nach der Messung im Portalbereich aufgenommen.

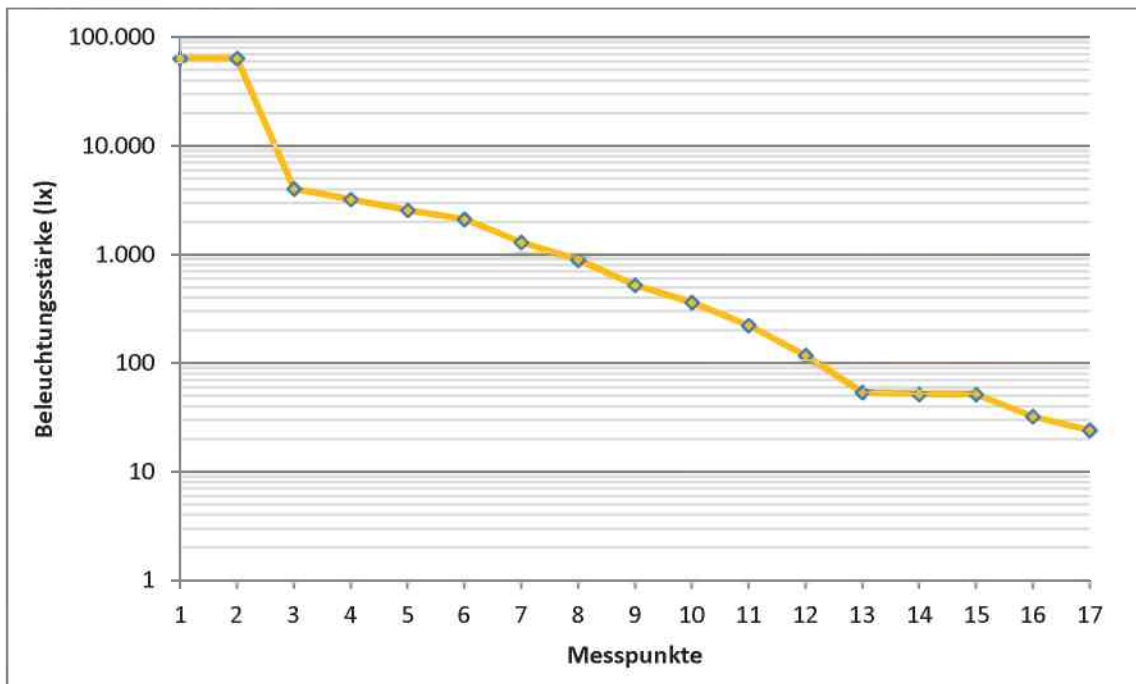


Abb. 5-3: BBT: Verlauf der Beleuchtungsstärke im Portalbereich

Abb. 5-3 zeigt den Verlauf der Lichtstärke im Portalbereich. Im Freien wurden 63.900 lx und 64.100 lx gemessen. Beim Erreichen des Portalschattens, sank die Lichtstärke auf 4.040 lx. Bei Messpunkt 15 hing am Ulm eine Lampe. Aus diesem Grund wurde hier, im Vergleich zu Messpunkt 14, kein Abfall der Beleuchtungsstärke gemessen. Der letzte Messpunkt, mit einer Lichtstärke von 24,1 lx, lag ca. 25 m im Tunnel. Die Entfernung zwischen den einzelnen Messpunkten betrug ca. 3 m, gemessen mit jeweils zwei Doppelschritten. Die Daten der Graphik Abb. 5-3 sind Tab. 13-1, Anhang 13.1, zu entnehmen.

5.1.2 Bereich TM 1500 des Zufahrtstunnels Wolf

Die 60 m lange Messstrecke begann 35 m unterhalb von TM 1500, vor einer weißen Leuchtstofflampe, und endete 25 m oberhalb. Sie führte an insgesamt vier Lampen vorbei, wobei die zweite rot war. Der Abstand zwischen den Lampen betrug jeweils 20 m. Von Lampe 1 bis Lampe 3 wurde alle 5 m gemessen. Zwischen Lampe 3 und Lampe 4 lag, in einem Abstand von jeweils 10 m, ein Messpunkt.

Bei den Messungen wurde die Beleuchtungsstärke sowohl in der Mitte der Fahrbahn, als auch, in Blickrichtung Portal, links betrachtet. Dort wurde einen Meter neben dem Wasserlauf gemessen. Die Lutte war am rechten Ulm befestigt. In Abb. 5-4 sind die Messergebnisse graphisch abgebildet. Die Daten für diese Graphik sind Tab. 13-2 des Anhangs 13.1 zu entnehmen.

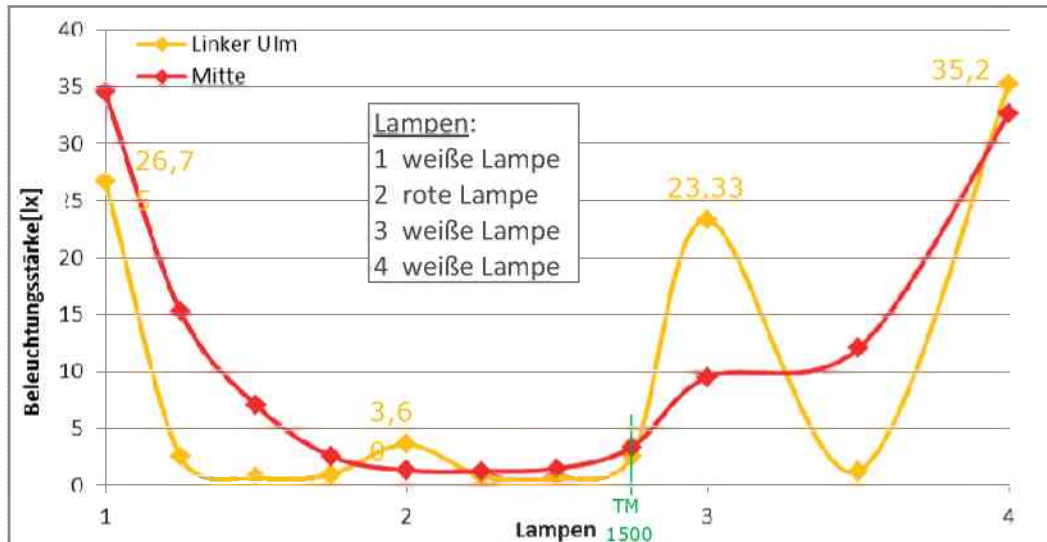


Abb. 5-4: BBT: Verlauf der Beleuchtungsstärke: Bereich TM 1500 des Zufahrtstunnels

Die Beleuchtungsstärke war vor den weißen Leuchtstofflampen größer als vor einer Roten. Dieser Unterschied zwischen den verschiedenfarbigen Leuchten an der Tunnelleitung ist in Abb. 5-4, im Graphen des linken Ulms, erkennbar. Die Firstbeleuchtung, war nicht auf gleicher Position wie die Lampen des Ulms montiert. Deswegen verlief die Beleuchtungsstärke in Fahrbahnmitte nicht simultan der des linken Ulms. Auch in Fahrbahnmitte wurde vor Lampe 2, der roten Lampe, ein geringerer Wert erfasst. Die hohen Messwerte bei Lampe 1 und Lampe 4, in der Mitte der Fahrbahn, waren auf die Nähe einer Firstbeleuchtung zurückzuführen.

5.1.3 Kaverne der Radladerversuche

Die Kaverne der Radladerversuche lag am Kreuzungspunkt von Zufahrtsrampe und EKS. In der nicht maßstabsgetreuen Skizze, Abb. 5-5, ist die Lage der einzelnen Messstellen ersichtlich.

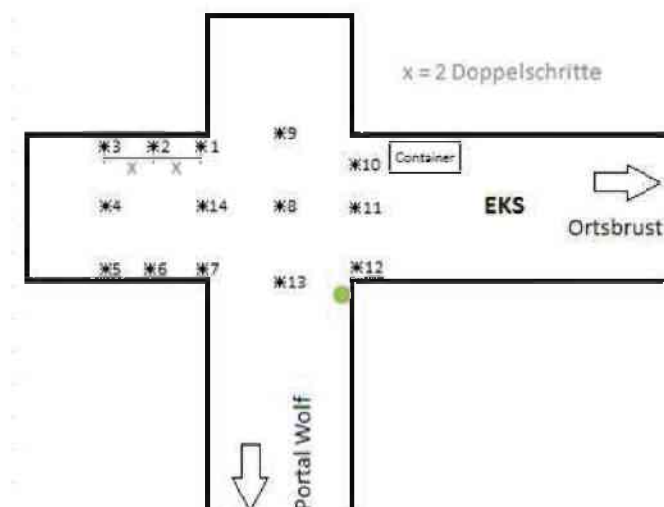


Abb. 5-5: BBT: Skizze: Messung der Beleuchtung: Lage der Messstellen: Kaverne der Radladerversuche

Zwischen den Messstellen 1 und 2, 2 und 3, 5 und 6 bzw. 6 und 7 lag jeweils eine Entfernung von ca. 3 m. Gemessen wurde der Abstand mit je zwei Doppelschritten. Die Höhe des Zollstabs, auf welchem das Luxmeter waagrecht aufgelegt war, und die Entfernung vom Ulm betrug immer 1,22 m. Der Abstand der Messstelle 10 vom Ulm war größer als 1,22 m, da dort ein Schutzcontainer positioniert war und nicht direkt in seinem Schatten gemessen wurde.

In Abb. 5-6 und Abb. 5-7 sind die Verläufe der Beleuchtungsstärke im Bereich der Kaverne zu sehen. Die Lage der einzelnen Punkte ist Abb. 5-5 zu entnehmen. Alle Messdaten sind in Tab. 13-3 des Anhangs 13.1 aufgelistet.

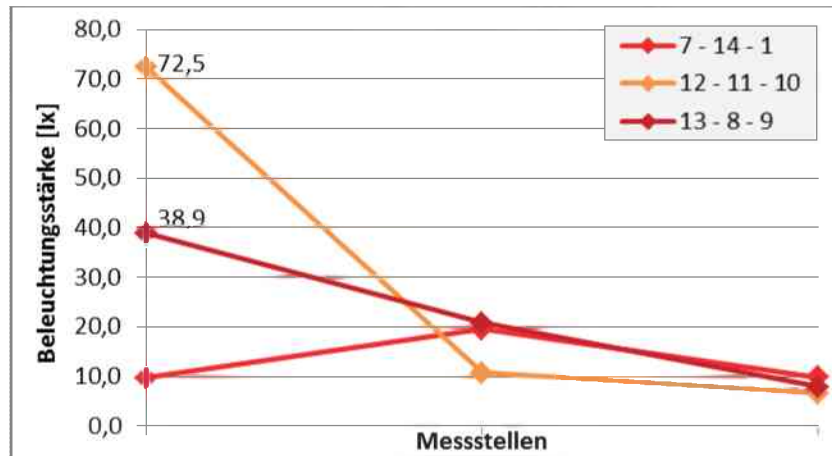


Abb. 5-6: BBT: Verlauf der Beleuchtungsstärke: Kaverne der Radladerversuche: von Portalrichtung aus durch die Kaverne

Die hohen Messwerte an Messstelle 12 und Messstelle 13 erklärten sich durch die grüne Leuchtstofflampe an der Tunnelleitung. Ihr Montageort ist in Abb. 5-5 als grüner Punkt dargestellt.

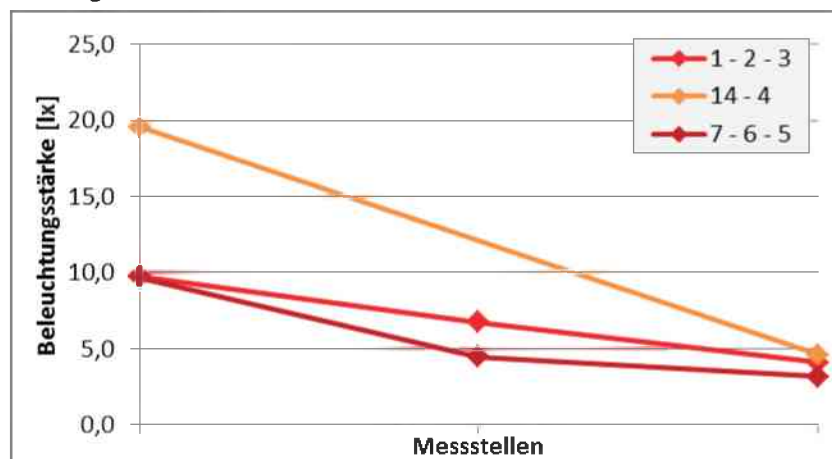


Abb. 5-7: BBT: Verlauf der Beleuchtungsstärke: Kaverne der Radladerversuche: von der Kaverne aus in den Stummel im Norden des EKS

Die Beleuchtungsstärke nahm von der Kaverne ausgehend in den Stummel des EKS hinein ab, Abb. 5-7. Der Stummel lag im Norden. In ihn mündet der EKS-Vortrieb des Nachbarbauloses Tulfes-Pfons.

5.1.4 300 bis 100 m von der Ortsbrust entfernt

Die Messpunkte hatten einen Abstand von jeweils 20 m. Alle 40 m waren an der Firste Kugellampen montiert. An der Tunnelleibung befanden sich in diesem Bereich keine Leuchten.

Der erste Messpunkt lag in einem Abstand von 300 m zur Ortsbrust. Er befand sich, wie in den Fotos der Abb. 5-8 ersichtlich, gegenüber der Lutten-Verlängerung. Die letzte Firstlampe war im Bereich des Messpunktes 10 befestigt. Bei Messpunkt 11 betrug die Beleuchtung, in Blickrichtung Ortsbrust, links unter der Lutte 1,27 lx, in der Mitte 1,00 lx und rechts 1,15 lx. Da diese Werte sehr gering waren und in Richtung der Ortsbrust nur noch gegen 0 lx gingen, wurde nicht weiter gemessen.



Abb. 5-8: BBT: Messung der Beleuchtungsstärke: Lage MP 1, 300 m von der Ortsbrust entfernt

Die Messungen fanden während des Betriebsstillstandes statt. Somit waren außer der Firstbeleuchtung keinerlei weitere Lichter von Baumaschinen oder Stirnlampen vorhanden. Zwischen den Messpunkten wurde an weiteren Punkten gemessen. Der Abstand der einzelnen Messungen zueinander betrug ungefähr 1,5 m. Gemessen wurde in der Mitte der Fahrbahn und in einem Abstand von 1,22 m von beiden Ulmen.

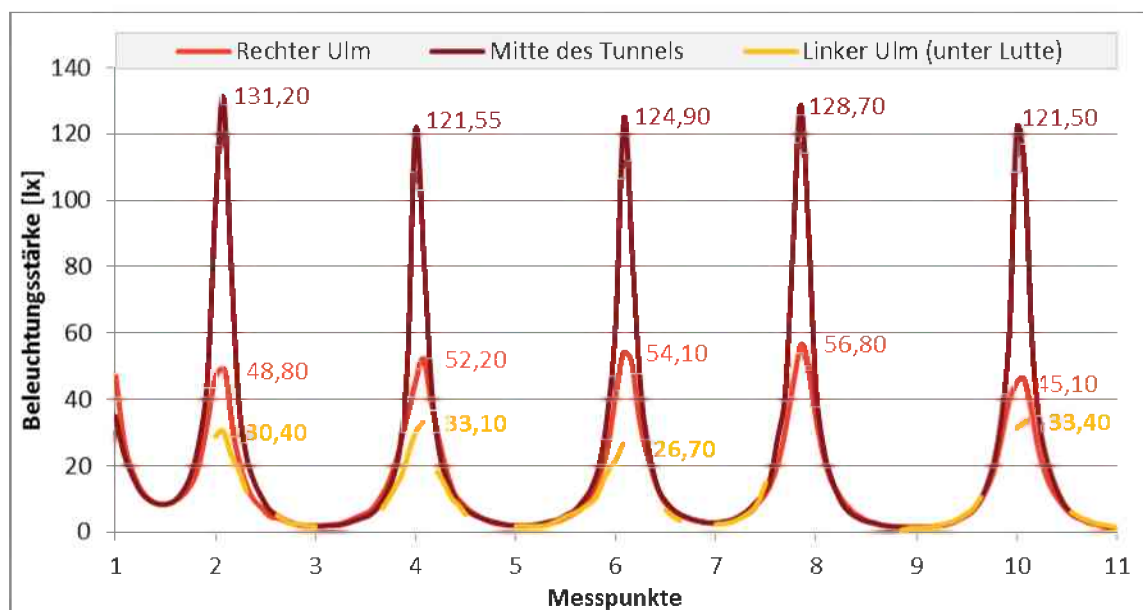


Abb. 5-9: BBT: Verlauf der Lichtstärke: 300 m (MP 1) bis 100 m (MP 11) von der Ortsbrust entfernt

Da die einzige Beleuchtung der Strecke mittig an der Firste montiert war, wurden die höchsten Lichtstärken in Fahrbahnmitte gemessen. Wegen der Abschirmung der linken Seite durch die Lutte, war die Beleuchtungsstärke im Mittel bei dieser Messstrecke am geringsten.

Aus den Ergebnissen aller drei Messstrecken ist die Entfernungsabhängigkeit zur Tunnelbeleuchtung erkennbar. Die Beleuchtungsstärke fällt schon bei geringer Entfernung stark ab. Dieses Verhalten ist, gemeinsam mit den Maxima der Messstrecken, in Abb. 5-9 erkennbar. Der geringste Wert wurde mit 0,35 lx zwischen Messpunkt 1 und 2 unter der Lutte gemessen. Für die weiteren Messstrecken lagen die Minima bei 1,00 lx, mittig der Fahrbahn, und bei 1,15 lx, rechts. Die Werte, welche der Graphik zugrunde liegen, sind Tab. 13-4 des Anhangs 13.1 zu entnehmen.

Unter der Lutte wurden Baumaterial und Geräte gelagert. Somit war es nicht möglich an allen Stellen dieser Messstrecke die Beleuchtungsstärke zu erfassen. In Folge dessen weist diese Datenreihe Lücken auf. Der Trend, dass die Beleuchtungsstärke mit der Entfernung zur Lampe abnimmt, ist trotzdem erkennbar.

5.1.5 Während der Vortriebsarbeiten: Von MP3 in Richtung Ortsbrust

Direkt vor Messpunkt 3 wurde am 24.08.2016, um 06:49 Uhr, eine Lichtstärke von 13,22 lx registriert. Verglichen mit den Beleuchtungsstärken, welche in diesem Bereich, mit gleicher Beleuchtung und ohne Vortriebsarbeiten, gemessen worden waren (Kapitel 5.1.4), entsprach dies einer Entfernung von ungefähr 6 m von der nächsten Firstlampe. Beim Vergleich des Montageortes der nächsten Leuchte mit der Lage von Messpunkte 3, war ein Messwert von 13,22 lx schlüssig.

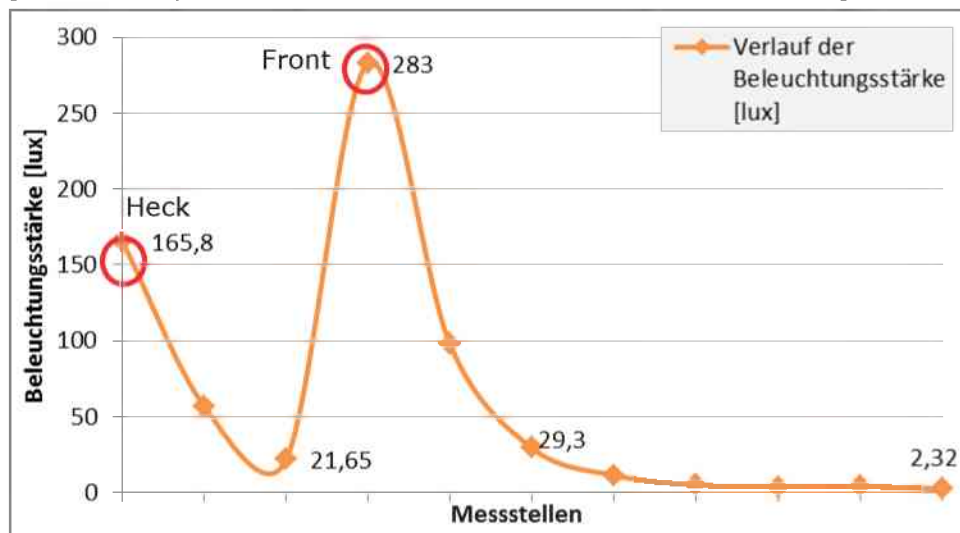


Abb. 5-10: BBT: Verlauf der Beleuchtungsstärke von Messpunkt 3 in Richtung Ortsbrust

Der Verlauf der Lichtstärke wurde, von Messpunkt 3 aus gehend, in Richtung Ortsbrust gemessen. Dabei betrug der Abstand zwischen den einzelnen Messungen ca. 3 m. Auch diese fanden in Fahrbahnmitte statt. Zum Messzeitpunkt war am

Ulm, gleich nach Messpunkt 3 der Spritzbüffel in Fahrtrichtung Ortsbrust geparkt. Seine Front- und Heckscheinwerfer waren eingeschaltet. Der Einfluss dieser ist in Abb. 5-10 erkennbar und beschriftet. Abseits der Scheinwerfer fiel die Beleuchtungsstärke schon mit geringer Entfernung zur Lichtquelle stark ab. Die Hintergrunddaten der Graphik sind Tab. 13-5, Anhang 13.1, zu entnehmen. Alle Messungen fanden in der Mitte der Fahrbahn statt.

5.2 Schalldruckpegelmessung

Die Zeitkonstante war auf „FAST“ eingestellt. Dies galt für alle Messungen im Baulos Wolf 2 des BBT.

5.2.1 Umgebungslärm: Messpunkt 1

Die Dauermessung fand über einen Zeitraum von 3 Minuten und 32 Sekunden statt. In Tab. 5-1 ist die Zusammenfassung zu sehen. Sie wurde vom Messgerät automatisch erstellt und beinhaltet, jeweils in A- und C-Bewertung, die äquivalenten Dauerschallpegel (L_{Aeq} und L_{Ceq}), die maximalen (F_{Amax} und F_{Cmax}) und minimalen Schalldruckpegel (F_{Amin} und F_{Cmin}) über den ganzen Messverlauf, die Spitzenschalldruckpegel (L_{APeak} und L_{CPeak}) und die „sound exposure level“ (SEL_A und SEL_C).

L_{Aeq}	81,9	dB
F_{Amax}	84,7	dB
F_{Amin}	79,6	dB
SEL_A	105,1	dB
L_{APeak}	96,4	dB
L_{Ceq}	88,2	dB
F_{Cmax}	91,2	dB
F_{Cmin}	85,0	dB
SEL_C	111,5	dB
L_{CPeak}	100,4	dB

Tab. 5-1: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 1: Zusammenfassung des Messgerätes

Aus Abb. 5-11 sind die Verläufe von L_{CPeak} , L_{Aeq} und F_{Amax} für diese Dauermessung ersichtlich. Bei der Dauermessung gibt der Graph von F_{Amax} den Verlauf des Maximums zu einer Periode an und L_{Aeq} ist ein äquivalenter Dauerschallpegel. Ihre Maxima, Minima und Mittelwerte sind Tab. 5-2 zu entnehmen.

	L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Minimum	80,1	80,7	95,5
Maximum	84,3	84,7	100,4
Mittelwert	81,8	82,5	98,1

Tab. 5-2: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 1: Maxima, Minima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}

Die Dauer einer Periode beträgt eine Sekunde. Da die Werte von der Zusammenfassung zusätzlich zu den sekundlich gesicherten Daten am Messgerät gespeichert wurden, besteht die Möglichkeit, dass F_{Amax} , F_{Amin} oder L_{CPeak} über den Zeitraum der gesamten Dauermessung nicht in Tab. 13-9 gelistet sind. Diese Daten sind in Tab. 5-1 zu sehen.

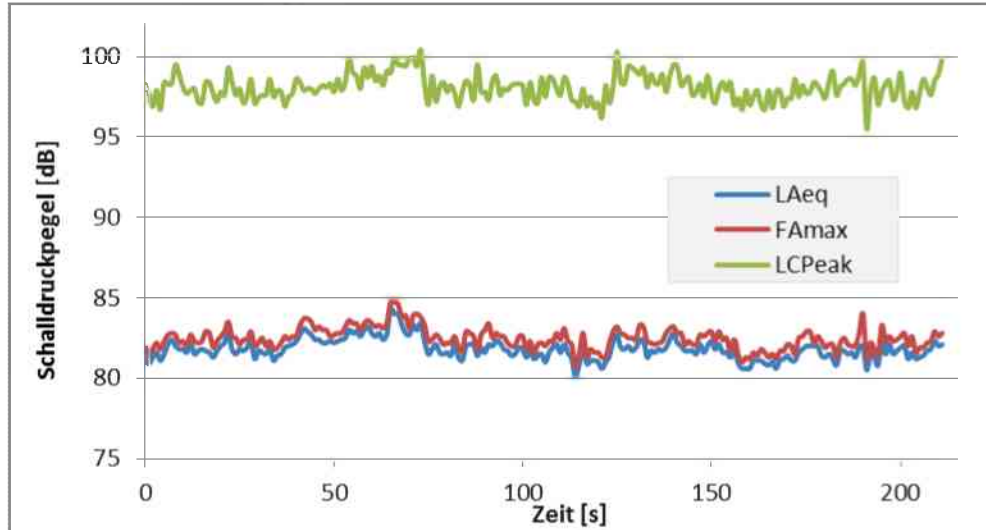


Abb. 5-11: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Verlauf der Dauermessung an Messpunkt 1

Zusätzlich wurde der Schalldruckpegel, nach den Frequenzbewertungskurven A und C, zu zwei weiteren Zeitpunkten gemessen und mitnotiert. Diese sind als „Messung 1“, Messwert 1 bis 10, und als „Messung 2“, Messwerte 12 bis inklusive 28, in Abb. 5-12 abgebildet. Die Mittelwerte der Messung 1 betragen 81,14 dB nach A- und 87,43 dB nach C-bewerteter Kurve. Bei Messung 2 ergibt sich ein Mittelwert von 83,66 dB(A) bzw. 88,10 dB(C).

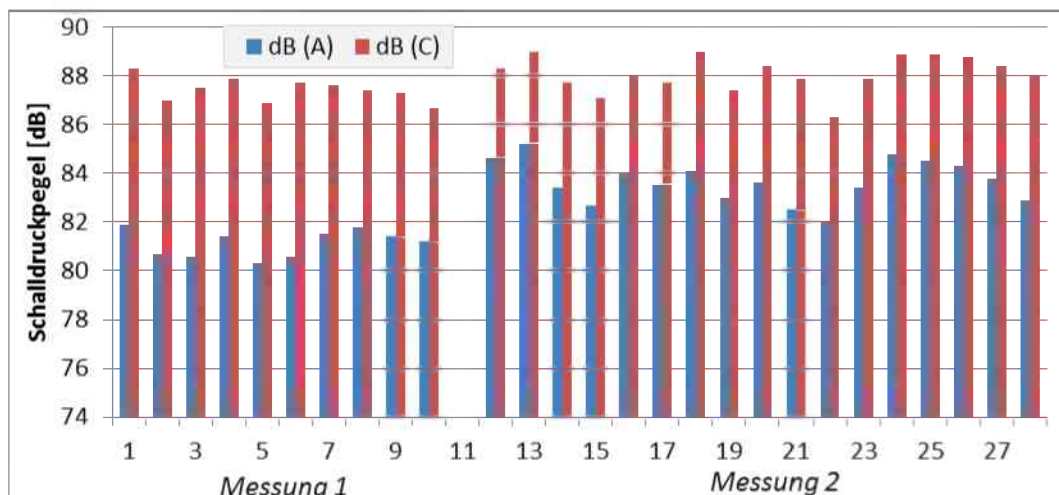


Abb. 5-12: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 1

Wie in den Abbildungen und Tabellen dieses Unterkapitels ersichtlich, liegen die Schalldruckpegel für den Umgebungslärm bei Messpunkt 1 in einem engen Bereich. Für Abb. 5-12 beträgt, für die A-bewertete Frequenzkurve, das Minimum 80,3 dB

und das Maximum 85,2 dB. Bei Betrachtung der C-bewertete Frequenzkurve liegt das Minimum bei 86,3 dB und das Maximum bei 89,0 dB. Verglichen mit F_{Amax} , F_{Cmax} , F_{Amin} und F_{Cmin} , Tab. 5-1, sind keine wirklichen Abweichungen erkennbar. Alle Werte von Messung 1 und Messung 2 sind in Tab. 13-6 des Anhangs 13.2 aufgelistet.

5.2.2 Umgebungslärm: Messpunkt 2

Die Dauermessung fand über einen Zeitraum von 5 Minuten und 2 Sekunden statt. Aus Tab. 5-3 ist die Zusammenfassung dieser Messung zu sehen. Im Vergleich zu Messpunkt 1 wurden geringere Werte für die Schalldruckpegel gemessen.

Nach einer Messdauer von 125 Sekunden erscheint ein Knick nach unten in den Graphen L_{Aeq} und F_{Amax} . Die Abnahme im Verlauf von L_{Cpeak} ist geringer, aber doch in Abb. 5-13 erkennbar.

L_{Aeq}	62,6 dB
F_{Amax}	69,8 dB
F_{Amin}	55,5 dB
SEL_A	87,4 dB
L_{APeak}	84,9 dB
L_{Ceq}	69,0 dB
F_{Cmax}	80,1 dB
F_{Cmin}	63,9 dB
SEL_C	93,8 dB
L_{CPeak}	88,2 dB

Tab. 5-3: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 2: Zusammenfassung des Messgerätes

Bei der Messung des Umgebungslärms bei Messpunkt 2 wurden zwei Zustände erfasst. Diese sind in Abb. 5-13 erkennbar. Die Mittelwerte von L_{Cpeak} , L_{Aeq} und F_{Amax} für die Bereiche, bis 125 Sekunden bzw. ab 125 Sekunden, sind in Tab. 5-4 erkennbar.

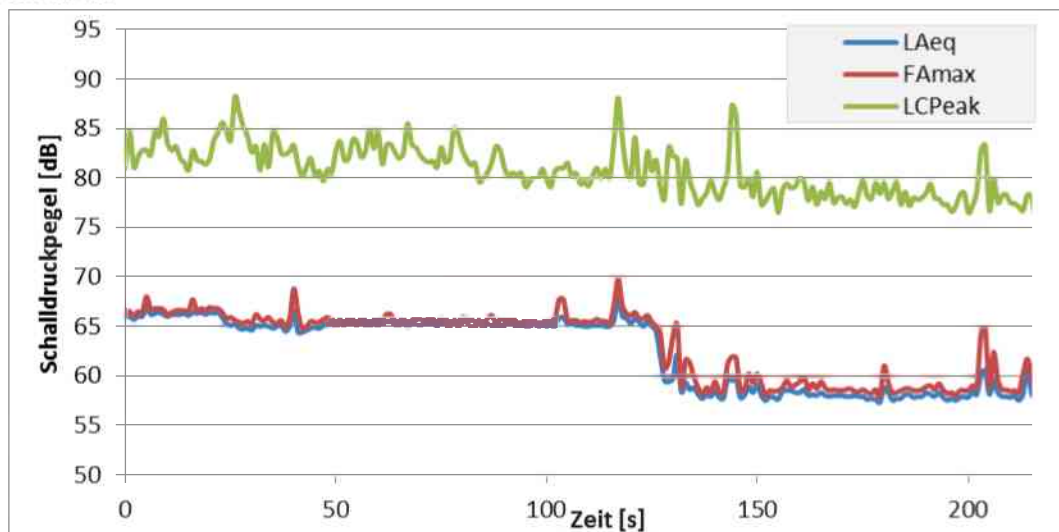


Abb. 5-13: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Verlauf der Dauermessung an Messpunkt 2

		L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Bereich 1	Minimum	64,4	64,8	79,1
	Maximum	67,9	69,8	88,2
	Mittelwert	65,4	65,9	82,1
Bereich 2	Minimum	56,1	56,6	75,6
	Maximum	64,5	65,2	87,3
	Mittelwert	58,0	58,9	78,0

Tab. 5-4: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 2: Maxima, Minima und Mittelwerte der zwei Bereiche von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}

Zusätzlich zur Dauermessung wurde der A- und C-bewertete Schalldruckpegel zu zwei weiteren Zeitpunkten gemessen und mitnotiert. Messwerte 1 bis 5 wurden im ersten und die Messwerte 7 bis 24 wurden im zweiten Zeitraum erfasst. Diese Daten sind in Abb. 5-14 und Tab. 13-8 zu sehen. Für den Schalldruckpegel nach A-bewerteter Frequenzkurve lagen die Messwerte zwischen 55,8 dB und 70,0 dB mit einem Mittelwert von 59,5 dB. Bei der C-bewerteten betrug das Minimum 65,5 dB, das Maximum 89,4dB und der Mittelwert 74,0 dB.

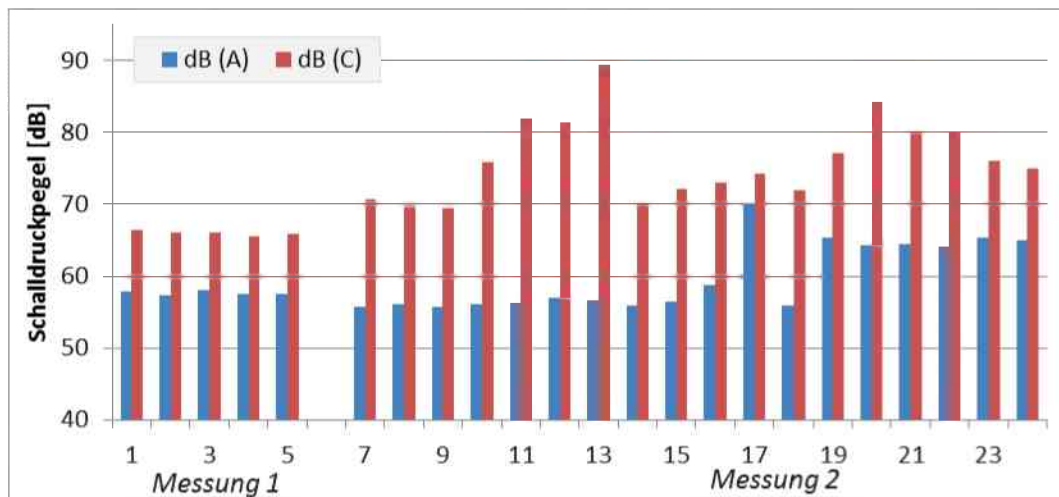


Abb. 5-14: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 2

5.2.3 Umgebungslärm: Lutten-Verlängerung

	Schalldruckpegel	
	dB (A)	dB (C)
Minimum	96,0	98,0
Maximum	97,6	99,6
Mittelwert	96,7	98,6

Tab. 5-5: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Lutten-Verlängerung: Maxima, Minima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}

Die Lutten-Verlängerung befand sich bei im Bereich von TM 1000. An diesem Ort wurde der Schalldruckpegel gemessen. Sein Verlauf war, wie in Abb. 5-15 bzw. Tab. 13-10 des Anhangs 13.2 ersichtlich, konstant. Die Mittelwerte, Minima und

Maxima für die A- und C-bewerteten Schalldruckpegelkurven sind in Tab. 5-5 aufgelistet.

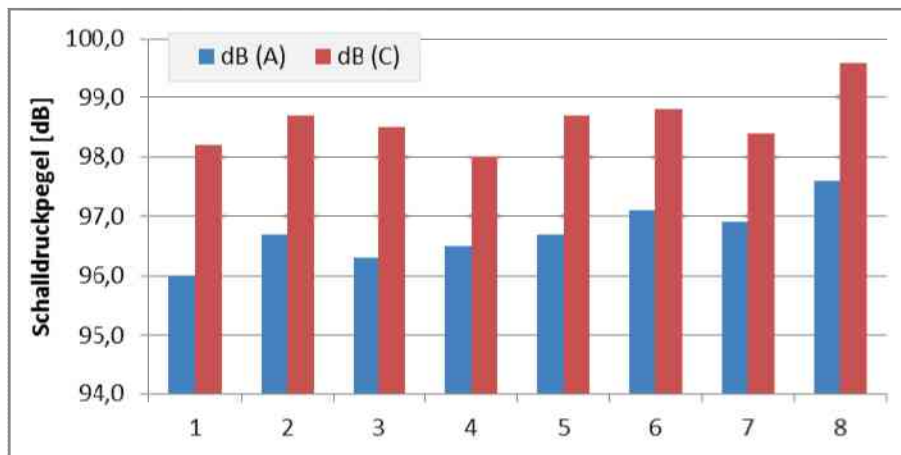


Abb. 5-15: BBT: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Lutten-Verlängerung

Der im Vergleich zu anderen Umgebungsmessungen, hohe Schalldruckpegel ließ sich durch die Messstelle erklären. An diesem Ort befand sich neben der Lutten-Verlängerung, mitsamt Antrieb, ein zusätzlicher Ventilator. Dieser war auf der Firste montiert und ist in Abb. 5-16 abgebildet.



Abb. 5-16: BBT: Bereich Lutten-Verlängerung: zusätzlicher Ventilator

5.2.4 Umgebungslärm: Luttenende

Das Luttenende befand sich zwischen Messpunkt 3 und der Ortsbrust. An diesem Ort wurden die Arbeitsabläufe durch die Messung zu keinem Zeitpunkt beeinträchtigt.

Der Umgebungslärm wurde über einen Zeitraum von 3 Minuten und 5 Sekunden gemessen. Die Messung wurde gespeichert und die Zusammenfassung, erstellt durch das Messgerät Nor-116, ist in Tab. 5-6 zu sehen. In Abb. 5-17 ist der Verlauf von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak} ist ersichtlich. Für alle drei schwanken die Kurven ihrer Schalldruckpegel, an dieser Messstelle, in einem Bereich von ca. 14 dB. Tab. 5-7 listet die Maxima, Minima und Mittelwerte für L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak} .

Die Daten, welche Abb. 5-17 zugrunde liegen, sind in Tab. 13-11, Anhang 13.2, zu finden.

L_{Aeq}	84,7	dB
F_{Amax}	94,1	dB
F_{Amin}	78,3	dB
SEL_A	107,4	dB
L_{APeak}	106,9	dB
L_{Ceq}	90,3	dB
F_{Cmax}	98,8	dB
F_{Cmin}	83,7	dB
SEL_C	113,0	dB
L_{CPeak}	109,0	dB

Tab. 5-6: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Luttenende: Zusammenfassung des Messgerätes

Im Vergleich zu den Messungen des Umgebungslärms bei Messpunkt 1, Tab. 5-1, und Messpunkt 2, Tab. 5-3, wurden beim Luttenende hohe Schalldruckpegel gemessen. Auch waren die Werte für F_{Amin} und F_{Cmin} an diesem Ort, Tab. 5-6, geringer als bei Messpunkt 1. Am Luttenende wurden somit größere Schwankungen der Schalldruckpegel gemessen, als an Messpunkt 1.

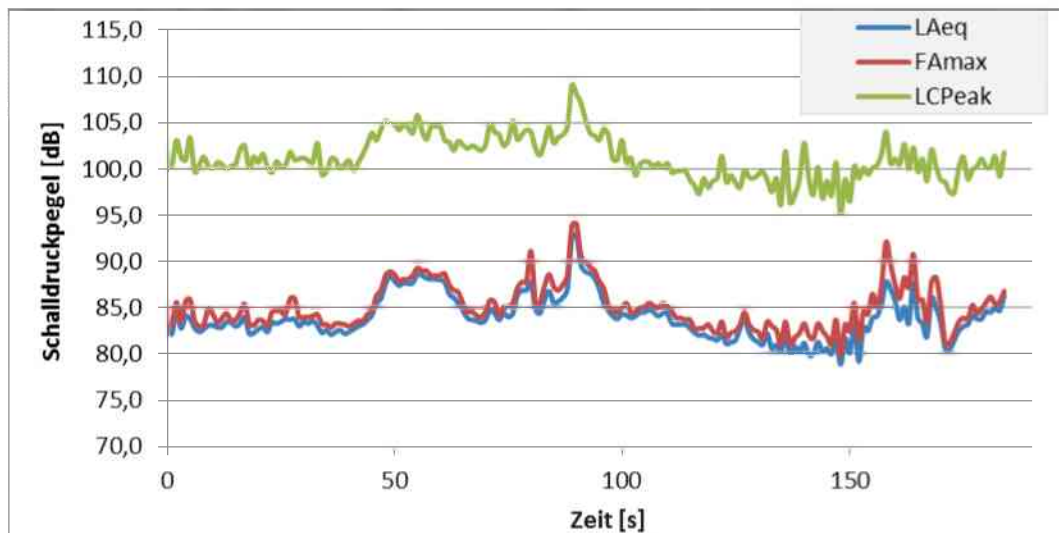


Abb. 5-17: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Verlauf der Dauermessung am Luttenende

	L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Minimum	78,9	79,9	95,1
Maximum	92,9	94,1	109,0
Mittelwert	83,9	85,1	101,2

Tab. 5-7: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Luttenende: Maxima, Minima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}

5.2.5 Schweißen: Im Bereich Messpunkt 3

Bei Messpunkt 3 fanden Schweißarbeiten statt. Die Entfernung zum Schalldruckpegelmessgerät betrug dabei 2 m. In Tab. 5-8 sind die gemessenen Werte ersichtlich. Für die A-bewertete Kurve wurde ein Mittelwert von 88,9 dB und für die C-bewertete einer von 90,6 dB berechnet.

Schalldruckpegel	
dB (A)	dB (C)
91,2	92,4
87,2	89,0
88,4	90,3

Tab. 5-8: BBT: Schalldruckpegel: Schweißen bei Messpunkt 3

5.2.6 Schuttern: Von Messpunkt 3 aus

Wegen der schlechten Sichtverhältnisse und der hohen CO-Konzentrationen wurden die Schalldruckpegel beim Schuttern erst gegen Ende des Arbeitsschrittes gemessen. Außerdem erfolgte die Messung von Messpunkt 3 aus und nicht näher an der Ortsbrust, da es zu gefährlich wäre sich in diesem Bereich aufzuhalten.

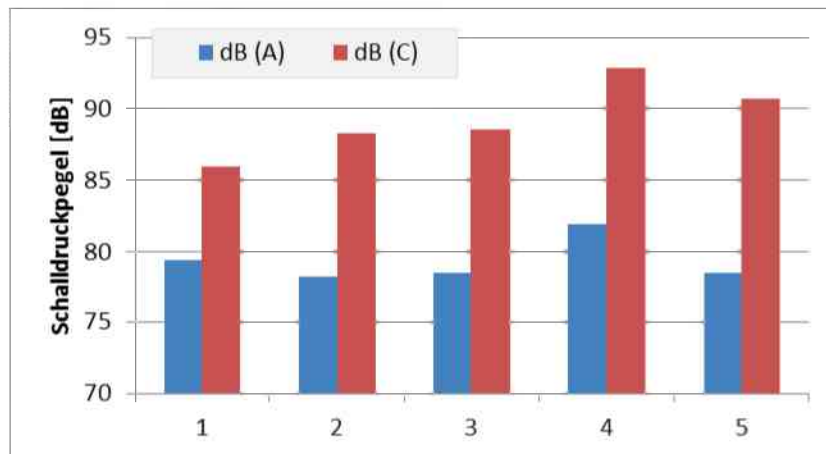


Abb. 5-18: BBT: Schalldruckpegelmessung: Schuttern von Messpunkt 3 aus

In Abb. 5-18, bzw. in Tab. 13-12 des Anhangs 13.2, sind die Messwerten abgebildet, die während des Schutterns mitnotiert wurden.

L_{Aeq}	85,7	dB
F_{Amax}	98,7	dB
F_{Amin}	73,5	dB
SEL_A	110,5	dB
L_{APeak}	111,3	dB
L_{Ceq}	92,4	dB
F_{Cmax}	105,1	dB
F_{Cmin}	82,4	dB
SEL_C	117,1	dB
L_{CPeak}	115,6	dB

Tab. 5-9: BBT: Schalldruckpegelmessung: Schuttern von Messpunkt 3 aus: Zusammenfassung des Messgerätes

Zusätzlich zu dieser Messung wurde eine Dauermessung über einen Zeitraum von fünf Minuten und zwei Sekunden durchgeführt. Die Zusammenfassung, welche automatisch vom Messgerät erstellt wurde, ist in Tab. 5-9 zu sehen. Die Graphen für den Verlauf von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} sind in Abb. 5-19 abgebildet. Tab. 13-13, im Anhang 13.2, liefert die Daten für diese Abbildung.

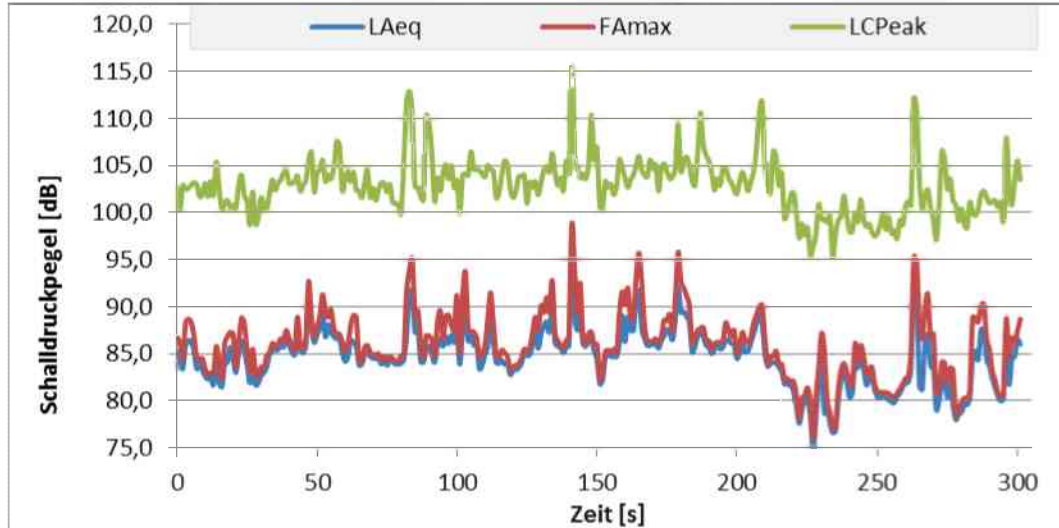


Abb. 5-19: BBT: Schalldruckpegelmessung: Schuttern von Messpunkt 3 aus: Dauermessung

Abb. 5-19 zeigt die großen Schwankungsbereiche von über 20 dB für L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} bei dieser Tätigkeit und Abb. 5-18 für die C-bewertete Kurve. Dies ist trotz der geringen Anzahl von Messwerten erkennbar und wird durch die Ergebnisse der Dauermessung unterstrichen.

Der Grund für die Schwankungen waren unterschiedliche Schalldruckpegel, welche für die einzelnen Teilarbeitsschritte des Schutterns gemessen wurden. Sie umfassten das Aufnehmen des Materials auf die Schaufel des Radladers, das Hochheben dieses Materials, das Abladen auf die Mulde, Hupen der Fahrzeuge zur Kommunikation und das Hin- und Herfahren der Fahrzeuge vorne bei der Ortsbrust. Da jeder einzelne Schritt einen zu kurzen Zeitbereich umfasste und das Schuttern nicht in kleinere Arbeitsschritte unterteilt wird, wurde es als eine Tätigkeit gemessen.

	L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Minimum	74,7	76,0	95,2
Maximum	95,7	98,7	115,6
Mittelwert	84,6	86,0	102,9

Tab. 5-10: BBT: Schalldruckpegelmessung Schuttern von Messpunkt 3 aus: Maxima, Minima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}

5.2.7 Auftragen von Spritzbeton

Das Auftragen von Spritzbeton erfolge mittels eines Spritzbüffels. Eine Messung erfolgte bei Messpunkt 3, zwei Dauermessungen erfolgten am Luttenende und eine

weitere hinter dem Spritzbüffel. Dort wurde der Spritzbeton durch einen Beton-LKW auf den Spritzbüffel aufgegeben.

In Abb. 5-20 und Abb. 5-21 sind die Werte der A- und C-bewerteten Kurve des Schalldruckpegels für die Messungen von Messpunkt 3 bzw. hinter dem Spritzbüffel abgebildet. Die gemessenen Daten sind in Tab. 13-14 und Tab. 13-15 des Anhangs 13.2 zu finden.

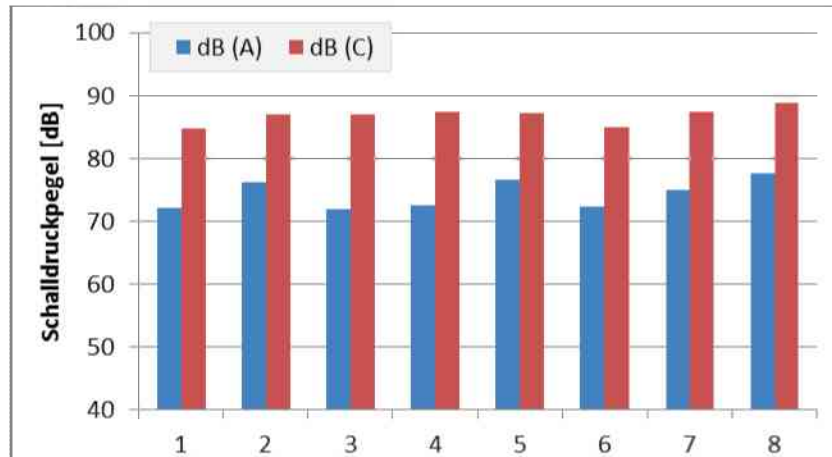


Abb. 5-20: BBT: Schalldruckpegelmessung: Spritzen von Messpunkt 3 aus

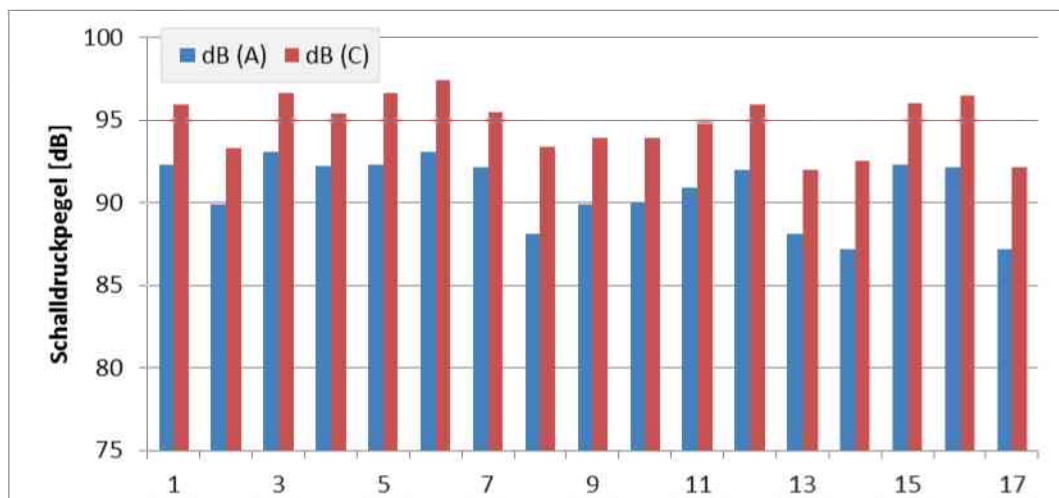


Abb. 5-21: BBT: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Hinter dem Spritzbüffel bei der Betonaufgabe durch den LKW

In Tab. 5-11 sind die Maxima, Minima und die Mittelwerte der A- und C-bewerteten Schalldruckpegel der zwei Messungen, Abb. 5-20 und Abb. 5-21, gegenübergestellt. Daraus lässt sich die Abhängigkeit des Schalldruckpegels von der Entfernung ablesen. Hinter dem Spritzbüffel, näher an der Ortsbrust und damit näher an der Arbeit, waren alle gemessenen Werte höher.

Beim Vergleich der Maxima und Minima der Messungen von Messpunkt 3 und vom Spritzbüffel mit den beiden Dauermessungen vom Luttenende aus, wurden in Messpunkt 3 das geringste Minimum und auch das geringste Maximum gemessen. Dies gilt für beide Bewertungskurven.

		Schalldruckpegel	
		dB (A)	dB (C)
MP 3	Minimum	72,0	84,8
	Maximum	77,7	88,8
	Mittelwert	74,4	86,8
Spritzbüffel	Minimum	87,2	92,0
	Maximum	93,1	97,4
	Mittelwert	90,8	94,8

Tab. 5-11: BBT: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Vergleich der Maxima, Minima und Mittelwerte: „Messen von Messpunkt 3 aus“ mit „Messen hinter dem Spritzbüffel“

Der Unterschied in den Maxima und Minima, bei der Messung hinter dem Spritzbüffel und den zwei Dauermessungen, war gering. Das Maximum des A-bewerteten Schalldruckpegels für die Messung hinter dem Spritzbüffel befand sich zwischen den entsprechenden Maxima der beiden Dauermessungen. Für die C-bewertete Kurve lag das Maximum dieser Messung mit dem Maximum der Dauermessung 2 gleich auf. Bei Dauermessung 1 wurde mit 102,5 dB ein höherer maximaler Schalldruckpegel gemessen. Die Minima der Spritzbüffel-Messung waren für beide Bewertungskurven die höchsten und somit war die Schwankung dort am niedrigsten. Es wurden weniger Messwerte genommen als bei den Dauermessungen, aber sie wurden über einen Zeitraum von drei Minuten verteilt notiert. Beide Dauermessungen fanden über einen Zeitraum von jeweils 5 Minuten und 3 Sekunden statt.

Alle Daten sind den Tabellen Tab. 5-11 und Tab. 5-12 zu entnehmen, wobei die Minima der Dauermessungen mit F_{Amin} bzw. F_{Cmin} und die Maxima mit F_{Amax} bzw. F_{Cmax} benannt sind.

Dauermessung 1			Dauermessung 2		
L_{Aeq}	87,0	dB	L_{Aeq}	86,7	dB
F_{Amax}	93,2	dB	F_{Amax}	92,3	dB
F_{Amin}	82,2	dB	F_{Amin}	81,0	dB
SEL_A	111,8	dB	SEL_A	111,5	dB
L_{APeak}	119,9	dB	L_{APeak}	105,7	dB
L_{Ceq}	91,0	dB	L_{Ceq}	91,8	dB
F_{Cmax}	102,5	dB	F_{Cmax}	97,4	dB
F_{Cmin}	86,3	dB	F_{Cmin}	86,7	dB
SEL_C	115,9	dB	SEL_C	116,6	dB
L_{CPeak}	120,1	dB	L_{CPeak}	109,6	dB

Tab. 5-12: BBT: Schalldruckpegelmessung: Spritzen vom Luttenende aus: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2

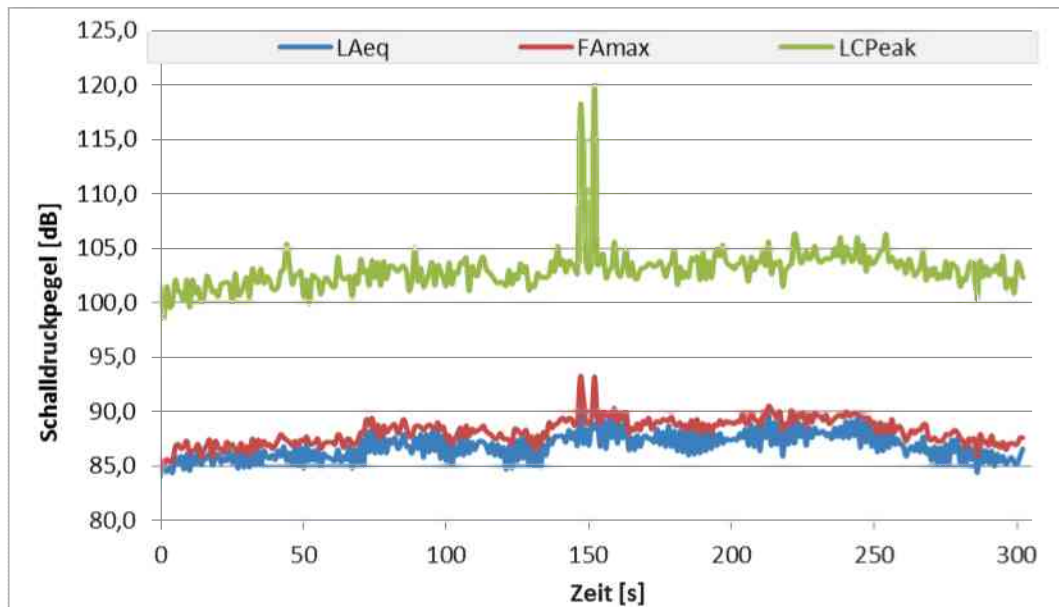


Abb. 5-22: BBT: Schalldruckpegelmessung: Spritzen vom Luttenende aus gemessen: Dauermessung 1

Im Bereich der 150sten Messsekunde wurden bei Dauermessung 1, Abb. 5-22, zwei Ausreißer nach oben gemessen. Besonders deutlich sind sie im Graph L_{CPeak} zu sehen. Sie lassen vermuten, dass zu diesem Zeitpunkt ein Baumitteltransport zur Ortsbrust direkt am Messgerät vorbei gefahren ist. Ein Schlag von Metall auf Metall, z.B.: Baustahlgitter auf den Bagger, in nächster Nähe könnte solche Schalldruckpegel erreichen.

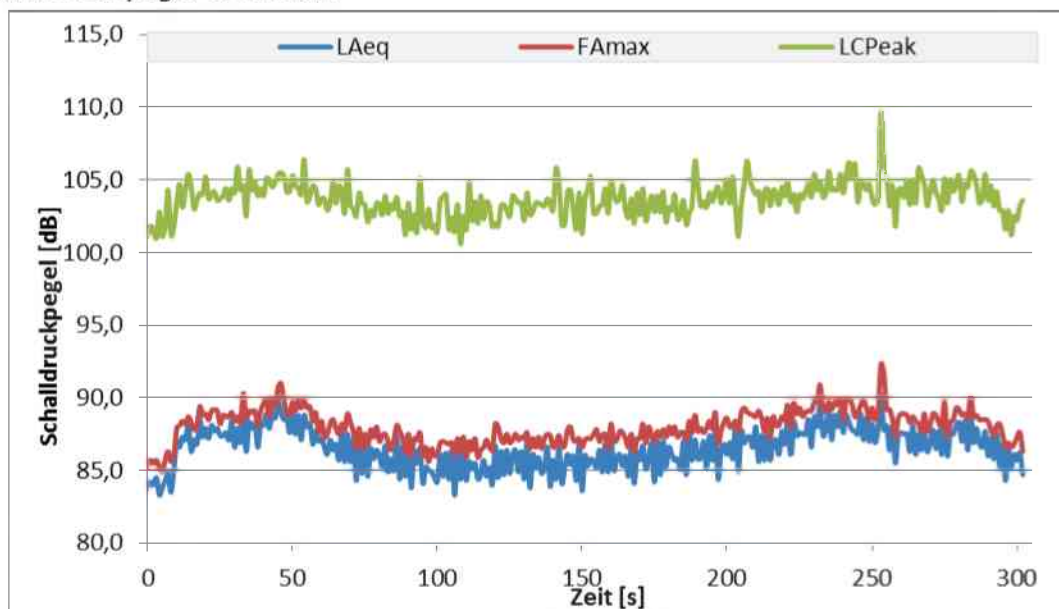


Abb. 5-23: BBT: Schalldruckpegelmessung: Spritzen vom Luttenende aus gemessen: Dauermessung 2

		L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Dauermessung 1	Minimum	84,0	84,7	98,6
	Maximum	90,4	93,2	120,1
	Mittelwert	86,8	88,2	103,0
Dauermessung 2	Minimum	83,3	84,9	100,6
	Maximum	90,2	92,3	109,6
	Mittelwert	86,5	88,0	103,7
gemeinsamer	Mittelwert	86,7	88,1	103,4

Tab. 5-13: BBT: Schalldruckpegelmessung: Spritzen vom Luttenende aus: Maxima, Minima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} : Vergleich der Dauermessungen

Die beiden Dauermessungen unterscheiden sich durch das Maximum des L_{CPeak} . Alle restlichen Messwerte waren nahezu ident. In Tab. 5-13 sind die Minima, Maxima und Mittelwerte aufgelistet.

5.2.8 Gittern: Vom Luttenende aus

Zum Gittern wurde eine Hebebühne mit zwei Armen verwendet. Die Schwankungen der Messergebnisse in Abb. 5-24 kamen durch die Hebebühne zustande, welche teilweise unter Last und teilweise im Leerlauf betrieben wurde. Diese Unterschiede waren auch beim Notieren der A- und C-bewerteten Schalldruckpegel ersichtlich. Für beide Kurvenverläufe waren die Schalldruckpegel relativ konstant. Beim Vergleich der Mittelwerte unter Last mit jenen im Leerlauf wurde ein Unterschied von 13,6 dB (A) bzw. 11,7dB (C) berechnet. Die Minima, Maxima und Mittelwerte sind Tab. 5-14 zu entnehmen. Alle Messwerte sind in Tab. 13-18 des Anhangs 13.2 gelistet.

	Leerlauf		Unter Last	
	dB (A)	dB (C)	dB (A)	dB (C)
Minimum	71,9	80,0	85,8	92,5
Maximum	73,1	82,8	86,8	95,1
Mittelwert	72,5	81,5	86,1	93,3

Tab. 5-14: BBT: Schalldruckpegelmessung: Gittern vom Luttenende aus: Vergleich der Maxima, Minima und Mittelwerte der Hebebühne mit und ohne Last

Zusätzlich wurde eine Dauermessung über einen Zeitraum von einer Minute und 48 Sekunden durchgeführt. Die vom Messgerät automatische erstellte Zusammenfassung ist in Tab. 5-15, der Verlauf der Graphen L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} ist in Abb. 5-24 zu finden. Tab. 13-19 im Anhang liefert die Messwerte für diese Abbildung.

Beim Graphen der Dauermessung sind die Schwankungen der Schalldruckpegel im Verlauf von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} zu sehen. Die Maxima und Minima dieser Werte weichen um 10,2 dB, L_{Aeq} 12,7 dB, F_{Amax} bzw. 17,6 dB, L_{CPeak} , voneinander ab. Sie sind, gemeinsam mit den Mittelwerten, Tab. 5-16 zu entnehmen.

L_{Aeq}	88,2	dB
F_{Amax}	96,1	dB
F_{Amin}	81,8	dB
SEL_A	108,5	dB
L_{APeak}	116,6	dB
L_{Ceq}	92,6	dB
F_{Cmax}	100,3	dB
F_{Cmin}	86,5	dB
SEL_C	112,9	dB
L_{CPeak}	115,8	dB

Tab. 5-15: BBT: Schalldruckpegelmessung: Gittern vom Luttenende aus: Zusammenfassung des Messgerätes

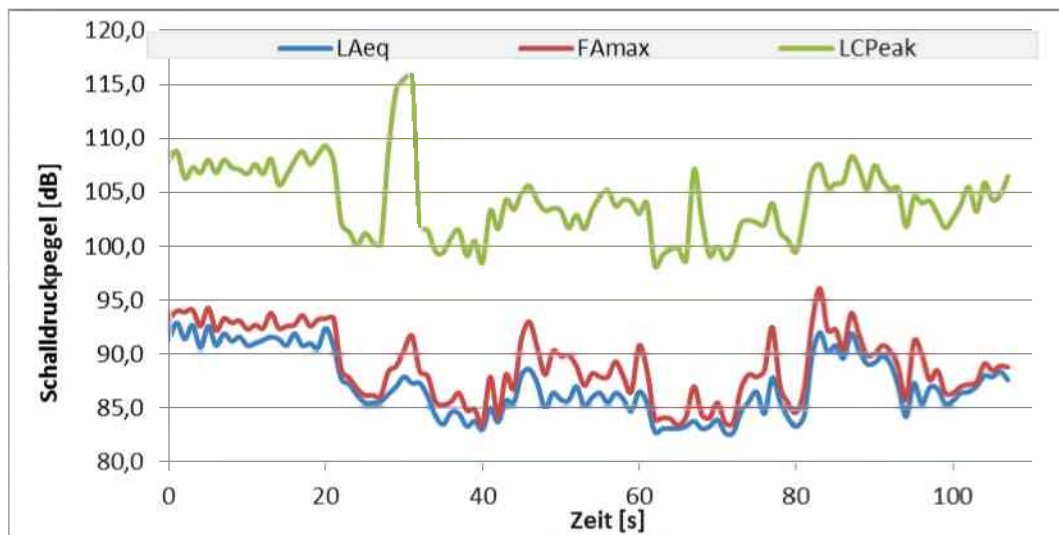


Abb. 5-24: BBT: Schalldruckpegelmessung: Gittern vom Luttenende aus gemessen: Dauermessung

	L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Minimum	82,7	83,4	98,2
Maximum	92,9	96,1	115,8
Mittelwert	87,2	89,0	104,2

Tab. 5-16: BBT: Schalldruckpegelmessung: Gittern vom Luttenende aus: Maxima, Minima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}

5.2.9 Bohren

Es wurden Bohrlöcher zum Ankern und für die Sprengmittel hergestellt. Dazu wurde ein Bohrwagen mit zwei Armen und einem Korb verwendet. Die Messungen fanden außerhalb des Bohrwagens, auf Höhe der Kabinentüre statt.

In Abb. 5-25 sind die Messergebnisse für den A- und C-bewerteten Schalldruckpegel dargestellt. Die beschrifteten Werte wurden während des Leerlaufs des Bohrwagens gemessen.

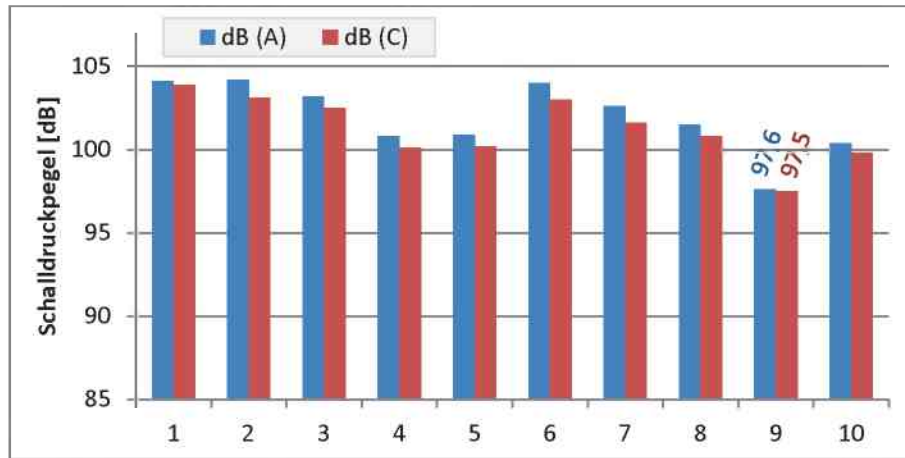


Abb. 5-25: BBT: Schalldruckpegelmessung: Bohren neben dem Bohrwagen gemessen

Zusätzlich fanden zwei Dauermessungen statt. Dauermessung 1 dauerte drei Minuten und zwölf Sekunden und wurde beim Herstellen der Bohrlöcher für die Anker gemessen. Dauermessung 2 verlief über einen Zeitraum von sechs Minuten und zwei Sekunden. Sie wurden beim Bohren der Löcher für den Sprengstoff durchgeführt. Für beide wurde eine automatische Zusammenfassung durch das Schalldruckpegelmessgerät erstellt. Diese sind in Tab. 5-17 zu finden.

Dauermessung 1		Dauermessung 2	
L_{Aeq}	101,5 dB	L_{Aeq}	101,6 dB
F_{Amax}	106,7 dB	F_{Amax}	106,0 dB
F_{Amin}	82,6 dB	F_{Amin}	83,6 dB
SEL_A	124,3 dB	SEL_A	127,2 dB
L_{APeak}	119,9 dB	L_{APeak}	118,9 dB
L_{Ceq}	100,7 dB	L_{Ceq}	100,8 dB
F_{Cmax}	105,4 dB	F_{Cmax}	105,8 dB
F_{Cmin}	88,0 dB	F_{Cmin}	87,7 dB
SEL_C	123,6 dB	SEL_C	126,4 dB
L_{CPeak}	118,1 dB	L_{CPeak}	117,8 dB

Tab. 5-17: BBT: Schalldruckpegelmessung: Bohren neben dem Bohrwagen: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2

Die Dauermessungen sind in Abb. 5-26 und Abb. 5-27 abgebildet. Vor allem am Ende der ersten Dauermessung und über den gesamten Verlauf der zweiten sind die Wechsel zwischen dem Bohrwagen unter Last und in Leerlauf zu sehen. Unter Last wurde ein L_{CPeak} von 110 dB bis 115 dB und bei Leerlauf von 100 dB bis 105 dB gemessen. F_{Amax} und L_{Aeq} lagen unter Last zwischen 100 dB und 105 dB und im Leerlauf zwischen 84 dB und 90 dB.

Die Minima, Maxima und Mittelwerte der Verläufe sind Tab. 5-18 zu entnehmen.

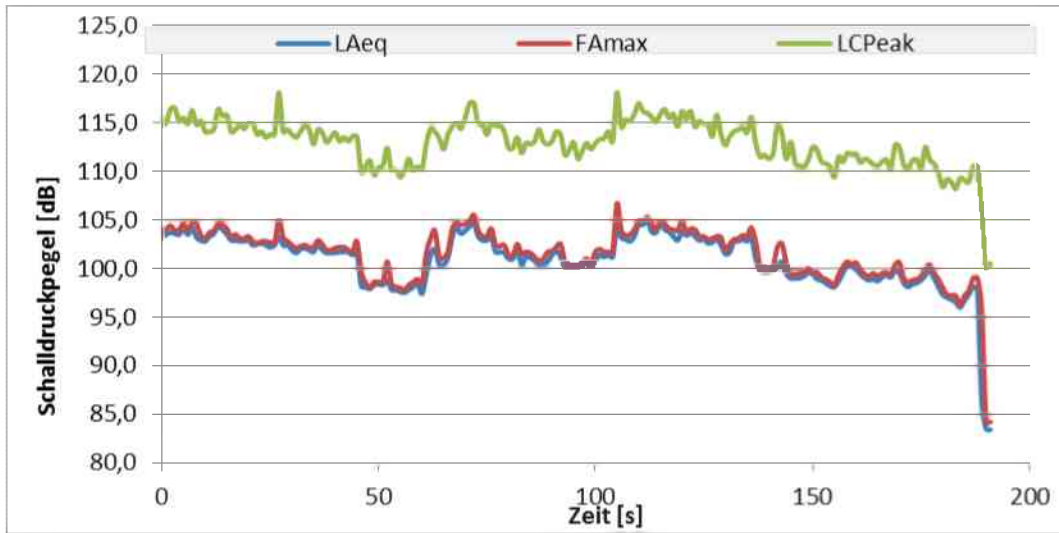


Abb. 5-26: BBT: Schalldruckpegelmessung: BBT: Bohren neben dem Bohrwagen: Dauermessung 1

		L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Dauermessung 1	Minimum	83,4	84,2	100,1
	Maximum	105,0	106,7	118,1
	Mittelwert	100,8	101,5	113,0
Dauermessung 2	Minimum	84,7	85,8	100,6
	Maximum	105,3	106,0	117,8
	Mittelwert	100,7	101,5	112,9
gemeinsamer	Mittelwert	100,7	101,5	112,9

Tab. 5-18: BBT: Schalldruckpegelmessung: Bohren neben dem Bohrwagen: Maxima, Minima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} : Vergleich der Dauermessungen

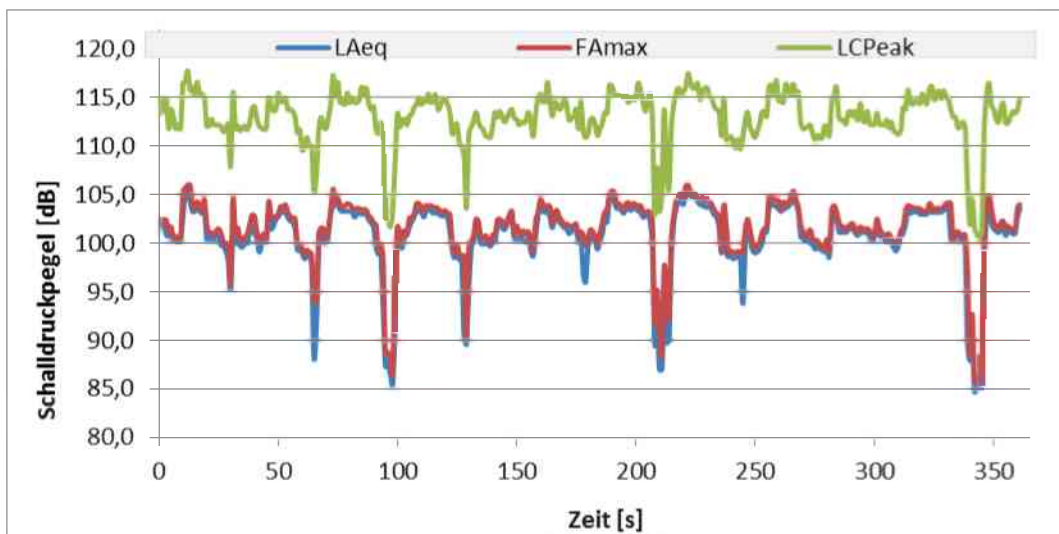


Abb. 5-27: BBT: Schalldruckpegelmessung: BBT: Bohren neben dem Bohrwagen: Dauermessung 2

5.2.10 Sprengen

Der Messpunkt während der Sprengung lag direkt neben dem Sprengmeister. Da der Messbereich des Schalldruckpegelmessgerätes nur bis 130 dB reicht und der Schalldruckpegel beim Sprengen höher war, wurde beim Messgerät OVL angezeigt. Dies weist auf eine Übersteuerung des Messgerätes hin und die Messergebnisse sind nicht zuverlässig. Die einzelnen Zündungen sind aber noch erkennbar und in Abb. 5-28 und Abb. 5-29 gekennzeichnet. Um eine Schalldruckpegelmessung des Sprengens untertage durchführen zu können, ist ein Messgerät mit größerem Messbereich notwendig. Der notwendige Messbereich kann nicht benannt werden, aber 150 dB muss es sicher messen können.

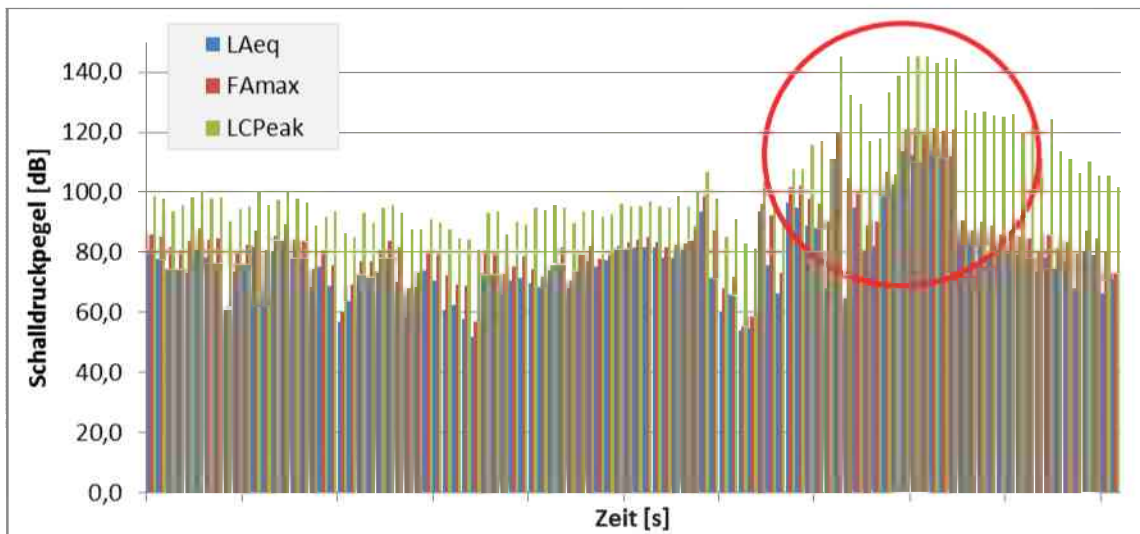


Abb. 5-28: BBT: Schalldruckpegelmessung: Vom Sprengmeister aus gemessen: Sprengen 1

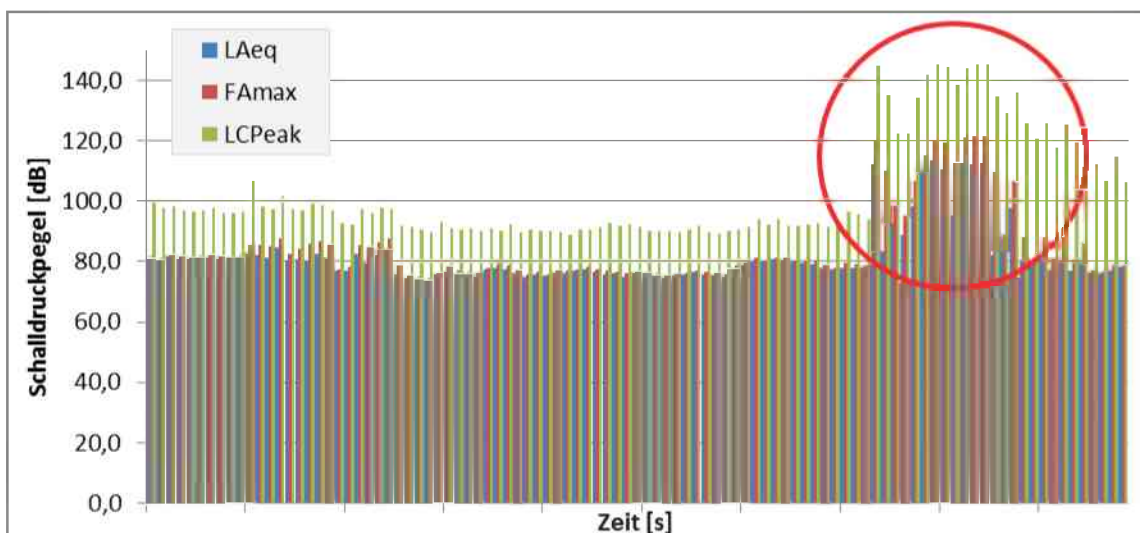


Abb. 5-29: BBT: Schalldruckpegelmessung: Vom Sprengmeister aus gemessen: Sprengen 2

Eine größere Entfernung zum Ort der Sprengung wäre auch möglich. Durch den Tunnel verfügt der Schalldruck aber nur über eine Ausbreitungsmöglichkeit entlang der Tunnelachse. Bei Aufweitungen des Regelprofils wird er abgeschwächt. Diese

Messergebnisse können ohne Referenzmessungen nicht mit dem Schalldruckpegel beim Sprengmeister verglichen werden.

Vor den Sprengladungen ist in beiden Graphiken der Umgebungslärm abgebildet. Er wurde über die Messzeit vor der Sprengung gemittelt und die Mittelwerte sind in Tab. 5-19 ersichtlich. Zu diesem Zeitpunkt fanden keine weiteren Arbeiten statt, kein Baugerät war in Betrieb und auch die Lutte wurde vor dem Sprengen an ihrer Verlängerung ausgeschaltet.

	L_{Aeq} [dB]	F_{AMax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Sprengung 1	72,96	78,76	93,38
Sprengung 2	78,62	80,13	94,16

Tab. 5-19: BBT: Schalldruckpegelmessung: Mittlerer Umgebungslärm beim Sprengmeister unmittelbar vor der Sprengung

Die Abschlagslänge betrug 1,70 m oder seltener 1,30 m. Für die größere Abschlagslänge lag der spezifische Sprengstoffverbrauch bei 2,25kg/m³ mit 121 Bohrlöchern und beim kleineren bei 1,65kg/m³ mit 106 Bohrlöchern. Der Schalldruckpegel wurde beide Male bei 1,70 m Abschlag gemessen. Als Sprengstoff wurde Emulex 2, „UN 0241 Sprengstoff, Typ E“ verwendet.^{[39] [40]}

5.2.11 Vorbeifahrende Fahrzeuge und Baumaschinen

Der Schalldruckpegel vorbeifahrender Fahrzeuge und Baumaschinen unterschied sich vom Schalldruckpegel der Umgebung. Außerdem konnte in Messpunkt 2 ein Unterschied zwischen hinauf und hinab fahrenden Fahrzeugen festgestellt werden. Die A- und C-bewerteten Schalldruckpegel sind, inklusive Fahrzeugtyp und dem Ort der Messung, in Tab. 5-20 zu sehen.

Bei einem der vorbeifahrenden Autos war der Auspuff beschädigt. Dies machte sich akustisch bemerkbar und ist aus den Messwerten ersichtlich. Beide bewertete Schalldruckpegel weichen bei diesem Fahrzeug nach oben ab.

Mit Ausnahme dieses Fahrzeuges wurden bei vorbeifahrenden Autos niedrigere Schalldruckpegel gemessen, als bei vorbeifahrenden Baumaschinen. Die höchsten Werte traten beim Tunnelbagger und beim Bohrwagen auf.

Ort	Fahrzeug	Schalldruckpegel		
		dB (A)	dB (C)	
MP 2	Mulde	94,5	98,7	bergauf
		93,3	96,0	
		92,6	96,0	
		80,5	92,3	bergab
	Auto	79,6	92,0	bergauf
		86,5 ¹⁾	102,5 ¹⁾	
73,3		81,8	bergab	
		74,4	80,0	
MP 3	Hebebühne	92,9	96,4	
	Radlader	94,5	95,6	rückwärts
		91,5	95,4	
		86,9	90,4	vorwärts
	kleiner Bagger	83,1	90,5	
	Tunnelbagger	95,8	100,1	rückwärts
Beton LKW	90,7	94,0	rückwärts	
Lutten-Verlängerung	Bohrwagen	96,7	97,5	

¹⁾ Auspuff beschädigt

Tab. 5-20: BBT: Schalldruckpegelmessung: Vorbeifahrende Fahrzeuge

5.3 Gasmessung

5.3.1 Ohne Vortriebsarbeiten

An den drei Tagen wurden die Gase mithilfe der tragbaren Messgeräte ALTAIR 4X und ALTAIR 5X überwacht. Diese wurden über die ganze Zeit mitgeführt. Vom ALTAIR 4X wurde alle 30 Sekunden und vom ALTAIR 5X jede Minute der höchste gemessene Wert der Periode gespeichert. Die einzige Ausnahme bildete die Sauerstoffkonzentration. Bei dieser wurden sowohl das Maximum als auch das Minimum für jede Periode aufgezeichnet.

Da keine Vortriebsarbeiten stattfanden wurde weder gesprengt, noch waren die Baumaschinen in Betrieb. Die Gaskonzentrationen konnten nur von den Autos der ÖBA, des Vermessers oder der Baufirma und durch Gasaustritte aus dem Gebirge beeinflusst werden. Aus diesem Grund lagen die Gaskonzentrationen aller gemessenen Gase bei so geringen Werten. Es wurde bei den Gasmessgeräten zu keiner Zeit ein Alarm ausgelöst.

Fünf der gemessenen Gase - CO, CO₂, NO₂, H₂S und SO₂ - sind in Anhang I/2011 der Grenzwerteverordnung 2011 aufgelistet. Die Messergebnisse, ohne Vortriebsarbeiten, wurden mit den Kurzzeitwerten und den Tagesmittelwerten verglichen. Die MAK-Werte wurden, für keines der Gase, zu keinem Zeitpunkt der Messungen überschritten.

5.3.1.1 Sauerstoff (O₂)

Die Messung des Sauerstoffgehalts fand mit dem ALTAIR 5X statt. In einem Intervall von einer Minute wurde der maximale und minimale Gehalt überwacht und gespeichert. Zum Großteil wurde eine Sauerstoffkonzentration von 20,8 Vol.-% gemessen, welche gleichzeitig dem Maximum entsprach.

Am ersten Tag der Messungen wurden, über einen Zeitraum von 30 Minuten, in der Nähe der Radladerversuche Minima von 20,6 Vol.-% bis 20,3 Vol.-% gemessen. Zu keinem anderen Zeitpunkt wurde ohne Vortriebsarbeiten ein Sauerstoffgehalt unter 20,8 Vol.-% detektiert. Das Minimum über die gesamte Messdauer, ohne Vortriebsarbeiten, betrug 20,3 Vol.-%.

5.3.1.2 Kohlenstoffmonoxid (CO)

Kohlenstoffmonoxid wurde selten detektiert und von den beiden Messgeräten nicht im gleichen Ausmaß. Dies war auf Messgenauigkeit und Position des Messgerätes an der Person zurückzuführen. Das ALTAIR 4X war auf Brusthöhe befestigt, das ALTAIR 5X auf Schenkelhöhe eingesteckt. Beide Geräte maßen die höchste CO-Konzentration am dritten Tag der Messungen bei TM 1500 des Zufahrtstunnels Wolf. Zusätzlich dazu wurden, mit dem ALTAIR 5X, im Bereich „300 m bis 100 m hinter der Ortsbrust“ am ersten Tag 16 ppm und am zweiten Tag 19 ppm CO gemessen. Davor und danach lagen die Werte bei 0 ppm bis 1 ppm. Bei der Messung von 16 ppm war das ALTAIR 4X ausgeschaltet, ob es sich um eine Fehlmessung handelte oder nicht ist somit nicht nachvollziehbar. Am zweiten Tag detektiert das ALTAIR 4X eine CO-Konzentration von 0 ppm, während, davor und nachdem das ALTAIR 5X 19 ppm maß.

Allgemein wurden mit dem ALTAIR 5X höhere CO-Konzentrationen detektiert, als mit dem ALTAIR 4X. Da die zwei Peaks mit 16 ppm bzw. 19 ppm nur kurzfristig in einem Messwert auftraten und davor und danach der CO-Gehalt bei 0 ppm bis 1 ppm lag, wird von zwei Fehlmessungen oder der Vorbeifahrt eines PKWs ausgegangen.

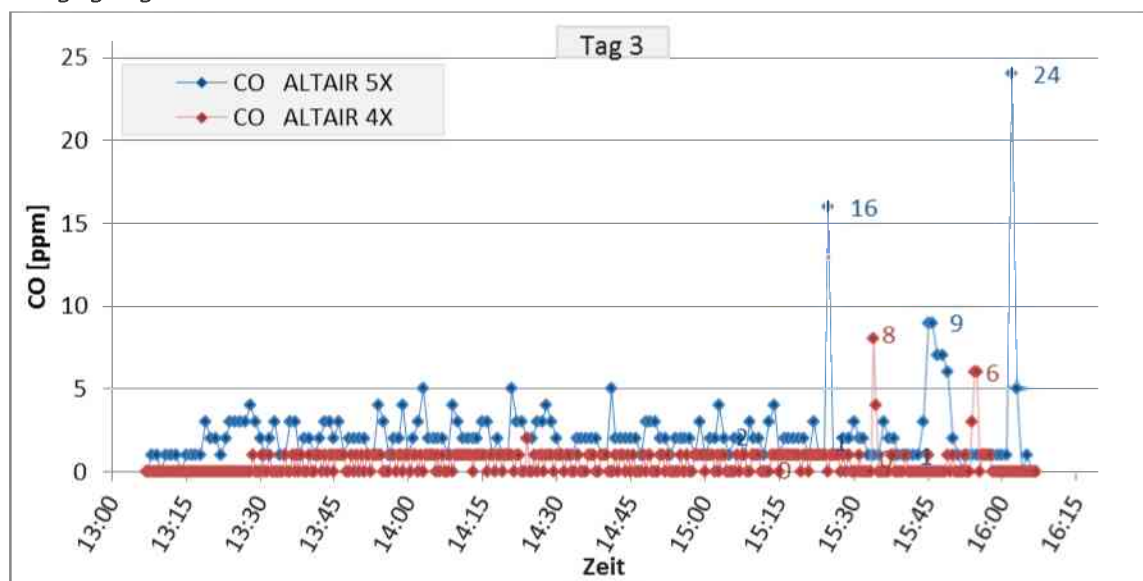


Abb. 5-30: BBT: Gaskonzentration: CO: Verlauf über 2h 30min mit den Maxima der beiden Messgeräte

Der Maximalwert betrug, mit dem ALTAIR 4X, 8 ppm. Für etwas über zwei Stunden wurde zuvor ein Verlauf erfasst, welcher zwischen 0 ppm und 1 ppm wechselte. Eine Messung lag bei 2 ppm CO. Nach dem Maximum verlief der CO-Gehalt wieder zwischen 0 ppm und 1 ppm, mit einer Messung bei 4 ppm und zwei bei 6 ppm CO. Dieser Verlauf ist über eine Dauer von drei Stunden in Abb. 5-30 dargestellt. Die Daten dazu befinden sich in Tab. 13-25 des Anhangs 13.3. Außerhalb dieses Zeitfensters wurde meist 0 ppm, seltener 1 ppm und einmal 3 ppm festgestellt.

Mit dem ALTAIR 5X wurde ein Maximalwert von 24 ppm Kohlenstoffmonoxid erfasst und in Abb. 5-30 abgebildet. Der Zeitverlauf mit den höchsten Messwerten stimmte bei beiden Messgeräten überein.

5.3.1.3 Kohlenstoffdioxid (CO₂)

Mit dem Messgerät wurde vor Messbeginn ein Frischluftabgleich durchgeführt. Dadurch wurde der CO₂-Sensor auf null zurück gestellt. Obwohl der Frischluftabgleich im freien durchgeführt worden war, wurden zeitweise negative CO₂-Konzentrationen, bis - 0,07 Vol.-%, gemessen. Der Maximalwert betrug 0,77 Vol.-%. Er wurde, genauso wie der zweithöchste Messwert von 0,72 Vol.-%, bei der Fahrt zu den Messstellen vom Baubüro aus registriert.

Der Verlauf der CO₂-Konzentration über die gesamte Messdauer ist in Abb. 5-31 ersichtlich, mit den Daten in Tab. 13-30 des Anhangs 13.3. Die Tage, an welchen gemessen wurde, sind in der Abbildung und in der Tabelle optisch getrennt.

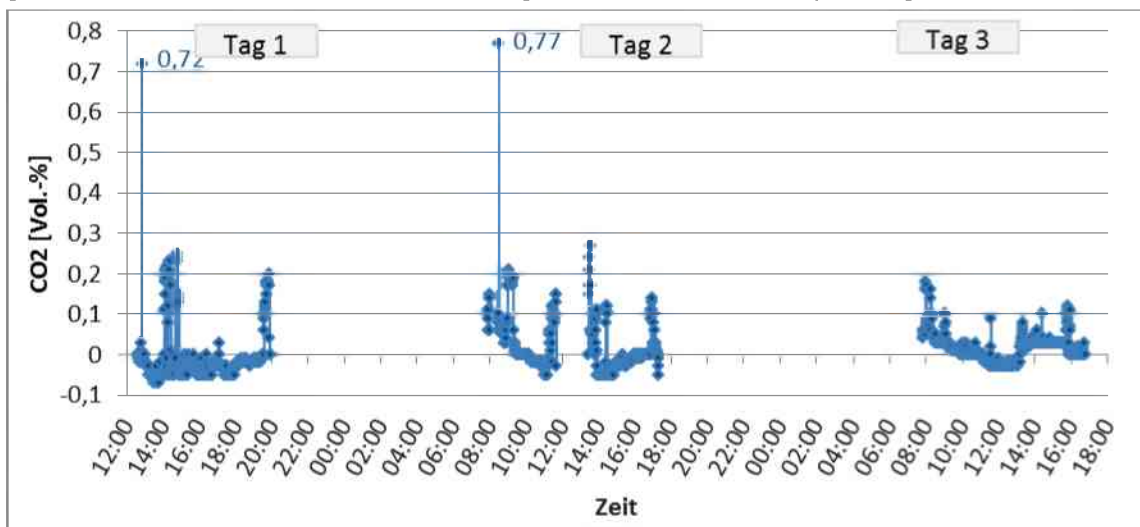


Abb. 5-31: BBT: Gaskonzentration: CO₂: Verlauf über die gesamte Messdauer

5.3.1.4 Stickstoffdioxid (NO₂)

Stickstoffdioxid wurde vereinzelt detektiert. Dabei betrug der NO₂-Gehalt meist 0,1 ppm. Seltener wurden höhere Konzentrationen von 0,2 ppm bis 0,4 ppm gemessen. Über vier Zeiträume wurde wiederholt NO₂ erfasst. Diese Zeiträume traten zwei Mal im Bereich „300 m bis 100 m hinter der Ortsbrust“ und je einmal bei TM 1500 des Zufahrtstunnels und im Portalbereich auf. Dabei wurde über ungefähr eine Stunde 15 Minuten, zehn Minuten, rund 30 Minuten bei TM 1500 und zehn Minuten im Portalbereich mehrmals NO₂ gemessen.

In diesem Zeitraum, im Portalbereich, wurde der maximale NO₂-Gehalt von 0,5 ppm detektiert. Zu diesem Zeitpunkt wurden Messungen der Wettergeschwindigkeit mithilfe des Radladers durchgeführt.

5.3.1.5 Brennbare Gase und Methan (CH₄)

Ohne Vortriebsarbeiten wurden weder brennbare Gase, mit dem ALTAIR 4X, bzw. Methan, mit dem ALTAIR 5X, detektiert.

5.3.1.6 Schwefelwasserstoff (H₂S)

Am zweiten und dritten Tag der Messungen wurde ein paar Mal H₂S mit einem Gehalt von 1 ppm detektiert. Am zweiten Tag wurde dieser, über den Vormittag, im Bereich „300 m bis 100 m hinter der Ortsbrust“ gemessen und am dritten Tag einmal dort, zweimal in der Kaverne der Radladersversuche und einmal im Portalbereich. Zum größten Teil der Messdauer wurde kein H₂S registriert.

5.3.1.7 Schwefeldioxid (SO₂)

Schwefeldioxid wurde über den gesamten Messzeitraum registriert. Der Mittelwert wurde mit 0,17 ppm SO₂ berechnet. Zum größten Teil betrug die gemessene SO₂-Konzentration 0,1 ppm. Einige Male wurde ein Gehalt von 0,2 ppm und 0,5 ppm detektiert. Der Maximalwert von 0,8 ppm wurde zwei Mal bei der Fahrt zu den Messpunkten, von außerhalb des Tunnels, aufgezeichnet. Alle Messwerte der drei Tage sind Tab. 13-31 des Anhangs 13.3 zu entnehmen.

5.3.2 Mit Vortriebsarbeiten

Die Messungen mit Vortriebsarbeiten dauerten zwei Tage. Zusätzlich zu den beiden tragbaren Messgeräten waren auch an den fixen Messpunkten Gasmessgeräte befestigt. Diese speicherten jede Minute einen Messwert. Die Geräte wurden an jedem Messpunkt zwei Mal zur Datensicherung ausgeschaltet. Dadurch ergaben sich Messlücken von zwei bis drei Minuten. Beginn und Ende der Gasmessungen an den Messpunkten ist Tab. 5-21 zu entnehmen.

	Beginn		Ende	
Messpunkt 1	23.08.2016	11:49	24.08.2016	13:30
Messpunkt 2	23.08.2016	12:27	24.08.2016	13:18
Messpunkt 3	23.08.2016	12:59	24.08.2016	12:29

Tab. 5-21: BBT: Gasmessung: MP1, MP2 & MP3: Beginn und Ende der Dauermessung

Von 12:59 bis ungefähr 14:11, am 23.08.2016, wurde nicht bei Messpunkt 3 gemessen, sondern im Bereich der Lutten-Verlängerung. Der Grund dafür lag beim Sprengen um 12:55. Dadurch verspätete sich der Aufbau des festen Messpunktes durch das Schuttern, verbunden mit schlechten Sichtverhältnissen, und hohen CO-Konzentrationen.

Die Gase Kohlenstoffdioxid, Kohlenstoffmonoxid, Schwefeldioxid, Schwefelwasserstoff, Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid verfügen über

MAK-Werte nach Anhang I/2011 der Grenzwertverordnung 2011. Alle sechs Gase wurden mit den TMW und den KZW des Anhangs verglichen. Ein Auszug der relevanten Zeilen und Spalten dieses Anhangs befindet sich in Kapitel 2.4.

5.3.2.1 Sauerstoff (O₂)

Der Sauerstoff-Gehalt wurde an Messpunkt 1 und Messpunkt 2 gemessen. Beide Messgeräte zeigten über die gesamte Messdauer eine Konzentration von 20,9 Vol.-% an. Bei Messpunkt 1 wurde über einen Zeitraum von 14 Minuten 20,7 Vol.-% registriert.

Das tragbare Gasmessgerät speicherte alle 15 Sekunden je einen Wert für das Minimum und das Maximum des O₂-Gehaltes, welche in diesem Zeitraum gemessen worden sind, ab. Über die gesamte Messdauer betrug das kleinste Minimum 20,3 Vol.-%. Es wurde bei Messpunkt 3 (14:31) und bei Messpunkt 1 (19:50) aufgezeichnet. Das geringste Maximum wurde mit 20,4 Vol.-% im Bereich von Messpunkt 3 registriert und das größte Maximum lag bei 20,8 Vol.-%.

Über größere Zeiträume wurde ein Sauerstoffgehalt von 20,8 Vol.-% gemessen. In Tab. 13-32, Anhang 13.3, sind die Daten der Zeiträume gelistet, in welchen die Messwerte von dieser Konzentration abwichen.

5.3.2.2 Kohlenstoffmonoxid (CO)

Die Kohlenstoffmonoxid-Konzentration wurde an allen drei Messpunkten aufgezeichnet. Bei Betrachtung des Verlaufs für die einzelnen Messpunkte ist der Unterschied zwischen den Stationen erkennbar. In Messpunkt 3, welcher der Ortsbrust am nächsten war, wurden die höchsten Konzentrationen gemessen. Bei Messpunkt 2 waren die Maximalkonzentrationen viel geringer und bis Messpunkt 1 nahmen sie weiter ab. Die Verläufe sind in Abb. 5-32 abgebildet.

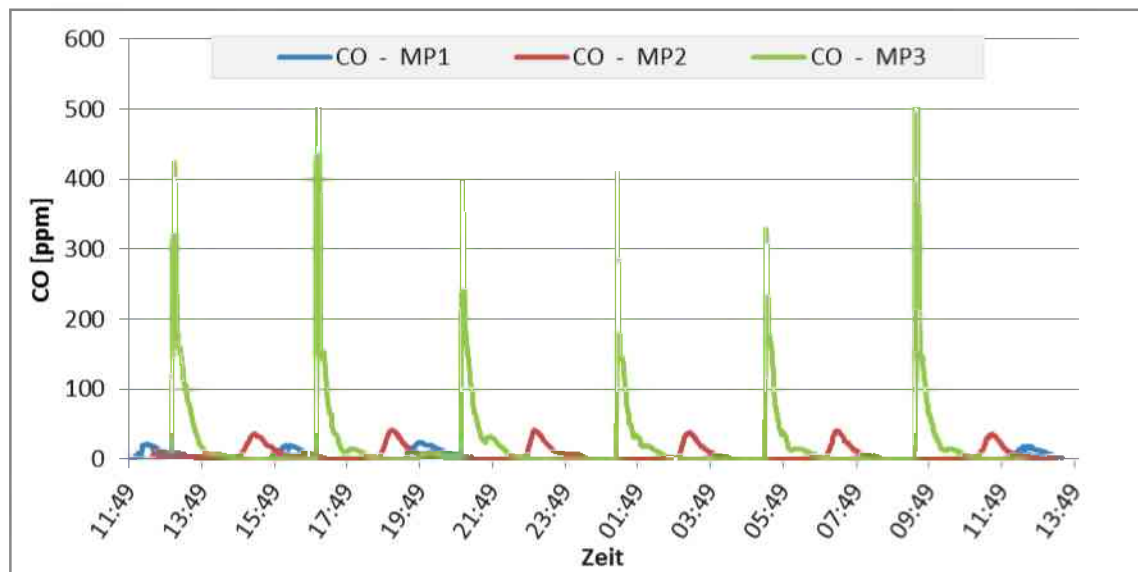


Abb. 5-32: BBT: Gaskonzentrationen: CO: MP1, MP2 und MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten

Zusätzlich zu den fixen Messpunkten waren an den tragbaren Gasmessgeräten CO-Sensoren eingebaut. Beim Übereinanderlegen der Kurven, Abb. 5-33, ist erkennbar, dass beide Geräte die gleiche Tendenz gemessen haben. Einzig die exakten Werte zum gleichen Zeitpunkt und die Maxima unterscheiden sich. Mit dem ALTAIR 4X wurde ein Maximum von 546 ppm CO registriert, das Maximum des ALTAIR 5X betrug 590 ppm.

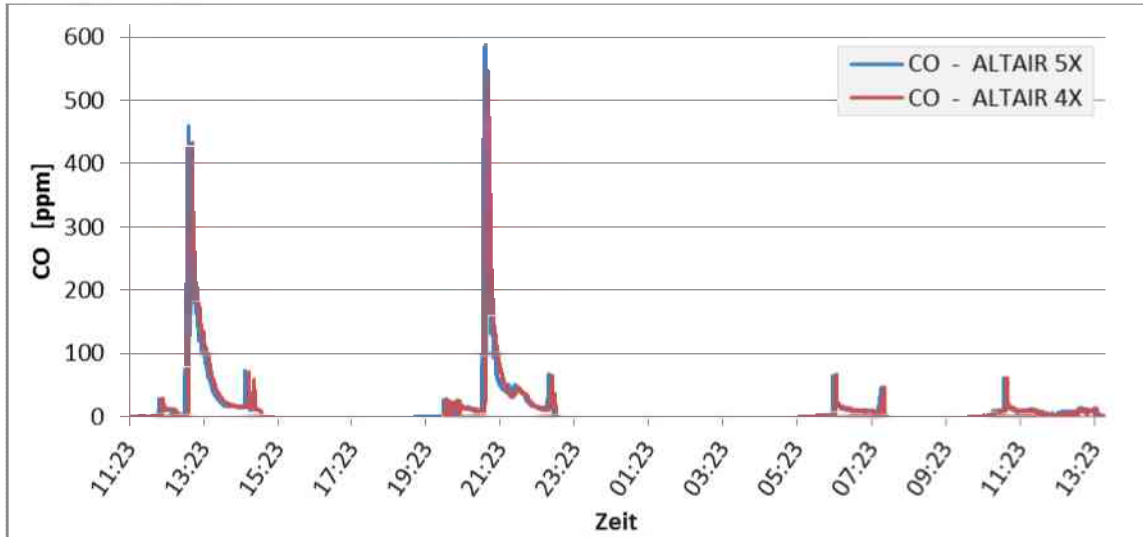


Abb. 5-33: BBT: Gaskonzentrationen: CO: Vergleich der beiden tragbaren Messgeräte: Verlauf während der Vortriebsarbeiten

Die beiden größten Spitzen des CO-Gehalts, um ca. 13:00 bzw. 21:00 in Abb. 5-33, wurden beim Sprengen gemessen. Bei der Fahrt in den Tunnel bzw. aus dem Tunnel wurden die abgeschwächten Sprenggase registriert. Dies geschah an unterschiedlichen Stellen des Bauwerks, je nachdem wie weit sie bereits von der Bewetterung hinaus gedrückt worden sind.

Der Tagesmittelwert für Kohlenstoffmonoxid beträgt nach GKV 2011 30 ppm und der Kurzzeitwert ist als ein Mittelwert von 60 ppm über den Beurteilungszeitraum von 15 Minuten angegeben. Der KZW darf viermal pro Schicht erreicht werden.

An keinem der drei fixen Messpunkte wurde der TMW erreicht. Die, auf acht Stunden, gemittelten Werte waren erwartungsgemäß bei Messpunkt 3 am höchsten. Der KZW wurde bei Messpunkt 1 und Messpunkt 2 nicht übertroffen. Bei Messpunkt 3 wurde der KZW übertroffen, obwohl er im Bewetterungszeitraum von 15 Minuten nach einer Sprengung nicht berechnet wurde. In diesem Zeitraum ist ein Aufenthalt im Vortriebsbereich nicht gestattet. Die Übertretungen des KZW an Messpunkt 3 erfolgten nach der ersten, zweiten, dritten und sechsten aufgezeichneten Sprengung.

Die beiden tragbaren Gasmessgeräte waren nie durchgehend über einen Zeitraum von acht Stunden im Einsatz. Aus diesem Grund wurde kein Abgleich mit dem TMW durchgeführt.

Die Daten der beiden tragbaren Gasmessgeräte wurden mit dem KZW verglichen. In zwei Zeiträumen, ab ca. 13:00 und ab ca. 21:00, waren die Messgeräte bei einer Sprengung im Bereich des Messpunktes 3, außerhalb eines Fahrzeuges oder einer Schwadenkammer, aufgestellt. Durch die Sprengschwaden wurde der KZW, genau wie bei den Daten des Messpunktes 3, trotz Einrechnung der Bewetterungszeit überschritten.

5.3.2.3 Kohlenstoffdioxid (CO₂)

Kohlenstoffdioxid wurde an Messpunkt 2 und Messpunkt 3 gemessen. In Messpunkt 3 traten die Spitzen des CO₂-Gehalts nach den Sprengungen beim Schuttern auf. In diesen Zeiträumen waren die meisten Baumaschinen im Vortriebsbereich unterwegs. Die Konzentration des Kohlenstoffdioxids bei Messpunkt 2, TM 1500, variierte weniger stark und sie sank, im Gegensatz zu Messpunkt 3, nie unter 0,05 Vol.-%. Der Grund hierfür war das größere und regelmäßigeres Verkehrsaufkommen im Zugangstunnel Wolf. Somit wurde in Messpunkt 2 mit 0,10 Vol.-% CO₂ ein höherer Mittelwert berechnet als in Messpunkt 3 mit 0,05 Vol.-% CO₂.

Das Maximum des Messpunktes 2 betrug 0,15 Vol.-% und wurde zwischen 15:19 und 15:23 gemessen. Bei Messpunkt 3 wurde das Maximum von 0,22 Vol.-% um 17:00 und um 21:52 registriert.

Die Verläufe der CO₂-Konzentration der beiden Messpunkte sind in Abb. 5-34 dargestellt. Alle Daten für dieses Diagramm sind Tab. 13-35 zu entnehmen.

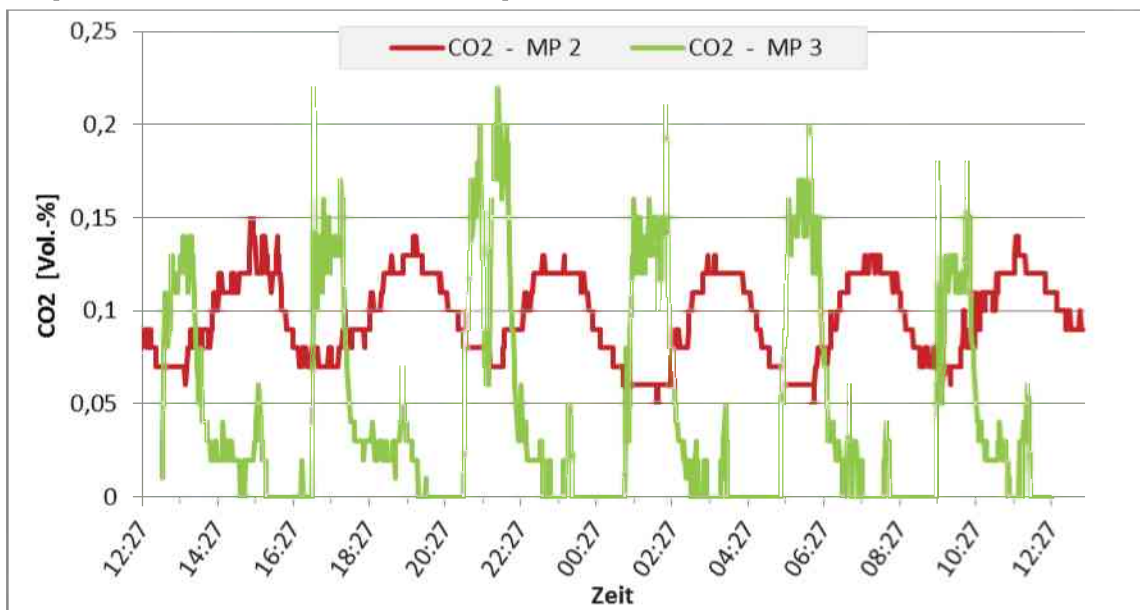


Abb. 5-34: BBT: Gaskonzentrationen: CO: MP2 und MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten

Zusätzlich zu den fixen Messpunkten wurde der CO₂-Gehalt mit dem ALTAIR 5X aufgezeichnet. Mit diesem Gerät wurde, um 19:50 des ersten Messtages, ein Maximum von 0,4 Vol.-% gemessen. Der, im Vergleich zu den fixen Messpunkten, hohe Wert wurde bei Messpunkt 1 detektiert. Dieser Messwert und die beiden Spitzen von 0,27 Vol.-%, um 14:31 am ersten Tag, und 0,25 Vol.-% am zweiten,

waren auf Fahrzeugabgase zurückzuführen. Alle Werte sind in Tab. 13-36 des Anhangs aufgelistet. Das daraus resultierende Diagramm ist in Abb. 5-35 zu sehen. Ohne Vortriebsarbeiten wurden mit dem gleichen Messgerät Maxima von 0,72 Vol.-% bzw. 0,77 Vol.-% CO₂ gemessen. Während der Vortriebsarbeiten waren die Höchstwerte geringer, da stärker bewettert wurde.

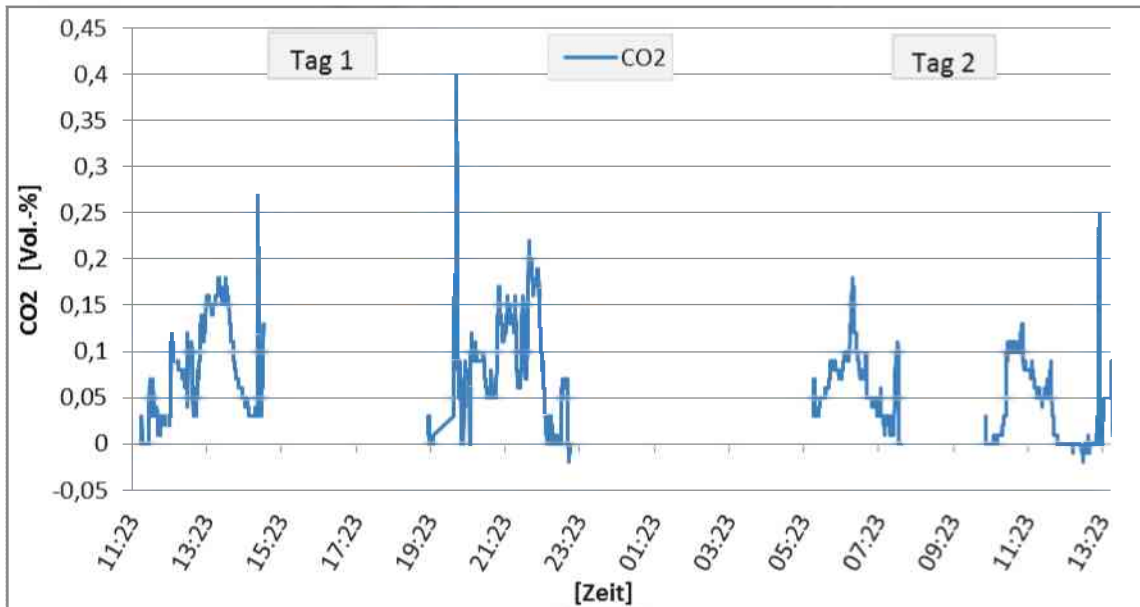


Abb. 5-35: BBT: Gaskonzentrationen: CO₂: tragbares Messgerät: Verlauf während der Vortriebsarbeiten

An keinem der beiden Messpunkte wurde der CO₂ Tagesmittelwert, in der Höhe von 5000 ppm, erreicht. Dabei entspricht 1 Vol.-% 10.000 ppm. Die, auf acht Stunden, gemittelten CO₂-Konzentrationen des Messpunktes 2 lagen im Bereich von 960 ppm und für Messpunkt 3, größenordnungsmäßig, bei 460 ppm. Da das ALTAIR 5X nie über einen Zeitraum von acht Stunden im Einsatz war, wurden die Daten des Messgerätes nicht hinsichtlich des TMW ausgewertet.

Der Kurzzeitwert ist als Momentanwert von 10.000 ppm, mit einem Beurteilungszeitraum von 60 Minuten, festgelegt. Er wurde weder mit den fest montierten Gasmessgeräten bei Messpunkt 2 und Messpunkt 3, noch mit dem tragbaren Messgerät, erreicht.

5.3.2.4 Stickstoffmonoxid (NO)

Stickstoffmonoxid wurde an allen drei fixen Messpunkten gemessen. In den tragbaren Messgeräten waren keine NO-Sensoren eingebaut. Aus diesem Grund waren für die Messungen ohne Vortriebsarbeiten keine Daten zur NO-Konzentration verfügbar.

Die Verläufe des NO-Gehalts der drei Messpunkte sind in Abb. 5-36 dargestellt. Tab. 13-37 in Anhang 13.3 listet die Quelldaten der Graphik.

Messpunkt 3 wies Spitzen im Verlauf auf, welche sich auf die Sprengungen zurückführen ließen. Auf Messpunkt 2 hatten die Sprengungen einen geringen

Einfluss, auf Messpunkt 1 keinen. Das Maximum wurde in Messpunkt 3 mit 27 ppm NO detektiert. Die Mittelwerte wurden über die gesamte Messdauer berechnet und rangierten von 2,1 ppm NO in Messpunkt 1, über 3,7 ppm in Messpunkt 2 bis 4,4 ppm in Messpunkt 3. In Messpunkt 1 wurde über einen Zeitraum von ca. zehn Stunden keinerlei NO aufgezeichnet.

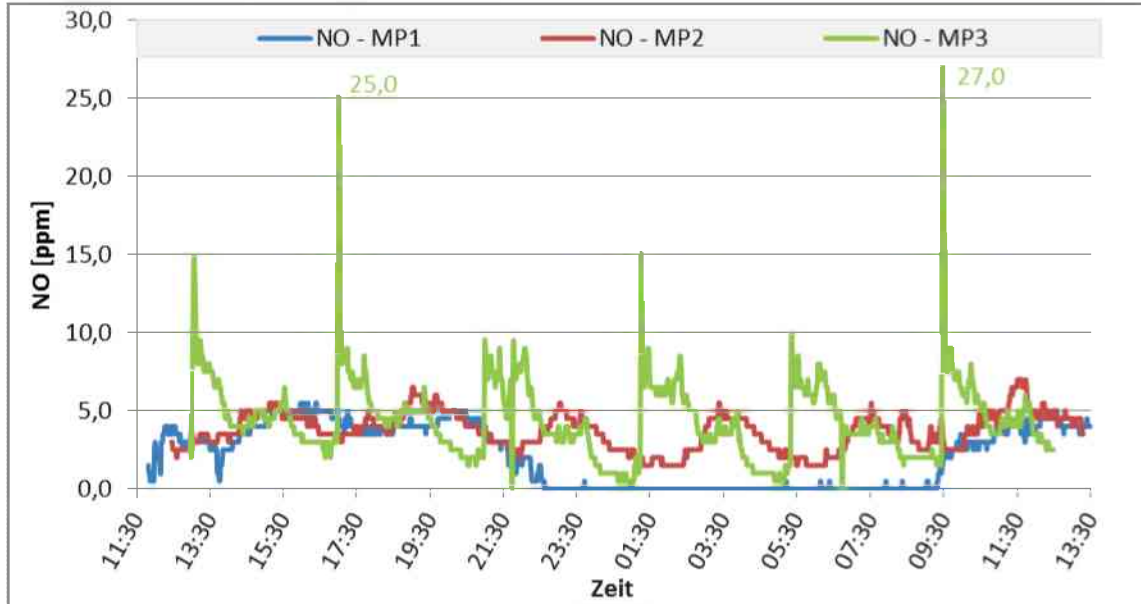


Abb. 5-36: BBT: Gaskonzentrationen: NO: MP1, MP2 und MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten

Zusätzlich bildet sich Stickstoffmonoxid in Kraftfahrzeugmotoren. Beim Abkühlen geht das NO in NO_2 und N_2O_3 über.^[41] Keines der Messgeräte verfügte über Sensoren für N_2O_3 .

Der Tagesmittelwert für Stickstoffmonoxid liegt, laut der Stoffliste der GKV 2011, bei 25 ppm. Er wurde, an keinem der drei Messpunkte, zu keinem Zeitpunkt erreicht. Die, auf acht Stunden gemittelten Konzentrationen, lagen immer unter 5 ppm. Für NO ist kein Kurzzeitwert angegeben.

5.3.2.5 Stickstoffdioxid (NO_2)

Stickstoffdioxid wurde an allen drei Messpunkten gemessen. An Messpunkt 3 wurden drei Spitzen detektiert. Sie traten nicht direkt nach Sprengungen auf sondern ungefähr 1,5 bis 2,5 Stunden danach. Bei diesem Messpunkt wurde mit 0,7 ppm NO_2 der maximale NO_2 -Gehalt erfasst. Das Maximum betrug in Messpunkt 1 0,2 ppm und in Messpunkt 2 0,3 ppm. Der Mittelwert wurde in Messpunkt 1 mit 0,13 ppm berechnet, in MP2 mit 0,05 ppm und in MP3 mit 0,01 ppm. In MP3 war der Mittelwert wegen der vielen 0,0 ppm Messungen und gering und glich die einigen hohen Messwerte im Bereich von 0,4 bis 0,7 ppm nicht aus. In MP1 schwankten die Werte konstanter zwischen 0,0 und 0,02 ppm NO_2 . Für alle drei Messpunkte sind die Verläufe der NO_2 -Konzentrationen in Abb. 5-37 dargestellt. Die Hintergrunddaten befinden sich in Tab. 13-37 des Anhangs.

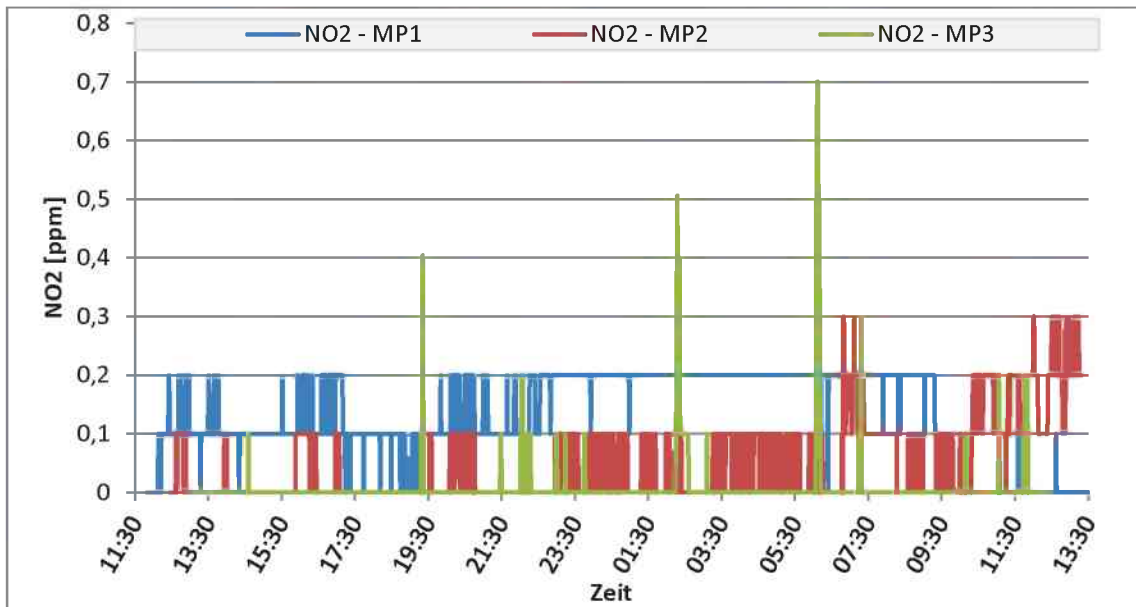


Abb. 5-37: BBT: Gaskonzentrationen: NO₂: MP1, MP2 und MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten

Der Gehalt des Stickstoffdioxids wurde, wie auch in den Messungen ohne Vortriebsarbeiten, mit dem tragbaren Gasmessgerät ALTAIR 4X aufgezeichnet. Das Ergebnis wurde in Abb. 5-38 dargestellt. Die Daten für die Graphik befinden sich in Tab. 13-39 des Anhangs 13.3.

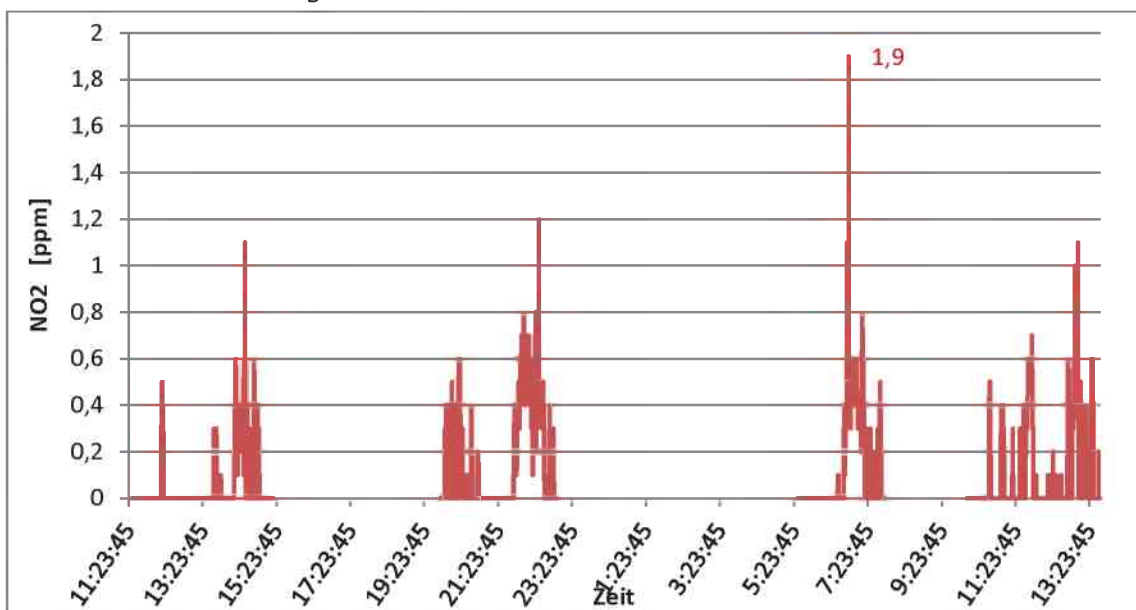


Abb. 5-38: BBT: Gaskonzentrationen: NO₂: tragbares Messgerät: Verlauf während der Vortriebsarbeiten

Im Gegensatz zu den stationären Messgeräten wurde mit dem tragbaren ein maximaler NO₂-Gehalt von 1,9 ppm gemessen. Diese Messung fand im Vortriebsbereich statt. Zum gleichen Zeitpunkt wurde an Messpunkt 3 keine Stickstoffdioxid-Konzentration aufgezeichnet. Die letzte Sprengung fand ca. 1,5 Stunden zuvor statt, somit wird ein Einfluss von Sprenggasen auf die Messung ausgeschlossen. Der hohe NO₂-Gehalt könnte auf Schweißarbeiten oder die

Umwandlung von NO in NO₂ erklärt werden. Über die gesamte Messdauer wurde Mittelwert von 0,10 ppm Stickstoffdioxid berechnet.

Die Daten der drei Messpunkte wurden mit dem Tagesmittelwert für NO₂, in der Höhe von 3 ppm, verglichen. Der TMW wurde nicht erreicht. Das tragbare Gasmessgerät war nie für acht Stunden durchgehend eingeschaltet und aus diesem Grund wurden diese Daten nicht mit dem TMW abgeglichen.

Der Kurzzeitwert ist als ein Momentanwert von 6 ppm, innerhalb von fünf Minuten, definiert. Sowohl die Messwerte der drei Messpunkte, als auch jene des tragbaren Gasmessgerätes wurden mit dem KZW verglichen. Dieser Grenzwert wurde, über die gesamte Messdauer, nie erreicht.

5.3.2.6 Brennbare Gase und Methan (CH₄)

Die brennbaren Gase wurden mit dem ALTAIR 4X gemessen und Methan mit dem ALTAIR 5X. Über die gesamte Messdauer wurde keinerlei Methan detektiert.

Brennbare Gase wurden nur einmal, über einen Zeitraum von 3,5 Minuten, detektiert. Der Graph in Abb. 5-39 stellt diese Daten dar. Die Messwerte sind in Tab. 13-40 des Anhangs 13.3 aufgelistet.

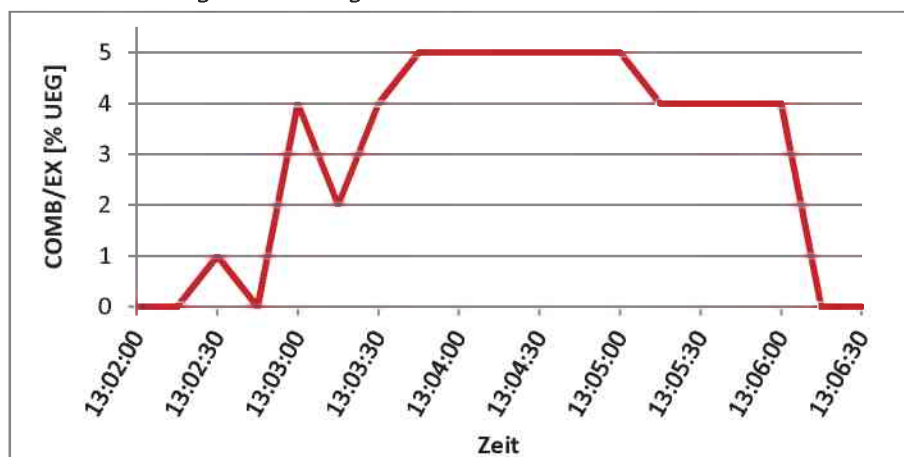


Abb. 5-39: BBT: Gaskonzentrationen: COMB/EX: tragbares Messgerät

5.3.2.7 Schwefelwasserstoff (H₂S)

Der Gehalt des Schwefelwasserstoffs wurde mithilfe des tragbaren Gasmessgerätes ALTAIR 5X gemessen. Die Werte betragen 0 ppm bzw. 1 ppm H₂S, mit einer Spitze von 2 ppm. Diese Spitze stellte den maximalen Messwert über den Verlauf der Vortriebsarbeiten dar. Er wurde ca. 15 Minuten nach einer Sprengung in der Nähe des Messpunktes 3 detektiert. Das Minimum betrug 0 ppm H₂S und der Mittelwert wurde mit 0,04 ppm berechnet.

In Abb. 5-40 ist der Verlauf des Schwefelwasserstoff-Gehalts über die Messdauer dargestellt. Die Werte, welche dieser Graphik zugrunde liegen, sind Tab. 13-41 des Anhangs 13.3 zu entnehmen.

Sowohl der Tagesmittelwert als auch der Kurzzeitwert für H₂S sind mit 5 ppm festgelegt. Dabei ist der KZW ein Momentanwert. Er wurde zu keinem Zeitpunkt erreicht.

Da das tragbare Gasmessgerät nie für acht Stunden, oder länger, im Einsatz war, wurden die gemessenen Daten nicht mit dem TMW verglichen. Aus den Messwerten, Abb. 5-40, geht hervor, dass er nicht erreicht worden wäre.

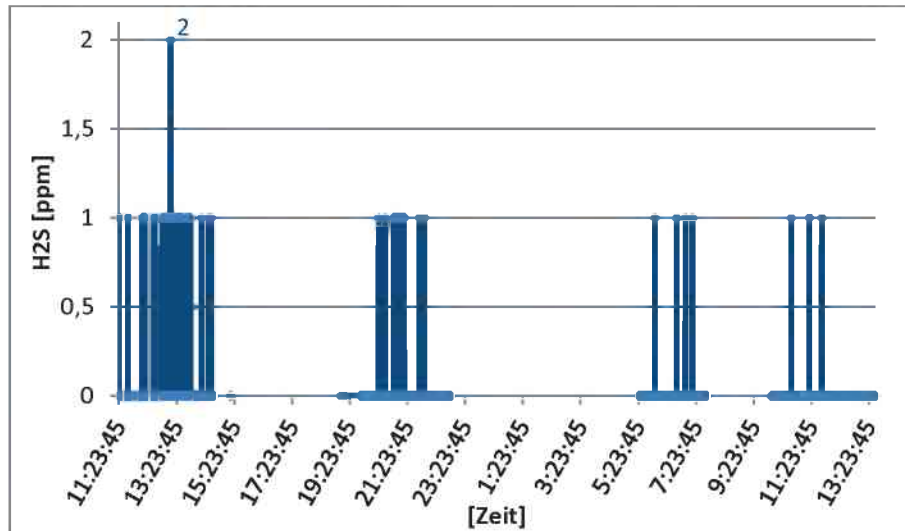


Abb. 5-40: BBT: Gaskonzentrationen: H₂S: tragbares Messgerät: Verlauf während der Vortriebsarbeiten

5.3.2.8 Schwefeldioxid (SO₂)

Schwefeldioxid wurde mit dem tragbaren Gasmessgerät ALTAIR 5X aufgezeichnet. Der Verlauf über die Messdauer ist Abb. 5-41 zu entnehmen. Alle Daten der Graphik sind in Tab. 13-41 des Anhangs 13.3 aufgelistet.

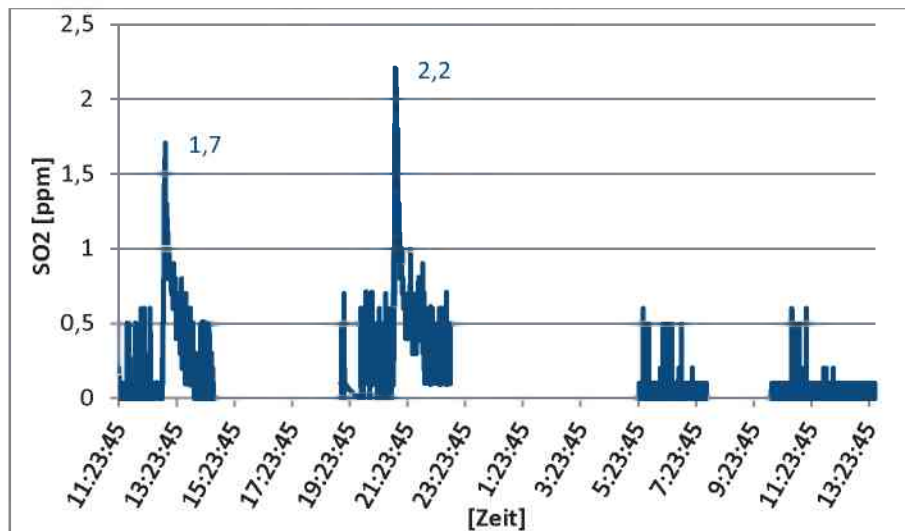


Abb. 5-41: BBT: Gaskonzentrationen: SO₂: tragbares Messgerät: Verlauf während der Vortriebsarbeiten

Es wurden zwei Spitzen in der Höhe von 1,7 ppm und 2,2 ppm SO₂ detektiert. Beide traten einige Minuten nach einer Sprengung auf. Sie wurden im Bereich des Messpunktes 3 gemessen. Die maximale Schwefeldioxid-Konzentration betrug 2,2 ppm und die minimale betrug 0,0 ppm. Der Mittelwert wurde über die Messdauer mit 0,19 ppm berechnet.

Der Tagesmittelwert für Schwefeldioxid ist mit 2 ppm und der Kurzzeitwert mit 4 ppm angegeben. Dabei handelt es sich beim KZW um einen Momentantwert, mit einem Beurteilungszeitraum von fünf Minuten.

Wegen der kurzen durchgehenden Messzeiten, immer unter acht Stunden, wurden die Ergebnisse nicht mit dem TMW verglichen. Der KZW wurde zu keinem Zeitpunkt erreicht.

5.4 Temperaturmessung

5.4.1 Lufttemperatur

Die Lufttemperatur wurde mithilfe des Infrarot-Thermometers, des aufstellbaren Thermo-Hygrometers und, während der Vortriebsarbeiten, mithilfe des Hitzdrahtanemometers und dem tragbaren Thermohygrometer gemessen.

5.4.1.1 Messpunkt 1, Messpunkt 2 und Messpunkt 3 während der Vortriebsarbeiten
Während der Vortriebsarbeiten wurde die Temperatur mit dem Hitzdrahtanemometer an den drei fixen Messpunkten aufgezeichnet. Daraus ergaben sich die Lufttemperatur-Verläufe, welche in Abb. 5-42 dargestellt sind. Die Daten für diese Abbildung sind in Tab. 13-42 aufgelistet.

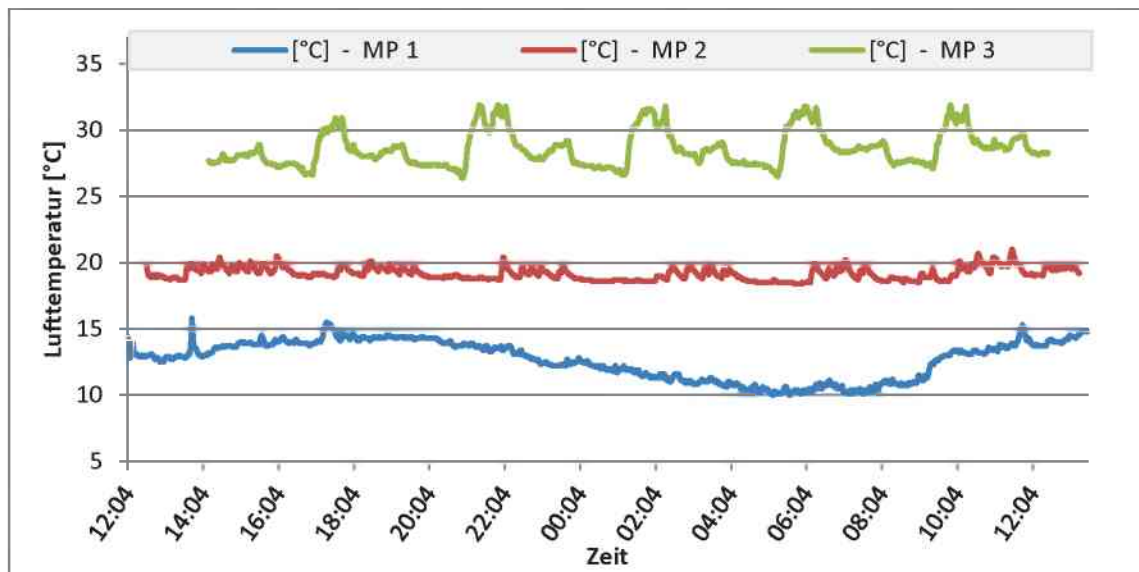


Abb. 5-42: BBT: Lufttemperaturmessung: MP1, MP2 & MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten

	MP1	MP2	MP3
	[°C]	[°C]	[°C]
Minimum	10,0	18,4	26,4
Maximum	15,8	21,0	31,9
Mittelwert	12,68	19,16	28,59

Tab. 5-22: BBT: Lufttemperaturmessung: MP1, MP2 & MP3: Minima, Maxima und Mittelwert: Während der Vortriebsarbeiten

Je näher der Messpunkt bei der Ortsbrust lag, desto höher war die gemessene Temperatur. Dies ist in den Kurven in Abb. 5-42 und in Tabelle Tab. 5-22 ersichtlich.

Während der Nacht fiel die Außentemperatur vor dem Tunnel ab. Deswegen wurde an Messpunkt 1, welcher sich bei TM 55 befand, ein Minimum von 10,0 °C registriert. Am Tag stieg die Lufttemperatur vor dem Portal und somit am Messpunkt 1 wieder an.

5.4.1.2 Messpunkt 1

An Messpunkt 1 wurde die Lufttemperatur, zusätzlich zum Verlauf aus Abb. 5-42, über zwei Zeiträume mithilfe des Thermohygrometers Vaisala HMI41 gemessen. Dieses wurde vor den Messungen akklimatisiert. Während des ersten Zeitraums sank die Temperatur von 12,3 °C auf 11,0 °C, während das zweiten blieb sie konstant auf 13,4 °C. Diese Werte sind in Tab. 5-23 aufgelistet.

Zeit	Lufttemperatur [°C]
05:48	12,3
	12,1
	12,0
05:49	11,8
	11,6
	11,6
05:50	11,5
05:51	11,3
	11,2
05:53	11,0
10:35	13,4
10:36	13,4
	13,4

Tab. 5-23: BBT: Lufttemperaturmessung: MP1: Thermohygrometer Vaisala HMI41: während Vortriebsarbeiten

5.4.1.3 Messpunkt 2

Bei Messpunkt 2 wurde die Lufttemperatur ohne und mit Vortriebsarbeiten gemessen. Diese Messungen fanden, zusätzlich zu jenen über 24 Stunden am fixen Messpunkt, statt.

In Tab. 5-24 sind die Messergebnisse der Lufttemperatur ohne Vortriebsarbeiten dargestellt. Das Thermo-Hygrometer wurde am Boden, am Rande der Fahrbahn und somit neben dem Wassergraben, aufgestellt. Seine Messergebnisse sanken mit der Zeit, zuerst langsam und dann schneller, ab. Nach über 20 Minuten waren die Messwerte relativ konstant. Sie variierten von 19,1 °C bis 18,8 °C. Da das Messgerät am Boden, neben dem Wasser, positioniert war, wurden geringere Werte

als mit dem Infrarot-Thermometer gemessen. Die Messungen fanden am gleichen Tag statt.

<i>Thermo-Hygrometer</i>		<i>Infrarot-Thermometer</i>	
Zeit	Lufttemperatur [°C]	Zeit	Lufttemperatur [°C]
13:50	20,5	15:51	19,5
13:57	19,8		19,6
14:00	19,5		19,6
14:04	19,3		19,6
14:16	19,1		
14:20	18,9	Mittelwert	19,58
14:25	18,9		
14:52	18,8		
15:00	18,8		

Tab. 5-24: BBT: Lufttemperaturmessung: MP2: Thermo-Hygrometer & Infrarot-Thermometer: ohne Vortriebsarbeiten

Die Daten der Tab. 5-25 wurden während der Vortriebsarbeiten, an zwei aufeinanderfolgenden Tagen, aufgezeichnet. Je nach Uhrzeit wurden unterschiedliche Werte gemessen.

Zeit	Lufttemperatur [°C]	Zeit	Lufttemperatur [°C]
12:34	19,2	06:13	17,9
20:33	22,6		18,0
20:37	21,1		18,2
20:38	20,8	06:18	18,5
			18,7
		06:23	18,8
		10:46	19,5
		10:47	19,6
		10:49	19,3
		10:50	19,3

Tab. 5-25: BBT: Lufttemperaturmessung: MP2: Thermohygrometer Vaisala HMI41: während Vortriebsarbeiten

5.4.1.4 Messpunkt 3

In der Nähe des Messpunktes befand sich der Trafo. Bei diesem wurden, mithilfe des Thermohygrometers Vaisala HMI41, 24,9 °C und 25,0 °C gemessen. Diese Lufttemperaturen wurden, genauso wie die Messungen bei Messpunkt 3, während der Vortriebsarbeiten durchgeführt.

Die Lufttemperatur bei Messpunkt 3 wurde zusätzlich zum Verlauf in Kapitel 5.4.1.1, Abb. 5-42, aufgezeichnet. In Tab. 5-26 sind die Werte von zwei aufeinander folgenden Tagen aufgelistet. Sie variieren mit der Uhrzeit. Die Messung um 07:09 am zweiten Tag, mit 21,1 °C, lässt sich auf ein noch nicht ausreichend

akklimatisiertes Messgerät zurückführen. Der Wert um 07:30, 28,2 °C, bestätigt diese Annahme.

Zeit	Lufttemperatur [°C]	Zeit	Lufttemperatur [°C]
14:19	26,5	07:09	21,1
21:55	29,2	07:30	28,2
22:02	30,0	11:36	28,4
22:03	30,1	11:47	29,1
22:04	30,1	12:21	28,7
22:08	30,8	12:23	28,5
22:11	30,5	12:27	28,4
22:35	28,9		
22:36	28,7		

Tab. 5-26: BBT: Lufttemperaturmessung: MP3: Thermohygrometer Vaisala HMI41: während Vortriebsarbeiten

5.4.1.5 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt

Im Bereich 300 m bis 100 m vor der Ortsbrust wurde die Lufttemperatur mithilfe des Infrarot-Thermometers und des Thermohygrometers detektiert. Diese Messungen fanden ohne Vortriebsarbeiten statt. Es wurden unterschiedliche Minima, Maxima und Mittelwerte bestimmt.

Der Mittelwert wurde für das Infrarot-Thermometer mit 24,5 °C berechnet und für das Thermo-Hygrometer mit 25,8 °C. Die Maxima betragen 26,3 °C bzw. 24,9 °C und Minima 25,4 °C bzw. 24,2 °C. Sie sind in den Kurven in Abb. 5-45 beschriftet. In Tab. 13-43 sind die Daten für die Graphik aufgelistet.

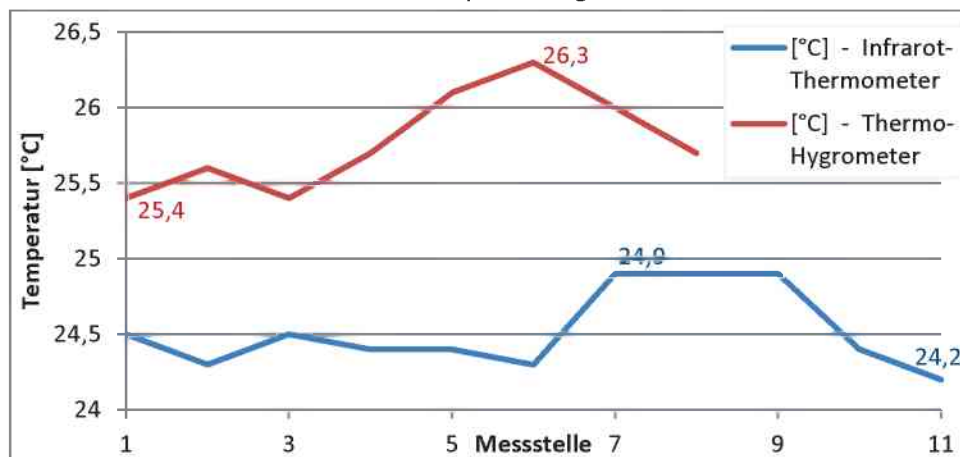


Abb. 5-43: BBT: Lufttemperaturmessung ohne Betrieb: 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt

Zusätzlich wurde das Thermo-Hygrometer am folgenden Tag bei Messstelle 8, 1 und 2 aufgestellt und stehen gelassen. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tab. 5-27 aufgelistet. Der erste Wert bei Messstelle 1 war darauf zurückzuführen, dass das Messgerät noch nicht ganz akklimatisiert war. Im Vergleich zum Vortag wurden höhere Lufttemperaturen gemessen.

Messstelle	Zeit	Lufttemperatur [°C]
1	09:33	21,8
	10:15	24,8
	14:45	24,9
2	14:46	24,9
	15:10	24,8
	16:58	24,8
8		25,8
		25,3

Tab. 5-27: BBT: Lufttemperaturmessung ohne Betrieb: 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt: einzelne Messstellen

5.4.1.6 EKS Wolf: MQ 43

Ohne Vortriebsarbeiten wurde im Bereich des MQ 43 des EKS Wolf eine Lufttemperatur von 23,4 °C gemessen. Dieser Wert wurde zweimal, in einem Abstand von zwei Minuten, abgelesen. Für die Messung wurde das Thermo-Hygrometer am Fahrbahnrand, am Boden, aufgestellt. Vor dem Ablesen bekam das Messgerät Zeit um sich zu akklimatisieren.

Während der Vortriebsarbeiten wurden mit dem gleichen Messgerät, am gleichen Ort, eine Lufttemperatur von 23,4 °C bzw. 23,2 °C registriert. Somit trat bei MQ 43 keine Änderung der Lufttemperatur auf.

5.4.1.7 Kaverne der Radladersversuche

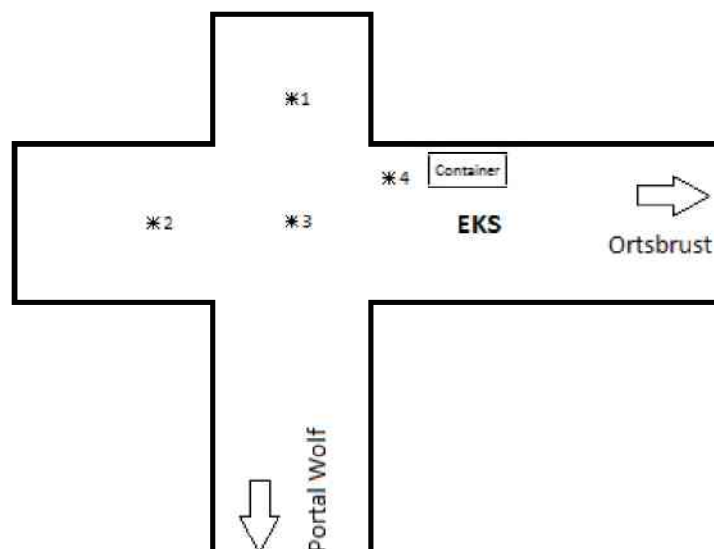


Abb. 5-44: BBT: Skizze: Lufttemperaturmessung: Kaverne der Radladersversuche

Im Bereich der Kaverne der Radladersversuche wurde die Lufttemperatur an vier Punkten gemessen. An allen Punkten Abb. 5-44 wurde sie mit dem Infrarot-Thermometer und an Punkt 4 zusätzlich mit dem Thermo-Hygrometer gemessen. Diese Messungen fanden ohne Vortriebsarbeiten statt.

Zeit	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Punkt 4
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
09:25	22,9	23,0	22,9	22,9
09:57	23,0	23,0	23,2	22,9
12:35	k.M.	k.M.	k.M.	22,7
Mittelwert	22,95	23,00	23,05	22,83

Tab. 5-28: BBT: Lufttemperaturmessung: Kaverne der Radladerversuche: Infrarot-Thermometer

Tab. 5-28 und Tab. 5-29 listen die Messwerte und die berechneten Mittelwerte für beide Messgeräte auf. Da die vier Punkte relativ nahe beisammen liegen, wurde mit den Werten aus Tab. 5-28 ein Mittelwert von 22,94 °C für die gesamte Kaverne bestimmt. Die Abkürzung "k.M." in Tab. 5-28 bedeutet, dass für diesen Zeitpunkt, an diesem Punkt, keine Messdaten vorhanden sind.

Zeit	Punkt 4 [°C]
09:22	22,6
09:24	22,9
09:28	23,1
09:50	23,3
09:55	23,4
12:04	23,4
12:20	23,4
Mittelwert	23,16

Tab. 5-29: BBT: Lufttemperaturmessung: Kaverne der Radladerversuche; Thermo-Hygrometer

5.4.2 Wandtemperatur

5.4.2.1 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt

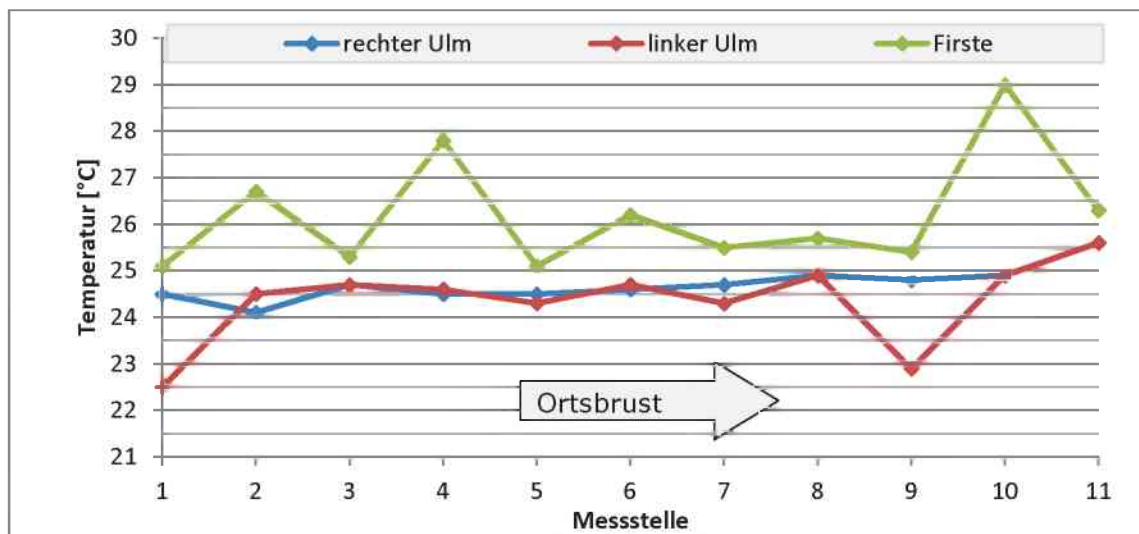


Abb. 5-45: BBT: Wandtemperatur ohne Betrieb: 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt

Die Messungen fanden an den gleichen Messstellen wie jene der Beleuchtungsstärke statt. Messstelle 1 befand sich ca. 300 m hinter der Ortsbrust. Die Wandtemperaturen wurden während des Betriebsstillstandes mithilfe des Infrarot-Thermometers gemessen.

In Abb. 5-45 ist der Verlauf der Wandtemperatur an den Ulmen und der Firste zu sehen. Am linken Ulm, in Blickrichtung Ortsbrust, war die Lutte montiert.

Bei Messstelle 1 und Messstelle 9, des linken Ulms, wurde eine Abweichung der Temperatur nach unten festgestellt. An diesen Messstellen war die Wand feucht. Ohne die feuchten Stellen ergab sich eine mittlere Wandtemperatur von 24,7 °C. Die Ausreißer der Firsttemperatur kamen durch die Nähe der Firstlampe an den Messstellen 2, 4, 6 und 10. Ohne diese wurde eine mittlere Wandtemperatur von 25,5 °C berechnet.

Für alle drei Verläufe ist ein leicht ansteigender Trend der Temperatur, in Richtung Ortsbrust, zu verzeichnen. Am besten ist dieser beim Temperaturverlauf am rechten Ulm sichtbar, da dort weder Lampen noch feuchte Wandstellen angetroffen wurden.

5.4.2.2 Messpunkt 3

In Tab. 5-30 sind Wandtemperaturen des Messpunktes 3 während der Vortriebsarbeiten ersichtlich. Im Vergleich zu Abb. 5-45 wurde während der Vortriebsarbeiten eine höhere Wandtemperatur an beiden Ulmen und der Firste gemessen.

Zeit	Linker Ulm [°C]	Firste [°C]	Rechter Ulm [°C]
12:40	27,3	27,2	25,9

Tab. 5-30: BBT: Wandtemperatur: MP3: Während der Vortriebsarbeiten

5.4.2.3 Kaverne der Radladerversuche

In der Kaverne der Radladerversuche wurde die Wandtemperatur mittig, an der Firste, gemessen. Die Messungen fanden ohne Vortriebsarbeiten statt und ergaben Werte von 23,3 °C bzw. 23,1 °C. Für die genauere Lage der Messungen ist die Skizze in Abb. 5-44 heranzuziehen.

5.5 Relative Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit wurde mit dem digitalen Thermo-Hygrometer, dem Thermohygrometer Vaisala HMI41 und dem Hitzdrahtanemometer gemessen.

5.5.1 Messpunkt 1, Messpunkt 2 und Messpunkt 3 während der Vortriebsarbeiten

In Abb. 5-46 ist der Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit über die gesamte Messdauer während der Vortriebsarbeiten dargestellt. Die Daten für diese Graphik sind in Tab. 13-44 des Anhangs 13.5 aufgelistet. Gemessen wurden sie mithilfe der Hitzdrahtanemometer, welche an den drei Messpunkten befestigt waren.

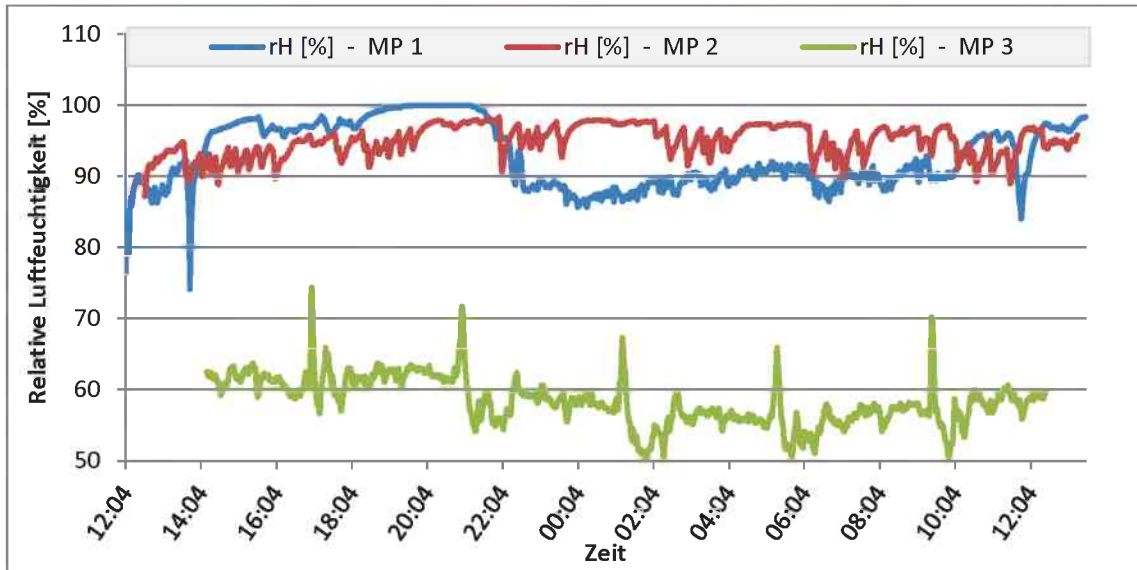


Abb. 5-46: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit: MP1, MP2 & MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten

	MP1 [rh %]	MP2 [rh %]	MP3 [rh %]
Minimum	74,1	87,2	50,2
Maximum	100,0	98,4	74,4
Mittelwert	92,80	94,99	58,36

Tab. 5-31: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit: MP1, MP2 & MP3: Vergleich der Minima, Maxima und Mittelwerte während der Vortriebsarbeiten

Die Kurven der Messpunkte 1 und 2 in Abb. 5-46 überschneiden sich. Deswegen waren das Minimum und der Mittelwert in Messpunkt 1 geringer als in Messpunkt 2, aber es wurde ein größeres Maximum detektiert. In Messpunkt 3 wurden mit Abstand geringere Werte gemessen. Tab. 5-31 listet die Minima, Maxima und Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit für alle drei Messpunkte auf.

5.5.2 Portalbereich

Ohne Vortriebsarbeiten wurde die relative Luftfeuchtigkeit im Portalbereich mithilfe eines Hitzdrahtanemometers von einem Radlader aus gemessen. Dies sollte eine Messung der Wettergeschwindigkeit, und somit auch der relativen Luftfeuchtigkeit, über den Tunnelquerschnitt erlauben. Die Ziffern von 1 bis 12 stellen die Lage der Messungen in Bezug auf den Tunnelquerschnitt dar. Sie sind in Skizze Abb. 5-50, Kapitel 5.7.2, zu finden.

In Tab. 5-32 sind die Messwerte aufgelistet. Zwischen den einzelnen Werten war ein zeitlicher Abstand von 15 Sekunden. Der Mittelwert wurde mit 78,45 % rH berechnet.

Relative Luftfeuchtigkeit	
	[% rh]
1	69,2
2	71,7
3	74,6
4	76,1
5	78,0
6	80,3
7	81,7
8	81,0
9	81,2
10	81,6
11	81,7
12	84,3

Tab. 5-32: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit: Portalbereich: ohne Vortriebsarbeiten

5.5.3 Messpunkt 1

Messpunkt 1 lag ca. 45 m weiter vom Portal entfernt als die Messungen von 5.5.2. Hier wurde die relative Luftfeuchtigkeit während der Vortriebsarbeiten, zusätzlich zu den Daten des fix montierten Hitzdrahtanemometers, aufgezeichnet. Diese Messungen wurden mithilfe des Thermohygrometer Vaisala HMI41 aufgenommen. Die Werte sind in Tab. 5-33 aufgelistet. Mit der Zeit wurde eine Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit verzeichnet. Da das Messgerät zwischen den beiden Messzeiten, ab 05:48 und ab 10:35, nicht im Tunnel war, ist nicht der gesamte Unterschied einer längeren Akklimatisierungsdauer zuzuordnen.

Zeit	Relative Luftfeuchtigkeit
	[rh %]
05:48	75,3
	76,2
	76,7
05:49	78,2
	79,0
	79,3
05:50	80,0
05:51	80,9
	81,3
05:53	82,0
10:35	89,2
10:36	89,5
	89,6

Tab. 5-33: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit: MP1: Während der Vortriebsarbeiten

5.5.4 Messpunkt 2

An Messpunkt 2 wurde die relative Luftfeuchtigkeit ohne und während der Vortriebsarbeiten gemessen. In Tab. 5-34 sind die Messwerte des Hitzdrahtanemometers und des digitalen Thermo-Hygrometers ohne Vortriebsarbeiten aufgelistet. Das Thermo-Hygrometer war am Boden, neben dem Wasserlauf aufgestellt. Aus diesem Grund wurden mit ihm größere Werte als mit dem Hitzdrahtanemometer detektiert und der Mittelwert wurde mit 90,22 % rH berechnet.

Mit dem Hitzdrahtanemometer wurde die relative Luftfeuchtigkeit zweimal bestimmt. Zwischen dem Ende der ersten Messserie und dem Beginn der zweiten lagen 64 Minuten. Die Serie Hitzdrahtanemometer 1 der Tab. 5-34 wurde vom Boden aus, über einen Zeitraum von sechs Minuten und den Tunnelquerschnitt, aufgenommen. Hitzdrahtanemometer 2 wurde vom Dach des Radladers aus gemessen. Die Messdauer betrug 3,5 Minuten. Der Radlader stand in Richtung Portal, rechts der Tunnelachse.

Für die erste Serie wurde ein Mittelwert von 81,76 % rh berechnet und für die zweite einer in der Höhe von 81,69 % rh. Somit unterscheiden sich beide Mittelwerte kaum. Die Skizzen für beide Serien des Hitzdrahtanemometers sind in Kapitel 5.7.3 zu finden. Abb. 5-52 zeigt die Lage der Messungen der Serie 1 und Abb. 5-53 für Serie 2.

<i>Hitzdrahtanemometer 1</i>		<i>Hitzdrahtanemometer 2</i>		<i>Thermo-Hygrometer</i>	
Relative Luftfeuchtigkeit		Relative Luftfeuchtigkeit		Zeit	Relative Luftfeuchtigkeit
[% rh]		[% rh]		[% rh]	
1	75,9	1	80,1	13:50	80
2	76,9	2	78,3	13:57	84
3	77,4	3	77,4	14:00	86
4	78,2	4	77,8	14:04	88
5	79,2	5	79,2	14:16	91
6	79,7	6	80,6	14:20	92
7	80,1	7	81,9	14:25	93
8	82,1	8	84	14:52	99
9	82,3	9	83,7	15:00	99
10	84,7	10	83,2		
11	84,7	11	83,6		
12	84,8	12	84		
13	85,0	13	84,7		
14	85,3	14	85,1		
15	85,8				
16	86,1				

Tab. 5-34: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit: MP2: ohne Vortriebsarbeiten

Während der Vortriebsarbeiten wurde die relative Luftfeuchtigkeit an Messpunkt 2 mit dem tragbaren Thermohygrometer Vaisala HMI41 und dem fix montierten Hitzdrahtanemometer aufgezeichnet. Die Daten des Hitzdrahtanemometers wurden

mit denen der Messpunkte 1 und 3 verglichen und in Abb. 5-46 des Kapitels 5.5.1 dargestellt.

Zeit	Relative Luftfeuchtigkeit [% rh]
12:34	86,7
20:33	71,7
20:37	78,7
20:38	80,1

Zeit	Relative Luftfeuchtigkeit [% rh]
06:13	93,9
	93,9
	93,8
06:18	93,9
	94,0
06:23	93,5
10:46	87,3
10:47	86,8
10:49	87,0
10:50	87,5

Tab. 5-35: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit: MP2: tragbares Messgerät: Während Vortriebsarbeiten

In Tab. 5-35 sind die Messwerte des Thermohygrometers aufgelistet. Sie wurden an zwei aufeinander folgenden Tagen aufgenommen, wobei die Werte des ersten Tages in der linken und die des zweiten in der rechten Tabelle stehen. Aus den Daten wurde für den ersten Tag ein Mittelwert von 79,3 % rH berechnet. Für den zweiten Tag betrug der Mittelwert der ersten Messungen, ab 06:13, 93,83 % rH und für die zweiten, ab 10:46, 87,15 % rH. Diese Unterschiede zwischen den beiden Zeiten sind auch in Abb. 5-46, welche den Verlauf der drei fixen Messpunkte über die gesamte Messdauer darstellt, erkennbar.

5.5.5 Messpunkt 3

In der Nähe des Messpunktes 3, beim Trafo, wurde die relative Luftfeuchtigkeit mit 68,7 % rH und 69,1 % rH gemessen. Der Mittelwert wurde mit 68,9 % rH berechnet. Die Messungen fanden, genauso wie jene des Messpunktes 3, während der Vortriebsarbeiten statt.

Zeit	Relative Luftfeuchtigkeit [% rh]
14:19	60,5
21:55	58,3
22:02	54,1
22:03	52,6
22:04	53,5
22:08	51,7
22:11	51,5
22:35	52,7
22:36	53,3

Zeit	Relative Luftfeuchtigkeit [% rh]
07:09	49,4
07:30	53,2
11:36	55,9
11:47	54,7
12:21	53,3
12:23	52,5
12:27	53,5

Tab. 5-36: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit: MP3: Während der Vortriebsarbeiten

Tab. 5-36 listet die Messwerte des tragbaren Thermohygrometers Vaisala HMI41 an zwei aufeinander folgenden Tagen. Am ersten Tag, linke Tabelle, wurde ein Mittelwert von 54,24 % rH berechnet. Für den zweiten Tag betrug der Mittelwert 53,21 % rH. Diese Werte können mit dem Graphen "MP3" der Abb. 5-46 verglichen werden, welcher die relative Luftfeuchtigkeit über die gesamte Messdauer, während der Vortriebsarbeiten, darstellt.

5.5.6 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt

Messstelle	Relative Luftfeuchtigkeit [% rH]
1	64
2	63
3	65
4	69
5	69
6	69
7	70
8	74

Tab. 5-37: Relative Luftfeuchtigkeit ohne Betrieb: 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt: einzelne Messstellen (Tag 1)

In diesem Messbereich wurde das digitale Thermo-Hygrometer an einzelnen Messstellen aufgestellt. Es befand sich am Fuße des rechten Ulms, in Blickrichtung Ortsbrust.

Die relative Luftfeuchtigkeit wurde an beiden Messtagen aufgezeichnet und in den Tabellen Tab. 5-37 und Tab. 5-38 aufgelistet. Tab. 5-37 beinhaltet die Daten des ersten und Tab. 5-38 des zweiten Messtages. Am zweiten Tag wurde die relative Luftfeuchtigkeit öfters abgelesen. An beiden Tagen fanden keinerlei Vortriebsarbeiten statt.

Messstelle	Zeit	Relative Luftfeuchtigkeit [% rH]
1	09:33	71
	10:15	67
	14:45	69
2	14:46	70
	15:10	71
	16:58	72
8		70
		78

Tab. 5-38: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit ohne Betrieb: 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt: einzelne Messstellen (Tag 2)

Zusätzlich zu diesen Messungen wurde die relative Luftfeuchtigkeit mithilfe des Hitzdrahtanemometers an Messstelle 1 aufgenommen. Diese Messung erfolgte innerhalb von vier Minuten und 40 Sekunden. Die Daten sind in zu finden und der Mittelwert wurde mit 64,0 % rH berechnet.

Relative Luftfeuchtigkeit [% rh]
64,0
64,0
64,0
64,1
64,0
64,0
63,9
63,9
63,9
63,9
64,0
64,1
64,2
64,2

Tab. 5-39: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit ohne Betrieb: 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt: Messstelle 1

5.5.7 Erkundungsstollen Wolf: MQ 43

An diesem Punkt wurde die relative Luftfeuchtigkeit ohne und mit Vortriebsarbeiten gemessen. Diese Messungen fanden von unterhalb der Lutte, neben dem Wassergraben, aus statt.

Das digitale Thermo-Hygrometer wurde am dritten Messtag, ohne Vortrieb, am Boden aufgestellt. Nach einer Akklimatisierung von 16 Minuten wurde, innerhalb von zwei Minuten, 85 % rH und 84 % rH abgelesen. Daraus ergab sich ein Mittelwert von 84,5 % rH. An diesem Tag kam auch das Hitzdrahtanemometer zum Einsatz. In einer Zeit von drei Minuten 50 Sekunden wurden die Daten der Tabelle Tab. 5-40 erfasst. Für die Lage der einzelnen Messungen ist die Skizze Abb. 5-60, in Kapitel 0, heranzuziehen. Die neunte Messung wurde in Fahrbahnmitte, senkrecht nach oben, aufgenommen, die restlichen acht stehend neben dem Wassergraben. Der Mittelwert wurde mit 80,12 % rH berechnet.

Relative Luftfeuchtigkeit [% rH]	
1	78,2
2	78,6
3	79,2
4	79,7
5	80,0
6	80,7
7	80,7
8	81,7
9	82,3

Tab. 5-40: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit ohne Betrieb: MQ 43

Während der Vortriebsarbeiten wurde die relative Luftfeuchtigkeit an MQ 43 mithilfe des Thermohygrometers Vaisala HMI41 gemessen. Die aufgezeichneten Werte waren 71,4 % rH bzw. 71,1 % rH. Daraus wurde ein Mittelwert von 71,25 % rH berechnet.

5.5.8 Kaverne der Radladerversuche

In der Kaverne der Radladerversuche wurde die relative Luftfeuchtigkeit ohne Vortriebsarbeiten, mithilfe des Hitzdrahtanemometers und des digitalen Thermohygrometers, gemessen. Die Lage der drei Messreihen ist der Skizze in Abb. 5-47 zu entnehmen.

Test 031 Relative Luftfeuchtigkeit [% rh]		Test 032 Relative Luftfeuchtigkeit [% rh]	
67,3		1	74,8
67,3		2	74,7
67,4		3	75,6
67,4		4	76,4
67,4		5	77,2
67,4		6	78,1
67,4		7	78,3
67,5		8	78,6
67,5		9	79
67,5		10	79,4
67,6		11	79,9
67,5			

Tab. 5-41: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit ohne Betrieb: Kaverne der Radladerversuche: Hitzdrahtanemometer

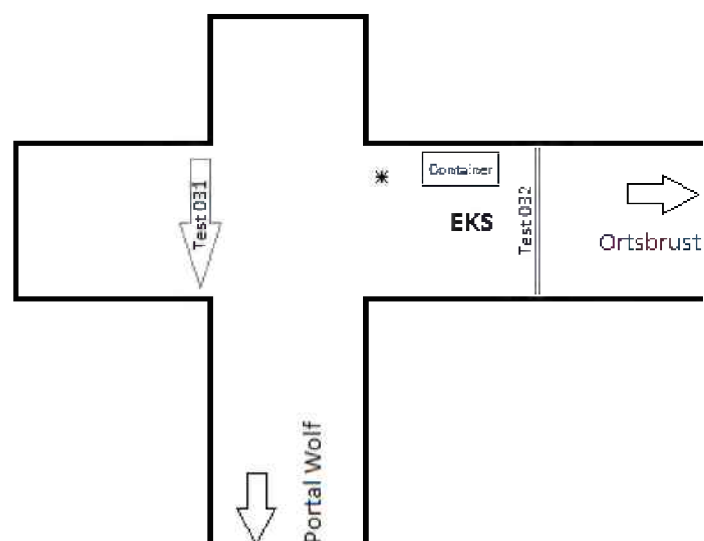


Abb. 5-47: BBT: Skizze: Kaverne der Radladerversuche: Relative Luftfeuchtigkeit: Lage der Messungen ohne Betrieb

Tab. 5-41 listet die Daten des Hitzdrahtanemometers für die Messungen "Test 031" und "Test 032" auf. Für "Test 031" wurde über drei Minuten 18 Sekunden ein Mittelwert von 67,43 % rH berechnet. Die Messung fand, wie in der Skizze ersichtlich, nicht direkt in der Kaverne sondern ein paar Meter abseits, in einem kurzen Stollen, statt. Es wurde von einer Seite des Stollens bis zur anderen gemessen.

"Test 032" dauerte zwei Minuten und 46 Sekunden. Die genaue Lage der einzelnen Messwerte im Tunnelquerschnitt ist aus Skizze Abb. 5-63, in Kapitel 5.7.7, ersichtlich. Aus ihnen wurde ein Mittelwert in der Höhe von 77,45 % rH berechnet.

Zeit	Relative Luftfeuchtigkeit [% rH]
09:22	94
09:24	93
09:28	90
09:50	86
09:55	86
12:04	85
12:20	85

Tab. 5-42: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit ohne Betrieb: Kaverne der Radladerversuche

Das Thermo-Hygrometer wurde links vom Container, am Boden, aufgestellt. Die Lage ist in der Skizze markiert und die Werte sind in Tab. 5-42 zu finden. Um 09:20 wurde das Messgerät aufgestellt. Die Daten zeigen seine Akklimation zwischen 09:20 und 09:50. Ab diesem Zeitpunkt waren die Werte relativ konstant. Der Mittelwert wurde deswegen ohne die ersten drei Werte berechnet. Er betrug 85,5 % rH.

5.6 Barometrischer Druck

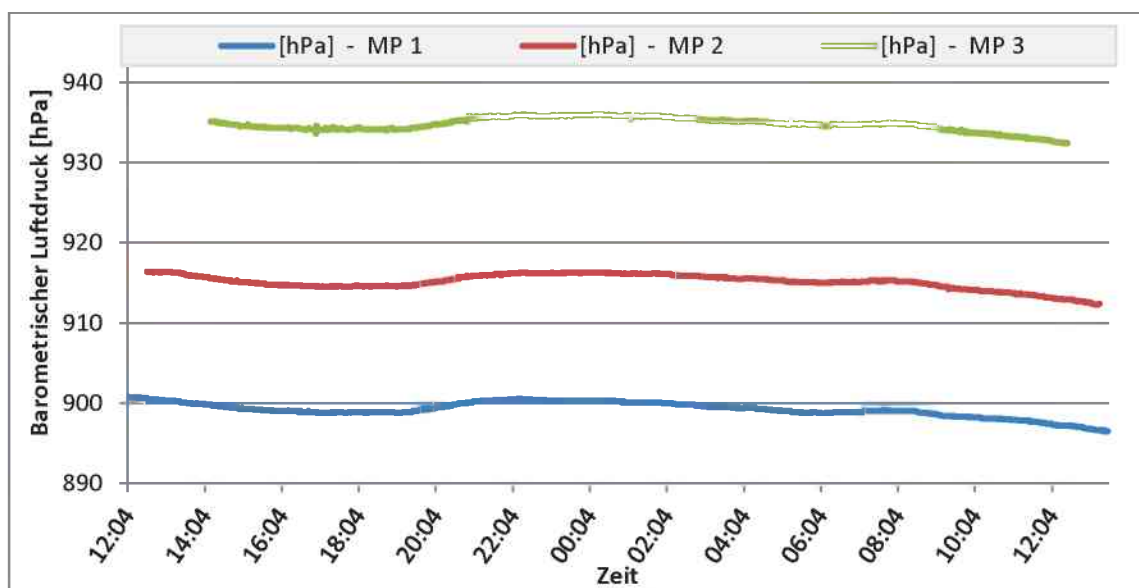


Abb. 5-48: BBT: Barometrischer Druck: MP1, MP2 & MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten

Ohne Vortriebsarbeiten wurde der barometrische Druck nicht gemessen. Während der Vortriebsarbeiten wurde er an allen drei Messpunkten, über die gesamte Messdauer, aufgezeichnet. Die Verläufe sind in Abb. 5-48 abgebildet und die Daten für diese Graphik sind in Tab. 13-45 des Anhangs 13.6 aufgelistet.

	MP1 [hPa]	MP2 [hPa]	MP3 [hPa]
Minimum	896,5	912,3	932,4
Maximum	900,8	916,4	936,1
Mittelwert	899,22	915,14	934,77

Tab. 5-43: BBT: Barometrischer Druck: MP1, MP2 & MP3: Vergleich der Minima, Maxima und Mittelwerte während der Vortriebsarbeiten

Der barometrische Druck war von der Lage des Messpunktes abhängig. Messpunkt 1 wies das geringste Minimum, Maximum und den geringsten Mittelwert auf. Bei Messpunkt 3, im Vortriebsbereich, waren diese am höchsten. Die Minima, Maxima und Mittelwerte sind Tab. 5-43 zu entnehmen.

5.7 Wettergeschwindigkeit

Die Wettergeschwindigkeit wurde an einzelnen Punkten des Tunnelquerschnitts aufgezeichnet. Dies fand an den Messtagen ohne Vortriebsarbeiten mit einem Flügelradanemometer und mit einem Hitzdrahtanemometer statt. Es waren Messungen über kurze Zeiträume an einzelnen Stellen des Bauwerks. Während der Vortriebsarbeiten wurde die Wettergeschwindigkeit an den drei fixen Messpunkten mit je einem Hitzdrahtanemometer gemessen. Diese waren am Ulm befestigt. Zusätzlich wurde die Wettergeschwindigkeit mithilfe des Flügelradanemometers an einigen Punkten gemessen.

5.7.1 Messpunkt 1, Messpunkt 2 und Messpunkt 3 während der Vortriebsarbeiten

In Abb. 5-49 ist die Wettergeschwindigkeit während der Vortriebsarbeiten an den drei Messpunkten dargestellt. Sie variiert in Form eines Rauschens in allen Messpunkten, was auf vorbeifahrende Fahrzeuge zurückzuführen ist. In Messpunkt 1 wurden die Ergebnisse, neben den Fahrzeugen, auch vom Wind vor dem Portal beeinflusst. Im zweiten und dritten Messpunkt schwankten die Wettergeschwindigkeiten um einen konstanten Mittelwert.

Die Minima, Maxima und Mittelwerte für alle drei Messpunkte sind in Tab. 5-44 aufgelistet. Der höchste absolute Wert und Mittelwert wurde bei Messpunkt 1 detektiert.

	MP1 [m/s]	MP2 [m/s]	MP3 [m/s]
Minimum	0	0,14	0
Maximum	1,33	0,87	0,63
Mittelwert	0,48	0,43	0,11

Tab. 5-44: BBT: Wettergeschwindigkeit: MP1, MP2 & MP3: Vergleich der Minima, Maxima und Mittelwerte während der Vortriebsarbeiten

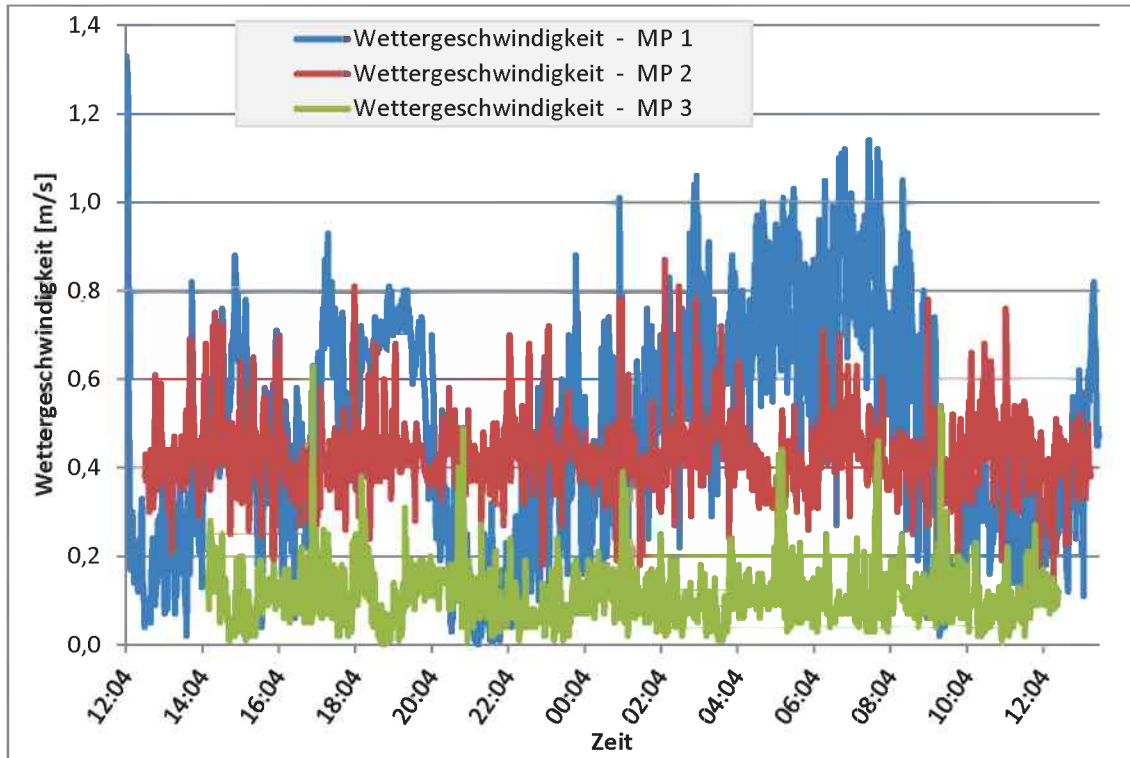


Abb. 5-49: BBT: Wettergeschwindigkeit: MP1, MP2 und MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten

5.7.2 Portalbereich

Im Portalbereich wurde die Wettergeschwindigkeit ohne Vortriebsarbeiten vom Radlader aus, in Blickrichtung Portal, gemessen. Der Radlader stand rechts im Tunnelquerschnitt. Die Ergebnisse für die Messungen mit dem Hitzdrahtanemometer und dem Flügelradanemometer sind in den Tabellen Tab. 5-45 und Tab. 5-46 aufgelistet.

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	1,75
2	1,77
3	1,60
4	1,47
5	1,23
6	1,35
7	1,40
8	1,59
9	1,49
10	1,52
11	1,59
12	1,56

Tab. 5-45: BBT: Wettergeschwindigkeit ohne Betrieb: Portalbereich: Hitzdrahtanemometer

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	1,2
2	1,21
3	1,18
4	1,17
5	1,1
6	0,87
7	0,83
8	0,89
9	0,87
10	0,94
11	0,87
12	0,79

Tab. 5-46: BBT: Wettergeschwindigkeit ohne Betrieb: Portalbereich: Flügelradanemometer

In den Skizzen Abb. 5-50 und Abb. 5-51 sind die Lagen der Einzelmessungen dargestellt. Sie sollen die Wettergeschwindigkeit über den Tunnelquerschnitt erfassen. Die berechneten Mittelwerte lagen bei 1,53 m/s für die Messungen mit dem Hitzdrahtanemometer und bei 0,99 m/s für das Flügelradanemometer. Da die Messungen mit den beiden Geräten nicht gleichzeitig am exakt gleichen Punkt im Querschnitt stattfanden, wurde bei den mittleren Wettergeschwindigkeiten größere Abweichungen festgestellt.

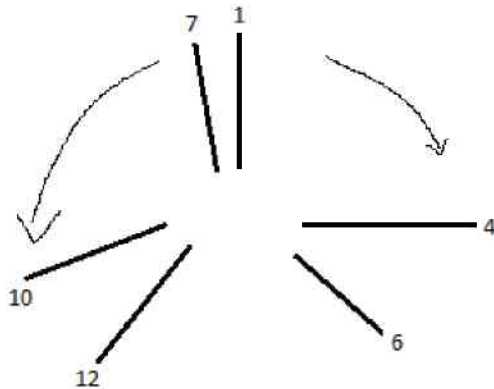


Abb. 5-50: BBT: Skizze:
Wettergeschwindigkeit: Portalbereich:
Hitzdrahtanemometer: Lage der
Messungen ohne Betrieb

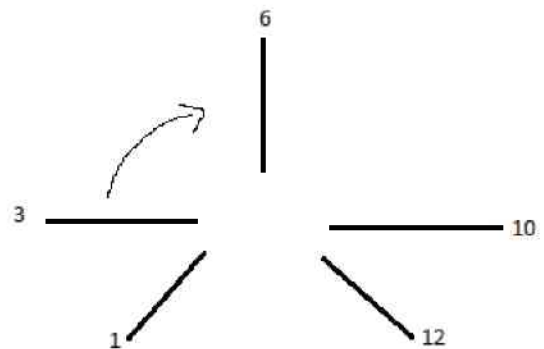


Abb. 5-51: BBT: Skizze:
Wettergeschwindigkeit: Portalbereich:
Flügelradanemometer: Lage der
Messungen ohne Betrieb

5.7.3 Messpunkt 2

In den Skizzen Abb. 5-52 und Abb. 5-53 ist die Position der einzelnen Wettergeschwindigkeits-Messungen mit dem Hitzdrahtanemometer dargestellt. Die Daten aus diesen Messserien sind in Tab. 5-47 und Tab. 5-48 aufgelistet. Zum Zeitpunkt dieser Messserien fanden keine Vortriebsarbeiten statt.

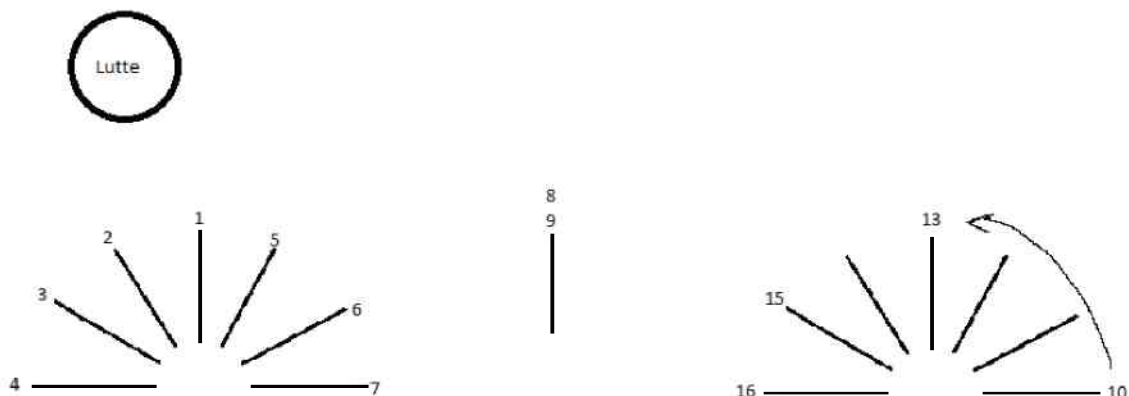


Abb. 5-52: BBT: Skizze: MP2: Hitzdrahtanemometer: Lage der Messungen ohne
Betrieb: Vom Boden aus

Die Wettergeschwindigkeit wurde vom Radlader aus sowohl mit dem Hitzdrahtanemometer als auch mit dem Flügelradanemometer gemessen. Beide Skizzen, Abb. 5-53 und Abb. 5-54, bilden die Einzelmessungen der Geräte in Blickrichtung Tunnelportal ab.

Abb. 5-54 und Abb. 5-55 stellen die Lage der Messungen mit dem Flügelradanemometer im Tunnelquerschnitt dar. Die Werte sind Tab. 5-49 und Tab. 5-50 zu entnehmen.

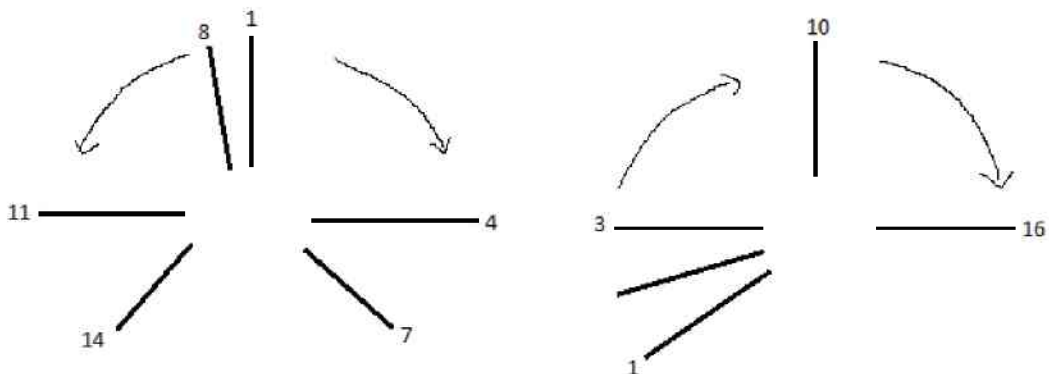


Abb. 5-53: BBT: Skizze: MP2:
Hitzdrahtanemometer: Lage der
Messungen ohne Betrieb: Vom Radlader
aus

Abb. 5-54: BBT: Skizze: MP2:
Flügelradanemometer: Lage der
Messungen ohne Betrieb: Vom Radlader
aus

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,02
2	0,02
3	0,02
4	0,05
5	0,21
6	0,18
7	0,14
8	0,28
9	0,28
10	0,24
11	0,16
12	0,14
13	0,19
14	0,18
15	0,16
16	0,2

Tab. 5-47: BBT: Wettergeschwindigkeit
ohne Betrieb: MP2:
Hitzdrahtanemometer: Vom Boden aus

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,42
2	0,44
3	0,58
4	0,49
5	0,43
6	0,31
7	0,32
8	0,47
9	0,43
10	0,38
11	0,32
12	0,31
13	0,22
14	0,21

Tab. 5-48: BBT: Wettergeschwindigkeit
ohne Betrieb: MP2:
Hitzdrahtanemometer: Vom Radlader
aus

Die Messungen mit dem Hitzdrahtanemometer und dem Flügelradanemometer fanden zeitlich nacheinander und nicht parallel statt. Dies führte, neben der unterschiedlichen Empfindlichkeit der Geräte, zu den verschiedenen Messwerten. Für das Hitzdrahtanemometer wurde ein Mittelwert von 0,26 m/s über den gesamten Tunnelquerschnitt berechnet. Die Messungen vom Radlader aus ergaben einen Mittelwert von 0,38 m/s und die vom Boden aus einen von 0,15 m/s. Aus den Messungen des Flügelradanemometers wurde für den gesamten Tunnelquerschnitt

ein Mittelwert von 0,26 m/s ausgerechnet. Vom Radlader aus betrug er 0,49 m/s und vom Boden aus 0,02 m/s.

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,35
2	0,36
3	0,39
4	0,45
5	0,53
6	0,61
7	0,57
8	0,54
9	0,56
10	0,50
11	0,58
12	0,51
13	0,50
14	0,40
15	0,45
16	0,47

Tab. 5-49: BBT: Wettergeschwindigkeit ohne Betrieb: MP2: Flügelradanemometer: Vom Boden aus

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
5	0,00
6	0,00
7	0,00
8	0,00
9	0,00
10	0,00
11	0,30
12	0,00
13	0,00
14	0,00
15	0,00

Tab. 5-50: BBT: Wettergeschwindigkeit ohne Betrieb: MP2: Flügelradanemometer: Vom Radlader aus



Abb. 5-55: BBT: Skizze: MP2: Flügelradanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb: Vom Boden aus

Mit beiden Messgeräten wurde im oberen Teil des Tunnelquerschnitts, durch die Messungen vom Radlader aus, im Mittel eine höhere Wettergeschwindigkeit erfasst.

Während der Vortriebsarbeiten wurde die Wettergeschwindigkeit an Messpunkt 2 mit dem fest montierten Hitzdrahtanemometer aufgezeichnet. Zusätzliche Messungen erfolgten mithilfe des Flügelradanemometers. Die Ergebnisse der Dauermessung sind in Kapitel 5.7.1 beschrieben und die des Flügelradanemometers in Tab. 5-51.

Mit dem Flügelradanemometer wurde an jeder Position mehrmals gemessen und ein Mittelwert berechnet. Die Lage der einzelnen Positionen im Tunnelquerschnitt ist aus Skizze Abb. 5-56 ersichtlich.

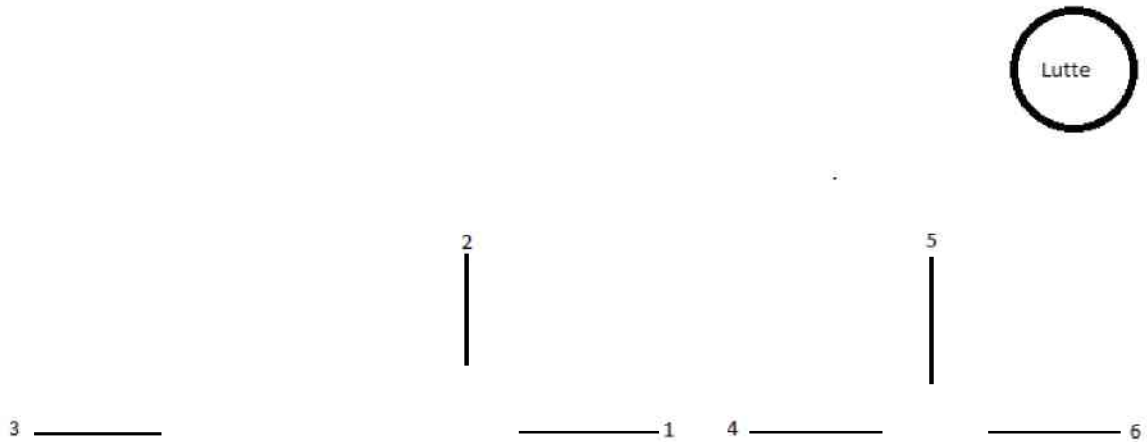


Abb. 5-56: BBT: Skizze: MP2: Flügelradanemometer: Lage der Messungen mit Vortriebsarbeiten

Position	Mittelwert Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]	[m/s]
1	0,15	0,10
		0,14
		0,18
		0,15
		0,16
2	0,35	0,32
		0,34
		0,40
3	0,40	0,37
		0,38
		0,40
		0,41
		0,42
4	0,25	0,27
		0,25
		0,24
		0,23
5	0,42	0,36
		0,42
		0,45
		0,44
6	0,29	0,30
		0,27
		0,31

Tab. 5-51: BBT: Wettergeschwindigkeit mit Vortriebsarbeiten: MP2: Flügelradanemometer

Über den Tunnelquerschnitt wurde ein Mittelwert von 0,31 m/s mit den Daten des Flügelradanemometers berechnet. Am Ulm ergab die Dauermessung des Hitzdrahtanemometers eine mittlere Wettergeschwindigkeit von 0,43 m/s.

5.7.4 Messpunkt 3

Während der Vortriebsarbeiten wurde die Wettergeschwindigkeit mit dem fest montierten Hitzdrahtanemometer an Messpunkt 3 gemessen. Die Ergebnisse befinden sich in Kapitel 5.7.1 und der Mittelwert wurde mit 0,11 m/s berechnet. Außerdem wurde die Geschwindigkeit mit dem Flügelradanemometer aufgezeichnet. Die Werte sind Tab. 5-52 zu entnehmen und die Lage der Einzelmessungen ist in Abb. 5-57 dargestellt. Der Mittelwert betrug über den Tunnelquerschnitt 0,41 m/s.



Abb. 5-57: BBT: Skizze: MP3: Flügelradanemometer: Lage der Messungen mit Vortriebsarbeiten

Wettergeschwindigkeit [m/s]	
1	0,45
2	0,41
3	0,45
4	0,45
5	0,31
6	0,43
7	0,38

Tab. 5-52: BBT: Wettergeschwindigkeit: MP3: Flügelradanemometer: Während Vortriebsarbeiten

5.7.5 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt

Ohne Vortriebsarbeiten wurde die Wettergeschwindigkeit in diesem Bereich an zwei Punkten aufgezeichnet. Zum einen wurde sie drei Meter von Messstelle 1 entfernt, in Richtung Portal, gemessen und zum anderen bei Messstelle 11. An beiden Stellen wurde der Tunnelquerschnitt vom Boden aus, von einem Ulm zum anderen, untersucht. Die Messungen wurden mithilfe des Hitzdrahtanemometers und des Flügelradanemometers durchgeführt.

Bei Messstelle 11 wurde keinerlei Wettergeschwindigkeit festgestellt, da sie sich um 200 m näher an der Ortsbrust als der Ort der Lutten-Verlängerung befand. Die Verlängerung der Lutte war nicht eingeschaltet und der hintere Teil wurde nicht direkt belüftet.

Wettergeschwindigkeit [m/s]
0,09
0,01
0,01
0,11
0,42
0,26
0,36
0,37
0,35
0,19
0,03
0,03
0,05
0,09

Tab. 5-53: BBT: Wettergeschwindigkeit:
300 m bis 100 von der Ortsbrust
entfernt: bei Messstelle 1:
Hitdrahtanemometer: Vom Boden aus

Wettergeschwindigkeit [m/s]
0,00
0,00
0,00
0,18
0,28
0,55
0,57
0,38
0,32
0,25
0,15
0,60
0,27
0,42
0,00
0,00
0,15
0,20
0,25
0,22
0,03
0,00

Tab. 5-54: BBT: Wettergeschwindigkeit:
300 m bis 100 von der Ortsbrust
entfernt: bei Messstelle 1:
Flügelradanemometer: ohne Betrieb

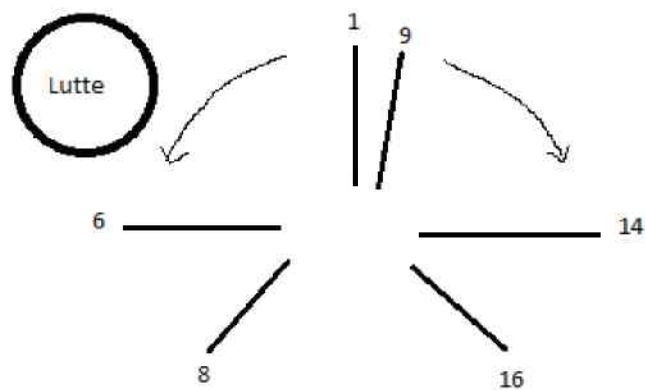


Abb. 5-58: BBT: Skizze: 300 m bis 100 von der Ortsbrust entfernt: bei
Messstelle 1: Hitdrahtanemometer: Vom Radlader aus, ohne Betrieb

An Messstelle 1 wurden Luftgeschwindigkeiten detektiert. Die Werte sind in Tab. 5-53 und Tab. 5-54 aufgelistet. Für die Messungen mit dem Hitzdrahtanemometer wurde ein Mittelwert von 0,17 m/s berechnet und für die des Flügelradanemometers betrug er 0,22 m/s.

In der Nähe von Messstelle 1, wurde die Wettergeschwindigkeit vom Radlader aus gemessen, um einen größeren Bereich des Tunnelquerschnitts abdecken zu können. Die Lage der Messungen ist in Skizze Abb. 5-58 für das Hitzdrahtanemometer und in Abb. 5-59 für das Flügelradanemometer dargestellt.

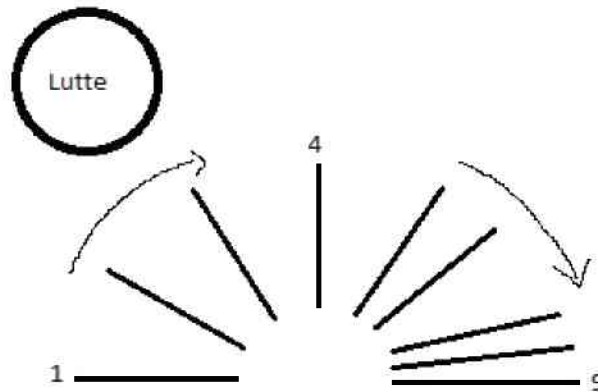


Abb. 5-59: BBT: Skizze: 300 m bis 100 von der Ortsbrust entfernt: bei Messstelle 1: Flügelradanemometer: Vom Radlader aus, ohne Betrieb

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,04
2	0,07
3	0,33
4	0,16
5	0,71
6	0,47
7	0,19
8	0,55
9	0,11
10	0,07
11	0,03
12	0,02
13	0,05
14	0,13
15	0,22
16	0,26

Tab. 5-55: BBT: Wettergeschwindigkeit: 300 m bis 100 von der Ortsbrust entfernt: bei Messstelle 1: Hitzdrahtanemometer: Vom Radlader aus, ohne Betrieb

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,60
2	0,50
3	0,80
4	0,00
5	0,00
6	0,00
7	0,22
8	0,27
9	0,30

Tab. 5-56: BBT: Wettergeschwindigkeit: 300 m bis 100 von der Ortsbrust entfernt: bei Messstelle 1: Flügelradanemometer: Vom Radlader aus, ohne Betrieb

In den Tabellen und sind die Werte für die Messungen vom Radlader aus aufgelistet. Der Mittelwert dieser Messungen betrug 0,21 m/s für das Hitzdrahtanemometer und 0,30 m/s für das Flügelradanemometer. Über den gesamten Tunnelquerschnitt wurden die Mittelwerte mit 0,19 m/s für das Flügelradanemometer bzw. 0,24 m/s für das Hitzdrahtanemometer berechnet.

5.7.6 Erkundungsstollen Wolf: MQ 43

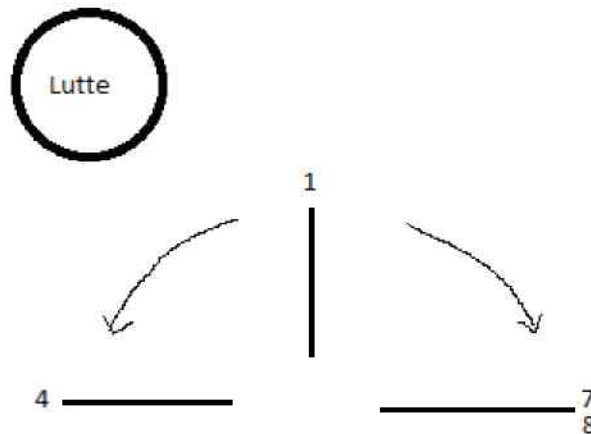


Abb. 5-60: BBT: Skizze: MQ 43: Hitzdrahtanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb

Die Wettergeschwindigkeit wurde seitlich bei der Lutte, neben dem Wassergraben, gemessen. In Abb. 5-60 und Abb. 5-61 sind die Skizzen für die Lage der Messungen ohne Vortriebsarbeiten für beide Messgeräte dargestellt. Tab. 5-57 und Tab. 5-58 listen die Daten dieser Messungen auf, wobei Wert 9 des Hitzdrahtanemometers und Wert 11 des Flügelradanemometers in der Mitte der Fahrbahn, senkrecht nach oben, aufgenommen wurden.

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,11
2	0,17
3	0,21
4	0,39
5	0,48
6	0,43
7	0,42
8	0,37
9	0,45

Tab. 5-57: Wettergeschwindigkeit: MQ 43: Hitzdrahtanemometer: ohne Betrieb

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,55
2	0,48
3	0,61
4	0,51
5	0,46
6	0,57
7	0,50
8	0,46
9	0,44
10	0,44
11	0,57

Tab. 5-58: Wettergeschwindigkeit: MQ 43: Flügelradanemometer: ohne Betrieb

Ohne Vortriebsarbeiten wurde für das Hitzdrahtanemometer der Mittelwert mit 0,34 m/s berechnet und für das Flügelradanemometer mit 0,51 m/s.

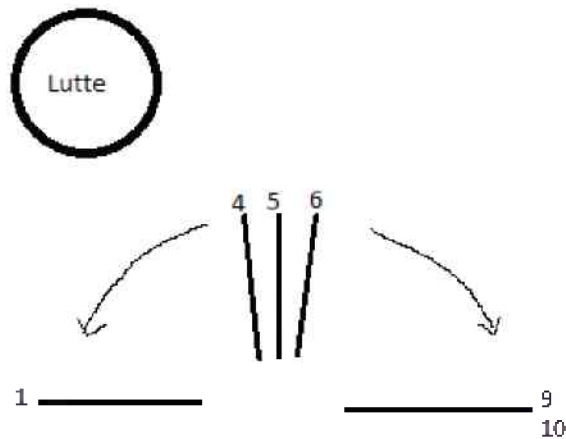


Abb. 5-61: BBT: Skizze: MQ 43: Flügelradanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb

In Tab. 5-59 sind die Daten der Messung während der Vortriebsarbeiten mit dem Flügelradanemometer aufgelistet. Für die ersten sechs Werte wurde das Messgerät waagrecht in die Fahrbahn hinein und für die restlichen sieben wurde es senkrecht in die Höhe gehalten. Der Mittelwert betrug 0,75 m/s und war somit höher als bei den Messungen ohne Vortriebsarbeiten.

Wettergeschwindigkeit [m/s]
0,77
0,68
0,73
0,79
0,75
0,80
0,79
0,77
0,74
0,76
0,75
0,74
0,72

Tab. 5-59: BBT: Wettergeschwindigkeit: MQ 43: Flügelradanemometer: Während der Vortriebsarbeiten

5.7.7 Kaverne der Radladerversuche

In der Kaverne der Radladerversuche wurde die Wettergeschwindigkeit ohne Vortriebsarbeiten gemessen. Die Messungen wurden an zwei Stellen durchgeführt, welche in der Skizze Abb. 5-62 als "Test 031" und "Test 032" eingezeichnet sind. An beiden Stellen wurde vom Boden aus gearbeitet.

Bei "Test031" wurde die Strömungsgeschwindigkeit mithilfe des Hitzdrahtanemometers aufgenommen. Für die Messung wurde der Tunnelquerschnitt von einem Ulm zum gegenüberliegenden abgescritten. Die

daraus gewonnenen Daten sind Tab. 5-61 zu entnehmen und der Mittelwert wurde mit 0,16 m/s berechnet.

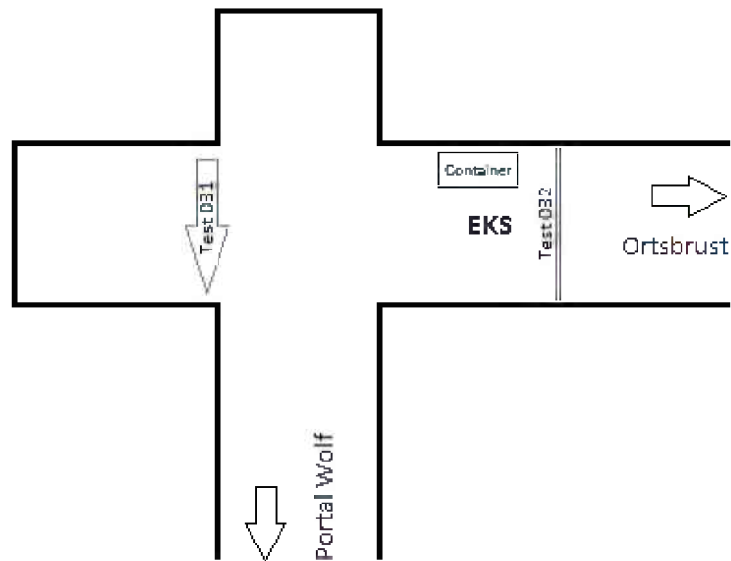


Abb. 5-62: BBT: Skizze: Kaverne der Radladersuche: Wettergeschwindigkeit: Lage der Messungen ohne Betrieb

Wettergeschwindigkeit	
[m/s]	
0,25	
0,15	
0,24	
0,38	
0,14	
0,11	
0,23	
0,10	
0,13	
0,06	
0,05	
0,07	

Tab. 5-60: BBT: Wettergeschwindigkeit: Kaverne der Radladersuche: Hitzdrahtanemometer (Test031): ohne Betrieb

Für "Test 032" wurde die Wettergeschwindigkeit mit dem Hitzdrahtanemometer und dem Flügelradanemometer gemessen. Die Lage der Einzelmessungen im Tunnelquerschnitt ist den Skizzen Abb. 5-63 und Abb. 5-64 zu entnehmen. In den Tabellen Tab. 5-61 und Tab. 5-62 sind die Messwerte aufgelistet. Der Mittelwert betrug, an dieser Stelle, für beide Messgeräte 0,61 m/s.

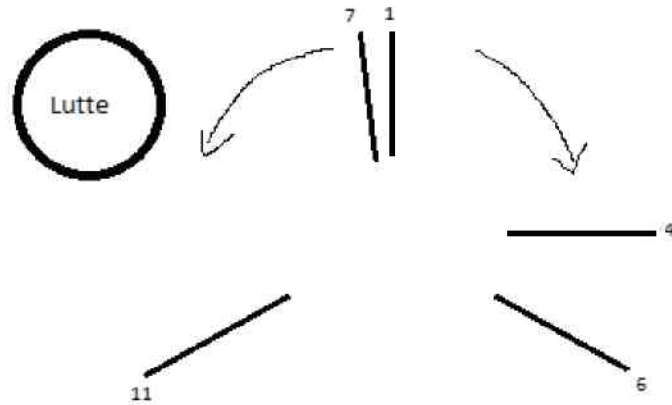


Abb. 5-63: BBT: Skizze: Kaverne der Radladerversuche: Hitzdrahtanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,65
2	0,69
3	0,62
4	0,59
5	0,58
6	0,63
7	0,56
8	0,57
9	0,58
10	0,58
11	0,66

Tab. 5-61: BBT: Wettergeschwindigkeit: Kaverne der Radladerversuche: Hitzdrahtanemometer (Test032): ohne Betrieb

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,57
2	0,60
3	0,46
4	0,62
5	0,61
6	0,72
7	0,67
8	0,58
9	0,67
10	0,57
11	0,67
12	0,62
13	0,61

Tab. 5-62: BBT: Wettergeschwindigkeit: Kaverne der Radladerversuche: Flügelradanemometer: ohne Betrieb

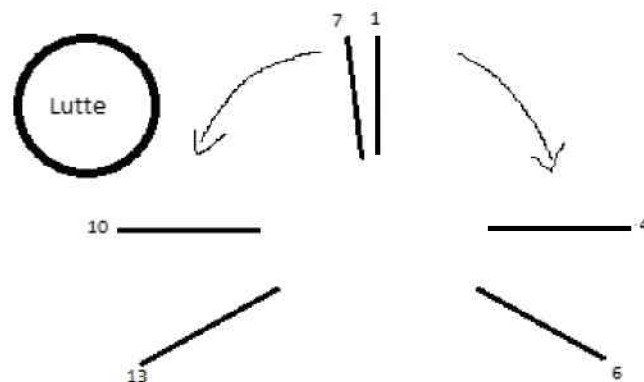


Abb. 5-64: BBT: Skizze: Kaverne der Radladerversuche: Flügelradanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb

Der große Unterschied in den mittleren Wettergeschwindigkeiten zwischen "Test 031" und "Test 032" lässt sich durch Ort der Messungen erklären. Wie in Skizze Abb. 5-62 ersichtlich, fand "Test 031" ein paar Meter in eine kurzen, abgeschlossenen Stollen hinein, statt. Test 032" hingegen wurde im EKS in Richtung Ortsbrust, und somit genau in der Luftströmung, aufgenommen.

5.8 Staubmessung

Die gravimetrische Stabmessung wurde dazu benutzt, um systematische Fehler der photometrischen Staubanalyse auszumerzen. Dazu wurden aus den photometrischen Daten Mittelwerte gebildet. Die Zeiträume entsprachen jenen der Mittelwerte der gravimetrischen Analyse. Aus ihnen wurde, sowohl für die einatembare als auch die alveolengängige Fraktion, je ein Faktor berechnet. Für diesen Faktor wurde der gravimetrische Mittelwert durch den photometrischen dividiert. Danach wurden die einzelnen Messwerte der photometrischen Staubmessung mit ihm multipliziert. Die Verläufe dieser korrigierten Staubkonzentrationen sind den Graphiken der Unterkapitel zu entnehmen.

Die Staukonzentrationen wurden mit den KZW und TMW der maximalen Arbeitsplatzkonzentration verglichen. Dieser Abgleich erfolgte im Sinne des Arbeitnehmerschutzes. Für die Sensorik sind auch die direkten Spitzen der Staubkonzentrationen zu beachten und nicht nur die Kennwerte des Arbeitnehmerschutzes. In geschlossenen Kabinen wäre z.B. der Aufenthalt an der Ortsbrust direkt nach dem Sprengen möglich. Die Arbeitnehmer wären in diesem Fall geschützt, die Fahrzeuge aber sind dem Staub ausgesetzt.

5.8.1 Messpunkt 1

Bei Messpunkt 1 wurde der Staubgehalt photometrisch, mithilfe des GRIMM, und gravimetrisch, durch die Probenahmepumpen Gilian, aufgezeichnet. In Tab. 5-63 sind die Konzentrationen der gravimetrischen Staubmessung aufgelistet. Die zeitliche Einteilung ist auf das Auswechseln der Filter bei den Probenahmepumpen zurückzuführen.

Zeit	Gefahrstoff	Konzentration [mg/m ³]
12:11 - 19:56	E-Staub	1,8
	A-Staub	0,9
20:14 - 5:34	E-Staub	0,4
	A-Staub	0,2
5:50 - 13:29	E-Staub	0,8
	A-Staub	0,4

Tab. 5-63: BBT: Gravimetrische Staubmessung: Konzentration: MP1

In Abb. 5-65 sind die Verläufe der photometrischen Messungen, für beide Fraktionen, dargestellt. Der Messzeitraum betrug etwas mehr als 25,5 Stunden. Die, zu diesen Verläufen gehörigen, Maxima und Mittelwerte sind Tab. 5-64 zu entnehmen und die einzelnen Messwerte sind in Tab. 13-47 des Anhangs 13.8 aufgezählt.

	E-Staub [mg/m ³]	A-Staub [mg/m ³]
Minimum	0,00	0,00
Maximum	9,85	5,02
Mittelwert	0,98	0,46

Tab. 5-64: BBT: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: MP1: Minima, Maxima & Mittelwerte

Der Beurteilungszeitraum des Tagesmittelwertes beträgt acht Stunden und der MAK-Wert liegt für den E-Staub bei 10 mg/m³ und für den A-Staub bei 5 mg/m³. Die TMW wurden nicht erreicht.

Der Kurzzeitwert würde höhere Konzentrationsspitzen als der TMW erlauben. Bei der einatembaren Fraktion beträgt der KZW 20 mg/m³ und für die alveolengängige liegt er bei 10 mg/m³. Diese KZW wurden nicht erreicht.

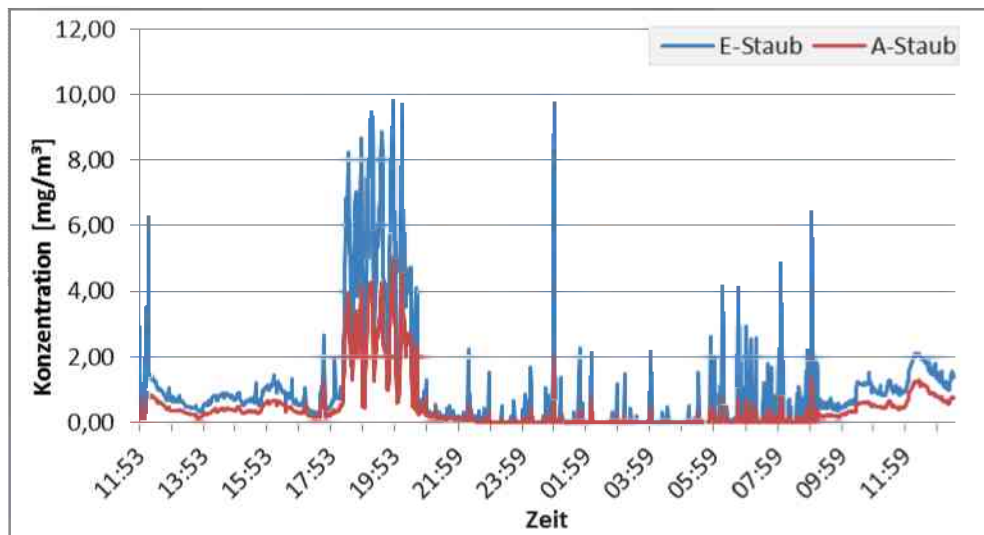


Abb. 5-65: BBT: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: Verlauf bei MP1

5.8.2 Messpunkt 2

In Tab. 5-65 sind die gemittelten Staubkonzentrationen der gravimetrischen Messung aufgezählt. Der Verlauf der photometrischen Staubmessung ist Abb. 5-66 zu entnehmen. Alle Messergebnisse befinden sich in Tab. 13-48, Anhang 13.8.

Zeit	Gefahrstoff	Konzentration [mg/m ³]
12:34 - 20:22	E-Staub	2,5
	A-Staub	0,9
20:34 - 6:01	E-Staub	1,9
	A-Staub	0,8
6:15 - 13:15	E-Staub	2,9
	A-Staub	1,0

Tab. 5-65: BBT: Gravimetrische Staubmessung: Konzentration: MP2

	E-Staub [mg/m ³]	A-Staub [mg/m ³]
Minimum	0,00	0,00
Maximum	11,21	3,70
Mittelwert	2,35	0,87

Tab. 5-66: BBT: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: MP2: Minima, Maxima & Mittelwerte

Tab. 5-66 listet die Minima, Maxima und Mittelwerte der in Abb. 5-66verwendeten Daten. Die Ergebnisse sind auf die gesamte Messdauer von gut 24,75 Stunden ausgelegt. Für keine der beiden Fraktionen wurden die Grenzwerte, TMW und KZW, überschritten.

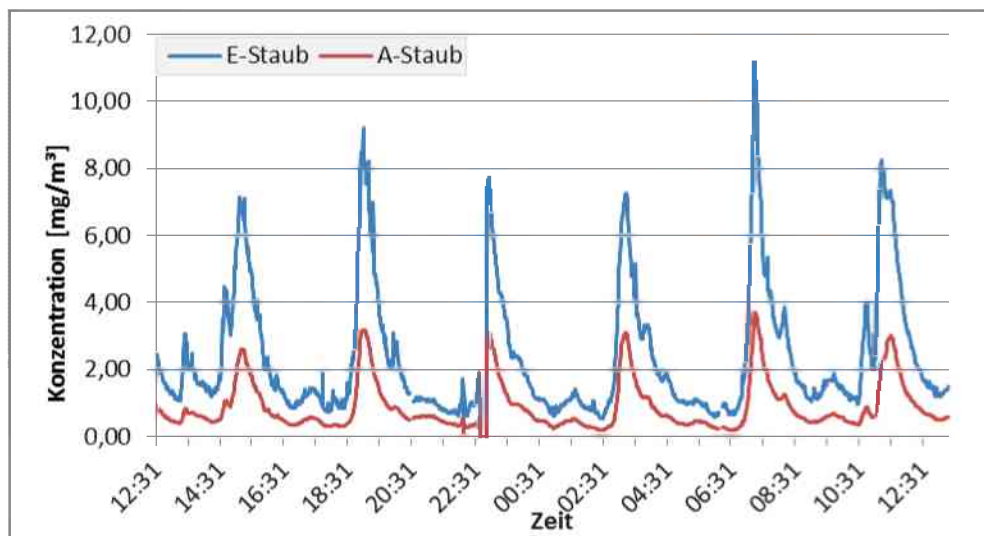


Abb. 5-66: BBT: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: Verlauf bei MP2

5.8.3 Messpunkt 3

Die Ergebnisse der gravimetrischen Staubmessung bei Messpunkt 3 sind in Tab. 5-67 angeführt. Da die gesamte Messdauer, inklusive Filterwechsel, 22 Stunden und 13 Minuten umfasste, wurde sie nicht in drei Zeiträume zu je acht Stunden eingeteilt. Auf diese acht Stunden bezieht sich der TMW.

Zeit	Gefahrstoff	Konzentration [mg/m ³]
14:13 - 21:35	E-Staub	27,2
	A-Staub	5,1
22:30 - 6:37	E-Staub	29,1
	A-Staub	4,3
6:54 - 12:26	E-Staub	25,2
	A-Staub	5,5

Tab. 5-67: BBT: Gravimetrische Staubmessung: Konzentration: MP3

Der erste Abschnitt war sieben Stunden und 22 Minuten lang, der zweite dauerte acht Stunden und sieben Minuten und der dritte Abschnitt verlief über fünf Stunden und 32 Minuten. Die Zeiten sind in Tab. 5-67 ersichtlich. Aus diesen Daten ist eine

Überschreitung der MAK-Werte abzulesen. Einzig beim A-Staub wurde, zwischen 22:30 und 06:37, die mittlere Konzentration von 5 mg/m^3 nicht erreicht.

Photometrisch wurde die Staubkonzentration an diesem Ort mit einem GRIMM und einem TM data erfasst. Dabei zeichnete das GRIMM beide Fraktionen auf, das TM data jedoch nur die alveolengängige. Die zeitlichen Verläufe der Staubkonzentrationen sind den Graphiken Abb. 5-67 und Abb. 5-68 zu entnehmen und ihre Minima, Maxima und Mittelwerte sind in Tab. 5-68 aufgelistet. In Tab. 13-49 und Tab. 13-50 des Anhangs 13.8 sind die Messwerte der Verläufe verzeichnet.

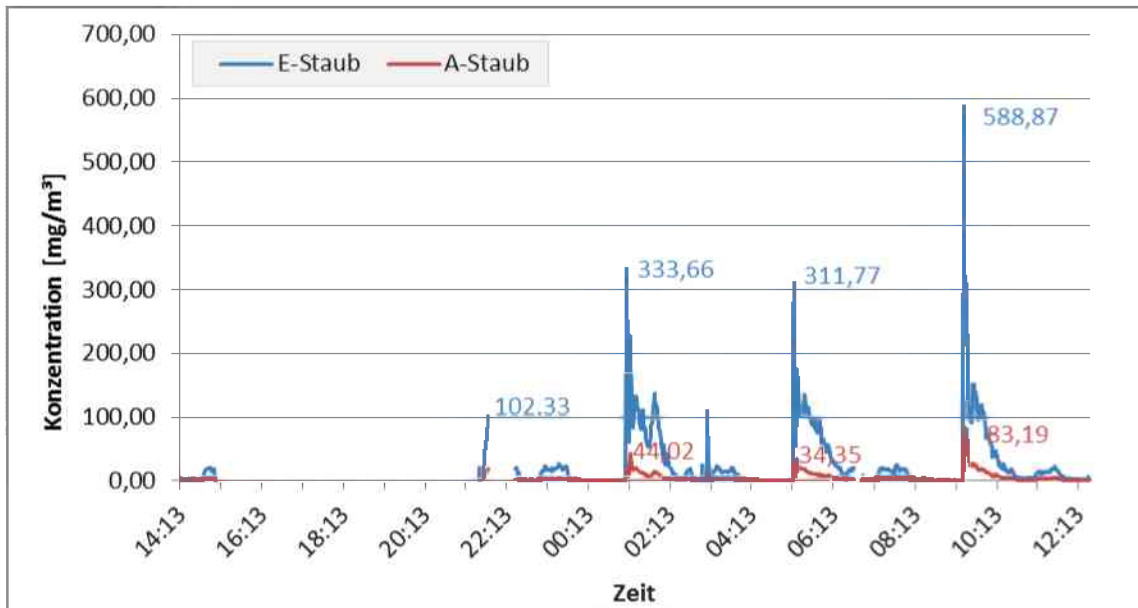


Abb. 5-67: BBT: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: Verlauf bei MP3

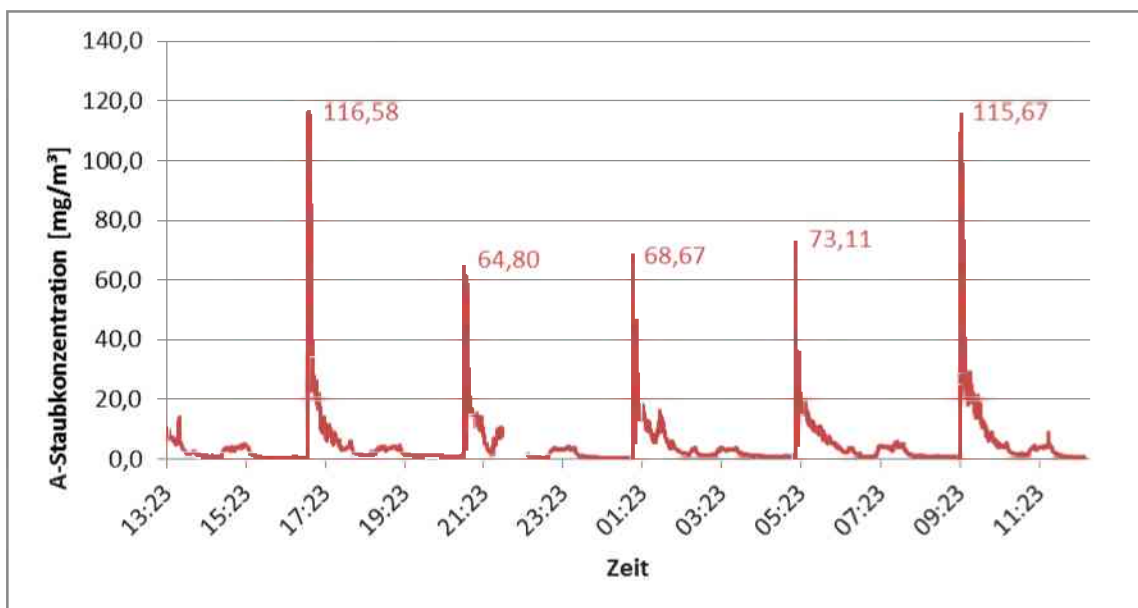


Abb. 5-68 BBT: Staubmessung: TM data: A-Staub: Verlauf bei MP3

	GRIMM		TM data
	E-Staub [mg/m ³]	A-Staub [mg/m ³]	A-Staub [mg/m ³]
Minimum	0,00	0,00	0,33
Maximum	588,87	83,19	116,58
Mittelwert	26,47	4,64	4,80

Tab. 5-68: BBT: Staubmessung: E-Staub & A-Staub: MP2: Minima, Maxima & Mittelwerte

Das Staubmessgerät GRIMM fiel am ersten Tag der Messungen zwischen 15:05 und 21:32, wegen technischer Probleme, aus. Für diesen Zeitraum existieren nur die Daten der A-Staub Konzentration des TM data. Die Daten beider Messgeräte wurden ausgewertet und mit den MAK-Werten verglichen. In Tab. 5-69 und Tab. 5-70 sind die gemittelten Konzentrationen des A- und E-Staubes gelistet.

Zeit	Gefahrstoff	Konzentration
		[mg/m ³]
14:13 - 21:46	E-Staub	15,27
	A-Staub	3,72
22:13 - 6:12	E-Staub	29,58
	A-Staub	16,93
6:13 - 12:29	E-Staub	24,59
	A-Staub	14,93

Tab. 5-69: BBT: Photometrische Staubmessung: GRIMM: Konzentration: TMW: MP3

Für die einatembare Fraktion wurden die Tagesmittelwerte über die gesamte Messdauer überschritten. Bei beiden Messgeräten wurde der TMW der alveolengängigen Fraktion, in der Höhe von 5 mg/m³, zwei Mal über- und einmal unterschritten.

Bei der Berechnung der TMW wird die Bewetterungszeit von 15 Minuten nach dem Sprengen nicht ausgerechnet.

Zeit	A-Staub [mg/m ³]
13:23:00 - 21:22:52	5,02
21:23:00 - 5:22:52	3,66
5:23:00 - 12:32:20	5,73

Tab. 5-70: BBT: Photometrische Staubmessung: TM data: TMW: MP3

Der Kurzzeitwert der E-Staub-Konzentration von 20 mg/m³ wurde mehrmals übertroffen, obwohl das GRIMM von 15:05 bis 21:32 keine Daten aufzeichnete und der Mittelwert immer erst nach der Bewetterungszeit von 15 Minuten gebildet wurde. Dies war möglich, da sich während dieser 15 Minuten keine Personen im Vortriebsbereich aufhalten dürfen. Geschlossene Kabinen bilden die Ausnahme.

Diese Überschreitungen erfolgten nach allen drei Sprengungen, welche vom GRIMM aufgezeichnet wurden. Mit Werten von 65,97 mg/m³, 63,97 mg/m³ und 56,91 mg/m³ wurde der KZW der einatembaren Fraktion beim Schüttern stark

überschritten. Technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen sind notwendig.

Bei Einhaltung der Bewetterungszeit wurde der KZW der alveolengängigen Fraktion, 10 mg/m^3 , nach der letzten Sprengung mit $10,08 \text{ mg/m}^3$, TM data, bzw. $10,84 \text{ mg/m}^3$, GRIMM, erreicht.

Die hohen Staubkonzentrationen traten zeitlich begrenzt nach den Sprengungen auf. Diese Spitzenwerte sind den Graphiken Abb. 5-67 und Abb. 5-68 zu entnehmen, welche die zeitliche Verläufe der Staubkonzentrationen abbilden.

Nach dem Sprengen wurde der Arbeitsbereich ausgiebig bewettert. Danach wurde geschüttelt, wobei sich die Arbeiter in den geschlossenen Fahrerständen der Mulden aufhielten.

5.9 Fahrbahnverhältnisse

Die Fahrbahnverhältnisse im Tunnel variierten. In Portalnähe herrschte allgemein eine hohe relative Luftfeuchtigkeit und somit war die Fahrbahn dort feucht bis nass. Der Boden war teilweise aufgewühlt. Bei Regen waren die ersten Tunnelmeter nasser, da das Wasser zum Teil in den Tunnel hinein geronnen ist.



Abb. 5-69: BBT: Abzweigung des Padastertunnels

Abb. 5-69 zeigt die obere Abzweigung des Padastertunnels bei TM 55 des Zugangstunnels Wolf. Des Weiteren ist das zehn prozentige Gefälle des Zugangstunnels Wolf rechts im Bild erkennbar.

Die Fahrbahn des Zugangstunnels war mit zunehmender Distanz vom Portal trockener. An einigen Stellen des Tunnels trat Wasser vom Gebirge in den Hohlraum ein. Bei ihnen war sowohl die Tunnelleibung als auch Teile der Fahrbahn nass und letztere war an einigen Stellen durch Reifen umgegraben.

Außerdem war seitlich ein Wassergraben eingerichtet und die nähere Umgebung war immer feucht und aufgewühlt, auch wenn die restliche Fahrbahn trocken war. Der Wassergraben befindet sich links in Abb. 5-70, unter den Rohren. Dieses Foto bildet die Fahrbahn des Zugangstunnels, in Blickrichtung Portal, ab. An dieser Stelle war der Boden relativ trocken und nur neben dem Wassergraben leicht aufgewühlt.



Abb. 5-70: BBT: Zugangstunnel



Abb. 5-71: BBT: Kaverne am Ende des Zugangstunnels



Abb. 5-72: BBT: Start der Zufahrtsrampe

Der Zugangstunnel mündete in eine Kaverne, von welcher eine Zufahrtsrampe, mit zehn prozentigem Gefälle, zum Erkundungsstollen Wolf führte. Abb. 5-71 stellt diese Kaverne, inklusive ihres nassen Bodens, dar. Das Bild wurde aus der Richtung des Zugangstunnels aufgenommen. Die Zufahrtsrampe befand sich links. Sie ist aus dieser Abbildung nicht ersichtlich, sondern in Abb. 5-72 dargestellt.

Im EKS war es vergleichsweise trocken. Der Stummel des EKS, bei der Kaverne der Radladerversuche, dient während der Vortriebsarbeiten als Zwischendeponie. Während dem Stillstand war sie geräumt. Der Boden war am Ende des Stummels so aufgeweicht, dass es unmöglich war ganz nach hinten zu gehen.



Abb. 5-73: BBT: EKS

In den beiden Bildern der Abb. 5-73 ist der Erkundungsstollen Wolf zu sehen. Beim Rechten ist eine Wasserpfütze erkennbar, die Fahrbahn des Linken ist trockener. Beide Bilder weisen eine Fahrbahn auf, die durch die Baumaschinen leicht aufgewühlt ist. Die Fahrbahn war gut befahrbar. Steine störten das Befahren der Strecke nicht.

5.10 Geschwindigkeitsmessung

Im Bereich der Lutten-Verlängerung wurde die Geschwindigkeit von voll beladenen Mulden beim Schuttern gemessen. An diesem Ort herrscht, in Fahrtrichtung, eine Steigung von 8 ‰. Wegen der schlechten, staubigen Sichtbedingungen und den Sprengschwaden konnte nicht über die gesamte Schutterzeit gemessen werden. Aus Sicherheitsgründen war die Stirnlampe eingeschaltet und sobald die Muldenfahrer diese sahen wurden sie langsamer. Die gemessenen Geschwindigkeiten von zwei Mulden betragen jeweils 20 km/h, Tab. 5-71.

Geschwindigkeit	
Mulde 1:	20 km/h
Mulde 2:	20 km/h

Tab. 5-71: BBT: Geschwindigkeit: Mulden beim Schuttern

Zusätzlich wurde die Geschwindigkeit von zwei bergabfahrenden LKW bei TM 1500 des Zufahrtstunnels gemessen. Das Gefälle betrug 10 ‰. Im Mittel wurde eine Geschwindigkeit von 30 km/h gemessen. Aus Tab. 5-72 sind die Messwerte ersichtlich.

Geschwindigkeit	
LKW 1:	31 km/h
LKW 2:	29 km/h

Tab. 5-72: BBT: Geschwindigkeit: LKW bergab

An keiner Messstelle wurden schnellere Fahrzeuge erkannt. Die unerwartet geringe Geschwindigkeit lässt sich durch die schwierigen Bedingungen, schlechte Sicht beim Schuttern bzw. starkes Gefälle, erklären. Die Vermutung, dass die Geschwindigkeit der Baufahrzeuge bei guten Fahrbahnverhältnissen und geringem Gefälle um einiges höher ist, konnte in Baulos Wolf nicht überprüft werden. Zu diesem Zweck wäre eine weitere Baustelle notwendig.

6 Messergebnisse Bauabschnitt Stein

6.1 Beleuchtungsstärke

Alle Messungen erfolgten in einer Höhe von 1,22 m. Die Höhe wurde mithilfe eines Zollstabes kontrolliert und eingehalten. Das Wetter am Tag der Messung war bewölkt, trüb und trocken.

6.1.1 Lind West

6.1.1.1 Portalbereich

In Lind West wurde die Beleuchtungsstärke von ca. 50 m vor dem Portal bis TM 110 aufgezeichnet. Der Startpunkt befand sich am Ende des orangenen Containers. Er ist in Abb. 6-1 abgebildet. Von diesem Punkt aus wurde in der Mitte der Fahrbahn in den Tunnel hinein gemessen.



Abb. 6-1: Lind West: Verlauf der Beleuchtungsstärke im Portalbereich: Startpunkt

Die Entfernung zwischen den einzelnen Messpunkten wurde mit vier Doppelschritten bestimmt. Daraus ergab sich ein Abstand von ungefähr sieben Metern zwischen den einzelnen Punkten. Der Verlauf ist in Abb. 6-2 dargestellt und die Daten sind Tab. 14-1 zu entnehmen.

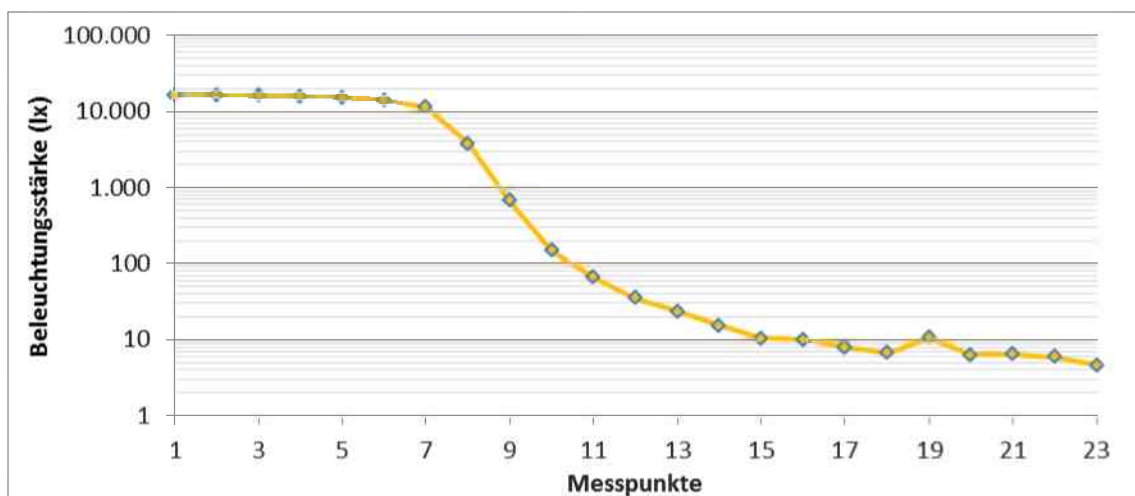


Abb. 6-2: Lind West: Verlauf der Beleuchtungsstärke im Portalbereich

Vor dem Tunnel wurden 16550 lx detektiert, die letzte Messung bei TM 110 lieferte einen Wert von 4,64 lx. In der Nähe von Messpunkt 10 und bei Messpunkt 19 waren am Ulm Halogenlampen befestigt. Aus diesem Grund war die Beleuchtungsstärke in Messpunkt 19 höher als in den beiden angrenzenden.

6.1.1.2 TM 200 bis TM 240

Von TM 200 bis TM 240 wurde der Verlauf der Beleuchtungsstärke untersucht, um ihre Abhängigkeit von Lichtquellen aufzuzeichnen. Am linken Ulm waren Halogenlampen montiert. Vor ihnen wurden, 1,22 m vom Ulm entfernt, 98,8 lx bis 137,6 lx gemessen. Zwischen der zweiten und dritten Lampe sank die Beleuchtungsstärke auf 3,65 lx. In der Mitte der Fahrbahn, sowie 1,22 m vom rechten Ulm entfernt, wurden geringere Beleuchtungsstärken detektiert, da die Lichtquellen weiter entfernt waren. Außerdem waren die Unterschiede, ob direkt vor oder zwischen den Lampen gemessen wurde, geringer.

Abb. 6-3 stellt den Verlauf der Beleuchtungsstärke für die Messungen dar. Die Daten sind Tab. 14-2, Anhang 14.1, zu entnehmen.

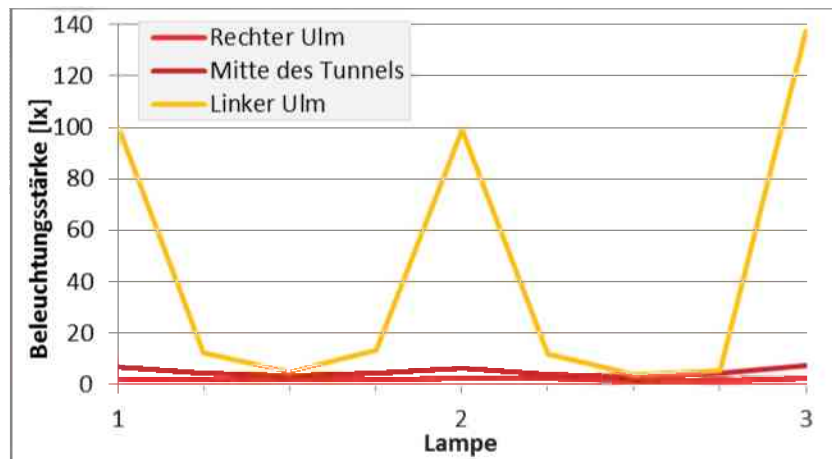


Abb. 6-3: Lind West: Verlauf der Lichtstärke

6.1.2 Stein West



Abb. 6-4: Stein West: Verlauf der Lichtstärke im Portalbereich: Startpunkt

Die Beleuchtungsstärke im Portalbereich wurde in Stein West von der Einsaugung der Lutte bis nach TM 110 aufgezeichnet. Daraus ergab sich ein Verlauf, welcher in Abb. 6-5 dargestellt ist. Die Daten sind in Tab. 14-3 aufgelistet.

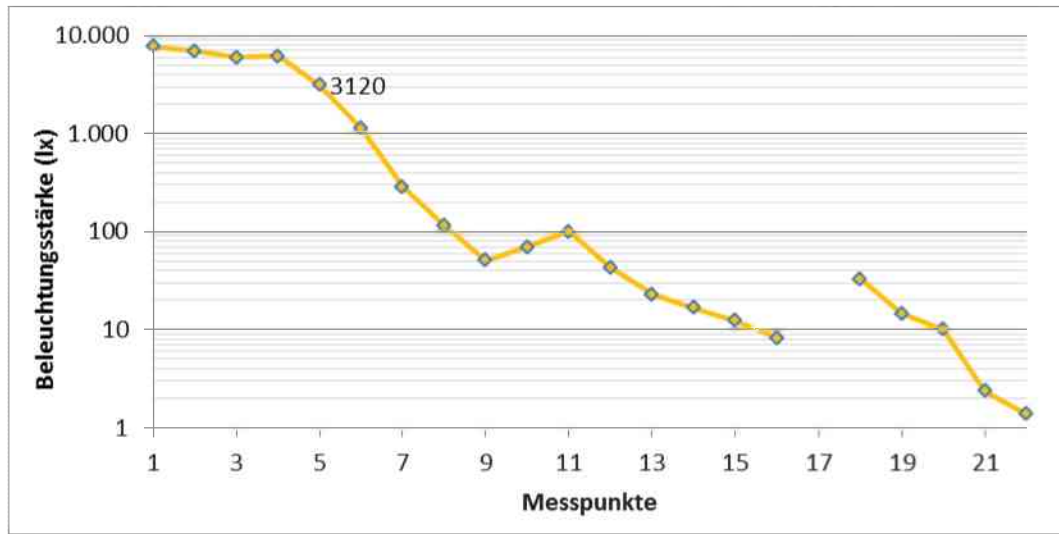


Abb. 6-5: Stein West: Verlauf der Lichtstärke im Portalbereich

Der erste Wert innerhalb des Tunnels betrug 3120 lx. Halogenlampen waren bei Messpunkt 6 und 9, sowie in der Nähe von Messpunkt 15, am Ulm befestigt. Bei Messpunkt 10 befand sich ein Scheinwerfer in der Mitte der Firste, welcher in Richtung Ortsbrust ausgerichtet war. Aus diesem Grund wurde Messpunkt 11 ausgeleuchtet.

Für Messpunkt 17 war kein Wert vorhanden. Bei Messpunkt 18 begann der Trafoschlitten. An diesem war eine Halogenlampe montiert. In Richtung Ortsbrust sank die Beleuchtungsstärke bis auf 1,38 lx, in Messpunkt 22, ab.

6.2 Schalldruckpegelmessung

Im Bauabschnitt Stein wurde der Schalldruckpegel mit den Zeitkonstanten „SLOW“ und „FAST“ gemessen. Daraus ergaben sich unterschiedliche Verläufe für gleichartige Tätigkeiten.

6.2.1 Lind West

6.2.1.1 Umgebungslärm: Messpunkt 1

Die erste Dauermessung fand über einen Zeitraum von fünf Minuten und 14 Sekunden statt. Für die zweite Dauermessung wurde der Schalldruckpegel über drei Minuten und sieben Sekunden aufgezeichnet. Bei beiden Dauermessungen war die Einstellung der Zeitkonstante „SLOW“.

In Tab. 6-1 ist die Zusammenfassung für beide zu sehen. Sie wurde vom Messgerät automatisch erstellt und beinhaltet, jeweils in A- und C-Bewertung, die äquivalenten Dauerschallpegel (L_{Aeq} und L_{Ceq}), die maximalen (F_{Amax} und F_{Cmax}) und minimalen Schalldruckpegel (F_{Amin} und F_{Cmin}) über den ganzen Messverlauf, die Spitzenschalldruckpegel (L_{APeak} und L_{Cpeak}) und die „sound exposure level“ (SEL_A und SEL_C). Beim Vergleich dieser Zusammenfassungen wurden, vor allem bei den F_{min}

und den L_{peak} , Unterschiede zwischen Dauermessung 1 und Dauermessung 2 festgestellt. Diese sind auch in Tab. 6-2 erkennbar. Die Messwerte für SEL_A , L_{Aeq} und F_{Amax} waren bei beiden Messungen sehr ähnlich, die für SEL_C und L_{Ceq} wichen etwas mehr voneinander ab.

Dauermessung 1		Dauermessung 2	
L_{Aeq}	67,4 dB	L_{Aeq}	69,6 dB
F_{Amax}	72,5 dB	F_{Amax}	73,1 dB
F_{Amin}	50,2 dB	F_{Amin}	60,7 dB
SEL_A	92,4 dB	SEL_A	92,3 dB
L_{APeak}	87,0 dB	L_{APeak}	102,6 dB
L_{Ceq}	75,1 dB	L_{Ceq}	82,6 dB
F_{Cmax}	77,4 dB	F_{Cmax}	86,6 dB
F_{Cmin}	56,3 dB	F_{Cmin}	75,0 dB
SEL_C	100,0 dB	SEL_C	105,3 dB
L_{CPeak}	90,7 dB	L_{CPeak}	103,5 dB

Tab. 6-1: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2

In Tab. 6-2 sind die Minima, Maxima und Mittelwerte der beiden Messungen und auch ein gemeinsamer Mittelwert aufgelistet. Die Mittelwerte und Maxima von L_{Aeq} und F_{Amax} ähneln einander, die Minima weichen voneinander ab. Beim C-bewerteten Spitzenschalldruckpegel wurden größere Unterschiede bei allen Werten festgestellt. Vor allem das Minimum von 0,0 dB bei der ersten Dauermessung ist hervorzuheben, da es nur über zwei Sekunden und nur für L_{CPeak} registriert wurde. Ohne diese zwei Messungen wurde das Minimum für den C-bewerteten Spitzenschalldruckpegel von Dauermessung 1 mit 77,2 dB gemessen und der Mittelwert mit 86,2 dB berechnet.

		L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Dauermessung 1	Minimum	49,1	53,1	0,0
	Maximum	72,9	72,5	90,7
	Mittelwert	67,2	67,4	85,6
Dauermessung 2	Minimum	60,6	60,8	85,4
	Maximum	73,2	73,1	103,5
	Mittelwert	68,2	68,7	90,8
gemeinsamer	Mittelwert	67,6	67,9	87,6

Tab. 6-2: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP 1: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} : Vergleich der Dauermessungen

Die Verläufe beider Dauermessungen sind in den Graphiken Abb. 6-6 und Abb. 6-7 dargestellt. Dabei wurde bei der zweiten Dauermessung ein unruhiger Schalldruckpegel als bei der ersten aufgezeichnet. Diese Unregelmäßigkeiten waren auf vorbeifahrende Fahrzeuge und zusätzliche Arbeiten zurückzuführen.

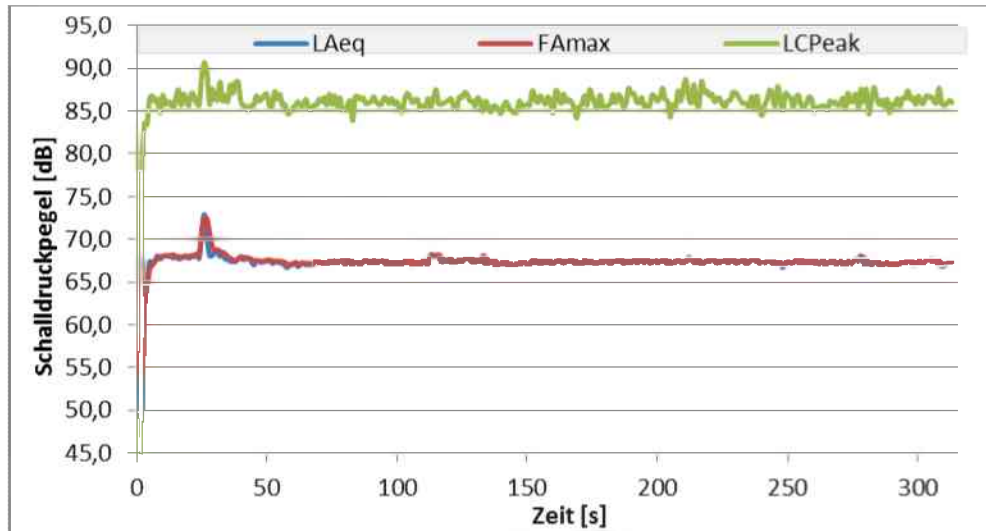


Abb. 6-6: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Verlauf Dauermessung 1

In Abb. 6-6 sind auch die beiden Messungen in der Höhe von 0,0 dB für L_{CPeak} und die dazugehörigen Werte des A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegels und des A-bewerteten maximalen Schalldruckpegels ersichtlich.

Die Daten der Dauermessungen, welche den Graphiken zu Grunde liegen, sind in Tab. 14-4, für Abb. 6-6, und in Tab. 14-5, für Abb. 6-7, aufgelistet. Die Tabellen befinden sich in Anhang 14.2.

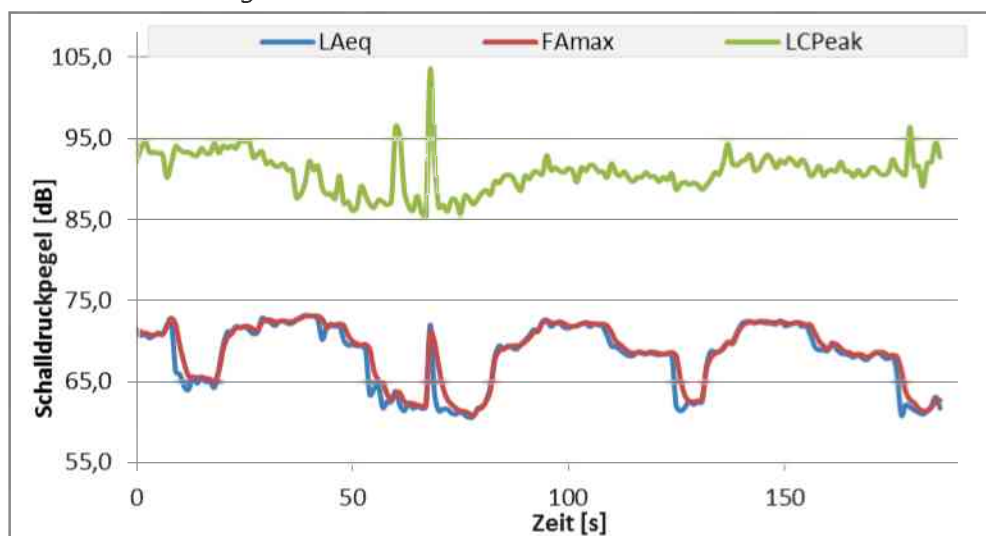


Abb. 6-7: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Verlauf Dauermessung 2

Zusätzlich zu den Dauermessungen wurde der Schalldruckpegel bei Messpunkt 1, in zwei Zeiträumen, vom Messgerät direkt abgelesen und schriftlich aufgezeichnet. Die Aufzeichnungen der Messung 2 fanden zeitgleich mit jenen der Dauermessung 2 statt.

In Abb. 6-8 und Abb. 6-9 sind die Einzelmessungen der A- und C-bewerteten Schalldruckpegel für diese beiden Messungen dargestellt. Die Daten befinden sich in Tab. 14-6 des Anhangs 14.2.

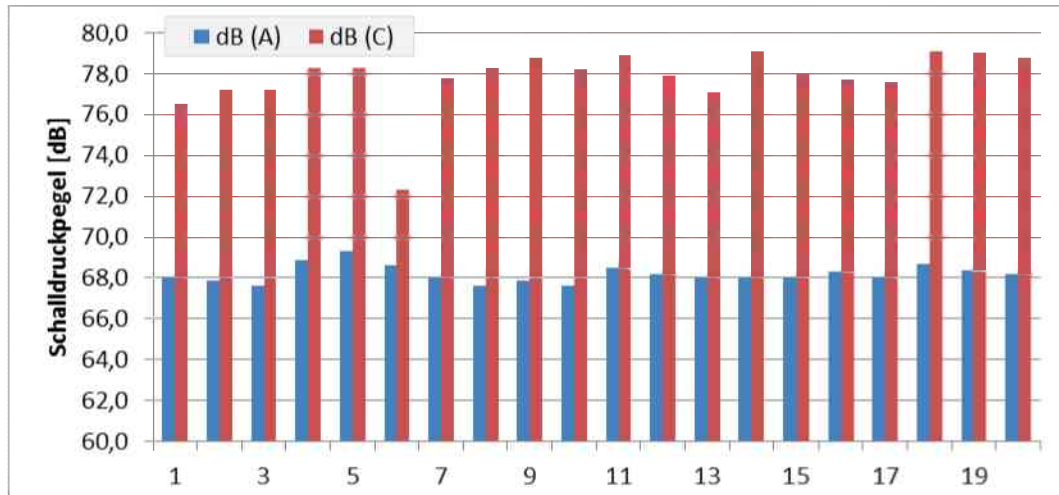


Abb. 6-8: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Messung 1

Der Schalldruckpegel nach A-bewerteter Kurve schwankte bei der ersten Messung zwischen 67,6 dB (A) und 69,3 dB (A) und bei der zweiten von 60,8 dB (A) und 72,3 dB (A). Die Mittelwerte wurden mit 68,2 dB (A) für beide Messungen berechnet. Für den C-bewerteten Schalldruckpegel betrug das Minimum bei der ersten Messung 72,3 dB (C) und bei der zweiten 79,3 dB (C). Das Maximum wurde bei 79,1 dB (C), für Messung 1, bzw. 84,8 dB (C), für Messung 2, detektiert. Der Mittelwert wurde für die erste Messung mit 77,8 dB (C) und für die zweite mit 82,1 dB (C) berechnet.

Bei Messung 1 war die Schwankung des A-bewerteten Schalldruckpegels größer und die des C-bewerteten Schalldruckpegels kleiner als bei Messung 2. Beide Maxima der zweiten Messung waren größer als bei der ersten.

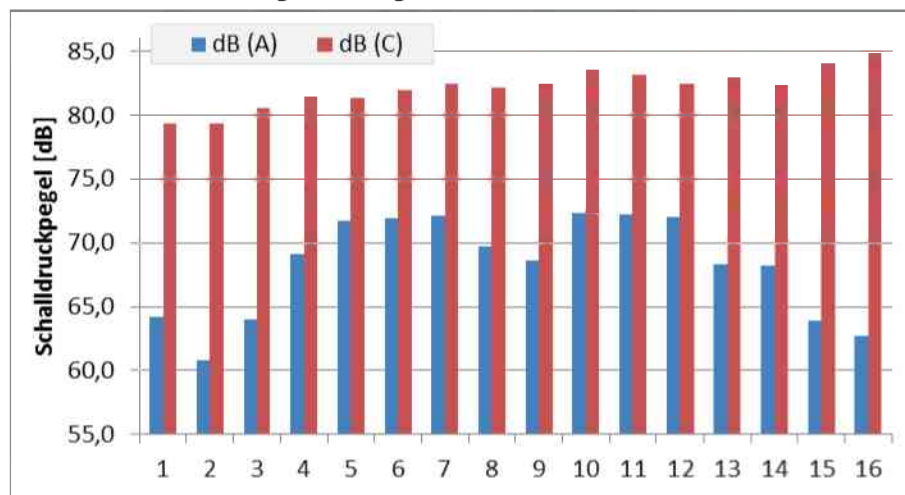


Abb. 6-9: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Messung 2

6.2.1.2 Umgebungslärm: Trafoschlitten

Der Trafoschlitten befand sich einige Meter hinter Messpunkt 2. Da während der 24 Stunden Messung keine Messung des Umgebungslärms an Messpunkt 2 erfolgte, wurde dieser Ort, neben dem Trafoschlitten, als Ersatz gewählt. Die Schalldruckpegelmessungen fanden am dritten Tag statt.

An diesem Ort wurden drei Dauermessungen zur Aufzeichnung des Umgebungslärms durchgeführt. Alle drei wurden in der Zeitkonstante „FAST“ aufgenommen. Die Erste erfolgte über einen Zeitraum von fünf Minuten und 14 Sekunden. Da kurz nach dem Start der Dauermessung 2 mit Bohrarbeiten begonnen wurde, betrug die Messdauer nur 21 Sekunden. Für die dritte Dauermessung wurde eine Minute und fünf Sekunden lang gemessen.

Dauermessung 1		Dauermessung 2		Dauermessung 3	
L_{Aeq}	80,4 dB	L_{Aeq}	81,0 dB	L_{Aeq}	83,6 dB
F_{Amax}	82,8 dB	F_{Amax}	83,1 dB	F_{Amax}	91,8 dB
F_{Amin}	78,2 dB	F_{Amin}	79,4 dB	F_{Amin}	75,0 dB
SEL_A	105,4 dB	SEL_A	94,2 dB	SEL_A	101,7 dB
L_{APeak}	95,4 dB	L_{APeak}	94,5 dB	L_{APeak}	103,6 dB
L_{Ceq}	86,5 dB	L_{Ceq}	90,9 dB	L_{Ceq}	91,5 dB
F_{Cmax}	89,8 dB	F_{Cmax}	96,7 dB	F_{Cmax}	99,6 dB
F_{Cmin}	83,5 dB	F_{Cmin}	87,9 dB	F_{Cmin}	84,7 dB
SEL_C	111,5 dB	SEL_C	104,1 dB	SEL_C	109,6 dB
L_{CPeak}	102,4 dB	L_{CPeak}	105,7 dB	L_{CPeak}	109,7 dB

Tab. 6-3: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1, Dauermessung 2 und Dauermessung 3

Die Zusammenfassungen des Messgeräts sind für alle drei Dauermessungen in Tab. 6-3 aufgelistet. Tab. 6-4 führt die Minima, Maxima und Mittelwerte für L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} auf. Beim Vergleich der Daten aus Tab. 6-3 bzw. Tab. 6-4 ist die Ähnlichkeit der Dauermessungen ersichtlich. Sowohl die Minima, als auch die Maxima und die Mittelwerte für L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} weichen nicht großartig voneinander ab. Dies gilt auch für die Kennwerte aus den Zusammenfassungen, Tab. 6-3, wobei hier größere Schwankungen als in Tab. 6-4 auftreten. Die größten Bandbreiten waren bei den Werten F_{Amax} , L_{APeak} und F_{Cmax} zu finden.

		L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Dauermessung 1	Minimum	79,0	79,7	95,5
	Maximum	82,1	82,8	102,4
	Mittelwert	80,4	81,2	98,0
Dauermessung 2	Minimum	80,0	80,5	99,0
	Maximum	82,3	83,1	105,7
	Mittelwert	80,9	81,7	101,2
Dauermessung 3	Minimum	75,9	76,9	97,8
	Maximum	89,5	91,8	109,7
	Mittelwert	82,4	84,1	102,2
gemeinsamer	Mittelwert	80,7	81,7	98,9

Tab. 6-4: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} : Vergleich der Dauermessungen

Der geringste äquivalente Dauerschallpegel und maximale Schalldruckpegel, beide nach A-Bewertung, wurde bei Dauermessung 3 ermittelt und der geringste C-bewertete Spitzenschalldruckpegel bei Dauermessung 1. Das Maximum für alle drei Werte wurde bei der dritten Dauermessung registriert.

Die Verläufe für den A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel, den A-bewerteten maximalen Schalldruckpegel und den C-bewerteten Spitzenschalldruckpegel der Dauermessungen sind in den Abbildungen Abb. 6-10, Abb. 6-11 und Abb. 6-12 dargestellt.

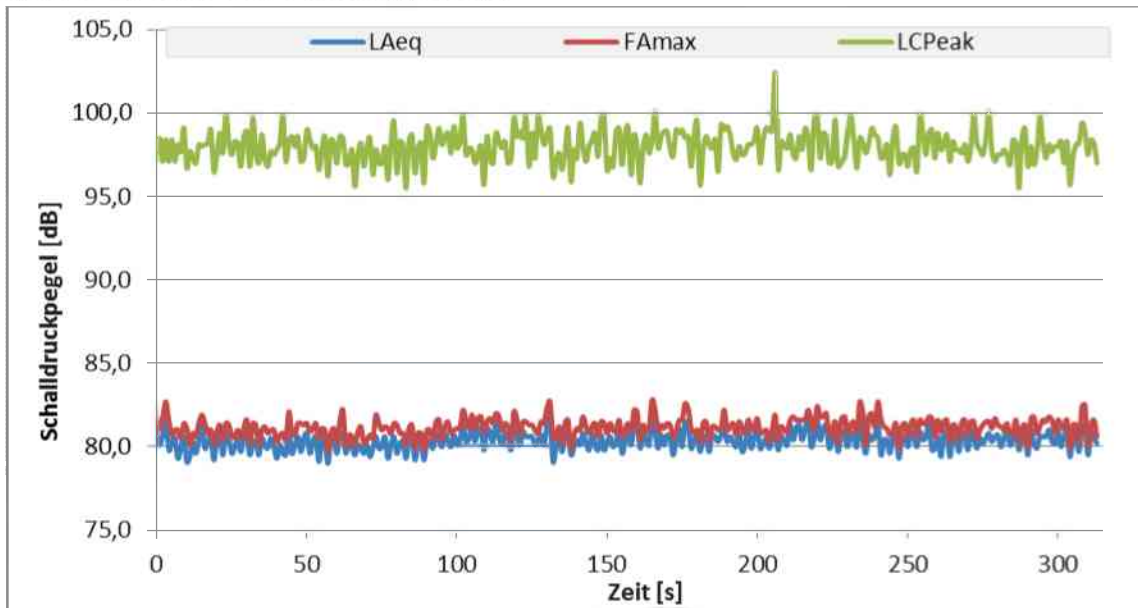


Abb. 6-10: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten: Verlauf Dauermessung 1

Dauermessung 1 wurde über die längste Zeitdauer gemessen. Die Graphen aller drei Werte verliefen annähernd konstant. Diese Konstanz entsprach auch den Daten der Dauermessung 2. Der Anstieg im C-bewerteten Spitzenschalldruckpegel gegen Ende der Messung war auf den Beginn der Bohrarbeiten zurück zu führen.

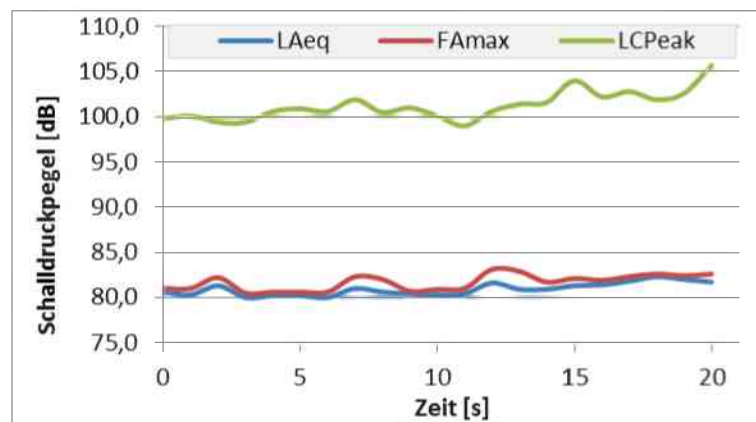


Abb. 6-11: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten: Verlauf Dauermessung 2

Beim Vergleich von Dauermessung 3 mit der ersten und zweiten Dauermessung waren die Schwankungen für alle drei Werte relativ groß. Dies war auf vorbeifahrende Fahrzeuge, einen LKW bzw. einen Radlader, zurückzuführen.

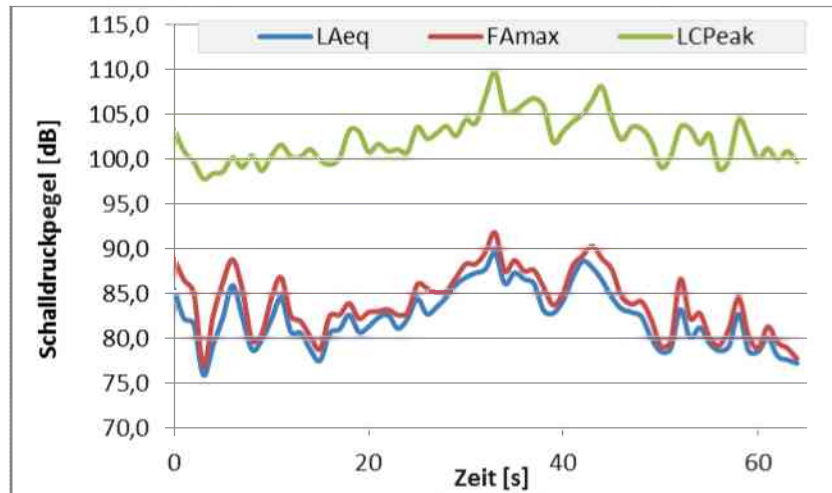


Abb. 6-12: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten: Verlauf Dauermessung 3

Zusätzlich zu den drei Dauermessungen wurden der A- und C-bewertete Schalldruckpegel während der ersten Dauermessung mitnotiert. Dabei wurden Minima von 79,1 dB (A) bzw. 84,4 dB (C) und Maxima in der Höhe von 81,6 dB (A) und 88,4 dB (C) aufgezeichnet. Der berechnete Mittelwert betrug für den A-bewerteten Schalldruckpegel 80,4 dB (A) und für den C-bewerteten 88,4 dB (A). Diese Daten sind der Graphik Abb. 6-13 und in Tab. 14-10 des Anhangs 14.2 zu entnehmen.

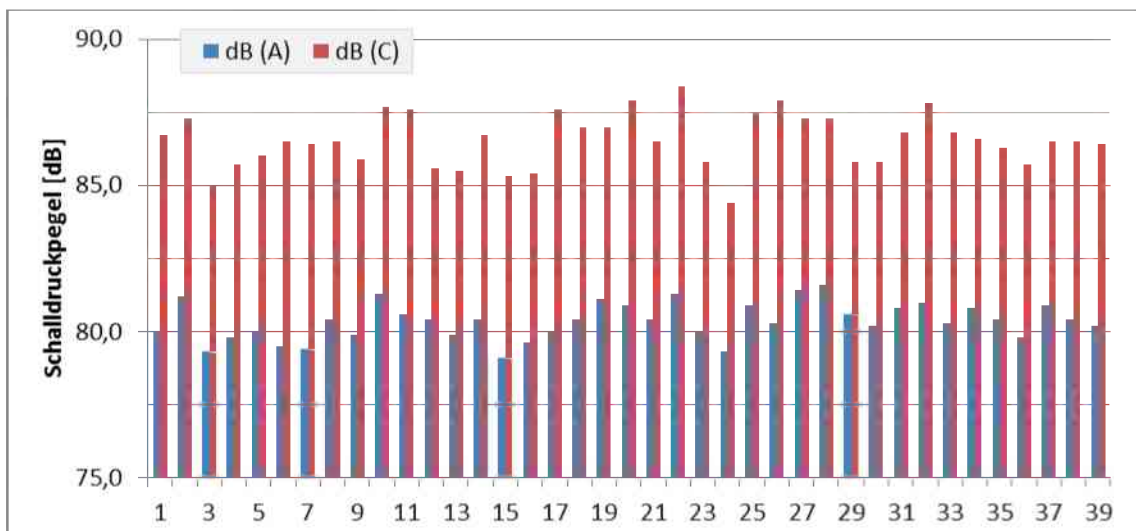


Abb. 6-13: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten

6.2.1.3 Ablauten

Das Ablauten wurde von Messpunkt 2 aus in zwei Dauermessungen aufgezeichnet. Bei beiden war die Zeitkonstante auf „SLOW“ eingestellt. Bei der ersten Dauermessung betrug die Messdauer drei Minuten und 13 Sekunden. Dauermessung 2 fand über drei Minuten und vier Sekunden statt.

Die Zusammenfassungen der beiden Messungen ist in Tab. 6-5 aufgelistet. Dabei wurden die größten Unterschiede beim A-bewerteten Schalldruckpegel festgestellt. Dauermessung 1 verfügte über einen weitläufigeren Schwankungsbereich. Dieser war aus dem Vergleich der Differenz des minimalen und maximalen Schalldruckpegels, nach A-bewerteter Kurve, für jede Dauermessung ersichtlich. Die restlichen Werte beider Dauermessungen aus den Zusammenfassungen ähneln einander.

Dauermessung 1		Dauermessung 2	
L_{Aeq}	79,6 dB	L_{Aeq}	82,3 dB
F_{Amax}	91,1 dB	F_{Amax}	84,6 dB
F_{Amin}	74,0 dB	F_{Amin}	80,9 dB
SEL_A	102,5 dB	SEL_A	104,9 dB
L_{APeak}	104,3 dB	L_{APeak}	99,2 dB
L_{Ceq}	91,5 dB	L_{Ceq}	91,1 dB
F_{Cmax}	96,4 dB	F_{Cmax}	94,6 dB
F_{Cmin}	87,7 dB	F_{Cmin}	88,9 dB
SEL_C	114,3 dB	SEL_C	113,8 dB
L_{CPeak}	108,0 dB	L_{CPeak}	106,5 dB

Tab. 6-5: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Ablauten: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2

In Tab. 6-6 sind die Minima, Maxima und Mittelwerte der Dauermessungen verzeichnet. Diese Werte stammten aus vielen einzelnen Perioden, welche jeweils einer Sekunde lang dauerten. In den Abbildungen Abb. 6-14 und Abb. 6-15 wurde aus diesen Daten der Verlauf für die Dauermessungen gezeichnet. Alle Werte sind in den zwei Tabellen Tab. 14-11 und Tab. 14-12 des Anhangs 14.2 verzeichnet.

		L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Dauermessung 1	Minimum	73,3	74,5	97,3
	Maximum	87,5	91,1	108,0
	Mittelwert	78,1	79,1	101,8
Dauermessung 2	Minimum	80,9	81,1	99,3
	Maximum	84,6	84,6	106,5
	Mittelwert	82,2	82,5	102,2
gemeinsamer	Mittelwert	80,1	80,8	102,0

Tab. 6-6: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Ablauten: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} : Vergleich der Dauermessungen

Die Mittelwerte beider Dauermessungen, für den A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel und maximalen Schalldruckpegel, sowie den C-bewerteten Spitzenschalldruckpegel, unterschieden sich kaum. Zusammen genommen ergab sich ein Mittelwert 80,1 dB (A) für L_{Aeq} , 80,8 dB (A) für F_{Amax} und 102,0 dB (C) für L_{CPeak} .

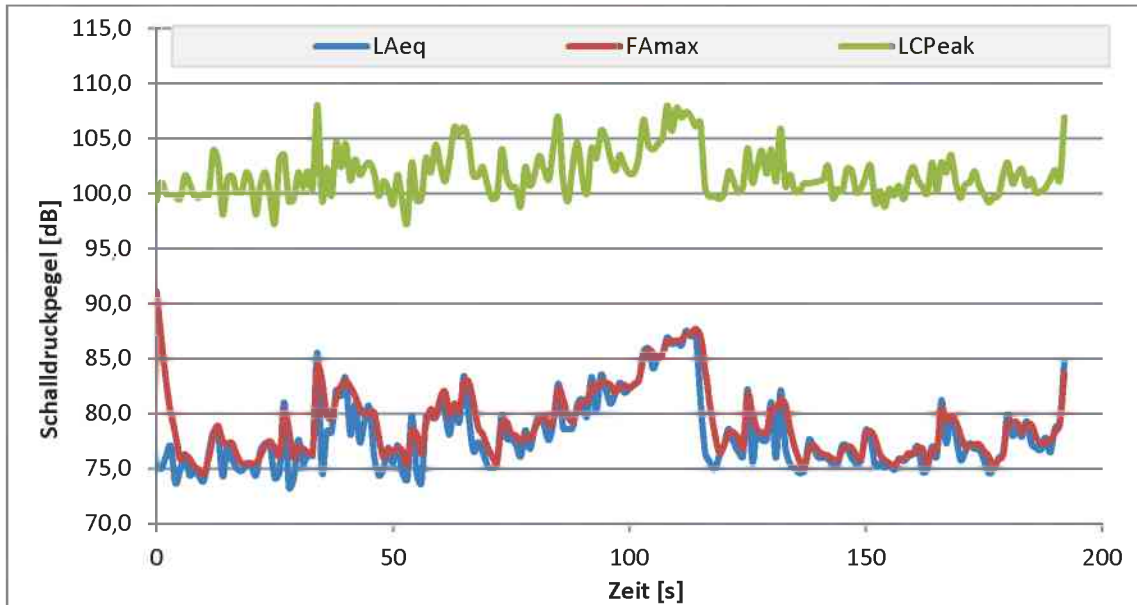


Abb. 6-14: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Ablauten: Verlauf Dauermessung 1

Bei Dauermessung 1 fuhr zwischen Sekunde 100 und 116 ein Spritzbüffel an Messpunkt 2 vorbei. Die Auswirkung auf die Dauermessung ist in Abb. 6-14 ersichtlich. Der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel und der maximale Schalldruckpegel stiegen währenddessen an und fielen nach der Vorbeifahrt des Spritzbüffels wieder ab.

Abb. 6-15 stellt den Verlauf von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak} der Dauermessung 2 dar. Im Gegensatz zur ersten Dauermessung wiesen diese Verläufe geringere Schwankungen auf. Gleichzeitig zum Ablauten wurde die Hydraulik des Spritzbüffels aufgezeichnet. Er befand sich neben Messpunkt 2. Aus diesem Grund wurden bei der zweiten Dauermessung höhere Werte gemessen als bei Dauermessung 1.

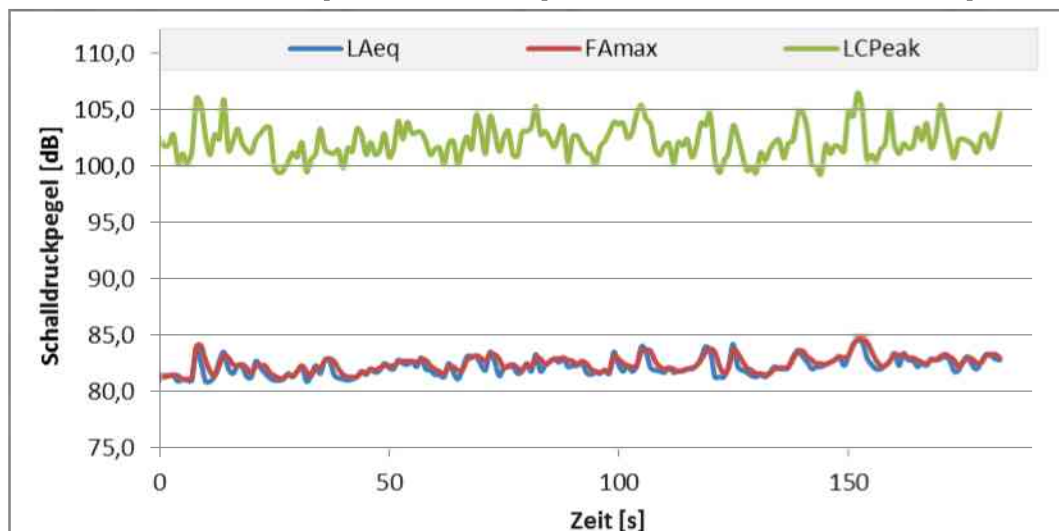


Abb. 6-15: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Ablauten: Verlauf Dauermessung 2

6.2.1.4 Anker nachziehen und Anker nachschneiden

Während dieser Arbeiten wurden drei Dauermessungen durchgeführt. Bei allen war die Einstellung der Zeitkonstante „SLOW“. Der Hauptarbeitsschritt bei der ersten und der zweiten Dauermessung war das Flexen der Anker und bei der dritten das Nachziehen eben jener. Die jeweils andere Arbeit wird nicht ausgeschlossen.

Dauermessung 1 fand über drei Minuten und acht Sekunden statt. Gleichzeitig dazu wurden die Daten der Messung 1 mit notiert. Die Messung erfolgte ungefähr 30 m hinter der Ortsbrust und ab ungefähr Sekunde 110 war zusätzlich die Hebebühne wahrnehmbar. Dauermessung 2 fand am gleichen Ort und neben der Hebebühne statt. Sie dauerte 52 Sekunden und Messung 2 wurde nebenher aufgezeichnet. Dauermessung 3 wurde über einen Zeitraum von fünf Minuten und zwei Sekunden gemessen. Sie fand in einem etwas geringeren Abstand von ca. 20 m zur Ortsbrust und ca. 3 m schräg hinter der Hebebühne statt. Bei der Hebebühne war nur einer der beiden Arme im Einsatz und gleichzeitig wartete der Spritzbüffel im Hintergrund. Somit trug auch er zur Geräuschkulisse bei.

Dauermessung 1		Dauermessung 2		Dauermessung 3	
L _{Aeq}	77,2 dB	L _{Aeq}	79,7 dB	L _{Aeq}	80,6 dB
F _{Amax}	83,6 dB	F _{Amax}	82,3 dB	F _{Amax}	84,7 dB
F _{Amin}	66,9 dB	F _{Amin}	70,3 dB	F _{Amin}	77,4 dB
SEL _A	99,9 dB	SEL _A	96,9 dB	SEL _A	105,4 dB
L _{APeak}	104,2 dB	L _{APeak}	98,9 dB	L _{APeak}	101,9 dB
L _{Ceq}	82,5 dB	L _{Ceq}	83,1 dB	L _{Ceq}	87,8 dB
F _{Cmax}	86,4 dB	F _{Cmax}	86,3 dB	F _{Cmax}	90,0 dB
F _{Cmin}	76,7 dB	F _{Cmin}	77,8 dB	F _{Cmin}	84,8 dB
SEL _C	105,2 dB	SEL _C	100,3 dB	SEL _C	112,6 dB
L _{CPeak}	103,4 dB	L _{CPeak}	98,8 dB	L _{CPeak}	101,8 dB

Tab. 6-7: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachziehen und nachschneiden: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1, Dauermessung 2 und Dauermessung 3

In Tab. 6-7 ist die Zusammenfassung des Messgeräts für alle drei Dauermessungen aufgelistet. Mit Ausnahme von L_{APeak} wurden die größten Werte bei Dauermessung 3 verzeichnet. Die höchste Abweichung zu den anderen beiden wurde bei SEL_C, mit 112,6 dB (C), erkannt.

Tab. 6-8 führt die Minima, Maxima und Mittelwerte aus den Perioden der Dauermessungen an. Die drei Kennwerte ähneln jenen der Zusammenfassung durch das Messgerät. Laut beiden Tabellen trat das Maximum des A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel und des maximalen Schalldruckpegels bei Dauermessung 3 auf. Der maximale Wert für den C-bewerteten Spitzenschalldruckpegel wurde bei Dauermessung 1 erkannt.

Zusammengenommen waren die Abweichungen der Dauermessungen von einander vorhanden, aber nicht eklatant.

		L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Dauermessung 1	Minimum	66,9	67,1	86,1
	Maximum	83,9	83,6	103,4
	Mittelwert	74,2	74,9	93,1
Dauermessung 2	Minimum	69,4	71,5	87,5
	Maximum	82,6	82,3	98,8
	Mittelwert	78,8	79,8	94,8
Dauermessung 3	Minimum	77,4	77,8	95,4
	Maximum	85,0	84,7	101,8
	Mittelwert	80,4	80,7	98,7
gemeinsamer	Mittelwert	78,1	78,6	96,4

Tab. 6-8: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachziehen und nachschneiden: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} : Vergleich der Dauermessungen

Die Abbildungen Abb. 6-16, Abb. 6-18 und Abb. 6-20 weisen die Verläufe der Dauermessungen auf. Bei Ansicht der A-bewerteten maximalen Schalldruckpegel und äquivalenten Dauerschallpegel sind bei Dauermessung 1, Abb. 6-16, zwei Abschnitte erkennbar. Der erste ging bis Sekunde 75 und der zweite begann ab dieser. Im zweiten Abschnitt waren Phasen, wo nur die Hebebühne im Leerlauf zu hören war und keine Anker abgetrennt wurden.

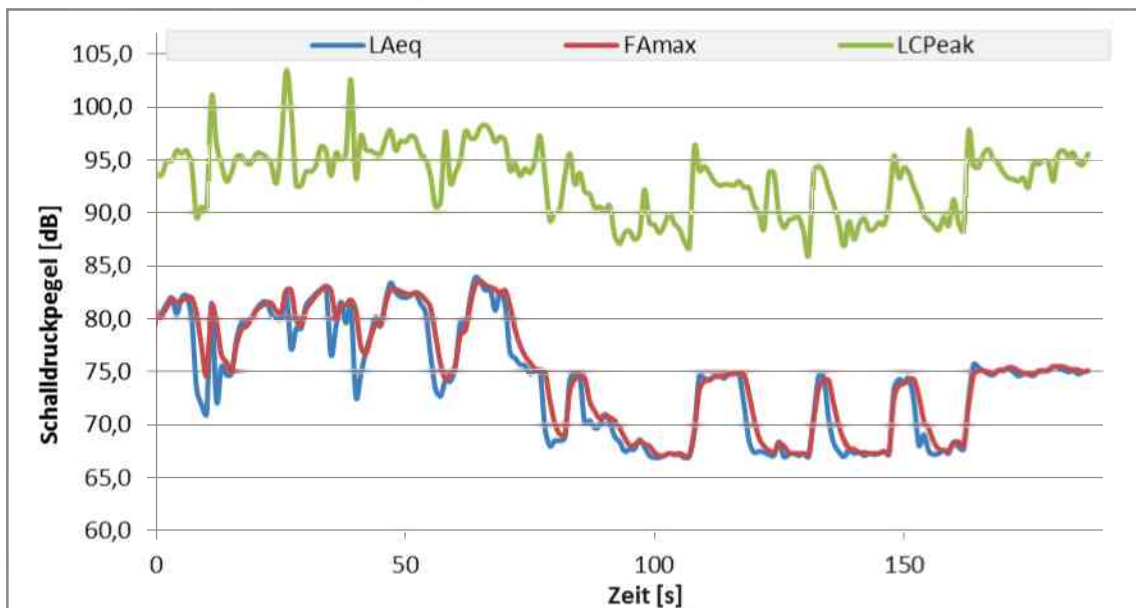


Abb. 6-16: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden: Verlauf Dauermessung 1

Gleichzeitig entstand Messung 1, welche in Abb. 6-17 dargestellt ist. Genauso wie bei der dazugehörigen Dauermessung war ein Abfall des Schalldruckpegels erkennbar. Dies fand in der Mitte der Messung statt und wurde vor allem beim A-bewerteten Schalldruckpegel aufgezeichnet. Die Minderung des C-bewerteten Schalldruckpegels war nicht so deutlich ausgeprägt. Dies entspricht dem zweiten

Abschnitt der Dauermessung 1 und somit war der geringe Schalldruckpegel auf den Leerlauf der Hebebühne, ohne Arbeitsschritte, zurückzuführen.

Während Messung 1 wurden Mittelwerte von 75,0 dB (A) und 81,7 dB (C) berechnet. Für den A-bewerteten Schalldruckpegel wurde ein Minimum von 67,1 dB (A) und ein Maximum von 83,2 dB (A) aufgezeichnet. Der C-bewertete Schalldruckpegel variierte zwischen 77,3 dB (C) und 85,0 dB (C). Diese Werte sind mit jenen der Dauermessung 1 in Tab. 6-7 und Tab. 6-8 vergleichbar.

Die Daten für den Verlauf der Dauermessung sind in Tab. 14-13 aufgeführt und die von Messung 1 in Tab. 14-16. Beide Tabellen befinden sich im Anhang 14.2.

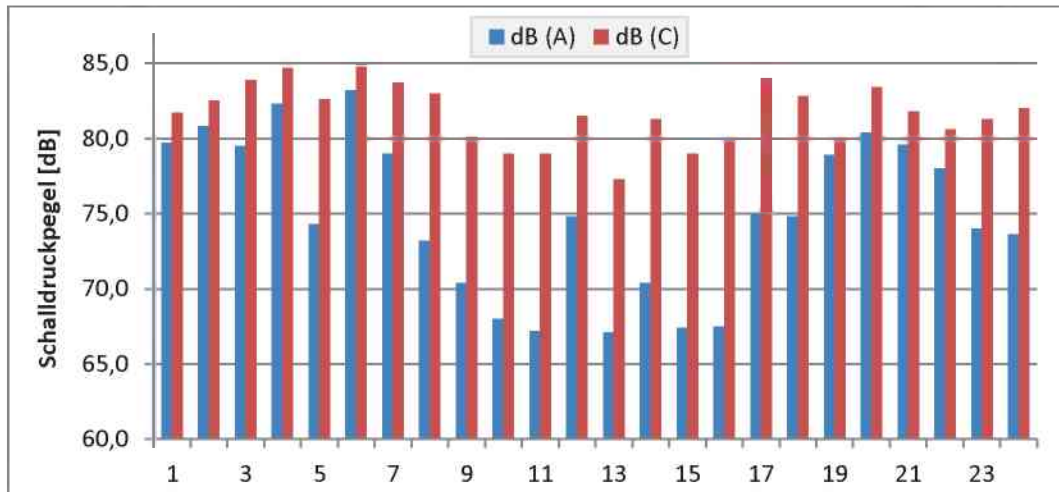


Abb. 6-17: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden: Messung 1

Dauermessung 2 ist in Abb. 6-18 dargestellt. Die Daten für den Verlauf befinden sich in Tab. 14-14 des Anhangs 14.2. Über die ersten 40 Sekunden dieser Aufzeichnung war der Schalldruckpegel relativ konstant. Danach sanken alle drei Kennwerte ab. Der C-bewertete Spitzenschalldruckpegel stieg nach kurzer Zeit wieder auf vorherige Werte an, der A-bewertete maximale Schalldruckpegel und auch der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel erhöhten sich in geringeren Maße. Nach der vierzigsten Sekunde der Dauermessung wurde somit eine Pause beim Nachschneiden der Anker registriert und nur der Leerlauf der Hebebühne aufgezeichnet.

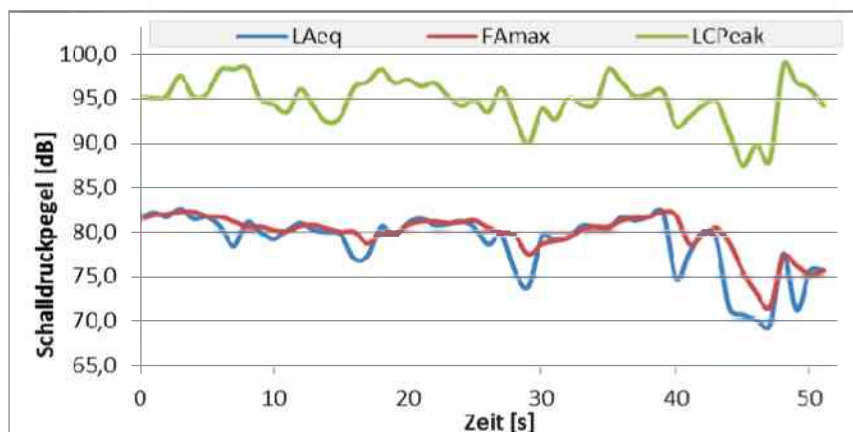


Abb. 6-18: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden: Verlauf Dauermessung 2

Messung 2 besteht nur aus ein paar einzelnen Werten für den A- und C-bewerteten Schalldruckpegel. Beim vierten Wert wurde ein Maximum des C-bewerteten Schalldruckpegels, 84,9 dB (C), aufgezeichnet. Solche Erhöhungen, im Vergleich zum A-bewerteten Schalldruckpegel, wurden auch vom Messgerät aufgezeichnet und in Abb. 6-18 dargestellt. Der Mittelwert der Messung 2 betrug 80,3 dB (A), sowie 82,2 dB (C). Die Minima wurden mit 78,6 dB (A) bzw. 81,0 dB (C) festgestellt und das Maximum des A-bewerteten Schalldruckpegels war 81,9 dB (A). Die Daten dieser Messung sind Tab. 14-16 des Anhangs 14.2 zu entnehmen.

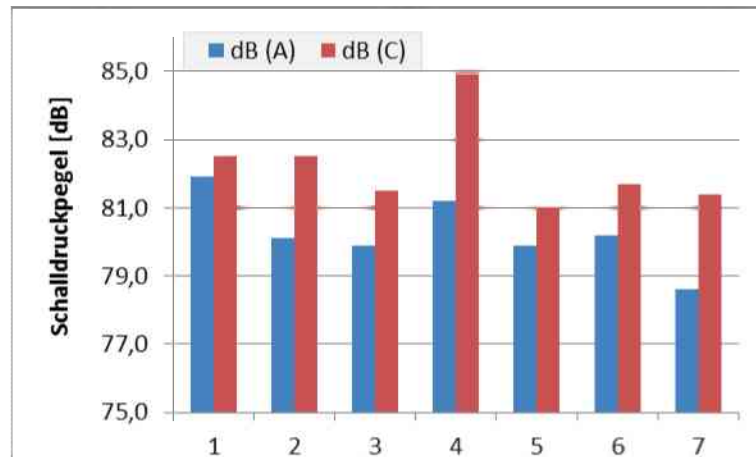


Abb. 6-19: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden: Messung 2

Dauermessung 3 ist in Abb. 6-20 abgebildet. Der Verlauf war relativ konstant. Während der Dauermessung wurde hauptsächlich ein Arm der Hebebühne bewegt. Ab der zweiten Minute war über eine kurze Zeit der zweite Arm in Einsatz. Knapp nach Sekunde 200 wartete der Spritzbüffel nicht mehr nur im Hintergrund, sondern bewegte sich in den Vordergrund. Als Resultat erhöhte sich der Schalldruckpegel. Dies war bei den A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel und maximalen Schalldruckpegeln deutlicher erkennbar als beim C-bewerteten Spitzenschalldruckpegel.

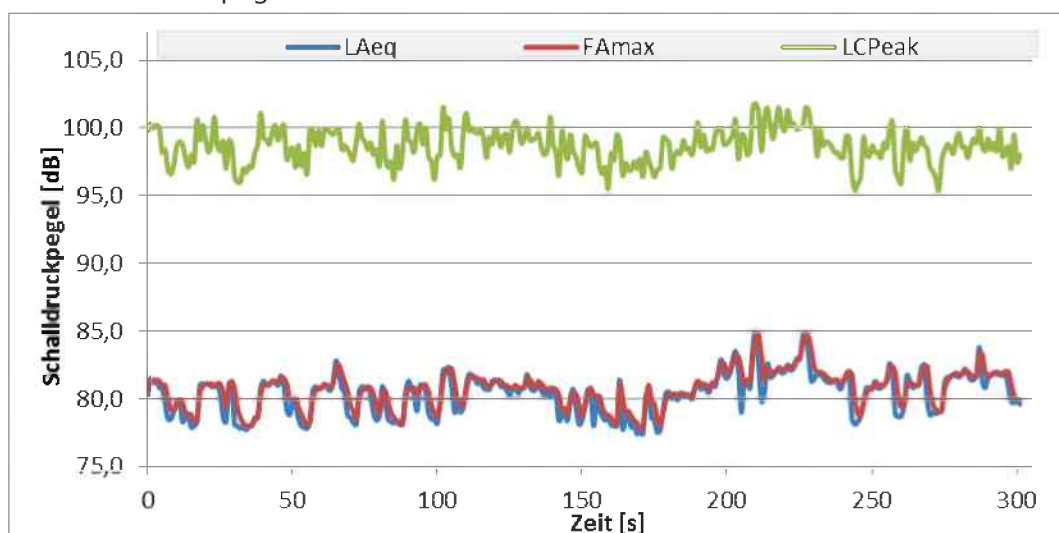


Abb. 6-20: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachziehen: Verlauf Dauermessung 3

Die Daten, welche die Grundlage der Graphik bilden, sind in Tab. 14-15 des Anhangs 14.2 verzeichnet.

6.2.1.5 Auftragen von Spritzbeton

Beide Dauermessungen wurden hinter dem Spritzbüffel aufgenommen. Der Standort befand sich direkt neben der Aufgabe des Spritzbetons, auf den Spritzbüffel, durch den LKW. Die erste Dauermessung wurde mit der Zeitkonstante „FAST“ durchgeführt. Sie dauerte fünf Minuten und drei Sekunden. Gleichzeitig wurden der A- und C-bewertete Schalldruckpegel mit notiert. Bei Dauermessung 2 war die Zeitkonstante auf „SLOW“ eingestellt. Diese Dauermessung fand über einen Zeitraum von drei Minuten und neun Sekunden statt.

Dauermessung 1		Dauermessung 2	
L_{Aeq}	86,5 dB	L_{Aeq}	87,3 dB
F_{Amax}	101,9 dB	F_{Amax}	90,5 dB
F_{Amin}	81,8 dB	F_{Amin}	85,4 dB
SEL_A	111,3 dB	SEL_A	110,1 dB
L_{APeak}	118,7 dB	L_{APeak}	104,2 dB
L_{Ceq}	91,1 dB	L_{Ceq}	92,0 dB
F_{Cmax}	101,0 dB	F_{Cmax}	94,9 dB
F_{Cmin}	86,3 dB	F_{Cmin}	89,9 dB
SEL_C	115,9 dB	SEL_C	114,7 dB
L_{CPeak}	115,7 dB	L_{CPeak}	107,0 dB

Tab. 6-9: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2

Für jede Dauermessung wurde vom Messgerät eine Zusammenfassung erstellt. Diese sind in Tab. 6-9 aufgeführt. Alle Kennwerte der Dauermessung 1 waren höher als jene der zweiten. Die größten Unterschiede traten in den maximalen Schalldruckpegeln und den Spitzenschalldruckpegeln auf. Bei den Minima wurden nur geringe Abweichungen festgestellt.

		L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Dauermessung 1	Minimum	82,4	83,0	97,3
	Maximum	96,4	101,9	115,7
	Mittelwert	85,9	87,4	102,7
Dauermessung 2	Minimum	83,4	85,5	99,4
	Maximum	90,5	90,5	107
	Mittelwert	87,0	87,7	103,4
gemeinsamer	Mittelwert	86,3	87,5	102,9

Tab. 6-10: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} : Vergleich der Dauermessungen

Die unterschiedlichen Werte des A-bewerteten maximalen Schalldruckpegels und des C-bewerteten Spitzenschalldruckpegels sind auch in Tab. 6-10 erkennbar. Als Datensatz für diese Tabelle diente die periodische Speicherung der Dauermessungen, einmal pro Sekunde, aus welchen die Verläufe gezeichnet wurden. Diese Datensätze sind in den Tabellen Tab. 14-17 und Tab. 14-18 des

Anhangs 14.2 verzeichnet. Der Verlauf von Dauermessung 1 ist in Abb. 6-21 dargestellt und der von Dauermessung 2 in Abb. 6-22.

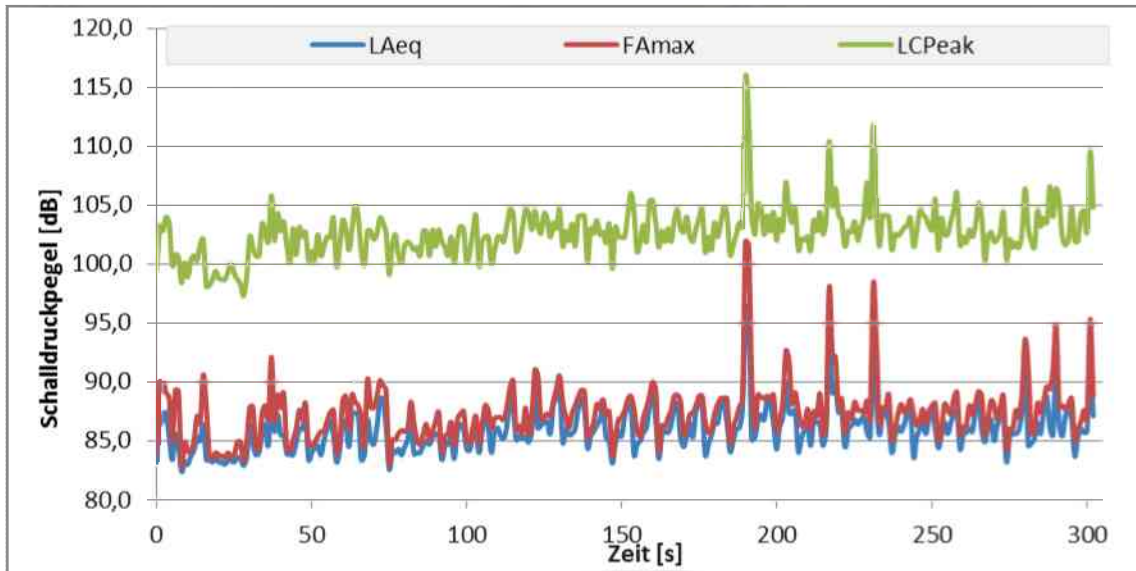


Abb. 6-21: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Verlauf Dauermessung 1

Beide Dauermessungen verliefen relativ regelmäßig. Bei der Ersten wurden, nach ungefähr drei Minuten, mehrere Spitzen der Messwerte festgestellt. Bei Sekunde 190 waren diese auf ein umfallendes Bewehrungsgitter zurück zu führen. Die Maxima danach entstanden durch die weitere Handhabung der Bewehrungsgitter.

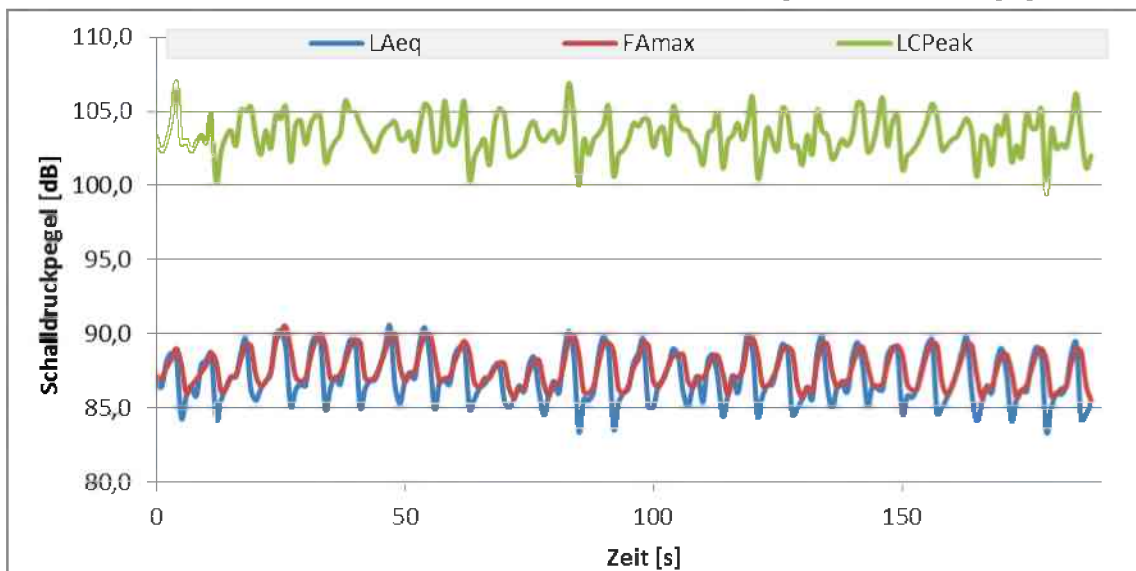


Abb. 6-22: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Verlauf Dauermessung 2

Aus dem Vergleich der Verläufe der Dauermessungen war erkennbar, dass sie in diesem Fall sie durch die Einstellung der Zeitkonstante nicht maßgeblich beeinflusst wurden.

Zusätzlich zu den beiden Dauermessungen wurden der A-bewertete Schalldruckpegel und der C-bewertete Schalldruckpegel während Dauermessung 1

mit notiert. Daraus ergab sich Abb. 6-23. Die Daten sind in Tab. 14-19, im Anhang 14.2, verzeichnet.

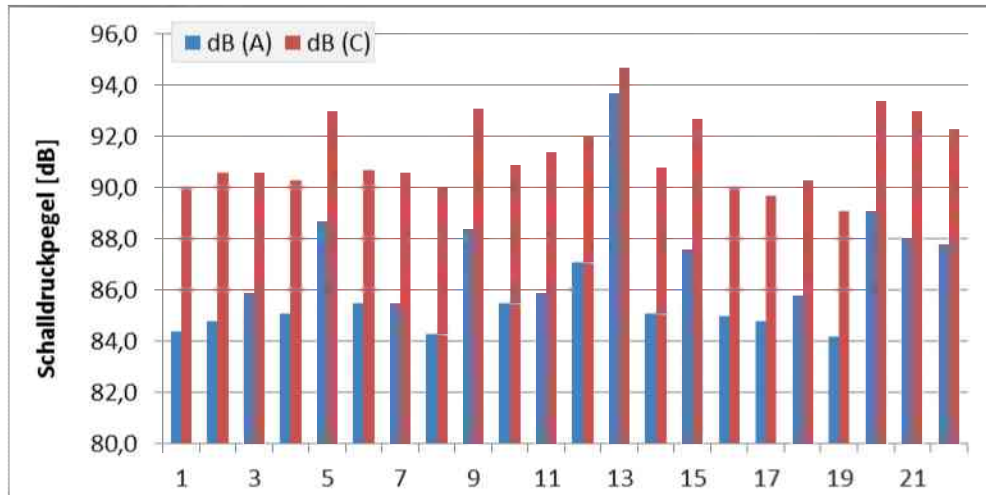


Abb. 6-23: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen

Bei dieser Messung wurden Maxima in der Höhe von 93,7 dB (A) bzw. 94,7 dB (C) detektiert. Da nicht alle Werte aufgeschrieben werden konnten, wurden bei der Dauermessung höhere Maxima erkannt. Die Minima lagen bei 84,2 dB (A) und 89,1 dB (C). Der Mittelwert wurde für den A-bewerteten Schalldruckpegel mit 86,5 dB berechnet und für den C-bewerteten mit 91,3 dB.

6.2.1.6 Schuttern

Während des Schutterns wurde der Schalldruckpegel zehn Meter vor dem Trafoschlitten aufgezeichnet. Die Dauermessung mit der Zeitkonstante „FAST“ dauerte fünf Minuten und fünf Sekunden lang an. Zum Schuttern wurde ein Radlader verwendet. An der Ortsbrust war der Tunnelbagger zum Ablauten und Reste abräumen im Einsatz.

L _{Aeq}	80,2 dB
F _{Amax}	92,1 dB
F _{Amin}	73,0 dB
SEL _A	105,0 dB
L _{APeak}	110,1 dB
L _{Ceq}	92,7 dB
F _{Cmax}	102,7 dB
F _{Cmin}	86,5 dB
SEL _C	117,5 dB
L _{CPeak}	111,6 dB

Tab. 6-11: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Schuttern: Zusammenfassung des Messgerätes

Tab. 6-11 listet die Zusammenfassung der Dauermessung durch das Schalldruckpegelmessgerät auf. Die Minima, Maxima und Mittelwerte der periodischen Aufzeichnung befinden sich in Tab. 6-12.

	L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Minimum	73,9	74,9	97,2
Maximum	90,2	92,1	111,6
Mittelwert	78,8	80,3	102,7

Tab. 6-12: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Schuttern: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}

Der Verlauf des Schutterns ist in Abb. 6-24 abgebildet. Die Daten dafür befinden sich in Tab. 14-20, Anhang 14.2. Die Peaks bei Sekunde 175 sind dem Hochheben der Gitterbögen durch den Stapler zuzuordnen.

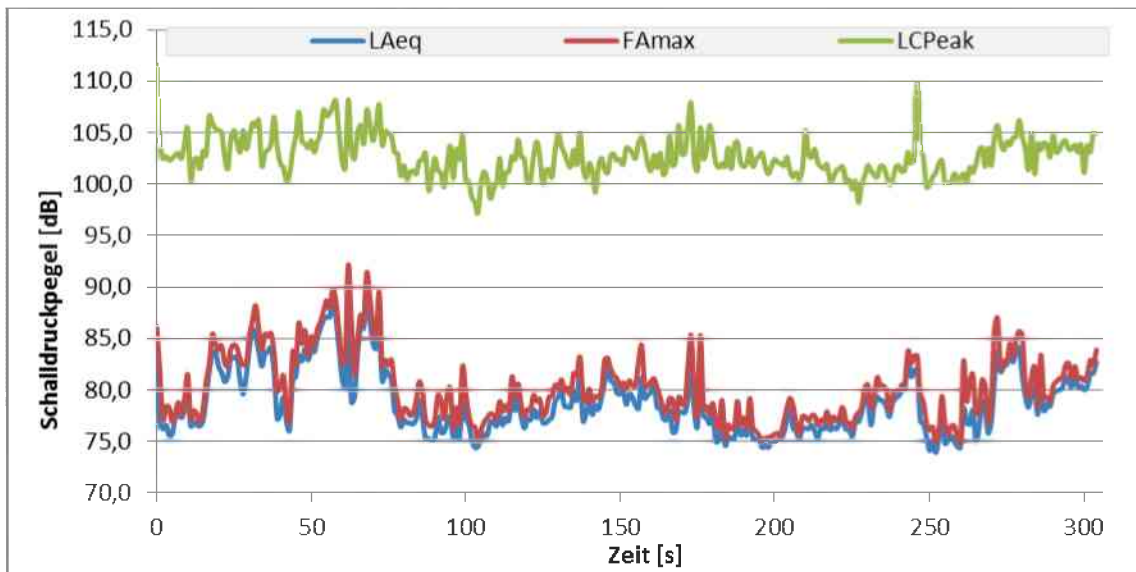


Abb. 6-24: : Lind West: Schalldruckpegelmessung: Schuttern: Verlauf der Dauermessung

6.2.1.7 Bohren

Während des Bohrens wurden drei Dauermessungen aufgezeichnet. Dabei war die Zeitkonstante bei Dauermessung 1 auf „SLOW“ eingestellt und bei den anderen beiden auf „FAST“. Gleichzeitig zur ersten Dauermessung wurde Messung 1 mit notiert und neben Dauermessung 3 wurden die Daten von Messung 2 aufgelistet. Dauermessung 1 verlief über fünf Minuten und fünf Sekunden. Sie wurde neben dem Bohrwagen auf Höhe der Kabine aufgezeichnet. Bei Dauermessung 1 wurden Bohrlöcher für den Sprengstoff hergestellt. Dauermessung 2 erfolgte über einen Zeitraum von fünf Minuten und 42 Sekunden und Dauermessung 3 dauerte fünf Minuten und 6 Sekunden.

In Tab. 6-13 sind die Zusammenfassungen des Messgerätes für alle drei Dauermessungen verzeichnet. Die höchsten Spitzenschalldruckpegel wurden mit 124,5 dB (A) und 122,8 dB (C) bei Dauermessung 2 festgestellt. Der geringste A-bewertete Schalldruckpegel ebenso. Am niedrigsten war der C-bewertete Schalldruckpegel bei der dritten Dauermessung. Zwischen den minimalen Schalldruckpegeln sowie den „sound exposure level“ (SEL_A und SEL_C) der

Dauermessungen bestand nur eine geringe Abweichung. Größer waren die Unterschiede bei den maximalen Schalldruckpegeln und den Spitzenschalldruckpegeln. Dauermessung 2 wies den höchsten A-bewerteten maximalen Schalldruckpegel auf. Somit wurde bei der zweiten Dauermessung der größte Schwankungsbereich des A-bewerteten Schalldruckpegels detektiert.

Dauermessung 1		Dauermessung 2		Dauermessung 3	
L_{Aeq}	100,6 dB	L_{Aeq}	97,6 dB	L_{Aeq}	95,6 dB
F_{Amax}	105,4 dB	F_{Amax}	111,0 dB	F_{Amax}	100,8 dB
F_{Amin}	87,0 dB	F_{Amin}	79,7 dB	F_{Amin}	80,8 dB
SEL_A	125,4 dB	SEL_A	122,9 dB	SEL_A	120,4 dB
L_{APeak}	119,4 dB	L_{APeak}	124,5 dB	L_{APeak}	113,8 dB
L_{Ceq}	99,7 dB	L_{Ceq}	96,7 dB	L_{Ceq}	95,1 dB
F_{Cmax}	104,2 dB	F_{Cmax}	109,2 dB	F_{Cmax}	100,2 dB
F_{Cmin}	87,9 dB	F_{Cmin}	84,5 dB	F_{Cmin}	84,4 dB
SEL_C	124,6 dB	SEL_C	122,0 dB	SEL_C	120,0 dB
L_{CPeak}	117,4 dB	L_{CPeak}	122,8 dB	L_{CPeak}	113,2 dB

Tab. 6-13: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1, Dauermessung 2 und Dauermessung 3

Die Minima, Maxima und Mittelwerte der periodischen Aufzeichnung der Dauermessungen sind in Tab. 6-14 aufgelistet. Der Unterschied zwischen den Mittelwerten ist gering und die Maxima der Werte F_{Amax} und L_{CPeak} korrelieren mit jenen der Tabelle Tab. 6-13

		L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Dauermessung 1	Minimum	86,3	87,2	98,9
	Maximum	105,6	105,4	117,4
	Mittelwert	98,6	99,4	110,8
Dauermessung 2	Minimum	80,9	82,1	96,4
	Maximum	109,9	111,0	122,8
	Mittelwert	94,8	95,6	107,8
Dauermessung 3	Minimum	81,3	81,8	96,3
	Maximum	100,5	100,8	113,2
	Mittelwert	92,6	93,6	106,1
gemeinsamer	Mittelwert	95,3	96,2	108,2

Tab. 6-14: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} : Vergleich der Dauermessungen

Die Verläufe der Schalldruckpegel-Dauermessungen sind für die Bohrarbeiten in den Graphiken Abb. 6-25, Abb. 6-27 und Abb. 6-28 dargestellt. Für die Hintergrunddaten sind die Tabellen Tab. 14-21, Tab. 14-22 und Tab. 14-23 heranzuziehen. Diese befinden sich in Anhang 14.2.

Bei der ersten Dauermessung, Abb. 6-25, sind viele Abfälle und Wiederanstiege der Schalldruckpegel erkennbar. Daraus lassen sich die Bohrphasen und die Phasen des Leerlaufs ableiten. Messung 1 wurde gleichzeitig notiert und weist in Abb. 6-26 die gleichen Leerlauf-Phasen auf.

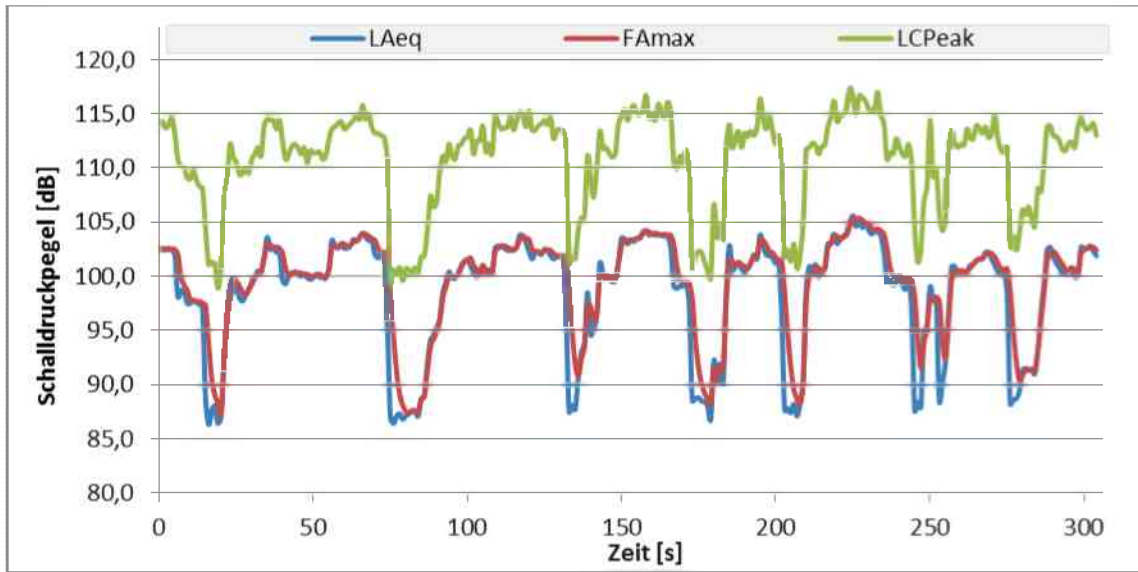


Abb. 6-25: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Verlauf Dauermessung 1

Bei Messung 1 wurde ein Minimum von 87,3 dB (A) bzw. 88,7 dB (C) registriert. Die Maxima betragen 104,9 dB (A) und 104,5 dB (C). Aus den Daten wurde für den A-bewerteten Schalldruckpegel ein Mittelwert von 99,7 dB (A) berechnet. Für den C-bewerteten Schalldruckpegel betrug er 99,2 dB (C). Die Messergebnisse sind, zusammen mit jenen der Messung 2, in Anhang 14.2, Tab. 14-24, aufgelistet.

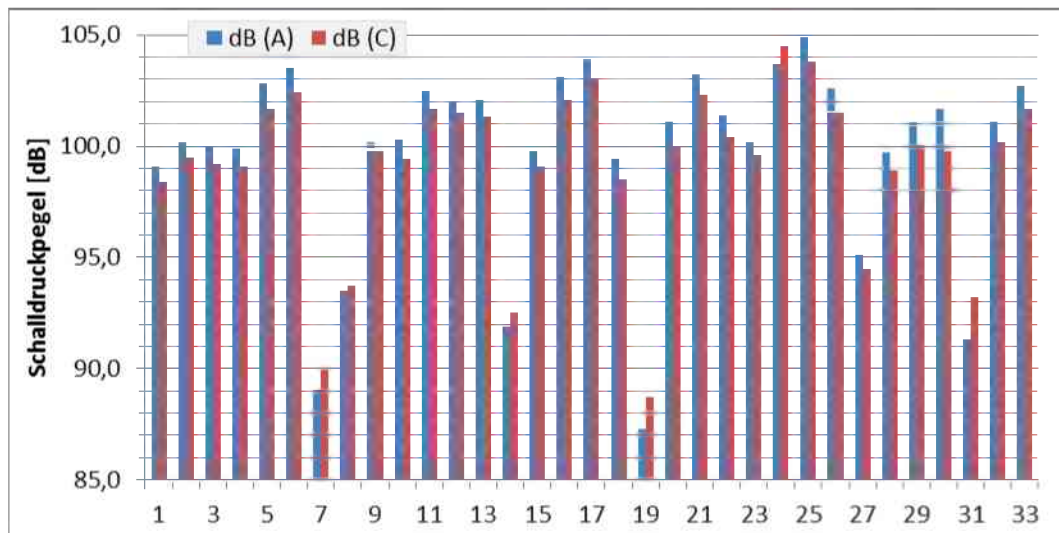


Abb. 6-26: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Messung 1

Da bei Dauermessung 1 die Einstellung der Zeitkonstante „SLOW“, und bei Dauermessung 2 und Dauermessung 3 „FAST“ war, waren Abweichungen bei den Verläufen erkennbar. Die Unterschiede zwischen den Phasen des Leerlaufs und den Bohrarbeiten war bei der ersten Dauermessung weicher und verschwommener als bei den anderen beiden.

Ab der hundertsten Sekunde wurden zusätzlich Spieße gebohrt. Dies wirkte sich auf den gemessenen Schalldruckpegel und somit den Verlauf in Abb. 6-27 aus. Die Kurven aller drei Messwerte stiegen zu diesem Zeitpunkt an. Gegen Ende der zweiten Dauermessung erhöhten sich die Ergebnisse deutlich. Der Grund dafür lag

in der gleichzeitigen Verwendung beider Bohrarne. Zuvor war nur ein Arm im Einsatz.

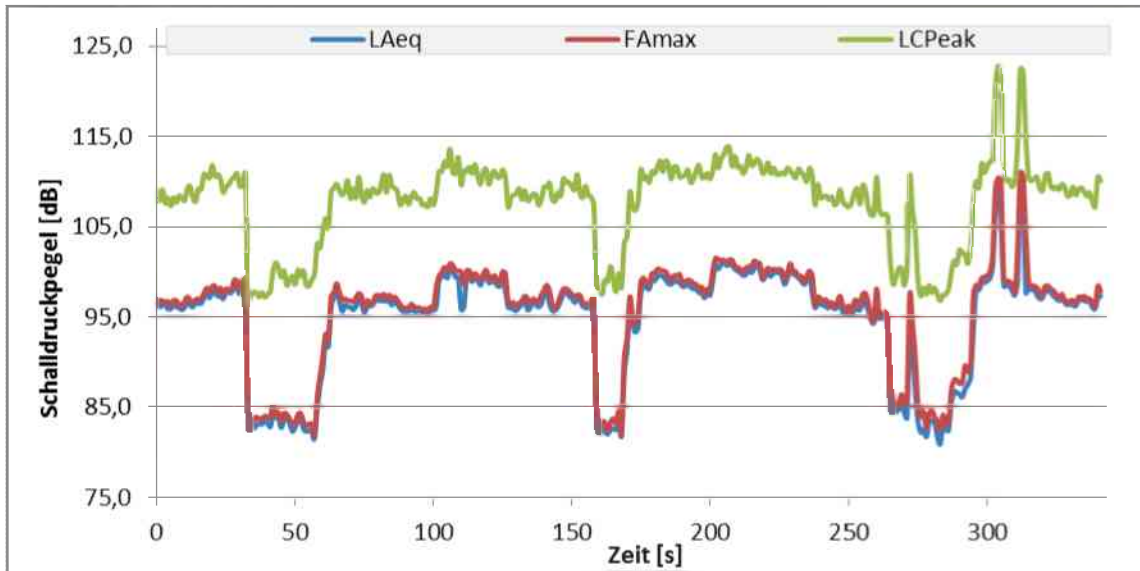


Abb. 6-27: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Verlauf Dauermessung 2

Bei Dauermessung 3 wurde die geringste Anzahl von Leerlauf-Phasen detektiert. Während dieser Dauermessung wurden die Daten der Messung 2 notiert. Zu sehen ist diese Messung in Abb. 6-29. Gleich wie die dazu gehörige Dauermessung wurde der Unterschied zwischen Leerlauf und Bohrarbeiten registriert.

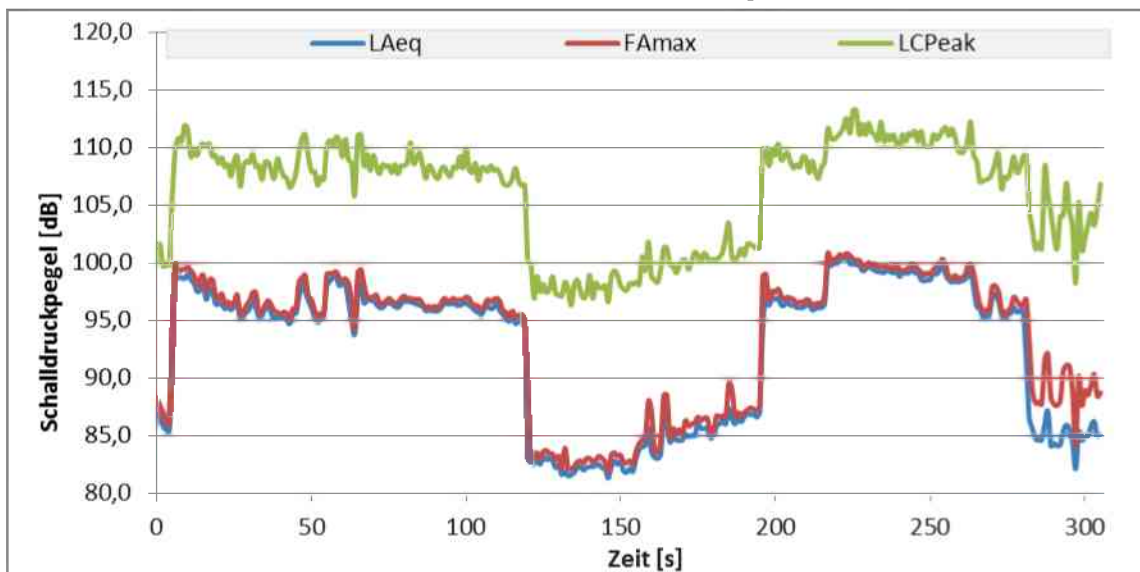


Abb. 6-28: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Verlauf Dauermessung 3

Für Messung 2 wurden Mittelwerte in der Höhe von 93,7 dB für den A-bewerteten Schalldruckpegel und 94,1 dB für den C-bewerteten berechnet. Die Schwankung bewegte sich von 82,0 dB (A), bzw. 85,7 dB (C), im Leerlauf, bis zu den Maxima 100,5 dB (A) und 100,0 dB (C) unter Last. Die maximalen Schalldruckpegel sind den Aufzeichnungen Tab. 6-14, für den A-bewerteten, und in Tab. 6-13, für beide, sehr ähnlich.

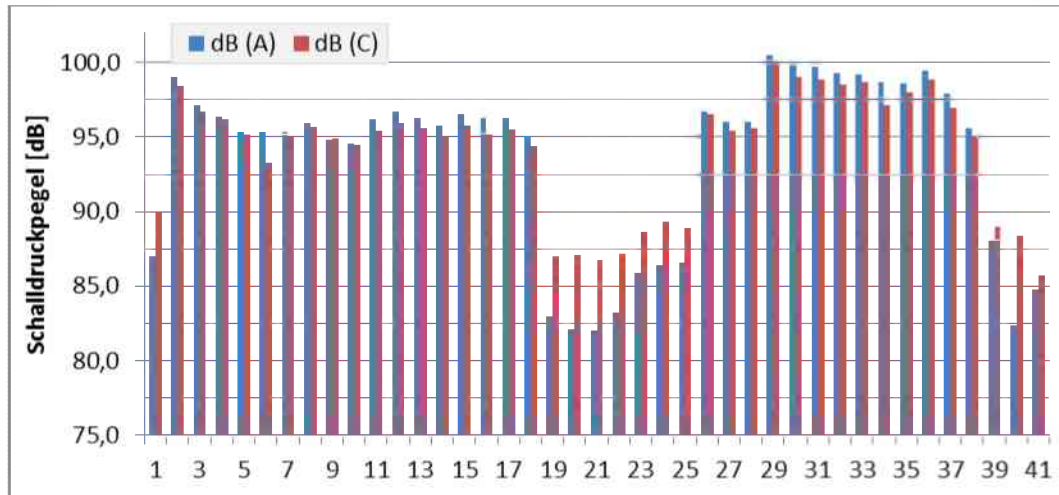


Abb. 6-29: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Messung 2

6.2.1.8 Sprengen

Wegen des kurzen Vortriebs von einigen hundert Metern wurde der Schalldruckpegel außerhalb des Tunnels gemessen. Dabei war die Zeitkonstante auf „SLOW“ eingestellt. Die Dauermessung beinhaltet den Weg von Messpunkt 1 aus bis vor den Tunnel, Umgebungsgeräusche vor dem Portal und die Sprengung. Obwohl die Messung während der Sprengung 50 m vor dem Portal stattfand, wurde die Messkapazität von 130 dB überschritten.

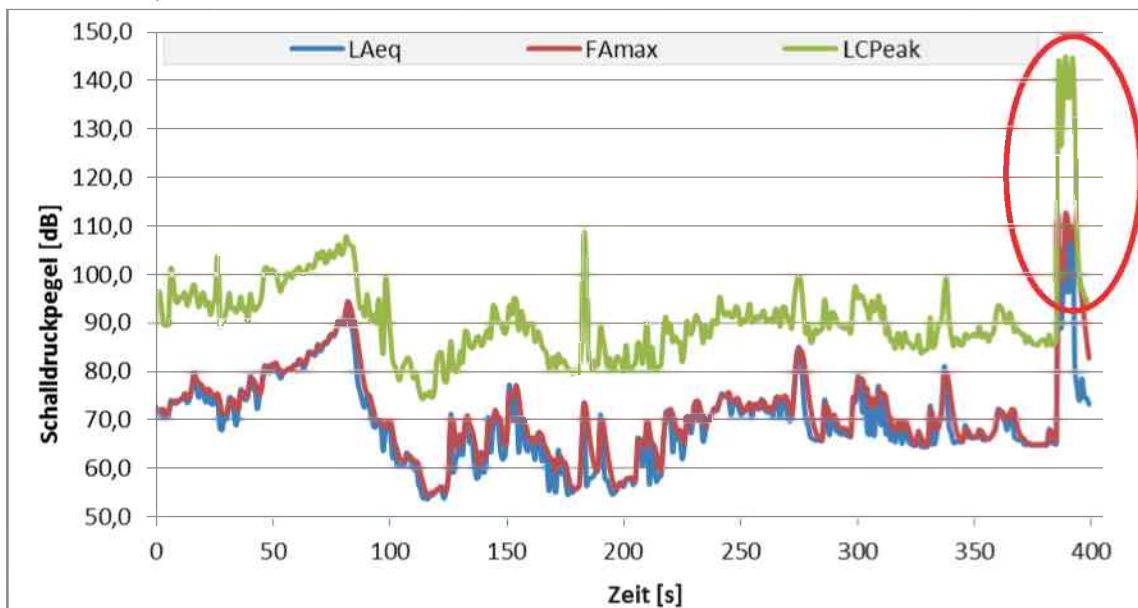


Abb. 6-30: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Sprengen: Verlauf der Dauermessung

In Abb. 6-30 ist der Verlauf der Messung dargestellt. Der Großteil beinhaltet die Umgebungsgeräusche von Messpunkt 1 bis vor das Portal und die Wartezeit bis zur Sprengung. Nach ungefähr 70 Sekunden wurde das Portal erreicht, der Verlauf in Abb. 6-30 steigt für alle drei Messwerte an. Die Sprengung an sich wurde in den letzten Sekunden des Verlaufs aufgezeichnet. Da der Bereich des Messgerätes überschritten wurde, können diese Daten nicht als zuverlässig angesehen werden.

Aus diesem Grund kann zum Schalldruckpegel einer Sprengung nur gesagt werden, dass auch vor dem Portal 130 dB überschritten wurden. Für verlässliche Daten müsste ein Messgerät mit einem größeren Messbereich verwendet werden.

In Tab. 6-15 sind die Minima, Maxima und Mittelwerte für die F_{Amax} und L_{Aeq} , sowie den L_{CpPeak} bis knapp vor der Sprengung. Die Dauer für diesen Teil der Dauermessung betrug sechs Minuten und 25 Sekunden. Der abgetrennte Teil der Sprengung war 14 Sekunden lang. Die Ergebnisse der gesamten Dauermessung sind in Tab. 14-25 des Anhangs 14.2 verzeichnet.

Aus den Messwerten vor der Sprengung ergab sich eine große Bandbreite bezüglich des Schalldruckpegels. Der geringste Schalldruckpegel wurde knapp außerhalb des Portals detektiert. In dieser Periode, welche wie jede andere eine Sekunde umfasste, betrug der maximale Schalldruckpegel nach A-Bewertung 54,5 dB (A). Über die gesamte Messdauer wurden die minimalen Schalldruckpegel mit 53,7 dB (A) bzw. 63,6 dB (C) aufgezeichnet.

	L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CpPeak} [dB]
Minimum	53,6	54,5	74,3
Maximum	94,4	94,4	108,3
Mittelwert	69,1	70,6	89,8

Tab. 6-15: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Vor dem Sprengen: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CpPeak}

6.2.1.9 Vorbeifahrende Fahrzeuge und Baumaschinen

Zusätzlich zu den anderen Schalldruckpegelmessungen wurde der Geräuschpegel vorbeifahrender Baumaschinen aufgenommen. Bei den in Lind West gemessenen Fahrzeugen handelte es sich um einen Tunnelbagger und eine Mulde. Der A-bewertete Schalldruckpegel des Tunnelbaggers war deutlich höher als der der Mulde. Die C-bewerteten Schalldruckpegel wichen nicht weit voneinander ab. Die Ergebnisse sind in Tab. 6-16 aufgelistet.

Fahrzeug	Schalldruckpegel	
	dB (A)	dB (C)
Tunnelbagger	91,1	93,8
Mulde	84,2	96,4

Tab. 6-16: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Vorbeifahrende Fahrzeuge

6.2.2 Stein West

6.2.2.1 Umgebungslärm: Messpunkt 1

Bei Messpunkt 1 des Tunnels Stein West wurde eine Dauermessung durchgeführt. Sie dauerte fünf Minuten und 33 Sekunden lang an. Die Einstellung der Zeitkonstante war „SLOW“. Gleichzeitig wurden einige Messwerte mit notiert. Der Verlauf der Dauermessung ist in Abb. 6-31 abgebildet und Abb. 6-32 stellt die A- und C-bewerteten Schalldruckpegel der Messung dar. Für die Auflistung der Ergebnisse sind die Tabellen Tab. 14-26 und Tab. 14-27 heranzuziehen. Sie befinden sich im Anhang 14.2.

L_{Aeq}	77,4 dB
F_{Amax}	87,3 dB
F_{Amin}	72,2 dB
SEL_A	102,6 dB
L_{APeak}	103,9 dB
L_{Ceq}	89,4 dB
F_{Cmax}	100,3 dB
F_{Cmin}	82,2 dB
SEL_C	114,6 dB
L_{CPeak}	108,4 dB

Tab. 6-17: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Zusammenfassung des Messgerätes

Die Zusammenfassung des Messgerätes ist in Tab. 6-17 verzeichnet. In Tab. 6-18 sind die Minima, Maxima und Mittelwerte für die Ergebnisse des C-bewerteten Spitzenschalldruckpegels und der A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel und maximalen Schalldruckpegel aufgelistet.

	L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Minimum	72,1	72,3	91,8
Maximum	87,4	87,3	108,4
Mittelwert	75,4	75,7	96,7

Tab. 6-18: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}

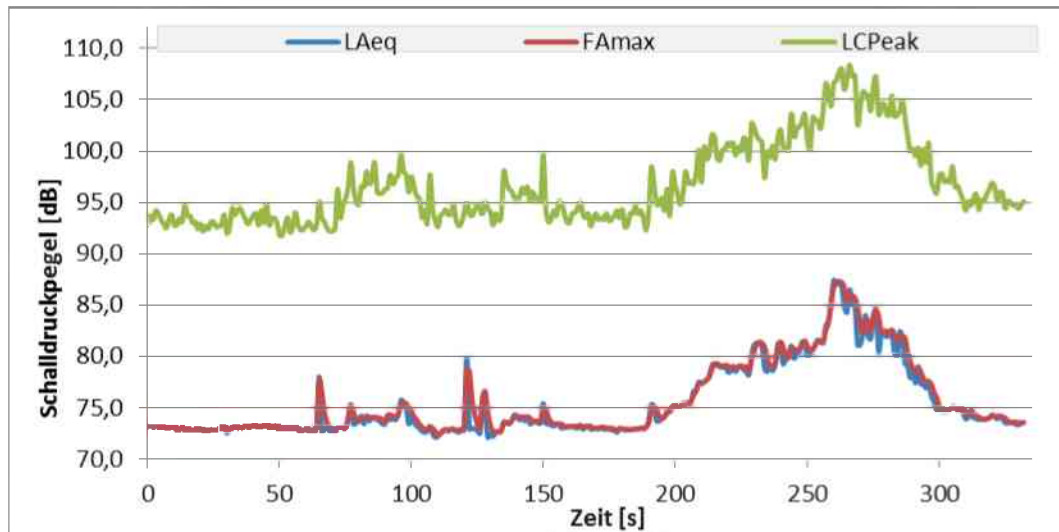


Abb. 6-31: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Umgebung: MP1: Verlauf der Dauermessung

Sowohl bei der Dauermessung als auch beim mit Notieren wurde das Piepsen eines Gasmessgerätes registriert. Bei der Dauermessung wurde dies in Form mehrerer Peaks zwischen Sekunde 50 und Sekunde 150 wiedergegeben. In Abb. 6-32 ist das Geräusch als kleiner Peak im ersten Drittel erkennbar. Des Weiteren fuhr im letzten Drittel der Dauermessung ein Tunnelbagger an Messpunkt 1 vorbei. Er wurde durch das Schalldruckpegelmessgerät aufgezeichnet. Die Veränderung wurde in beiden

Graphiken als ansteigende und wieder abfallende Kurve wieder gegeben. Aus diesem Grund bezogen sich alle maximalen Messwerte auf den Tunnelbagger und nicht alleine auf die Umgebungsgeräusche.

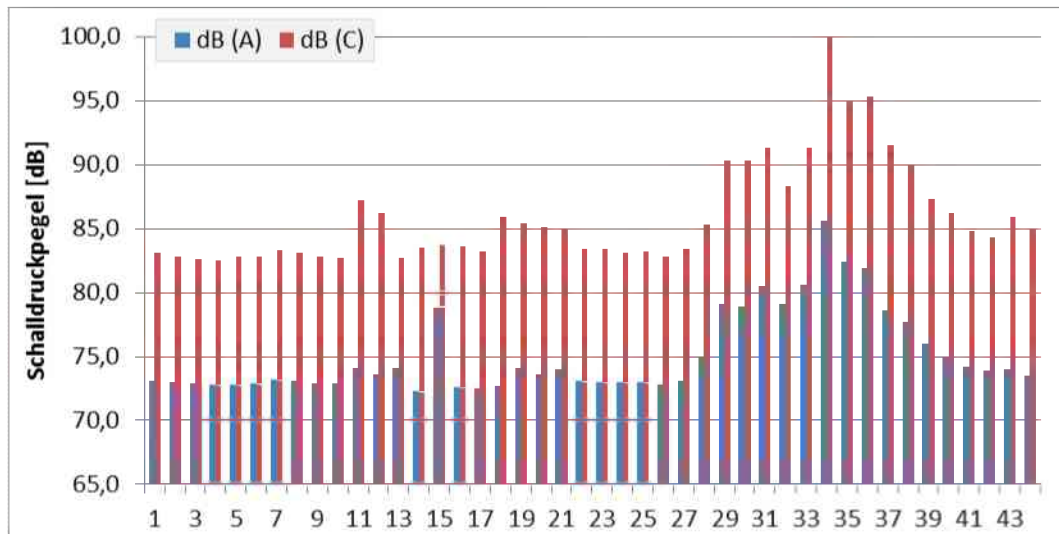


Abb. 6-32: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Umgebung: MP1

6.2.2.2 Umgebungslärm: Messpunkt 2

Der Schalldruckpegel der Umgebung bei Messpunkt 2 wurde in einer Dauermessung aufgezeichnet. Die Zeitkonstante war auf „SLOW“ eingestellt und die Dauermessung fand über einen Zeitraum von fünf Minuten und drei Sekunden statt. Während der Messung wurden an der Ortsbrust Anker nachgezogen.

Die automatisch vom Messgerät erstellte Zusammenfassung ist in Tab. 6-19 aufgelistet. Daraus kann die Schwankungsbreite der A- und C-bewerteten Schalldruckpegel abgelesen werden. Der A-bewertete umfasste einen Bereich von 67,8 dB (A) bis 84,9 dB (A) und der C-bewertete Schalldruckpegel bewegte sich zwischen 78,5 dB (C) und 88,1 dB (C).

L_{Aeq}	75,7 dB
F_{Amax}	84,9 dB
F_{Amin}	67,8 dB
SEL_A	100,5 dB
L_{APeak}	104,0 dB
L_{Ceq}	83,0 dB
F_{Cmax}	88,1 dB
F_{Cmin}	78,5 dB
SEL_C	107,8 dB
L_{CPeak}	104,1 dB

Tab. 6-19: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP2: Zusammenfassung des Messgerätes

In Tab. 6-20 sind die Minima, Maxima und Mittelwerte der A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel und maximalen Schalldruckpegel, sowie des

C-bewerteten Spitzenschalldruckpegels verzeichnet. Die Daten stammen aus der periodischen Aufzeichnung, und sind in Anhang 14.2, Tab. 14-28, aufgelistet.

	L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Minimum	67,7	68,1	87,5
Maximum	83,9	84,9	104,1
Mittelwert	74,1	75,2	94,1

Tab. 6-20: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP2: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}

Wegen des Anker Nachziehens an der Ortsbrust waren die Ergebnisse für L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} zwar regelmäßig aber nicht konstant. Die Verläufe dieser Messwerte sind in Abb. 6-33 dargestellt.

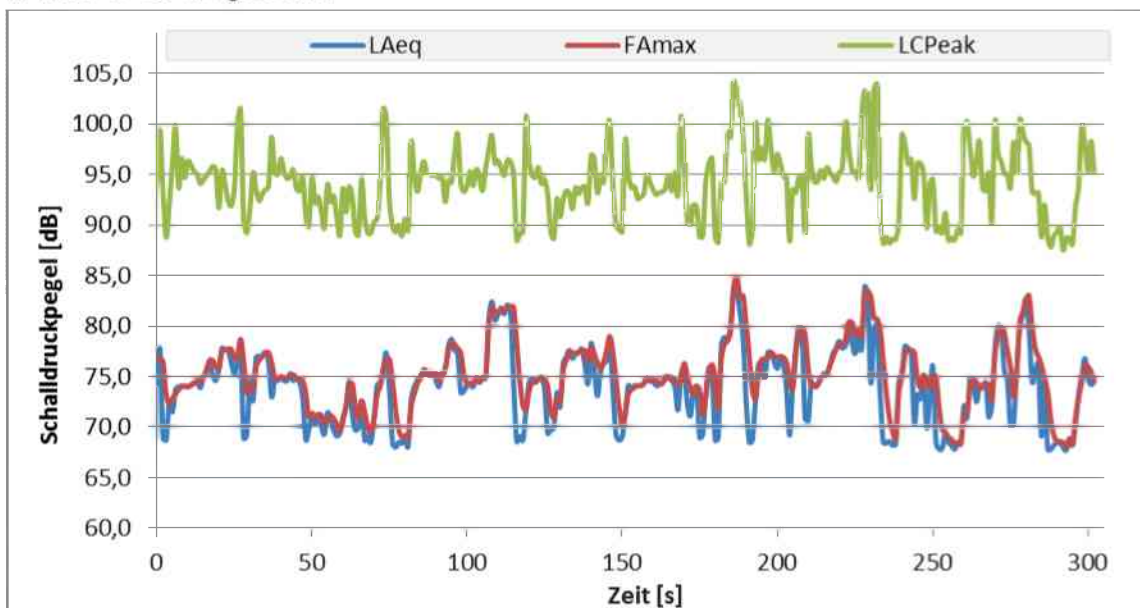


Abb. 6-33: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Umgebung: MP2: Verlauf der Dauermessung

Wenn der Zeitraum der Schalldruckpegelmessung, in welchem der Tunnelbagger an Messpunkt 1 vorbei fuhr, außer Acht gelassen wird, dann wurde für den Umgebungslärm in Messpunkt 2 ein höherer Schalldruckpegel aufgezeichnet. Ansonsten übertrafen die Ergebnisse der Spitzenschalldruckpegel im ersten Messpunkt jene des zweiten.

6.2.2.3 Anker nachschneiden bzw. nachziehen und Ankerplatten freischlagen

Dauermessung 1 fand über einen Zeitraum von drei Minuten und zwölf Sekunden statt. Sie wurde 20 m hinter der Ortsbrust aufgenommen. Die zweite Dauermessung dauerte drei Minuten und 37 Sekunden lang und wurde hinter der Hebebühne aufgenommen. Bei beiden Dauermessungen war die Zeitkonstante auf „SLOW“ eingestellt.

Dauermessung 1		Dauermessung 2	
L_{Aeq}	84,9 dB	L_{Aeq}	83,6 dB
F_{Amax}	91,8 dB	F_{Amax}	93,9 dB
F_{Amin}	73,3 dB	F_{Amin}	74,3 dB
SEL_A	107,8 dB	SEL_A	107,0 dB
L_{APeak}	112,0 dB	L_{APeak}	117,4 dB
L_{Ceq}	87,6 dB	L_{Ceq}	88,1 dB
F_{Cmax}	92,5 dB	F_{Cmax}	94,0 dB
F_{Cmin}	78,0 dB	F_{Cmin}	79,4 dB
SEL_C	110,4 dB	SEL_C	111,4 dB
L_{CPeak}	110,5 dB	L_{CPeak}	115,5 dB

Tab. 6-21: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden bzw. nachziehen und Ankerplatten freischlagen: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2

In Tab. 6-21 sind die Zusammenfassungen des Messgeräts verzeichnet. Tab. 6-22 listet die Minima, Maxima und Mittelwerte der Ergebnisse für F_{Amax} , L_{Aeq} und L_{CPeak} auf. Die Messwerte beider Dauermessungen waren sehr ähnlich. Dauermessung 2 wies etwas höhere A- und C-bewertete Schalldruckpegel auf. Bei den Spitzenschalldruckpegeln wurde die größte Abweichung festgestellt, wobei auch dort die Werte der zweiten Dauermessung größer als jene der ersten waren.

		L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Dauermessung 1	Minimum	73,2	73,6	89,0
	Maximum	92,0	91,8	110,5
	Mittelwert	82,3	83,2	97,9
Dauermessung 2	Minimum	73,0	74,6	90,2
	Maximum	93,3	93,9	115,5
	Mittelwert	81,8	83,0	99,8
gemeinsamer	Mittelwert	82,1	83,1	98,9

Tab. 6-22: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden bzw. nachziehen und Ankerplatten freischlagen: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} : Vergleich der Dauermessungen

Dauermessung 1 ist in Abb. 6-34 abgebildet. Zwischen der 35ten und der 50ten Sekunde und nach Sekunde 150 wurden Anker abgetrennt. Dieser Arbeitsschritt ist im Verlauf, als höhere Werte, erkennbar. Über die gesamte Messdauer wurde lockeres Material aus dem Bewehrungsgitter geklopft. Außerdem wurden die Ankerplatten von Mörtel befreit.

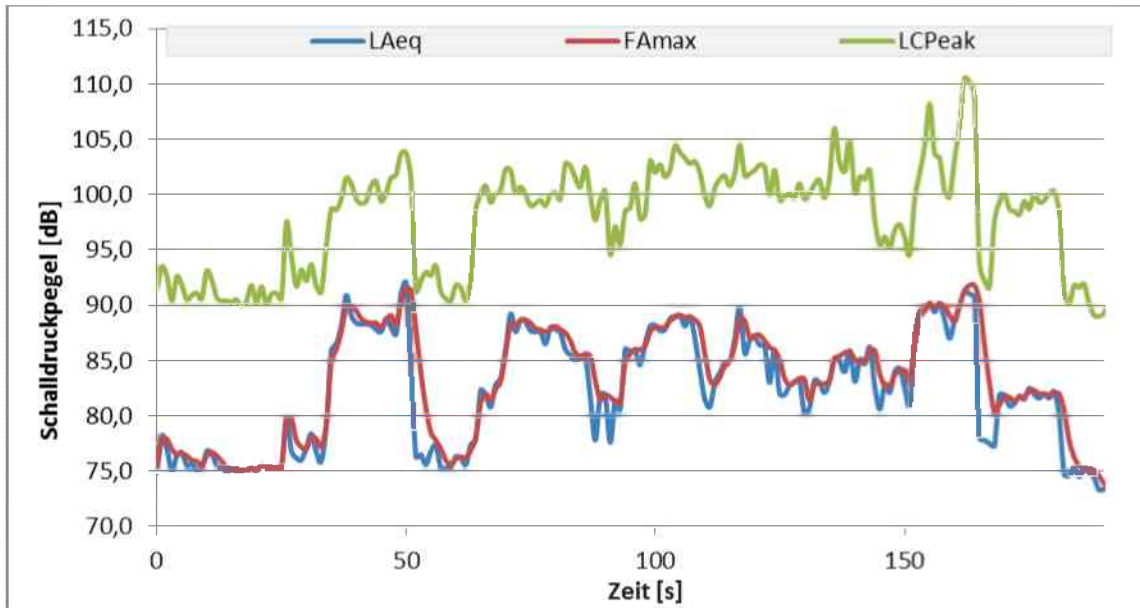


Abb. 6-34: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden und Ankerplatten freischlagen: Verlauf Dauermessung 1

Der Verlauf von Dauermessung 2 ist in Abb. 6-35 dargestellt. Während der Dauermessung wurden die Anker nachgezogen und die Ankerplatten von Mörtel befreit. Das Nachziehen erfolgte mithilfe eines Schlagschraubers.

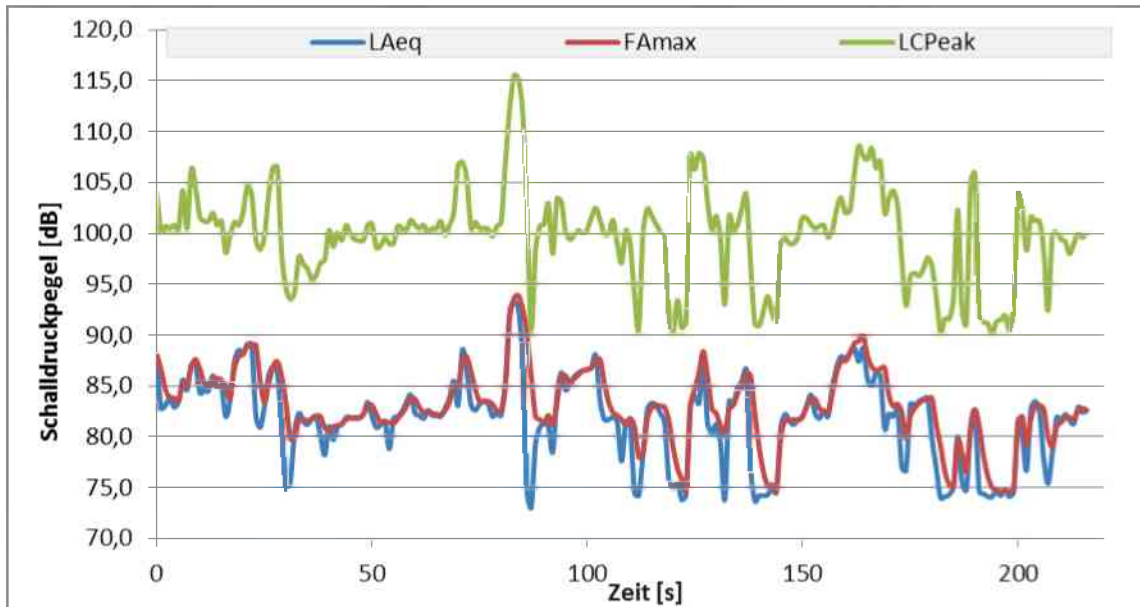


Abb. 6-35: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachziehen und Ankerplatten freischlagen: Verlauf Dauermessung 2

Die Messdaten der ersten Dauermessung sind in Tab. 14-29 verzeichnet und die der zweiten in Tab. 14-30. Beide befinden sich in Anhang 14.2.

6.2.2.4 Tunnelbagger

Der Schalldruckpegel des Tunnelbaggers wurde in vier Dauermessungen aufgezeichnet. Außerdem wurden während der zweiten und der vierten

Dauermessung einige Messdaten mit notiert. Daraus ergaben sich Messung 1 und Messung 2.

Dauermessung 1 und Dauermessung 2 wurden mit der Zeiteinstellung „SLOW“ aufgenommen. Die Erste dauerte 27 Sekunden lang an. Durch sie wurden Erdarbeiten aufgezeichnet. Bei der zweiten Dauermessung wurde die Kalottensohle durch den Tunnelbagger ausgehoben. Sie fand ungefähr 20 m hinter der Ortsbrust über einen Zeitraum von fünf Minuten und 55 Sekunden statt.

Während Dauermessung 3 und Dauermessung 4 wurde die Sohle ausgebrochen. Dabei war die Einstellung der Zeitkonstante „FAST“. Beide Dauermessungen wurden ungefähr 30 hinter der Ortsbrust der Sohle aufgenommen. Dauermessung 3 erfolgte über fünf Minuten und eine Sekunde und die vierte Dauermessung war fünf Minuten und 14 Sekunden lang.

Dauermessung 1		Dauermessung 2		Dauermessung 3		Dauermessung 4	
L _{Aeq}	80,8 dB	L _{Aeq}	80,7 dB	L _{Aeq}	80,4 dB	L _{Aeq}	80,8 dB
F _{Amax}	85,3 dB	F _{Amax}	88,6 dB	F _{Amax}	92,3 dB	F _{Amax}	85,3 dB
F _{Amin}	78,9 dB	F _{Amin}	75,9 dB	F _{Amin}	75,3 dB	F _{Amin}	78,9 dB
SEL _A	95,1 dB	SEL _A	106,1 dB	SEL _A	105,2 dB	SEL _A	95,1 dB
L _{APeak}	96,4 dB	L _{APeak}	107,9 dB	L _{APeak}	104,6 dB	L _{APeak}	96,4 dB
L _{Ceq}	88,9 dB	L _{Ceq}	92,1 dB	L _{Ceq}	91,9 dB	L _{Ceq}	88,9 dB
F _{Cmax}	91,7 dB	F _{Cmax}	100,3 dB	F _{Cmax}	102,4 dB	F _{Cmax}	91,7 dB
F _{Cmin}	86,3 dB	F _{Cmin}	86,2 dB	F _{Cmin}	85,1 dB	F _{Cmin}	86,3 dB
SEL _C	103,2 dB	SEL _C	117,5 dB	SEL _C	116,7 dB	SEL _C	103,2 dB
L _{CPeak}	103,4 dB	L _{CPeak}	115,7 dB	L _{CPeak}	110,0 dB	L _{CPeak}	103,4 dB

*Tab. 6-23: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger:
Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1, Dauermessung 2,
Dauermessung 3 und Dauermessung 4*

In Tab. 6-23 sind die automatisch erstellten Zusammenfassungen des Messgerätes aufgelistet und in Tab. 6-24 befinden sich die Minima, Maxima und Mittelwerte der A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel bzw. maximalen Schalldruckpegel und der C-bewerteten Spitzenschalldruckpegel.

Bei der Untersuchung der Daten aus Tab. 6-23 wurden die A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel und sowohl die A- als auch die C-bewerteten minimalen Schalldruckpegel als gleichwertig befunden. Die restlichen Ergebnisse wiesen bei Dauermessung 2 und Dauermessung 3 höhere Werte als bei den anderen beiden auf. Dabei waren die Abweichungen bei den C-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegeln gering und bei den maximalen A-bewerteten nur marginal höher. Große Unterschiede wurden bei den C-bewerteten maximalen Schalldruckpegeln, bei den Spitzenschalldruckpegeln und den SEL-Pegeln registriert.

Die Daten der Tabelle Tab. 6-24 unterstreichen diese Ergebnisse. Das Minimum des L_{Aeq} war bei Dauermessung 1 ein wenig höher als bei den anderen drei und das Maximum war bei ihr am geringsten. Minima und Maxima des A-bewerteten maximalen Schalldruckpegels verhielten sich gleichartig. Bei den Mittelwerten gab es für alle drei Messwerte und alle Dauermessungen keine größeren Abweichungen.

Wie die Daten der Zusammenfassung erwarten ließen, wurde der größte Unterschied bei den Maxima der C-bewerteten Spitzenschalldruckpegel detektiert.

		L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Dauermessung 1	Minimum	78,4	79,0	96,9
	Maximum	85,4	85,3	103,4
	Mittelwert	80,4	80,6	99,4
Dauermessung 2	Minimum	75,8	76,0	96,2
	Maximum	87,8	88,6	115,7
	Mittelwert	80,0	80,3	101,2
Dauermessung 3	Minimum	76,2	76,6	97,2
	Maximum	88,8	92,3	110,0
	Mittelwert	79,8	81,4	102,1
Dauermessung 4	Minimum	76,1	77,0	96,7
	Maximum	89,8	93,4	112,3
	Mittelwert	80,6	82,7	101,6
gemeinsamer	Mittelwert	80,2	81,4	101,6

Tab. 6-24: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} : Vergleich der Dauermessungen

Der Verlauf der ersten Dauermessung ist in Abb. 6-36: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Erdarbeiten: Verlauf Dauermessung 1 dargestellt. Er verlief relativ konstant, aber nur kurz. Der Grund für die geringe Messdauer lag in einem Abbruch der Erdarbeiten. Für die Daten der Messung ist Tab. 14-31 des Anhangs 14.2 heranzuziehen.

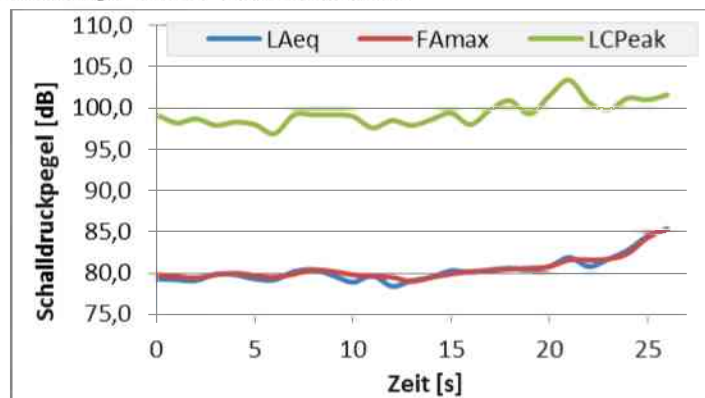


Abb. 6-36: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Erdarbeiten: Verlauf Dauermessung 1

Dauermessung 2 ist in Abb. 6-37 abgebildet. Gleichzeitig wurden die Daten der Messung 1 aufgeschrieben. Diese ist in Abb. 6-38 zu sehen. In beiden Graphiken ist ein Abfall der Schalldruckpegel ersichtlich. Bei der Dauermessung fand dies zwischen Sekunde 88 und Sekunde 170 statt und bei Messung 1 in der ersten Hälfte. Der Grund dafür lag in der Einstellung der Grabungsarbeiten an der Kalottensohle, um den hergestellten Aushub begutachten zu können. Danach wurde weiter gegraben und der Schalldruckpegel und in Folge auch die Ergebnisse für L_{Aeq} ,

F_{Amax} und L_{CPeak} stiegen wieder an. Die Unruhe im Verlauf der Abbildung Abb. 6-37, ab Sekunde 280, war auf das Wegfahren einer Mulde zurückzuführen.

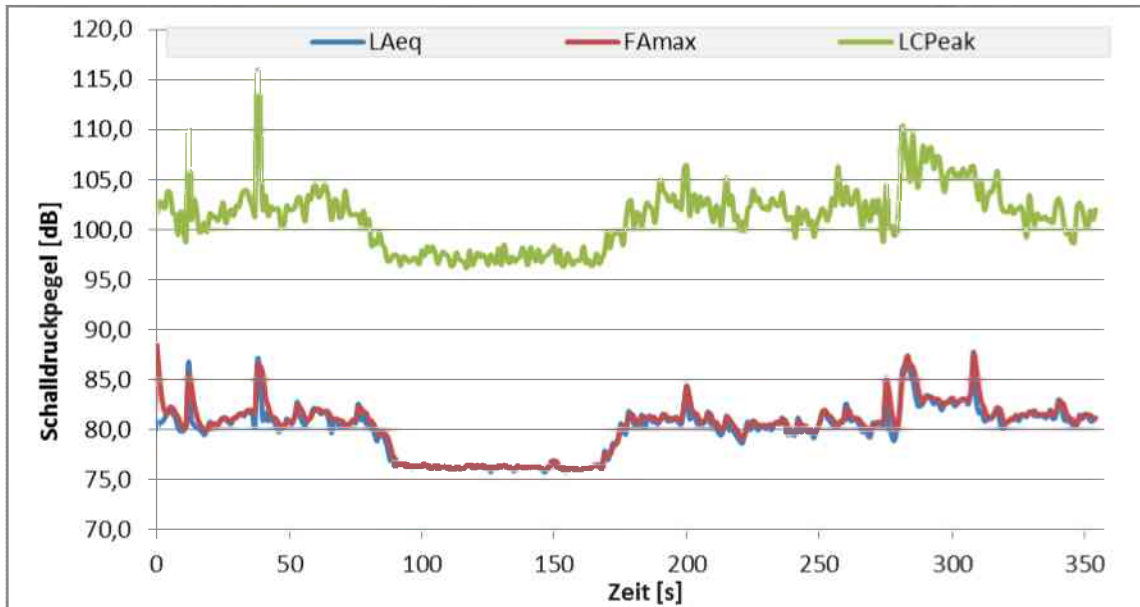


Abb. 6-37: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Ausbruch Kalottensohle: Verlauf Dauermessung 2

Der A-bewertete Schalldruckpegel der Messung 1 schwankte zwischen 76,2 dB (A) und 92,2 dB (A). Das Minimum des C-bewerteten Schalldruckpegels lag bei 85,8 dB (C) und das Maximum bei 98,4 dB (C). Die Mittelwerte wurden mit 80,1 dB (A) bzw. 90,1 dB (C) berechnet.

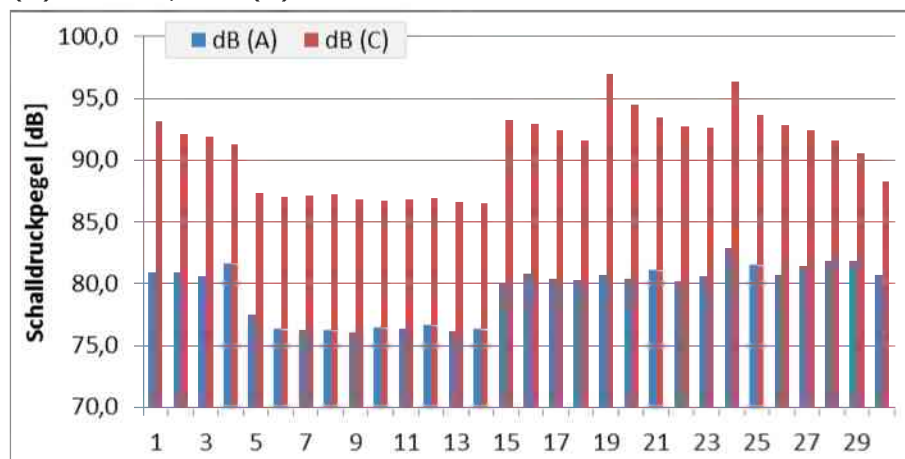


Abb. 6-38: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Ausbruch Kalottensohle: Messung 1

Die Daten der Dauermessung 2 befinden sich in Tab. 14-32 und die der Messung 1 in Tab. 14-35. Beide sind im Anhang 14.2 zu finden.

Dauermessung 3 und Dauermessung 4 wurden während des Aushubs der Sohle aufgenommen. Diese Arbeitsstätte befand sich bei TM 160.

Die Verläufe der Dauermessungen sind in Abb. 6-39 bzw. Abb. 6-40 abgebildet. Beide wiesen einen unruhigen, aber doch konstanten, Verlauf auf und sie ähneln

einander sehr. Zusätzlich zu Dauermessung 3 und Dauermessung 4 wurden bei der vierten einige Daten mit notiert. Diese sind in Abb. 6-41 zu sehen. Sie entsprechen den Ergebnissen der Dauermessung.

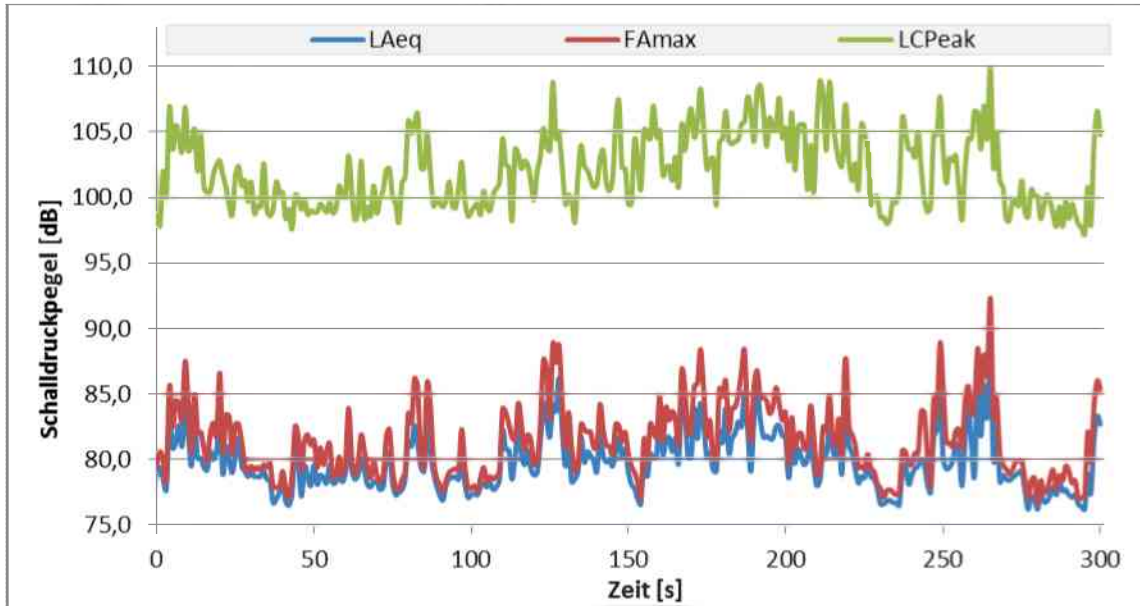


Abb. 6-39: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Ausbruch Sohle: Verlauf Dauermessung 3

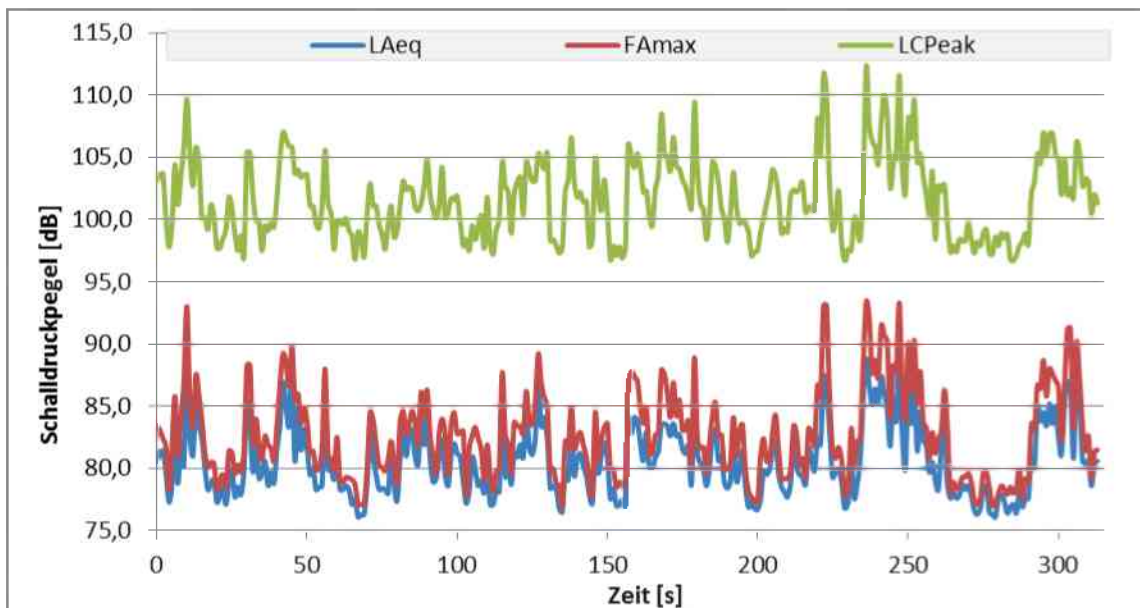


Abb. 6-40: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Ausbruch Sohle: Verlauf Dauermessung 4

In Anhang 14.2 sind die Tabellen mit den Ergebnissen zu finden. Tab. 14-33 listet die Daten der Dauermessung 3 und Tab. 14-34 jene der vierten. Die Werte der Messung 2 sind in Tab. 14-35 verzeichnet. Dabei wurden Minima von 76,0 dB (A) und 86,5 dB (C) erkannt, sowie Maxima in der Höhe von 82,9 dB (A) bzw. 97,0 dB (C). Die Mittelwerte wurden mit 79,5 dB (A) für den A-bewerteten Schalldruckpegel und 90,8 dB (C) für den C-bewerteten berechnet.

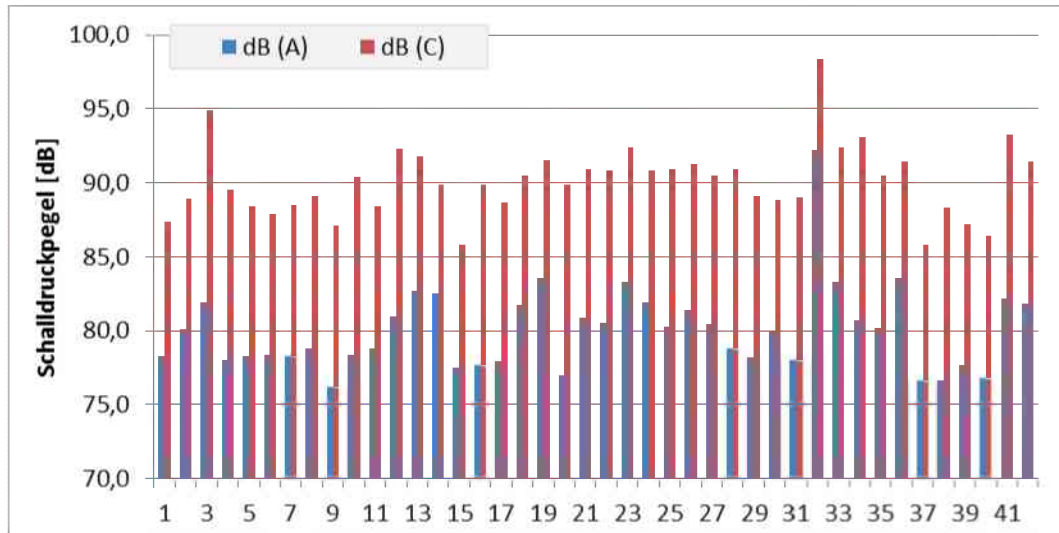


Abb. 6-41: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Ausbruch Sohle: Messung 2

6.2.2.5 Auftragen von Spritzbeton

Beim Auftragen des Spritzbetons an der Kalotte und der Tunnellaibung wurden zwei Dauermessungen aufgezeichnet. Die Einstellung der Zeitkonstante war bei beiden „SLOW“.

Dauermessung 1 wurde von Messpunkt 2 aus aufgenommen. Sie dauerte fünf Minuten und 20 Sekunden lang an. Dauermessung 2 wurde neben der Spritzbetonaufgabe des Spritzbüffles aufgezeichnet. Der Messzeitraum betrug nur 38 Sekunden, da danach der Arbeitsschritt beendet und kein weiterer Spritzbeton aufgetragen wurde.

Dauermessung 1		Dauermessung 2	
L_{Aeq}	84,9 dB	L_{Aeq}	88,8 dB
F_{Amax}	98,4 dB	F_{Amax}	91,3 dB
F_{Amin}	82,0 dB	F_{Amin}	86,3 dB
SEL_A	109,9 dB	SEL_A	104,6 dB
L_{APeak}	119,7 dB	L_{APeak}	104,0 dB
L_{Ceq}	92,1 dB	L_{Ceq}	97,1 dB
F_{Cmax}	98,8 dB	F_{Cmax}	98,1 dB
F_{Cmin}	90,6 dB	F_{Cmin}	96,0 dB
SEL_C	117,2 dB	SEL_C	112,9 dB
L_{CPeak}	119,2 dB	L_{CPeak}	109,5 dB

Tab. 6-25: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2

In Tab. 6-25 sind die vom Messgerät automatisch erstellten Zusammenfassungen der beiden Dauermessungen zu sehen. Die erste Dauermessung verfügte über ein größeres Spektrum der Schalldruckpegel. Dies war durch den Vergleich der minimalen und maximalen A- und C-bewerteten Schalldruckpegel ersichtlich. Der Grund lag im deutlich längeren Messzeitraum der Dauermessung 1.

Sowohl der A- als auch der C-bewertete Spitzenschalldruckpegel war bei der ersten Dauermessung höher als bei der zweiten. Dies war auf den Peak am Ende der

ersten Messung zurückzuführen. Der Peak entstand durch zusätzliche Geräusche, in diesem Fall das Aufeinanderschlagen von Metallteilen.

		L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Dauermessung 1	Minimum	80,3	82,8	100,5
	Maximum	96,0	98,4	119,2
	Mittelwert	84,4	85,2	103,3
Dauermessung 2	Minimum	86,0	86,6	105,7
	Maximum	92,1	91,3	109,5
	Mittelwert	88,5	89,1	107,4
gemeinsamer	Mittelwert	84,8	85,7	103,7

Tab. 6-26: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} : Vergleich der Dauermessungen

Die Minima, Maxima und Mittelwerte der sekundlich gespeicherten Messwerte sind in Tab. 6-26 aufgelistet. Zwischen den Mittelwerten ist kein großer Unterschied erkennbar. Die Bandbreite der aufgezeichneten Werte L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} war wie bei den Daten in Tab. 6-25 bei Dauermessung 1 größer als bei Dauermessung 2.

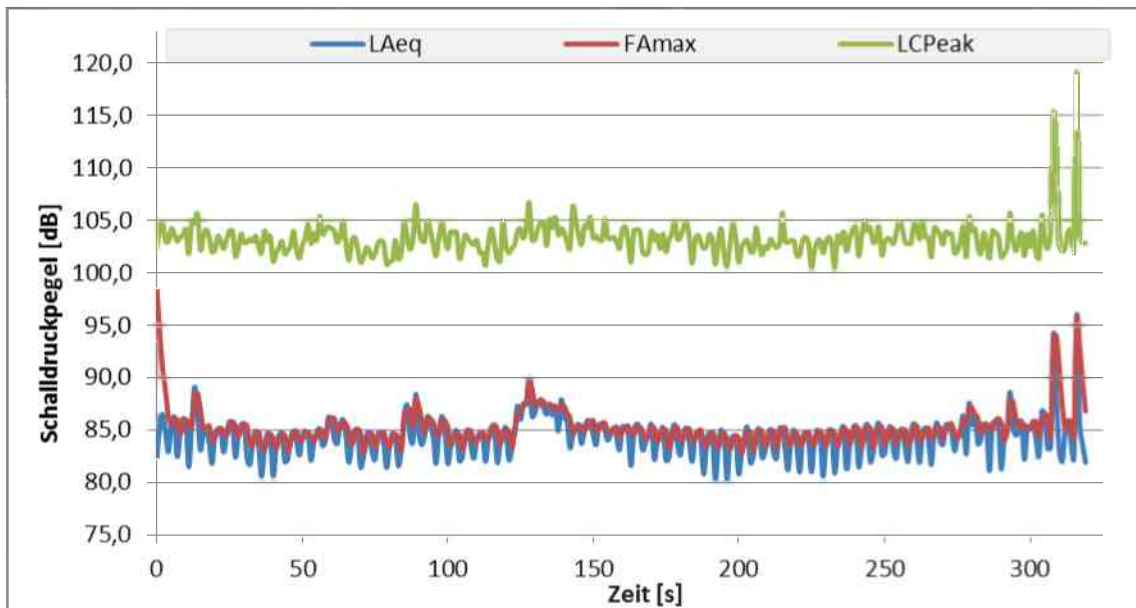


Abb. 6-42: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Verlauf Dauermessung 1

In Abb. 6-42 ist der Verlauf der ersten Dauermessung dargestellt und in Abb. 6-43 der Verlauf der zweiten. Beide Messungen sind in sich relativ konstant. Einzige Ausnahme bildet der Peak am Ende der ersten Messung. Für die Quelldaten sind Tab. 14-36 und Tab. 14-37, Anhang 14.2, heranzuziehen.

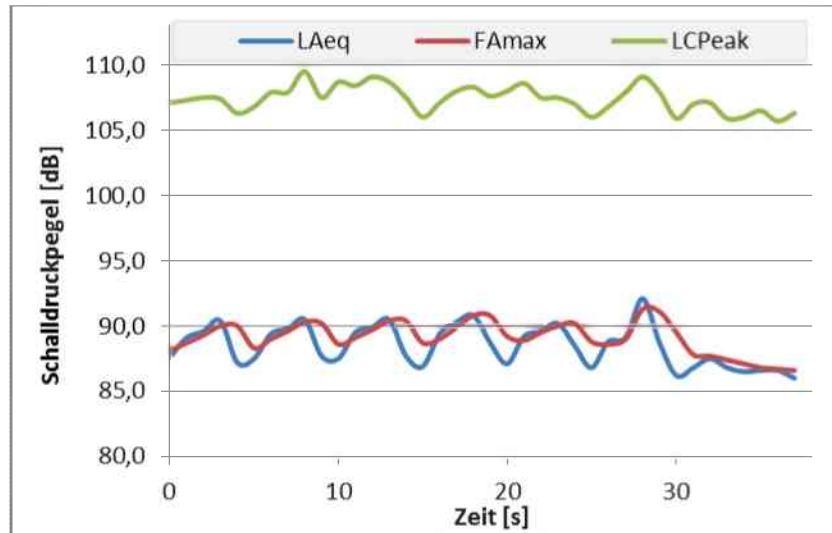


Abb. 6-43: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Verlauf Dauermessung 2

Gleichzeitig mit der Aufzeichnung der Dauermessung 1 wurden einzelne A- und C-bewertete Schalldruckpegel händisch mitnotiert. Diese Daten sind Abb. 6-44 zu entnehmen. Die Messwerte befinden sich in Tab. 14-38 des Anhangs 14.2.

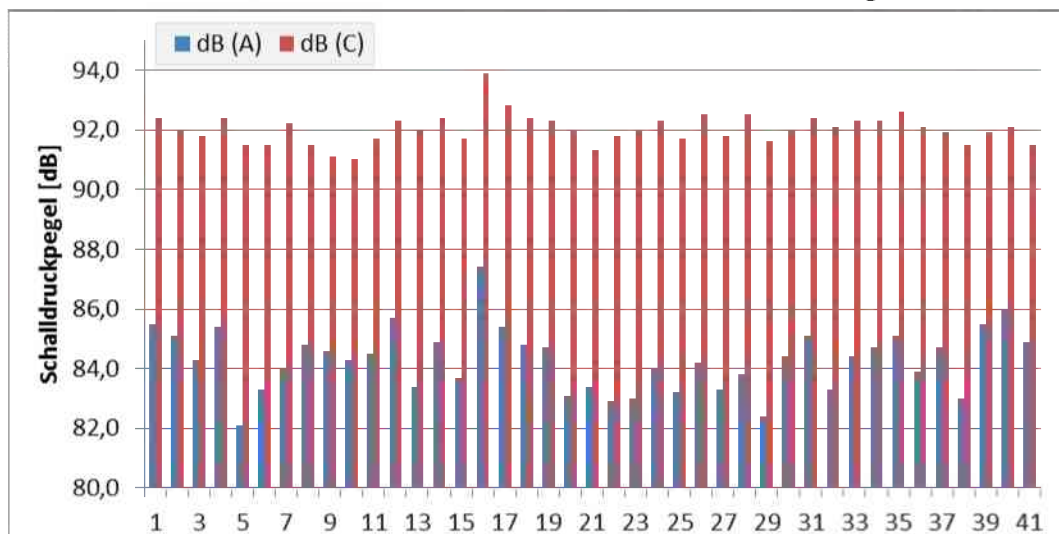


Abb. 6-44: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen

6.2.2.6 Auftragen von Spritzbeton auf der Sohle

Während dieses Arbeitsschrittes wurden zwei Dauermessungen durchgeführt. Des Weiteren wurden einige Daten gleichzeitig zu Dauermessung 1 mit notiert. Die Dauermessungen fanden hinter dem Spritzbüffel statt. Bei beiden war die Einstellung der Zeitkonstante „FAST“. Dauermessung 1 dauerte fünf Minute und zwei Sekunden lang an. Der Zeitraum der Dauermessung 2 betrug eine Minute und 57 Sekunden.

Dauermessung 1		Dauermessung 2	
L _{Aeq}	82,8 dB	L _{Aeq}	83,7 dB
F _{Amax}	87,8 dB	F _{Amax}	94,6 dB
F _{Amin}	78,8 dB	F _{Amin}	75,6 dB
SEL _A	107,6 dB	SEL _A	104,3 dB
L _{APeak}	104,5 dB	L _{APeak}	105,8 dB
L _{Ceq}	91,6 dB	L _{Ceq}	91,4 dB
F _{Cmax}	95,4 dB	F _{Cmax}	97,3 dB
F _{Cmin}	87,9 dB	F _{Cmin}	87,1 dB
SEL _C	116,4 dB	SEL _C	112,0 dB
L _{CPeak}	107,5 dB	L _{CPeak}	108,1 dB

Tab. 6-27: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Sohle spritzen: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2

Das Schalldruckpegelmessgerät erstellte für beide Dauermessungen eine Zusammenfassung. Diese sind in Tab. 6-27 verzeichnet. Die SEL-Pegel der ersten Dauermessung waren höher als jene der zweiten. Im Gegensatz dazu waren die Werte der maximalen Schalldruckpegel und der Spitzenschalldruckpegel der Zweiten höher.

In Tab. 6-28 sind die Minima, Maxima und Mittelwerte der A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel und maximalen Schalldruckpegel, sowie der C-bewerteten Spitzenschalldruckpegel aufgelistet. Die Maxima waren bei allen drei Werten in Dauermessung 2 am höchsten und die Minima waren in jener am geringsten. Bei den Mittelwerten wurden keine großen Abweichungen festgestellt.

		L _{Aeq} [dB]	F _{Amax} [dB]	L _{CPeak} [dB]
Dauermessung 1	Minimum	80,3	81,6	99,4
	Maximum	85,1	87,8	107,5
	Mittelwert	82,7	84,5	103,2
Dauermessung 2	Minimum	76,5	77,2	97,9
	Maximum	88,9	94,6	108,1
	Mittelwert	83,4	84,7	102,6
gemeinsamer	Mittelwert	82,9	84,2	102,7

Tab. 6-28: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Sohle spritzen: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq}, F_{Amax} und L_{CPeak}: Vergleich der Dauermessungen

Der Unterschied zwischen den beiden Dauermessungen war gering. Dies war sowohl aus den Werten in den Tabellen als auch den Verläufen der Dauermessungen erkennbar. Für die Messwerte der Dauermessungen sind die Tabellen Tab. 14-40 und Tab. 14-41 heranzuziehen. Sie befinden sich im Anhang 14.2.

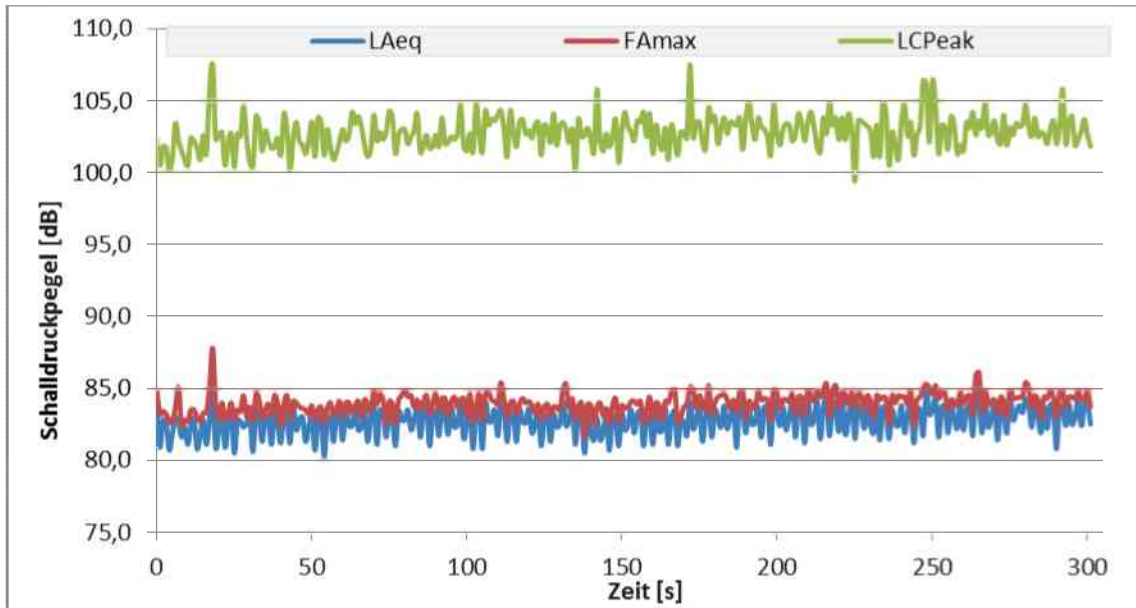


Abb. 6-45: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Sohle spritzen: Verlauf Dauermessung 1

Dauermessung 1 ist in Abb. 6-45 abgebildet und Dauermessung 2 in Abb. 6-46. Die Verläufe der drei Datensätze waren bei beiden Dauermessungen regelmäßig. Beim Verlauf der Zweiten sanken die Schalldruckpegel am Ende der Messdauer ab. Der Grund dafür war das Einstellen des Spritzbetonauftrags. Deswegen wurde nicht weiter gemessen und Dauermessung 2 endete nach einer Minute und 57 Sekunden. Die Spitze bei Sekunde 80 war auf die Bewegung des Bewehrungsgitters zurückzuführen.

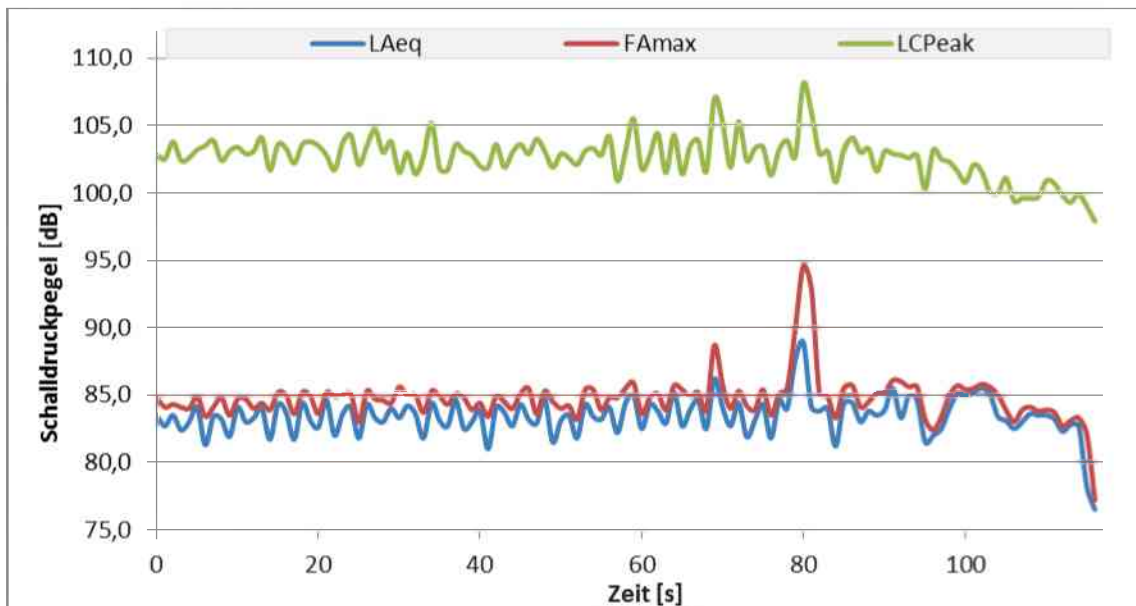


Abb. 6-46: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Sohle spritzen: Verlauf Dauermessung 2

Die Messwerte, welche gleichzeitig zu Dauermessung 1 notiert wurden, sind in Abb. 6-47 dargestellt und in Tab. 14-39 des Anhangs 14.2 aufgelistet. Sie waren

genauso regelmäßig wie jene der beiden Dauermessungen. Das Minimum des A-bewerteten Schalldruckpegels wurde bei 80,0 dB (A) registriert und jenes des C-bewerteten bei 82,2 dB (C). Die gemessenen Maxima betragen 85,0 dB (A) und 93,5 dB (C) und die Mittelwerte wurden mit 82,7 dB (A) bzw. 91,3 dB (C) berechnet.

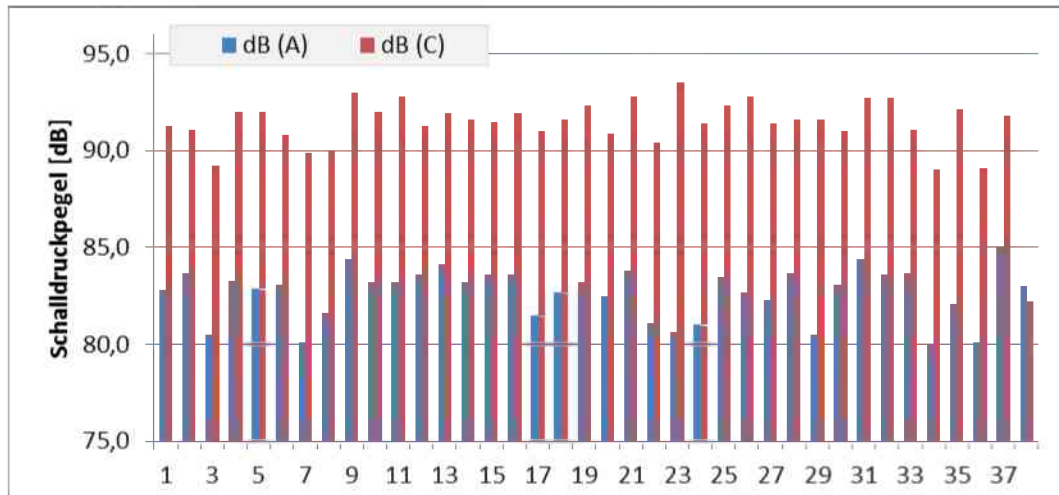


Abb. 6-47: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Sohle spritzen

6.2.2.7 Gittern der Sohle

Während des Gitterns der Sohle wurde eine Dauermessung mit fünf Minuten und zwei Sekunden aufgenommen. Durch das menschliche Ohr wurde hauptsächlich das Geräusch des Spritzbüffels im Leerlauf wahrgenommen. Die Dauermessung erfolgte neben dem Aushub der Sohle. Ihre Zeitkonstante war auf „FAST“ eingestellt.

L_{Aeq}	75,7 dB
F_{Amax}	83,9 dB
F_{Amin}	73,9 dB
SEL_A	100,5 dB
L_{APeak}	101,3 dB
L_{Ceq}	82,9 dB
F_{Cmax}	86,6 dB
F_{Cmin}	80,0 dB
SEL_C	107,7 dB
L_{CPeak}	100,2 dB

Tab. 6-29: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Gittern der Sohle: Zusammenfassung des Messgerätes

In Tab. 6-29 ist die Zusammenfassung des Messgerätes mit den minimalen und maximalen Schalldruckpegeln und den äquivalenten Dauerschallpegeln, sowie den Spitzenschalldruckpegeln und den SEL-Pegeln aufgelistet. Die Minima, Maxima und Mittelwerte der periodisch gespeicherten Daten L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} sind in Tab. 6-30 verzeichnet. Der Verlauf dieser Werte ist in Abb. 6-48 abgebildet und die Messwerte sind in Tab. 14-42 des Anhangs 14.2 aufgeführt. Das Gittern der Sohle ist in Abb. 6-49 zu sehen.

	L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Minimum	74,7	75,1	90,9
Maximum	81,3	83,9	100,2
Mittelwert	75,6	76,2	93,6

Tab. 6-30: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Gittern der Sohle: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}

Der Verlauf der Dauermessung war, von ein paar Spitzen abgesehen, relativ gleichmäßig. Diese Spitzen waren auf die Positionierung des Bewehrungsgitters zurückzuführen.

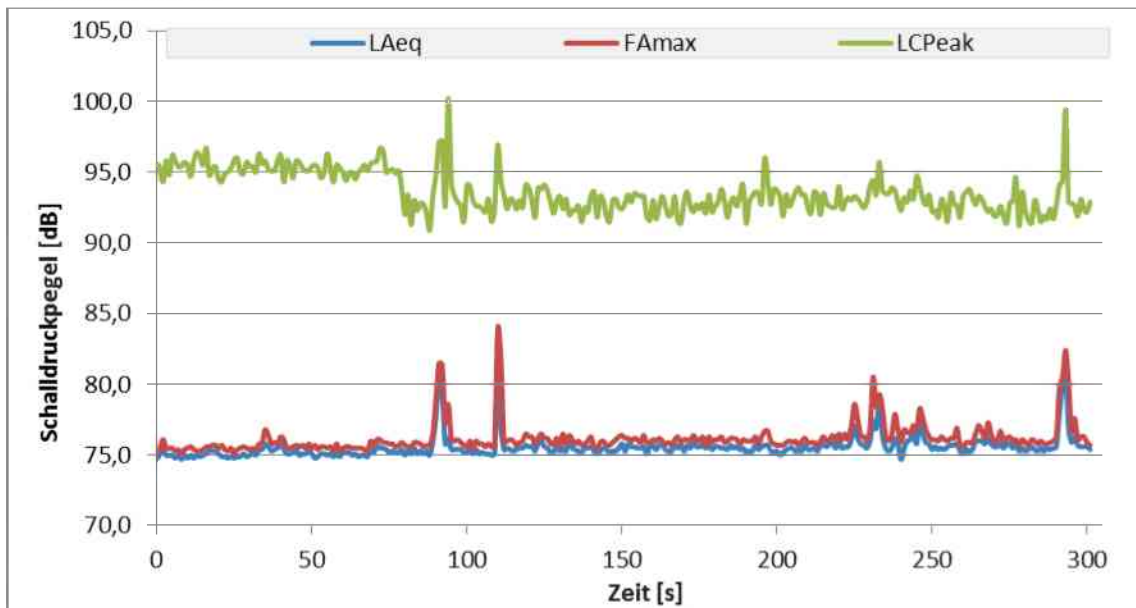


Abb. 6-48: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Gittern der Sohle: Verlauf der Dauermessung



Abb. 6-49: Stein West: Gittern der Sohle

6.2.2.8 Bohren

Dauermessung 1 und Dauermessung 2 fanden auf Höhe der Fahrerkabine des Bohrwagens statt. Bei beiden war die Zeitkonstante auf „SLOW“ eingestellt. Messung 1 wurde parallel zur ersten Dauermessung aufgeschrieben und Messung 2 parallel zur zweiten. Zusätzlich wurden Daten einer dritten Messung notiert. Sie wurde genauso wie die anderen neben der Fahrerkabine aufgenommen. Die erste Dauermessung wurde über einen Zeitraum von drei Minuten und neun Sekunden aufgenommen. Dabei war ein Arm des Bohrwagens im Einsatz. Dauermessung 2 dauerte ebenso drei Minuten und neun Sekunden lang an. Währenddessen wurde mit beiden Armen des Bohrwagens gearbeitet.

Dauermessung 1		Dauermessung 2	
L_{Aeq}	90,8 dB	L_{Aeq}	96,4 dB
F_{Amax}	102,5 dB	F_{Amax}	101,9 dB
F_{Amin}	82,1 dB	F_{Amin}	86,1 dB
SEL_A	113,6 dB	SEL_A	119,1 dB
L_{APeak}	119,5 dB	L_{APeak}	118,1 dB
L_{Ceq}	90,8 dB	L_{Ceq}	95,7 dB
F_{Cmax}	101,1 dB	F_{Cmax}	100,7 dB
F_{Cmin}	84,3 dB	F_{Cmin}	89,7 dB
SEL_C	113,6 dB	SEL_C	118,5 dB
L_{CPeak}	117,7 dB	L_{CPeak}	116,9 dB

Tab. 6-31: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2

Die automatisch erstellten Zusammenfassungen des Messgeräts sind in Tab. 6-32 angeführt. Bei beiden Dauermessungen wurden ähnliche Ergebnisse registriert, wobei die erste größere Schwankungsbereiche sowohl für den A- als auch den C-bewerteten Schalldruckpegel aufwies. Außerdem wurden bei Dauermessung 1 marginal größere Spitzenschalldruckpegel festgestellt. Die SEL-Pegel und äquivalenten Dauerschallpegel beider Bewertungen waren bei Dauermessung 2 höher.

		L_{Aeq} [dB]	F_{Amax} [dB]	L_{CPeak} [dB]
Dauermessung 1	Minimum	81,8	82,3	95,2
	Maximum	102,6	102,5	117,7
	Mittelwert	87,8	88,3	101,6
Dauermessung 2	Minimum	85,8	86,6	100,3
	Maximum	101,8	101,9	116,9
	Mittelwert	95,0	95,5	108,3
gemeinsamer	Mittelwert	91,4	91,9	105,0

Tab. 6-32: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} : Vergleich der Dauermessungen

In Tab. 6-32 sind die Minima, Maxima und Mittelwerte der Dauermessungen aufgelistet. Diese Daten stammten aus der periodischen Speicherung, welche sekundlich erfolgte. Sie unterstreichen die Ergebnisse der automatisch erstellten Zusammenfassung.

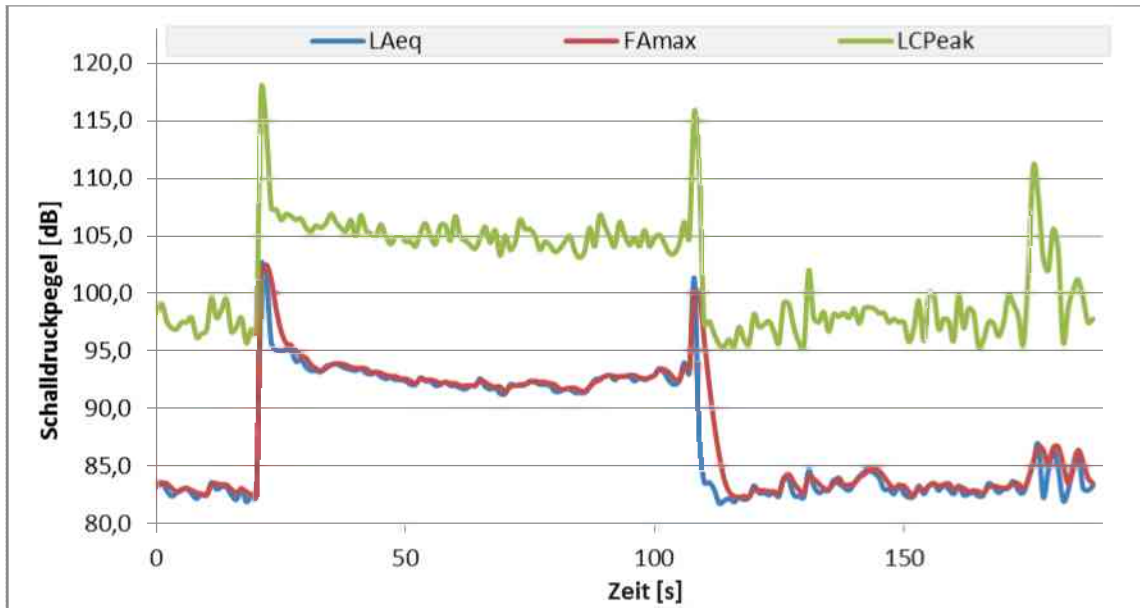


Abb. 6-50: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Verlauf Dauermessung 1

Der Verlauf der Dauermessung 1 ist in Abb. 6-50 erkennbar und die Daten der gleichzeitig notierten Messung 1 in Abb. 6-51. Bei beiden sind Phasen des Leerlaufs und Phasen des Bohrens erkennbar. Gebohrt wurde bei Dauermessung 1 im Bereich zwischen Sekunde 21 und 108 und bei Messung 1 in der ersten Hälfte der Messung. Bei Messung 1 wurden A-bewertete Schalldruckpegel zwischen 82,1 dB (A) und 100,1 dB (A) registriert und der Mittelwert mit 88,6 dB (A) berechnet. Das Minimum des C-bewerteten Schalldruckpegels betrug 82,7 dB (C) und das Maximum 103,0 dB (C). Aus den Messwerten wurde ein Mittelwert von 89,5 dB (C) bestimmt.

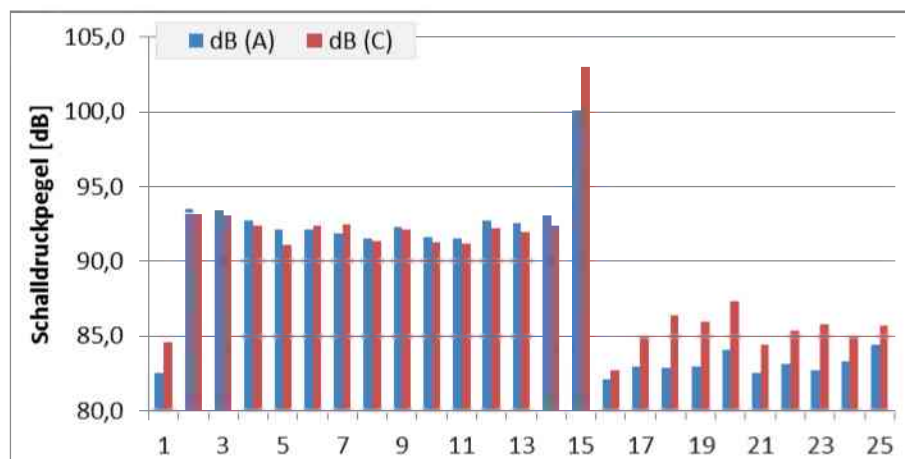


Abb. 6-51: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Messung 1

Dauermessung 2 ist in Abb. 6-52 abgebildet. Die Schalldruckpegel der gleichzeitig vermerkten Messung 2 ist in Abb. 6-53 dargestellt. Im Vergleich zur ersten Dauermessung wurden bei der zweiten ein längerer Zeitraum von Bohrarbeiten und weniger Messwerte des Leerlaufs registriert. Aus diesem Grund waren die berechneten Mittelwerte des A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel und des

maximalen Schalldruckpegels, sowie des C-bewerteten Spitzenschalldruckpegels bei Dauermessung 2 höher als jene der ersten. Auch die SEL-Pegel der zweiten Dauermessung waren höher. Die Mittelwerte sind in Tab. 6-32 aufgelistet und die SEL-Pegel sind Tab. 6-31 zu entnehmen.

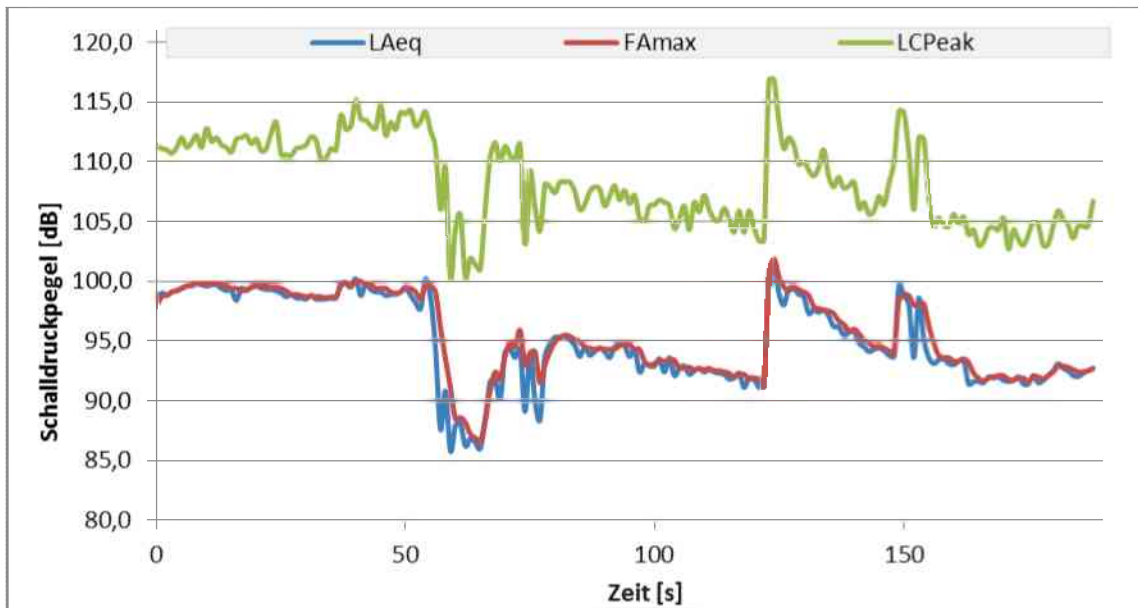


Abb. 6-52: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Verlauf Dauermessung 2

Der Verlauf von Messung 2, Abb. 6-53, ähnelt jenem der Dauermessung 2. Bei Messung 2 wurden für den Schalldruckpegel Minima von 88,2 dB (A) und 90,9 dB (C) detektiert. Die Maxima betragen 100,0 dB (A) bzw. 99,8 dB (C). Sowohl für den A-bewerteten Schalldruckpegel, als auch den C-bewerteten, wurden Mittelwerte in der Höhe von 94,6 dB berechnet.

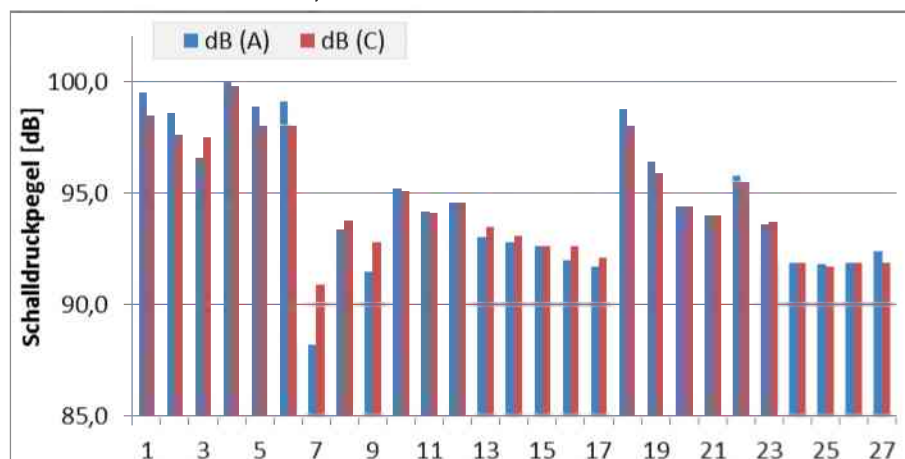


Abb. 6-53: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Messung 2

Für Messung 3 wurden ein paar Daten notiert. Dieser Verlauf ist in Abb. 6-54 dargestellt und war relativ regelmäßig. Die Minima der Schalldruckpegel wurden bei 91,7 dB (A) und 91,5 dB (C) registriert und die Maxima bei 93,8 dB (A) bzw. 92,4 dB (C). Aus den Messwerten wurden Mittelwerte von 92,3 dB (A) und 91,8 dB (C) kalkuliert.

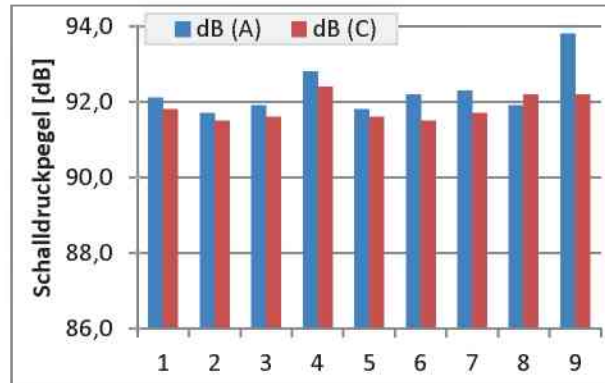


Abb. 6-54: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Messung 3

Die Daten der drei Messungen sind in Tab. 14-43 verzeichnet. Für die Ergebnisse der Dauermessung 1 ist Tab. 14-44 heranzuziehen und jene der Dauermessung 2 sind in Tab. 14-45 angeführt. Alle drei Tabellen befinden sich im Anhang 14.2.

6.3 Gasmessung

Die Gasmessung erfolgte mithilfe tragbarer und an den Messpunkten fix montierter Gasmessgeräte. Aufgrund der Verfügbarkeit waren die tragbaren Messgeräte nicht bei der Langzeitmessung, sondern nur am dritten Tag der Messungen im Einsatz. Somit beziehen sich die Ergebnisse der Messpunkte 1 und 2 auf andere Zeiträume als jene der tragbaren Gasmessgeräte. Alle Gase wurden während Vortriebsarbeiten gemessen.

Die Messungen mit den tragbaren Gasmessgeräten erfolgten über eine Periode von je 15 Sekunden und am Ende einer Periode wurde die maximale Konzentration des jeweiligen Gases gespeichert. Für den Sauerstoff wurden sowohl das Minimum als auch das Maximum jeder Periode aufgezeichnet. In Lind West waren die Messgeräte im Trafoschlitten montiert und in Stein West dahinter. Bei beiden Tunneln wurden sie vor dem Portal eingeschaltet, hineingetragen und für die gesamte Messdauer fix montiert.

6.3.1 Lind West

6.3.1.1 Sauerstoff (O₂)

Die Sauerstoff-Konzentration wurde sowohl mit dem ALTAIR 4X als auch mit dem ALTAIR 5X aufgenommen. Über die gesamte Aufenthaltsdauer im Tunnel Lind West lagen sowohl das Minimum als auch das Maximum bei 20,8 Vol.-% O₂. Diese Werte wurden bei beiden Messgeräten registriert.

6.3.1.2 Kohlenstoffmonoxid (CO)

Beim Verlauf der CO-Konzentration wurden an den fixen Messpunkten zwei Spitzen erfasst und mit den tragbaren Gasmessgeräten, im Bereich des Trafoschlitten, eine. Diese Spitzen wurden immer nach einer Sprengung aufgezeichnet.

Abb. 6-55 zeigt den Verlauf des CO-Gehalts bei den beiden Messpunkten. Bei ihnen wurden zwei Sprengungen registriert. Die Maxima bei Messpunkt 1 wurden beide

Male vier Minuten nach jenen des Messpunktes 2 erfasst. Die erste Spitze wies bei Messpunkt 1 140,9 ppm CO auf und bei Messpunkt 2 211,0 ppm CO auf.

Bei der zweiten Sprengung wurden beim ersten Messpunkt 181,7 ppm CO und beim zweiten 269,0 ppm CO detektiert. Die CO-Konzentration sank in Richtung Portal ab. Tab. 14-46 des Anhangs 14.3 listet die Daten der Messungen.

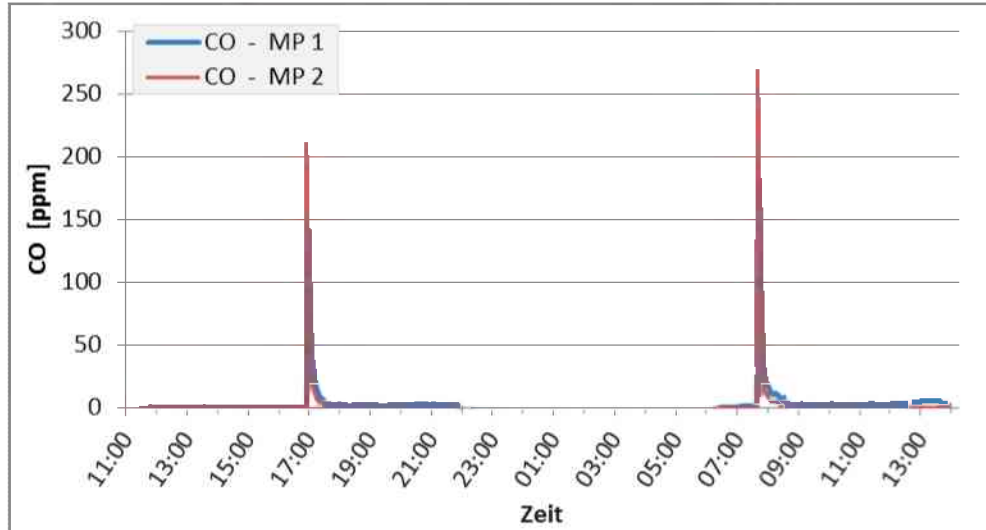


Abb. 6-55: Lind West: Gaskonzentration: CO: MP1 & MP2

In Abb. 6-56 ist der Verlauf der CO-Konzentration für die beiden tragbaren Gasmessgeräte erkennbar. Diese Messung erfolgte am dritten Tag. Dabei wurden vom ALTAIR 4X ein Maximum von 223 ppm CO detektiert. Beim ALTAIR 5X betrug es 237 ppm. Für die Messwerte ist Tab. 14-47, Anhang 14.3, heranzuziehen.

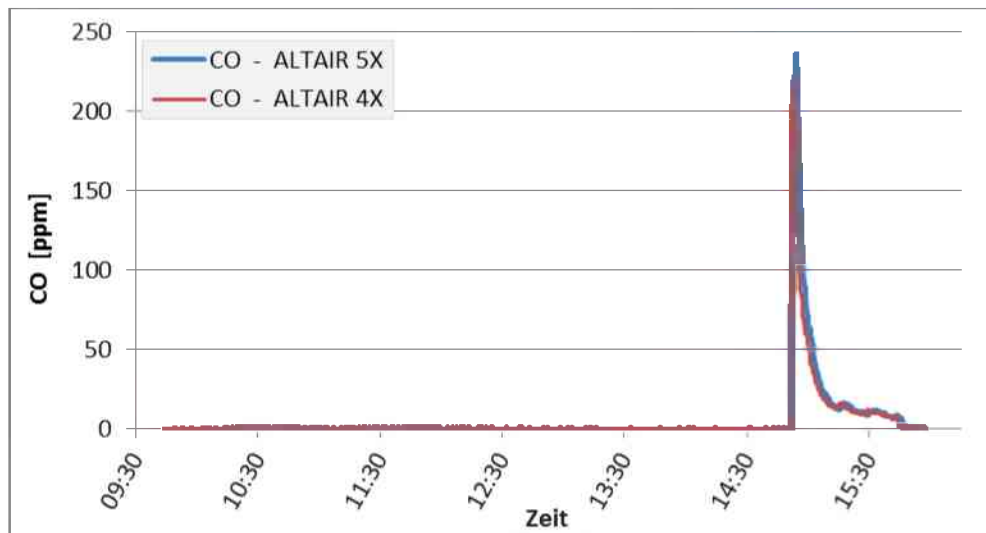


Abb. 6-56: Lind West: Gaskonzentration: CO

Nach jeder Sprengung ist eine Bewetterungszeit von 15 Minuten vorgeschrieben. In diesem Zeitraum ist es verboten sich im Vortriebsbereich aufzuhalten. Der KZW wurde aus diesem Grund erst ab 15 Minuten nach der Sprengung überprüft. Er wurde bei beiden Messpunkten eingehalten.

6.3.1.3 Kohlenstoffdioxid (CO₂)

Kohlenstoffdioxid wurde an den ersten beiden Tagen bei Messpunkt 2 und am dritten Tag mit dem ALTAIR 5X im Bereich des Trafoschlittens aufgezeichnet. Der Verlauf des CO₂-Gehalts bei Messpunkt 2 ist in Abb. 6-57 dargestellt. Die Maxima von 0,07 Vol.-% am ersten Tag und 0,11 Vol.-% am zweiten wurden parallel zu den höchsten CO-Konzentrationen registriert. Der Mittelwert wurde über den gesamten Messzeitraum mit 0,01 Vol.-% CO₂ bestimmt. In Tab. 14-48 des Anhangs 14.3 sind die Daten dieser Messung aufgelistet. Als minimaler Kohlenstoffdioxid-Gehalt wurden 0,00 Vol.-% erkannt.

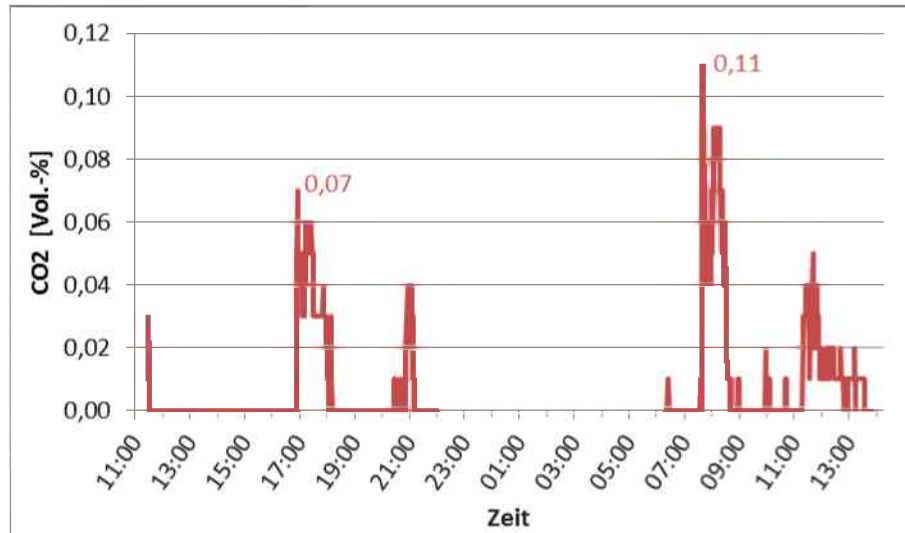


Abb. 6-57: Lind West: Gaskonzentration: CO₂: Verlauf bei MP2

In Abb. 6-58 ist der CO₂-Verlauf des dritten Messtages zu sehen. Er wurde mithilfe des ALTAIR 5X dokumentiert. Das Minimum wurde mit 0,06 Vol.-% CO₂ gemessen und das Maximum mit 0,20 Vol.-%. Auch dieses CO₂-Maximum trat, wie bei Messpunkt 2, gleichzeitig mit dem Maximum des CO-Gehalts auf. Der Mittelwert wurde mit 0,09 Vol.-% CO₂ berechnet.

Die Daten sind in Tab. 14-49 aufgelistet, welche sich in Anhang 14.3 befindet.

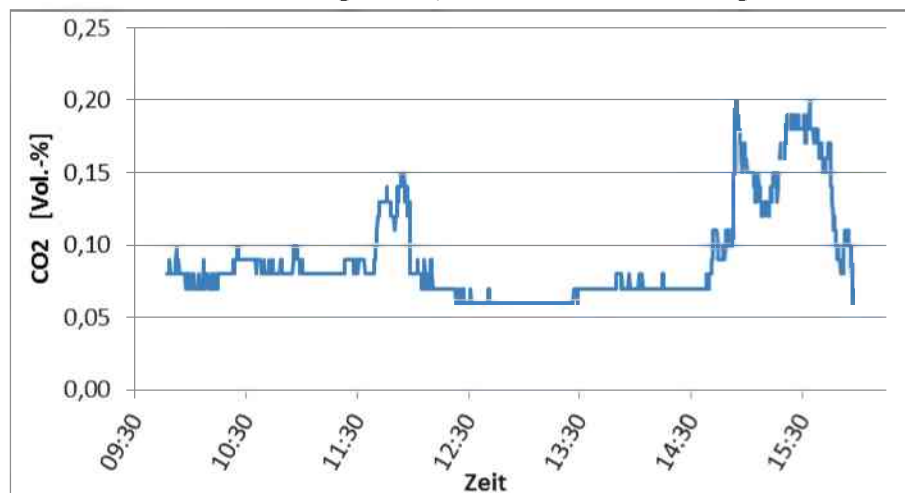


Abb. 6-58: Lind West: Gaskonzentration: CO₂

Der KZW für Kohlenstoffdioxid ist als ein Momentanwert von 10.000 ppm in einem Beurteilungszeitraum von 60 Minuten angegeben. Der TMW ist mit 5.000 ppm festgelegt. Weder an Messpunkt 2 noch mit dem ALTAIR 5X wurde einer der beiden Grenzwerte erreicht.

6.3.1.4 Stickstoffmonoxid (NO)

Der NO-Gehalt wurde am ersten und zweiten Tag an den beiden fixen Messpunkten aufgezeichnet. In Abb. 6-59 ist der Verlauf der Messung dargestellt. Die Messdaten sind in Tab. 14-50, Anhang 14.3, angeführt.

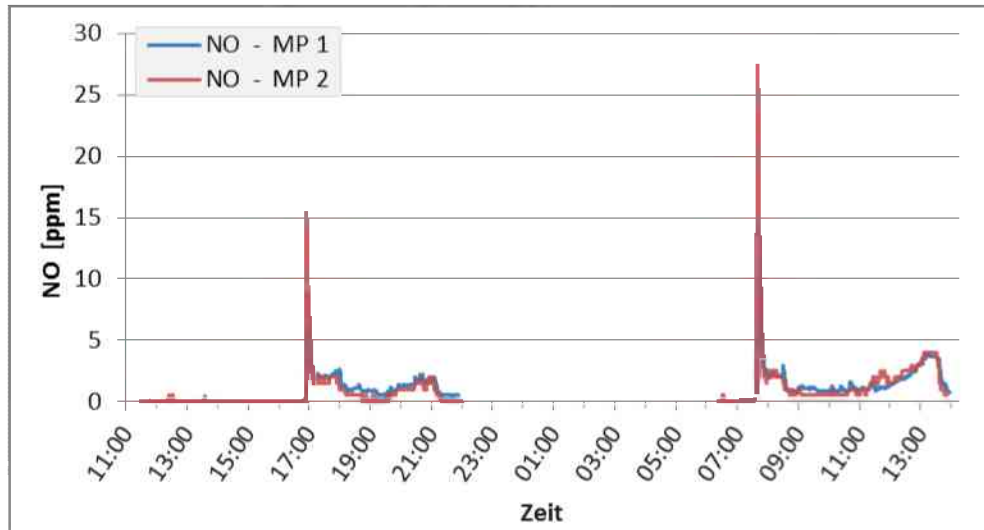


Abb. 6-59: Lind West: Gaskonzentration: NO: MP1 & MP2

Bei Messpunkt 1 wurde am ersten Tag eine maximale NO-Konzentration von 8,7 ppm festgestellt. Am zweiten betrug sie 14,0 ppm. Messpunkt 2 wies am ersten Tag ein Maximum von 15,5 ppm NO auf und am darauffolgenden Tag betrug es 27,5 ppm. Alle Höchstwerte wurden nach Sprengungen aufgezeichnet. Da sich Messpunkt 2 näher an der Ortsbrust und in Folge dessen auch näher an der Sprengung befand, wurden an diesem Ort höhere Maximalwerte detektiert.

Für Stickstoffmonoxid ist kein KZW angegeben. Der Grenzwert TMW ist mit 25 ppm gelistet. Er wurde nicht erreicht.

6.3.1.5 Stickstoffdioxid (NO₂)

Der NO₂-Gehalt wurde an den ersten beiden Messtagen bei Messpunkt 2 überprüft und am dritten mit dem tragbaren Gasmessgerät im Bereich des Trafoschlitten. Die Ergebnisse des Messpunktes 2 sind in Abb. 6-60 abgebildet und die Zeiträume, in welchen ein Gehalt größer 0,0 ppm NO₂ erfasst wurde, sind in Tab. 14-51 des Anhangs 14.3 aufgelistet.

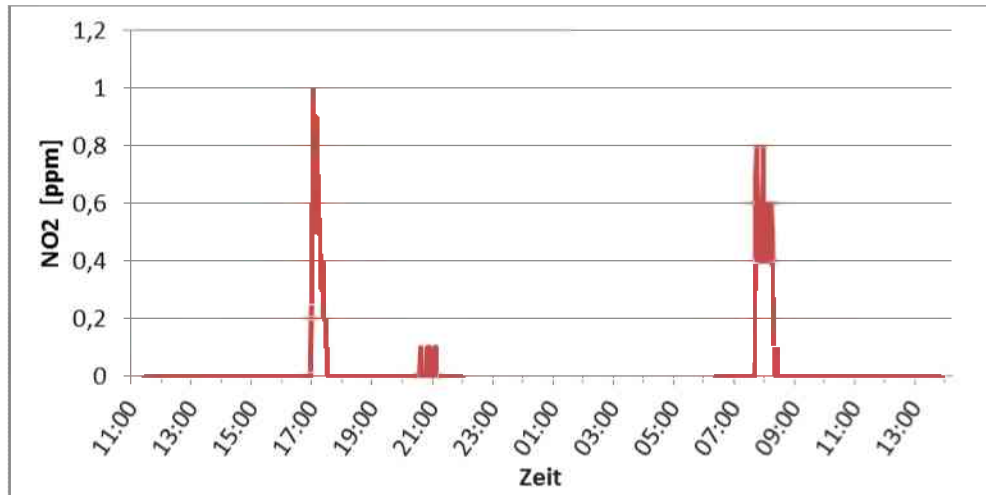


Abb. 6-60: Lind West: Gaskonzentration: NO_2 : Verlauf bei MP2

Bei dieser Messung wurde am ersten Tag eine maximale Stickstoffdioxid-Konzentration von 1,0 ppm registriert. Am zweiten Tag betrug sie 0,8 ppm. In Abb. 6-61 ist der NO_2 -Verlauf des ALTAIR 4X beim Trafoschlitten dargestellt. Dabei wurde ein maximaler Gehalt von 3,9 ppm detektiert. Die Messwerte befinden sich in Tab. 14-52, Anhang 14.3.

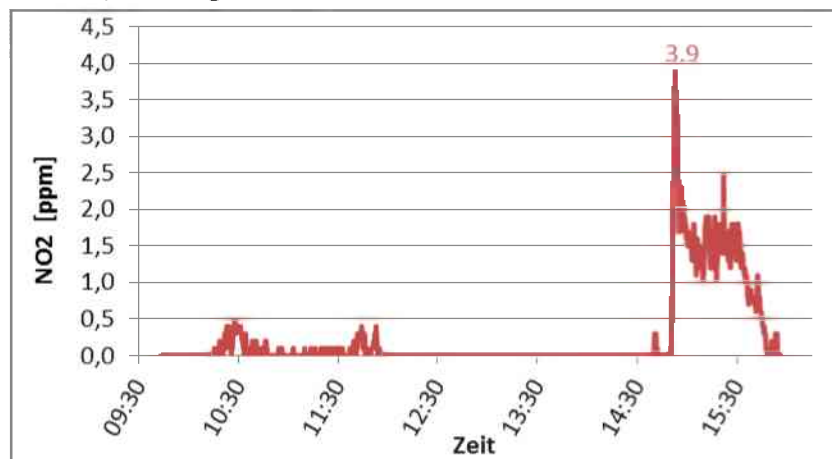


Abb. 6-61: Lind West: Gaskonzentration: NO_2

Im Verlauf der NO_2 -Konzentrationen wurden an allen Tagen Sprengungen registriert. Knapp nach ihnen wurden die einzelnen Höchstwerte des NO_2 -Gehalts aufgezeichnet.

Der TMW ist mit 3 ppm und der KZW ist als Momentanwert mit 6 ppm gelistet. Die Grenzwerte wurden an keinem Tag erreicht.

6.3.1.6 Brennbare Gase und Methan (CH_4)

Weder brennbare Gase, ALTAIR 4X, noch Methan, ALTAIR 5X, wurden detektiert.

6.3.1.7 Schwefelwasserstoff (H_2S)

Der Schwefelwasserstoff-Gehalt wurde am dritten Tag, mithilfe des ALTAIR 5X beim Trafoschlitten, aufgezeichnet. Er variierte über die Messdauer von sechs Stunden

und 15 Minuten zwischen 0 ppm und, punktuell, 1 ppm. Aus den Messergebnissen wurde ein Mittelwert von 0,02 ppm berechnet. Die Daten sind in Tab. 14-53, Anhang 14.3, aufgelistet.

6.3.1.8 Schwefeldioxid (SO₂)

Schwefeldioxid wurde am dritten Tag im Bereich des Trafoschlittens über die gesamte Messdauer von sechs Stunden und 15 Minuten registriert. Der Verlauf des SO₂-Gehalts ist in Abb. 6-62 zu sehen. Die Messwerte befinden sich in Tab. 14-54 des Anhangs 14.3.

Aus den Ergebnissen wurde ein Mittelwert von 0,13 ppm Schwefeldioxid errechnet. Die Konzentration variierte zwischen 0,0 ppm und 1,0 ppm SO₂.

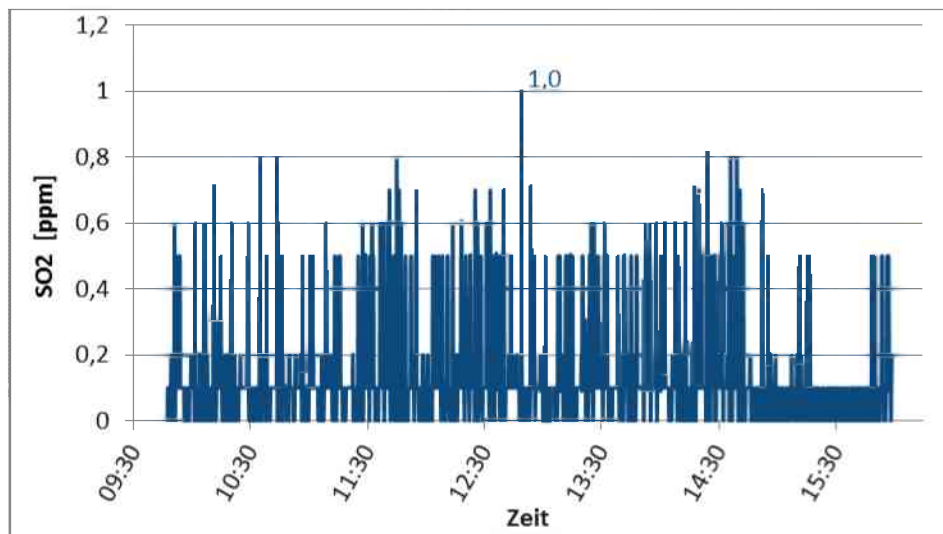


Abb. 6-62: Lind West: Gaskonzentration: SO₂

Der TMW ist mit 2 ppm gelistet und der KZW ist als ein Momentanwert von 4 ppm, in einem Beurteilungszeitraum von fünf Minuten, festgelegt. Keiner der beiden Grenzwerte wurde erreicht.

6.3.2 Stein West

Im Tunnel Stein West war, während der Langzeitmessung an den ersten beiden Tagen, nur an Messpunkt 2 ein Gasmessgerät aufgestellt. Die Messdauer betrug 25 Stunden. Zusätzlich wurden die tragbaren Gasmessgeräte am dritten Tag im Bereich des Trafoschlittens aufgebaut. Da in diesem Tunnel nicht gesprengt wurde, erfassten die Messgeräte hier keine so hohe Peaks wie in Lind West.

6.3.2.1 Sauerstoff (O₂)

Bei der Langzeitmessung an Messpunkt 2 wurde Großteils ein O₂-Gehalt von 20,9 Vol.-% aufgezeichnet. Nur zweimal wurde, für zwei bzw. 21 Minuten, eine Konzentration in der Höhe von 21,1 Vol.-% erkannt. Der Mittelwert wurde mit 20,90 Vol.-% berechnet.

Mit den tragbaren Gasmessgeräten ALTAIR 4X und ALTAIR 5X wurden konstant 20,8 Vol.-% O₂ detektiert. Dieser Wert wurde nach alle 15 Sekunden sowohl als minimaler als auch als maximaler O₂-Gehalt der Periode aufgezeichnet.

6.3.2.2 Kohlenstoffmonoxid (CO)

Der CO-Gehalt wurde an allen drei Messtagen überprüft. Dabei wurde an Messpunkt 2 während der ersten beiden Tage keinerlei Kohlenstoffmonoxid detektiert. Am dritten Tag wurde mithilfe der tragbaren Gasmessgeräte, über die Messdauer von zwei Stunden und 27 Minuten, nur punktuell eine von 0 ppm abweichende CO-Konzentration festgestellt.

An diesem Tag wurden vom ALTAIR 5X 0 ppm bzw. 1 ppm aufgezeichnet. Der Mittelwert wurde mit 0,04 ppm berechnet. Das ALTAIR 4X registrierte zu keinem Zeitpunkt einen CO-Gehalt. Die Messwerte des ALTAIR 5X sind in Tab. 14-55 des Anhangs 14.3 aufgelistet.

6.3.2.3 Kohlenstoffdioxid (CO₂)

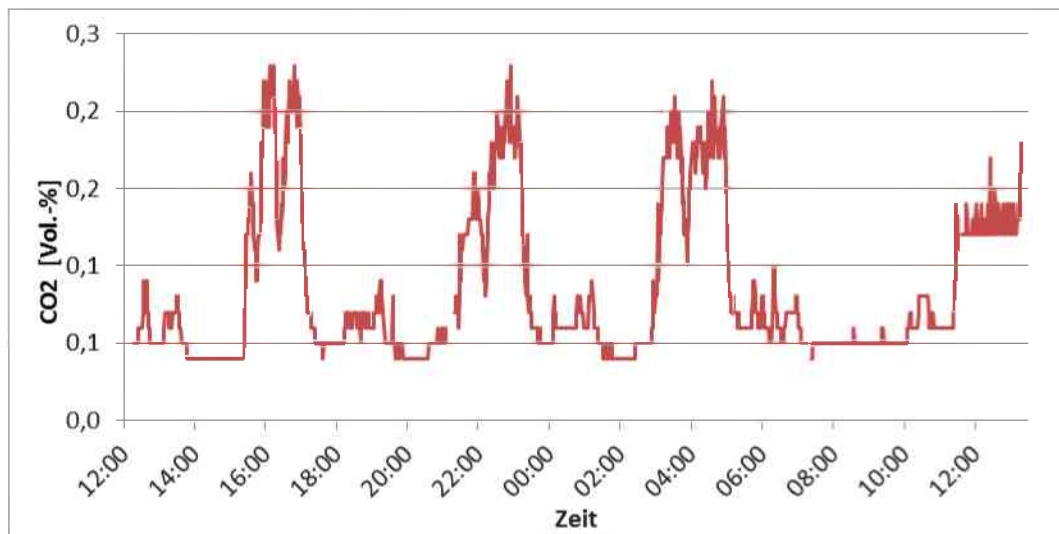


Abb. 6-63: Stein West. Gaskonzentration: CO₂: Verlauf bei MP2

Die CO₂-Konzentration wurde an allen drei Tagen aufgezeichnet. Bei der Langzeitmessung, Messpunkt 2, wurde ein Höchstwert von 0,23 Vol.-% CO₂ und ein Minimum von 0,04 Vol.-% erkannt. Der Mittelwert wurde mit 0,09 Vol.-% berechnet und der Verlauf ist in Abb. 6-63 dargestellt. Er ist mit den Verläufen der NO- und NO₂-Gehalte vergleichbar (Abb. 6-65 und Abb. 6-66), welche auch an Messpunkt 2 gemessen wurden.

Bei allen drei Gasen wurden gleichzeitig ein Ansteigen und Abfallen der Konzentrationen detektiert. Die Messergebnisse des CO₂-Gehalts sind in Tab. 14-56 des Anhangs 14.3 aufgelistet.

Am dritten Tag wurde der CO₂-Gehalt mithilfe des ALTAIR 5X im Bereich des Trafoschlittens aufgenommen. Die Messung dauerte zwei Stunden und 27 Minuten lang an. Dabei wurde ein Maximum von 0,14 Vol.-% und ein Minimum von 0,08 Vol.-% registriert. Der Mittelwert wurde mit 0,09 Vol.-% berechnet.

In Abb. 6-64 ist der Verlauf der Messung dargestellt. Die Daten befinden sich in Tab. 14-57, Anhang 14.3.

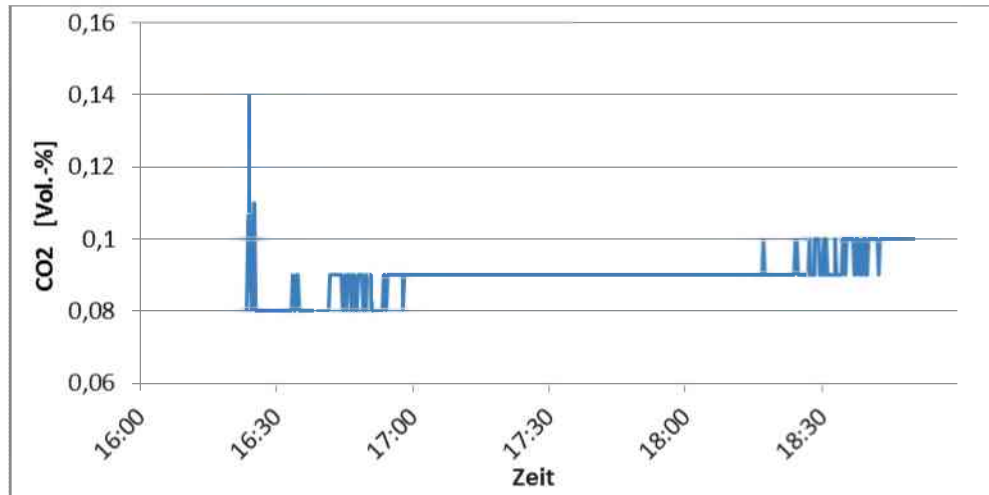


Abb. 6-64: Stein West: Gaskonzentration: CO₂

Der KZW ist als ein Momentanwert von 10.000 ppm CO₂, in einem Beurteilungszeitraum von 60 Minuten, angegeben. Der TMW ist mit 5.000 ppm festgelegt. An keinem Tag wurden TMW oder KZW erreicht.

6.3.2.4 Stickstoffmonoxid (NO)

Der NO-Gehalt wurde nur während der ersten beiden Tage, an Messpunkt 2, aufgezeichnet. Über die gesamte Messung wurde ein Mittelwert von 1,13 ppm NO errechnet. Die minimale NO-Konzentration lag bei 0,0 ppm und die maximale bei 5,5 ppm. In Abb. 6-65 ist der Verlauf dargestellt.

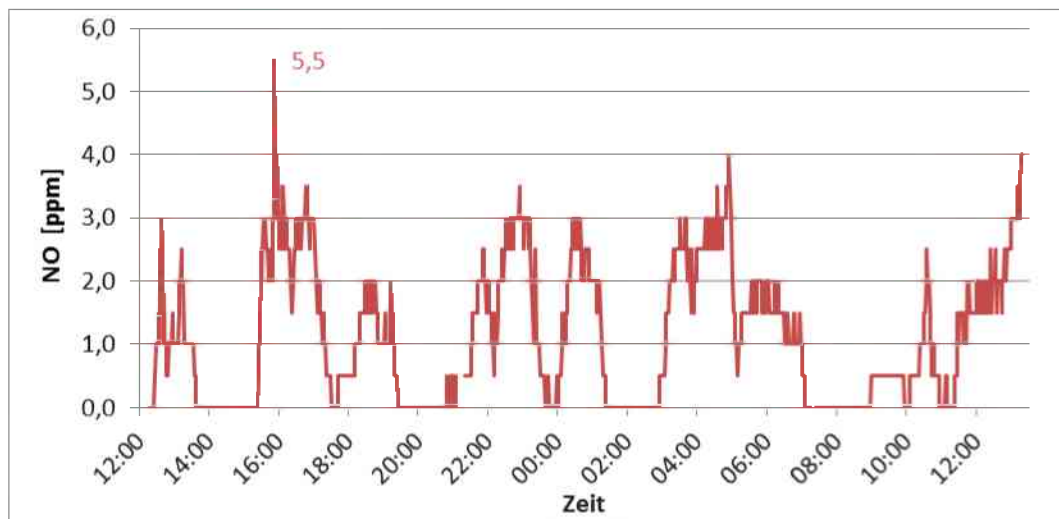


Abb. 6-65: Stein West. Gaskonzentration: NO: Verlauf bei MP2

Der TMW ist mit 25 ppm gelistet. Er wurde nicht erreicht. Für Stickstoffmonoxid ist kein KZW festgelegt.

6.3.2.5 Stickstoffdioxid (NO₂)

Der Verlauf des NO₂-Gehaltes ist in Abb. 6-66 dargestellt. Er war, in Bezug auf den Anstieg und das Abfallen der Konzentration, mit den Verläufen von CO₂ und NO vergleichbar.

Der maximale NO_2 -Gehalt lag bei 2,1 ppm. Das Minimum wurde mit 0,0 ppm NO_2 registriert und der berechnete Mittelwert betrug 0,38 ppm.

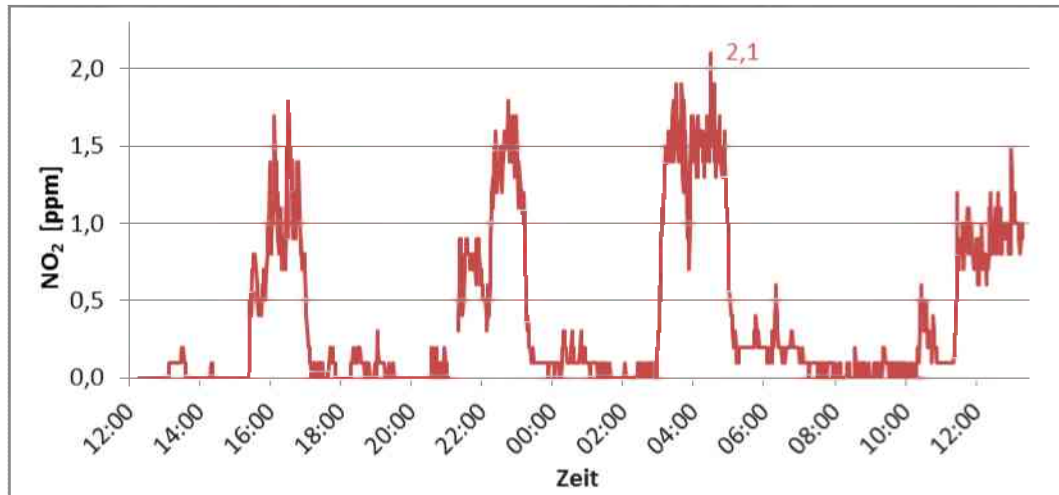


Abb. 6-66: Stein West. Gaskonzentration: NO_2 : Verlauf bei MP2

Zusätzlich zu dieser Messung wurde die NO_2 -Konzentration am dritten Tag mit dem tragbaren Messgerät ALTAIR 4X aufgezeichnet. Mit diesem wurde über die gesamte Messdauer kein NO_2 detektiert.

Der TMW ist mit 3 ppm festgelegt und der KZW ist als ein Momentanwert von 6 ppm, in einem Beurteilungszeitraum von fünf Minuten, gelistet. Keiner der beiden Grenzwerte wurde erreicht.

6.3.2.6 Brennbare Gase und Methan (CH_4)

Weder brennbare Gase, ALTAIR 4X, noch Methan, ALTAIR 5X, wurden detektiert.

6.3.2.7 Schwefelwasserstoff (H_2S)

Die H_2S -Konzentration wurde im Tunnel Stein West über einen Zeitraum von 2,5 Stunden mit dem ALTAIR 5X aufgezeichnet. Die Messwerte wurden mit 0 ppm bzw. 1 ppm gemessen. 1 ppm H_2S wurde nur zu einzelnen Zeitpunkten detektiert. Der Mittelwert wurde mit 0,04 ppm berechnet.

Die Messdaten sind in Tab. 14-60 des Anhangs 14.3 aufgelistet.

TMW und KZW sind beide mit 5 ppm festgelegt. Beim KZW handelt es sich um einen Momentanwert.

6.3.2.8 Schwefeldioxid (SO_2)

Der SO_2 -Gehalt wurde am dritten Tag mithilfe des ALTAIR 5X im Bereich des Trafoschlittens aufgezeichnet. Er variierte zwischen 0,0 ppm und 0,8 ppm. Aus den Messwerten wurde ein Mittelwert von 0,10 ppm errechnet. Die Daten der knapp 2,5 Stunden langen Messung sind in Tab. 14-61, Anhang 14.3, angeführt und der SO_2 -Verlauf ist in Abb. 6-67 abgebildet.

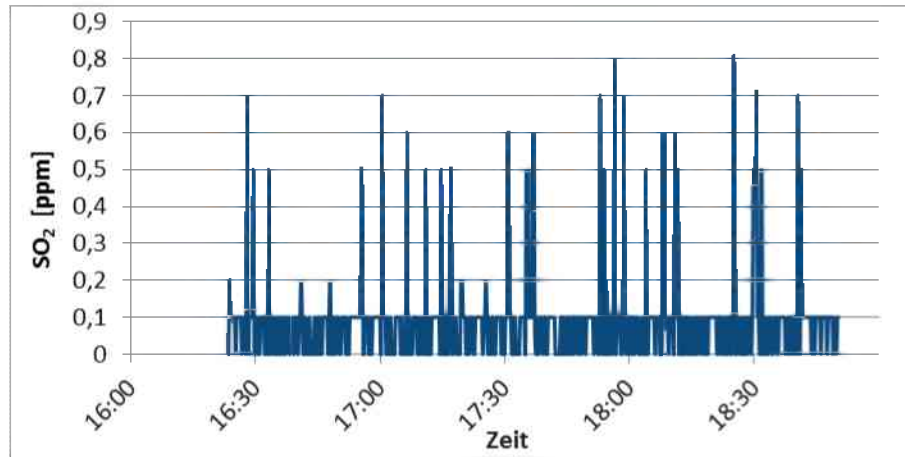


Abb. 6-67: Stein West: Gaskonzentration: SO_2

Der TMW ist mit 2 ppm festgelegt und der KZW ist mit 4 ppm, als Momentanwert über einen Beurteilungszeitraum von fünf Minuten, angegebenen. Keiner der beiden Grenzwerte wurde erreicht.

6.4 Temperaturmessung

6.4.1 Lind West

6.4.1.1 Lufttemperatur

Im Tunnel Lind West wurde die Lufttemperatur an den beiden fixen Messpunkten aufgezeichnet. Dies erfolgte am ersten und zweiten Tag. Zusätzlich zur Dauermessung wurde die Lufttemperatur am ersten Tag mithilfe tragbarer Temperaturmessgeräte an beiden Messpunkten gemessen. Außerdem nahmen die tragbaren Gasmessgeräte den Verlauf der Lufttemperatur am dritten Tag im Bereich des Trafoschlittens auf.

6.4.1.1.1 Verlauf bei Messpunkt 1 und Messpunkt 2

In Abb. 6-68 sind die Verläufe der Lufttemperatur an den beiden fixen Messpunkten abgebildet. Die Messwerte sind in Tab. 14-62, Anhang 14.4, angeführt.

Die Lufttemperatur variierte bei Messpunkt 1 am ersten Tag zwischen 9,4 °C und 17,0 °C. Der Mittelwert wurde mit 14,1 °C errechnet. Am zweiten Tag betrug das Minimum 8,7 °C und das Maximum 16,0 °C. An diesem wurde die mittlere Lufttemperatur an Messpunkt 1 mit 13,2 °C berechnet. Über beide Tage zusammen wurde ein Mittelwert von 13,7 °C bestimmt.

Bei Messpunkt 2 wurden höhere Werte registriert. Dieser Messpunkt befand sich, im Vergleich zu Messpunkt 1, näher an der Ortsbrust. Für den ersten Tag wurden Lufttemperaturen von 13,4 °C bis 19,3 °C registriert. Am zweiten Tag betrug der geringste Wert 12,8 °C und der höchste Messwert lag bei 19,7 °C. Somit wurde an diesem Tag eine größere Schwankung der Lufttemperatur festgestellt. Der Mittelwert lag an Tag 1 bei 15,7 °C und am zweiten bei 15,5 °C. Beide Tage umfassend wurde er mit 15,6 °C berechnet.

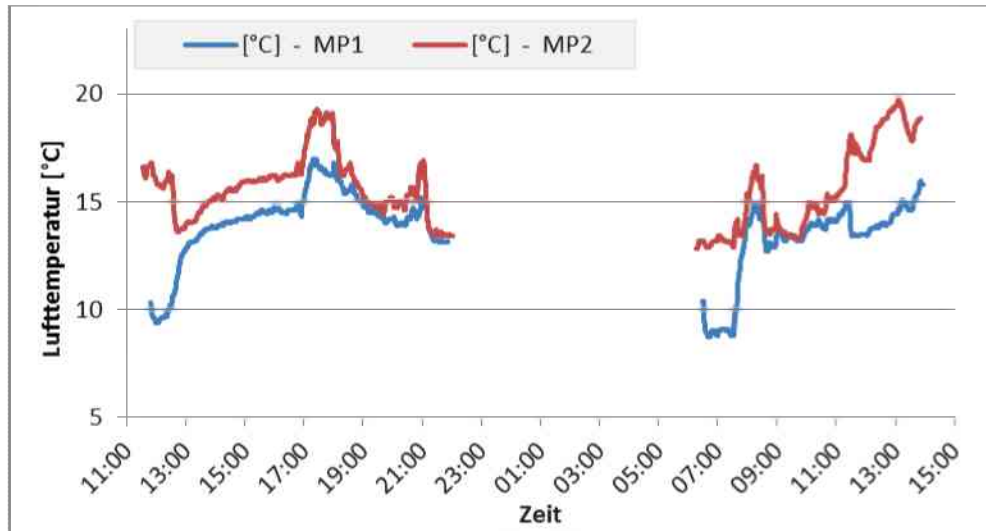


Abb. 6-68: Lind West: Lufttemperaturmessung: Verlauf bei MP1 & MP2

6.4.1.1.2 Messpunkt 1

Bei Messpunkt 1 wurde die Lufttemperatur mit dem digitalen Thermo-Hygrometer und dem Thermohygrometer Vaisala HMI41 gemessen. Alle Messergebnisse sind in Tab. 6-33 verzeichnet.

Das digitale Thermo-Hygrometer wurde seitlich am Boden aufgestellt. Die ersten drei Messungen mit 20,1 °C, 17,4 °C und 16,8 °C ließen auf die Akklimatisierung des Messgeräts schließen. Aus den darauf folgenden vier Werten wurde ein Mittelwert in der Höhe von 14,9 °C errechnet. Für das zweite Messgerät betrug die mittlere Lufttemperatur 14,8 °C.

Thermo-Hygrometer	
Zeit	Lufttemperatur [°C]
16:13	20,1
16:21	17,4
16:23	16,8
16:32	15,2
16:38	14,6
17:48	14,8
18:47	15,1

Thermohygrometer Vaisala	
Zeit	Lufttemperatur [°C]
16:22	15,0
16:23	15,0
16:39	14,2
17:49	14,9

Tab. 6-33: Lind West: Lufttemperaturmessung: MP1

6.4.1.1.3 Messpunkt 2

Bei Messpunkt 2 wurde die Lufttemperatur mithilfe des Thermohygrometers Vaisala HMI41 aufgezeichnet. Die Messungen fanden nach der Akklimatisierung des Messgerätes statt. Alle Ergebnisse sind in Tab. 6-34 angeführt. Der Mittelwert wurde mit 15,5 °C berechnet.

Zeit	Lufttemperatur [°C]
18:50	15,5
18:51	15,5
19:01	15,6
19:02	15,5
19:03	15,4
Mittelwert	15,5

Tab. 6-34: Lind West: Lufttemperaturmessung: MP2

6.4.1.1.4 Verlauf beim Trafoschlitten

Am dritten Tag waren die beiden tragbaren Gasmessgeräte im Bereich des Trafoschlittens montiert. Neben den Gaskonzentrationen zeichneten sie auch die Lufttemperatur auf. Dieser Verlauf ist in Abb. 6-69 zu sehen und die dazugehörigen Daten sind in Tab. 14-63 des Anhangs 14.4 verzeichnet.

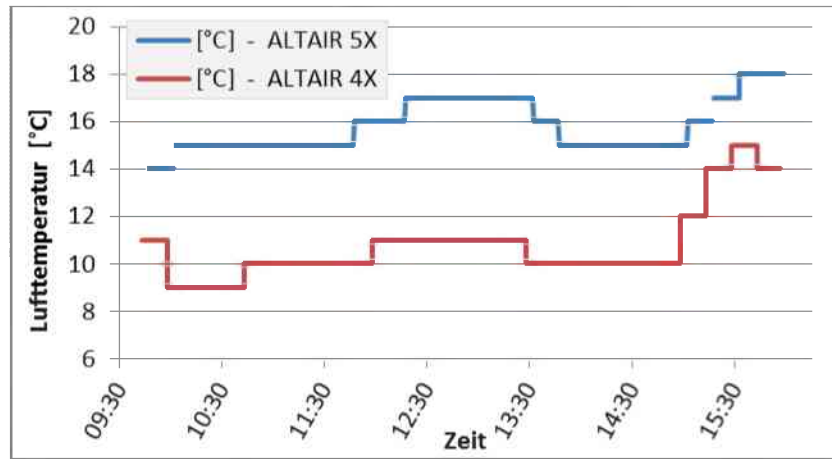


Abb. 6-69: Lind West: Lufttemperaturmessung: Verlauf beim Trafoschlitten: tragbare Gasmessgeräte

Die Lufttemperatur variierte beim ALTAIR 4X von 9 °C bis 15 °C und bei den Aufzeichnungen des ALTAIR 5X zwischen 14 °C und 18 °C. Für das ALTAIR 4X wurde eine mittlere Lufttemperatur von 10,8 °C bestimmt und für das ALTAIR 5X betrug er 15,8 °C. Die Unterschiede waren auf Gerätespezifikationen zurückzuführen. Bei beiden Messgeräten ähnelten sich die Anstiege bzw. Abfälle der Verläufe.

6.4.1.2 Wandtemperatur

6.4.1.2.1 Verlauf: Portal bis Messpunkt 2

Die Wandtemperatur wurde vom Portal, Messstelle 1, bis zu Messpunkt 2 an beiden Ulmen und an der Firste gemessen. Messpunkt 2 entsprach Messstelle 53. An den Ulmen erfolgte die Messung ungefähr in einer Höhe von zwei Metern und an der Firste mittig. In Abb. 6-70 ist der Verlauf der Wandtemperatur ersichtlich. Die Lutte war links montiert.

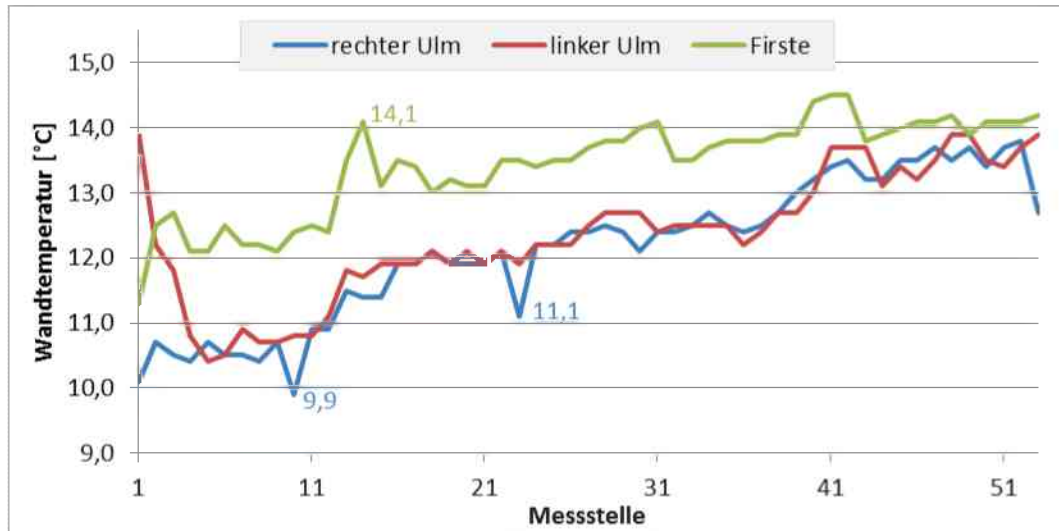


Abb. 6-70: Lind West: Wandtemperaturverlauf

Je weiter die Messstelle vom Portal entfernt war, desto höher war im Allgemeinen die gemessene Wandtemperatur. Alle Messwerte sind in Tab. 14-66 aufgelistet, welche in Anhang 14.4 zu finden ist. Sie sind den Messstellen zugeordnet und einzelne Punkte, wie Messpunkt 1 und Beginn sowie Ende der Rampe, sind in der Tabelle notiert.

Der linke Ulm wurde im Portalbereich von der Sonne und einem Scheinwerfer angestrahlt. Aus diesem Grund wurde links bei den ersten vier Messungen eine höhere Temperatur erfasst. Die Spitzen im Verlauf der Firstemperatur waren auf nahe Firstlampen zurückzuführen. Dies war, unter anderem, bei Messstelle 14 der Fall, an welcher 14,1 °C detektiert wurden. Bei der Messung davor wurde eine Temperatur von 13,5 °C registriert und danach, bei Messstelle 15, betrug sie 13,1 °C.

Am rechten Ulm wurde die Wandtemperatur an einigen feuchten Stellen gemessen. An diesen war sie geringer als an trockenen Bereichen des Ulms. Beispiele dafür sind Messstelle 10, mit 9,9 °C, bzw. Messstelle 23, an welcher 11,1 °C erfasst wurden.

6.4.1.2.2 Messpunkt 1

Am ersten Tag der Messungen wurde die Wandtemperatur, zusätzlich zum Verlauf in Kapitel 6.4.1.2.1, an Messpunkt 1 erfasst. Die Messungen fanden in Richtung Ortsbrust statt. Ihre Daten sind in Tab. 6-35 zu finden. Aus ihnen wurden die Mittelwerte mit 11,75 °C für den linken Ulm, 12,75 °C für den rechten Ulm und 13,90 °C für die Firste errechnet.

Linker Ulm	Firste	Rechter Ulm
[°C]	[°C]	[°C]
11,8	14,0	12,8
11,7	13,8	12,7

Tab. 6-35: Lind West: Wandtemperatur: Messpunkt

6.4.2 Stein West

6.4.2.1 Lufttemperatur

Am ersten und zweiten Tag der Messungen wurde der Verlauf der Lufttemperatur an den beiden fixen Messpunkten aufgezeichnet. Zusätzlich zu diesen Langzeitmessungen wurde die Lufttemperatur an Messpunkt 1 und Messpunkt 2 mithilfe der tragbaren Temperaturmessgeräte erfasst. Am dritten Tag zeichneten die beiden tragbaren Gasmessgeräte den Lufttemperaturverlauf beim Trafoschlitten auf.

6.4.2.1.1 Verlauf bei Messpunkt 1 und Messpunkt 2

Der Verlauf der Lufttemperatur wurde an Messpunkt 1 und Messpunkt 2 an den ersten beiden Messtagen aufgezeichnet. Er ist in Abb. 6-71 dargestellt. Die Messergebnisse der Langzeitmessung befinden sich in Tab. 14-64, Anhang 14.4.

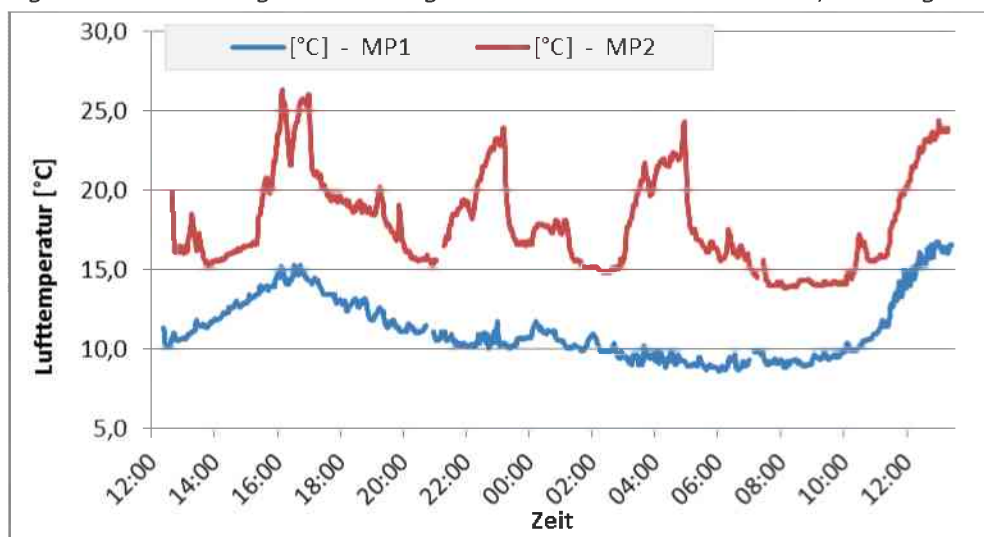


Abb. 6-71: Stein West: Lufttemperaturmessung: Verlauf bei MP1 & MP2

Bei Messpunkt 2 wurden höhere Temperaturschwankungen als bei Messpunkt 1 festgestellt. Die Temperatur schwankte bei Messpunkt 1 zwischen 8,6 °C und 16,7 °C. Der Mittelwert wurde mit 11,22 °C berechnet. An Messpunkt 2 wurde ein Minimum von 13,8 °C und ein Maximum von 26,3 °C registriert. Aus den Messwerten wurde die mittlere Lufttemperatur mit 17,91 °C errechnet. Die geringsten Werte wurden bei Messpunkt 1 kurz nach 06:00 Uhr und bei Messpunkt 2 zwischen 08:05 Uhr und 08:15 Uhr erfasst. Der Höchstwert des ersten Messpunktes wurde gegen 16:08 Uhr registriert und der des zweiten Messpunktes zwischen 12:55 Uhr und 13:00 Uhr. Wie in Lind West wurden auch im Tunnel Stein West höhere Lufttemperaturen bei Messpunkt 2 gemessen, welcher sich weiter im Tunnel befand.

6.4.2.1.2 Messpunkt 1

Zusätzlich zur Dauermessung wurde die Lufttemperatur am ersten Tag bei Messpunkt 1 mithilfe des digitalen Thermo-Hygrometers und des Thermohygrometers Vaisala HMI41 gemessen. Die Ergebnisse und die berechneten Mittelwerte sind in Tab. 6-36 aufgelistet. Das digitale Thermo-Hygrometer wurde

seitlich am Boden aufgebaut. Bei ihm fielen die Messwerte zu Beginn stark ab, was auf eine Akklimatisierung hindeutete. Ohne die ersten beiden Messwerte wurde ein Mittelwert von 12,2 °C errechnet. Die Ergebnisse des Thermohygrometers Vaisala waren konstanter. Der leichte Abfall war auf die fallende Außentemperatur zurückzuführen.

<i>Thermohygrometer Vaisala</i>		<i>Thermo-Hygrometer</i>	
Zeit	Lufttemperatur [°C]	Zeit	Lufttemperatur [°C]
20:06	12,4	19:57	14,9
20:18	11,6	20:05	13,8
20:19	11,6	20:18	12,7
20:19	11,5	20:20	12,6
21:07	11,1	21:07	11,9
21:10	11,0	21:10	11,8
21:10	11,0	21:32	11,8
Mittelwert	11,5	Mittelwert	12,8

Tab. 6-36: Stein West: Lufttemperaturmessung: Messpunkt 1

6.4.2.1.3 Messpunkt 2

Auch bei Messpunkt 2 wurden am ersten und am zweiten Tag zusätzliche Lufttemperaturmessungen durchgeführt. Sie wurden mithilfe des digitalen Thermo-Hygrometers und des Thermohygrometers Vaisala HMI41 aufgenommen. Die Daten der Messungen sind in Tab. 6-37 aufgeführt. Aus den Daten wurden die Mittelwerte zwischen 16,1 °C und 17,0 °C berechnet.

<i>Thermohygrometer Vaisala</i>		<i>Thermo-Hygrometer</i>		<i>Thermohygrometer Vaisala</i>	
Zeit	[°C]	Zeit	[°C]	Zeit	[°C]
21:30	16,7	10:24	16,4	10:42	16,2
	16,7	10:40	17,0	11:00	16,1
	16,7	10:59	16,9	11:15	15,9
	16,7	11:14	17,0		
	16,7	11:37	17,6	Mittelwert	16,1
	16,7	Mittelwert	17,0		
Mittelwert	16,7				

Tab. 6-37: Stein West: Lufttemperaturmessung: Messpunkt 2

6.4.2.1.4 Verlauf beim Trafoschlitten

Die Lufttemperatur nahm beim Trafoschlitten über den Verlauf der Messung ab. Sie sank beim ALTAIR 5X von 14 °C auf 12 °C ab und beim ALTIAR 4X von 10 °C bis 6 °C. Der Verlauf war auf die geringe Nachttemperatur Anfang November zurückzuführen und ist in Abb. 6-72 dargestellt. Für die Messdaten ist Tab. 14-65 im Anhang 14.4 heranzuziehen. Aus den Daten des ALTAIR 4X wurde die mittlere Lufttemperatur mit 7,1 °C berechnet und aus jenen des ALTAIR 5X mit 12,5 °C.

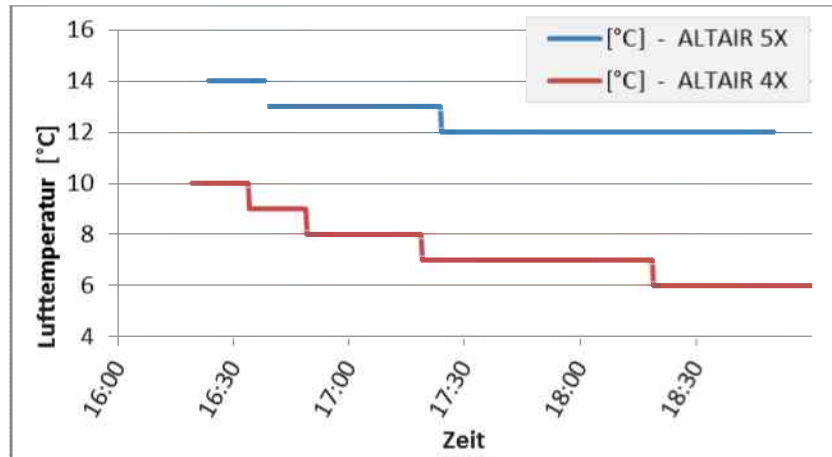


Abb. 6-72: Stein West: Lufttemperaturmessung: Verlauf beim Trafoschlitten: Tragbare Gasmessgeräte

Im Tunnel Stein West wurden mit den tragbaren Gasmessgeräten geringere Lufttemperaturen gemessen als im Tunnel Lind West. Der Grund dafür lag in der fortgeschrittenen Uhrzeit der Messungen.

6.4.2.1.5 Verlauf: Portal bis Messpunkt 2

Die Verläufe wurden während der Wandtemperaturmessung, mithilfe des Infrarot-Thermometers, aufgenommen. Der Erste wurde am ersten Tag aufgezeichnet und ist in Abb. 6-73 dargestellt. In Tab. 14-67 des Anhangs 14.4 sind die Daten aufgelistet.

Start der Lufttemperaturmessungen war, gegen 20:22 Uhr, bei Messstelle 7. Nach der Aufzeichnung des Verlaufs, bis inklusive Messpunkt 2, wurde die Lufttemperatur an den ersten sechs Messstellen nachgemessen. Dies erfolgte um 21:00. Wegen des abendlichen Temperaturabfalls wurden bei diesen sechs Messungen geringere Werte erfasst. Das Minimum betrug 11,1 °C, Messstelle 6, und das Maximum wurde mit 17,7 °C bei Messpunkt 2 detektiert.

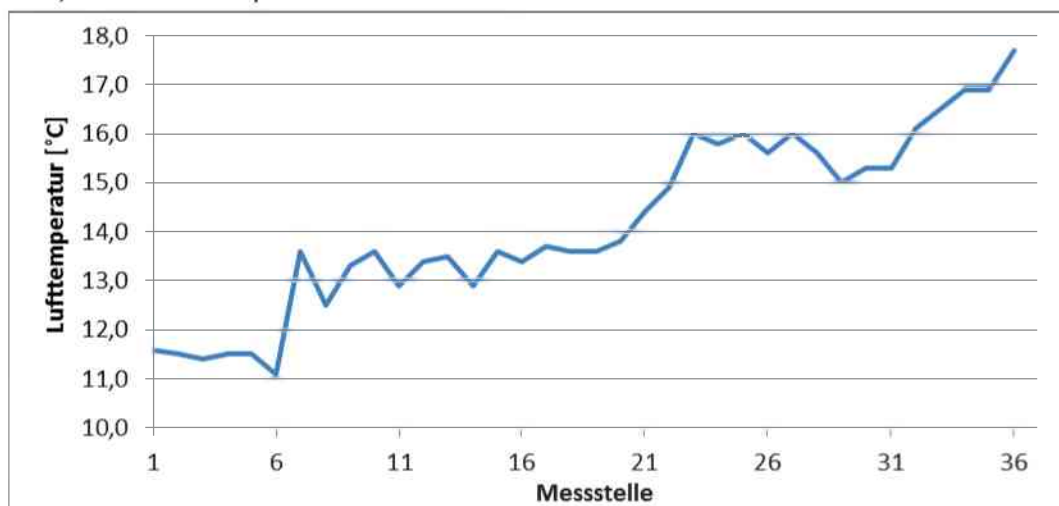


Abb. 6-73: Stein West: Lufttemperaturmessung: Verlauf 1

Der zweite Temperaturverlauf wurde am frühen Abend, zwischen 17:00 und 17:30 Uhr gemessen. Die Messungen erfolgten am dritten Tag, in einem Abstand von

jeweils zehn Metern vom Portal aus gehend. Da die Außentemperatur an diesem Tag geringer als bei der Aufnahme des ersten Temperaturverlaufs war, wurden beim zweiten Verlauf geringere Lufttemperaturen registriert. Das Minimum betrug 6,1 °C und wurde bei TM 10 notiert. Bei TM 100 wurde die maximale Lufttemperatur mit 8,1 °C aufgezeichnet.

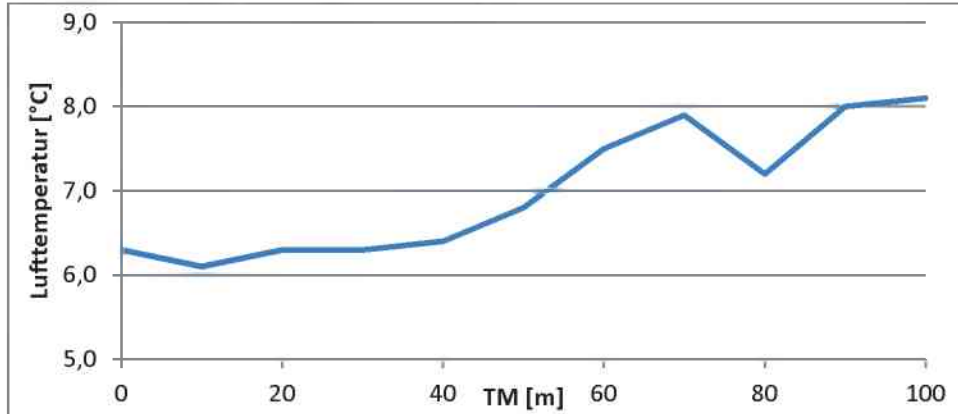


Abb. 6-74: Stein West: Lufttemperaturmessung: Verlauf 2

Bei beiden Verläufen war der Trend in Richtung Ortsbrust ansteigend. Für beide Verläufe wurden parallel zu ihnen die Wandtemperaturen an der Laibung und der Firste aufgezeichnet. Diese Ergebnisse sind in den beiden Graphiken Abb. 6-75 und Abb. 6-76 abgebildet.

6.4.2.2 Wandtemperatur

Der Wandtemperaturverlauf wurde im Tunnel Stein West am ersten und am dritten Tag aufgezeichnet. Die Daten des ersten Wandtemperaturverlaufs befinden sich in Tab. 14-67, Anhang 14.4, und sind in Abb. 6-75 dargestellt. Der Verlauf wurde ab ca. 20:20 von Messstelle 1, dem Portal, aus aufgezeichnet.

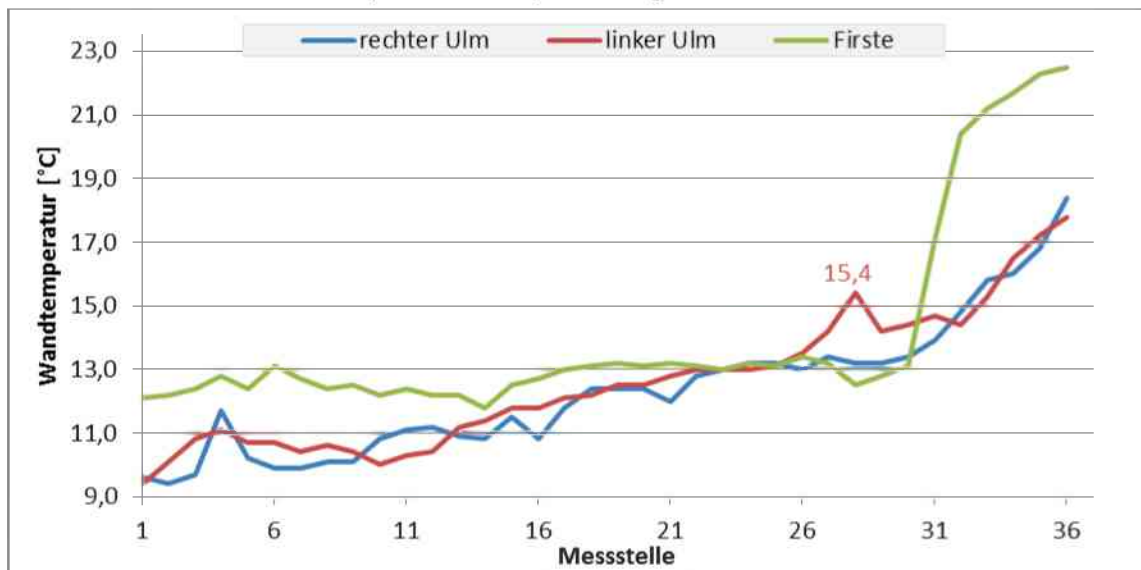


Abb. 6-75: Stein West: Wandtemperaturverlauf 1

An beiden Ulmen wurden feuchte Stellen detektiert, an welchen die Wandtemperatur erfasst wurde. Diese Werte sind in der Tabelle blau hinterlegt. Am

linken Ulm wurden diese feuchten Stellen unter anderem an den ersten beiden Messstellen und an den Messstellen 7 und 9 bis inklusive zwölf registriert. Für den rechten Ulm ist der Bereich von Messstelle 6 bis inklusive Messstelle 9 exemplarisch zu erwähnen.

Messstelle 28 wurde durch einen Strahler angestrahlt. Aus diesem Grund wurde bei ihr eine Wandtemperatur in der Höhe von 15,4 °C erkannt. Bei den beiden Messungen zuvor war der Ulm vom Trafoschlitten abgeschirmt. Die Messungen konnten an der Tunnellaibung aufgenommen werden. Trotz der Abschirmung wurde nur eine leichte Erhöhung zu den davor gemessenen Werten festgestellt.

In Tab. 6-38 sind die Minima und Maxima des ersten Wandtemperaturverlaufs aufgelistet. An beiden Ulmen wurde der gleiche Mindestwert, 9,4 °C, detektiert. Diese Messungen erfolgten beide bei feuchten Wandstellen, aber an Messstelle 1 beim linken Ulm und an Messstelle 2 für den rechten. Die geringste Firsttemperatur wurde bei Messstelle 14 aufgezeichnet.

Das höchste Maximum wurde an der Firste, mit 22,5 °C, registriert. Bei den Höchstwerten der beiden Ulme wurde ein Unterschied von 0,6 °C festgestellt. Alle drei Maxima wurden bei Messpunkt 2 erfasst.

	Linker Ulm [°C]	Firste [°C]	Rechter Ulm [°C]
Minimum	9,4	11,8	9,4
Maximum	17,8	22,5	18,4

Tab. 6-38: Stein West: Wandtemperaturverlauf 1: Minima & Maxima

Der zweite Verlauf der Wandtemperatur ist in Abb. 6-76 dargestellt. Er wurde vom Portal aus bis inklusive TM 100 in zehn Meter Schritten aufgenommen. Für die Messdaten ist Tab. 14-68 heranzuziehen, welche sich in Anhang 14.4 befindet. Die feuchten Wandstellen sind in der Tabelle blau hinterlegt.

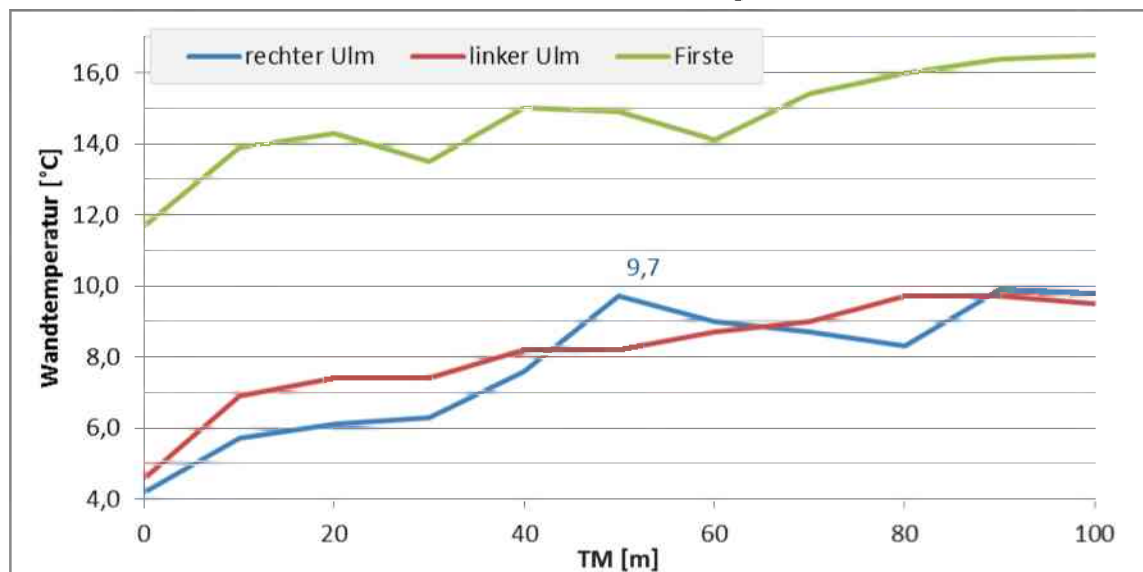


Abb. 6-76: Stein West: Wandtemperaturverlauf 2

An der Firste und an beiden Ulmen stieg die Wandtemperatur mit der Entfernung leicht an. Der höchste Wert wurde an der Firste bei TM 100 registriert. Er betrug 16,5 °C. An den Ulmen wurden die Maxima bei TM 90 notiert. Sie betragen 9,7 °C, links, bzw. 9,9 °C am rechten. Für alle drei wurden die Minima am Portal registriert. An den Ulmen waren sie relativ ähnlich, 4,6 °C bzw. 4,2 °C, an der Firste war das Minimum mit 11,7 °C deutlich höher. Die Minima und Maxima sind in Tab. 6-39 aufgelistet.

	Linker Ulm [°C]	Firste [°C]	Rechter Ulm [°C]
Minimum	4,6	11,7	4,2
Maximum	9,7	16,5	9,9

Tab. 6-39: Stein West: Wandtemperaturverlauf 2: Minima & Maxima

6.5 Relative Luftfeuchtigkeit

Die relative Luftfeuchtigkeit wurde am ersten und zweiten Tag, sowohl in Lind West als auch Stein West, an den beiden Messpunkten aufgezeichnet. Des Weiteren wurde sie an jenen Tagen mithilfe des digitalen Thermo-Hygrometers und des Thermohygrometers Vaisala HMI41 aufgezeichnet.

6.5.1 Lind West

6.5.1.1 Verlauf bei Messpunkt 1 und Messpunkt 2

In Abb. 6-77 ist der Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit an Messpunkt 1 und Messpunkt 2 dargestellt. Die Messwerte wurden in zwei Langzeitmessungen aufgezeichnet. Alle Daten sind in Tab. 14-69, Anhang 14.5, aufgelistet.

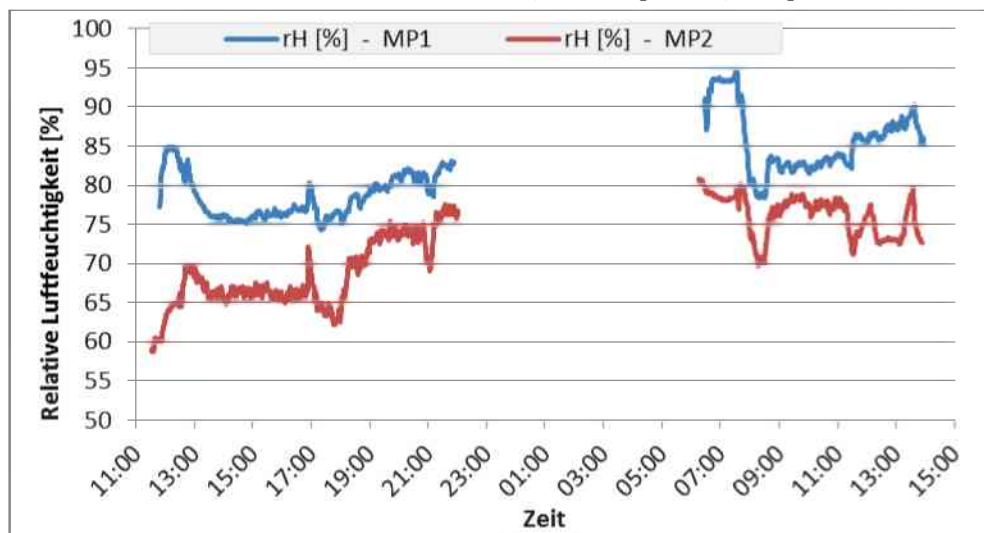


Abb. 6-77: Lind West: Relative Luftfeuchtigkeit: Verlauf bei MP1 & MP2

Bei Messpunkt 1 wurden höhere relative Luftfeuchtigkeiten als gemessen. Der Höchstwert wurde am ersten Tag mit 85,0 % bestimmt. Am zweiten Tag betrug er 94,6 %. Das Minimum wurde an Tag 1 mit 74,3 % und an Tag 2 mit 78,4 % erfasst. Aus den Daten wurden Mittelwerte in der Höhe von 78,54 %, Tag 1, bzw.

85,64 % errechnet. Für beide Tage zusammen wurde die mittlere Luftfeuchtigkeit mit 81,56 % berechnet.

Bei Messpunkt 2 variierte die relative Luftfeuchtigkeit am ersten Tag zwischen 58,7 % und 77,5 % und am zweiten schwankte sie von 69,7 % bis 80,8 %. Die Mittelwerte wurden mit 68,46 %, für Tag 1, bzw. 76,18 %, für Tag 2, berechnet. Für die gesamte Messdauer betrug er 71,7 % relative Luftfeuchtigkeit.

6.5.1.2 Messpunkt 1

Zusätzlich zu den Langzeitmessungen wurde die relative Luftfeuchtigkeit an Messpunkt 1 mithilfe des digitalen Thermo-Hygrometers und des Thermohygrometers Vaisala HMI41 aufgenommen. Diese Aufzeichnungen fanden nach ausreichender Akklimatisierung der beiden Messgeräte statt. Die Ergebnisse sind, ohne die Messwerte welche während der Akklimatisierung gemessen wurden, in Tab. 6-40 verzeichnet. Mit dem digitalen Thermo-Hygrometer betrug der Mittelwert 81 % und für die Daten des Thermohygrometers Vaisala HMI41 wurde er mit 77,0 % berechnet.

<i>Thermo-Hygrometer</i>		<i>Thermohygrometer Vaisala</i>	
Zeit	[% rH]	Zeit	[% rH]
17:48	81	16:39	75,7
18:47	81	17:49	78,3

Tab. 6-40: Lind West: Relative Luftfeuchtigkeit: Messpunkt 1

6.5.1.3 Messpunkt 2

An Messpunkt 2 wurde die relative Luftfeuchtigkeit, zusätzlich zu den Langzeitmessungen, mit dem Thermohygrometer Vaisala HMI41 ermittelt. Die Messergebnisse sind in Tab. 6-41 aufgelistet und die mittlere Luftfeuchtigkeit betrug 77,86 %.

<i>Relative Luftfeuchtigkeit</i>	
Zeit	[% rH]
18:50	70,9
18:51	70,8
19:01	70,7
19:02	71,0
19:03	70,9
Mittelwert	70,86

Tab. 6-41: Lind West: Relative Luftfeuchtigkeit: Messpunkt 2

Wie bei den Langzeitmessungen wurde auch mithilfe der tragbaren Messgeräte bei Messpunkt 2 eine geringere relative Luftfeuchtigkeit aufgezeichnet als bei Messpunkt 1.

6.5.2 Stein West

6.5.2.1 Verlauf bei Messpunkt 1 und Messpunkt 2

Die Langzeitmessung der relativen Luftfeuchtigkeit an beiden Messpunkten ist in Abb. 6-78 abgebildet. Die Messergebnisse sind in Tab. 14-70, Anhang 14.5, aufgelistet.

Über die gesamte Messdauer wurden bei Messpunkt 1 höhere Werte registriert. Das Minimum betrug dort 71,8 % und das Maximum 93,3 %. Der Mittelwert wurde mit 86,48 % bestimmt. Bei Messpunkt 2 wurden relative Luftfeuchtigkeiten zwischen 47,7 % und 72,8 % bestimmt. Aus den Daten wurde der Mittelwert mit 63,05 % berechnet.

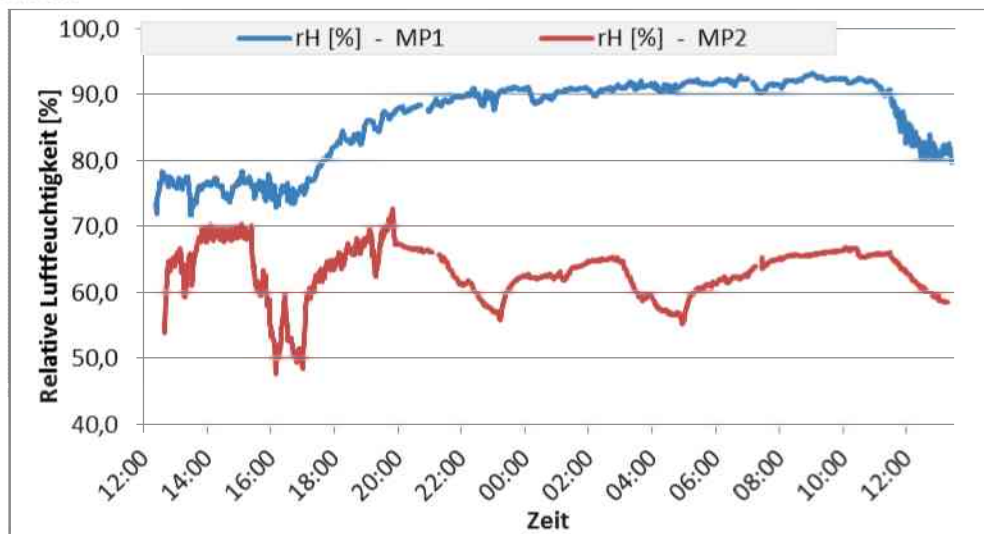


Abb. 6-78: Stein West: Relative Luftfeuchtigkeit: Verlauf bei MP1 & MP2

In Stein West wurden im Mittel geringere relative Luftfeuchtigkeiten als in Lind West aufgezeichnet. Die Messungen fanden, durch den Aufbau leicht versetzt, zur gleichen Zeit statt.

6.5.2.2 Messpunkt 1

An Messpunkt 1 wurden mithilfe des Thermohygrometers Vaisala HMI41 und des digitalen Thermo-Hygrometers zusätzliche Messungen durchgeführt. In Tab. 6-42 sind die Ergebnisse aufgelistet.

Thermohygrometer Vaisala		Thermo-Hygrometer	
Zeit	[% rH]	Zeit	[% rH]
20:06	79,7	19:57	69
20:18	85,1	20:05	71
20:19	85,0	20:18	80
20:19	85,0	20:20	81
21:07	84,6	21:07	87
21:10	84,8	21:10	87
21:10	84,8	21:32	89
Mittelwert	84,0	Mittelwert	80,6

Tab. 6-42: Stein West: Relative Luftfeuchtigkeit: Messpunkt 1

Beide Messgeräte wurden vor ihrem Einsatz akklimatisiert, stiegen die Messwerte zu Beginn noch deutlich an. Für beide Geräte ist auch diese Zeit in der Tabelle notiert. Beim Vaisala war dies beim ersten Messwert der Fall und beim digitalen Thermo-Hygrometer bei den ersten beiden. Ohne diese Werte läge der Mittelwert des Vaisala bei 84,9 % und der des digitalen Thermo-Hygrometers bei 84,8 %. Die berechneten mittleren Luftfeuchtigkeiten inklusive der Messungen während der zusätzlichen Akklimatisierungszeit sind in der Tabelle notiert.

6.5.2.3 Messpunkt 2

Bei Messpunkt 2 wurde die relative Luftfeuchtigkeit am ersten und am zweiten Tag zusätzlich zur Langzeitmessung aufgenommen. Die Ergebnisse beider Messgeräte sind in Tab. 6-43 angeführt. Zusätzlich zu den Messwerten sind die berechneten Mittelwerte in der Tabelle aufgelistet.

<i>Thermohygrometer Vaisala</i>		<i>Thermo-Hygrometer</i>		<i>Thermohygrometer Vaisala</i>	
Zeit	[% rH]	Zeit	[% rH]	Zeit	[% rH]
21:30	80,0	10:24	79	10:42	72,2
	79,4	10:40	80	11:00	72,7
	77,4	10:59	80	11:15	68,6
	76,4	11:14	81	Mittelwert	71,2
	76,1	11:37	84		
	76,2	Mittelwert	80,8		
	77,0				
Mittelwert	77,5				

Tab. 6-43: Stein West: Relative Luftfeuchtigkeit: Messpunkt 2

6.6 Barometrischer Druck

Der Barometrische Luftdruck wurde in Lind West bei Messpunkt 1 aufgezeichnet und im Tunnel Stein West an beiden fixen Messpunkten. Die Messungen fanden am ersten und am zweiten Tag statt.

6.6.1 Lind West

Der Barometrische Luftdruck variierte am ersten Tag zwischen 966,2 hPa und 968,2 hPa. Der Mittelwert wurde mit 966,9 hPa berechnet. Am zweiten Tag lag er zwischen 966,4hPa und 968,8 hPa. An diesem Tag betrug der Mittelwert 967,9 hPa. Über die gesamte Messdauer wurde ein mittlerer barometrischer Luftdruck von 967,3 hPa errechnet.

Der Verlauf der beiden Langzeitmessungen ist in Abb. 6-79 dargestellt. Alle Daten befinden sich in Tab. 14-71 des Anhangs 14.6.



Abb. 6-79: Lind West: Barometrischer Druck: Verlauf bei MP1

6.6.2 Stein West

Im Tunnel Stein West wurde der barometrische Luftdruck an beiden Messpunkten aufgezeichnet. An Messpunkt 1 wurden über den gesamten Verlauf höhere Werte erfasst. Der barometrische Luftdruck variierte an diesem Punkt zwischen 970,5 hPa und 973,2 hPa. Der Mittelwert wurde mit 971,7 hPa berechnet. Bei Messpunkt 2 bewegte sich der Luftdruck zwischen 965,7 hPa und 968,6 hPa. Aus den Daten wurde der Mittelwert mit 967,0 hPa bestimmt.

Die Verläufe des barometrischen Luftdrucks sind, für beide Messpunkte, in Abb. 6-80 abgebildet. Für die Graphik wurden die Daten der Tabelle Tab. 14-72 des Anhangs 14.6 verwendet.

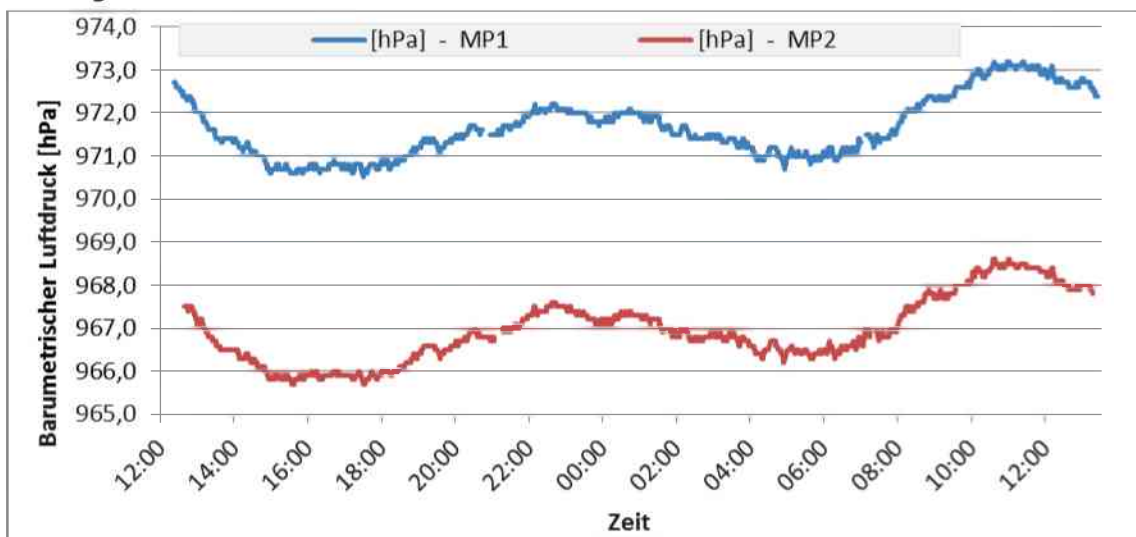


Abb. 6-80: Stein West: Barometrischer Druck: Verlauf bei MP1 & MP2

6.7 Wettergeschwindigkeit

In beiden Baulosen wurde die Wettergeschwindigkeit an den fixen Messpunkten aufgezeichnet. Diese Langzeitmessungen fanden am ersten und zweiten Messtag statt. Die Wettergeschwindigkeit wurde bei diesen Messungen an einem Punkt im Tunnelquerschnitt erfasst. Da die Wettergeschwindigkeit im Querschnitt variiert,

kann aus dieser punktuellen Messung kein gesamtes Luftvolumen berechnet werden. Für die Messungen wurden Hitzdrahtanemometer verwendet.

Zusätzlich zu den Langzeitmessungen wurde die Wettergeschwindigkeit über den Querschnitt mithilfe des Flügelradanemometers aufgenommen. Sowohl in Lind West als auch in Stein West wurde die Luftgeschwindigkeit an beiden Messpunkten notiert.

6.7.1 Lind West

6.7.1.1 Verlauf bei Messpunkt 1 und Messpunkt 2

Die Verläufe der Langzeitmessungen sind, für beide Messpunkte, in Abb. 6-81 dargestellt. Alle Daten sind in Tab. 14-73, Anhang 14.7, aufgelistet.

Am ersten Tag variierte die Wettergeschwindigkeit bei Messpunkt 1 zwischen 0,00 m/s und 0,56 m/s. Der Mittelwert betrug 0,25 m/s. Am zweiten Tag wurden Wettergeschwindigkeiten von 0,00 m/s bis 0,60 m/s erfasst. Obwohl das Maximum an diesem Tag höher war, war der Mittelwert mit 0,16 m/s geringer. Für beide Tage zusammen wurde eine mittlere Wettergeschwindigkeit von 0,21 m/s berechnet.

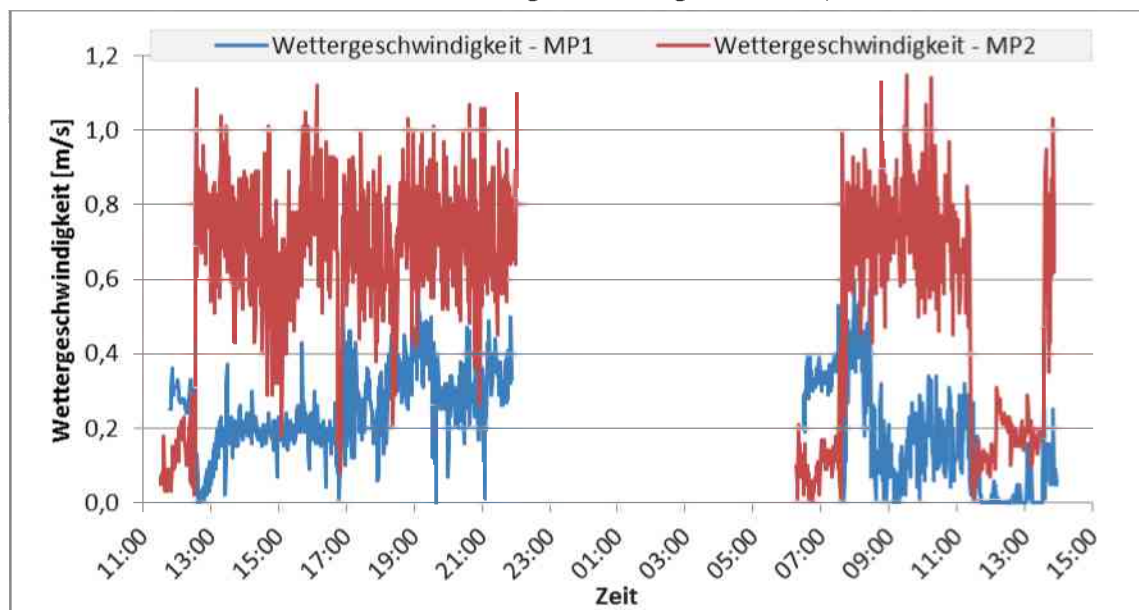


Abb. 6-81: Lind West: Wettergeschwindigkeit: Verlauf bei MP1 & MP2

Bei Messpunkt 2 schwankten die Ergebnisse an Tag 1 zwischen 0,02 m/s und 1,12 m/s. Der Mittelwert wurde mit 0,65 m/s errechnet. An Tag 2 lag die Wettergeschwindigkeit zwischen 0,00 m/s und 1,15 m/s. Aus den Daten wurde eine mittlere Wettergeschwindigkeit in der Höhe von 0,45 m/s errechnet, obwohl das Maximum geringfügig höher war als am ersten Tag. Aus beiden Tagen zusammen wurde ein Mittelwert von 0,57 m/s berechnet.

6.7.1.2 Messpunkt 1

Die Lage der Messungen an Messpunkt 1 ist, in Richtung Portal, in der Skizze Abb. 6-82 dargestellt. Sie wurden mithilfe des Flügelradanemometers durchgeführt. Alle

Messwerte sind in Tab. 6-44 aufgelistet. Das Maximum in der Höhe von 0,37 m/s wurde in der fünften Messung detektiert. In drei Messungen, Nummer vier, zehn und elf, wurde keine Luftgeschwindigkeit erkannt. Der Mittelwert wurde mit 0,14 m/s bestimmt.

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,34
2	0,25
3	0,03
4	0,00
5	0,37
6	0,00
7	0,16
8	0,23
9	0,17
10	0,00
11	0,00

Tab. 6-44: Lind West: Wettergeschwindigkeit: MP1

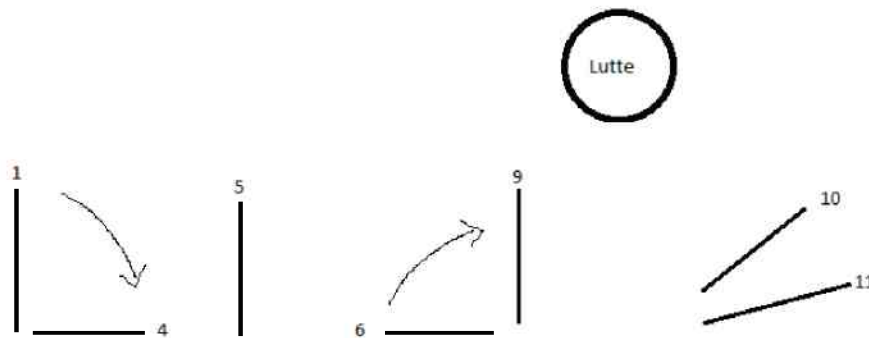


Abb. 6-82: Lind West: Skizze: Wettergeschwindigkeit: MP1: Lage der Messungen

6.7.1.3 Messpunkt 2

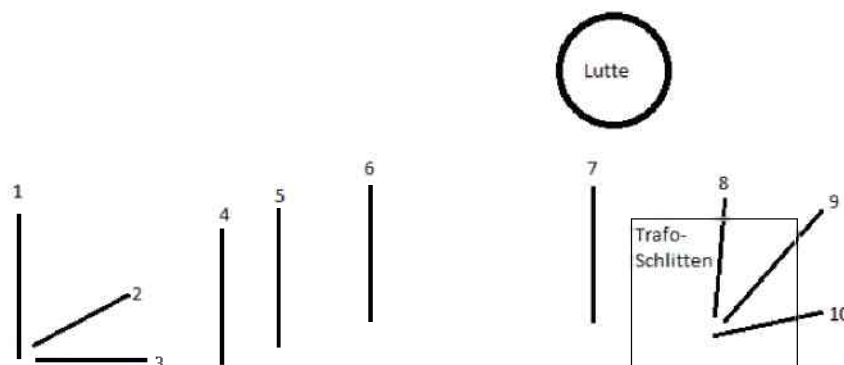


Abb. 6-83: Lind West: Skizze: Wettergeschwindigkeit: MP2: Lage der Messungen

Die Lage der einzelnen Messungen im Tunnelquerschnitt bei Messpunkt 2 ist in Abb. 6-83 skizziert. Diese Skizze wurde in Richtung Portal aufgenommen.

In Tab. 6-45 sind die Ergebnisse der Messungen aufgelistet. An Messpunkt 2 wurden höhere Werte erfasst als bei Messpunkt 1. Das Minimum wurde bei der zweiten Messung mit 0,19 m/s festgestellt und die maximale Wettergeschwindigkeit wurde mit 1,02 m/s bei Messung 6 aufgezeichnet. Diese fand in der Mitte des Querschnitts statt. Aus den Messwerten wurde ein Mittelwert von 0,59 m/s errechnet.

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,21
2	0,19
3	0,46
4	0,71
5	0,96
6	1,02
7	0,67
8	0,51
9	0,53
10	0,63

Tab. 6-45: Lind West: Wettergeschwindigkeit: MP2

6.7.2 Stein West

6.7.2.1 Verlauf bei Messpunkt 1 und Messpunkt 2

In Abb. 6-84 sind die Verläufe der Langzeitmessungen für beide Messpunkte dargestellt. Sie dauerten 25 Stunden lang an. Die Daten sind in Tab. 14-74, Anhang 14.7, aufgelistet.

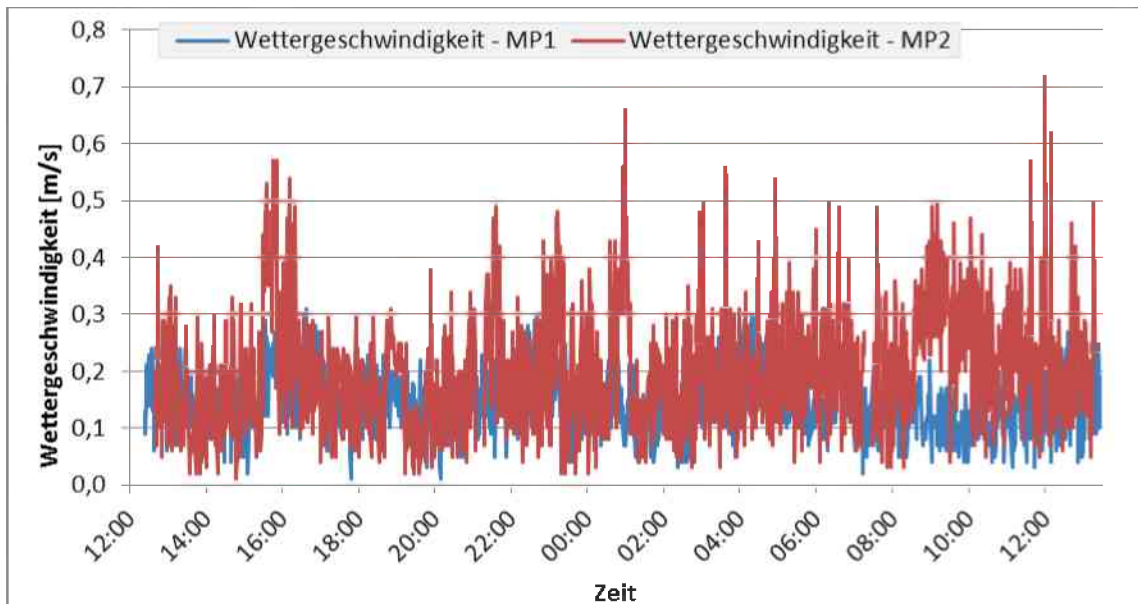


Abb. 6-84: Stein West: Wettergeschwindigkeit: Verlauf bei MP1 & MP2

An Messpunkt 1 wurde Wettergeschwindigkeiten von 0,01 m/s bis 0,33 m/s. Der Mittelwert wurde mit 0,15 m/s berechnet. Die Messwerte variierten bei Messpunkt 2 zwischen 0,01 m/s und 0,72 m/s. Aus diesen Daten wurde der Mittelwerte mit

0,20 m/s bestimmt. Sowohl das Maximum als auch der Mittelwert des zweiten Messpunktes waren höher als bei Messpunkt 1.

6.7.2.2 Messpunkt 1

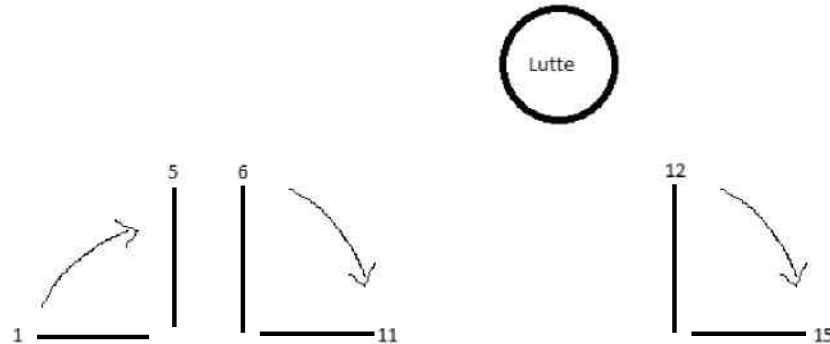


Abb. 6-85: Stein West: Skizze: Wettergeschwindigkeit: MP1: Lage der Messungen

Die Wettergeschwindigkeit wurde des Tunnelquerschnitts wurde bei Messpunkt 1 mit insgesamt 15 Messungen aufgenommen. Dabei wurde einmal das Minimum von 0,00 m/s festgestellt. Dies geschah bei Messung 11, in der Mitte der Fahrbahn und in einer Höhe von ungefähr einem Meter. Das Maximum betrug 0,27 m/s und wurde bei Messung 14 registriert. Alle Ergebnisse sind in Tab. 6-46 aufgelistet. Aus ihnen wurde der Mittelwert mit 0,16 m/s berechnet.

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,16
2	0,20
3	0,15
4	0,03
5	0,22
6	0,25
7	0,25
8	0,24
9	0,17
10	0,03
11	0,00
12	0,03
13	0,25
14	0,27
15	0,22

Tab. 6-46: Stein West: Wettergeschwindigkeit: MP1

6.7.2.3 Messpunkt 2

Bei Messpunkt 2 wurde die Wettergeschwindigkeit über den Tunnelquerschnitt zweimal aufgenommen. Die Skizze der ersten Einzelmessungen ist in Abb. 6-86

dargestellt und die der zweiten in Abb. 6-87. Beide Skizzen stellen den Blick in Richtung Portal dar.



Abb. 6-86: Stein West: Skizze: Wettergeschwindigkeit: MP2: Lage der ersten Messungen

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,23
5	0,24
6	0,44
7	0,25
8	0,16
9	0,00
10	0,15
11	0,16
12	0,44

Tab. 6-47: Stein West: Wettergeschwindigkeit: MP2: Messung 1

Wettergeschwindigkeit	
	[m/s]
1	0,45
2	0,24
3	0,10
4	0,14
5	0,00
6	0,03
7	0,18
8	0,15
9	0,07
10	0,20

Tab. 6-48: Stein West: Wettergeschwindigkeit: MP2: Messung 2

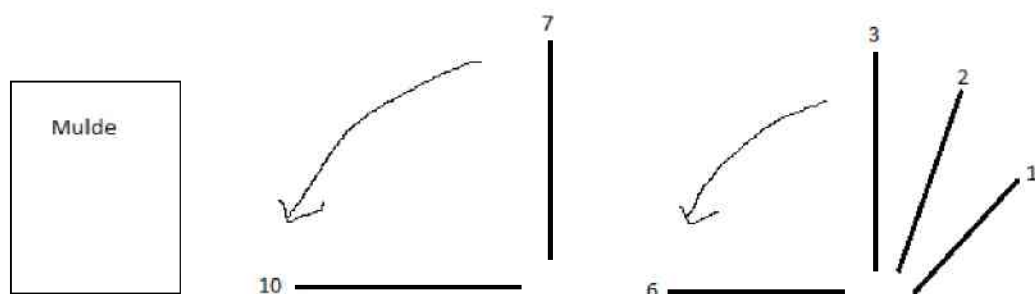


Abb. 6-87: Stein West: Skizze: Wettergeschwindigkeit: MP2: Lage der zweiten Messungen

In Tab. 6-47 sind die Messwerte der ersten Messung aufgelistet und in Tab. 6-48 jene der zweiten. Die Daten beider Messungen waren sehr ähnlich. Bei beiden wurde ein Minimum von 0,00 m/s festgestellt. Bei Messung 1 wurde dieser Wert viermal notiert, bei Messung 2 einmal. Das Maximum der ersten Messung betrug

0,44 m/s und wurde zweimal gemessen. Für Messung 2 wurde einmal der Höchstwert von 0,45 m/s registriert. Aus den beiden Datensätzen wurden die mittleren Wettergeschwindigkeiten mit 0,17 m/s für die erste und 0,16 m/s für die zweite Messung bestimmt.

6.8 Staubmessung

Die erfassten Staubkonzentrationen wurden für den Arbeitnehmerschutz mit den KZW und TMW der maximalen Arbeitsplatzkonzentration abgeglichen

6.8.1 Lind West

Neben den photometrischen Staubmessgeräten waren an jedem Messpunkt Probenahmepumpen für die gravimetrische Staubmessung montiert.

6.8.1.1 Messpunkt 1

Bei Messpunkt 1 wurde die Staubkonzentration mithilfe des TM data aufgezeichnet. Ein Messgerät des Typs GRIMM war an diesem Messpunkt nicht aufgestellt. In Folge dessen wurde nur die alveolengängige Fraktion gemessen.

Der zeitliche Verlauf des A-Staubes ist in Abb. 6-88 dargestellt. Die beiden Spitzen des Graphen wurden jeweils nach einer Sprengung registriert. Ihre Werte sind der Abbildung zu entnehmen. Der Maximalwert der A-Staub-Konzentration betrug 64,92 mg/m³ und der Mittelwert wurde mit 0,66 mg/m³ berechnet. Alle Daten der Graphik sind in Tab. 14-75, Anhang 14.8, aufgelistet. Das Messintervall betrug am ersten Tage 16 Sekunden. Am zweiten Tag wurde ein Wert alle acht Sekunden aufgezeichnet.

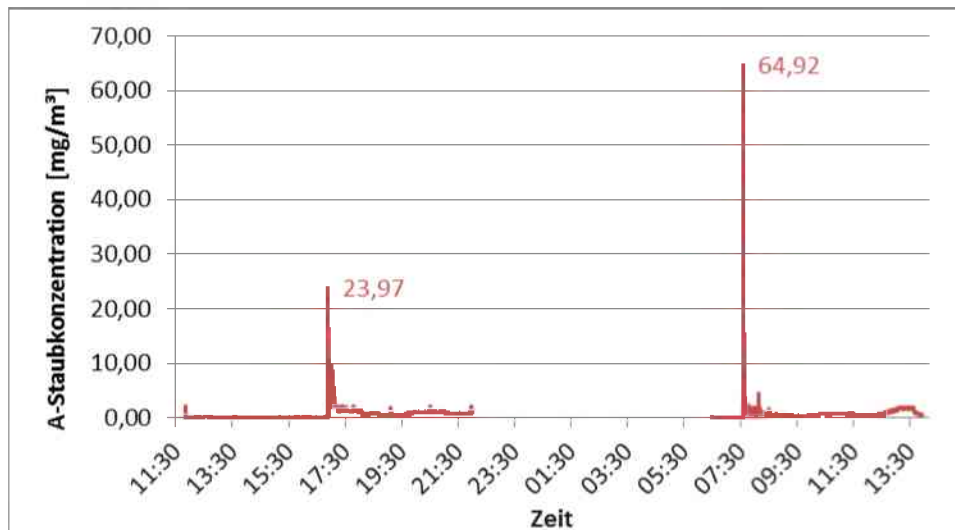


Abb. 6-88: Lind West: Staubmessung: Verlauf bei MP1

Die Daten wurden mit den MAK-Werten verglichen. Sowohl der Tagesmittelwert als auch der Kurzzeitwert wurden für die gesamte Dauer unterschritten.

6.8.1.2 Messpunkt 2

Bei Messpunkt 2 war ein Messgerät des Typs GRIMM aufgestellt. Der Verlauf der E- und A-Staubkonzentrationen ist in Abb. 6-89 dargestellt. Die Maxima, Minima und Mittelwerte sind in Tab. 6-49 aufgelistet und alle Daten befinden sich in Tab. 14-76 des Anhangs 14.8.

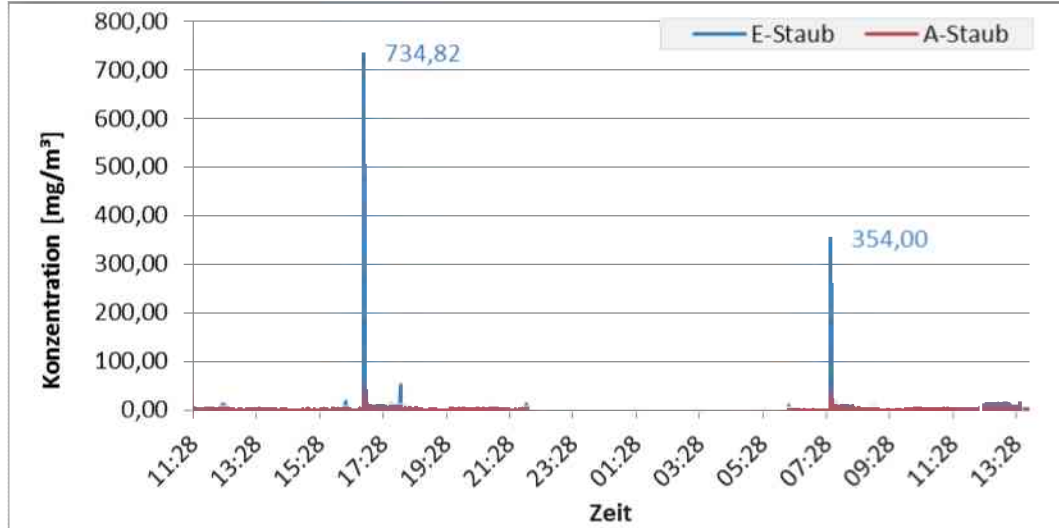


Abb. 6-89: Lind West: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: Verlauf bei MP2

Die Spitzen der Staubkonzentrationen wurden, wie bei Messpunkt 1, nach Sprengungen aufgezeichnet. Der TMW beider Fraktionen wurde unterschritten. Nach jeder Sprengung sind 15 Minuten Bewetterungszeit vorgeschrieben. In diesem Zeitraum ist ein Aufenthalt im Vortriebsbereich nur in geschlossenen Fahrzeugkabinen erlaubt. Deswegen wurde der KZW erst nach der Bewetterungszeit überprüft. Er wurde weder bei der einatembaren noch bei der alveolengängigen Fraktion erreicht.

Für die Auslegung der Sensorik sind auch die Spitzen direkt nach einer Sprengung zu beachten.

	E-Staub [mg/m ³]	A-Staub [mg/m ³]
Minimum	0,00	0,00
Maximum	734,82	41,55
Mittelwert	4,24	0,81

Tab. 6-49: Lind West: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: MP2: Minima, Maxima & Mittelwerte

6.8.2 Stein West

6.8.2.1 Messpunkt 1

Bei Messpunkt 1 wurden die E- und A-Staub-Konzentrationen mit einem Messgerät des Typs GRIMM aufgezeichnet. Der zeitliche Verlauf ist in Abb. 6-90 dargestellt. Eine Zusammenfassung ist in Tab. 6-50 aufgelistet und alle Daten der Messung befinden sich in Tab. 14-77 des Anhangs 14.8.

	E-Staub [mg/m ³]	A-Staub [mg/m ³]
Minimum	0,00	0,00
Maximum	0,72	0,58
Mittelwert	0,07	0,04

Tab. 6-50: Stein West: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: MP1: Minima, Maxima & Mittelwerte

Sowohl die Konzentration der einatembaren als auch der alveolengängigen Fraktion lag, über die gesamte Dauer der Messungen, unter den Grenzwerten TMW und KZW.

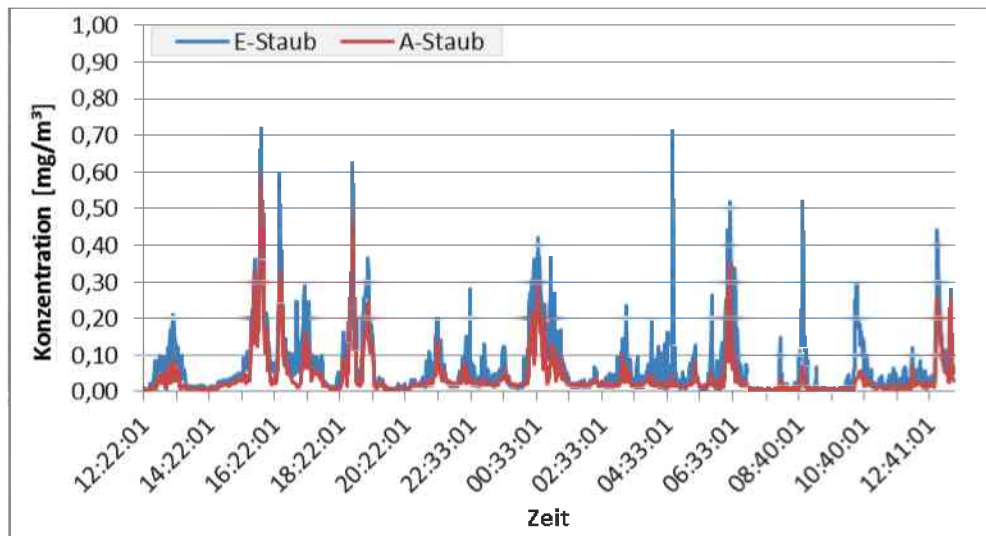


Abb. 6-90: Stein West: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: Verlauf bei MP1

6.8.2.2 Messpunkt 2

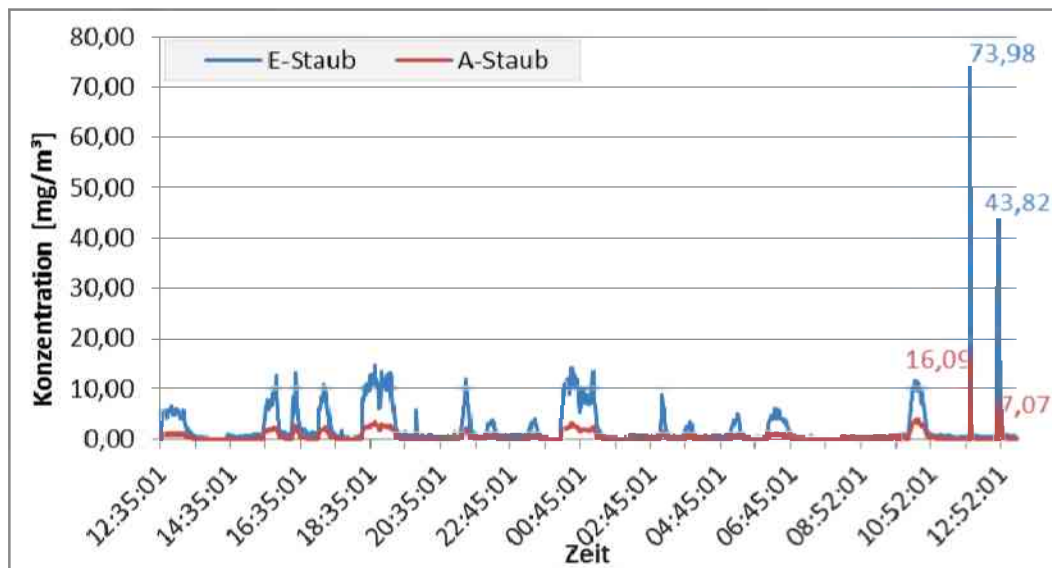


Abb. 6-91: Stein West: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: Verlauf bei MP2

Bei Messpunkt 2 war ein Messgerät des Typs GRIMM montiert. Die Ergebnisse der Staubmessung sind in Abb. 6-91 dargestellt und in Tab. 14-78, Anhang 14.8, aufgelistet. In Tab. 6-51 sind die Minima, Maxima und Mittelwerte angegeben.

An diesem Messpunkt dauerte die Staubmessung von 12:35 Uhr, am ersten Tag, bis 13:19 Uhr, am zweiten an. Zum Abgleich mit dem TMW wurde die mittleren Staubkonzentrationen für drei Abschnitte zu je acht Stunden gebildet. Der TMW wurde bei beiden Staubfraktionen in keinem Abschnitt erreicht.

Für den Vergleich mit dem Kurzzeitwert wurden die Daten in Intervalle von jeweils einer Stunde eingeteilt. Weder bei der einatembaren Fraktion, noch bei der alveolengängigen, wurde der jeweilige KZW erreicht.

	E-Staub [mg/m ³]	A-Staub [mg/m ³]
Minimum	0,05	0,01
Maximum	73,98	16,09
Mittelwert	2,14	0,48

Tab. 6-51: Stein West: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: MP2: Minima, Maxima & Mittelwerte

Die Peaks gegen Ende der Messdauer waren auf kurze staubende Arbeitsschritte, und keine Sprengung, zurückzuführen.

6.9 Fahrbahnverhältnisse

6.9.1 Lind West

Vor dem Portal war die Fahrbahn nass und aufgewühlt. Im Tunnel war sie, bis auf an einigen Stellen, relativ trocken. Auf der Fahrbahn waren keine Steine zu finden, welche die Fahrt der PKW und Maschinen behindert hätten. Fahrtechnisch am interessantesten war die Rampe, welche den Vollquerschnitt mit jenem Bereich verband, wo erst die Kalotte ausgebrochen war.



Abb. 6-92: Lind West: Fahrbahn vor dem Portal



Abb. 6-93: Lind West: Fahrbahn: 1

In Abb. 6-92 ist die Fahrbahn vor dem Portal zu sehen und in den Abbildungen Abb. 6-93, Abb. 6-94 und Abb. 6-95 sind verschiedene Bereiche der Fahrbahn zu sehen.



Abb. 6-94: Lind West: Fahrbahn: 2

Das linke Bild der Abb. 6-94 zeigt den Boden vor dem Trafoschlitten und am Ende des rechten Bildes der Abb. 6-95 ist die Ortsbrust zu sehen. Auf diesem Bild ist die Fahrbahn gut eingeebnet und an einigen Stellen feucht.



Abb. 6-95: Lind West: Fahrbahn: 3

6.9.2 Stein West

Genauso wie Lind West wies auch der Tunnel Stein West eine Rampe im Tunnel auf. Zusätzlich dazu war das Portal über eine solche zu erreichen. Der Bereich vor dem Portal war nass und aufgewühlt. Dies ist in Abb. 6-96 und Abb. 6-97 erkennbar und war auf den Niederschlag zurück zu führen.

Im Tunnel herrschten unterschiedliche Fahrbahnbedingungen. Teile der Fahrbahn waren trocken und eben, andere Bereiche waren feucht und weitere waren nass und in Folge dessen aufgewühlt. Auf der ganzen Strecke, mit Ausnahme der Rampe, war der Boden eben. Des Weiteren waren die trockenen Bereiche gut planiert. Die Fahrbahn wies keinerlei größere Steine auf, welche das Schuttern oder auch das Fördern des Spritzbetons beeinträchtigt hätte.



Abb. 6-96: Stein West: Fahrbahn vor dem Portal



Abb. 6-97: Stein West: Fahrbahn vom Portal aus



Abb. 6-98: Stein West: Fahrbahn von MP1 aus



Abb. 6-99: Stein West: Wassergraben

In Abb. 6-98 ist die Fahrbahn von Messpunkt 1 aus in Richtung Ortsbrust abgebildet und in Abb. 6-99 ist im Vordergrund rechts der Wassergraben zu sehen. Abb. 6-100 zeigt einen Bereich der Fahrbahn und im Hintergrund des Bildes ist die Rampe erkennbar, welche zur Ortsbrust führte.



Abb. 6-100: Stein West: Fahrbahn

In den Bildern von Abb. 6-101 ist die Fahrbahn einige Meter vor der Ortsbrust ersichtlich. Durch die Arbeit der Baumaschinen waren in diesem Bereich viele Fahrspuren. Wegen ihnen war die Fahrbahn leicht aufgewühlt.



Abb. 6-101: Stein West: Fahrbahn vor der Ortsbrust

6.10 Geschwindigkeitsmessung

Sowohl im Tunnel Lind West als auch in Stein West wurde die Geschwindigkeit einzelner Fahrzeuge aufgezeichnet. Insgesamt wurden vier Messungen notiert. In Lind West wurde ein Radlader mit einer Geschwindigkeit von 23km/h erfasst. Er fuhr rückwärts auf einer ebenen Fahrbahn. Im gleichen Tunnel wurde ein PKW mit 34 km/h auf der Rampe gemessen. Die Rampe verband den Bereich des Vollquerschnitts mit jenem wo erst die Kalotte ausgebrochen war.

In Stein West wurde die Geschwindigkeit einer Mulde beim Schuttern aufgezeichnet. Sie fuhr rückwärts, mit 22 km/h, in Richtung Ortsbrust. Beim hinaus Fahren wurden auf der Ebene 30 km/h notiert.

7 Zusammenfassung

Die größten Unterschiede zwischen Bauabschnitt Stein und Baulos Wolf 2 lagen in der vorgetriebenen Tunnellänge und der Überlagerungshöhe. Die Ortsbrust am BBT befand sich ungefähr 5 km vom Portal entfernt. Das Bauwerk ist ein tiefliegender Tunnel. Lind West war zu Beginn der ersten beiden Tage auf einer Länge von 305 m vorgetrieben und Stein West auf 223 m. Sowohl Lind West als auch Stein West zählen zur Kategorie der seichtliegenden Tunnel. Fixe Messpunkte erlaubten Langzeitmessungen. Mit tragbaren Messgeräten wurden zur Verdichtung der Information an zusätzlich Stellen der Tunnelbauwerke Daten aufgenommen.

Aus den Messungen der Beleuchtungsstärke wurden große Unterschiede zwischen einem wolkenfreien Himmel, BL Wolf 2, und einem bedeckten, Bauabschnitt Stein, erkannt. Nach dem Portal sank die Beleuchtungsstärke schnell. Im Tunnel wurde ihre starke Abhängigkeit von der Entfernung zu einer Lichtquelle sichtbar. Unter einer Firstlampe wurden Werte über 120 lx erfasst, nach sechs bis sieben Metern lagen die Messwerte bei 15 lx.

Der Schalldruckpegel erreichte regelmäßig unangenehme und auch gehörschädigende Werte. Er war von den Geräuschen in seiner direkten Umgebung abhängig. So wurde in BL Wolf 2 bei Messpunkt 1, mit 81,9 dB, ein höherer A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel erkannt als bei Messpunkt 2, wo er 62,6 dB betrug. In der Nähe von Messpunkt 1 wurde Luft in die Lutte gesaugt. Bei Messpunkt 3 waren keine zusätzlichen Geräuschquellen vorhanden.

Je nach Arbeitsschritt und nach Entfernung des Messgeräts von der Geräuschquelle wurden unterschiedliche Schalldruckpegel aufgezeichnet. So wurden beim Auftragen des Spritzbetons äquivalente Dauerschallpegel von 80 dB (A) bis 90 dB (A) und Spitzenschalldruckpegel mit über 105 dB (C) erfasst.

Beim Bohren waren der Bereich des Bohrvortriebs und des Leerlaufs gut unterscheidbar. Während des Bohrvorgangs wurde für den L_{Aeq} bis zu 105 dB und für den L_{Cpeak} bis zu 118 dB erfasst.

Beim Sprengen war der maximal erfassbare Schalldruckpegel des Messgerätes, 130 dB, nicht ausreichend. Sowohl beim Sprengmeister in Wolf 2, als auch vor dem Tunnel Lind West wurde das Schalldruckpegelmessgerät übersteuert.

Da bei einzelnen Arbeiten so hohe Schalldruckpegel auftraten, wurden vorbeifahrende Fahrzeuge kaum als eine Steigerung der Schalldruckpegel wahrgenommen.

Die Lufttemperatur nahm in allen drei Baustellen vom Portal zur Ortsbrust zu. Veränderungen der Wandtemperatur wurden hauptsächlich bei feuchten Stellen (Abnahme) oder in der Nähe einer Leuchte (Zunahme) registriert. Mit der Tunnellänge war ein leichter ansteigender Trend der Wandtemperatur erkennbar. Luft- und Wandtemperaturmessungen in Portalnähe wurden durch die Witterung stark beeinflusst.

In allen drei Tunnelbauwerken wurde bei den Messpunkten, welche der Ortsbrust näher waren, eine geringere relative Luftfeuchtigkeit aufgezeichnet.

Der barometrische Druck schwankte an allen Messpunkten, in jedem Bauwerk. Gegen 12:00 Uhr und 24:00 Uhr wurden um rund 2 hPa höhere Werte als gegen 06:00 Uhr und 18:00 Uhr erfasst. Bei BL Wolf 2 war der barometrische Druck bei Messpunkt 3 am höchsten und bei Messpunkt 1 am niedrigsten. In Stein West wurde bei Messpunkt 1 höhere Drücke aufgezeichnet.

Für die Wettergeschwindigkeit wurden bei den Messpunkten starke Schwankungen um einen konstanten Mittelwert festgestellt. Eine Ausnahme bildete Messpunkt 1, Wolf 2. Bei ihm war kein konstanter Mittelwert erkennbar.

In Wolf 2 sank die mittlere Wettergeschwindigkeit von Messpunkt 1 bis Messpunkt 3. In Lind West und Stein West wiesen die Messpunkte 2 höhere Mittelwerte auf. Bei den händischen Messungen wurde die Variation der Wettergeschwindigkeit im Tunnelquerschnitt aufgezeigt.

Wegen der großen baulichen Unterschiede zwischen BL Wolf 2 und den beiden kürzeren Tunneln, Lind West und Stein West, traten bei der Messung der Staub- und Gaskonzentrationen völlig unterschiedliche Werte auf. Die Konzentrationen wurden mit den jeweiligen MAK-Werten, nach der Grenzwertverordnung 2011, verglichen. Durch die fixen Messpunkte konnte die Wanderung der Schwaden von der Ortsbrust bis zum Portal nachvollzogen werden. Bei Wolf 2 dauerte das ungefähr drei Stunden lang, in den beiden kürzere Tunnel nur ein paar Minuten.

Nach jeder Sprengung wurden die KZW des E-Staubs bei Messpunkt 3, in Wolf 2, deutlich überschritten. Beim A-Staub wurde der KZW nach der letzten aufgezeichneten Sprengung leicht überschritten. Die TMW wurden, für die einatembare Fraktion über die gesamte Messdauer und für die alveolengängige Fraktion über 2/3 der Messdauer, nicht eingehalten.

Bei den anderen Messpunkten, in allen drei Tunneln, wurden die Grenzwerte für die Staubkonzentrationen eingehalten. In ihnen wurde auch nicht, wie in Wolf 2, in einem Abstand von ungefähr vier Stunden gesprengt.

Mögliche technische Maßnahmen zum Arbeitnehmerschutz wären eine stärkere Bewetterung und eine nasse Fahrbahn. Organisatorisch könnte die Schicht geteilt werden, damit nicht über die gesamte Arbeitszeit im Vortriebsbereich gearbeitet wird. Als letzte Maßnahme besteht die Möglichkeit einer persönlichen Schutzausrüstung, in diesem Fall wäre das eine Staubmaske.

Die gemessenen Gase umfassten Sauerstoff (O₂), Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenstoffdioxid (CO₂), Schwefelwasserstoff (H₂S), Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂), Methan (CH₄) und brennbare Gase (COMB/EX). In allen drei Tunneln lag der Sauerstoff-Gehalt im Bereich von 20,8 %. Der Sprengvortrieb wirkte sich auf die Konzentration der Gase CO und NO aus. Nach einer Sprengung wurden Expositionsspitzen bei beiden Gasen festgestellt. Bei

NO wurden die Grenzwerte eingehalten, bei CO wurde der KZW, auch nach Verstreichen der 15 Minuten Bewetterungszeit, in Wolf 2 zum Teil überschritten. CO₂-Konzentrationen stiegen durch Sprengungen sowie durch Fahrzeuge an.

Die Geschwindigkeit der Fahrzeuge lag in allen drei Tunneln zwischen 20 km/h und 34 km/h. Die Fahrer nahmen auf Personen am Fahrbahnrand Rücksicht. In allen drei Bauwerken war die Fahrbahn in einem guten Zustand. Im Vortriebsbereich des BL Wolf 2 wäre eine nassere Fahrbahn von Vorteil gewesen, um die Staubkonzentrationen zu minimieren.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Hering, E. et al.: Physik für Ingenieure, 11. Überarbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012, S. 544, S. 630 ff.
- [2] Bertelsmann Lexikon in 14 Bänden, Band 2 Auf-Brem, Wissen Media Verlag GmbH, Gütersloh/München, 2006, S. 177
- [3] Sonnenschein, U. et al.: Elektrische Einrichtungen im Tunnelbau, Abrufnummer 679 (BG-Bau), M 243 (AUVA), Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG-Bau), München, Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Wien, Oktober 2007
- [4] Lärmesstechnik - Ermittlung des Lärmexpositionspegels am Arbeitsplatz – Lärmschutz-Arbeitsblatt LSA 01-400, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Jänner 2012, Berlin
- [5] User Documentation: Sound Level Meter Nor-116, Norsonic, Lierskogen (Norwegen), Juni 1999
- [6] Bertelsmann Lexikon in 14 Bänden, Band 4 Deu-Fal, Wissen Media Verlag GmbH, Gütersloh/München, 2005, S. 35
- [7] Blumenthal, G. et al.: Chemie Grundwissen für Ingenieure, 1. Auflage, August 2006, B.G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, S. 25
- [8] Bischoff, W. et al.: Das kleine Bergbaulexikon, 8. Auflage, Verlag Glückauf Essen, 1998, S. 142, S. 384, S. 387
- [9] Ippavitz, A.: Messung von Stäuben am Arbeitsplatz, Österreichische Staub-(Silikose-) Bekämpfungsstelle, Leoben
- [10] Kuchling, H.: Taschenbuch der Physik, 20. Aktualisierte Auflage, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2011, S. 342 ff.
- [11] Dobrinski, P. et al.: Physik für Ingenieure, 7. überarbeitete und erweiterte Auflage, B. G. Teubner Stuttgart, Stuttgart, 1988, S. 455 ff., S. 608
- [12] 19.09.2016, 11:50:
http://www.konicaminolta.com/instruments/download/instruction_manual/light/index.html
Illuminance Meter T-10A/T-10MA Instruction Manual, Konica Minolta, Inc., 2012-2013
- [13] 12.09.2016, 12:05:
http://www.farbkarten-shop.de/Mess-u-Prueftechnik/Lichtmessgeraete/Luxmeter-T-10A::20.html?gclid=CNT92_7Fic8CFUgo0wodRUsDnA
Datenblatt: Beschreibung und technische Daten der Luxmeter T-10 und T-10M
- [14] Die Handhabung des Schallpegelmessers NOR-116, Firma Norsonic, Lierskogen (Norwegen), November 1996
- [15] 15.09.2016,10:58:
<http://www.msagasmonitors.com/dausma1.html>
Gebrauchsanleitung ALTAIR® 4X Gasmessgerät, MSA AUER GmbH, Berlin
- [16] 15.09.2016, 10:32:
<http://at.msasafety.com/Tragbare-Gasmesstechnik/Multi-Gas/Multi-Gasmessger%C3%A4t-ALTAIR%C2%AE-5X/p/000080001600001023>

- Gebrauchsanleitung ALTAIR® 5X – Multigasmessgerät, ALTAIR® 5X IR – Multigasmessgerät, MSA AUER GmbH, Deutschland
- [17] 14.09.2016, 14:14:
<http://www.raesystems.de/downloads/product-data-sheets>
Datenblatt des MultiRAE Lite, Firma RAE Systems
- [18] 14.09.2016, 14:58:
<http://www.raesystems.de/downloads/product-data-sheets>
MultiRAE User's Guide, Firma RAE Systems, 2014
- [19] 20.09.2016, 16:31:
<http://www.vaisala.de/de/services/technicalsupport/downloads/Pages/Brochures-and-Datasheets.aspx>
Datenblatt: „HMI41 Indicator and HMP42/HMP46 Probes“, Vaisala, 2013
- [20] 20.09.2016, 16:17:
<http://www.vaisala.de/de/services/technicalsupport/downloads/Pages/User-Manuals.aspx>
Bedienungsanleitung Vaisala HUMICAP® Feuchte- und Temperaturmessgerät und Sonden HMI41, Vaisala Oyi, Helsinki, 2006
- [21] 21.09.2016, 12:14:
<http://www.fuehlersysteme.de/wiki/pt100>
- [22] Saecker, D.: Ende der Verunsicherung. DIN EN 60751:2009 legitimiert den industriellen Einsatz vieler Platin-Widerstandsthermometer, CAV - Chemie-Anlagen + Verfahren, 2010, Band 43, Heft 3, Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH, Leinfelden-Echterdingen, S. 29-31,
- [23] Bedienungsanleitung optris® LaserSight Infrarot-Thermometer, optris®
- [24] 21.09.2016, 11:05:
<http://tfa-dostmann.de/index.php?id=78>
Bedienungsanleitung Digitales Thermo-Hygrometer, TFA Dostmann GmbH & Co.KG, Wertheim, Jänner 2013
- [25] 19.09.2016, 14:56:
<http://www.schiltknecht.com/downloads.php>
Datenblatt des Strömungsmessgerätes MiniAir20, Immendingen
- [26] Nitsche, W., Brunn, A.: Strömungsmesstechnik, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006, S. 49-52
- [27] 23.09.2016, 15:06
<http://www.tsi.com/Luftgeschwindigkeitsmessger%C3%A4t-VELOCICALC-9545/>
Datenblatt: Modell 9515, 9535, und 9545 VelociCalc A4 DE, TSI Incorporated, USA, 2013
- [28] 23.09.2016, 15:07:
<http://www.tsi.com/velocicalc-multi-function-ventilation-meter-9565/>
Bedienungs- und Wartungsanleitung: VelociCalc Luftgeschwindigkeitsmessgerät Modell 9565 Serie, TSI Incorporated, Shoreview (USA), 2011
- [29] Bedienungsanleitung für die Staubmeßgeräte Modell 1.104 - 1.108, 4. Auflage, GRIMM Labortechnik GmbH, Ainring (Deutschland), Mai 1995

- [30] Bedienungsanleitung TM data Version 8 K, Helmut Hund GmbH, Wetzlar (Deutschland), 1989
- [31] 28.09.2016, 08:34
<http://www.manualguru.com/bushnell/velocity-101911/owners-manual>
Owner's Manual: Bushnell Velocity Model 101911, Bushnell Outdoor Products, 2013
- [32] 31.07.2017, 16:36:
<https://www.bbt-se.com/tunnel/baufortschritt/>
Übersichtsplan Baulos Wolf 2
- [33] Plan: Zugangstunnel Wolf Süd Längenschnitt (D0583-21111-60), erhalten von Wetzlinger, P. am 24.08.2016, erstellt durch PGW2 - Planungsgemeinschaft Wolf 2 (iC - BWB - hbpm - LR - GWU), geprüft: 12.03.2015
- [34] Ausführungsplan: Regelquerschnitt - Typ EKS-SST - Flache Sohle (D0583-21620-60), erhalten von Wetzlinger, P. am 24.08.2016, erstellt durch PGW2 - Planungsgemeinschaft Wolf 2 (iC - BWB - hbpm - LR - GWU), geprüft: 03.03. 2015
- [35] Bau-Information: Koralmbahn: Anschnitt Mittlern - Althofen/Drau, ÖBB-Infrastruktur AG, Wien, Jänner 2016
- [36] Koralmbahn Streckenabschnitt: Aich - Mittlern - Althofen/Drau, Streckenkarte, ÖBB-Werbung GmbH im Auftrag der ÖBB-Infrastruktur AG, Wolkersdorf, September 2014
- [37] Rahmenplan: Tunnel Lind (Objekt MA 27) inkl. Offene Bauweisen, erhalten von Galler, R. am 02.08.2017, erstellt durch Arbeitsgemeinschaft Tunnelkette St. Kanzian (iLF - Öhlinger+Partner), geprüft: 30.04.2015
- [38] Rahmenplan: Tunnel Stein (Objekt MA 24), erhalten von Galler, R. am 02.08.2017, erstellt durch Arbeitsgemeinschaft Tunnelkette St. Kanzian (iLF - Öhlinger+Partner), geprüft: 30.04.2015
- [39] Sprengschema: Schutterstollen 1,30m, erhalten von Wetzlinger, P. am 24.08.2016, erstellt durch Austin Powder Ges.m.b.H., St. Lambrecht, 15.12.2014
- [40] Sprengschema: Schutterstollen 1,70m, erhalten von Wetzlinger, P. am 24.08.2016, erstellt durch Austin Powder Ges.m.b.H., , St. Lambrecht, 15.12.2014
- [41] Lautenschläger, K.-H.: Taschenbuch der Chemie, 19. überarbeitete Auflage, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 2002, S. 452

Normen und Richtlinien:	
DIN 5031	Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik
ÖNORM EN ISO 9612	Akustik – Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz – Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren)
DIN EN 60751:2009	Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-Temperatursensoren (IEC 60751:2008); Deutsche Fassung EN 60751:2008
DIN EN 61672	Elektroakustik - Schallpegelmesser
ÖNORM EN 481: 1993 10 01	Arbeitsplatzatmosphäre - Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel
Grenzwerteverordnung 2011 - GKV 2011	Verordnung des Bundesministers für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz über Grenzwerte für Arbeitsstoffe sowie über krebserzeugende und über fortpflanzungsgefährdende (reproduktionstoxische) Arbeitsstoffe
Bauarbeiterschutzverordnung - BauV	Verordnung des Bundesministers für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz über Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Baustellen und auf auswärtigen Arbeitsstellen
AStV	Verordnung der Bundesministerin für Arbeit, Gesundheit und Soziales, mit der Anforderungen an Arbeitsstätten und an Gebäuden auf Baustellen festgelegt und die Bauarbeiterschutzverordnung geändert wird (Arbeitsstättenverordnung - AStV)
ArbeitnehmerInnenschutzgesetz - ASchG	Bundesgesetz über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit

9 Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Daten zur Beleuchtungsstärke ^[1]	4
Tab. 2-2: Beleuchtungsstärke (empfohlene Mindestwerte)	5
Tab. 2-3: Zeitbewertungen nach DIN EN 61672 ^[4]	6
Tab. 2-4: Dezibel Skala ^[6]	8
Tab. 2-5: Auszug aus Anhang I/2011 (Stoffliste) der GKV 2011.....	10
Tab. 3-1: Messbereiche des Luxmeters T-10A	14
Tab. 3-2: Kosinusfehler des Luxmeters T-10A	15
Tab. 3-3: Klassen der richtungsabhängigen Empfindlichkeit nach DIN	15
Tab. 3-4: ALTAIR 4X: Technische Daten der Sensoren.....	19
Tab. 3-5: ALTAIR 5X: Technische Daten der Sensoren.....	21
Tab. 3-6: MultiRAE Lite: Technische Daten der Sensoren	23
Tab. 3-7: Messbereiche und Genauigkeiten des VelociCalc 9545 ^[27]	29
Tab. 5-1: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 1: Zusammenfassung des Messgerätes	52
Tab. 5-2: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 1: Maxima, Minima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}	52
Tab. 5-3: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 2: Zusammenfassung des Messgerätes	54
Tab. 5-4: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 2: Maxima, Minima und Mittelwerte der zwei Bereiche von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}	55
Tab. 5-5: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Lutten-Verlängerung: Maxima, Minima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}	55
Tab. 5-6: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Luttenende: Zusammenfassung des Messgerätes	57
Tab. 5-7: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Luttenende: Maxima, Minima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}	57
Tab. 5-8: BBT: Schalldruckpegel: Schweißen bei Messpunkt 3.....	58
Tab. 5-9: BBT: Schalldruckpegelmessung: Schuttern von Messpunkt 3 aus: Zusammenfassung des Messgerätes	58
Tab. 5-10: BBT: Schalldruckpegelmessung Schuttern von Messpunkt 3 aus: Maxima, Minima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}	59
Tab. 5-11: BBT: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Vergleich der Maxima, Minima und Mittelwerte: „Messen von Messpunkt 3 aus“ mit „Messen hinter dem Spritzbüffel“	61
Tab. 5-12: BBT: Schalldruckpegelmessung: Spritzen vom Luttenende aus: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2.....	61
Tab. 5-13: BBT: Schalldruckpegelmessung: Spritzen vom Luttenende aus: Maxima, Minima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} : Vergleich der Dauermessungen	63
Tab. 5-14: BBT: Schalldruckpegelmessung: Gittern vom Luttenende aus: Vergleich der Maxima, Minima und Mittelwerte der Hebebühne mit und ohne Last	63
Tab. 5-15: BBT: Schalldruckpegelmessung: Gittern vom Luttenende aus: Zusammenfassung des Messgerätes	64
Tab. 5-16: BBT: Schalldruckpegelmessung: Gittern vom Luttenende aus: Maxima, Minima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak}	64

Tab. 5-17: BBT: Schalldruckpegelmessung: Bohren neben dem Bohrwagen: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2.....	65
Tab. 5-18: BBT: Schalldruckpegelmessung: Bohren neben dem Bohrwagen: Maxima, Minima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{CPeak} : Vergleich der Dauermessungen.....	66
Tab. 5-19: BBT: Schalldruckpegelmessung: Mittlerer Umgebungslärm beim Sprengmeister unmittelbar vor der Sprengung	68
Tab. 5-20: BBT: Schalldruckpegelmessung: Vorbeifahrende Fahrzeuge	69
Tab. 5-21: BBT: Gasmessung: MP1, MP2 & MP3: Beginn und Ende der Dauermessung	72
Tab. 5-22: BBT: Lufttemperaturmessung: MP1, MP2 & MP3: Minima, Maxima und Mittelwert: Während der Vortriebsarbeiten.....	81
Tab. 5-23: BBT: Lufttemperaturmessung: MP1: Thermohygrometer Vaisala HMI41: während Vortriebsarbeiten	82
Tab. 5-24: BBT: Lufttemperaturmessung: MP2: Thermo-Hygrometer & Infrarot-Thermometer: ohne Vortriebsarbeiten.....	83
Tab. 5-25: BBT: Lufttemperaturmessung: MP2: Thermohygrometer Vaisala HMI41: während Vortriebsarbeiten	83
Tab. 5-26: BBT: Lufttemperaturmessung: MP3: Thermohygrometer Vaisala HMI41: während Vortriebsarbeiten	84
Tab. 5-27: BBT: Lufttemperaturmessung ohne Betrieb: 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt: einzelne Messstellen	85
Tab. 5-28: BBT: Lufttemperaturmessung: Kaverne der Radladerversuche: Infrarot-Thermometer	86
Tab. 5-29: BBT: Lufttemperaturmessung: Kaverne der Radladerversuche; Thermo-Hygrometer	86
Tab. 5-30: BBT: Wandtemperatur: MP3: Während der Vortriebsarbeiten	87
Tab. 5-31: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit: MP1, MP2 & MP3: Vergleich der Minima, Maxima und Mittelwerte während der Vortriebsarbeiten.....	88
Tab. 5-32: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit: Portalbereich: ohne Vortriebsarbeiten..	89
Tab. 5-33: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit: MP1: Während der Vortriebsarbeiten ...	89
Tab. 5-34: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit: MP2: ohne Vortriebsarbeiten	90
Tab. 5-35: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit: MP2: tragbares Messgerät: Während Vortriebsarbeiten	91
Tab. 5-36: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit: MP3: Während der Vortriebsarbeiten ...	91
Tab. 5-37: Relative Luftfeuchtigkeit ohne Betrieb: 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt: einzelne Messstellen (Tag 1).....	92
Tab. 5-38: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit ohne Betrieb: 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt: einzelne Messstellen (Tag 2).....	92
Tab. 5-39: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit ohne Betrieb: 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt: Messstelle 1	93
Tab. 5-40: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit ohne Betrieb: MQ 43	93
Tab. 5-41: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit ohne Betrieb: Kaverne der Radladerversuche: Hitzdrahtanemometer	94

Tab. 5-42: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit ohne Betrieb: Kaverne der Radladerversuche	95
Tab. 5-43: BBT: Barometrischer Druck: MP1, MP2 & MP3: Vergleich der Minima, Maxima und Mittelwerte während der Vortriebsarbeiten.....	96
Tab. 5-44: BBT: Wettergeschwindigkeit: MP1, MP2 & MP3: Vergleich der Minima, Maxima und Mittelwerte während der Vortriebsarbeiten.....	96
Tab. 5-45: BBT: Wettergeschwindigkeit ohne Betrieb: Portalbereich: Hitzdrahtanemometer	97
Tab. 5-46: BBT: Wettergeschwindigkeit ohne Betrieb: Portalbereich: Flügelradanemometer	97
Tab. 5-47: BBT: Wettergeschwindigkeit ohne Betrieb: MP2: Hitzdrahtanemometer: Vom Boden aus	99
Tab. 5-48: BBT: Wettergeschwindigkeit ohne Betrieb: MP2: Hitzdrahtanemometer: Vom Radlader aus.....	99
Tab. 5-49: BBT: Wettergeschwindigkeit ohne Betrieb: MP2: Flügelradanemometer: Vom Boden aus	100
Tab. 5-50: BBT: Wettergeschwindigkeit ohne Betrieb: MP2: Flügelradanemometer: Vom Radlader aus.....	100
Tab. 5-51: BBT: Wettergeschwindigkeit mit Vortriebsarbeiten: MP2: Flügelradanemometer	101
Tab. 5-52: BBT: Wettergeschwindigkeit: MP3: Flügelradanemometer: Während Vortriebsarbeiten.....	102
Tab. 5-53: BBT: Wettergeschwindigkeit: 300 m bis 100 von der Ortsbrust entfernt: bei Messstelle 1: Hitzdrahtanemometer: Vom Boden aus	103
Tab. 5-54: BBT: Wettergeschwindigkeit: 300 m bis 100 von der Ortsbrust entfernt: bei Messstelle 1: Flügelradanemometer: ohne Betrieb	103
Tab. 5-55: BBT: Wettergeschwindigkeit: 300 m bis 100 von der Ortsbrust entfernt: bei Messstelle 1: Hitzdrahtanemometer: Vom Radlader aus, ohne Betrieb	104
Tab. 5-56: BBT: Wettergeschwindigkeit: 300 m bis 100 von der Ortsbrust entfernt: bei Messstelle 1: Flügelradanemometer: Vom Radlader aus, ohne Betrieb	104
Tab. 5-57: Wettergeschwindigkeit: MQ 43: Hitzdrahtanemometer: ohne Betrieb	105
Tab. 5-58: Wettergeschwindigkeit: MQ 43: Flügelradanemometer: ohne Betrieb	105
Tab. 5-59: BBT: Wettergeschwindigkeit: MQ 43: Flügelradanemometer: Während der Vortriebsarbeiten	106
Tab. 5-60: BBT: Wettergeschwindigkeit: Kaverne der Radladerversuche: Hitzdrahtanemometer (Test031): ohne Betrieb.....	107
Tab. 5-61: BBT: Wettergeschwindigkeit: Kaverne der Radladerversuche: Hitzdrahtanemometer (Test032): ohne Betrieb.....	108
Tab. 5-62: BBT: Wettergeschwindigkeit: Kaverne der Radladerversuche: Flügelradanemometer: ohne Betrieb	108
Tab. 5-63: BBT: Gravimetrische Staubmessung: Konzentration: MP1.....	109
Tab. 5-64: BBT: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: MP1: Minima, Maxima & Mittelwerte.....	110
Tab. 5-65: BBT: Gravimetrische Staubmessung: Konzentration: MP2.....	110

Tab. 5-66: BBT: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: MP2: Minima, Maxima & Mittelwerte.....	111
Tab. 5-67: BBT: Gravimetrische Staubmessung: Konzentration: MP3.....	111
Tab. 5-68: BBT: Staubmessung: E-Staub & A-Staub: MP2: Minima, Maxima & Mittelwerte	113
Tab. 5-69: BBT: Photometrische Staubmessung: GRIMM: Konzentration: TMW: MP3	113
Tab. 5-70: BBT: Photometrische Staubmessung: TM data: TMW: MP3.....	113
Tab. 5-71: BBT: Geschwindigkeit: Mulden beim Schuttern	116
Tab. 5-72: BBT: Geschwindigkeit: LKW bergab.....	117
Tab. 6-1: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2.....	121
Tab. 6-2: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP 1: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak} : Vergleich der Dauermessungen	121
Tab. 6-3: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1, Dauermessung 2 und Dauermessung 3	124
Tab. 6-4: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak} : Vergleich der Dauermessungen.....	124
Tab. 6-5: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Ablauten: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2	127
Tab. 6-6: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Ablauten: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak} : Vergleich der Dauermessungen	127
Tab. 6-7: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachziehen und nachschneiden: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1, Dauermessung 2 und Dauermessung 3	129
Tab. 6-8: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachziehen und nachschneiden: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak} : Vergleich der Dauermessungen	130
Tab. 6-9: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2	133
Tab. 6-10: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak} : Vergleich der Dauermessungen	133
Tab. 6-11: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Schuttern: Zusammenfassung des Messgerätes	135
Tab. 6-12: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Schuttern: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak}	136
Tab. 6-13: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1, Dauermessung 2 und Dauermessung 3	137
Tab. 6-14: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak} : Vergleich der Dauermessungen	137
Tab. 6-15: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Vor dem Sprengen: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak}	141

Tab. 6-16: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Vorbeifahrende Fahrzeuge	141
Tab. 6-17: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Zusammenfassung des Messgerätes	142
Tab. 6-18: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak}	142
Tab. 6-19: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP2: Zusammenfassung des Messgerätes	143
Tab. 6-20: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP2: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak}	144
Tab. 6-21: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden bzw. nachziehen und Ankerplatten freischlagen: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2	145
Tab. 6-22: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden bzw. nachziehen und Ankerplatten freischlagen: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak} : Vergleich der Dauermessungen	145
Tab. 6-23: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1, Dauermessung 2, Dauermessung 3 und Dauermessung 4	147
Tab. 6-24: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak} : Vergleich der Dauermessungen	148
Tab. 6-25: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2	151
Tab. 6-26: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak} : Vergleich der Dauermessungen	152
Tab. 6-27: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Sohle spritzen: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2.....	154
Tab. 6-28: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Sohle spritzen: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak} : Vergleich der Dauermessungen	154
Tab. 6-29: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Gittern der Sohle: Zusammenfassung des Messgerätes	156
Tab. 6-30: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Gittern der Sohle: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak}	157
Tab. 6-31: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Zusammenfassung des Messgerätes: Dauermessung 1 und Dauermessung 2	158
Tab. 6-32: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Minima, Maxima und Mittelwerte von L_{Aeq} , F_{Amax} und L_{Cpeak} : Vergleich der Dauermessungen	158
Tab. 6-33: Lind West: Lufttemperaturmessung: MP1	171
Tab. 6-34: Lind West: Lufttemperaturmessung: MP2	172
Tab. 6-35: Lind West: Wandtemperatur: Messpunkt	173
Tab. 6-36: Stein West: Lufttemperaturmessung: Messpunkt 1	175
Tab. 6-37: Stein West: Lufttemperaturmessung: Messpunkt 2	175
Tab. 6-38: Stein West: Wandtemperaturverlauf 1: Minima & Maxima.....	178
Tab. 6-39: Stein West: Wandtemperaturverlauf 2: Minima & Maxima.....	179
Tab. 6-40: Lind West: Relative Luftfeuchtigkeit: Messpunkt 1	180
Tab. 6-41: Lind West: Relative Luftfeuchtigkeit: Messpunkt 2	180

Tab. 6-42: Stein West: Relative Luftfeuchtigkeit: Messpunkt 1	181
Tab. 6-43: Stein West: Relative Luftfeuchtigkeit: Messpunkt 2	182
Tab. 6-44: Lind West: Wettergeschwindigkeit: MP1	185
Tab. 6-45: Lind West: Wettergeschwindigkeit: MP2	186
Tab. 6-46: Stein West: Wettergeschwindigkeit: MP1	187
Tab. 6-47: Stein West: Wettergeschwindigkeit: MP2: Mesung 1	188
Tab. 6-48: Stein West: Wettergeschwindigkeit: MP2: Mesung 2	188
Tab. 6-49: Lind West: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: MP2: Minima, Maxima & Mittelwerte.....	190
Tab. 6-50: Stein West: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: MP1: Minima, Maxima & Mittelwerte.....	191
Tab. 6-51: Stein West: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: MP2: Minima, Maxima & Mittelwerte.....	192
Tab. 12-1: Technische Daten des Luxmeter T-10A ^[12]	223
Tab. 12-2: Technische Daten: HMI41 und HMP46	226
Tab. 12-3: Technische Daten des VelociCalc 9545 ^[27]	227
Tab. 12-4: Technische Daten des VelociCalc 9565 ^[28]	228
Tab. 13-1: Verlauf der Lichtstärke beim Portal	229
Tab. 13-2: Verlauf der Lichtstärke bei TM 1500 des Zufahrtstollens Wolf	229
Tab. 13-3: Kaverne der Radladerversuche: Beleuchtungsstärke [lx].....	230
Tab. 13-4: Verlauf der Lichtstärke: 300 m (Messpunkt 1) bis 100 m (Messpunkt 11) von der Ortsbrust entfernt; ohne Vortriebsarbeiten	233
Tab. 13-5: Verlauf der Beleuchtungsstärke: Ab Messpunkt 3 in Richtung Ortsbrust	233
Tab. 13-6: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: MP1	234
Tab. 13-7: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 1: Dauermessung	236
Tab. 13-8: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 2	237
Tab. 13-9: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 2: Dauermessung	240
Tab. 13-10: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Lutten-Verlängerung ..	241
Tab. 13-11: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Luttenende: Dauermessung	243
Tab. 13-12: Schalldruckpegelmessung: Schuttern von Messpunkt 3 aus.....	243
Tab. 13-13: Schalldruckpegelmessung: Schuttern von MP 3 aus: Dauermessung	246
Tab. 13-14: Schalldruckpegelmessung: Spritzen von Messpunkt 3 aus.....	247
Tab. 13-15: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: hinter dem Spritzbüffel, bei der Betonaufgabe durch den LKW	247
Tab. 13-16: Schalldruckpegelmessung: Spritzen vom Luttenende aus gemessen: Dauermessung 1	251
Tab. 13-17: Schalldruckpegelmessung: Spritzen vom Luttenende aus gemessen: Dauermessung 2	254
Tab. 13-18: Schalldruckpegelmessung: Gittern vom Luttenende aus gemessen..	254
Tab. 13-19: Schalldruckpegelmessung: Gittern vom Luttenende aus gemessen: Dauermessung	255

Tab. 13-20: Schalldruckpegelmessung: neben dem Bohrwagen: Bohren.....	256
Tab. 13-21: Schalldruckpegel: Bohren neben dem Bohrwagen gemessen: Dauermessung 1: Bohrlöcher zum Ankeren	258
Tab. 13-22: Schalldruckpegel: Bohren neben dem Bohrwagen gemessen: Dauermessung 2: Bohrlöcher für den Sprengstoff.....	262
Tab. 13-23: Schalldruckpegelmessung: beim Sprengmeister: Sprengung 1	263
Tab. 13-24: Schalldruckpegel: beim Sprengmeister: Sprengung 2	264
Tab. 13-25: Gaskonzentrationen: CO und NO ₂ zum Zeitpunkt der höchsten CO-Konzentration laut ALTAIR 4X: Ohne Vortriebsarbeiten.....	266
Tab. 13-26: Gaskonzentrationen: NO ₂ : Erster Verlauf über einen Zeitraum von 1,25 Stunden; zwei Werte pro Minute	266
Tab. 13-27: Gaskonzentrationen: NO ₂ : Dritter Verlauf über einen Zeitraum von 30 Minuten; zwei Werte pro Minute.....	267
Tab. 13-28: Gaskonzentrationen: NO ₂ : Zweiter Verlauf über einen Zeitraum von zehn Minuten; zwei Werte pro Minute.....	267
Tab. 13-29: Gaskonzentrationen: NO ₂ : Vierter Verlauf über einen Zeitraum von zehn Minuten; zwei Werte pro Minute.....	267
Tab. 13-30: Gaskonzentrationen: CO ₂ : Verlauf über die gesamte Messdauer	272
Tab. 13-31: Gaskonzentrationen: SO ₂ : Verlauf über die gesamte Messdauer.....	277
Tab. 13-32: Gaskonzentrationen: O ₂ : tragbares Messgerät: Verlauf über die Messdauer: Bereiche mit Abweichungen von 20,8 Vol.-% O ₂	278
Tab. 13-33: Gaskonzentrationen: CO: MP1, MP2 & MP3: Verlauf über die gesamte Messdauer	290
Tab. 13-34: Gaskonzentrationen: CO: Verlauf bei Vortriebsarbeiten: Tragbare Gasmessgeräte	309
Tab. 13-35: Gaskonzentrationen: CO ₂ : MP2 & MP3: Verlauf über die gesamte Messdauer	319
Tab. 13-36: Gaskonzentrationen: CO ₂ : Verlauf bei Vortriebsarbeiten: Tragbares Gasmessgerät: ALTAIR 5X	335
Tab. 13-37: Gaskonzentrationen: NO: MP1, MP2 & MP3: Verlauf über die gesamte Messdauer	346
Tab. 13-38: Gaskonzentrationen: NO ₂ : MP1, MP2 & MP3: Verlauf über die gesamte Messdauer	357
Tab. 13-39: : Gaskonzentrationen: NO ₂ : Verlauf bei Vortriebsarbeiten: Tragbares Gasmessgerät: ALTAIR 4X	374
Tab. 13-40: Gaskonzentrationen: COMB/EX: Verlauf bei Vortriebsarbeiten: Tragbares Gasmessgerät: ALTAIR 4X	374
Tab. 13-41: BBT: Gaskonzentrationen: H ₂ S & SO _s : Verlauf bei Vortriebsarbeiten: Tragbares Gasmessgerät: ALTAIR 5X	396
Tab. 13-42: Lufttemperaturmessung: MP1, MP2 & MP3: Verlauf über die gesamte Messdauer	407
Tab. 13-43: Luft- und Wandtemperaturmessung: 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt: ohne Vortriebsarbeiten	407
Tab. 13-44: Relative Luftfeuchtigkeit: MP1, MP2 & MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten.....	418

Tab. 13-45: BBT: Barometrischer Druck: MP1, MP2 & MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten.....	428
Tab. 13-46: BBT: Wettergeschwindigkeit: MP1, MP2 & MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten.....	438
Tab. 13-47: BBT: Staubmessung: MP1.....	448
Tab. 13-48: BBT: Staubmessung: MP2.....	458
Tab. 13-49: BBT: Staubmessung: MP3.....	463
Tab. 13-50: BBT: Staubmessung: A-Staub (TM data): MP3.....	511
Tab. 14-1: Lind West: Verlauf der Lichtstärke im Portalbereich.....	512
Tab. 14-2: Lind West: Verlauf der Lichtstärke	512
Tab. 14-3: Stein West: Verlauf der Lichtstärke im Portalbereich	513
Tab. 14-4: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Dauermessung 1	516
Tab. 14-5: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Dauermessung 2	518
Tab. 14-6: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1.....	519
Tab. 14-7: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten: Dauermessung 1	522
Tab. 14-8: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten: Dauermessung 3	523
Tab. 14-9: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten: Dauermessung 2	523
Tab. 14-10: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten	524
Tab. 14-11: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Ablauten: Dauermessung 1..	526
Tab. 14-12: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Ablauten: Dauermessung 2..	528
Tab. 14-13: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden: Dauermessung 1	530
Tab. 14-14: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden: Dauermessung 2	531
Tab. 14-15: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachziehen: Dauermessung 3	534
Tab. 14-16: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachziehen und nachschneiden	534
Tab. 14-17: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Dauermessung 1...	537
Tab. 14-18: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Dauermessung 2...	539
Tab. 14-19: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen	540
Tab. 14-20: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Schuttern: Dauermessung ...	543
Tab. 14-21: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Dauermessung 1: Bohrlöcher für den Sprengstoff.....	546
Tab. 14-22: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Dauermessung 2	549
Tab. 14-23: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Dauermessung 3	552
Tab. 14-24: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren	553
Tab. 14-25: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Sprengen.....	557
Tab. 14-26: Stein West: Schalldruckpegel: Umgebung: MP1: Dauermessung.....	561

Tab. 14-27: Stein West: Schalldruckpegel: Umgebung: MP1	561
Tab. 14-28: Stein West: Schalldruckpegel: Umgebung: MP2: Dauermessung	564
Tab. 14-29: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden und Ankerplatten freischlagen: Dauermessung 1	566
Tab. 14-30: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden und Ankerplatten freischlagen: Dauermessung 2	568
Tab. 14-31: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Erdarbeiten: Dauermessung 1	569
Tab. 14-32: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Ausbruch Kalottensohle: Dauermessung 2	572
Tab. 14-33: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Ausbruch Sohle: Dauermessung 3	575
Tab. 14-34: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Ausbruch Sohle: Dauermessung 4	578
Tab. 14-35: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger.....	579
Tab. 14-36: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Dauermessung 1 ..	582
Tab. 14-37: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Dauermessung 2 ..	583
Tab. 14-38: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen	584
Tab. 14-39: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Sohle spritzen.....	585
Tab. 14-40: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Sohle spritzen : Dauermessung 1	588
Tab. 14-41: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Sohle spritzen : Dauermessung 2	590
Tab. 14-42: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Gittern der Sohle: Dauermessung	593
Tab. 14-43: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren.....	593
Tab. 14-44: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Dauermessung 1 ...	595
Tab. 14-45: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Dauermessung 2 ...	597
Tab. 14-46: Lind West: Gaskonzentration: CO: Verlauf bei MP1 & MP2.....	602
Tab. 14-47: Lind West: Gaskonzentration: CO: Tragbare Gasmessgeräte	612
Tab. 14-48: Lind West: Gaskonzentration: CO ₂ : MP2	616
Tab. 14-49: Lind West: Gaskonzentration: CO ₂ : Tragbares Gasmessgerät: ALTAIR 5X	623
Tab. 14-50: Lind West: Gaskonzentration: NO: Verlauf bei MP1 & MP2.....	628
Tab. 14-51: Lind West: Gaskonzentration: NO ₂ : Verlauf bei MP2	629
Tab. 14-52: Lind West: Gaskonzentration: NO ₂ : Tragbares Gasmessgerät: ALTAIR 4X	632
Tab. 14-53: Lind West: Gaskonzentration: H ₂ S: Tragbares Gasmessgerät: ALTAIR 5X	633
Tab. 14-54: Lind West: Gaskonzentration: SO ₂ : Tragbares Gasmessgerät: ALTAIR 5X	640
Tab. 14-55: Stein West: Gaskonzentration: CO: Tragbares Gasmessgerät: ALTAIR 5X	643
Tab. 14-56: Stein West: Gaskonzentration: CO ₂ : MP2	649

Tab. 14-57: Stein West: Gaskonzentration: CO ₂ : Tragbares Gasmessgerät: ALTAIR 5X	652
Tab. 14-58: Stein West: Gaskonzentration: NO: MP2	657
Tab. 14-59: Stein West: Gaskonzentration: NO ₂ : MP2	662
Tab. 14-60: Stein West: Gaskonzentration: H ₂ S: Tragbares Gasmessgerät: ALTAIR 5X	663
Tab. 14-61: Stein West: Gaskonzentration: SO ₂ : Tragbares Gasmessgerät: ALTAIR 5X	666
Tab. 14-62: Lind West: Lufttemperaturmessung: MP1 & MP2	671
Tab. 14-63: Lind West: Lufttemperaturmessung: Trafoschlitten: Tragbare Gasmessgeräte	679
Tab. 14-64: Stein West: Lufttemperaturmessung: MP1 & MP2	686
Tab. 14-65: Stein West: Lufttemperaturmessung: Trafoschlitten: Tragbare Gasmessgeräte	690
Tab. 14-66: Lind West: Verlauf der Wandtemperatur	691
Tab. 14-67: Stein West: Luft- und Wandtemperaturverlauf 1	691
Tab. 14-68: Stein West: Luft- und Wandtemperaturverlauf 2	692
Tab. 14-69: Lind West: Relative Luftfeuchtigkeit: MP1 & MP2	699
Tab. 14-70: Stein West: Relative Luftfeuchtigkeit: MP1 & MP2	708
Tab. 14-71: Lind West: Barometrischer Druck: Verlauf beim MP1	712
Tab. 14-72: Stein West: Barometrischer Druck: MP1 & MP2	719
Tab. 14-73: Lind West: Wettergeschwindigkeit: MP1 & MP2	725
Tab. 14-74: Stein West: Wettergeschwindigkeit: MP1 & MP2	732
Tab. 14-75: Lind West: Staubmessung: A-Staub (TM data): MP1	759
Tab. 14-76: Lind West: Staubmessung: MP2	766
Tab. 14-77: Stein West: Staubmessung: MP1	775
Tab. 14-78: Stein West: Staubmessung: MP2	784

10 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: Bewertungskurven A und C nach DIN EN 61 672-1 ^[1]	6
Abb. 2-2: Aufzeichnung des Schalldruckpegels L_p für Lärmimpulse eines Schmiedehammers bei unterschiedlichen Zeitbewertungen ^[4]	6
Abb. 2-3: Schalldrucksignal in den Zeitbewertungen „F“, „S“ und „Peak“ ^[4]	7
Abb. 3-1: Luxmeter T-10A	13
Abb. 3-2: Vergleich der relativen Hellempfindlichkeitskurven für Tagessehen und des T-10A, in Abhängigkeit von der Wellenlänge.....	15
Abb. 3-3: Nor-116: Beschriftung	16
Abb. 3-4: Nor-116: Beschreibung des Displays.....	17
Abb. 3-5: Kalibrator für Nor-116.....	17
Abb. 3-6: ALTAIR 4X ^[Galler, R., 18.08.2016]	18
Abb. 3-7: ALTAIR 4X: Beschreibung der Komponenten	19
Abb. 3-8: ALTAIR 4X: Symbole für KZW-, MAK- und Bewegungsalarm	20
Abb. 3-9:ALTAIR 5X: Beschreibung der Komponenten.....	21
Abb. 3-10: ALTAIR 5X: Display mit Hauptbildschirm	22
Abb. 3-11: MultiRAE Lite: Systemskizze ^[18] und Foto	23
Abb. 3-12: Thermohygrometer Vaisala HMI41	24
Abb. 3-13: LaserSight Infrarot-Thermometer	25
Abb. 3-14: LaserSight: Display.....	25
Abb. 3-15: LaserSight: Die Anzeigen im Hold-Modus.....	26
Abb. 3-16: LaserSight: Fokulentfernung und Größenänderung des Messflecks mit der Entfernung ^[16]	26
Abb. 3-17: Digitales Thermo-Hygrometer	27
Abb. 3-18: Flügelradanemometer ^[Galler, R., 18.08.2016]	27
Abb. 3-19: Hitzdrahtanemometer VelociCalc 9545	29
Abb. 3-20: VelociCalc Modell 9545: Display	29
Abb. 3-21: Photometrische Staubmessung: GRIMM	30
Abb. 3-22: Photometrische Staubmessung: „TM data“.....	31
Abb. 3-23: Gravimetrische Staubmessung: „Gilian HI FLOW SAMPLER“	32
Abb. 3-24: Gravimetrische Staubmessung: Probennehmer „GilAir“	32
Abb. 3-25: Gilian: Filter für A-Staub und Gesamtstaub.....	33
Abb. 3-26: Bushnell Velocity Speed Gun	33
Abb. 4-1: BBT: Übersichtsplan Baulos Wolf 2 ^[32]	35
Abb. 4-2: BBT: Messpunkt 1: Geräteanordnung	36
Abb. 4-3: BBT: Messpunkt 2: Geräteanordnung	37
Abb. 4-4: BBT: Messpunkt 3: Geräteanordnung	37
Abb. 4-5: Baulos Stein: Übersichtsplan ^[36]	40
Abb. 4-6: Lind West: Messpunkt 1: Geräteanordnung	41
Abb. 4-7: Lind West: Messpunkt 2: Geräteanordnung	41
Abb. 4-8: Lind West: Trafoschlitten: ALTAIR 4X & ALTAIR 5X.....	42
Abb. 4-9: Stein West: Messpunkt 1: Geräteanordnung	42
Abb. 4-10: Stein West: Messpunkt 2: Geräteanordnung	43
Abb. 4-11: Stein West: Trafoschlitten: ALTAIR 4X & ALTAIR 5X.....	44
Abb. 5-1: BBT: Messung der Beleuchtung im Portalbereich: Startpunkt	46

Abb. 5-2: BBT: Messung der Beleuchtung im Portalbereich: Blick hinaus	46
Abb. 5-3: BBT: Verlauf der Beleuchtungsstärke im Portalbereich	47
Abb. 5-4: BBT: Verlauf der Beleuchtungsstärke: Bereich TM 1500 des Zufahrtstunnels	48
Abb. 5-5: BBT: Skizze: Messung der Beleuchtung: Lage der Messstellen: Kaverne der Radladerversuche.....	48
Abb. 5-6: BBT: Verlauf der Beleuchtungsstärke: Kaverne der Radladerversuche: von Portalrichtung aus durch die Kaverne	49
Abb. 5-7: BBT: Verlauf der Beleuchtungsstärke: Kaverne der Radladerversuche: von der Kaverne aus in den Stummel im Norden des EKS	49
Abb. 5-8: BBT: Messung der Beleuchtungsstärke: Lage MP 1, 300 m von der Ortsbrust entfernt.....	50
Abb. 5-9: BBT: Verlauf der Lichtstärke: 300 m (MP 1) bis 100 m (MP 11) von der Ortsbrust entfernt.....	50
Abb. 5-10: BBT: Verlauf der Beleuchtungsstärke von Messpunkt 3 in Richtung Ortsbrust	51
Abb. 5-11: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Verlauf der Dauermessung an Messpunkt 1	53
Abb. 5-12: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 1	53
Abb. 5-13: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Verlauf der Dauermessung an Messpunkt 2	54
Abb. 5-14: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Messpunkt 2	55
Abb. 5-15: BBT: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Lutten-Verlängerung	56
Abb. 5-16: BBT: Bereich Lutten-Verlängerung: zusätzlicher Ventilator.....	56
Abb. 5-17: BBT: Schalldruckpegelmessung Umgebungslärm: Verlauf der Dauermessung am Luttenende	57
Abb. 5-18: BBT: Schalldruckpegelmessung: Schüttern von Messpunkt 3 aus.....	58
Abb. 5-19: BBT: Schalldruckpegelmessung: Schüttern von Messpunkt 3 aus: Dauermessung	59
Abb. 5-20: BBT: Schalldruckpegelmessung: Spritzen von Messpunkt 3 aus.....	60
Abb. 5-21: BBT: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Hinter dem Spritzbüffel bei der Betonaufgabe durch den LKW	60
Abb. 5-22: BBT: Schalldruckpegelmessung: Spritzen vom Luttenende aus gemessen: Dauermessung 1	62
Abb. 5-23: BBT: Schalldruckpegelmessung: Spritzen vom Luttenende aus gemessen: Dauermessung 2	62
Abb. 5-24: BBT: Schalldruckpegelmessung: Gittern vom Luttenende aus gemessen: Dauermessung	64
Abb. 5-25: BBT: Schalldruckpegelmessung: Bohren neben dem Bohrwagen gemessen	65
Abb. 5-26: BBT: Schalldruckpegelmessung: BBT: Bohren neben dem Bohrwagen: Dauermessung 1	66
Abb. 5-27: BBT: Schalldruckpegelmessung: BBT: Bohren neben dem Bohrwagen: Dauermessung 2	66

Abb. 5-28: BBT: Schalldruckpegelmessung: Vom Sprengmeister aus gemessen: Sprengen 1	67
Abb. 5-29: BBT: Schalldruckpegelmessung: Vom Sprengmeister aus gemessen: Sprengen 2	67
Abb. 5-30: BBT: Gaskonzentration: CO: Verlauf über 2h 30min mit den Maxima der beiden Messgeräte	70
Abb. 5-31: BBT: Gaskonzentration: CO ₂ : Verlauf über die gesamte Messdauer.....	71
Abb. 5-32: BBT: Gaskonzentrationen: CO: MP1, MP2 und MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten	73
Abb. 5-33: BBT: Gaskonzentrationen: CO: Vergleich der beiden tragbaren Messgeräte: Verlauf während der Vortriebsarbeiten	74
Abb. 5-34: BBT: Gaskonzentrationen: CO: MP2 und MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten	75
Abb. 5-35: BBT: Gaskonzentrationen: CO ₂ : tragbares Messgerät: Verlauf während der Vortriebsarbeiten	76
Abb. 5-36: BBT: Gaskonzentrationen: NO: MP1, MP2 und MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten	77
Abb. 5-37: BBT: Gaskonzentrationen: NO ₂ : MP1, MP2 und MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten	78
Abb. 5-38: BBT: Gaskonzentrationen: NO ₂ : tragbares Messgerät: Verlauf während der Vortriebsarbeiten	78
Abb. 5-39: BBT: Gaskonzentrationen: COMB/EX: tragbares Messgerät.....	79
Abb. 5-40: BBT: Gaskonzentrationen: H ₂ S: tragbares Messgerät: Verlauf während der Vortriebsarbeiten	80
Abb. 5-41: BBT: Gaskonzentrationen: SO ₂ : tragbares Messgerät: Verlauf während der Vortriebsarbeiten	80
Abb. 5-42: BBT: Lufttemperaturmessung: MP1, MP2 & MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten	81
Abb. 5-43: BBT: Lufttemperaturmessung ohne Betrieb: 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt.....	84
Abb. 5-44: BBT: Skizze: Lufttemperaturmessung: Kaverne der Radladersversuche	85
Abb. 5-45: BBT: Wandtemperatur ohne Betrieb: 300 m bis 100 m von der Ortsbrust entfernt.....	86
Abb. 5-46: BBT: Relative Luftfeuchtigkeit: MP1, MP2 & MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten.....	88
Abb. 5-47: BBT: Skizze: Kaverne der Radladersversuche: Relative Luftfeuchtigkeit: Lage der Messungen ohne Betrieb	94
Abb. 5-48: BBT: Barometrischer Druck: MP1, MP2 & MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten.....	95
Abb. 5-49: BBT: Wettergeschwindigkeit: MP1, MP2 und MP3: Verlauf während der Vortriebsarbeiten.....	97
Abb. 5-50: BBT: Skizze: Wettergeschwindigkeit: Portalbereich: Hitzdrahtanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb.....	98
Abb. 5-51: BBT: Skizze: Wettergeschwindigkeit: Portalbereich: Flügelradanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb.....	98

Abb. 5-52: BBT: Skizze: MP2: Hitzdrahtanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb: Vom Boden aus	98
Abb. 5-53: BBT: Skizze: MP2: Hitzdrahtanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb: Vom Radlader aus	99
Abb. 5-54: BBT: Skizze: MP2: Flügelradanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb: Vom Radlader aus	99
Abb. 5-55: BBT: Skizze: MP2: Flügelradanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb: Vom Boden aus	100
Abb. 5-56: BBT: Skizze: MP2: Flügelradanemometer: Lage der Messungen mit Vortriebsarbeiten	101
Abb. 5-57: BBT: Skizze: MP3: Flügelradanemometer: Lage der Messungen mit Vortriebsarbeiten	102
Abb. 5-58: BBT: Skizze: 300 m bis 100 von der Ortsbrust entfernt: bei Messstelle 1: Hitzdrahtanemometer: Vom Radlader aus, ohne Betrieb.....	103
Abb. 5-59: BBT: Skizze: 300 m bis 100 von der Ortsbrust entfernt: bei Messstelle 1: Flügelradanemometer: Vom Radlader aus, ohne Betrieb.....	104
Abb. 5-60: BBT: Skizze: MQ 43: Hitzdrahtanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb	105
Abb. 5-61: BBT: Skizze: MQ 43: Flügelradanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb	106
Abb. 5-62: BBT: Skizze: Kaverne der Radladerversuche: Wettergeschwindigkeit: Lage der Messungen ohne Betrieb	107
Abb. 5-63: BBT: Skizze: Kaverne der Radladerversuche: Hitzdrahtanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb	108
Abb. 5-64: BBT: Skizze: Kaverne der Radladerversuche: Flügelradanemometer: Lage der Messungen ohne Betrieb	108
Abb. 5-65: BBT: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: Verlauf bei MP1 ..	110
Abb. 5-66: BBT: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: Verlauf bei MP2 ..	111
Abb. 5-67: BBT: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: Verlauf bei MP3 ..	112
Abb. 5-68 BBT: Staubmessung: TM data: A-Staub: Verlauf bei MP3.....	112
Abb. 5-69: BBT: Abzweigung des Padastertunnels	114
Abb. 5-70: BBT: Zugangstunnel	115
Abb. 5-71: BBT: Kaverne am Ende des Zugangstunnels	115
Abb. 5-72: BBT: Start der Zufahrtsrampe.....	115
Abb. 5-73: BBT: EKS	116
Abb. 6-1: Lind West: Verlauf der Beleuchtungsstärke im Portalbereich: Startpunkt	118
Abb. 6-2: Lind West: Verlauf der Beleuchtungsstärke im Portalbereich	118
Abb. 6-3: Lind West: Verlauf der Lichtstärke	119
Abb. 6-4: Stein West: Verlauf der Lichtstärke im Portalbereich: Startpunkt.....	119
Abb. 6-5: Stein West: Verlauf der Lichtstärke im Portalbereich	120
Abb. 6-6: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Verlauf Dauermessung 1	122
Abb. 6-7: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Verlauf Dauermessung 2	122

Abb. 6-8: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Messung 1	123
Abb. 6-9: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: MP1: Messung 2	123
Abb. 6-10: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten: Verlauf Dauermessung 1	125
Abb. 6-11: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten: Verlauf Dauermessung 2	125
Abb. 6-12: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten: Verlauf Dauermessung 3	126
Abb. 6-13: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Umgebungslärm: Trafoschlitten	126
Abb. 6-14: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Ablauten: Verlauf Dauermessung 1	128
Abb. 6-15: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Ablauten: Verlauf Dauermessung 2	128
Abb. 6-16: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden: Verlauf Dauermessung 1	130
Abb. 6-17: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden: Messung 1	131
Abb. 6-18: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden: Verlauf Dauermessung 2	131
Abb. 6-19: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden: Messung 2	132
Abb. 6-20: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachziehen: Verlauf Dauermessung 3	132
Abb. 6-21: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Verlauf Dauermessung 1	134
Abb. 6-22: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Verlauf Dauermessung 2	134
Abb. 6-23: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen	135
Abb. 6-24: : Lind West: Schalldruckpegelmessung: Schuttern: Verlauf der Dauermessung	136
Abb. 6-25: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Verlauf Dauermessung 1	138
Abb. 6-26: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Messung 1	138
Abb. 6-27: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Verlauf Dauermessung 2	139
Abb. 6-28: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Verlauf Dauermessung 3	139
Abb. 6-29: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Messung 2	140
Abb. 6-30: Lind West: Schalldruckpegelmessung: Sprengen: Verlauf der Dauermessung	140
Abb. 6-31: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Umgebung: MP1: Verlauf der Dauermessung	142

Abb. 6-32: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Umgebung: MP1	143
Abb. 6-33: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Umgebung: MP2: Verlauf der Dauermessung	144
Abb. 6-34: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachschneiden und Ankerplatten freischlagen: Verlauf Dauermessung 1	146
Abb. 6-35: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Anker nachziehen und Ankerplatten freischlagen: Verlauf Dauermessung 2	146
Abb. 6-36: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Erdarbeiten: Verlauf Dauermessung 1	148
Abb. 6-37: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Ausbruch Kalottensohle: Verlauf Dauermessung 2	149
Abb. 6-38: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Ausbruch Kalottensohle: Messung 1	149
Abb. 6-39: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Ausbruch Sohle: Verlauf Dauermessung 3	150
Abb. 6-40: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Ausbruch Sohle: Verlauf Dauermessung 4	150
Abb. 6-41: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Tunnelbagger: Ausbruch Sohle: Messung 2	151
Abb. 6-42: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Verlauf Dauermessung 1	152
Abb. 6-43: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen: Verlauf Dauermessung 2	153
Abb. 6-44: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Spritzen.....	153
Abb. 6-45: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Sohle spritzen: Verlauf Dauermessung 1	155
Abb. 6-46: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Sohle spritzen: Verlauf Dauermessung 2	155
Abb. 6-47: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Sohle spritzen	156
Abb. 6-48: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Gittern der Sohle: Verlauf der Dauermessung	157
Abb. 6-49: Stein West: Gittern der Sohle	157
Abb. 6-50: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Verlauf Dauermessung 1	159
Abb. 6-51: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Messung 1	159
Abb. 6-52: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Verlauf Dauermessung 2	160
Abb. 6-53: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Messung 2	160
Abb. 6-54: Stein West: Schalldruckpegelmessung: Bohren: Messung 3	161
Abb. 6-55: Lind West: Gaskonzentration: CO: MP1 & MP2	162
Abb. 6-56: Lind West: Gaskonzentration: CO	162
Abb. 6-57: Lind West: Gaskonzentration: CO ₂ : Verlauf bei MP2.....	163
Abb. 6-58: Lind West: Gaskonzentration: CO ₂	163
Abb. 6-59: Lind West: Gaskonzentration: NO: MP1 & MP2	164
Abb. 6-60: Lind West: Gaskonzentration: NO ₂ : Verlauf bei MP2.....	165

Abb. 6-61: Lind West: Gaskonzentration: NO ₂	165
Abb. 6-62: Lind West: Gaskonzentration: SO ₂	166
Abb. 6-63: Stein West. Gaskonzentration: CO ₂ : Verlauf bei MP2.....	167
Abb. 6-64: Stein West: Gaskonzentration: CO ₂	168
Abb. 6-65: Stein West. Gaskonzentration: NO: Verlauf bei MP2.....	168
Abb. 6-66: Stein West. Gaskonzentration: NO ₂ : Verlauf bei MP2.....	169
Abb. 6-67: Stein West: Gaskonzentration: SO ₂	170
Abb. 6-68: Lind West: Lufttemperaturmessung: Verlauf bei MP1 & MP2	171
Abb. 6-69: Lind West: Lufttemperaturmessung: Verlauf beim Trafoschlitten: tragbare Gasmessgeräte.....	172
Abb. 6-70: Lind West: Wandtemperaturverlauf.....	173
Abb. 6-71: Stein West: Lufttemperaturmessung: Verlauf bei MP1 & MP2	174
Abb. 6-72: Stein West: Lufttemperaturmessung: Verlauf beim Trafoschlitten: Tragbare Gasmessgeräte	176
Abb. 6-73: Stein West: Lufttemperaturmessung: Verlauf 1	176
Abb. 6-74: Stein West: Lufttemperaturmessung: Verlauf 2	177
Abb. 6-75: Stein West: Wandtemperaturverlauf 1	177
Abb. 6-76: Stein West: Wandtemperaturverlauf 2	178
Abb. 6-77: Lind West: Relative Luftfeuchtigkeit: Verlauf bei MP1 & MP2	179
Abb. 6-78: Stein West: Relative Luftfeuchtigkeit: Verlauf bei MP1 & MP2.....	181
Abb. 6-79: Lind West: Barometrischer Druck: Verlauf bei MP1	183
Abb. 6-80: Stein West: Barometrischer Druck: Verlauf bei MP1 & MP2	183
Abb. 6-81: Lind West: Wettergeschwindigkeit: Verlauf bei MP1 & MP2	184
Abb. 6-82: Lind West: Skizze: Wettergeschwindigkeit: MP1: Lage der Messungen	185
Abb. 6-83: Lind West: Skizze: Wettergeschwindigkeit: MP2: Lage der Messungen	185
Abb. 6-84: Stein West: Wettergeschwindigkeit: Verlauf bei MP1 & MP2	186
Abb. 6-85: Stein West: Skizze: Wettergeschwindigkeit: MP1: Lage der Messungen	187
Abb. 6-86: Stein West: Skizze: Wettergeschwindigkeit: MP2: Lage der ersten Messungen	188
Abb. 6-87: Stein West: Skizze: Wettergeschwindigkeit: MP2: Lage der zweiten Messungen	188
Abb. 6-88: Lind West: Staubmessung: Verlauf bei MP1	189
Abb. 6-89: Lind West: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: Verlauf bei MP2	190
Abb. 6-90: Stein West: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: Verlauf bei MP1	191
Abb. 6-91: Stein West: Staubmessung: GRIMM: E-Staub & A-Staub: Verlauf bei MP2	191
Abb. 6-92: Lind West: Fahrbahn vor dem Portal	192
Abb. 6-93: Lind West: Fahrbahn: 1.....	193
Abb. 6-94: Lind West: Fahrbahn: 2.....	193
Abb. 6-95: Lind West: Fahrbahn: 3.....	193

Abb. 6-96: Stein West: Fahrbahn vor dem Portal.....	194
Abb. 6-97: Stein West: Fahrbahn vom Portal aus	194
Abb. 6-98: Stein West: Fahrbahn von MP1 aus.....	194
Abb. 6-99: Stein West: Wassergraben.....	194
Abb. 6-100: Stein West: Fahrbahn.....	195
Abb. 6-101: Stein West: Fahrbahn vor der Ortsbrust	195
Abb. 12-1: Abmessungen Luxmeter T-10A in mm ^[12]	222

11 Formelverzeichnis

Gl. 2-1:	5
Gl. 2-2:	7
Gl. 2-3:	11
Gl. 2-4:	12
Gl. 2-5:	12
Gl. 3-1:	14
Gl. 3-2:	14
Gl. 3-3:	16
Gl. 3-4:	16
Gl. 3-5:	32