

Lärmstudie

Lärm-Emissionen von landwirtschaftlichen Fahrzeugen



Bern, 9. Januar 2024

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)



Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Lärm und NIS, CH-3003 Bern
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: B+S AG, Weltpoststrasse 5, CH-3000 Bern 16

Autorin/Autor: Anne Klauser, Mark Ströhle

Begleitung BAFU: Michael Gerber

Hinweis: Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Ausgangslage und Auftrag	4
1.2	Zielsetzung	4
1.3	sonROAD18	4
2	Vorgehen und Methodik	6
2.1	Vorgehen	6
2.2	Methodik	6
3	Messkonzept und Standorte	8
3.1	Messung	8
3.2	Messstrecken	9
3.3	Zeitpunkt der Messungen	11
3.4	Fahrzeuge	12
3.5	Anzahl Messungen	15
4	Messergebnisse	16
4.1	Traktoren	16
4.2	Traktoren mit Anhänger	17
4.3	Erntemaschinen (Maishäcksler)	18
5	Interpretation	19
5.1	Standardabweichung	19
5.2	Aufteilung in Antriebs- und Rollgeräusch	19
5.3	Leistungsklassen von Traktoren	20
5.4	Lärm-Emissionen von Traktoren mit Anhänger	21
5.5	Lärm-Emissionen von Erntemaschinen (Maishäckslern)	21
5.6	Vergleich mit Emissionen von LKWs	23
6	Implementierung in das Emissionsmodell sonROAD18	24
7	Schlussfolgerung	25
8	Verzeichnisse	26
	Anhang	
A	Messequipment	
B	Daten der messtechnisch erfassten Fahrzeuge	
C	Pegelverlauf	
D	Frequenzspektren	



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Auftrag

Das Strassenlärmrechnungs-Modell StL86+ ist bald vierzig Jahre alt und entspricht nicht mehr dem heutigen Stand der Technik. Das neue Berechnungsmodell sonROAD18 [1] soll eine präzise Ermittlung der Schallemissionen im Hinblick auf eine Beurteilung gemäss Lärmschutzverordnung Anhang 3 [2] erlauben.

Das Berechnungsmodell sonROAD18 der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) berücksichtigt die in der Schweiz verkehrenden Strassenfahrzeuge gemäss dem SWISS10-Klassierungsschema (vgl. Kapitel 1.3 und [3]).

Aufgrund zahlreicher Rückmeldungen anlässlich der BAFU-Workshops betreffend einer fehlenden Fahrzeugkategorie für landwirtschaftliche Fahrzeuge, möchte das Bundesamt für Umwelt (BAFU) diese Kategorie messtechnisch erfassen und ins Emissionmodell integrieren. Diesem Wunsch wird mit vorliegender Studie Rechnung getragen und die landwirtschaftlichen Fahrzeuge werden in das sonROAD18 Modell integriert.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel ist die messtechnische Erfassung der Emissionen der landwirtschaftlichen Fahrzeuge, welche im Jahresdurchschnitt am häufigsten auf Schweizer Strassen unterwegs sind. Dies betrifft neben den Traktoren insbesondere die Erntefahrzeuge und Transportfahrten mit beladenen Anhängern.

Die Emissionswerte sollen so ermittelt und aufgearbeitet werden, dass diese in das Modell sonROAD18 integriert werden können.

Insbesondere sollen die Messungen Aufschluss geben über:

- mögliche Emissionsunterschiede der Traktortypen bezüglich ihrer Antriebsstärke (kW), sowohl als Gesamtpegel als auch spektral
- Emissionen von Erntemaschinen
- geschwindigkeitsabhängige Emissionen
- Emissionen bei einer Fahrt mit beladenem Anhänger (nur Traktoren)

1.3 sonROAD18

Das von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) entwickelte Berechnungsmodell sonROAD18 berücksichtigt die in der Schweiz verkehrenden und in einer Strassenlärmrechnung zu berücksichtigenden Strassenfahrzeuge gemäss dem SWISS10-Klassierungsschema. Die 10 Kategorien wurden aufgrund von neusten Erkenntnissen und tausenden von Messungen verschiedener Fahrzeugtypen erweitert. Insbesondere das Antriebssystem verursacht bei tiefen Geschwindigkeiten unterschiedliche Emissionen, daher wurden wenn nötig Unterkategorien gebildet. Bei der Kategorie 13, landwirtschaftliche Fahrzeuge erfolgt die Einteilung in Unterkategorien aufgrund der hörbar unterschiedlichen Emissionen der Fahrzeugtypen, welche am häufigsten auf Schweizer Strassen unterwegs sind.

Die Ober- und Unterkategorien des Berechnungsmodells sonROAD18 werden in der Tabelle 1 aufgeführt.



Nr.	Oberkategorie <i>SWISS10+ Kategorien</i>		Unterkategorie <i>Swiss10+ Kategorien (Antriebssystem)</i>
1	Busse	1a	Reisecars/-busse mit Dieselantrieb
		1b	Busse mit Hybrid- /Elektroantrieb ¹
2	Motorräder		
3	Personenwagen	3a	PW mit Benzin/Dieselantrieb
		3b	PW mit Hybridantrieb
		3c	PW mit Elektroantrieb
4	Personenwagen mit Anhänger		
5	Lieferwagen bis 3.5t		
6	Lieferwagen bis 3.5 t mit Anhänger		
7	Lieferwagen bis 3.5t mit Auflieger		
8	Lastwagen	8a	LW mit Dieselantrieb
		8b	LW mit Elektroantrieb
9	Lastenzüge		
10	Sattelzüge		
11	Busse des öffentlichen Verkehrs	11a	Diesel-Gelenkbus, 3 Achsen
		11b	Diesel-Standardbus, 2 Achsen
		11c	Gas-Bus, 3 Achsen
		11d	Hybrid-Bus, 2/3 Achsen
		11e	Elektro-Gelenktrrolley, 3 Achsen
		11f	Elektro-Gelenktrrolley, 4 Achsen
		11g	Batterie-Busse
12	Strassenbahn/Trams		
13	Landwirtschaftliche Fahrzeuge	13a	Traktor
		13b	Traktor mit Anhänger, beladen
		13c	Erntefahrzeuge

Tabelle 1 Ober- und Unterkategorien der SWISS10+ Kategorien im Berechnungsmodell sonROAD18 (Quelle: [3])

¹ ohne Busse der öffentlichen Verkehrsbetriebe



2 Vorgehen und Methodik

2.1 Vorgehen

Auf Basis der drei am häufigsten verkauften Traktormarken in der Schweiz wurden Lohnunternehmungen im Mittelland gesucht, welche Traktoren verschiedener Antriebsstärken für Messungen zur Verfügung stellen. Schliesslich mussten geeignete Messtrecken in der Nähe der Lohnunternehmungen gefunden werden. Eine möglichst ebene, asphaltierte Nebenstrasse mit einer Breite von über 3 m und keine starken Nebengeräusche erfüllte die Anforderungen.

Für die optimale Integration der Messdaten in das Modell sonROAD18 müssen die Durchfahrten mit zwei verschiedenen Geschwindigkeiten vermessen werden. Die Wahl der Geschwindigkeit erfolgte aufgrund der erlaubten Höchstgeschwindigkeit², welche bei Traktoren bei 40 km/h und bei Maishäckslern bei 30 km/h angesetzt ist. Die zweite Messung erfolgt idealerweise mit einer Geschwindigkeit die 20 km/h tiefer ist.

2.2 Methodik

Die Auswahl der Traktormarken erfolgte aufgrund der Zulassungsstatistik des Schweizer Landmaschinenverbandes [4]. Fendt und John Deere sind die Schweizer Favoriten unter den zugelassenen Traktoren. Die dritte Position ist nicht deutlich zu erkennen. Gemäss F. Christen, Lehrperson am Bildungs-, Beratungs- und Tagungszentrum INFORAMA Rütli, verzeichnet Deutz-Fahr absteigende und Claas aufsteigende Verkaufszahlen. Zudem sind die Erntemaschinen (Maishäcksler) von Claas am häufigsten im Einsatz in der Schweiz.

Um die Anforderungen der Norm ISO 11819-1 [5] (SPB-Messmethode) einzuhalten, gelten für die Messtrecke folgende Anforderungen:

- ebene Strecke (Steigung unter 1 %) ohne Kurve
- mindestens 300 m Länge
- wenig Verkehr (kurzfristig absperbar für den allgemeinen Verkehr)
- keine Lärm-Hindernisse wie Gebäude oder Wände / Böschungen (messrelevanter Einfluss von Reflexionen)
- keine starken Nebengeräusche

Die Messungen wurden tagsüber und bei normgerechter Witterung (trocken, kein Wind) durchgeführt. Im Einsatz standen 4 Messgeräte des Types Sound Analyser Norsonic 140 und zwei Kalibratoren (Auflistung der gesamten Messausrüstung siehe Anhang A). Die Messwerte wurden mit der Auswertungssoftware NorReview, Type 1026, Version 6.1 von Norsonic SA 2017 ausgewertet. Um die Messungen untereinander und mit Werten aus anderen Quellen oder Berechnungsmodellen zu vergleichen, wurde der Quellenwert wie nachfolgend beschrieben berechnet.

² Obwohl gemäss Art. 5 Abs 1 Bst c der Verkehrsregelverordnung (VRV) eine Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h für gewerbliche Traktoren erlaubt ist, weisen die meisten Traktoren eine bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h auf, vergleiche Art. 118 Abs 1 der Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS). Zudem dürfen gemäss Art. 28 Abs b VTS nur Traktoren mit einer Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h mit einer Überbreite (z.B. Doppelbereifung) ohne Bewilligung verkehren.



Umrechnung der Messergebnisse in den Quellenwert

Pro Messort, Geschwindigkeit und Fahrzeugtyp wurde aus den Expositionspegelmessungen das energetische Mittel des LE (LE_m) in dBA und eines jeden Terzbandes zwischen 6.3 Hz und 20 kHz gebildet (energetisches Mittel über die Durchfahrten):

$$LE_m = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{LE_i/10} \quad (1)$$

Wobei n dabei der Anzahl Durchfahrten für einen Messort, eine Geschwindigkeit und einen Fahrzeugtyp entspricht und zw. 8 und 24 liegt (vgl. Tabelle 3, S. 15).

Die gemittelten Schallexpositionspegel (LE_m) wurden in einen energieäquivalenten Dauerschallpegel Leq umgerechnet, indem die Messzeit (T) berücksichtigt wurde:

$$Leq = LE_m - 10 \log(T) \quad (2)$$

und anschliessend ein stundenbezogener energieäquivalenter Dauerschallpegel mit einem Messabstand von 7.5m gebildet:

$$Leqh = LE_m - 10 \log(3600) \quad (3)$$

Daraus folgt schlussendlich mit dem Messabstand von 7.5m der sogenannte Quellenwert für $d = 1.0$ m (eine Durchfahrt pro Stunde in 1 m Abstand) mit:

$$Lqr = Leqh + 10 \log(7.5) \quad (4)$$

Bei der Auswertung der Messergebnisse der Traktoren wurde in einem ersten Schritt 3 Kategorien gemäss ihrer Leistungsklasse gebildet. Aufgrund der SWISS10+ Kategorisierung wurde schliesslich nur ein Emissionswert für die Traktoren angegeben, unabhängig von der Leistungsklasse.

Für die Fahrt mit einem Anhänger wird ein Zuschlag zu den Emissionen ohne Anhänger definiert. Die Erntemaschinen werden einer separaten Unterkategorie zugeteilt und ihre Emissionen angeben.

3 Messkonzept und Standorte

3.1 Messung

3.1.1 Messanordnung

Die Messanordnung wurde entsprechend den Normdistanzen [5] durchgeführt, das heisst 7.5 m seitlicher Abstand zur Traktorachse und 1.20 m über Boden.

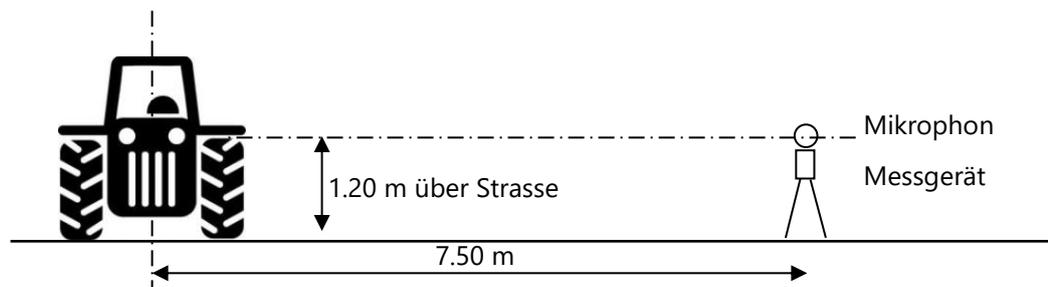


Abbildung 1 Allgemeine Messanordnung

3.1.2 Messvorgang

Die Messungen wurden tagsüber abseits von lärmigen Strassen, Industriegebäuden oder Plätzen durchgeführt, um mögliche Fremdeinflüsse und Störungen zu minimieren. Das Messprozedere lief folgendermassen ab:

- kurzfristige Sperrung der Messtrecke
- Durchfahrt mit konstanter Geschwindigkeit des Traktors (mit und ohne Anhänger): 20 km/h und 40 km/h
- Durchfahrt mit konstanter Geschwindigkeit des Maishäcksler: 10 km/h und 30 km/h
- 8 - 24 Durchgänge pro Traktortyp und Erntemaschinen
- Erfassung des Pegel-Zeitverlaufes spektral und in dB(A)
- Erfassung des spektralen Schallleistungspegels LE des ganzen Ereignisses



3.2 Messstrecken

3.2.1 Hindelbank

Die rund 380 m lange Messstrecke liegt in der Gemeinde Hindelbank, zwischen dem Brunnen mit Linde (Punkt 531 m ü. M.) und den Häusern im Erli.

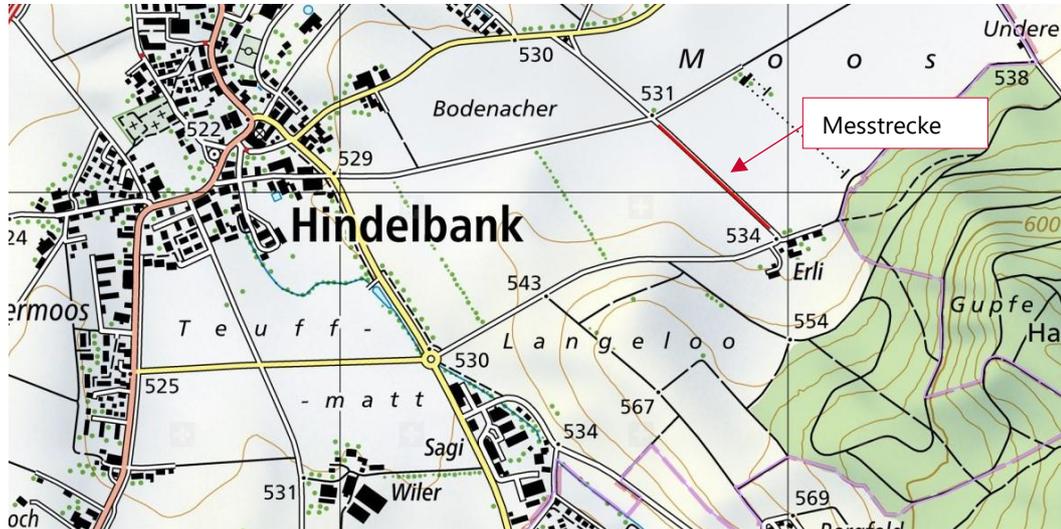


Abbildung 2 Kartenausschnitt mit Messstrecke auf Gemeindegebiet Hindelbank (Quelle: swisstopo)

Das Messlayout wird in folgender Abbildung dargestellt.

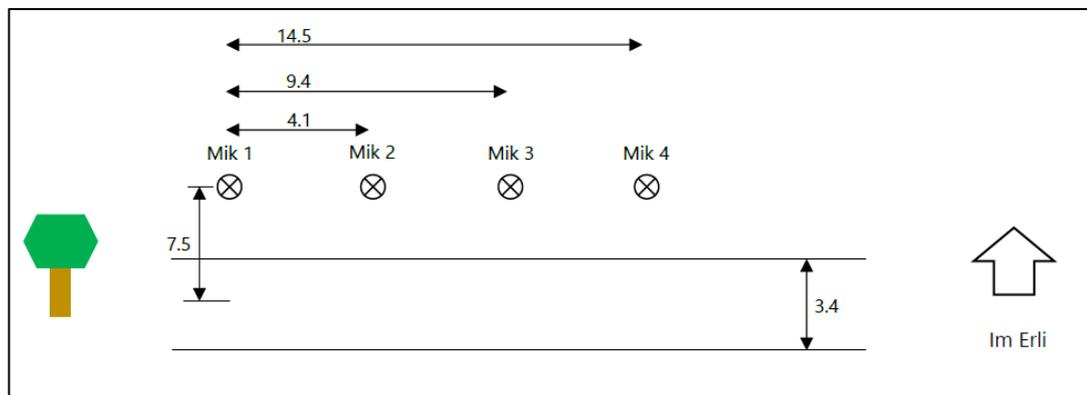


Abbildung 3 Messlayout in Hindelbank, alle Angaben in m



3.2.2 Zollikofen

Die rund 300 m lange Messtrecke "Wahlen Allee" liegt im Gemeindegebiet Zollikofen.

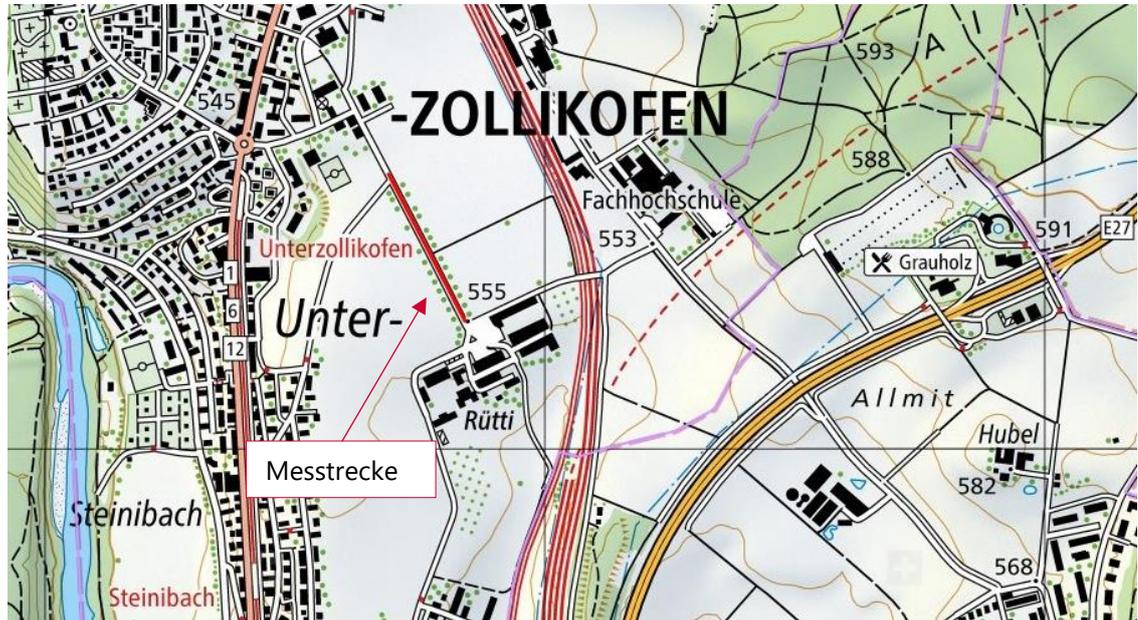


Abbildung 4 Kartenausschnitt mit Messtrecke auf Gemeindegebiet Zollikofen (Quelle: swisstopo)

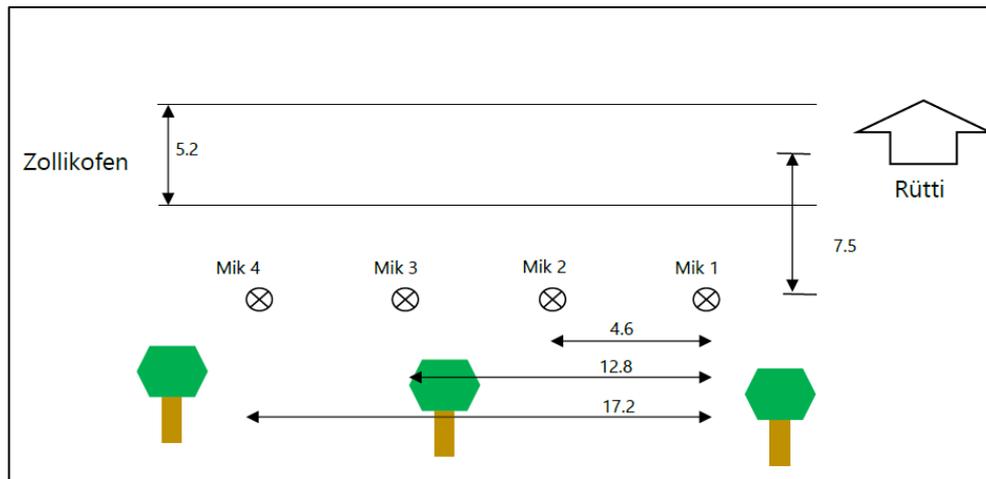


Abbildung 5 Messlayout Zollikofen, alle Angaben in m



3.2.3 Oberbipp

Die rund 400 m lange Messtrecke im Hasenrain liegt in der Gemeinde Oberbipp.

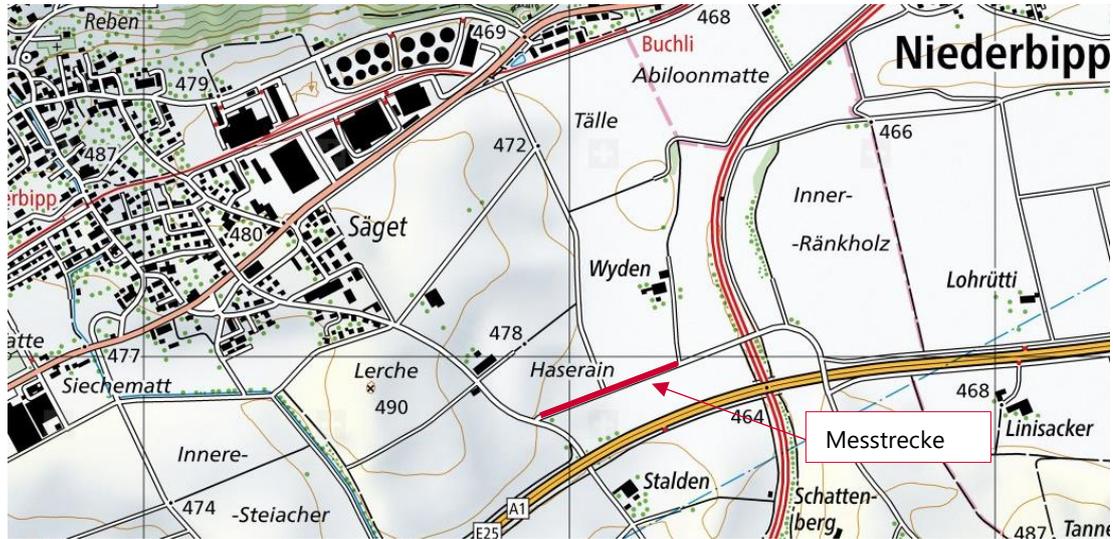


Abbildung 6 Kartenausschnitt mit Messtrecke auf Gemeindegebiet Oberbipp (Quelle: swisstopo)

Bemerkung: die naheliegende Nationalstrasse war hörbar, jedoch wurde sie von den Traktormotoren deutlich übertönt. Ausserdem erfolgten die Messungen zudem auf der nationalstrassenabgewandten Seite.

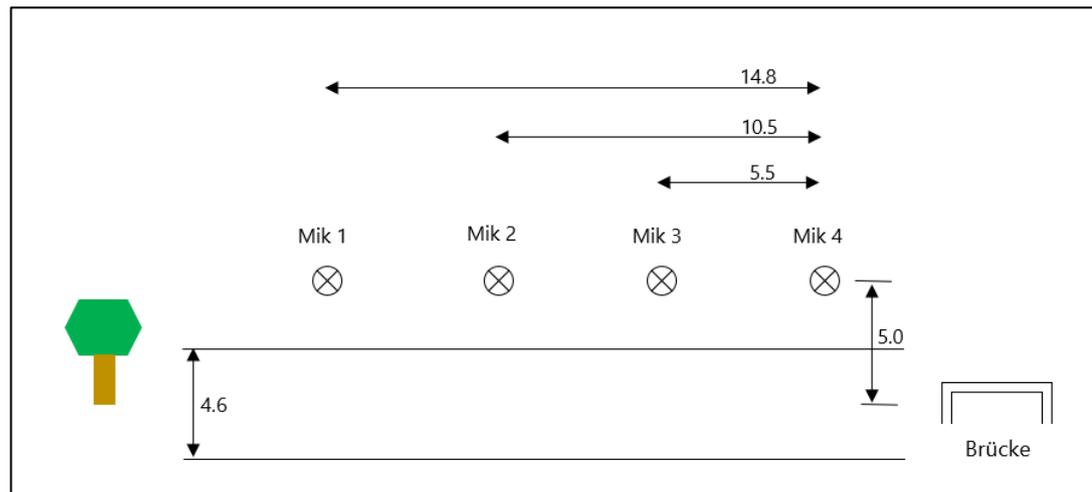


Abbildung 7 Messlayout Oberbipp, alle Angaben in m

3.3 Zeitpunkt der Messungen

Die Messungen erfolgten in den in der Tabelle 2 angegebenen Zeitfenstern.

Messort	Datum	Zeit	Lufttemperatur [°C]	Witterung
Im Erli, Hindelbank	17.03.2020	14 – 16 Uhr	14	trocken, Wind < 3 m/s
Wahlen Allee, Zollikofen	13.03.2020	13 – 15 Uhr	16	trocken, Wind < 3 m/s
Hasenrain, Oberbipp	20.03.2020	09 – 12 Uhr	12	trocken, Wind < 3 m/s

Tabelle 2 Messorte, Zeitpunkt und meteorologische Bedingungen



3.4 Fahrzeuge

Drei Lohnunternehmungen stellten ihre Fahrzeuge zur Verfügung, die in den Folgekapiteln kurz vorgestellt werden. Eine Tabelle mit den detaillierten Angaben zu den messtechnisch erfassten Fahrzeugen befindet sich im Anhang B.

3.4.1 Hindelbank

Die Käser Agrotechnik AG aus Hindelbank stellte 3 Traktoren zur Verfügung.



Fendt 211
80 kW / 110 PS
4.65 t



Fendt 720
148 kW / 200 PS
8.25 t (Anhänger 5 t)



Fendt 516
116 kW / 160 PS
6.65 t (Anhänger 6.8 t)



3.4.2 Zollikofen

Die Wyss Lohnunternehmung aus Ittigen stellte 3 Fahrzeuge zur Verfügung.



John Deere 6150 R
125 kW / 170 PS
7.82 t (Anhängen 31 t)



Claas Jaguar 970
570 kW / 775 PS
18.4 t



John Deere 6125 R
107 kW / 145 PS
6.35 t (Anhängen 21.5 t)



3.4.3 Oberbipp

Die Serco Landtechnik AG in Oberbipp stellte 6 Fahrzeuge zur Verfügung.



Claas Arion 420
75 kW / 100 PS
5.6 t



Claas Arion 550
117 kW / 145 PS
7.8 t (Anhängen 20t)



Claas Arion 660
147 kW / 200 PS
8.8 t (Anhängen 20 t)



Claas Jaguar
430 kW / 585 PS
15.5 t



Claas Axion 830
179 kW / 235 PS
10.3t



Claas Axion 870
217 kW / 295 PS
10.7t



3.5 Anzahl Messungen

Pro Fahrzeugtyp und Geschwindigkeit wurden zwischen 8 und 24 Messungen durchgeführt. Eine detaillierte Auflistung der Anzahl Messungen pro Fahrzeugtyp und Geschwindigkeit der Traktoren befindet sich in Tabelle 3 während die Maishäcksler in Tabelle 4 zu finden sind.

Marke	Leistung [kW]	Gewicht [t]	Anhänger [t]	Anz. Messungen 20 km/h	Anz. Messungen 40 km/h
Fendt 211	80	4.65	-	16	16
Fendt 516	118	6.65	-	16	16
Fendt 516	118	6.65	6.8	16	16
Fendt 720	148	8.25	-	16	16
Fendt 720	148	8.25	5	16	16
JD 6125R	107	6.35	-	12	21
JD 6125R	107	6.35	21.5	8	16
JD 6150R	125	7.92	-	12	12
JD 6150R	125	7.92	31	12	12
Claas Arion 420	75	5.6	-	16	16
Claas Arion 550	117	7.8	-	16	24
Claas Arion 550	117	7.8	20	20	16
Claas Arion 660	147	8.8	20	20	20
Claas Axion 830	179	10.3	-	16	16
Claas Axion 870	217	10.7	-	16	16
Summe Anz. Messungen				228	249

Tabelle 3 Anzahl Messungen pro Geschwindigkeit der Traktoren mit oder ohne Anhänger

Marke	Leistung [kW]	Gewicht [t]	Anz. Messungen 10 km/h	Anz. Messungen 30 km/h
Claas Jaguar	430	15.5	16	16
Class Jaguar 970	570	18.4	12	12
Summe Anz. Messungen			28	28

Tabelle 4 Anzahl Messungen pro Geschwindigkeit der Maishäcksler



4 Messergebnisse

Das energetische Mittel der 8 - 24 Einzelmessungen pro Fahrzeugtyp und Geschwindigkeit wurde in den Quellenwert (Lqr) umgerechnet, um die Werte untereinander und mit anderen Fahrzeugtypen zu vergleichen (vgl. Kapitel 2.2). In den Kapitel 4.1 bis 4.3 werden in den Tabellen die Quellenwerte der gemessenen Fahrzeuge dargestellt. Die Daten werden in der darauf folgenden Grafik in Abhängigkeit der Leistung der Fahrzeuge veranschaulicht.

Im Anhang C sind für jede der 3 Kategorien ein exemplarischer Pegelverlauf einer Durchfahrt dargestellt.

4.1 Traktoren

	<i>Leistung [kW]</i>	<i>Lqr bei v = 20 km/h</i>	<i>Lqr bei v= 40 km/h</i>
<i>Claas Arion 420</i>	75	47.5	50.0
<i>Fendt 211</i>	80	49.3	53.0
<i>JohnDeere 6125R</i>	107	48.8	53.0
<i>Claas Arion 550</i>	117	53.1	53.4
<i>Fendt 516</i>	118	50.8	54.0
<i>John Deere 6150R</i>	125	49.2	53.2
<i>Fendt 720</i>	148	49.0 ³	54.3
<i>Claas Axion 830</i>	179	51.5	53.4
<i>Claas Axion 870</i>	217	52.1	54.2

Tabelle 5 Quellenwerte (Lqr) in dBA der Emissionen einer Durchfahrt mit Traktoren sowie Angabe der Leistung

³ Bei diesem Traktortyp erfolgten zusätzliche Messungen einer Durchfahrt mit 10 km/h: Lqr = 45.9 dBA.

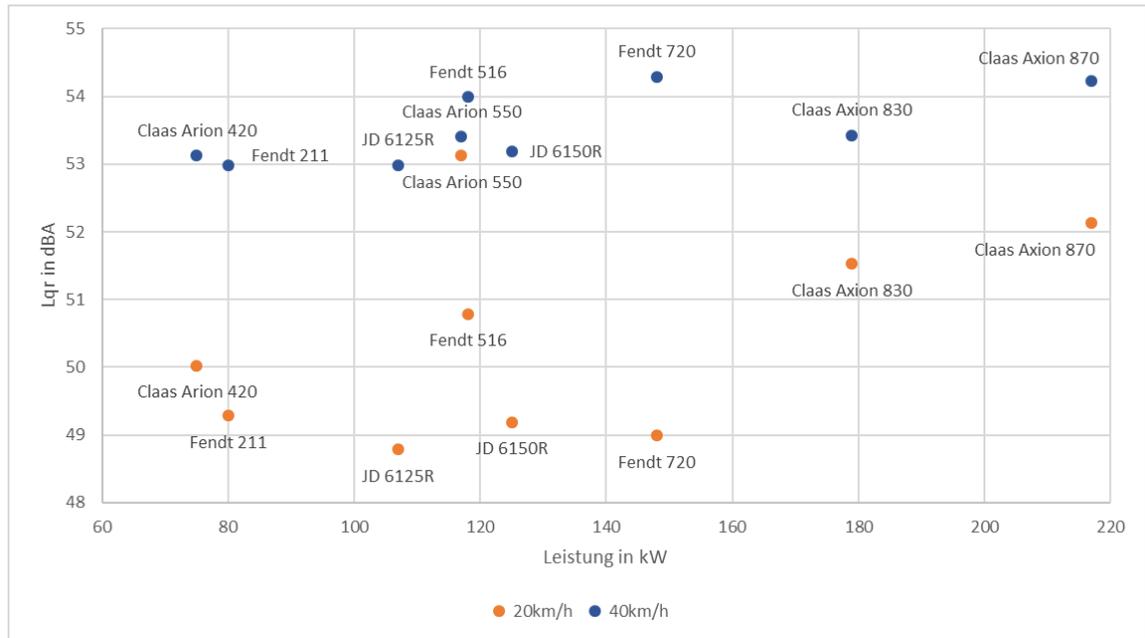


Abbildung 8 Quellenwerte der Emissionen der Traktoren in Abhängigkeit der Leistung

4.2 Traktoren mit Anhänger

	Leistung [kW]	Anhänger [t]	Lqr bei $v = 20 \text{ km/h}$	Lqr bei $v = 40 \text{ km/h}$
John Deere 6125R	107	21.5	50.0	54.1
Claas Arion 550	117	20	54.6	58.9
Fendt 516	118	6.8	51.7	55.0
John Deere 6150R	125	31	53.2	55.6
Claas Arion 660	147	20	54.1	57.0
Fendt 720	148	5	49.9	53.0

Tabelle 6 Quellenwerte (Lqr) in dBA der Emissionen einer Durchfahrt mit Anhänger, Leistung des Traktors und Gewicht des Anhängers

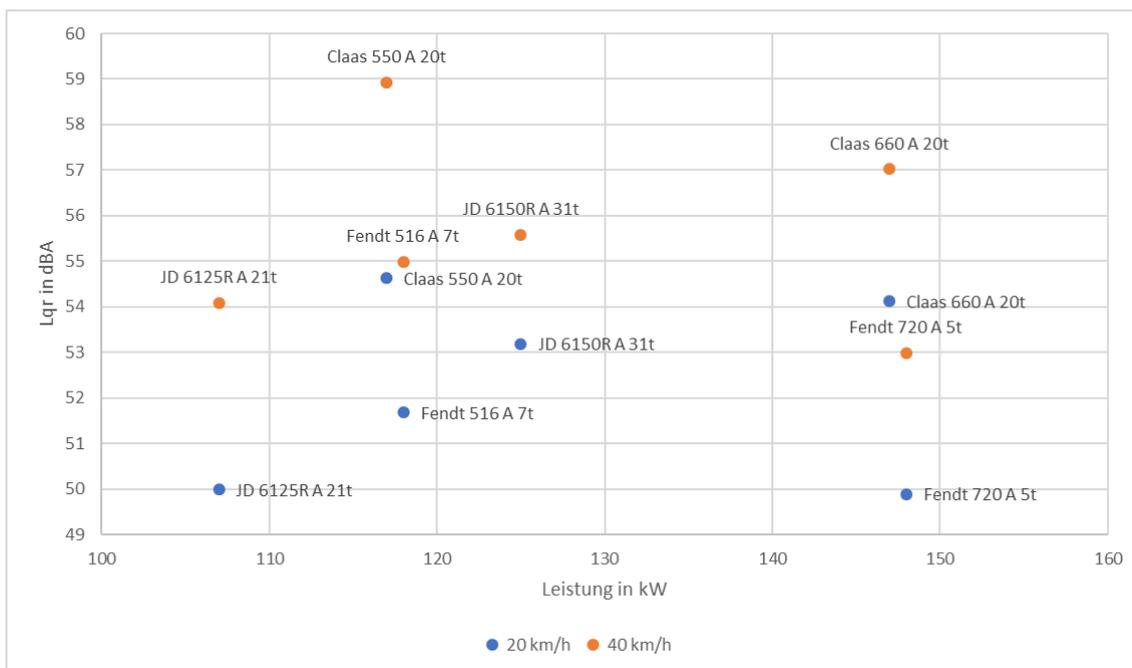


Abbildung 9 Quellenwerte der Emissionen der Traktoren mit Anhänger in Abhängigkeit der Leistung, A = Anhänger inkl. Angabe des Gewichtes

4.3 Erntemaschinen (Maishäcksler)

	Leistung [kW]	LqR bei $v = 10 \text{ km/h}$	LqR bei $v = 30 \text{ km/h}$
Claas Jaguar	430	57.8	56.5
Claas Jaguar 970	570	58.7	59.2

Tabelle 7 Quellenwerte (LqR) in dBA der Emissionen einer Durchfahrt mit dem Maishäcksler

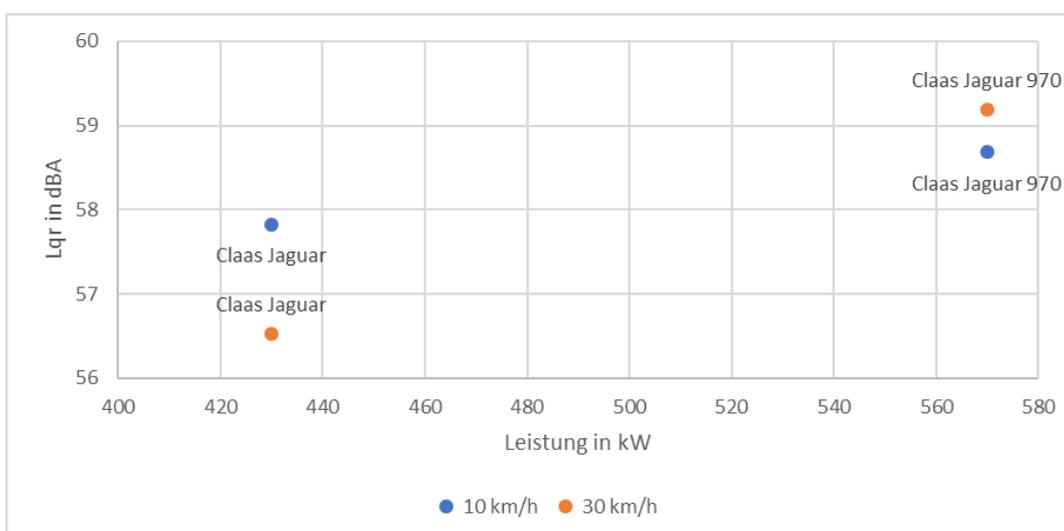


Abbildung 10 Quellenwerte der Emissionen der Maishäcksler pro gemessene Geschwindigkeit



5 Interpretation

5.1 Standardabweichung

Die Standardabweichung der Messungen ist ausserordentlich gut ausgefallen. Sie liegt bei 25 von 35 Fahrzeugtypen bzw. Geschwindigkeiten unter 1 dBA. Das heisst pro Fahrzeugtyp und Geschwindigkeit wurden sehr ähnliche Messresultate erreicht. Die Messungen sind somit plausibel.

Marke	Leistung [kW]	Gewicht [t]	Anhänger [t]	Standardabw. bei 20 km/h	Standardabw. bei 40 km/h
Fendt 211	80	4.65	-	1.2	1.1
Fendt 516	118	6.65	-	0.5	0.5
Fendt 516	118	6.65	6.8	0.6	0.6
Fendt 720	148	8.25	-	0.6	0.4
Fendt 720	148	8.25	5	1.0	2.0
JD 6125R	107	6.35	-	0.4	0.4
JD 6125R	107	6.35	21.5	1.4	1.4
JD 6150R	125	7.92	-	0.6	0.4
JD 6150R	125	7.92	31	1.9	1.6
Claas Arion 420	75	5.6	-	1.2	0.7
Claas Arion 550	117	7.8	-	0.2	0.6
Claas Arion 550	117	7.8	20	0.5	0.2
Claas Arion 660	147	8.8	20	0.5	1.3
Claas Axion 830	179	10.3	-	0.4	0.4
Claas Axion 870	217	10.7	-	0.4	0.5

Tabelle 8 Standardabweichung in dBA pro Geschwindigkeit und Fahrzeugtyp der Traktoren mit oder ohne Anhänger

Marke	Leistung [kW]	Gewicht [t]	Standardabw. bei 10 km/h	Standardabw. bei 30 km/h
Claas Jaguar	430	15.5	0.2	0.6
Class Jaguar 970	570	18.4	0.4	0.4

Tabelle 9 Standardabweichung in dBA pro Geschwindigkeit der Maishäcksler

5.2 Aufteilung in Antriebs- und Rollgeräusch

Aufgrund der groben Profilierung der Reifen bei Traktoren und Maishäckslern ist die Rollgeräuschkomponente im Vergleich zum Motorgeräusch vernachlässigbar, d.h. der Belagstyp spielt hier kaum eine Rolle. Bei den Emissionen von landwirtschaftlichen Fahrzeugen kann ausschliesslich vom Motorgeräusch ausgegangen werden. Im Modell sonROAD18 werden die Emissionen von Fahrzeugen in Antriebs- und Rollgeräusch aufgeteilt. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen jedoch, dass dies für landwirtschaftliche Fahrzeuge (Kategorie 13) nicht erforderlich ist und das Rollgeräusch auf Null gesetzt werden kann (siehe Kapitel 6).



5.3 Leistungsklassen von Traktoren

In der Praxis wird häufig von kleinen, mittleren und grossen Traktoren gesprochen. Aus diesem Grund erfolgt die Auswertung in einem ersten Schritt mit folgenden Traktorklassen, deren Emissionen in Abbildung 11 dargestellt werden:

- Klasse kleine Traktoren < 100 kW
- Klasse mittlere Traktoren 100 – 150 kW
- Klasse grosse Traktoren > 150 kW

Anmerkung: Traktoren mit einer Leistung über 150 kW werden vor allem für den Transport von Lasten eingesetzt und sind seltener oder gar nicht auf dem Acker anzutreffen. Da ein Landwirt diese Traktorklasse nur punktuell benötigt, sind diese vor allem in Lohnunternehmungen im Einsatz.

Die drei Leistungsklassen weisen die Quellenwerte und Standardabweichungen in Tabelle 10 auf.

Leistungsklasse	Lrq [dBA] 20 km/h	Standardabw. bei 20 km/h	Lrq [dBA] 40 km/h	Standardabw. bei 40 km/h
<100 kW	49.7	0.5	53.1	0.1
100 - 150 kW	50.5	1.8	53.6	0.5
> 150 kW	51.8	0.4	53.8	0.6

Tabelle 10 Energetische Mittel der Quellenwerte pro Leistungsklasse in Abhängigkeit der Geschwindigkeit sowie die Standardabweichung pro Leistungsklasse und Geschwindigkeit

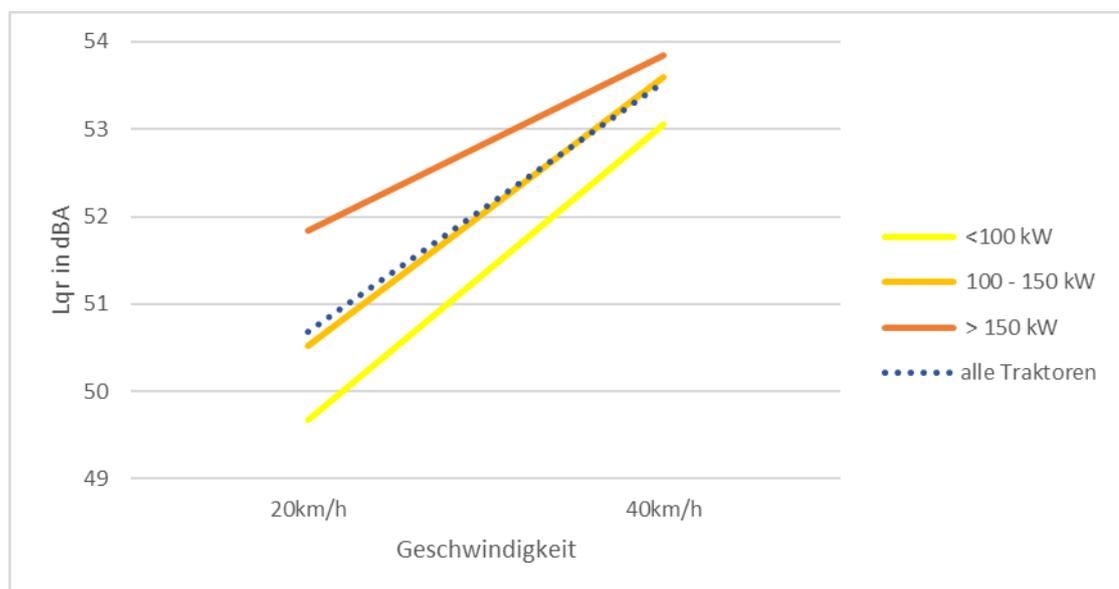


Abbildung 11 Energetisches Mittel der Quellenwerte pro Leistungsklasse in Abhängigkeit der Geschwindigkeit sowie das energetische Mittel aller vermessenen Traktoren

Das energetische Mittel aller vermessenen Traktoren liegt in etwa bei der mittleren Traktorklasse (siehe Abbildung 11), von welcher am meisten Traktoren vermessen wurden. Die Pegelunterschiede der kleinen und grossen Traktoren liegen bei einer Geschwindigkeit von 20 km/h bei knapp 2 dBA und bei 40km/h unter 1 dBA. Gemäss Leitfaden Strassenlärm [6] ist die Wahrnehmbarkeit ab einer Pegeländerung von > 1dB gegeben. Somit wird der Emissionsunterschied als sehr gering eingestuft und es ist aus akustischer Sicht gerechtfertigt, die Traktoren als eine einzige Kategorie zu behandeln. Auch das Modell sonROAD18 geht von einer Unterkategorie mit

Traktoren aus (Kategorie 13a in Tabelle 1), da keine signifikante Abhängigkeit der Emissionen von der Motorenleistung besteht (vgl. Kapitel 6).

Fazit

Folgende Erkenntnisse bezüglich der Traktoren resultieren aus den Messungen:

- Keine Unterscheidung nach Leistungsklassen
- Emissionspegel L_qr von 51 dBA bei 20 km/h und 54 dBA bei 40 km/h

5.4 Lärm-Emissionen von Traktoren mit Anhänger

Nur bei den Traktoren in der mittleren Leistungsklasse erfolgten Messungen der Fahrten mit Anhänger. Die Anhänger wurden unterschiedlich schwer beladen (siehe z.B. Tabelle 6). Der Durchschnitt aller Fahrten mit und ohne Anhänger zeigt eine klare Tendenz, dass durch den Anhänger erwartungsgemäss die Emissionen erhöht werden (Abbildung 12). Der Motor muss durch das zusätzliche Gewicht mehr Leistung erbringen und wird somit lauter.

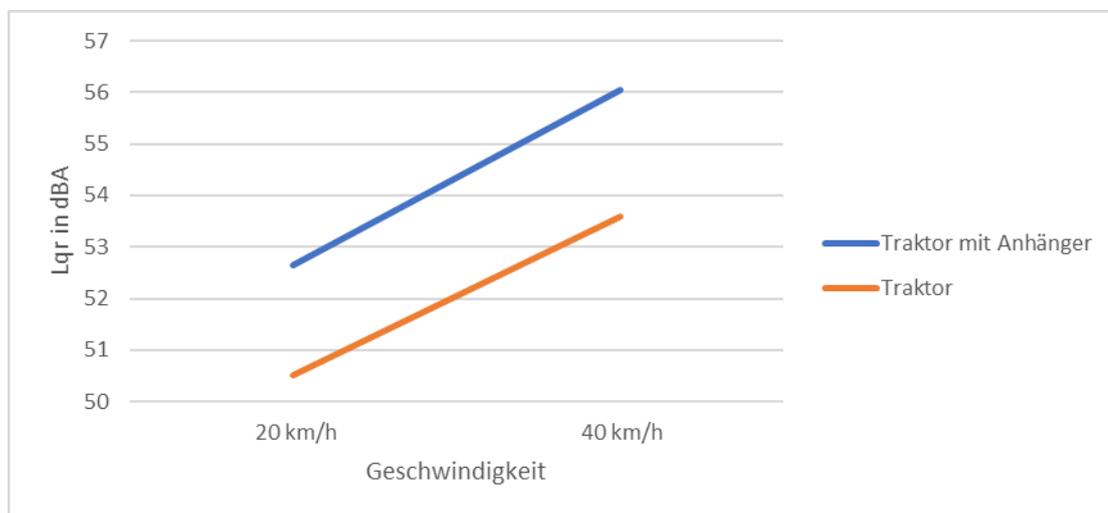


Abbildung 12 Energetisches Mittel der Quellenwerte der Traktoren mit und ohne Anhänger in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

Bei einer Geschwindigkeit von 20 km/h emittieren Traktoren mit Anhänger im Durchschnitt 2.1 dB mehr als ohne Anhänger. Bei 40 km/h sind sie 2.4 dBA lauter.

In Anlehnung an das Modell sonROAD18 (vgl. [7] und Kapitel 6) wird in vorliegender Untersuchung mit einem generellen Zuschlag für eine Fahrt mit Anhänger ausgegangen: Für Traktoren mit Anhänger gilt ein Emissionszuschlag von 2 dBA auf die Emissionen eines Traktors.

Fazit

Folgende Erkenntnisse bezüglich der Traktoren mit Anhänger resultieren aus den Messungen:

- Zuschlag von +2 dB zum Emissionspegel des Traktors

5.5 Lärm-Emissionen von Erntemaschinen (Maishäckslern)

Bei den zwei vermessenen Maishäcksler ergaben sich widersprüchliche Messresultate. Aufgrund der sehr guten Standardabweichung (0.2 – 0.6 dBA) kann nicht von einem Messfehler ausgegangen werden. Gemäss Angaben der Unternehmer weisen Maishäcksler eine stufenlose Schaltung und eine automatische Regelung der Geschwindigkeit (Hebel) auf. Sie fahren jeweils im Strassen- bzw im Feldmodus. Im Feldmodus wird generell hochtouriger gefahren, was deutlich höhere Emissionen erzeugt. Der Chauffeur hatte die Anweisung im Strassenmodus zu fahren.

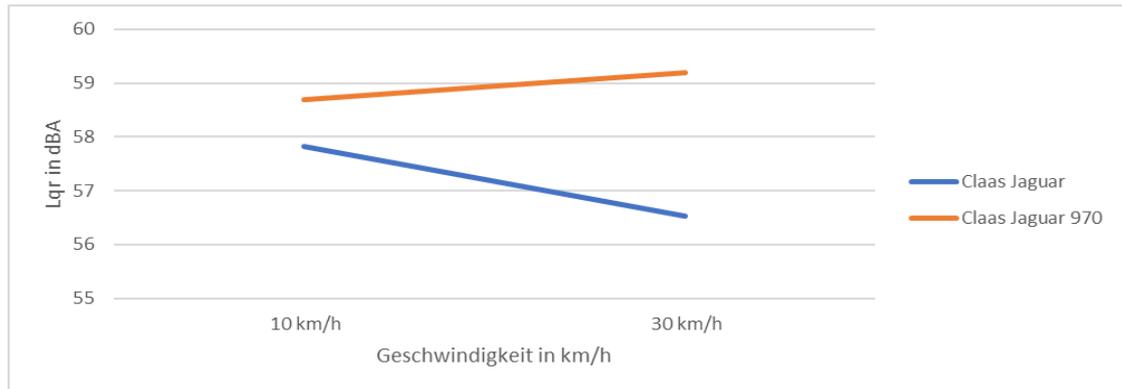


Abbildung 13 Emissionen der beiden gemessenen Maishäcksler der Marke Claas

Bei den Erntefahrzeugen wird nicht von verschiedenen Leistungsklassen ausgegangen, da generell alle Erntefahrzeuge eine hohe Leistung aufweisen (die gemessenen Maishäcksler weisen eine Leistung von 430 bzw. 570 kW aus). Infolgedessen wird als Emission bei Erntefahrzeugen von einem Pegel von 58 dBA ausgegangen, für beide Geschwindigkeiten. Die Frequenzspektren der beiden Durchfahrten im Anhang D zeigen insbesondere im fürs menschliche Gehör wahrnehmbaren Bereich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede der Pegelhöhe bzw. Lautstärke.

Fazit

Folgende Erkenntnisse zu den Erntemaschinen (Maishäckslern) resultieren aus den Messungen:

- Einheitlicher Emissionspegel $L_{q,r}$ von 58 dBA
- Deutlich höhere Emissionen als Traktoren (4-7 dBA)

5.6 Vergleich mit Emissionen von LKWs

Um die Emissionen der vermessenen Traktoren (Kategorie 13) mit denen von Lastwagen (LKW, Kategorie 8 gemäss Kap. 1.3) zu vergleichen, werden die entsprechenden Schallleistungspegel aus dem sonROAD18-Modell (Web-Tool, Version 1.7) miteinander verglichen. Die vermessenen Quellenwerte aus den vorangehenden Kapiteln sind noch nicht auf einen harten Belag normiert (siehe Kapitel 6) und können daher für den Vergleich in folgender Abbildung 14 nicht direkt herangezogen werden.

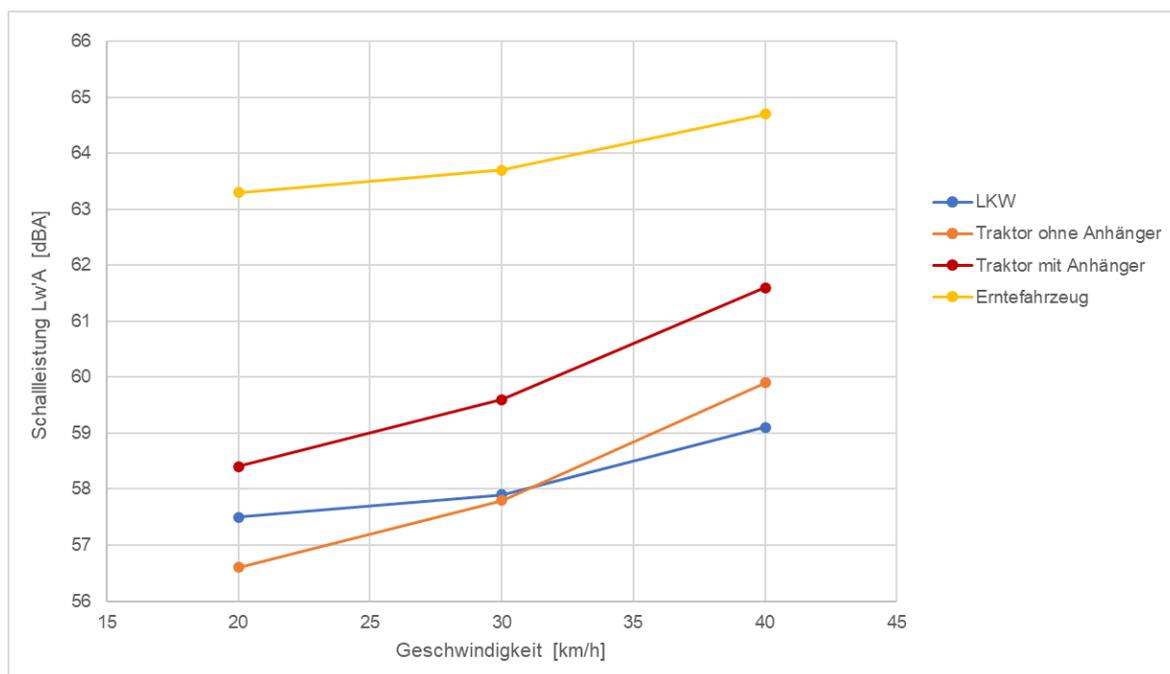


Abbildung 14 Schallleistungspegel der vermessenen Traktoren (Kategorie 13a) Traktoren mit Anhänger (Kategorie 13b = 13a mit Zuschlag) und Erntefahrzeugen (Kategorie 13c) im Vergleich zu einem LKW (Kategorie 8) (Quelle: sonROAD18 Webtool-Version 1.7, Belagskorrektur KB50_0dB)

Ein LKW weist bei Tempo 30 praktisch gleiche Emissionen wie ein Traktor ohne Anhänger aus. Bei tieferen Geschwindigkeiten sind diese etwas höher (knapp 1 dB) und bei höheren Geschwindigkeiten etwas tiefer (knapp 1 dB). Zudem ist ersichtlich, dass Erntefahrzeuge deutlich höhere Emissionen aufweisen als Traktoren bzw. LKWs.

Fazit

Folgende Erkenntnis bezüglich der Traktoren im Vergleich zu LKW resultiert aus dem Emissionsvergleich:

- Die Emissionen eines LKW sind bei tiefen Geschwindigkeiten bis 40 km/h in etwa gleich wie ein Traktor ohne Anhänger (± 1 dB)



6 Implementierung in das Emissionsmodell sonROAD18

Wie in Kapitel 3.4 des Berichts sonROAD18 der EMPA [7] beschrieben, wurden sämtliche Messergebnisse, das heisst die spektralen Ereignispegel von einzelnen Vorbeifahrten der EMPA geliefert, um diese in den sonROAD18-Formalismus zu integrieren. Da die Messungen auf schmalen Strassen erfolgten, musste in einem ersten Schritt der Bodeneffekt in den Terzbandfrequenzen normiert werden. Das sonROAD18 Modell geht von einer Schallausbreitung zwischen Fahrzeug und Mikrophon auf harten Boden aus, aus diesem Grund wird die Bodeneffektnormierung durchgeführt, welche bei allen 3 Standorten aufgrund der unterschiedlichen Strassenbreiten verschieden war (für Strassenbreiten siehe Kapitel 3.2, Details zu der Bodeneffektnormierung siehe [7]).

Eine erste Datenanalyse ergab keine signifikante, globale Abhängigkeit der akustischen Emission von der Motorenleistung. Aus diesem Grund wurde auf eine Kategorisierung aufgrund der Motorenleistung verzichtet. Für die Parameteranpassung wurde das gemessene Gesamtgeräusch vollumfänglich als Antriebsgeräusch interpretiert und die Rollgeräuschkomponente auf Null gesetzt.

Wegen des groben Profils der typischen Bereifung von landwirtschaftlichen Fahrzeugen wird die Lärm-Emission kaum von den akustischen Eigenschaften des Belags beeinflusst. Im Emissionsmodell sonROAD18 wirkt die Belagskorrektur ausschliesslich auf die Rollgeräusch-Komponente. Wird die Emission von landwirtschaftlichen Fahrzeugen nur mittels Antriebsgeräusch-Komponente modelliert, beeinflusst die Belagskorrektur in einer Prognose für den Gesamtverkehr die Emissionen der landwirtschaftlichen Fahrzeuge nicht.

Für die Kategorien Traktor und Erntefahrzeuge wurde ein geschwindigkeitsabhängiges, spektrales Emissionsmodell erstellt, für die Kategorie Traktor mit Anhänger wird ein einheitlicher Zuschlag der Traktoremissionen definiert.



7 Schlussfolgerung

Emissionen von landwirtschaftlichen Fahrzeugen

Auf der Grundlage der im März 2020 durchgeführten messtechnischen Erfassung der Emissionen von landwirtschaftlichen Fahrzeugen, wurden die Emissionen wie folgt festgelegt.

	Lqr bei 20 km/h	Lqr bei 40 km/h
Traktoren	51 dBA	54 dBA
Traktoren mit Anhänger	Zuschlag von + 2 dBA	
	Lqr bei 10 km/h	Lqr bei 30 km/h
Erntefahrzeuge (Maishäcksler)	58 dBA	58 dBA

Tabelle 11 Emissionen (Quellenwerte) von landwirtschaftlichen Fahrzeugen

Emissionsmodell sonROAD18

Sämtliche messtechnisch erfassten Daten sind im Modell sonROAD18 integriert und bilden die Grundlage für die Emissionen der Kategorie 13 mit den folgenden Unterkategorien

- 13a Traktoren
- 13b Traktoren mit Anhänger
- 13c Erntefahrzeuge (Maishäcksler)

Für die Kategorien 13a und 13c ist ein geschwindigkeitsabhängiges, spektrales Emissionsmodell hinterlegt, für die Kategorie 13b ist ein Zuschlag zu den Traktoremissionen definiert.

B+S AG

Mark Ströhle
Senior Experte Akustik

Anne Klauser
Projektleiterin



8 Verzeichnisse

- [1] Heutschi K., Locher B., 2018: sonROAD18 – Berechnungsmodell für Strassenlärm, Empa, www.bafu.admin.ch/sonROAD18
- [2] SR 814.41 Lärmschutz-Verordnung (LSV) vom 15 Dezember 1986
- [3] BAFU (Hersg.) 2021: Strassenlärm-Berechnungsmodell sonROAD18, Aufbereitung Eingabedaten und Ausbreitungsrechnung, Umwelt-Wissen Nr. 2127: 29. S.
- [4] Schweizer Landmaschinen-Verband SLV/ASMA, (<https://slv-asma.ch/service-finder/statistiken>, Stand Januar und August 2020)
- [5] ISO 11819-1, Acoustics – Methodes for measuring the influences of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical pass-by method (1997)
- [6] Schguanin G., Ziegler T. 2006: Leitfaden Strassenlärm. Vollzugshilfe für die Sanierung. Stand: Dezember 2006. Umwelt-Vollzug Nr. 0637. Bundesamt für Umwelt, Bern. 46 S.
- [7] Heutschi, K. 2023: sonROAD18, Weiterentwicklungen und Ergänzungen, Version 2.0, Berechnungsmodell für Strassenlärm, EMPA Nr. 5214.019298, 5214.023513



Anhang

A Messequipment

Bei der messtechnischen Ermittlung der landwirtschaftlichen Fahrzeuge eingesetzten Messinstrumente

Messgerät 1

- Sound Analyser Norsonic 140, Serie-Nr. 1402959
- Vorverstärker Norsonic 1209 (Serie-Nr. 12474), Mikrofonkapsel Norsonic 1225 (Serie-Nr. 79565)

Messgerät 2

- Sound Analyser Norsonic 140, Serie-Nr. 1404537
- Vorverstärker Norsonic 1209 (Serie-Nr. 13861), Mikrofonkapsel Norsonic 1225 (Serie-Nr. 128788)

Messgerät 3

- Sound Analyser Norsonic 140, Serie-Nr. 1402960
- Vorverstärker Norsonic 1209 (Serie-Nr. 21562), Mikrofonkapsel Norsonic 1225 (Serie-Nr. 271135)

Messgerät ZH

- Sound Analyser Norsonic 140, Serie-Nr. 1404615
- Vorverstärker Norsonic 1209 (Serie-Nr. 14142), Mikrofonkapsel Norsonic 1225 (Serie-Nr. 271172)

Sämtliches bei den Messungen verwendetes Equipment ist amtlich geprüft. Die Messgeräte wurden vor und nach den Messungen akustisch kalibriert (akustischer Kalibrator Norsonic 1251-1kHz, 114dB, Serie-Nr. 31046 und Serie-Nr. 33098).



B Daten der messtechnisch erfassten Fahrzeuge

Emissionen Landwirtschaftliche Fahrzeuge

Übersicht Fahrzeuge

Ort	Marke	Bezeichnung	Leistung		Gewicht [kg]	Anhänger [kg]	Typ	Bereifung		Bemerkung
			[kW]	[PS]				Nr. vorne	Nr. hinten	
Z	John Deere	6150 R	125	170	7'920	31'000	Trelleborg TM 800	600/65 R28	710/70 R38	
Z	John Deere	6125 R	107	145	6'350	21'500	Michelin Multibip	480/65 R24	540/65 R38	Reifen ziemlich abgefahren
H	Fendt	211	80	110	4'650		Mitas AC 65	440/65 R24	540/65 R34	1 Jahr, stufenlose Schaltung
H	Fendt	720	148	200	8'250	5'000	Trelleborg TM800	600/65 R28	710/70 R38	stufenlose Schaltung, Pneu halbe Lebenszeit
H	Fendt	516	118	160	6'650	6'800	Michelin	540/65 R28	650/65 R38	älteres Fahrzeug, stufenlose Schaltung
O	Claas	Arion 420	75	100	5'600		Milas AC65 / HC70	600/65 R34	420/70 R24	2 Gänge weniger, ev. lauter
O	Claas	Arion 550	117	145	7'800	20'000	Michelin XeoBib	650/60 R38	520/60 R28	stufenlose Schaltung
O	Claas	Arion 660	147	200	8'800	20'000	Michelin XeoBib	710/60 R42	600/60 R30	stufenlose Schaltung
O	Claas	Axion 830	179	235	10'300		Michelin Axiobib	600/70 R30	710/70 R42	
O	Claas	Axion 870	217	295	10'700		Michelin Axiobib/Machxbib	600/70 R30	800/70 R38	
Maishäcksler										
Z	Claas	Jaguar 970	570	775	18'400		Trelleborg TM2000/800	900/60 R32	600/65 R28	
O	Claas	Jaguar	430	585	15'500		Mitas SFT	800/70 R38 CHO	620/70 R30 MIP	stufenlose Schaltung

Z = Zollkofen, H = Hindelbank, O = Oberbipp

C Pegelverlauf

Einzeldurchfahrt Traktoren

Zur visuellen Veranschaulichung von akustischen Emissionen wird ein Pegelverlauf einer exemplarischen Durchfahrt eines Traktors mit 40 km/h dargestellt.

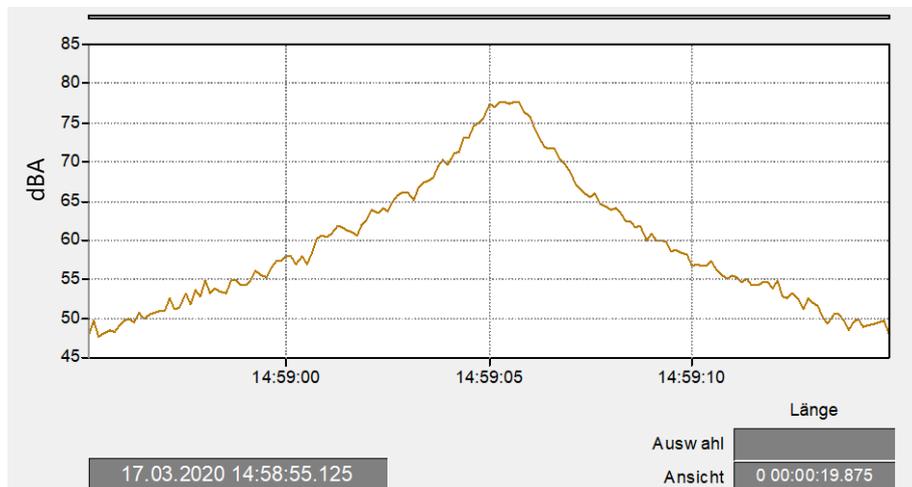


Abbildung 15 Pegelverlauf in dBA einer exemplarischen Durchfahrt mit 40km/h des Fendt 516 (118 kW) (Software: NorReview, Type 1026)

Einzeldurchfahrt von Traktoren mit Anhängern

Zur visuellen Veranschaulichung wird ein Pegelverlauf einer Durchfahrt mit 20 km/h von zwei Traktoren mit Anhänger dargestellt.

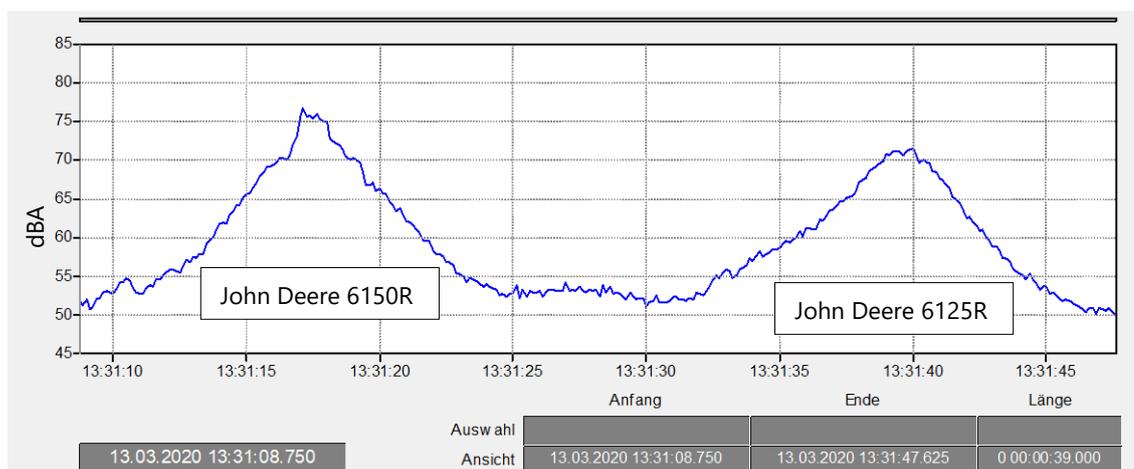


Abbildung 16 Pegelverlauf einer Durchfahrt mit 20 km/h der Traktoren John Deere 6150R (125 kW) und 6125R (107 kW) jeweils beide mit Anhänger (Software: NorReview, Type 1026)



Einzeldurchfahrt Erntemaschinen

Im Pegelverlauf des Maishäckslers sind durch die langsame Durchfahrt mit 10 km/h die Pegelanstiege und -abfälle sehr flach. Eine Durchfahrt während 30 Sekunden wird in der Abbildung 17 dargestellt.

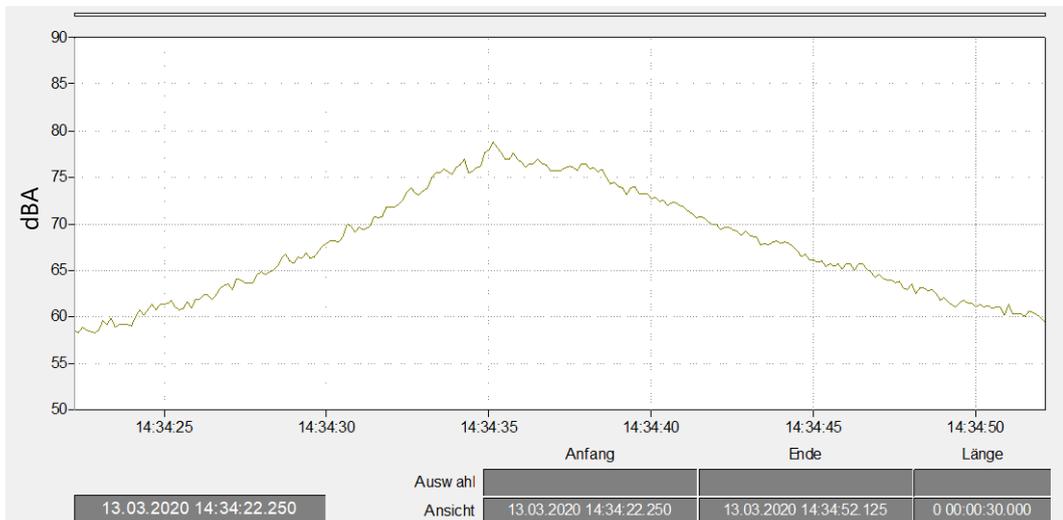


Abbildung 17 Pegelverlauf einer Durchfahrt mit 10 km/h des Maishäckslers Claas Jaguar (430kW)



D Frequenzspekren

Vergleich Traktoren mit und ohne Anhänger

Das jeweilige energetische Mittel des Schallleistungspegel der Terzband-Frequenzen von 20 bis 20'000 Herz ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Der für das menschliche Gehör massgebende Bereich zwischen 400 und 5'000 Hz ist ebenfalls angegeben. Der Vergleich einer Durchfahrt eines Traktors mit und ohne Anhänger zeigt im massgebenden Bereich abgesehen von einer leichten Erhöhung des Pegels für Traktoren mit Anhänger keine markanten Unterschiede.

Wie in Abbildung 19 ersichtlich, werden durch die Last des Anhängers die Emissionen eines Motors im tieffrequenten Bereich (<125 Hz) leicht verändert. Dies ist für das menschliche Gehör nicht wahrnehmbar und für die Emissionen nicht relevant.

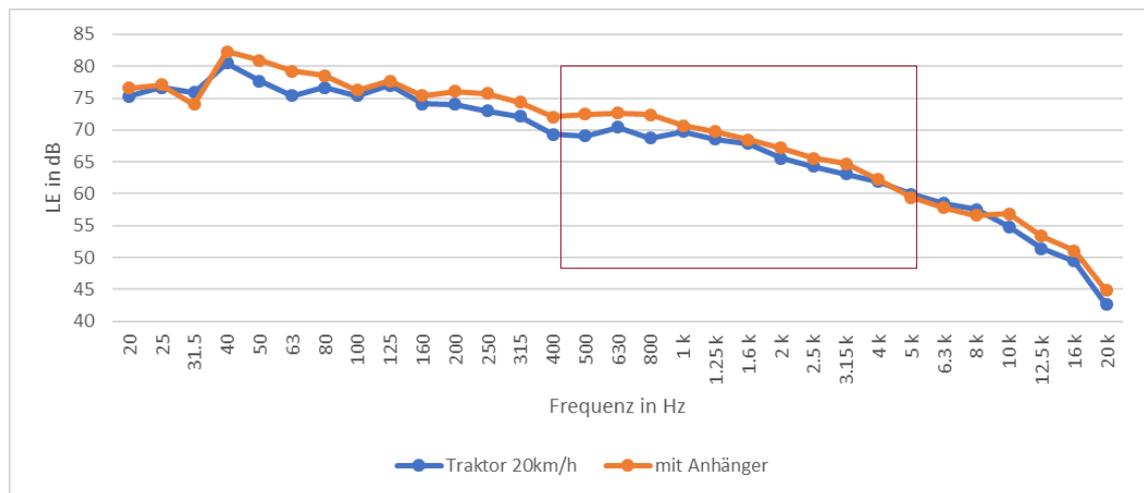


Abbildung 18 Frequenzspektrum bei einer Durchfahrt mit 20 km/h der Traktoren mit und ohne Anhänger. rot = fürs menschliche Gehör relevanter Frequenzbereich

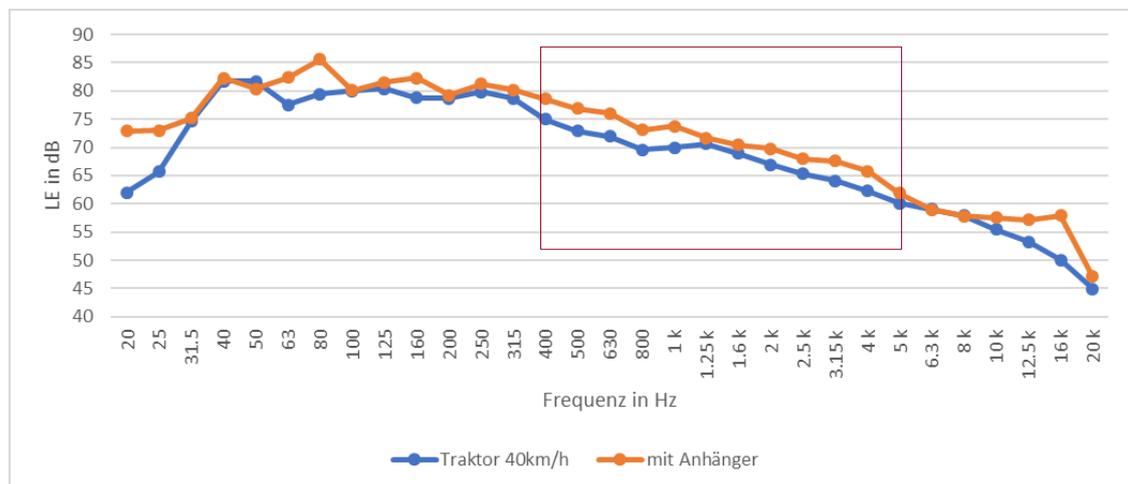


Abbildung 19 Frequenzspektrum bei einer Durchfahrt mit 40 km/h der Traktoren mit und ohne Anhänger. rot = fürs menschliche Gehör relevanter Frequenzbereich



Vergleich Erntemaschinen (Maishäcksler)

Der Maishäcksler weist im Frequenzspektrum nur geringe Unterschiede aus zwischen einer Durchfahrt mit 10 bzw. 30 km/h (Abbildung 20). Die in Kapitel 5.5 festgelegten einheitlichen Emissionen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten sind auch im Frequenzspektrum sichtbar. Im tieffrequenten Bereich ist eine Erhöhung des Schallleistungspegels LE von 10 dB bei 31.5 Hz zu verzeichnen. Dieser Pegelunterschied ist nur mit Messgeräten messbar und sonst nicht wahrnehmbar.

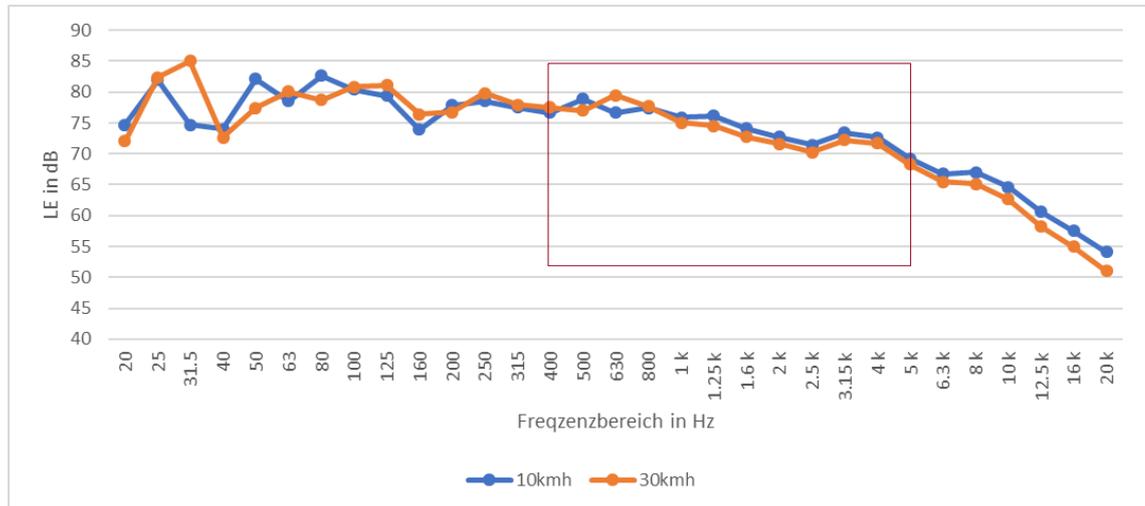


Abbildung 20 Frequenzspektrum der Maishäcksler bei einer Durchfahrt mit 10 bzw. 30 km/h, rot = fürs menschliche Gehör relevanter Frequenzbereich