

Diploma Thesis

**Fuel consumption and emission monitoring  
based on defined load cycles  
on construction sites**

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of

Diplom-Ingenieur

of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

---

Diplomarbeit

**Kraftstoffverbrauchs- und Emissionsmonitoring  
bei Baumaschinen anhand definierter Lastzyklen  
auf Baustellen**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

**Tobias Bisenberger, BSc**

Matr.Nr.: 1129203

**Harald Urban, BSc**

Matr.Nr.: 1225626

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Gerald Goger**

Dipl.-Ing. Dr.techn. **Christoph Winkler, BSc**

Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Christian Schranz, M.S.**

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement

Forschungsbereich Baubetrieb

Technische Universität Wien

Karlsplatz 13/234-1, A-1040 Wien

Wien, im Februar 2017

---



# Kurzfassung

Der Emissionsausstoß und der hohe Kraftstoffverbrauch bei Baumaschinen stellen die Bauindustrie in Zeiten immer strenger werdender Abgasemissionsrichtlinien und höherer Dieselpreise vor große Herausforderungen. Eine Reduktion der Schadstoffemissionen und des Treibstoffverbrauchs ist daher unumgänglich. Ein österreichisches Start-Up Unternehmen mit dem Namen DROP-NO<sub>x</sub> stellt sich dieser Herausforderung. Dieses Unternehmen hat eine Applikation entwickelt, welche durch Wassereinspritzung in den Ansaugtrakt des Motors den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren und gleichzeitig die Emissionen zu minimieren versucht.

Diese Diplomarbeit beschreibt ein umfassendes Kraftstoff- und Emissionsmonitoring aus rein baubetrieblicher Sicht, wobei keine Analyse im Hinblick auf Motorentchnik bzw. Maschinenbau erfolgt. Dieses Monitoring wird bei einem Hydraulikraupenbagger und zwei Radladern durchgeführt, um eventuelle Verbesserungspotenziale durch die DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation aufzuzeigen. Zusätzlich komplettiert ein Kraftstoffmonitoring bei zwei Lastkraftwagen und drei Kleintransportern das Untersuchungsprogramm. Der Untersuchungszeitraum von sieben Wochen unterteilt sich grundsätzlich in zwei Testperioden, jene ohne verbauter Applikation (drei Wochen) und jene mit verbauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation (vier Wochen). Die Phasen ohne und mit verbauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation werden miteinander verglichen. Es soll geklärt werden, ob die Verwendung der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation zu einer Reduktion des Kraftstoffverbrauches und Emissionsausstoßes führt.

Die grundsätzlichen Rahmenbedingungen zur Durchführung dieser Diplomarbeit sind von der Firma Swietelsky Bau Ges.m.b.H geschaffen worden. Zwei Areale, eines in Zwettl und eines in Traismauer, sind für das Kraftstoff- und Emissionsmonitoring der Radlader während des Betriebs zur Verfügung gestellt worden. Für diese Untersuchung ist zudem eigens ein Hydraulikraupenbagger angemietet worden, welcher ausschließlich vordefinierte Lastzyklen durchführt, um so möglichst repräsentative Ergebnisse ohne betriebsbedingte Abweichungen zu erhalten. Die Aufzeichnungsprotokolle zum Kraftstoffverbrauch sind für jede Fahrzeugkategorie einzeln erstellt worden. Diese Protokolle sind im Testbetrieb von den Maschinisten selbst ausgefüllt worden und dienen als Datenbasis für die Auswertung des Kraftstoffmonitorings.

Das Emissionsmonitoring ist bei den Baumaschinen mit einem portablen Abgasmessgerät der Fa. Testo in regelmäßigen Abständen bei drei definierten Drehzahlen pro Baumaschine durchgeführt worden. Die erhaltenen Messdaten dienen als Datengrundlage für die Auswertung der Emissionen.

Die Ergebnisse des Kraftstoffmonitorings zeigen Tendenzen zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs bei einem untersuchten Radlader und dem Raupenbagger auf. Die Aussagen zu den Lastkraftwagen und Kleintransportern können aufgrund vieler ungewisser Parameter als Grundlage für weitere Forschungen zur DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation gesehen werden. Die Ergebnisse zum Emissionsmonitoring deuten auf eine teilweise starke Reduktion der gemessenen Schadstoffe hin. Eine Verifizierung der erhaltenen Messergebnisse am Rollenprüfstand ist sowohl beim Kraftstoffverbrauch als auch bei den Emissionen unumgänglich.



# Abstract

Pollutant emissions and the high fuel consumption of construction machines are a major challenge for the construction industry in times of increasingly stringent emission control directives and higher diesel prices. A reduction in pollutant emissions and fuel consumption is therefore inevitable. An Austrian start-up company named DROP-NO<sub>x</sub> taking up this challenge. This company has developed an application that attempts to save fuel and to minimize emissions by injecting water into the intake section of the engine.

This diploma thesis describes comprehensive fuel and emission monitoring from a purely building perspective, with no analysis in terms of engine technology or mechanical engineering. This monitoring is carried out on a hydraulic excavator and two wheel loaders in order to show possible improvement potentials through the DROP-NO<sub>x</sub>-application. Additionally, a fuel monitoring system completes the inspection program for two trucks and three pick-ups. The examination period of seven weeks is divided into two test periods, those without the application (three weeks) and those with a built-in application (four weeks). The phases without and with built-in DROP-NO<sub>x</sub>-application are compared to each other. It needs to be clarified whether the use of the DROP-NO<sub>x</sub>-application leads to a reduction in fuel consumption and emissions.

The basic framework conditions for carrying out this diploma thesis were provided by Swietelsky Bau Ges.m.b.H. Two areas, one in Zwettl and one in Traismauer were made available for the fuel and emission monitoring of the wheel loaders during operation. In addition, a hydraulic dredger was specially hired for this investigation, which exclusively performed predefined load cycles in order to obtain the most representative results possible without deviations from the operating conditions. The recording protocols for fuel consumption were compiled individually for each vehicle category. These protocols were completed by the machinists themselves in test operations and served as data basis for the evaluation of fuel monitoring.

Emission monitoring was carried out on the construction machines with a portable exhaust gas meter from Testo at regular intervals at three defined cycle rotation per construction machine. The measured data obtained was used as data basis for the evaluation of the emissions.

The results of the fuel monitoring show tendencies to reduce the fuel consumption in a tested wheel loader and the caterpillar excavator. The statements on trucks and pick-ups should be interpreted as a basis for further research on the DROP-NO<sub>x</sub>-application due to many uncertain parameters. The results for the emission monitoring indicate a partial strong reduction of the measured pollutants. A verification of the obtained test results at the dynamometer is indispensable both in terms of fuel consumption and emissions.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>10</b>
2.1	Baufahrzeuge . . . . .	10
2.1.1	Raupenbagger . . . . .	10
2.1.2	Radlader . . . . .	13
2.1.3	Lastkraftwagen . . . . .	16
2.1.4	Kleintransporter . . . . .	18
2.2	Funktionsprinzip Dieselmotor . . . . .	20
2.3	Kraftstoffverbrauchsmessung . . . . .	21
2.4	Emissionen . . . . .	22
2.4.1	Emissionsproblematik im Baubetrieb . . . . .	25
2.4.2	Abgasemissionsrichtlinien . . . . .	26
2.4.3	Nationale Gesetzeslage . . . . .	28
2.5	Der Venturi-Effekt . . . . .	29
2.6	Venturi-Prinzip – DROP-NO <sub>x</sub> -Applikation . . . . .	31
2.6.1	Prinzip und Aufbau . . . . .	31
2.6.2	Varianten . . . . .	32
2.7	Einbau DROP-NO <sub>x</sub> -Applikation (Kit) . . . . .	34
2.8	Statistische Grundlagen – Deskriptive Statistik . . . . .	37
<b>3</b>	<b>Kraftstoff- und Emissionsmonitoring</b>	<b>39</b>
3.1	Randbedingungen der Testareale . . . . .	39
3.1.1	Testareal Traismauer . . . . .	40
3.1.2	Testareal Zwettl (Dürnhof) . . . . .	43
3.2	Lastzyklen . . . . .	44
3.2.1	Raupenbagger . . . . .	45
3.2.2	Radlader . . . . .	48
3.2.3	Lastkraftwagen (LKW) . . . . .	53
3.2.4	Kleintransporter . . . . .	53
3.3	Terminplan . . . . .	54
3.3.1	Rahmenterminplan . . . . .	54
3.3.2	Angepasster Rahmenterminplan . . . . .	55
3.3.3	Arbeitsterminplan . . . . .	56
3.4	Kraftstoffverbrauchsmessung . . . . .	57
3.4.1	Raupenbagger . . . . .	58
3.4.2	Radlader . . . . .	59
3.4.3	Lastkraftwagen . . . . .	60
3.4.4	Kleintransporter . . . . .	61
3.5	Emissionsmessung . . . . .	62
3.5.1	Gerätebeschreibung . . . . .	62
3.5.2	Messdurchführung . . . . .	64

---

3.6	Problempunkte der Durchführung . . . . .	64
<b>4</b>	<b>Auswertung des Kraftstoffmonitorings</b>	<b>68</b>
4.1	Raupenbagger . . . . .	68
4.1.1	Kontinuierliches Kraftstoffmonitoring . . . . .	69
4.1.2	Stundenweise Aufzeichnung des Kraftstoffverbrauches . . . . .	72
4.2	Radlader . . . . .	74
4.2.1	Radlader Traismauer . . . . .	75
4.2.2	Radlader Zwettl . . . . .	78
4.3	Lastkraftwagen . . . . .	81
4.3.1	Lastkraftwagen DAF . . . . .	81
4.3.2	Lastkraftwagen MAN . . . . .	84
4.4	Kleintransporter . . . . .	88
4.4.1	VW T5 Bus 1 . . . . .	88
4.4.2	VW T5 Bus 2 . . . . .	89
4.4.3	Mercedes-Benz Sprinter . . . . .	90
<b>5</b>	<b>Auswertung des Emissionsmonitorings</b>	<b>91</b>
5.1	Raupenbagger . . . . .	93
5.2	Radlader . . . . .	101
5.2.1	Radlader Traismauer . . . . .	102
5.2.2	Radlader Zwettl . . . . .	110
5.2.3	Gegenüberstellung der Radlader . . . . .	118
5.3	Vergleich mit europäischer Abgasemissionsrichtlinie . . . . .	119
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen und Fazit</b>	<b>121</b>
6.1	Schlussfolgerung Kraftstoffmonitoring . . . . .	121
6.2	Schlussfolgerung Emissionsmonitoring . . . . .	123
6.3	Fazit und Verbesserungspotenziale . . . . .	124
<b>A</b>	<b>Unterlagen</b>	<b>133</b>

# Kapitel 1

## Einleitung

Die Thematik der Kraftstoffeinsparung und Emissionsreduktion bei Baumaschinen ist von enormer Bedeutung für eine nachhaltige und ökologische Abwicklung und Durchführung des Baubetriebs, besonders im Hinblick auf die 2019 in Kraft tretende noch strengere Abgasemissionsrichtlinie V für Baumaschinen der Europäischen Union. Bei Ausschreibungen in urbanen Gebieten gibt es mittlerweile Kriterien wie Emissionsnachweise des Fuhrparks von anbietenden Bauunternehmern. Im Bieterverfahren kann eine Nichteinhaltung dieser Emissionsstandards zum Ausschluss des unterbreitenden Angebots führen. Bei zahlreichen älteren Baufahrzeugen entsteht daher das Problem, dass diese Geräte nicht mehr in diesen städtischen Gebieten eingesetzt werden können. Die Kraftstoffverbrauchssenkung bei Baumaschinen ist auch aus wirtschaftlicher Sicht von großer Bedeutung.

Aus diesen Themenstellungen heraus versucht das österreichische Start-Up Unternehmen DROP-NO<sub>x</sub> mit der gleichnamigen Applikation, den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren und dabei gleichzeitig Emissionen zu minimieren. Die Idee dahinter ist relativ simpel. Ein Metallrohr wird im Ansaugtrakt des Verbrennungsmotors eingebaut. Über eine Verjüngung in diesem Rohr wird durch den Venturi<sup>1</sup>-Effekt ein Unterdruck erzeugt. Durch diesen Unterdruck wird destilliertes Wasser aus Behältern über die angeschlossenen Schläuche angesaugt. Aufgrund dieses Vorgangs der Wassereinspritzung soll die Verbrennung sauberer stattfinden und somit der Kraftstoffverbrauch sowie der Ausstoß von schädlichen Emissionen reduziert werden. Das Ziel des Start-Ups ist daher, den Kraftstoffverbrauch und den Emissionsausstoß bei Baumaschinen zu senken. Hier stehen vor allem ältere Fahrzeuge im Mittelpunkt, bei denen die DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation nachgerüstet wird und dadurch diese Baufahrzeuge eventuell in eine bessere Emissionsklasse fallen. Natürlich ist ein Einbau auch bei neuen Baufahrzeugen möglich, wobei hier aufgrund der weiterentwickelten Motorentechnologie die möglichen Einsparungspotenziale geringer sind. Vom Start-Up Unternehmen DROP-NO<sub>x</sub> werden zusätzlich Untersuchungen auf dem Rollenprüfstand durchgeführt, diese sind nicht Bestandteil dieser Diplomarbeit.

Für diese DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation für Baumaschinen sind jedoch kaum Forschungsergebnisse vorhanden. Das grundsätzliche Ziel dieser Diplomarbeit ist es, mögliche Trends zum Kraftstoffverbrauch und Schadstoffausstoß durch die Applikation von DROP-NO<sub>x</sub> aufzuzeigen. Diese Diplomarbeit stellt daher mögliche Einsparungspotenziale im Bereich des Kraftstoffverbrauchs und des Emissionsausstoßes bei Baumaschinen aus baubetrieblicher Sicht fest. Folgende Fahrzeugfamilien werden untersucht:

- Raupenbagger
- Radlader
- Lastkraftwagen (Lkw)
- Kleintransporter

---

<sup>1</sup>Giovanni Battista Venturi (1746–1822), italienischer Physiker

Für diese unterschiedlichen Maschinenfamilien werden nach Möglichkeit definierte Lastzyklen erstellt, welche einen baustellentypischen Ablauf der Baufahrzeuge abbilden sollen.

Die Rahmenbedingungen für die Durchführung der Untersuchungen sind mit dem Projektpartner, der Firma Swietelsky Bau Ges.m.b.H vorgegeben. Zwei Areale, eines in Zwettl und eines in Traismauer, werden für das Kraftstoff- und Emissionsmonitoring von der Fa. Swietelsky mit dem dort stationierten Radlader zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wird ein Hydraulikraupenbagger für den Untersuchungszeitraum angemietet, um möglichst repräsentative Ergebnisse ohne betriebsbedingte Abweichungen zu erhalten. Ein begleitendes Kraftstoffmonitoring bei zwei Lastkraftwagen und drei Kleintransportern komplettiert das Untersuchungsprogramm. Für jede Fahrzeugfamilie haben die Diplomanden eigene Aufzeichnungsprotokolle erstellt. Nach Rücksprache mit den aufzeichnenden Gerätefahrern und eventuellen Verbesserungen werden diese während des Testbetriebs von den Fahrern selbst ausgefüllt. Anhand der Aufzeichnungen der Maschinisten zum Kraftstoffverbrauch kommt es zu einer Gegenüberstellung der Testphasen ohne bzw. mit eingebauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation.

Das Emissionsmonitoring führen die Diplomanden bei den Baumaschinen mit einem portablen Abgasmessgerät von der Fa. Testo durch. In regelmäßigen Abständen werden Emissionsmessungen bei drei vorher definierten Drehzahlen pro Baumaschine ausgeführt. Die Speicherung dieser Messdaten erfolgt mittels CSV-Dateien über eine App von der Fa. Testo am Smartphone und dienen später als Datengrundlage für die Auswertung der Emissionen. Das Hauptaugenmerk der Messungen liegt bei den vier wichtigsten Emissionen bei Baumaschinen, diese umfassen:

1. CO<sub>2</sub> (Kohlenstoffdioxid)
2. O<sub>2</sub> (Sauerstoff)
3. NO<sub>x</sub> (Stickstoffoxide)
4. CO (Kohlenstoffmonoxid)

Abschließend erfolgt die Auswertung der Messergebnisse und die Gegenüberstellung ohne und mit installierter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation.

Kapitel 2 gibt die Grundlagen dieser Diplomarbeit wieder. Speziell wird auf die untersuchten Baufahrzeuge und deren Besonderheiten eingegangen. Außerdem behandelt dieses Kapitel den Kraftstoffverbrauch mit all seinen Facetten und wie die Kraftstoffmessung erfolgt. Zu den untersuchten Emissionen erfolgt ein kurzer Überblick. Der Venturi-Effekt und das Prinzip der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation sowie deren Einbau werden näher beschrieben. Zum Abschluss dieses Kapitels kommt es zur Erläuterung der verwendeten statistischen Methoden der deskriptiven Statistik. Im dritten Kapitel sind die gegebenen Randbedingungen der Testareale sowie erläuternde Ausführungen zu den Lastzyklen nachzulesen. Der erarbeitete Terminplan für die Umsetzung der Untersuchungen ist in diesem Kapitel näher beschrieben. Beschreibende Ausführungen zu den Kraftstoff- und Emissionsmessungen sind in diesem Kapitel ebenso enthalten wie die Problempunkte der Durchführung. In den Kapiteln 4 und 5 werden die Ergebnisse des Kraftstoff- und Emissionsmonitorings für jedes untersuchte Fahrzeug getrennt ausgewertet. Kapitel 6 fasst die Ergebnisse in Kurzform zusammen und liefert ein Fazit über die gewonnenen Erkenntnisse dieser Diplomarbeit.

# Kapitel 2

## Grundlagen

Das Kraftstoffverbrauchs- und Emissionsmonitoring in der vorliegenden Diplomarbeit umfasst verschiedene Baufahrzeuge. In diesem Abschnitt kommt es zur Erläuterung dieser Baufahrzeuge und deren technischen Daten. Zudem erfolgt ein Überblick über das Funktionsprinzip des Dieselmotors, der Kraftstoffverbrauchsverbrauchs- und Emissionsmessung und den Emissionen. Ergänzend dazu erfolgt die Beschreibung des Funktionsprinzips der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation, welche im Laufe des Monitorings in den Baufahrzeugen eingebaut wird. Abschließend werden die wichtigsten statistischen Grundlagen näher erläutert.

### 2.1 Baufahrzeuge

Das Kraftstoffverbrauchs- und Emissionsmonitoring wird für folgende Baufahrzeuge durchgeführt:

- Raupenbagger
- Radlader
- Lastkraftwagen (LKW)
- Kleintransporter

Raupenbagger und Radlader sind vorwiegend dem Erdbau zuzuordnen. Unter Erdbau versteht man den Abtrag, den Transport und den Einbau von Boden aller Art. Dieser reicht von Humus und Schwimmsand bis zum kompakten Fels.<sup>2</sup>

Die EN ISO 6165 beschreibt Erdbaumaschinen beziehungsweise Erdbaufahrzeuge folgendermaßen:<sup>3</sup>

*„Eine Erdbaumaschine ist eine selbstfahrende oder gezogene Maschine auf Rädern, Raupen oder Stützbeinen mit Einrichtung und/oder Arbeitsausrüstung (Arbeitswerkzeug), primär konstruiert zum Graben, Laden, Transportieren, Bohren, Verteilen, Verdichten oder Fräsen von Erde, Gestein und ähnlichen Materialien.“*

Lastkraftwagen und Kleintransporter werden für den Personen- und Materialtransport verwendet. Diese beiden Kategorien an Baufahrzeugen besitzen eine Zulassung für öffentliche Straßen.

#### 2.1.1 Raupenbagger

Das Kraftstoffverbrauchs- und Emissionsmonitoring wird bei einem Raupenbagger in Traismauer durchgeführt. Bei diesem Fahrzeug handelt es sich um einen Hydraulikbagger, wobei der Antrieb mittels Dieselmotoren erfolgt. Die Kraftübertragung erfolgt mit Hilfe einer Ölhydraulik.

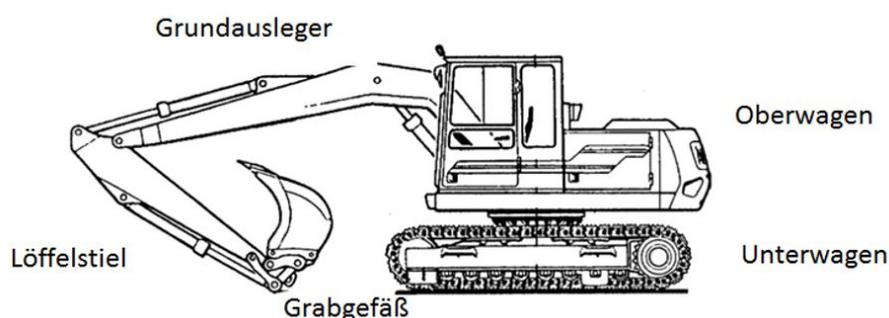
---

<sup>2</sup>Vgl. [16] ÖNORM EN ISO 6165:2013 03 15: Erdbaumaschinen, Grundtypen, Identifizierung und Begriffe, S. 3

<sup>3</sup>aus [16] ÖNORM EN ISO 6165:2013 03 15: Erdbaumaschinen, Grundtypen, Identifizierung und Begriffe, S. 6

### Allgemein

Ein Hydraulikbagger ist eine selbstfahrende Maschine auf Raupen oder Rädern. Der Hydraulikbagger besteht aus einem Unterwagen, welcher als Raupenfahrwerk oder als Radfahrwerk ausgeführt sein kann. Darüber befindet sich ein um 360° schwenkbarer Oberwagen mit Antriebsmotor. Auf dem Oberwagen ist der Ausleger montiert. Der Ausleger besteht aus einem Grundausleger und dem Löffelstiel. Auf diesem ist das Grabgefäß montiert. Dieser Baggertyp wird hauptsächlich zum Lösen und Bewegen von Erdmassen eingesetzt, wobei der Unterwagen sich während des gesamten Arbeitsvorganges nicht bewegt.<sup>4</sup> Der grundsätzliche Aufbau nach ÖNORM<sup>5</sup> ist in Abb. 2.1 ersichtlich.



**Abb. 2.1:** Raupenbagger [Quelle: ÖN EN ISO 474-5:2013 12 01]

Beim Raupenfahrwerk kann zwischen drei Varianten gewählt werden<sup>6</sup>:

- Standard-Laufwerk
- LC-Laufwerk (long crawler) mit längerem Radstand und breiterer Spur
- HD-Laufwerk (heavy duty) mit schmälere Bodenplatten und stabileren Laufwerksteilen für schwere Einsätze und harten Untergrund

Das zu untersuchende Fahrzeug ist mit einem Standard-Laufwerk ausgeführt.

### Technische Daten

Bei dem zu untersuchenden Raupenbagger handelt es sich um einen Hydraulikbagger des Herstellers Hitachi. Die Produktbezeichnung lautet Hitachi ZX225USRLC-3. Das Baufahrzeug wurde von der Fa. Swietelsky nur für das Kraftstoffverbrauchs- und Emissionsmonitoring für diese Diplomarbeit angemietet. Eigentümer ist die Firma Gerl Baumaschinen Handel Ges.m.b.h. Das Baufahrzeug wurde im Jahr 2008 von der Firma Hitachi hergestellt. Der Inhalt des Löffels beträgt 1,3 m<sup>3</sup>. Das Baufahrzeug wird mit Hilfe eines Dieselmotors angetrieben. Die Kraftübertragung erfolgt mit Hilfe einer Ölhydraulik. In Abb. 2.2 ist das Baufahrzeug inklusive der technischen Daten dargestellt.

Die Angaben zum Motor des Hydraulikraupenbaggers und die Dimensionen des Arbeitsbereiches sind dem Produktdatenblatt<sup>7</sup> von Hitachi entnommen. Tab. 2.1 zeigt die technischen Daten des Motors. Abb. 2.3 illustriert den Arbeitsbereich abhängig von zwei verschiedenen Stiellängen. Beim untersuchten Bagger in Traismauer ist der längere Stiel mit 2,91 m verbaut.

<sup>4</sup>Vgl. [16] ÖNORM EN ISO 6165:2013 03 15: Erdbaumaschinen, Grundtypen, Identifizierung und Begriffe, S. 6

<sup>5</sup>[15] ÖNORM EN ISO 474-5:2013 12 01: Erdbaumaschinen - Sicherheit - Teil 5 Anforderungen für Hydraulikbagger, S. 26

<sup>6</sup>[11] König, S. 87

<sup>7</sup>Vgl. [10] Hitachi Produktdatenblatt

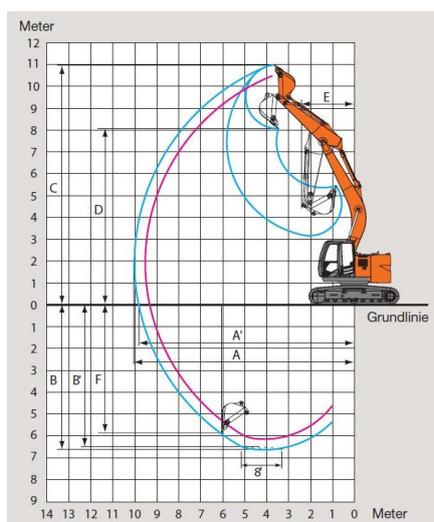


Modellbezeichnung	ZX225USRLC-3
Nettoleistung	122 kW
Einsatzgewicht	23,4 to
Löffelinhalt	1,3 m <sup>3</sup>
Baujahr	2008

Abb. 2.2: Raupenbagger in Traismauer (li.) [Foto: Urban], Technische Daten (re.)

Tab. 2.1: Technische Daten des Motors des Raupenbaggers in Traismauer

Modell	Isuzu AI-4HK1X
Typ	Wassergekühlter 4-Takt-Motor mit Direkteinspritzung
Aufladung	Turbolader, Ladeluftkühler
Anzahl der Zylinder	4
Nettoleistung	122 kW bei 2000 min <sup>-1</sup> (U/min)
Maximales Drehmoment	655 Nm
Hubraum	5,193 l



	ZX225USRLC-3	
Stiellänge	2,42 m	2,91 m
A Max. Reichweite	9.520	10.010
A' Max. Reichweite (am Boden)	9.320	9.830
B Max. Grabtiefe	6.210	6.700
B' Max. Grabtiefe (g' Ebene)	5.960	6.500
C Max. Schnitthöhe	10.560	10.980
D Max. Schütthöhe	7.640	8.050
E Min. Schwenkradius	2.740	2.370
F Max. Vertikalwand	5.230	5.920
Löffel-Losbrechkraft* ISO	151 kN (15.400 kp)	
Löffel-Losbrechkraft* SAE: PCSA	129 kN (13.200 kp)	
Reißkraft* ISO	133 kN (13.600 kp)	109 kN (11.100 kp)
Reißkraft* SAE: PCSA	124 kN (12.700 kp)	102 kN (10.400 kp)

Ohne Kettenplattenstollen \* Bei Druckzuschaltung

Abb. 2.3: Arbeitsbereich des Raupenbaggers [Quelle: Hitachi Produktdatenblatt]

### 2.1.2 Radlader

Das Kraftstoffverbrauchs- und Emissionsmonitoring wird bei zwei Radladern durchgeführt. Ein Radlader ist bei der Asphaltmischanlage und Siebanlage in Traismauer im Einsatz, der andere Radlader bei der Asphaltmischanlage in Dürnhof nahe Zwettl stationiert. Ein Lader ist eine selbstfahrende Maschine auf Raupen oder Rädern mit einer vorn angebrachten Schaufeleinrichtung. Diese Ausrüstung ist primär zum Laden konstruiert, wobei das Laden durch eine Vorwärtsbewegung der Maschine erfolgt.<sup>8</sup> Ein Arbeitszyklus eines Laders umfasst in der Regel Füllen und Heben sowie Transportieren und Entladen von Material. Bei dieser Maschinengattung handelt es sich primär um eine Erdbaumaschine, welche mittels Dieselmotoren angetrieben wird. Die Kraftübertragung erfolgt mit Hilfe der Ölhydraulik. Beide zu untersuchenden Radlader haben eine Luftbereifung. Mit Hilfe dieser Bereifung können sie auch größere Transportwege zurücklegen<sup>9</sup>. Der grundsätzliche Aufbau eines Radladers laut ÖNORM<sup>10</sup> ist in Abb. 2.4 ersichtlich.

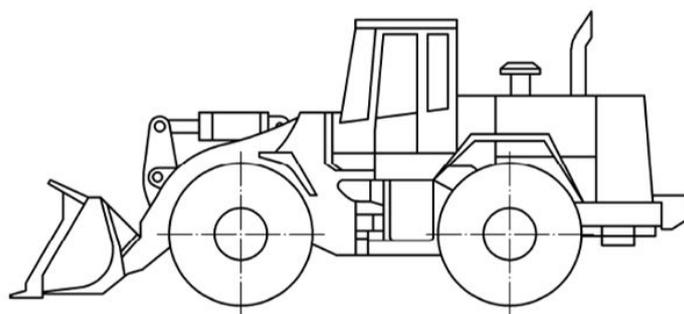


Abb. 2.4: Radlader [Quelle: ÖN EN ISO 474-3:2010 02 15]

#### Technische Daten des Radladers in Traismauer

Der Hersteller des Radladers in Traismauer ist die Firma Volvo Construction Equipment AB. Die Produktbezeichnung lautet Volvo L110 E. Eigentümer ist die Fa. Swietelsky. Das Baufahrzeug wurde im Jahr 2007 hergestellt. Der Löffelinhalt beträgt  $3,5\text{ m}^3$ . Angetrieben wird das Baufahrzeug mit Hilfe eines Dieselmotors. Die Kraftübertragung erfolgt mit Hilfe einer Ölhydraulik. In Abb. 2.5 ist das Baufahrzeug inklusive der technischen Daten dargestellt.

Der eingebaute Motor ist ein 6-Zylinder-Turbodieselmotor in Reihenbauweise mit Einzelpumpenelementen, herkömmlichen Einspritzdüsen und elektronisch gesteuerter Einspritzung. Der für schwere Einsätze konzipierte Motor hat nasse, austauschbare Zylinderlaufbuchsen und ebenfalls austauschbare Ventilführungen und Ventilsitze. Die Luftfilterung erfolgt dreistufig und die Kühlanlage umfasst einen hydrostatisch angetriebenen Lüfter sowie zusätzlich noch einen luftgekühlten Ladeluftkühler. Weitere Daten zum Motor des Volvo L110 E sind aus der Produktbroschüre<sup>11</sup> entnommen und in Tab. 2.2 nachzulesen.

<sup>8</sup>Vgl. [16] ÖNORM EN ISO 6165:2013 03 15: Erdbaumaschinen, Grundtypen, Identifizierung und Begriffe, S. 7

<sup>9</sup>Vgl. [11] König, S. 113

<sup>10</sup>[14] ÖNORM EN ISO 474-3:2010 02 15: Erdbaumaschinen - Sicherheit - Teil 3 Anforderungen für Lader, S. 16

<sup>11</sup>Vgl. [26] Volvo Construction Equipment AB



Modell	L110 E
Nettomotorleistung	169 kW
Einsatzgewicht	19,8 to
Schaufelinhalt	3,5 m <sup>3</sup>
Baujahr	2007
Seriennummer	2778

**Abb. 2.5:** Radlader in Traismauer (li.) [Foto: Urban], Technische Daten (re.)

**Tab. 2.2:** Technische Daten des Motors des Radladers in Traismauer

Modell	Volvo D7D LB E2
Nennleistung	169 kW (230 PS) bei 1700 min <sup>-1</sup> (U/min)
Maximales Drehmoment	1014 Nm bei 1400 min <sup>-1</sup>
Hubraum	7,10 l
Optimaler Arbeitsbereich	1100–1600 min <sup>-1</sup>

### Technische Daten des Radladers in Zwettl

Der Hersteller des Radladers in Zwettl ist die Firma Volvo Construction Equipment AB. Die Produktbezeichnung lautet Volvo L120 F. Eigentümer ist die Fa. Swietelsky. In Abb. 2.6 ist das Baufahrzeug inklusive der technischen Daten, welches gerade in Warteposition vor den Doseuren geparkt ist, dargestellt. Das Baufahrzeug wurde im Jahr 2010 hergestellt. Der Löffelinhalt beträgt 3,3 m<sup>3</sup>. Das Baufahrzeug wird mit Hilfe eines Dieselmotors angetrieben, wobei die Kraftübertragung mittels einer Ölhydraulik erfolgt. Die spezifischen Angaben zum Motor des Volvo L120 F Radladers sind aus der Produktbroschüre<sup>12</sup> entnommen und in Tab. 2.3 nachzulesen.



Modell	L120 F
Nettomotorleistung	179 kW
Einsatzgewicht	21,2 to
Schaufelinhalt	3,3 m <sup>3</sup>
Baujahr	2010
Seriennummer	25250

**Abb. 2.6:** Radlader in Zwettl (li.) [Foto: Bisenberger], Technische Daten (re.)

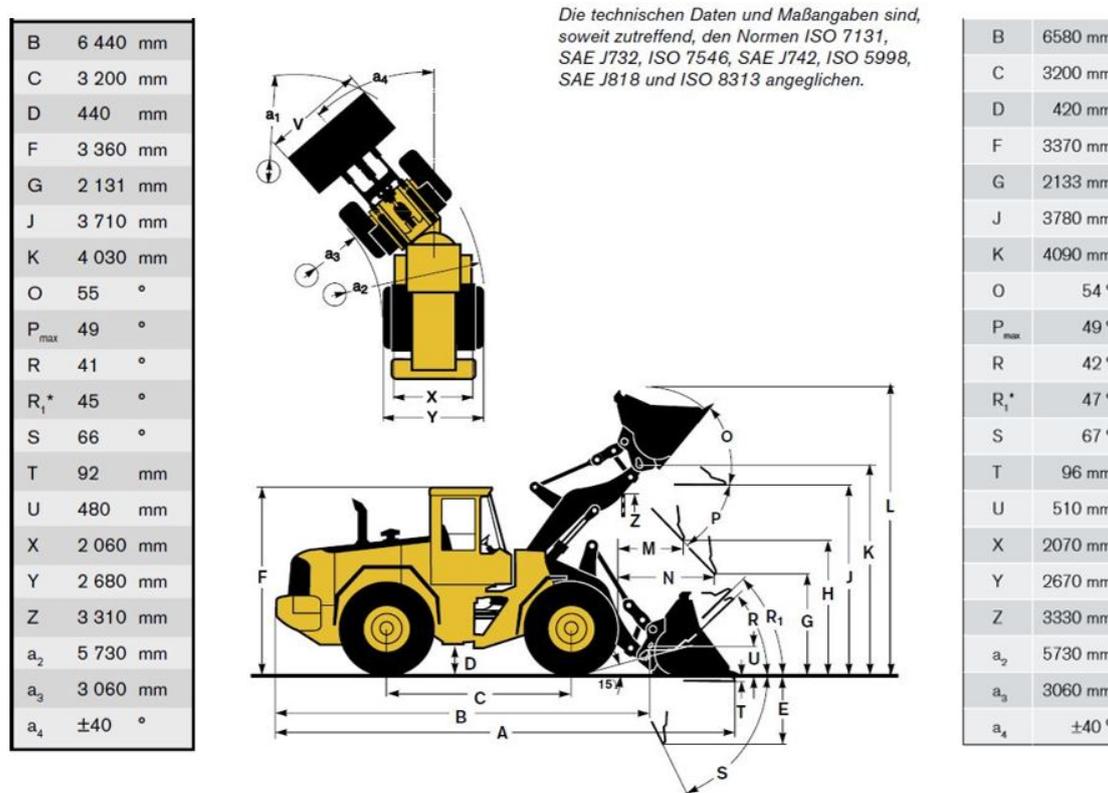
<sup>12</sup>Vgl. [27] Volvo Construction Equipment AB

**Tab. 2.3:** Technische Daten des Motors des Radladers in Zwettl

Modell	Volvo D7E LA E3
Nennleistung	179 kW (243 PS) bei 1500 min <sup>-1</sup>
Maximales Drehmoment	1059 Nm
Hubraum	7,10 l
Optimaler Arbeitsbereich	800–1600 min <sup>-1</sup>

### Gegenüberstellung der Radlader

In Abb. 2.7 sind die Abmessungen aus den Produktbroschüren<sup>13</sup> beider Radlader dargestellt, um einen besseren Überblick über die Dimensionen der Maschinen zu erhalten.



**Abb. 2.7:** Abmessungen Volvo L110 E (li.), Volvo L120 F (re.) [Quelle: Volvo Construction Equipment AB]

In Tab. 2.4 werden die technischen Daten der beiden zu untersuchenden Radlader miteinander verglichen. Der Radlader in Traismauer ist 3 Jahre älter als das Baufahrzeug in Zwettl. Der Radlader in Zwettl hat eine höhere Nettomotorleistung als jener in Traismauer, jedoch ist das Verhältnis zwischen vorhandener Motorleistung zu Einsatzgewicht beim Radlader in Traismauer höher als bei dem in Zwettl (siehe Tab. 2.4). In Tab. 2.4 ist zu erkennen, dass der Radlader trotz der geringeren Nettomotorleistung einen größeren Schaufelinhalt besitzt.

<sup>13</sup>Vgl. [26] Volvo Construction Equipment AB

**Tab. 2.4:** Gegenüberstellung der technischen Daten beider Radlader

Standort:	Traismauer	Zwettl
Bezeichnung	L110 E	L120 F
Nettomotorleistung	169 kW	179 kW
Einsatzgewicht	19,8 to	21,2 to
Motorleistung/Einsatzgewicht	8,54 kW/t	8,44 kW/t
Schaufelinhalt	3,5 m <sup>3</sup>	3,3 m <sup>3</sup>
Baujahr	2007	2010

### 2.1.3 Lastkraftwagen

Das Kraftstoffverbrauchs- und Emissionsmonitoring wird bei zwei Lastkraftwagen durchgeführt. Beide Fahrzeuge sind in Trumau stationiert. Bei den beiden betrachteten Fahrzeugen handelt es sich um Solofahrzeuge mit eigenem Kran. Der Antrieb der Lastkraftwagen erfolgt über einen Dieselerbrennungsmotor.

#### Allgemein

Das Transportieren von Aushubmaterialien mittels Radlader ist nur für kürzere Distanzen wirtschaftlich. Für längere Transportwege werden Lastkraftwagen eingesetzt. Ein Lastkraftwagen ist ein gummibereiftes Fahrzeug, welches für den öffentlichen Straßenverkehr zugelassen ist. Im Baubetrieb werden vor allem Lastkraftwagen mit offener Mulde verwendet. Das Beladen erfolgt durch einen Radlader, Raupenbagger oder eventuell durch einen Kran. Die Einsatzgebiete von Lastkraftwagen sind sehr vielfältig und reichen vom Transport von Schüttgütern im Erdbau bis zum Transport von Baumaschinen (Walzen, Drucklufthammer) und Baumaterialien (Bewehrung, Sand, Ziegel, ...).

Folgende Arten von Lastkraftwagen kommen im Baubetrieb regelmäßig zum Einsatz:

- Solofahrzeuge
- Sattelfahrzeuge

Der Unterschied zwischen Solofahrzeug und Sattelfahrzeug besteht darin, dass das Solofahrzeug einen starren durchgehenden Rahmen besitzt. Auf diesem Rahmen sind das Fahrerhaus und die Ladebrücke mit Mulde befestigt. Bei den zu untersuchenden Fahrzeugen handelt es sich um den Typ Solofahrzeug. Dieser Fahrzeugtyp ist meistens zwei-, drei- oder vierachsig ausgeführt. Solofahrzeuge sind nach folgenden Betriebsmöglichkeiten zu unterscheiden:

- mit/ohne Kran
- mit/ohne Anhänger
- nach der Entladeart der Mulde
  - Hinterkipper
  - Seitenkipper
  - Dreiseitenkipper

In Abb. 2.8 ist der grundsätzliche Aufbau eines dreiachsigen Solofahrzeuges vom Unternehmen Schweinert Transporte<sup>14</sup> dargestellt. Der abgebildete Lastkraftwagen ist ein Hinterkipper. In Tab. 2.5 sind die wesentlichsten Kenngrößen von Lastkraftwagen der Bauform Solofahrzeug aufgelistet.



**Abb. 2.8:** Aufbau eines Solofahrzeugs [Quelle: Schweinert TRANSPORTE GmbH]

**Tab. 2.5:** Kenngrößen von Lastkraftwagen ausgeführt als Solofahrzeug

Gerät	Leistung [kW]	Nutzlast [to]	Ladevolumen [m <sup>3</sup> ]
Zweiachser	120–280	7,5–11,0	< 8,5
Dreiachser	195–310	13,0–18,5	< 14,2
Vierachser	270–310	17,5–21,5	< 15,5

### Technische Daten der beiden Lastkraftwagen in Trumau

Beide zu untersuchende Fahrzeuge sind Solofahrzeuge mit durchgehendem starren Rahmen, besitzen einen eigenen Kran sowie einer Anhängervorrichtung. Eigentümer ist die Fa. Swietelsky. Ein Fahrzeug wurde von der Fa. MAN hergestellt, das andere von der Fa. DAF. In Abb. 2.9 sind die beschriebene Fahrzeugen auf dem Betriebsgelände in Trumau zu sehen. In Tab. 2.6 sind die grundlegenden technischen Daten der beiden Lastkraftwagen gegenübergestellt. Der Lastkraftwagen von der Firma MAN ist 3 Jahre älter als der Lastkraftwagen von der Firma DAF. Das Verhältnis zwischen Nutzlast und Motorleistung ist beim DAF Lastkraftwagen höher als beim Fahrzeug vom Hersteller MAN.

<sup>14</sup>adapt. [19] Schweinert TRANSPORTE GmbH



**Abb. 2.9:** Lastkraftwagen Modell MAN (li.) [Foto: Urban], Modell DAF (re.) [Foto: Urban]

**Tab. 2.6:** Technische Daten der Lastkraftwagen in Trumau

Hersteller	MAN	DAF
Modell	TGA 33.413 FDC	FAT CF 85
Achse	3-achsig	3-achsig
Eigengewicht	14,5 to	15,8 to
Nutzlast	11,4 to	10,1 to
Gesamtgewicht	26,0 to	26,0 to
Motorleistung	301 kW	315 kW
Nutzlast/Motorleistung	3,79 kg/kW	3,21 kg/kW
Höchstgeschwindigkeit	104 km/h	90 km/h
Motorbezeichnung	D2866 LF 28	XE 315 C1
Baujahr	2003	2006

### 2.1.4 Kleintransporter

Das Kraftstoffverbrauchsmonitoring wird bei drei Kleintransportern durchgeführt, welche allesamt einen Dieselmotor verbaut haben.

#### Allgemein

Grundsätzlich sind Kleintransporter kleine Lastkraftwagen, deren zulässiges Gesamtgewicht unter 3,5 to liegen, jedoch sind Ausnahmen mittlerweile möglich. Kleintransporter werden vor allem für den Personen- und Materialtransport verwendet. Eine klare gesetzliche Definition für das Wort „Kleintransporter“ gibt es jedoch nicht. Liegt das höchstzulässige Gesamtgewicht unter 3,5 to sind die Fahrzeuge als PKW zugelassen und eine Fahrerlaubnis der Klasse B ist für das Fahren ausreichend. Einige Hersteller bieten mittlerweile auch Fahrzeuge mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht über 3,5 to unter der Bezeichnung Kleintransporter an, für diese Fahrzeuge ist ein Führerschein der Klasse C notwendig.<sup>15</sup>

<sup>15</sup>Vgl. [6] Daimler AG

Folgende Kleintransporter sind zu unterscheiden:

- Kastenwagen/Kleinbus

Der Kleinbus wird vor allem für den Personen- und Materialtransport verwendet. Der Kleinbus ist ein Kleintransporter mit Fenstern und in Summe bis zu neun Sitzplätzen. Das Fahrzeug hat keine eigene Fahrerkabine. In Abb. 2.10 ist ein Kleinbus Volkswagen<sup>16</sup> mit der Modellbezeichnung T5 dargestellt.

Beim Kastenwagen ist nur die vorderste Front an Sitzplätzen vorhanden, um mehr Lagerplatz zu schaffen. Der Kastenwagen ist mit Ausnahme der Fenster und den fehlenden Sitzplätzen identisch aufgebaut wie der Kleinbus.



**Abb. 2.10:** Kleinbus VW T5 [Quelle: Volkswagen AG]

- Pritschenwagen

Beim Pritschenwagen handelt es sich um einen Kleintransporter mit eigener Fahrerkabine und einer nach oben offenen Ladefläche. Die Ladefläche kann starr oder kippbar ausgeführt werden. In Abb. 2.11 ist eine Pritsche vom Typ Mercedes Benz mit der Modellbezeichnung Sprinter<sup>17</sup> dargestellt.



**Abb. 2.11:** Pritschenwagen Mercedes-Benz Sprinter [Quelle: Daimler AG]

### Technische Daten für die Kleintransporter in Horn

Insgesamt wurden bei drei Kleintransportern ein Kraftstoffverbrauchsmonitoring durchgeführt. Zwei Fahrzeuge sind Kleinbusse von Volkswagen mit identischen technischen Daten. Der dritte Kleintransporter ist ein Pritschenwagen von Mercedes-Benz mit der Modellbezeichnung Sprinter. In Tab. 2.7 sind die grundlegenden technischen Daten beider Fahrzeugmodelle aufgelistet bzw. gegenübergestellt.

---

<sup>16</sup>[25] Volkswagen AG

<sup>17</sup>[6] Daimler AG

**Tab. 2.7:** Technische Daten der Kleintransporter

Hersteller	Mercedes-Benz	VW
Model	Sprinter	Kombi
Achse	2-achsig	2-achsig
Kleintransportertyp	Pritschenwagen	Kleinbus
Eigengewicht	2,24 to	1,90 to
Nutzlast	1,18 to	1,10 to
Gesamtgewicht	3,50 to	3,00 to
Motorleistung	95 kW	84 kW
Nutzlast/Motorleistung	12,42 kg/kW	13,10 kg/kW
Höchstgeschwindigkeit	137 km/h	163 km/h
Motorbezeichnung	651.955	CAA
Baujahr	2013	2013
Kraftstoffverbrauch (lt. Hersteller)	8,81/100km	6,81/100km

## 2.2 Funktionsprinzip Dieselmotor

*Der Dieselmotor ist prinzipiell ein Energiewandler, der die im Kraftstoff chemisch gebundene Energie in mechanische Energie (Nutzarbeit) wandelt, indem er die im Motor durch Verbrennung freigesetzte Wärme einem thermodynamischen Kreisprozess zuführt und als Druck-Volumen-Arbeit nutzt. Die Energiebilanz (in Formel (2.1)<sup>18</sup> zu sehen) des Energiewandlers Dieselmotor lautet:*

$$E_B + E_L + W_e + \sum E_V = 0 \quad (2.1)$$

*Ist die auf den Umgebungszustand bezogene Energie der Verbrennungsluft  $E_L = 0$ , so ist die mit dem Kraftstoff  $E_B$  zugeführte Energie (negatives Vorzeichen) gleich der Nutzarbeit  $W_e$  und der Summe aller Energieverluste  $\sum E_V$ .<sup>19</sup> Der Dieselmotor entwickelte sich in den letzten Jahren zu einem komplexen System aus mehreren Komponenten (siehe Abb. 2.12).*

Beim Dieselmotor kommt es nur zu einer Verdichtung der Luft (und nicht wie beim Ottomotor zu einer Verdichtung eines Gemisches). Der Dieseldieselkraftstoff wird unmittelbar vor dem oberen Punkt, wo der Kolben keine Bewegung mehr in axialer Richtung erfährt (der sog. Totpunkt), eingespritzt.<sup>20</sup> *Die Gemischbildung läuft also in extrem kurzer Zeit im Brennraum des Motors ab und die Zündung erfolgt, ohne fremde Zündquelle, ausschließlich durch Übertragung der Wärme der komprimierten Luft an den Kraftstoff. Der Dieselmotor ist deshalb ein Motor mit „innerer Gemischbildung“ und „Selbstzündung“. Zur Sicherstellung der Zündeinleitung müssen zündwillige Kraftstoffe verwendet und die erforderlichen Temperaturen garantiert werden. Letzteres erfolgt durch eine hohe Verdichtung und gegebenenfalls durch eine zusätzliche Lufterwärmung (z. B. Glühkerze).<sup>21</sup>*

<sup>18</sup>[13] Mollenhauer u. a., S. 9

<sup>19</sup>aus [13] Mollenhauer u. a., S. 9

<sup>20</sup>Vgl. [13] Mollenhauer u. a., S. 68–70

<sup>21</sup>aus [13] Mollenhauer u. a., S. 68–69

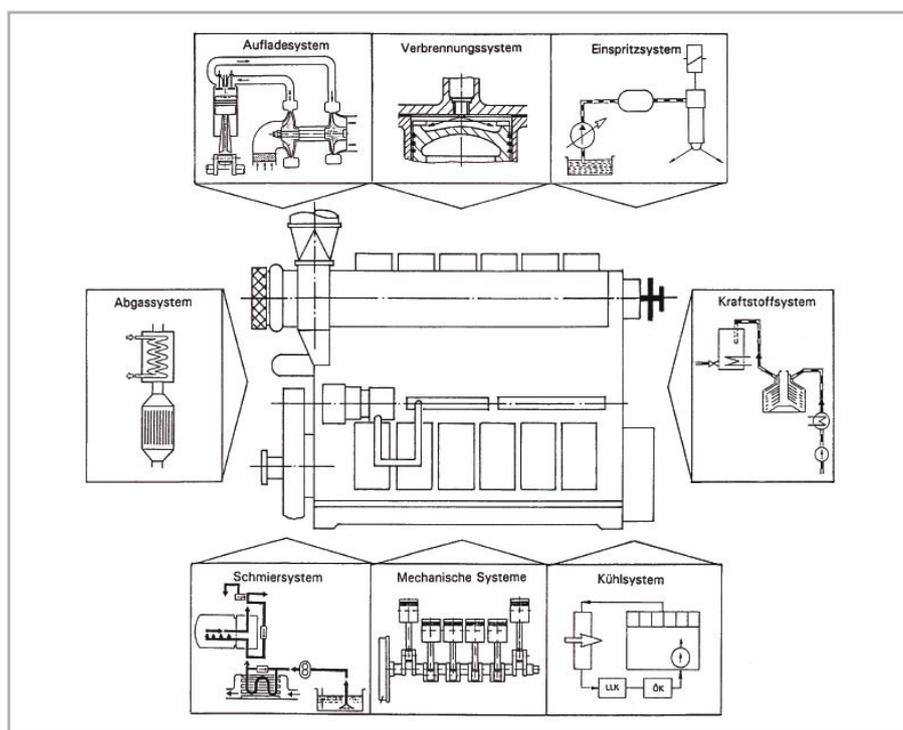


Abb. 2.12: Dieselmotor als ein Komplex von Teilsystemen [Quelle: Mollenhauer u.a. (S.11)]

## 2.3 Kraftstoffverbrauchsmessung

Die Messung des Kraftstoffverbrauches der untersuchten Maschinen und damit zusammenhängende eventuelle Ungenauigkeiten sind von enormer Bedeutung in der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse zum Kraftstoffmonitoring. Vor diesem Hintergrund wird das Messverfahren direkt an der Zapfsäule näher beleuchtet.

### Tankstelle – Zapfsäule

Die untersuchten Baumaschinen tanken alle an innerbetrieblichen Zapfsäulen. Da diesen Fahrzeugen eine Straßenzulassung fehlt, wäre ein Nachtanken an öffentlichen Tankstellen gar nicht möglich. Im Folgenden wird kurz auf den Aufbau einer Zapfsäule eingegangen und speziell darauf, wie der Kraftstoffverbrauch an der Zapfsäule tatsächlich gemessen wird.

*Eine Zapfsäule ist ein Teil einer Tankstelle, mit welcher der Kraftstoff (Benzin, Diesel) in das entsprechende Fahrzeug eingefüllt wird. Das Zapfventil, umgangssprachlich auch Zapfpistole genannt, ist über einen Schlauch mit der Zapfsäule verbunden. Über das Zapfventil wird der Kraftstoff in den Tank des Kraftfahrzeuges gefüllt. In der Regel besitzen Zapfventile eine Abschaltautomatik, die den Kraftstoffzufluss einstellt, sobald der höchste Pegel im Tank erreicht ist. Somit soll verhindert werden, dass der Tank des Fahrzeugs übergeht. Eine Zapfsäule enthält darüber hinaus eine Anzeige zur Mengen- und Preiskontrolle des eingefüllten Kraftstoffes. Außerdem sind Informationen zur Oktanzahl und diverse Sicherheitsbestimmungen die Regel.*

*Die Messung der Durchflussmenge innerhalb der Zapfsäule erfolgt über sogenannte Kolbenmesser. Der durch eine Saugpumpe (innerhalb der Zapfsäule) oder Druckpumpe (außerhalb der Zapfsäule) hervorgerufene Fließdruck bewegt 2–4 Kolben im Kolbenmesser, die eine gemeinsame Welle antreiben. Somit ist die Rotation der Welle ein Maß für die Durchflussmenge. An diese Welle ist entweder ein mechanisches Rechenwerk oder (bei modernen Zapfsäulen) ein elektroni-*

scher Impulsgeber angeflanscht, der die Drehbewegung der Welle in für die Elektronik zählbare Impulse umsetzt.<sup>22</sup>

Bei den betrachteten Zapfsäulen in Traismauer und Zwettl (Dürnhof) handelt es sich um Tokheim Profleet Zapfsäulen. Die Messung des Kraftstoffverbrauchs erfolgt hierbei nach dem beschriebenen Prinzip mittels Kolbenmesser, welche in diesem Fall als TQM Kolbenmesser bezeichnet werden. In Abb. 2.13 ist jene Zapfsäule in Traismauer zu sehen, mit jener der Hydraulikraupenbagger und der in der Asphaltmischanlage stationierte Radlader ihre Tankvorgänge durchführen. Es handelt sich um eine Tokheim Quantum 110-D, welche eine Kombination aus einer Standardzapfsäule für Betriebstankstellen und einem modernen Tankautomaten darstellt. Durch die automatische Abwicklung mittels Chipkarte kann eine reibungslose Abrechnung betriebsintern und externer Tankender gewährleistet werden.



**Abb. 2.13:** Zapfsäule in der Asphaltmischanlage in Traismauer der Marke Tokheim [Foto: Bisenberger]

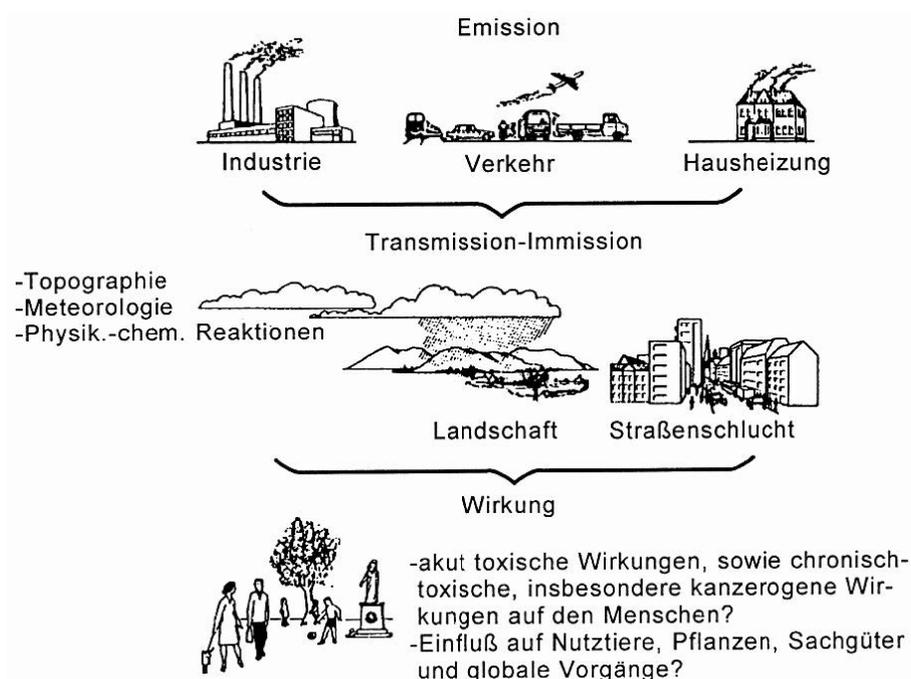
## 2.4 Emissionen

Der Begriff Emission kommt von lateinischen Verb „emittere“ und bedeutet ausschicken oder aussenden. Eine Unterscheidung bei Emissionen erfolgt zwischen natürlich auftretenden und von Menschen verursachten bzw. beeinflussten (anthropogenen) Emissionen. Die natürlichen Emissionen entstehen z. B. aus Vulkanaktivitäten, von Meeren oder aus der Vegetation. Die anthropogenen werden beispielsweise verursacht durch die Energieerzeugung, dem Verkehr, der Landwirtschaft und der Industrie. Nachfolgend werden ausschließlich jene Emissionen behandelt, welche beim Verbrennungsvorgang des Dieselmotors entstehen.<sup>23</sup>

Abb. 2.14 zeigt die Wirkungskette und den Zusammenhang zwischen Emission, Transmission und Wirkung inklusive der wichtigsten anthropogenen Quellen. *Unter der Einwirkung von Topographie, Klimaverhältnissen, Temperaturen, Feuchtigkeit und Luftbewegungen werden die*

<sup>22</sup>aus [17] Pöl-Tec

<sup>23</sup>Vgl. [13] Mollenhauer u. a., S. 461



**Abb. 2.14:** Zusammenhang von Emission, Transmission, Immission und Wirkung [Quelle: Mollenhauer u.a. (S.461)]

Abgaskomponenten verdünnt, physikalisch-chemischen Reaktionen unterzogen und durch den atmosphärischen Transport über große Entfernungen verteilt (Transmission). Unter Immission verstehen wir die nach der Transmission sich endgültig einstellende Konzentration an einem bestimmten Ort, an dem z. B. Messungen an einer Straßenkreuzung vorgenommen werden. Die Immission ist die sich einstellende Belastung des Menschen oder der Natur durch die Abgasemission und Transmission. Unter Wirkung werden die Folgen der Immission auf die Umwelt, Lebewesen oder Güter verstanden.<sup>24</sup> Transmission und Immission besitzen eine enge Wechselwirkung. Folgende Einflussfaktoren auf Transmission und Immission beschreibt Mollenhauer in seinem Handbuch Dieselmotore<sup>25</sup>:

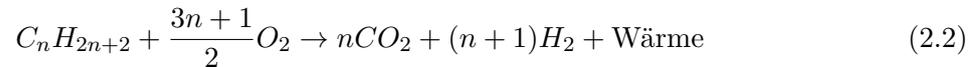
- Lokale Emission
- Bebauung
- Klimatische Einflüsse
  - Windstärke
  - Windrichtung
  - Temperatur
  - Sonneneinstrahlung
- Chemisch-physikalische Reaktionen

Letztlich kommt es zu einer Wirkung auf den Menschen, wobei diese schädlich (toxisch, kanzerogen) oder unschädlich sein kann.

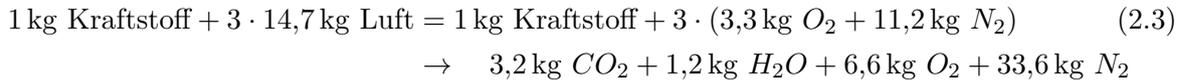
<sup>24</sup>aus [13] Mollenhauer u. a., S. 461–463

<sup>25</sup>[13] Mollenhauer u. a., S. 464

Formel (2.2)<sup>26</sup> zeigt die Reaktionsgleichung bei vollständiger Verbrennung mit reinem Sauerstoff:



In Formel (2.3)<sup>27</sup> wird die Massenbilanz bei vollständiger Verbrennung beim Dieselmotor dargestellt (bei einem Verbrennungsluftverhältnis<sup>28</sup>  $\lambda = 3$ ).



*In diesem Fall entsteht neben der gewünschten Wärme, die in mechanische Energie im Verbrennungsmotor umgesetzt wird, nur Kohlendioxid und das Verbrennungswasser. Beide Komponenten sind nicht schädliche, aber klimarelevante Komponenten. Bei Verbrennung mit Luft sind unter idealen Bedingungen neben den bereits erwähnten, nicht schädlichen Komponenten nur noch Stickstoff bzw. im Falle des Dieselmotors mit Luftüberschuss zusätzlich Sauerstoff im Abgas zu finden. Bei der tatsächlich realen Verbrennung entstehen jedoch weitere schädliche Komponenten, wie Kohlenmonoxid CO, unverbrannte Kohlenwasserstoffe HC, Stickstoffoxide NO, NO<sub>2</sub> (NO<sub>x</sub>), Partikel, Schwefelverbindungen, Aldehyde, Zyanid, Ammoniak, spezielle Kohlenwasserstoffe, wie z. B. Benzol und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, wie Phenatren, Pyren, Fluoren.<sup>29</sup>*

### CO<sub>2</sub> (Kohlenstoffdioxid)

Kohlenstoffdioxid wird bei Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Brennstoffen freigesetzt. Diese Brennstoffe umfassen alle fossilen Energieträger. Es besteht ein Zusammenhang zwischen der emittierten Menge an CO<sub>2</sub> und der verbrannten Menge des kohlenstoffhaltigen Brennstoffes (z. B. Diesel). Daher ist Kohlenstoffdioxid ein direkter Indikator des Kraftstoffverbrauchs eines Verbrennungsmotors. Sinkt die CO<sub>2</sub>-Emission, dann sinkt gleichzeitig der Kraftstoffverbrauch und vice versa. Kohlenstoffdioxid ist außerdem als ein Treibhausgas einzustufen. Diese Eigenschaft erhält es, weil CO<sub>2</sub> einen Teil der Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) absorbiert, während die kurzwelligere Strahlung (d. h. der größte Teil der Sonnenstrahlung), passieren kann. Kohlenstoffdioxid ist aufgrund des Mengenanteil das effektivste der Treibhausgase, wobei die spezifische Wirkung auf den Treibhauseffekt von Methan (CH<sub>4</sub>) und Ozon (O<sub>3</sub>) höher sind.<sup>30</sup>

### O<sub>2</sub> (Sauerstoff)

Die natürliche Luft enthält etwa 21% Sauerstoff. Ohne Sauerstoff kann keine Verbrennung des Kraftstoffes stattfinden. Wobei der Sauerstoffgehalt durch die Verbrennung (Redoxreaktion<sup>31</sup>) von Kraftstoff sinkt, wobei sogleich der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Luft ansteigt.

### CO (Kohlenstoffmonoxid)

Das farb-, geruchs- und geschmacklose Gas CO (Kohlenstoffmonoxid) entsteht bei der unvollständigen Oxidation von kohlenstoffhaltigen Substanzen. Diese Bildung erfolgt z. B. beim Verbrennen dieser Stoffe, unter bestimmten Voraussetzungen. Diese sind gegeben, wenn die Verbrennung bei hohen Temperaturen stattfindet oder nicht genügend Sauerstoff vorhanden ist. Kohlenstoffmonoxid ist eine gefährliche Emission und kann zu einer Kohlenstoffmonoxidintoxikation führen.

<sup>26</sup>[13] Mollenhauer u. a., S. 463

<sup>27</sup>[13] Mollenhauer u. a., S. 463

<sup>28</sup>Verbrennungsluftverhältnis (Luftverhältnis oder Luftzahl): dimensionsloser Kennwert aus der Verbrennungslehre, welcher das Massenverhältnis aus Luft und Brennstoff in einem Verbrennungsprozess angibt

<sup>29</sup>aus [13] Mollenhauer u. a., S. 463

<sup>30</sup>Vgl. [3] Chemie.de Service GmbH

<sup>31</sup>Chemische Reaktion bei der ein Reaktionspartner Elektronen auf den anderen überträgt, wobei eine Elektronenabgabe (Oxidation) durch einen Stoff sowie eine Elektronenaufnahme (Reduktion) stattfindet

Die folgenden Beispiele zeigen auf, welche Auswirkungen eine längere Belastung durch CO (Kohlenstoffmonoxid) hat. Bei 70–100 ppm (parts per million) spricht man von einer sanften Belastung. Bei einer Belastung über mehrere Stunden treten erkältungsähnliche Symptome auf wie Nasenlaufen, Kopfschmerzen und Kurzatmigkeit. Bei mittlerer Belastung von 150–300 ppm sind Schwindelgefühle, Müdigkeit und Übelkeit (bis zum Erbrechen) die Folge. Bewusstlosigkeit, Hirnschaden und Tod können ab 400 ppm an CO-Gehalt in der Luft auftreten.<sup>32</sup>

### NO<sub>x</sub> (Stickstoffoxide)

Der Begriff Stickstoffoxid wird als eine Sammelbezeichnung für die gasförmigen Oxide des Stickstoffs verwendet. Auf Grund der vielen Oxidationsstufen des Stickstoffs gibt es einige Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen, daher sie auch als NO<sub>x</sub> in der Kurzform bezeichnet. Stickstoffoxide umfassen ausnahmslos endotherme Verbindungen<sup>33</sup>, d. h. sie entstehen nur unter äußerem Zwang (Energiezufuhr). Gegenüber Wasser kann das Verhalten als Säurebildner beschrieben werden. Durch diese Eigenschaft (auf den Schleimhäuten) wirken sie reizend und sind giftig. Aus diesem Grund erlangte dieser Schadstoff schon sehr früh umweltpolitische Aufmerksamkeit.<sup>34</sup>

#### 2.4.1 Emissionsproblematik im Baubetrieb

Baustellen sind eine wesentliche Emissionsquelle von Luftschadstoffen, im Speziellen kann eine Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub>)<sup>35</sup> beobachtet werden. Die Bautätigkeit erfolgt oft in urbanen Wohngebieten, aus diesem Grund verursacht der Emissionsausstoß der dieselbetriebenen Baumaschinen eine erhebliche Belastung für die angrenzende Bevölkerung und für die Bauarbeiter. Bei den meist stationären Maschinen kommt es zu keiner Aufwirbelung und Verdünnung der Schadstoffe im Gegensatz zum Verkehr auf öffentlichen Straßen. Diese Problem tritt vor allem in der Umgebung von schlecht belüfteten Baugruben und bei windarmen Wetterlagen auf, wobei sich unter Umständen sogar Schadstoffglocken bilden können.<sup>36</sup>

Die Umsetzung und Einhaltung immer strengerer Emissionsgrenzwerte nach *Richtlinie 97/68/EG (Mobile Maschinen und Geräte: Gasförmige Schadstoffe)* für Neumaschinen (europäische Emissionsgesetzgebung) zwingt die Hersteller von Baumaschinen neue Wege bei der Motorenentwicklung einzuschlagen. Außerdem werden hinsichtlich der Abgasstandards mobiler Maschinen immer öfter Mindestanforderungen bei Ausschreibungen von Bauleistungen im innerstädtischen Bereich gestellt (lokale oder regionale Immissionsreglementierung). Zum Beispiel wird in Berlin überlegt den Einsatz von Baumaschinen sehr strikt zu reglementieren. Folglich müssten die anbietenden Bauunternehmer ihren Fuhrpark im Sinne der Wettbewerbsfähigkeit immer auf dem neuesten Stand der Abgasrichtlinien halten.

Neben der klassischen Rußemissionen durch die Verbrennung des Dieselkraftstoffes zur Umsetzung in mechanische Energie entsteht Feinstaub auf Baustellen durch eine Vielzahl von Arbeitsprozessen. Diese umfassen:

- Anrühren und Mischen von Baustoffen
- Umschlag staubender Materialien
- Bohrabrieb
- Schleifen

<sup>32</sup>Vgl. [4] Chemie.de Service GmbH

<sup>33</sup>Chemische Verbindungen, bei denen zur Bildung Energie zugeführt werden muss

<sup>34</sup>Vgl. [5] Chemie.de Service GmbH

<sup>35</sup>Feinstaub (PM<sub>10</sub>) bezeichnet eine Staubfraktion, welche 50% der Teilchen mit einem Durchmesser von 10 µm enthält

<sup>36</sup>Vgl. [12] Lichtblau u. a., S. 3

- Sägen
- Fräsen
- Staubentwicklung durch Fahrbetrieb mobiler Baumaschinen

Somit resultiert die Feinstaubbelastung aus vielen unterschiedlichen Quellen, wobei von diesen keine so stark überwiegt, dass eine einzelne Maßnahme das Problem lösen könnte. Dem Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer kommt eine entscheidende Bedeutung zu und daher ist es wichtig Staubbelastungen auf Baustellen möglichst minimal zu halten. Sehr feine Dieselrußpartikel erlangten durch die offizielle Einstufung der WHO (Weltgesundheitsorganisation) als kanzerogener (krebserregender) Stoff politische und mediale Aufmerksamkeit.<sup>37</sup>

*Der Off-Road-Bereich verfügt neben dem Straßenverkehr über ein hohes Emissionsniveau hinsichtlich Partikelemissionen. Wurden im Jahr 2007 im gesamten österreichischen Straßenverkehr etwa 6400 to Partikel (davon 2900 to reine Verbrennungsemissionen) emittiert, sind es im Off-Road-Bereich etwa 1900 to (direkte Verbrennungsemissionen). Der Anteil der Bauwirtschaft an den Emissionen aus mobilen Geräten und Maschinen im Off-Road-Bereich liegt bei etwa 24%. Aufgrund der langen Einsatzdauer von Maschinen und Geräten in der Bauwirtschaft (die Flottenerneuerung ist in diesem Sektor weit geringer als etwa im Straßenverkehr) ist neben der Ausrüstung von Neufahrzeugen und -geräten speziell die Nachrüstung mit Partikelfiltersystemen anzustreben. Eine Nachrüstung ist für alle Größenklassen technisch möglich und auch anzustreben, weil dadurch eine immense Reduktion der Schadstoffemission erreicht wird.*<sup>38</sup>

#### 2.4.2 Abgasemissionsrichtlinien

Erstmalig kam es in der *Richtlinie 97/68/EG (Mobile Maschinen und Geräte: Gasförmige Schadstoffe)* vom 16.12.1997 (letzte Änderung im Jahr 2016) zu einer Festlegung von Emissionsnormen und Typengenehmigungsverfahren für Motoren zum Einbau in mobile Maschinen. Die erlassenen Richtlinien wurden zweistufig eingeführt, Stufe I trat ab 1999 und Stufe II von 2001 bis 2004 je nach Motorleistung in Kraft. Die in den Richtlinien angegebenen Termine beziehen sich jeweils auf das Inverkehrbringen der mobilen Maschinen und Geräte. Eine globale Harmonisierung der Abgasnormen wurde auf Wunsch der Hersteller in Stufe I und II (nachzulesen in Tab 2.8<sup>39</sup>) teilweise nachgekommen. Diese Richtlinien passen sich an die US Tier Standards<sup>40</sup> I und II an. In Stufe II kommt es zu einer feineren Unterteilung der Leistungsstufen und zu einer Senkung sämtlicher angegebener Schadstoffe. Stufen III und IV stimmen vollständig mit Tier III beziehungsweise Tier IV überein, wobei sich aber die Zeitpunkte des jeweiligen Inkrafttretens unterscheiden. Tab. 2.9<sup>41</sup> zeigt die Emissionsgrenzwerte der Stufe III A, welche mit der *Richtlinie 2004/26/EG Mobile Maschinen und Geräte (Gasförmige Schadstoffe)* am 21.04.2004 eingeführt wurden. Die Grenzwerte im Vergleich zur Stufe II bleiben unverändert und die Spalten HC und NO<sub>x</sub> verschmelzen zu einem einzigen Grenzwert. Eine Verschärfung der Richtlinie III A der PM-Emission gibt es nur bei den Motoren der kleinsten definierten Kategorie bis 37 kW. Die Grenzwerte für Partikel waren in der Stufe III A so hoch, dass der Einsatz von Partikelfiltern nicht unbedingt notwendig bzw. nicht forciert wurde. Die Einführung der Stufe III B, welche in Tab. 2.10<sup>42</sup> dargestellt ist, bedeutete erstmalig eine scharfe Reduktion des Emissionsgrenzwertes für Partikel (um mehr als eine Zehnerpotenz bei fast allen Kategorien im Verhältnis zu

<sup>37</sup>Vgl. [9] Hänel u. a., S. 6–7

<sup>38</sup>aus [12] Lichtblau u. a., S. IV (Zusammenfassung)

<sup>39</sup>[12] Lichtblau u. a., S. 9

<sup>40</sup>US-amerikanische Abgasnorm

<sup>41</sup>[12] Lichtblau u. a., S. 10

<sup>42</sup>[12] Lichtblau u. a., S. 10

**Tab. 2.8:** Stufe I/II Emissions-Standards für Off-Road-Dieselmotoren

Kategorie	Leistung [kW]	Datum	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO <sub>x</sub> [g/kWh]	PM [g/kWh]
Stufe I						
A	$130 \leq P \leq 560$	01.1999	5,0	1,30	9,20	0,54
B	$75 \leq P < 130$	01.1999	5,0	1,30	9,20	0,70
C	$37 \leq P < 75$	04.1999	6,5	1,30	9,20	0,85
Stufe II						
E	$130 \leq P \leq 560$	01.2002	3,5	1,00	6,00	0,20
F	$75 \leq P < 130$	01.2003	5,0	1,00	6,00	0,30
G	$37 \leq P < 75$	01.2004	5,0	1,30	7,00	0,40
D	$18 \leq P < 37$	01.2001	5,5	1,50	8,00	0,80

**Tab. 2.9:** Stufe III A Emissions-Standards für Off-Road Dieselmotoren

Kategorie	Leistung [kW]	Datum	CO [g/kWh]	NO <sub>x</sub> +HC [g/kWh]	PM [g/kWh]
Stufe III A					
H	$130 \leq P \leq 560$	01.2006	3,5	4,00	0,20
I	$75 \leq P < 130$	01.2007	5,0	4,00	0,30
J	$37 \leq P < 75$	01.2008	5,0	4,70	0,40
K	$19 \leq P < 37$	01.2007	5,5	7,50	0,60

Stufe III A). Das Ziel der Stufe III B war es, die Hersteller zum Einsatz von Partikelfiltern oder SCR (selektive katalytische Reduktion) zu bewegen. Bei Vergleich der Stufe III A und III B bleiben die Grenzwerte für den Kohlenmonoxidgehalt unverändert und die Emissionen HC und NO<sub>x</sub> werden wieder getrennt voneinander betrachtet.

**Tab. 2.10:** Stufe III B Emissions-Standards für Off-Road Dieselmotoren

Kategorie	Leistung [kW]	Datum	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO <sub>x</sub> [g/kWh]	PM [g/kWh]
Stufe III B						
L	$130 \leq P \leq 560$	01.2011	3,5	0,19	2,00	0,025
M	$75 \leq P < 130$	01.2012	5,0	0,19	3,30	0,025
N	$56 \leq P < 75$	01.2012	5,0	0,19	3,30	0,025
P	$37 \leq P < 56$	01.2013	5,0		4,70	0,025

Tab. 2.11<sup>43</sup> zeigt die Emissionsgrenzwerte der Stufe IV, welche derzeit gültig sind. Ersichtlich ist, dass die Partikelfiltergrenzwerte auf demselben Niveau wie bei Stufe III B verbleiben, die Grenzwerte für NO<sub>x</sub> sind jedoch fast um eine Zehnerpotenz geringer als in Stufe III B. Damit wird versucht die Hersteller zu bewegen Nachbehandlungsmethoden für NO<sub>x</sub> einzusetzen.<sup>44</sup> Außerdem

<sup>43</sup>[12] Lichtblau u. a., S. 11

<sup>44</sup>Vgl. [12] Lichtblau u. a., S. 9–16

kommt es zu einer Vereinheitlichung der vorher vier in nunmehr zwei Leistungskategorien, wobei unter 56 kW keine Grenzwerte definiert werden.

**Tab. 2.11:** Stufe IV Emissions-Standards für Off-Road Dieselmotoren

Kategorie	Leistung [kW]	Datum	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO <sub>x</sub> [g/kWh]	PM [g/kWh]
Stufe IV						
L	$130 \leq P \leq 560$	01.2014	3,5	0,19	0,40	0,025
N	$56 \leq P < 130$	10.2014	5,0	0,19	0,40	0,025

Tab. 2.12<sup>45</sup> stellt die Emissionsgrenzwerte der Stufe V dar, welche ab 2019 gültig sein werden. In dieser Stufe kommt es zu einer sehr feinen Gliederung der Leistungskategorien, wobei erstmalig auch für sehr leistungsstarke ( $> 560$  kW) und leistungsschwache ( $< 8$  kW) Dieselmotoren Grenzwerte definiert werden. Außerdem wird es erstmalig einen Grenzwert für die Partikelanzahl in l/kWh geben. Die festgesetzten Schranken für CO, HC und NO<sub>x</sub> bleiben für die vergleichbaren Kategorien zur Stufe IV unverändert.

**Tab. 2.12:** Stufe V Emissions-Standards für Off-Road Dieselmotoren

Kategorie	Leistung [kW]	Datum	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO <sub>x</sub> [g/kWh]	PM [g/kWh]	PN [1/kWh]
Stufe V							
NRE-v/c-1	$P < 8$	2019	8,0			0,40	—
NRE-v/c-2	$8 \leq P < 19$	2019	6,6			0,40	—
NRE-v/c-3	$19 \leq P < 37$	2019	5,0		4,70	0,015	$1 \cdot 10^{12}$
NRE-v/c-4	$37 \leq P < 56$	2019	5,0		4,70	0,015	$1 \cdot 10^{12}$
NRE-v/c-5	$56 \leq P < 130$	2020	5,0	0,19	0,40	0,015	$1 \cdot 10^{12}$
NRE-v/c-6	$130 \leq P \leq 560$	2019	3,5	0,19	0,40	0,015	$1 \cdot 10^{12}$
NRE-v/c-7	$P > 560$	2019	3,5	0,19	3,50	0,045	—

### 2.4.3 Nationale Gesetzeslage

Die *Richtlinie 97/68/EG (Mobile Maschinen und Geräte: Gasförmige Schadstoffe)* ist in Österreich mit der *Verordnung über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte (MOT-V)* zur Gewerbeordnung 1994 in der geltenden Fassung umgesetzt. Lastkraftwagen, welche ebenfalls in der Bauwirtschaft zum Einsatz kommen, sind als straßengebundene Fahrzeuge eingestuft und unterliegen daher anderen Grenzwerten als mobile Maschinen und Geräte. Die Emissionen von mobilen Maschinen und Geräten sind in vielen Bundesländern nach verordneten Maßnahmen im Immissionsschutzgesetz Luft (IG-L) geregelt.<sup>46</sup>

<sup>45</sup>[24] *Verordnung (EU) 2016/1628; Emissionsgrenzwerte für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel und die Typgenehmigung für Verbrennungsmotoren*, S. L252/104

<sup>46</sup>Vgl. [12] Lichtblau u. a., S. 12

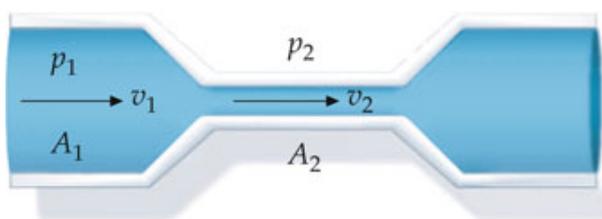
## 2.5 Der Venturi-Effekt

Der Venturi-Effekt soll anhand eines einfachen Beispiels erklärt werden. Abb. 2.15 zeigt eine horizontale Röhre mit einer Verengung, die von einem Fluid durchflossen wird. Die allgemeine Form der Bernoulli Gleichung ist in Formel (2.4) zu sehen. Beide Teile der Röhre befinden sich auf derselben Höhe, daher gilt  $h_1 = h_2$  in Formel (2.4)

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 \quad (2.4)$$

Dann hat die Bernoulli-Gleichung die Form

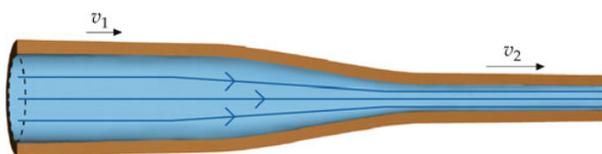
$$p + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \text{konstant} \quad (2.5)$$



**Abb. 2.15:** Verengung in einer Röhre, in der sich ein Fluid bewegt [Quelle: Tipler u.a. (S.391)]

In der Verengung ist die Querschnittsfläche  $A$  kleiner, daher muss die Geschwindigkeit  $v$  des strömenden Fluids zunehmen, damit der Volumenstrom  $A \cdot v$  konstant bleibt. Wenn die Geschwindigkeit zunimmt, dann muss – entgegen der Intuition – der Druck abnehmen, damit auch die Formel (2.5) erfüllt ist. Aus diesem Grund ist der Druck in der Engstelle geringer. Wenn ein Fluid durch eine Verengung strömt, nimmt die Strömungsgeschwindigkeit des Fluids zu und der Druck ab. Dieses Ergebnis wird oft als Venturi-Effekt bezeichnet, ein Rohr mit einer speziell geformten Verengung nennt man auch Venturi-Düse. Dieser durch Formel (2.5) beschriebene Effekt tritt in zahlreichen Situationen auf, bei denen keine Höhenunterschiede berücksichtigt werden müssen. Beispielsweise wird durch entsprechend geformte Spoiler bei einem Auto die Kraft erhöht, mit der das Fahrzeug an die Straße gepresst wird. Dies führt zu höheren Reibungskräften („Bodenhaftung“) und damit zu höheren möglichen Kurvengeschwindigkeiten.<sup>47</sup>

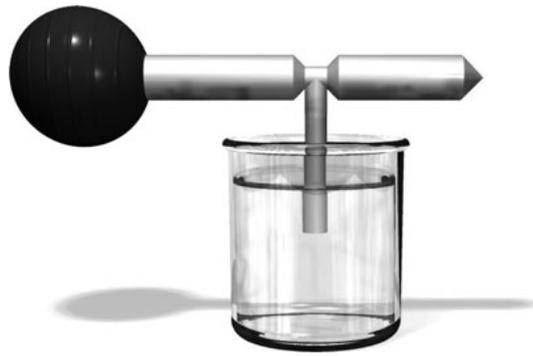
Bei der in Abb. 2.16 gezeigten Röhre symbolisieren die eingezeichneten Linien (Stromlinien) die Strömungsrichtung. Desto enger die Stromlinien beieinanderliegen, umso schneller ist die



**Abb. 2.16:** Stromlinien in einem Fluid [Quelle: Tipler u.a. (S.393)]

Strömungsgeschwindigkeit; je weiter die Linien von einander entfernt liegen, umso langsamer strömt das Fluid. Bei horizontalen Strömungen steigt die Geschwindigkeit wenn der Druck zurückgeht, somit kommt es bei einer Abnahme des Stromlinienabstands auch zu einer Abnahme der Drucks. Zur praktischen Anwendung kommt dieser Effekt beim Zerstäuber (Abb. 2.17). Drückt

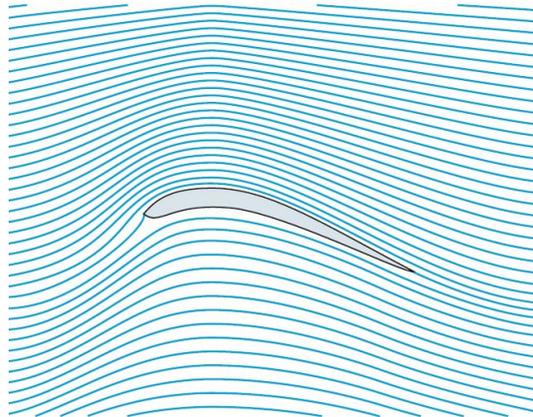
<sup>47</sup>aus [22] Tipler u. a., S. 391



**Abb. 2.17:** Zerstäuber [Quelle: Tipler u.a. (S.393)]

man den Gummibalg des Zerstäubers, wird Luft durch die Rohrverengung gepresst. So sinkt dort der Druck bis unterhalb des Luftdrucks. Diese entstehende Druckdifferenz drückt die Flüssigkeit im Inneren des Zerstäubers in die Verengung. Das Fluid gerät in den Luftstrom und wird in feine Tröpfchen zerstäubt. Ein ähnlicher Effekt ist beim Vergaser eines Verbrennungsmotors zu beobachten.

Außerdem lässt sich mit dem Venturi-Effekt das Prinzip des Fliegens eines Flugzeugs qualitativ verstehen. Die Form eines Flugzeugflügels ist in Abb. 2.18 als Tragfläche dargestellt. Bei normalen Bedingungen ist der Verlauf der Stromlinien leicht gebogen entlang der Flügeloberfläche.<sup>48</sup>



**Abb. 2.18:** Schnittdarstellung einer Flugzeugtragfläche mit den dargestellten Stromlinien [Quelle: Tipler u.a. (S.393)]

### Praktische Anwendungen

Venturi-Düsen besitzen in der Technik eine große Bandbreite an Anwendungsmöglichkeiten, vor allem weil sie wartungsarm und kostengünstig arbeiten. Beispielsweise werden sie in der Aquarientechnik als Abschäumer verwendet, ebenso erfolgt ihr Einsatz in der Chemie als sogenannte Venturi-Injektoren, um Gase in Flüssigkeiten aufzulösen oder als Messwertgeber für Strömungsgeschwindigkeiten von Gasen oder Flüssigkeiten. Ein weiteres Anwendungsgebiet der Venturi-Düsen stellen industrielle Normteile des Maschinenbaues dar, z. B. als „Einschweißdruckgeber“ nach *DIN 19215:1980-01* (*Durchflussmesstechnik, Einschweiß-Drosselgeräte, Einbaumaße*)

<sup>48</sup>Vgl. [22] Tipler u. a., S. 391–394

und ISO 5167:2004-01 (*Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt*) definiert.<sup>49</sup>

Weitere Anwendungen von Venturi-Düse werden nachfolgend angeführt:<sup>50</sup>

**Messinstrumente:** Das Venturi-Prinzip kommt zur Anwendung bei der Messung der Strömungsgeschwindigkeit von Fluiden und Gasen.

**Vergaser:** Eine weitere Anwendungsmöglichkeit befindet sich im Motorenbau. Zum Betrieb eines Verbrennungsmotor mit gasförmigem (Autogas bzw. Erdgas) oder flüssigem Brennstoff (z. B. Benzin) muss der Brennstoff mit Sauerstoff aus der Umgebungsluft als Oxidationsmittel vermischt werden. Dabei wird das Gas vor der Drosselklappe in einer Venturi-Düse in der richtigen Menge in den angesaugten Luftstrom eingemischt (Vergaser).

**Luftfahrt:** Die Anwendung erfolgte anfänglich in der Motorfliegerei. Ein Doppeltrichter war am Rumpf des Flugzeugs so montiert, dass er exakt in der Abströmrichtung des Propellers lag. Unter zur Hilfenahme des im Rohr erzeugten Unterdrucks konnten die Kreiselinstrumente wie der Kreiselkompass und der künstliche Horizont betrieben werden.

**Dekantierausguss für Weinflaschen:** Der Dekantierausguss für Weinflaschen zur Geschmacksverbesserung beim Wein stellt eine weitere Anwendung des Venturi-Rohrs dar. Das System umfasst einen speziellen Ausguss, welcher auf den Hals der Weinflasche aufgesetzt wird. Die systembedingte Verengung vergrößert die Fließgeschwindigkeit des Weines. Durch den dabei erzeugten Unterdruck gegenüber der Umgebungsluft wird Luft durch einen Kanal an der engsten Stelle des Ausgusses angesaugt. So entsteht eine Blasenbildung aufgrund des Druckausgleichs. Die hierbei entstehende Vergrößerung der Oberflächen erleichtert die Entfaltung von Geschmacks- und Aromastoffen.

**Abgasreinigung:** In der Abgasreinigung finden Venturi-Rohre zur gemeinsamen Abscheidung von gas- und partikelförmigen Schadstoffen ein weiteres Einsatzgebiet. Bei der Querschnittsverengung (oder teilweise auch schon kurz davor) wird eine Waschflüssigkeit zugegeben, die durch die hohe Gasgeschwindigkeit vernebelt. Mit Venturiwäschern können Partikel deutlich kleiner als 1 µm abgeschieden werden.

## 2.6 Venturi-Prinzip – DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation

Die DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation, welche in der zweiten Testphase in den zu untersuchenden Baufahrzeugen eingebaut wird, soll vorrangig den Kraftstoffverbrauch senken. Zudem sollen die Schadstoffe NO<sub>x</sub>, und CO im Abgas durch dieses System reduziert werden. Das Emissions- und Kraftstoffmonitoring hat daher das Ziel, die Funktionalität der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation in baubetrieblicher Hinsicht zu überprüfen. Zusätzlich werden vom Start-Up Unternehmen DROP-NO<sub>x</sub> zusätzliche Untersuchungen auf dem Rollenprüfstand durchgeführt. Diese sind nicht Gegenstand dieser Diplomarbeit.

### 2.6.1 Prinzip und Aufbau

Die DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation ist ein technisches System, das destilliertes Wasser in den Luftsaugstrang vor dem Motor einbringt und so die oben beschriebenen Effekte erreichen soll. Das Einbringen des Wassers erfolgt ohne einer technischen Einrichtung bzw. einer elektronischen

---

<sup>49</sup>Vgl. [1] Anwendung Venturi

<sup>50</sup>Vgl. [1] Anwendung Venturi

Steuerung, sondern mit Hilfe des Venturi-Prinzips. Dazu wird ein Metallrohr mit ein bis drei kleinen Öffnungen im Ansaugtrakt des Verbrennungsmotors eingebaut. Dieses Rohr ist verjüngt, wodurch die Geschwindigkeit steigt und der Druck abnimmt. Der Querschnitt wird so stark reduziert, dass ein Unterdruck entsteht und das destillierte Wasser von einem Behälter über Schläuche in den Luftansaugstrang eingesaugt wird. Durch diesen Vorgang der Wassereinspritzung soll die Verbrennung sauberer stattfinden und somit Kraftstoff gespart und Emissionen gesenkt werden. Die DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation besteht aus folgenden Teilen:

**Wasserbehälter:** Je nach Ausführung können bis zu drei Wasserbehälter mit einem Fassungsvermögen von 1500 ml im Fahrzeug untergebracht werden. Die Behälter besitzen einen Schwimmer, der ein Überlaufen verhindert.

**Metallrohr:** Das Metallrohr ist mit einer Querschnittverjüngung ausgeführt, um das Venturi-Prinzip anwenden zu können. Zudem besitzt das Bauteil bis zu drei kleine Löcher am Rohrmantel. Über diese Öffnungen werden die Schläuche angesteckt. Die Querschnittverjüngung ist in Abb. 2.22 auf dem linken Bild ersichtlich.

**Kunststoffschläuche:** Diese verbinden die Wasserbehälter mit dem Metallrohr.

Die beschriebenen Bauteile sind in Abb. 2.19 dargestellt. In dieser Darstellung ist das Metallrohr bereits in den Luftansaugstrang des Motors eingebaut.

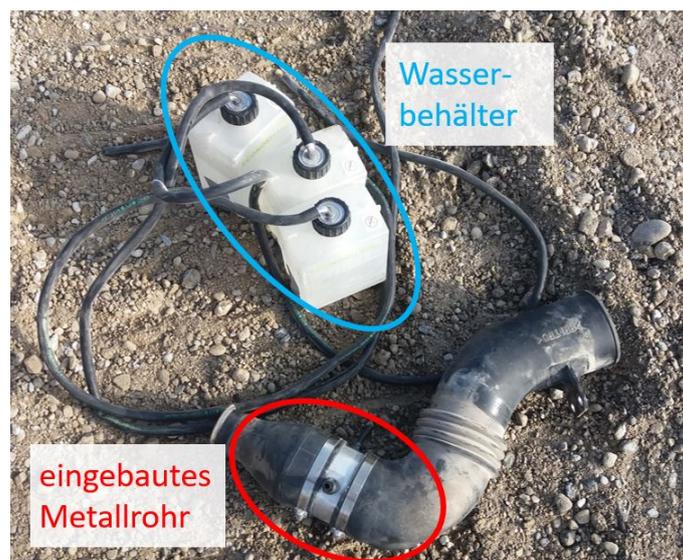


Abb. 2.19: Bestandteile der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation [Foto: Urban]

### 2.6.2 Varianten

Die DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation unterliegt ständigen Verbesserungen, daher sind drei verschiedene Abwandlungen bei den zu untersuchenden Fahrzeugen im Einsatz:

- Version 1  
Diese Version kommt bei den Kleintransportern und dem Lastkraftwagen vom Hersteller MAN zum Einsatz. Aus Platzgründen kann kein Metallrohr im Luftansaugstrang montiert werden. Eine Öffnung wird daher direkt in den Mantel des Ansaugstrangs gebohrt, wodurch

das Wasser über einen Schlauch vom Behälter angesaugt wird. Da keine Querschnittverjüngung zusätzlich eingebaut wird, ist die Ansaugfähigkeit des Wassers beschränkt. Bei dieser Version wird nur eine Düse eingebaut. In Abb. 2.20 ist dieses technische System beispielhaft anhand des Luftansaugstrangs beim Lastkraftwagen MAN dargestellt.



**Abb. 2.20:** Version 1 – Luftansaugstrang mit Düse beim Lastkraftwagen MAN [Foto: Urban]

- Version 2

Vor dem Monitoring ist der Radlader in Traismauer bereits mit einer DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation Version 1 gefahren. Bei dieser Variante ist zwar ein Metallrohr eingebaut worden, jedoch nur mit einer Wassereinsaugöffnung. Zudem hat das Metallrohr keine Querschnittsverjüngung, wodurch die Ansaugfähigkeit des Wassers beschränkt ist. In Abb. 2.21 ist das Metallrohr abgebildet. Diese DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation Variante wurde im Monitoring durch die Version 3 ersetzt.



**Abb. 2.21:** Version 2 – Metallrohr [Foto: Urban]

- Version 3  
Diese Variante ist eine Weiterentwicklung der Version 2. Das Metallrohr besitzt drei Wassereinsaugöffnungen und ist mit einer Querschnittverjüngung ausgeführt. In Abb. 2.22 ist das Metallrohr abgebildet. Diese Version ist im Raupenbagger, im DAF Lastkraftwagen und den Radladern in Zwettl und Traismauer installiert.



**Abb. 2.22:** Version 3 – Metallrohr [Fotos: Urban]

Im weiteren Verlauf der Diplomarbeit wird die DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation als *Kit* bezeichnet.

## 2.7 Einbau DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation (Kit)

Der Anschluss der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation erfolgte für die Lastkraftwagen in Trumau am 14.10.2016. Der Einbau für die Radlader und Raupenbagger fand am 17.10.2016 mit Hilfe eines Mechanikers vor Ort statt. In den Radladern, dem Lkw DAF und dem Raupenbagger ist die DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation Version 3 eingebaut worden. Aufgrund von Platzproblemen beim Radlader in Zwettl konnten jedoch nur zwei von drei Düsen mit den Wasserbehältern über Schläuche verbunden werden. Die dritte Düse ist versiegelt worden. Bei den Lkw MAN und den Kleintransportern, welche mit der Version 1 bereits vor dem Monitoring ausgeführt waren, war kein Einbau notwendig, sondern nur ein Anschluss der Schläuche an die bestehende Düse.

### Einbau DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation Version 1

Bei den Fahrzeugen, welche mit Version 1 betrieben werden, war dieses technische System bereits vor dem Monitoring eingebaut. Für die Testphase ohne Kit sind die Schläuche aus den Ansaugöffnungen abgesteckt worden. Zu Beginn der Testphase mit Kit erfolgt der neuerliche Anschluss dieser Schläuche. Der eigentliche Einbau hat bereits Mitte 2016 stattgefunden. Bei dieser Installation ist ein Loch in den Stützen aus Hartgummi gebohrt worden. Anschließend wurde ein kleines Ansaugrohr in die Öffnung geschoben und mit Hilfe von Rohrbindern befestigt. Dieses Rohr ist anschließend durch Schläuche mit den Wasserbehälter dauerhaft verbunden. In Abb. 2.23 ist die Fixierung dargestellt.



Abb. 2.23: Fixierung des Ansaugrohrs [Foto: Urban]

### Einbau DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation Version 2

Da kein Fahrzeug während des Monitoring mit diesem System ausgestattet war, wird auf diese Version nicht näher eingegangen. Zum größten Teil ist der Einbauablauf mit jener der Version 3 identisch.

### Einbau DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation Version 3

Der Einbau des Kits Version 3 wird am Raupenbagger beschrieben. Für die anderen Fahrzeuge ist die gleiche Vorgangsweise anzuwenden. Zuerst musste der Luftansaugstutzen des Dieselmotors abmontiert werden. Dieser Stutzen aus Hartgummi wird mit einer Metallsäge in drei Teile geschnitten. Der mittlere Teil entspricht etwa der halben Länge des Metallrohres und wird entfernt. Das Metallrohr, welche den Venturi-Effekt gewährleistet, wird nun in die anderen Teile geschoben, sodass die Abmessungen des Luftansaugstutzens gleich bleiben. Anschließend wird das Bauteil mit Hilfe von zwei Rohrbindern fixiert. Die Arbeit am Ansaugstutzen ist in Abb. 2.24 zu sehen. Anschließend wurde nach einem geeigneten Platz für die drei Wasserbehälter gesucht.



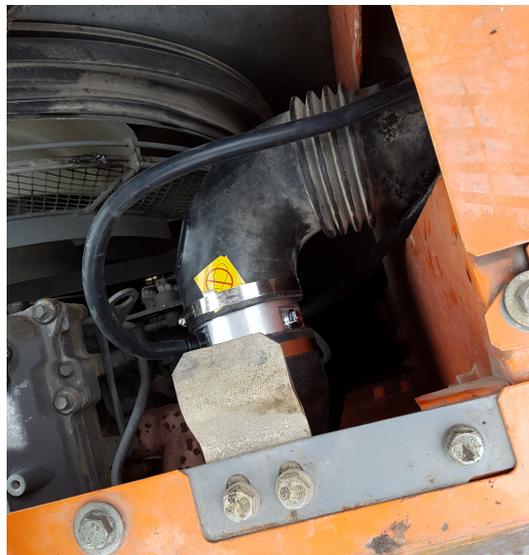
Abb. 2.24: Einbau Metallrohr [Foto: Urban]

Dieser wurde in einer seitlichen Wartungsklappe in der Nähe der Batterie gefunden, um nicht zu große Längen für die Verbindungsschläuche zwischen Wasserbehälter und Ansaugstutzen zu haben. Die Platzierung der Wasserbehälter ist in Abb. 2.25 dargestellt.



**Abb. 2.25:** Situierung der Wasserbehälter des Kits [Foto: Bisenberger]

Die Verlegung der Schläuche und die Montage des Ansaugstutzens erfolgte direkt am Gerät. Der im Hitachi Raupenbagger zu verbauende mit der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation adaptierte Ansaugstutzen ist in Abb. 2.26 zu sehen. Bevor der Raupenbagger wieder den Testbetrieb mit implementierten Kit aufnehmen konnte, wurden die Wasserbehälter bis zur Maximalmarkierung mit destillierten Wasser befüllt.



**Abb. 2.26:** Eingebauter und adaptierter Ansaugstutzen des Raupenbaggers [Foto: Bisenberger]

### Problempunkte

Da verschiedene Baufahrzeugtypen mit dem DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation ausgerüstet wurden, ist der Luftansaugstrang unterschiedlich ausgeführt. Die Anordnung im Motortrakt ist ebenfalls je nach Maschinengattung bzw. Modell unterschiedlich. Im Zuge des Einbaus kam es daher zu folgenden Problemen.

**Platzmangel:** Aufgrund von Platzproblemen beim Radlader in Zwettl konnten nur zwei von drei Düsen mit den Wasserbehälter über Schläuche verbunden werden. Die dritte Düse ist daher versiegelt worden.

**Form des Luftansaugstranges:** Der Lastkraftwagen MAN sollte eigentlich ebenfalls mit der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation Version 3 ausgerüstet werden. Das Profil des Bauteils ist jedoch nicht rund ausgeführt (siehe Abb. 2.20), wodurch der Einbau des Metallrohres nicht möglich ist.

### Überblick der eingebauten Systeme

Die zu untersuchenden Baufahrzeuge sind mit unterschiedlichen DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation Versionen und Ansaugöffnungsanzahl ausgerüstet. Tab. 2.13 gibt zur besseren Nachvollziehbarkeit einen Überblick über die eingebauten Systeme.

**Tab. 2.13:** Überblick der eingebauten Systeme

Typ	Standort	Version	Anzahl der Düsen
Raupenbagger	Traismauer	3	3
Radlader	Traismauer	3	2
Radlader	Zwettl	3	3
Lastkraftwagen MAN	Trumau	1	1
Lastkraftwagen DAF	Trumau	3	3
Kleintransporter	Horn	1	1

## 2.8 Statistische Grundlagen – Deskriptive Statistik

In dieser Diplomarbeit kommt die deskriptive Statistik zur Anwendung. Diese stellt Methoden bereit, mit denen grundlegende Eigenschaften eines Datensatzes beschrieben werden können. Dazu verwendet der Statistiker genormte Maßzahlen, z. B. das arithmetische Mittel für die zentrale Lage und die Standardabweichung für die Streuung eines Datensatzes. Zusätzlich kommen zur Darstellung der Daten charakterisierende, grafische Darstellungsformen zum Einsatz, wie z. B. Histogramme. Die deskriptive Statistik legt ihren Fokus auf einen vorliegenden Datensatz und es werden keine Aussagen bzgl. Kennzahlen, Gesetzmäßigkeiten, Zusammenhänge etc. über den speziellen Datensatz hinaus postuliert.

### Grundgesamtheiten und Stichproben

Die Festlegung bzw. klare Abgrenzung der Grundgesamtheit einer statistischen Untersuchung ist der erste Schritt bei einer Datenerhebung und die Grundlage für die spätere Bewertung der Untersuchungsergebnisse. Es gelten folgende Definitionen<sup>51</sup>:

**Grundgesamtheit:** Die Menge  $G$  aller möglichen (Untersuchungs-)Einheiten, die einer statistischen Untersuchung zugrundeliegen und von Interesse sind, nennt man die Grundgesamtheit einer statistischen Untersuchung

**Stichprobe:** Jede endliche Teilmenge  $S \subset G$ , die aus einer Grundgesamtheit  $G$  ausgewählt wird, heißt Stichprobe von  $G$ . Die Auswahl der Stichprobe erfolgt zufällig. Die zufällige Auswahl einer Stichprobe aus der Grundgesamtheit ist ein Grundprinzip der Statistik. Die Zufälligkeit

<sup>51</sup>Vgl. [2] Becker u. a., S. 29–32

der Stichprobe ermöglicht einen Rückschluss von den Gegebenheiten der Stichprobe auf die Gegebenheiten der Grundgesamtheit. Innerhalb der statistischen Versuchsplanung spricht man in diesem Zusammenhang von Randomisierung

### Lagemaße einer Stichprobe

Bei der Auswertung des Kraftstoff- und Emissionsmonitoring wird jeweils das arithmetische Mittel des Kraftstoffverbrauchs beziehungsweise des Emissionsausstoßes für den Betrieb ohne Kit und mit installiertem Kit berechnet und verglichen. Das arithmetische Mittel lässt sich folgendermaßen definieren<sup>52</sup>:

Im Folgenden sei  $x = (x_1, \dots, x_n)^T$  eine Stichprobe einer Merkmals  $X$  und  $A = a_1, \dots, a_m$  die Menge aller Ausprägungen in der Stichprobe. Ist  $X$  ein metrisches Merkmal, dann heißt

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.6)$$

das arithmetische Mittel (oder auch empirischer Mittelwert) der Stichprobe  $x$ . In der folgenden Kapiteln wird das arithmetische Mittel auch mit Durchschnittswert bezeichnet.

### Streuungsmaße einer Stichprobe

Das arithmetische Mittel ohne Angabe der Streuung der Stichprobe hat eine geringe Aussagekraft. Bei der Auswertung der Messergebnisse wird daher bei jedem berechneten arithmetischen Mittel die empirische Standardabweichung angegeben. Die empirische Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung von Werten bezüglich ihres Mittelwerts.

Die Standardabweichung berechnet sich aus der Quadratwurzel der empirischen Varianz:

$$s = \sqrt{s^2} \quad (2.7)$$

Die empirische Varianz beschreibt die Streuung der Stichprobenwerte als quadratische Abweichung vom arithmetischen Mittelwert. Sie ist folgendermaßen definiert:<sup>53</sup>:

Sei  $x = (x_1, \dots, x_n)^T$  eine Stichprobe eines metrischen Merkmals mit arithmetischem Mittel  $\bar{x}$ , Median  $x_{\frac{1}{2}}$ , den empirischen Quartilen  $x_{\frac{1}{4}}$  bzw.  $x_{\frac{3}{4}}$ , minimalem Stichprobenwert  $x_{(1)}$  und maximalem Stichprobenwert  $x_{(n)}$ , dann heißt

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.8)$$

die empirische Varianz.

<sup>52</sup>Vgl. [2] Becker u. a., S. 30

<sup>53</sup>Vgl. [2] Becker u. a., S. 31

# Kapitel 3

## Kraftstoff- und Emissionsmonitoring

Die Kernidee jedes Monitorings liegt darin, Vorgänge systematisch zu erfassen. Dies geschieht durch Messung, Protokollierung, Beobachtung beziehungsweise Überwachung. Aufgrund dieser wiederholenden Aufzeichnungen können Ergebnisvergleiche durchgeführt werden.

In diesem konkreten Beispiel wird der Kraftstoffverbrauch und der Emissionsausstoß von Baumaschinen anhand eines Monitorings über einen Zeitraum von sechs Wochen überwacht. Außerdem wird bei den straßenzugelassenen Fahrzeugen (Lastkraftwagen und Kleintransporter) ein Monitoring des Kraftstoffverbrauchs über sieben Wochen vollzogen.

Es soll sich in diesem Zeitraum von etwa eineinhalb Monaten zeigen, wie sich der Kraftstoffverbrauch und der Emissionsausstoß mit und ohne eingebauten Kit entwickeln. Darüber hinaus soll festgestellt werden, ob sich Entwicklungen ablesen lassen und welche Schlussfolgerungen unter den gegebenen Randbedingungen gezogen werden können.

Für die Durchführung des Monitorings bei den Baumaschinen werden von der Fa. Swietelsky zwei Radlader zur Verfügung gestellt. Diese Baumaschinen werden im laufenden Betrieb begleitet und die Kraftstoffverbrauchswerte hängen daher sehr von den Randbedingungen des jeweiligen Testgeländes ab. Als dritte Baumaschine wird ein Hydraulikraupenbagger von Hitachi mit 23,4 to Einsatzgewicht durch die Fa. Swietelsky angemietet. Diese Gewichtsklasse wurde gewählt, um ein möglichst repräsentatives Lade- und Lösegerät zu wählen, welches einen hohen Anteil im tagtäglichen Baustellenbetrieb aufweist. Ein Testareal befindet sich in der Nähe von Traismauer in Niederösterreich. Auf diesem Areal ist der Radlader vom Typ Volvo L110 E unter laufendem Betrieb im Einsatz. Zudem wird der zu untersuchende Raupenbagger auf diesem Testgelände stationiert. Das andere Testareal liegt in der Nähe von Zwettl im Waldviertel. Hier ist der zweite Radlader vom Typ Volvo L120 F im Einsatz.

Die Aufzeichnungen zum Kraftstoffmonitoring sind von den jeweiligen Maschinisten selbst zu führen und werden bei den regelmäßigen Besuchen der Testgelände kurz besprochen und eingesammelt. Die Messungen für das Emissionsmonitoring werden mit Hilfe eines Messgerätes zur Abgasmessung vor Ort an den Baumaschinen durchgeführt. Das Emissionsmonitoring erfolgt nicht laufend sondern stichprobenartig zwei- bis dreimal die Woche.

Beim begleitenden Monitoring des Kraftstoffverbrauchs bei den straßenzugelassenen Fahrzeugen tragen die Fahrer der LKWs bzw. Kleintransporter (Pritschen) eigenverantwortlich die getankte Menge in Liter ein und den Kilometerstand zwischen den jeweiligen Tankstellenbesuchen. Zudem wird die Beladungsart protokolliert und ob mit oder ohne Anhänger gefahren wird.

### 3.1 Randbedingungen der Testareale

Die Randbedingungen der beiden zur Verfügung gestellten Testareale unterscheiden sich gravierend voneinander. In Traismauer umfasst das Areal neben der Asphaltmischanlage auch eine Kiesbrechanlage und eine Abteilung für Baustoffrecycling (vorwiegend Asphaltrecycling). Diese unterschiedlichen Aufgabenbereiche werden alle auf diesem Areal mit einer Gesamtfläche von

etwa 70.000 m<sup>2</sup> durchgeführt. Das andere Testgelände in Dürnhof in der Nähe von Zwettl wird ausschließlich als Asphaltmischanlage mit den dafür notwendigen Nebeneinrichtungen betrieben.

Anhand dieser Kurzbeschreibung ist die unterschiedliche Ausgangslage der beiden Testareale zu erkennen. Daher ist es sinnvoll auf die gegebenen Randbedingungen genauer und für jedes Testgelände gesondert einzugehen.

### 3.1.1 Testareal Traismauer

In der Nähe der Ortschaft Traismauer in Niederösterreich liegt die Asphaltmischanlage und Siebanlage der Firma TAM Traisental Asphaltmischwerk Ges.m.b.H. Gesellschafter dieser Firma sind zu je einem Drittel die Unternehmen Swietelsky Bau Ges.m.b.H, Pittel + Brausewetter Beteiligungsgesellschaft m.b.H und PORR Bau Ges.m.b.H. In diesem Areal beschickt der Radlader vom Typ Volvo L110 E eine Mischanlage und eine Siebanlage. Das Kraftstoffverbrauchs- und Emissionsmonitoring findet im laufendem Betrieb statt. Auf diesem Testareal wird auch der Raupenbagger Hitachi ZX225USRLC-3 eigens für das Monitoring stationiert. Über die gesamte Testdauer arbeitet der Raupenbagger immer am gleichen Standort (siehe Abb. 3.1). Einmal am Tag legt der Raupenbagger den Weg zur Tankstelle zurück.

Das Areal hat eine Größe von 70.000 m<sup>2</sup>. Auf der östlichen Seite des Geländes wird das Grundstück durch die S 33 (Kremser Schnellstraße) begrenzt. Die Zu- und Abfahrt erfolgt über die Straße Neumühleweg. Im Einfahrtbereich ist eine Waage für Lastkraftwaagen mit Führerhaus situiert. Nördlich der Waage liegt die Asphaltmischanlage und nordwestlich die Siebanlage. Das Areal umfasst folgende Einrichtungen:

- Siebanlage
- Asphaltmischanlage
- Lagerfläche für die sortierten Korngruppen
- Lagerfläche für Altasphalt
- Waage mit Büro des Mischmeisters
- Werkstatt und überdachte Lagerfläche
- Aufenthaltsgebäude mit Sanitäreinrichtungen
- Tankstelle
- Parkflächen für PKW und kleinere Baustellengeräte
- Lagerflächen für verschiedene Korngruppen für die Asphaltherstellung

In Abb. 3.1 sind die Hauptbestandteile des Testareals in Traismauer im Luftbild aus Google Maps<sup>54</sup> ersichtlich.

---

<sup>54</sup>Adapt. [8] Google Inc.

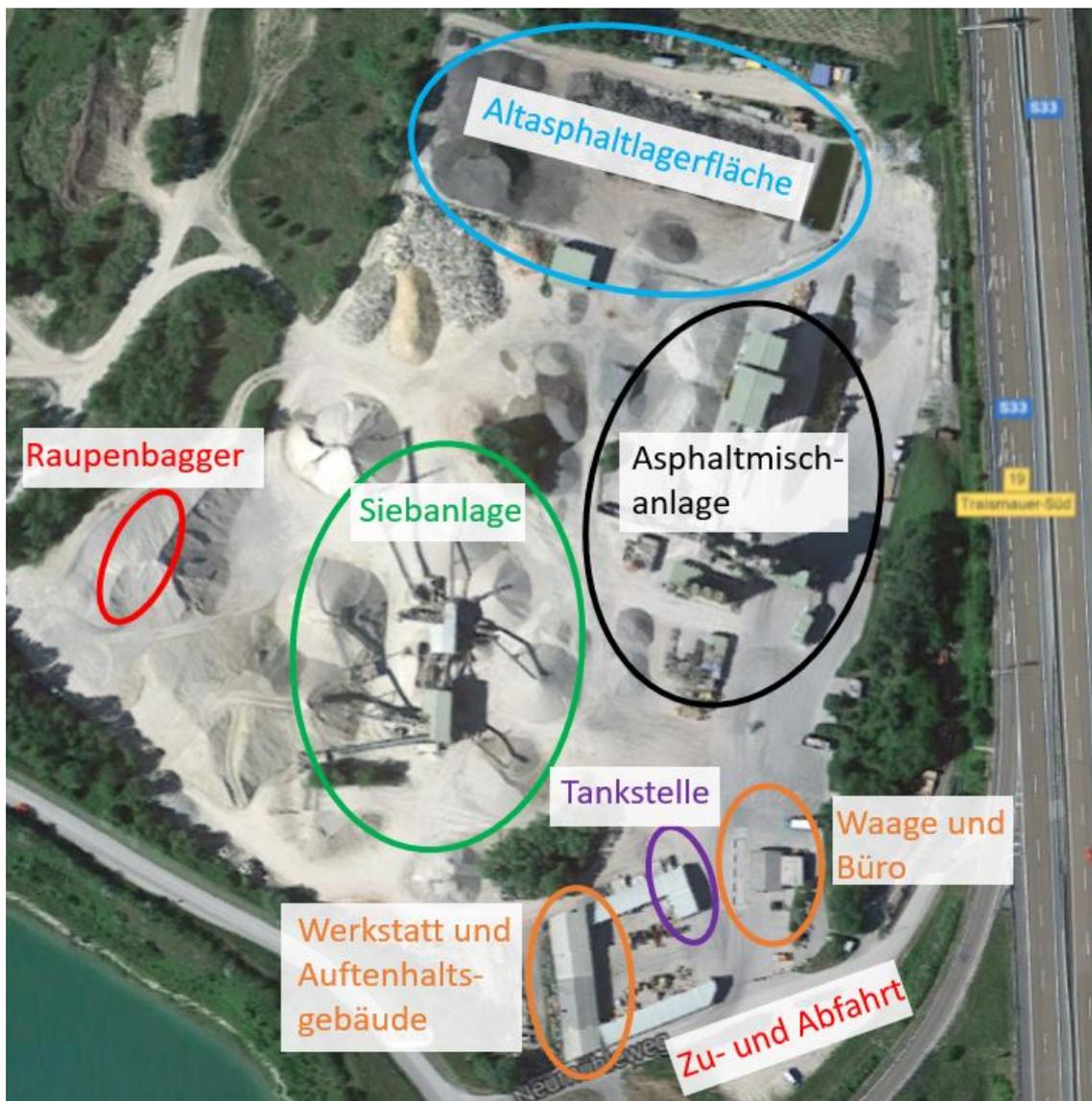
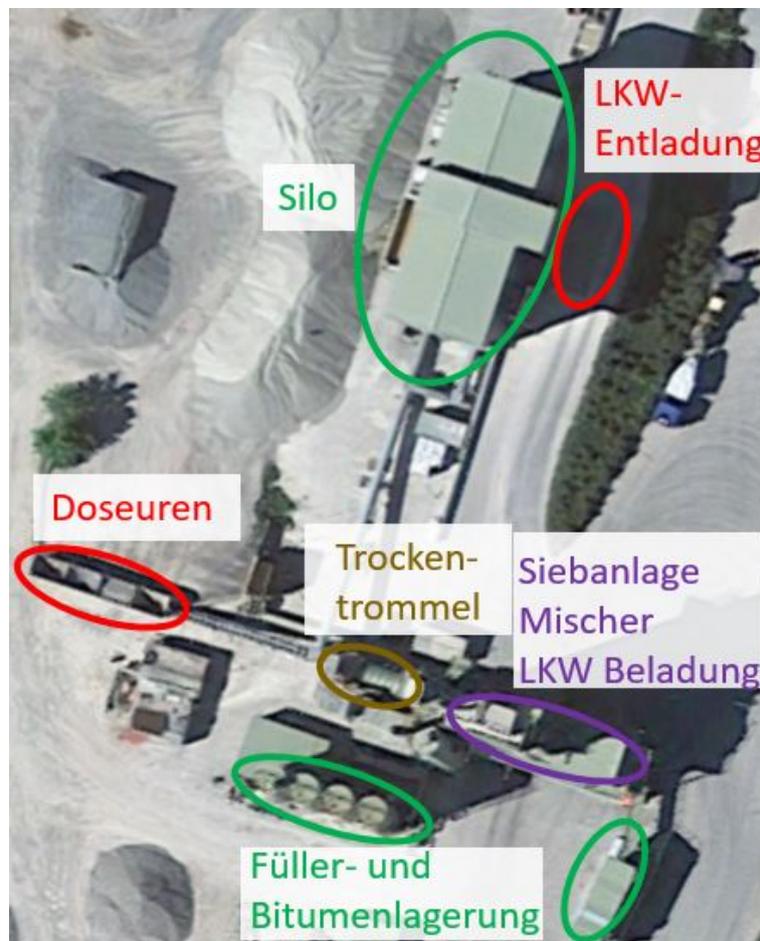


Abb. 3.1: Luftbild der Asphaltmisch- und Siebanlage in Traismauer [Quelle: Google Inc.]

### Asphaltmischanlage

Die Asphaltmischanlage liegt im nordwestlichen Teil des Areals. In diesem Abschnitt kommt es zu einer groben Erläuterung der Funktionsweise einer Asphaltmischanlage. Die Anlage wird durch das Beladen der Doseure (Vordosierungssilos) mit feuchten Mineralstoffkörnungen durch einen Radlader beschickt. Eine weitere Zufuhr von Mineralstoffen erfolgt durch die LKW-Entladestation, welche die Vorratssilos befüllt. Beide Mineralstoffströme kommen im richtigen Masseverhältnis in die Trockentrommel, wo das Material getrocknet und vermischt wird. Anschließend gelangen die getrockneten Mineralstoffe in eine Siebanlage, wo sie wieder in verschiedenen Korngruppen aufgeteilt werden. Danach werden die Stoffe in Vorratssilos zwischengelagert. Von den Vorratssilos gelangen die Stoffe über eine Waage in der benötigten Menge in einem Mischer. Der Mischer vermischt die Mineralstoffe mit Bitumen und Füller. Das Lagern von Bitumen und Füller erfolgt in externen Tanks beziehungsweise Silos. Nach dem Mischvorgang wird ein Lastkraftwagen

mit speziellem Aufbau zum Transport von Heißmischgut mit dem fertigen Asphalt beladen. In Abb. 3.2 sind die Hauptbestandteile der Anlage im Luftbild aus Google Maps<sup>55</sup> eingetragen.



**Abb. 3.2:** Luftbild der Asphaltmischanlage in Traismauer [Quelle: Google Inc.]

In Abb. 3.3 sind die Doseure und die LKW Entladestation dargestellt. Die Doseure werden durch den in der Anlage stationierten Radlader beschickt. Die Entladung der Lastkraftwagen erfolgt in der Regel durch seitliches Kippen der Mulde.



**Abb. 3.3:** LKW Entladestation (li.), Doseure (re.) [Fotos: Urban]

<sup>55</sup>Adapt. [8] Google Inc.

### Siebanlage

Neben der Asphaltmischanlage ist auf dem Areal eine Siebanlage in Betrieb. Diese Anlage fungiert unabhängig von der Asphaltmischanlage. Allgemein dienen Siebanlagen zum Trennen von angelieferten Feststoffgemischen nach Korngrößen. In Abb. 3.1 ist die Lage der Betriebsstätte im Areal ersichtlich. Das Anliefern des Gemisches erfolgt mittels Lastkraftwagen, welche das Material in der Nähe der Siebanlage neben der Hauptbeschickungsanlage abladen. Der auf dem Gelände stationierte Radlader transportiert anschließend das Gesteinsgemisch zur Beschickungsanlage. Die Hauptbeschickungsanlage besitzt einen Grobrechen aus Stahlstangen, um zu verhindern, dass zu große Gesteinsbrocken in die Maschine gelangen. Die zweite Möglichkeit der Materialzufuhr kann über einen Doseur erfolgen (siehe Abb. 3.4). Die Separation des Gemisches nach Korngrößenklassen erfolgt mit Hilfe von Schwingsiebenen. Die einzelnen Klassen werden anschließend mittels Förderbändern zu den Zwischenlagerplätzen transportiert. Die Lagerung der Gesteinskörnung erfolgt freilagernd. Das Gefälle einer solchen Ablagerungspyramide entspricht in etwa dem Reibungswinkel der Gesteinskörnung. In Abb. 3.4 ist ein solches Zwischenlager ersichtlich. Die Bearbeitung des Zwischenlagers und das Verladen der Gesteinsklassen auf einen LKW erfolgt ebenfalls durch den Radlader.



**Abb. 3.4:** Doseure für Siebanlage (li.), Hauptbeschickungsanlage (mi.), Zwischenlager (re.)  
[Fotos: Urban]

### 3.1.2 Testareal Zwettl (Dürnhof)

In der Nähe von Zwettl in Dürnhof liegt eine Asphaltmischanlage von der Fa. Swietelsky. In diesem Areal beschickt der zu untersuchende Radlader vom Typ Volvo L120 F die Mischanlage. Das Monitoring findet unter laufendem Betrieb statt. Die Anlage funktioniert ähnlich und nach dem selben Prinzip, wie in 3.1.1 beschrieben. In Abb. 3.5 ist ein Luftbild aus Google Maps<sup>56</sup> des Geländes zu sehen. Darauf sind die einzelnen Haufen mit den Korngruppen zu erkennen, welche für die Erzeugung des Asphaltmischgutes benötigt werden. Die Zufahrt zur Anlage erfolgt von der Bundesstraße B36 (Zwettler Straße) und über Privatstraßen, die dem Stift Zwettl zugehörig sind. Auf diesem Areal sind neben der Asphaltmischanlage folgende Nebeneinrichtungen untergebracht:

- Waage mit Büro des Mischmeisters
- Sanitäreinrichtungen
- Parkplatz für PKW und kleineren Baustellengeräten
- Lagerflächen für verschiedene Korngruppen für die Asphaltherstellung

<sup>56</sup>Adapt. [7] Google Inc.

Die Fläche des Geländes beträgt in etwa 160 m mal 160 m, was einer Gesamtfläche der Mischanlage von 28.800 m<sup>2</sup> entspricht. In Abb. 3.5 sind die Hauptbestandteile der Anlage im Luftbild übersichtlich dargestellt. In der Mitte des Luftbildes ist die eigentliche Anlage fürs Mischen mit den Silos für das Bitumen zu sehen. Die Doseure (rote Markierung in Abb. 3.5), in welche der Radlader die einzelnen Korngruppen hinein füllt, sind in der Mitte des Testareals stationiert. Die Waage inklusive des Bürohäuschens für den Mischmeister befinden sich im unteren Bereich des Bildes (orange Markierung in Abb. 3.5).

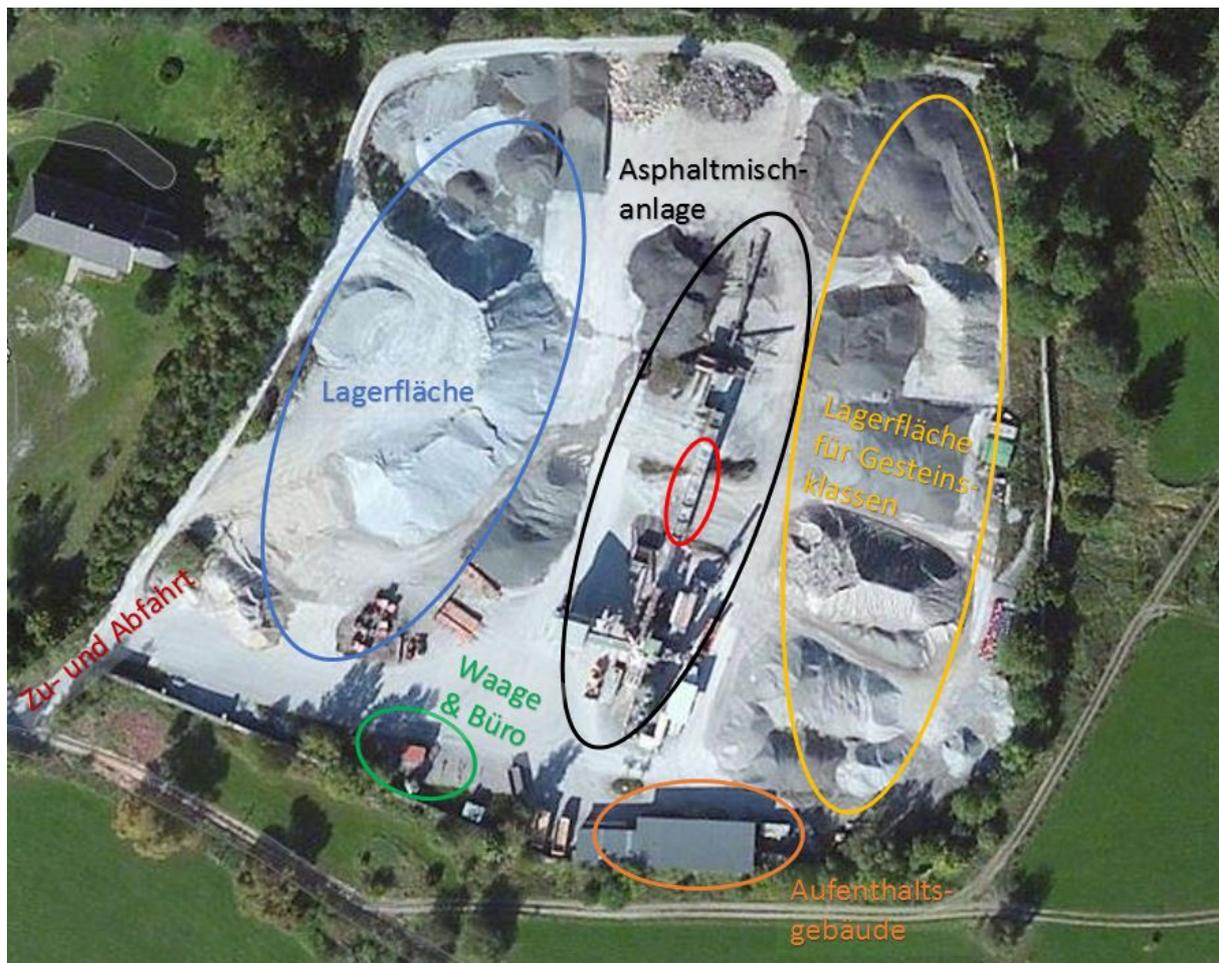


Abb. 3.5: Luftbild der Mischanlage Zwettl (Dürnhof) [Quelle: Google Inc.]

## 3.2 Lastzyklen

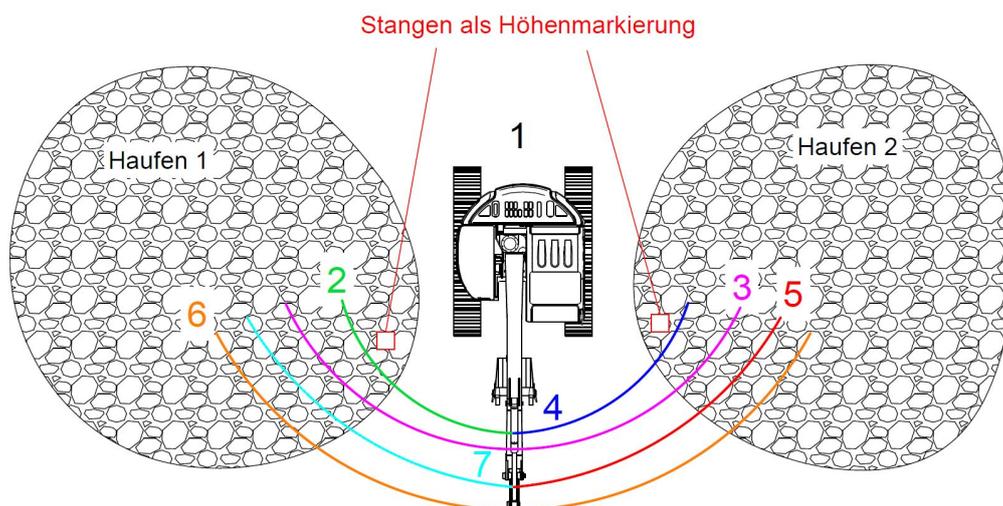
Ein Lastzyklus ist eine typische, im Baustellenalltag häufig vorkommende, sich wiederholende Abfolge von Bewegungen einer Baumaschine. Ist ein Zyklus abgeschlossen, beginnt der nächste Zyklus. Ziel ist es, durch möglichst gleich bleibende Lastzyklen den Einfluss der Umgebungsrandbedingungen so zu minimieren, damit am Ende eine repräsentative Aussage zu den Kraftstoffverbrauchswerten gemacht werden kann. Daher ist es von enormer Wichtigkeit, Lastzyklen für das Kraftstoff- und Emissionsmonitoring zu definieren und diese regelmäßig und sorgfältig auszuführen.

### 3.2.1 Raupenbagger

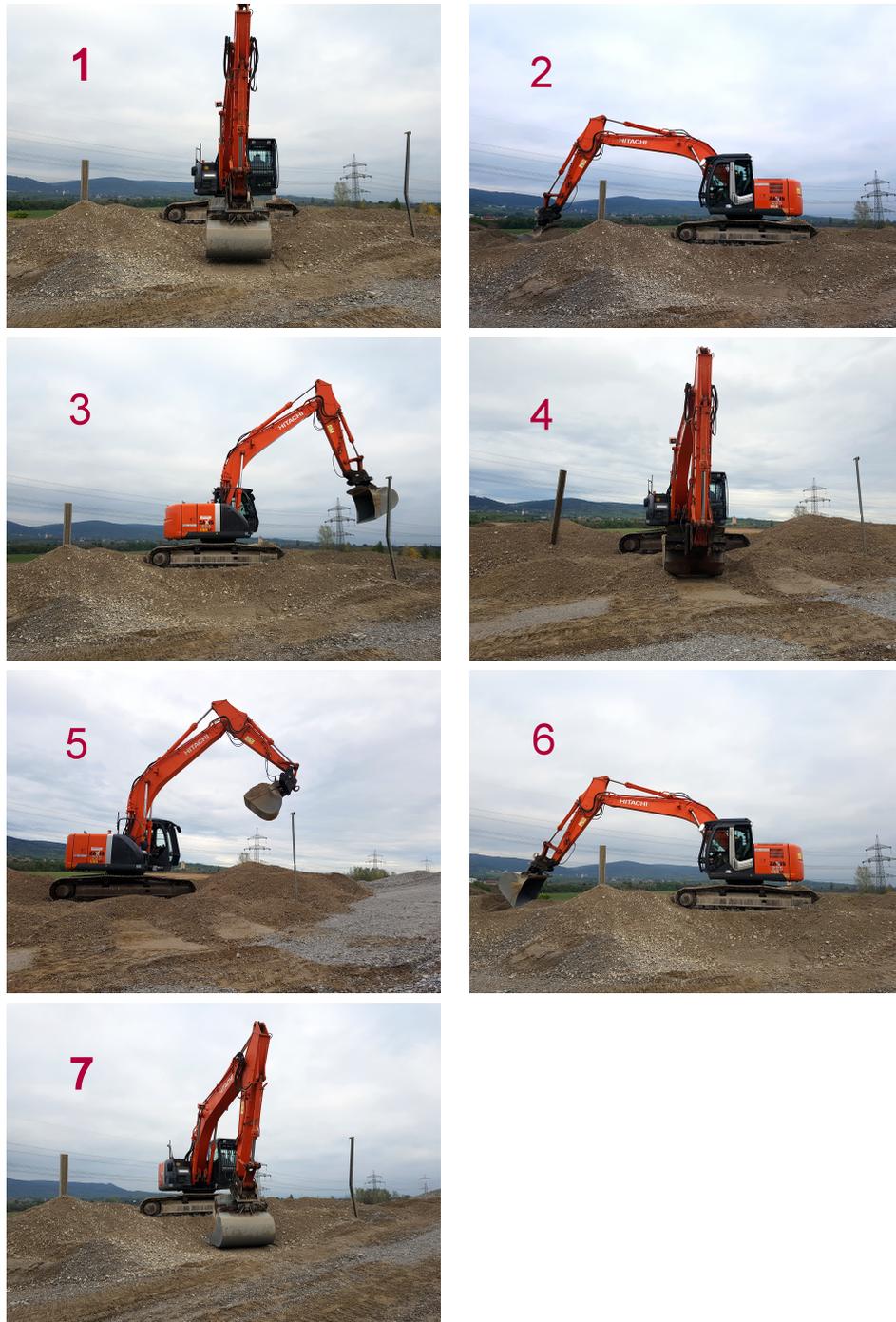
Im Baustellenbetrieb stellt der Bagger im Allgemeinen meist das Schlüsselgerät dar, welches möglichst nie stillstehen sollte. Daher ist der typische Lastzyklus eines Baggers immer in Verbindung mit den Transportgeräten zu betrachten. Aufgrund der gegebenen Randbedingungen stehen keine Transportgeräte zur Verfügung. Da der Bagger (in diesem Fall ein Hydraulikraupenbagger) das Lade- und Lösegerät darstellt, ist ohne Abtransport der gelösten Kubaturen durch Transportfahrzeuge kein erneuter Lastzyklus möglich, wie er im Baustellenalltag vorkommt. Daher sind zwei etwa gleich große Haufen des Gesteinskörnungsgemisches Frostkies 0/63 aus karbonatischem Kies angelegt worden. In der Mitte platziert sich der Hydraulikbagger auf einer vordefinierten Position. Um eine gleichbleibende Hubhöhe des Löffels zu gewährleisten, sind zwei Stangen (siehe Abb. 3.6) in den Boden eingerammt worden. Diese Höhenmarkierungen sind beim Schwenken des Drehgestells mit dem Löffel zu überheben. Um die Realität im Baustellenbetrieb möglichst genau abzubilden, sieht der vordefinierte Lastzyklus wie folgt aus:

1. Grundposition
2. Schwenken um  $90^\circ$  und Beladen des Löffels
3. Drehung um  $180^\circ$  und Entladen des Löffelinhalt
4. Erneutes Schwenken auf die Grundposition
5. Drehung um  $90^\circ$  auf vorige Abladestelle und Beladen des Löffels
6. Drehung um  $180^\circ$  und Entladen des Löffels
7. Schwenken in Grundposition, Abschluss des Lastzyklus

Die einzelnen Schritte sind als Übersichtsdarstellung in Abb. 3.6 zu sehen. Fotos zu den einzelnen Schritten eines Lastzyklus sind in Abb. 3.7 dargestellt.

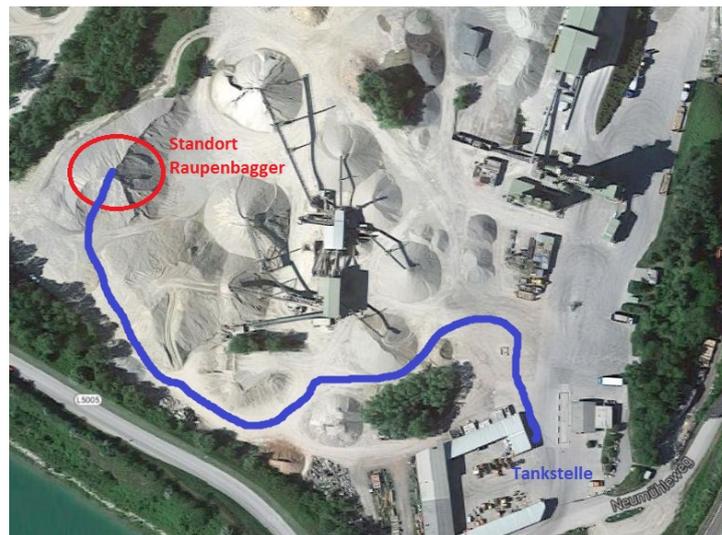


**Abb. 3.6:** Schrittweise Darstellung des Lastzyklus beim Hydraulikraupenbagger



**Abb. 3.7:** Fotovisualisierung zur Abfolge des Lastzyklus beim Raupenbagger [Fotos: Bisenberger]

Die Betankung des Raupenbaggers kann nicht direkt beim Untersuchungsstandort durchgeführt werden, da keine mobile Tankanlage zur Verfügung steht. Daher muss das Raupenfahrzeug täglich für die Betankung den in Abb. 3.8<sup>57</sup> dargestellten Weg zurücklegen. Diesen Weg von etwa 260 m zur Tankstelle legt der Raupenbagger täglich mindestens einmal zurück. Der Tankvorgang kann nur mit eingefahrenem Stiel (siehe dazu Abb. 3.9) durchgeführt werden, da sonst das Dach der Tankstelle beschädigt werden könnte. Die Freischaltung der Zapfsäule erfolgt mittels Chipkarte, diese wird dem Baggerfahrer von der Mischanlagenverwaltung in Traismauer extra für den Untersuchungszeitraum zur Verfügung gestellt. Abb. 3.10 zeigt den durch den Baggerfahrer durchgeführten Tankvorgang des Hydraulikraupenbaggers.



**Abb. 3.8:** Lageplan mit eingezeichnetem Weg vom Untersuchungsstandort zur Tankstelle [Quelle: Google Inc.]



**Abb. 3.9:** Positionskonfiguration des Stiels beim Tankvorgang [Foto: Bisenberger]

<sup>57</sup>Adapt. [8] Google Inc.



**Abb. 3.10:** Tankvorgang in Traismauer beim Hydraulikraupenbagger [Foto: Bisenberger]

### 3.2.2 Radlader

Das Kraftstoffverbrauchs- und Emissionsmonitoring wird bei zwei Radladern vollzogen. Dabei ist ein Radlader in Traismauer im Einsatz, der andere zu untersuchende Radlader ist in Dürnhof in der Nähe von Zwettl stationiert.

#### 3.2.2.1 Radlader Volvo L110 E – Traismauer

Auf dem gesamten Areal in Traismauer befindet sich ausschließlich ein Radlader. Der Radlader der Fa. Volvo mit der Typenbezeichnung L110 E beschickt sowohl die Siebanlage als auch die Asphaltmischanlage mit den notwendigen Gesteinskörnungen bzw. Gesteinsklassen. Der Radlader in Traismauer hat daher ein sehr vielfältiges Aufgabenspektrum zu erfüllen. Zudem weisen die verschiedenen Aufgaben keine klare zeitliche Abfolge auf, sondern sind jeden Tag je nach Auftragslage unterschiedlich verteilt. Um einen Überblick und ein besseres Verständnis des Tätigkeitsbereichs zu geben werden nachfolgend sämtliche Arbeiten aufgelistet, welche das Baufahrzeug am Areal durchführt.

#### **Befüllen der Doseure der Asphaltmischanlage**

Die Doseure werden mit verschiedenen Korngrößenklassen durch den Radlader beschickt (siehe Abb. 3.11), wobei diese Klassen am Gelände verteilt gelagert werden. Der Radlader muss daher unterschiedlich lange Transportwege zurücklegen. Um zum Entladeplatz zu gelangen, ist auf einer Länge von 15 m eine Steigung von 14% zu überwinden. Der genaue Arbeitsablauf wird im Kapitel 3.2.2.2 beschrieben.



Abb. 3.11: Radlader beim Befüllen eines Doseurs [Foto: Urban]

### Befüllen der Beschickungseinrichtung der Siebanlage

Das Anliefern der Gesteinskörnungen für die Siebanlage erfolgt mittels Lastkraftwagen, welche das Material in der Nähe der Beschickungsanlage abladen. Der Radlader transportiert anschließend das Gesteinsgemisch zu der Hauptbeschickungsanlage und entlädt das Material. Diese Anlage besitzt einen Grobrechen aus Stahlstangen, um zu verhindern, dass zu große Gesteinsbrocken in die Maschine gelangen. Der Arbeitsprozess sieht wie folgt aus:

1. Der Radlader wartet bis der LKW mit der Entladung bei der Beschickungsanlage fertig ist.
2. Er belädt die Schaufel mit dem Korngemisch.
3. Der Radlader begibt sich auf den Rückweg zur Beschickungsanlage, dabei muss er auf einen rund vier Meter hohen Hügel fahren.
4. Er kippt das Material über den Grobrechen, dabei rutscht ein Teil des Materials über den Rechen in eine Mulde (siehe Abb. 3.12).



Abb. 3.12: Radlader bei der Beschickung der Siebanlage [Foto: Urban]

5. Anschließend fährt der Radlader wieder zurück zum Entladeort des LKWs und der Arbeitszyklus beginnt wieder bei Punkt 2.
6. Liegt genug Material in der Mulde fährt der Radlader in die Mulde (siehe Abb. 3.13) und transportiert es zur Beschickungsanlage, um es nochmals über den Rechen zu kippen.

Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis nur noch grobe Gesteinsbrocken vorhanden sind. Dieses Produkt wird anschließend am Areal zwischengelagert.



**Abb. 3.13:** Radlader fährt zur Beladung des über den Rechen gerutschten Gesteinsgemisches in die Mulde [Foto: Urban]

Der beschriebene Arbeitsprozess kann jederzeit unterbrochen werden, um beispielsweise einen LKW zu beladen oder die Asphaltmischanlage zu beschicken.

#### **Bearbeiten der Lagerhügeln**

Die durch die Siebanlage entstandenen Lagerhügel (siehe Abb. 3.4) müssen ab einer bestimmten Größe auf einer anderen Fläche aufgrund des Platzmangels zwischengelagert werden. Das Transportieren und Entladen des Materials erfolgt durch den Radlader.

#### **Beladen von Lastkraftwagen**

Die Lastkraftwagen werden ebenfalls neben der Asphaltmischanlage mit verschiedenen Korngrößenklassen durch den Radlader beladen.

#### **Aufräumarbeiten**

Der Radlader muss ständig dafür sorgen, dass die Transportwege von Materialien frei bleiben. Zudem sind die abgeladenen Baustoffe, welche von den Lastkraftwagen abgeladen werden, sinnvoll zu stapeln. Dabei bearbeitet das Baufahrzeug verschiedene Baustoffe, diese umfassen:

- Bauschutt (siehe Abb. 3.14)
- Altasphalt (siehe Abb. 3.15)
- Gesteinsgemisch
- Verschiedene Gesteinskornklassen (von 2–63 mm)

#### **Sieben**

Der durch einen Brecher gebrochene Altasphalt wird vom Radlader durch ein Stahlgitter gekippt und von Grobstoffen getrennt (siehe Abb. 3.16).

Aufgrund der oben beschriebenen Umgebungsrandbedingungen ist eine präzise Definition eines Lastzyklus oder ein täglicher zyklischer Arbeitsablauf auf diesem Testareal nicht möglich.



**Abb. 3.14:** Bauschutt freilagernd [Foto: Urban]



**Abb. 3.15:** Altasphalt freilagernd [Foto: Urban]



**Abb. 3.16:** Siebrechen für Altasphalt [Foto: Urban]

### 3.2.2.2 Radlader Volvo L120 F – Zwettl (Dürnhof)

Aufgrund der Umgebungsrandbedingungen, welche in Kapitel 3.1.2 näher beschrieben sind, und dem Umstand, dass im laufendem Betrieb getestet wird, ist eine präzise Definition eines Lastzyklus auch bei diesem Radlader nicht möglich. Aber die grundsätzliche Tätigkeit, welche etwa zu 75% der Betriebszeit ausgeführt wird, kann näher beschrieben werden. Da es sich um eine Mischanlage für die Herstellung von Asphaltmischgütern handelt und sonst keine zusätzlichen Haupttätigkeiten anfallen, ist die Haupttätigkeit des Radladers das Befüllen der Doseure. Dieser Arbeitsprozess sieht folgendermaßen aus:

1. Radlader wartet in Ausgangsposition (siehe Abb. 3.17).



**Abb. 3.17:** Ausgangsposition Radlader [Foto: Bisenberger]

2. Dieser fährt zu jener Korngruppe, welche den geringsten Füllstand in den Doseuren besitzt.
3. Er belädt die notwendige Korngruppe.
4. Der Radlader macht sich auf den Rückweg zu den Beschickungsöffnungen.
5. Er entlädt die Schaufel in den jeweiligen Doseur (siehe Abb. 3.18).
6. Abschließend fährt er in die Ausgangsposition zurück.

Die genaue Anzahl der Arbeitszyklen kann aufgrund der nicht gleichbleibenden Tagesleistungen der Asphaltmischanlage jedoch nicht ermittelt werden. Außerdem sind die unterschiedlichen Entfernungen ein weiterer Grund für die nicht gegebene Reproduzierbarkeit eines einheitlichen Lastzyklus. Aufgrund der Situierung der Lagerfläche variieren die Abstände zwischen Entladestelle (dem Doseur) und der Entnahmestelle (einzelne Korngruppenhaufen) stark voneinander. Die kleinste Entfernung zu einer Lagerfläche beträgt etwa 25 m und die Größte etwa 80 m Fahrweg. Die Nebentätigkeiten setzen sich aus dem Beladen von Lastkraftwagen und dem Freihalten der Transportwege von Baustoffen zusammen. Diese Tätigkeiten ähneln prinzipiell denjenigen beim Radlader in Traismauer, wobei aufgrund der geringeren Größe des Geländes die Wege kürzer sind.



Abb. 3.18: Doseuranlage in Zwettl [Foto: Bisenberger]

### 3.2.3 Lastkraftwagen (LKW)

Die zwei zu untersuchenden Lastkraftwagen von der Fa. Swietelsky sind in Trumau stationiert. Von dort aus sind diese beiden Transportfahrzeuge in ganz Ostösterreich im Einsatz. Sie transportieren Baustoffe und führen auch andere Frachttätigkeiten durch, wie zum Beispiel den Transport von Schalungen oder Fertigbauteilen. Darüber hinaus werden Ladetätigkeiten mit dem am Fahrgestell montierten Kran durchgeführt. Die Randbedingungen für die straßenzugelassenen Baufahrzeuge sind im gegenständlichen Fall schwierig einzugrenzen. Die in diesem Fall nicht zu beherrschenden Umgebungsrandbedingungen umfassen:

- Verkehrsaufkommen auf gefahrener Route (Geschwindigkeit)
- Zustand der Straßen auf gefahrener Route
- Gewicht der Beladung
- Lasten im Kraneinsatz
- Beladezeiten (dadurch entstandener Leerlauf)
- Gewicht der Anhängerbeladung
- Gefälle der zurückgelegten Verkehrswege
- Witterung

Diese ungewissen Parameter erschweren die Aussagekraft der durchgeführten Aufzeichnungen, wobei vor allem das Verkehrsaufkommen, die transportierten Lasten und die Kraneinsatzzeiten einen großen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch haben.

### 3.2.4 Kleintransporter

Die Kleintransporter sind ebenfalls der Fa. Swietelsky zugehörig. Es handelt sich hier um zwei VW T5 Busse und einen Mercedes-Benz Sprinter. Diese sind in Horn stationiert. Sie fungieren als Mannschaftsbusse bzw. Kleintransporter für die abzuwickelnden Baustellen. Da es sich wie bei den Lastkraftwagen um straßenzugelassene Fahrzeuge handelt, sind die Problemstellungen und wegen der ungewissen Randbedingungen ähnlich wie zuvor beschrieben.

### 3.3 Terminplan

Der Grundgedanke eines jeden Terminplanes ist es, im Vorhinein bestimmte Prozesse zeitlich zu gliedern und diese durch Beziehungen miteinander zu verknüpfen. Aufgrund veränderter Rahmenbedingungen, welche sich im Laufe eines Projektes ergeben, ist der Terminplan kein statischer, sondern ein dynamischer Plan. Aus diesen Gründen gibt es in dieser Diplomarbeit nicht nur eine Version des Terminplanes, sondern einen Rahmenterminplan bzw. einen angepassten Rahmenterminplan und einen Arbeitsterminplan, auf diese wird im Folgenden genauer eingegangen.

#### 3.3.1 Rahmenterminplan

Der Rahmenterminplan (siehe Abb. 3.19) beinhaltet eine Vorlaufphase, eine Pre-Testphase, eine Testphase ohne Kit, eine Übergangsphase (In Abb. 3.19 nicht explizit dargestellt) und eine Testphase mit Kit für die Radlader und den Hydraulikraupenbagger. Die Vorlaufphase ist notwendig, da die zu untersuchenden Radlader schon mit der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation ausgestattet sind und daher der Motor „rein“ gefahren werden muss. Aus diesem Grund können ohne diese Vorlaufphase keine repräsentativen Aussagen über die Änderung des Kraftstoffverbrauchs bzw. des Emissionsausstoßes gemacht werden. Diese Phase umfasst laut Plan zwei Wochen, obwohl in der Realität das Kit schon ein bis zwei Wochen früher deaktiviert wurde. Somit kann zu Beginn der Testphase ohne angeschlossenen Kit mit der Aufzeichnung des Kraftstoff- und Emissionsmonitoring begonnen werden.



Abb. 3.19: Rahmenterminplan Kraftstoff- und Emissionsmonitoring

Die Pre-Testphase hat den Zweck, dass sich alle am Versuch Beteiligten auf die Versuchsrahmenbedingungen einstellen können. Im Speziellen betrifft dies die Maschinisten der Baufahrzeuge, da diese die Aufzeichnungen zu den Tankfüllungen, den gefahrenen Kilometern bzw. den Betriebsstunden erstellen müssen. Bei auftretenden Fragen, Unklarheiten oder Verbesserungsvorschlägen sollen diese noch vor Beginn des wirklichen Testbetriebes geklärt werden, um eine möglichst gute Ausgangslage zu generieren. Die Länge dieser Pre-Testphase ist mit fünf Tagen veranschlagt, also einer kompletten Arbeitswoche vom 26.09.2016 bis 30.09.2016.

Die Dauer der Phase des Versuchs ohne Kit umfasst zwei Wochen, vom 03.10.2016 bis 14.10.2016. Sie soll Aufschluss darüber geben, wie sich der Kraftstoffverbrauch der Baumaschinen ohne eingebauter bzw. angeschlossener DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation verhält. Zu Beginn der Phase ohne Kit werden Emissionsmessungen durchgeführt, um eine Aussage treffen zu können, wie viel Schadstoff die jeweilige Maschine in der ursprünglichen Konfiguration ausstößt. Nach Abschluss dieser Testphase ohne Kit wird die DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation wieder angeschlossen bzw. beim Hydraulikraupenbagger erstmalig installiert. Dies leitet die Übergangsphase ein, welche zum „Durchputzen“ des Motors gedacht ist. Diese Zwischenphase erstreckt sich über eine Arbeitswoche, vom 17.10.2016 bis 21.10.2016, wobei die Maschinisten hier keine Aufzeichnungen zu führen haben.

Die Versuchsphase mit Kit beginnt am 24.10.2016 und endet mit 04.11.2016. In diesem Zeitraum führen die Gerätefahrer wieder detaillierte Aufzeichnungen über den Kraftstoffverbrauch. Die Emissionsmessungen werden am Anfang und Ende der Testphase mit Kit durchgeführt, um eine Aussage über die zeitliche Entwicklung der Emissionen mit eingebauten Kit treffen zu können.

Bei den zusätzlich untersuchten Transportfahrzeugen LKW und Kleintransporter (Pritsche) ist der Aufbau des Terminplanes sehr ähnlich. Es gibt wiederum eine Vorlaufphase (zum „Reinputzen“ des Motors), eine Testphase ohne Kit, die Übergangsphase und eine Phase mit verbautem Kit. Es wird bei diesen Fahrzeugfamilien nur das Kraftstoffmonitoring durchgeführt, um auch Aussagen über Transportfahrzeuge treffen zu können.

Die Pre-Testphase ohne Kit entfällt, da die Fahrer schon vor Beginn der Vorlaufphase Aufzeichnungen über den Kraftstoffverbrauch geführt haben und keine gravierenden Änderungen im Aufzeichnungsprotokoll gemacht wurden. Die Vorlaufphase beginnt am 12.09.2016 und endet am 23.09.2016, umfasst damit zwei Arbeitswochen. Die Testphase mit Kit erstreckt sich ebenfalls über zwei Wochen, vom 26.09.2016 bis 07.10.2016. Die Übergangsphase beläuft sich auf eine Arbeitswochen, vom 10.10.2016 bis 14.10.2016. Die Phase des Versuches mit Kit beginnt am 17.10.2016 und dauert drei Arbeitswochen bis 04.11.2016. Somit endet der Versuch für alle Maschinen und Transportfahrzeuge am 04.11.2016. Außerdem sind zwei Team-Meetings angesetzt, um alle Projektbeteiligten auf den neuesten Stand der Erkenntnisse zu bringen.

### 3.3.2 Angepasster Rahmenterminplan

Nach einigen zusätzlichen Überlegungen und Gesprächen mit den am Projekt beteiligten Personen ist es zu einigen Änderungen im Zeitplan gekommen. Dieser angepasste Rahmenterminplan ist in Abb. 3.20 dargestellt. Die Übergangsphase wurde gestrichen, da so der eventuelle Trend einer Veränderung der Kraftstoffverbrauchswerte bzw. des Emissionsausstoßes besser beobachtet werden kann. Die Testphase mit verbauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation wurde um eine Woche bei allen Maschinen (außer beim Hydraulikraupenbagger) bis zum 11.11.2016 verlängert, weil aufgrund der Feiertage (Nationalfeiertag 26.10 und Allerheiligen 01.11) wichtige Tage zur Aufzeichnung wegfallen. Die Emissionsmessungen finden wöchentlich statt, um eine kontinuierlichere Datenaufzeichnung zu bewerkstelligen. Zusätzlich ist ein Termin für den Einbau bzw. Anschluss der Applikationen mit Herrn Dr. Anton Purgstaller und Herrn Mag. Gerhard Zirsch (Gründer des Start-Up Unternehmens DROP-NO<sub>x</sub>) in den Terminplan eingetragen worden. Auf Wunsch einiger

Projektbeteiligter sind in regelmäßigen Abständen zusätzliche Termine für Teambesprechungen angesetzt worden.



Abb. 3.20: Angepasster Rahmenterminplan Kraftstoff- und Emissionsmonitoring

### 3.3.3 Arbeitsterminplan

Aufgrund der stabilen Testverhältnisse auf dem Testgelände in Traismauer und dem Umstand, dass das eingebaute Kit wieder rückgebaut werden muss, ist es beim Hydraulikraupenbagger zu einer Verlängerung der Testphase bis 11.11.2016 gekommen. Alle Projektbeteiligten befürworteten diese zusätzliche Woche, da möglicherweise ein rückläufiger Trend nach Ausbau der Applikation zu erkennen sein könnte. Diese Testphase dient daher der Verifizierung der Ergebnisse beim Raupenbagger und soll Aufschluss darüber geben, wie sich der Kraftstoffverbrauch und Emissionsausstoß ohne Kit wieder einpendelt. Diese Phase wird im Zeitplan als Testphase 2 ohne Kit bezeichnet und erstreckt sich über eine Arbeitswoche, vom 07.11.2016 bis 11.11.2016. Der finale und überarbeitete Arbeitsterminplan ist in Abb. 3.21 ersichtlich.



Abb. 3.21: Arbeitsterminplan Kraftstoff- und Emissionsmonitoring

### 3.4 Kraftstoffverbrauchsmessung

Das allgemeine Ziel der Kraftstoffverbrauchsmessung ist es, die unter den Testbedingungen gegebenen Kraftstoffverbräuche zu dokumentieren und im Anschluss zu analysieren bzw. zu interpretieren. Aus diesem Grund werden für jede Baumaschine bzw. die straßenzugelassenen Fahrzeuge eigene Formblätter zur Aufzeichnung des Kraftstoffmonitorings erstellt. Diese sind gewissenhaft und mit Sorgfalt von den Maschinisten nach jeder Betankung der Maschine mit Kraftstoff selbst auszufüllen.

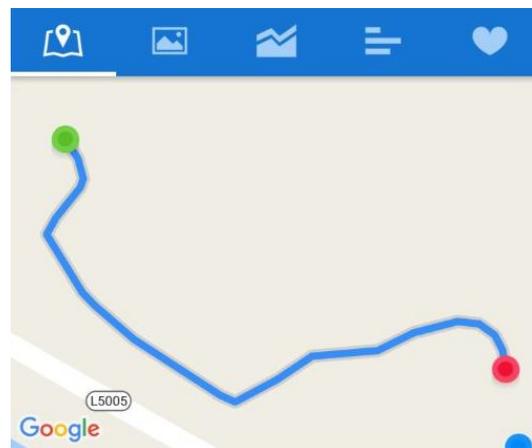
Eine Unterscheidung ist zwischen den Baumaschinen (Radlader, Raupenbagger) und den straßenzugelassenen Fahrzeugen (Lastkraftwagen, Kleintransporter) zu treffen. Um aussagekräftige Messungen zu erhalten, ist es zwingend notwendig, dass die Baumaschinen nach jedem Arbeitstag tanken. Dies erfolgt entweder vor Arbeitsbeginn oder nach Arbeitsende, um eine tagesweise Aufzeichnung der Kraftstoffverbrauchswerte zu gewährleisten. Bei den straßenzugelassenen Fahrzeugen ist der charakteristische Kraftstoffverbrauch in l/km von vorrangiger Bedeutung. Aus wirtschaftlichen und zeitlichen Gründen ist eine tägliche Betankung der Fahrzeuge nicht möglich. Daher erfolgt die Betankung je nach Bedarf der einzelnen Fahrzeuge, wie im normalen Alltag eines jeden KFZ-Lenkers.

Auf die Besonderheiten und Unterschiede zu den einzelnen Baumaschinen bzw. straßenzugelassenen Fahrzeugen wird im folgenden genauer eingegangen. Das Monitoring erfolgt nach dem im Kapitel 3.3 näher beschriebenen Terminplan. Aufgrund des Alters der Baumaschinen ist die digitale Auswertung des Kraftstoffverbrauchs mittels Telematik nicht möglich.

### 3.4.1 Raupenbagger

Beim Hydraulikraupenbagger ist zwischen zwei Aufzeichnungskonzepten zum Kraftstoffverbrauch zu unterscheiden. Beim ersten Konzept wird kontinuierlich über den ganzen Tag dokumentiert. Dies bedeutet, dass über den Tag hinweg – abzüglich aller Pausen – der vorher definierte Lastzyklus immer und immer wiederholt wird. Am Ende des jeweiligen Arbeitstages fährt der Baggerfahrer mit der Baumaschine zur Zapfsäule und tankt die verbrauchte Menge Diesel nach. Durch diese getankte Menge und die aufgezeichnete Betriebszeit kann der Kraftstoffverbrauch in l/h berechnet werden.

Eine Besonderheit hier ist der Weg vom Standort des Raupenbaggers, wo der definierte Lastzyklus ausgeführt wird, zur Zapfsäule. Da dieser täglich zweimal (hin und zurück) bewältigt werden muss und nicht im definierten Lastzyklus integriert ist, verfälscht dieser Fahrweg den Verbrauch. In Abb. 3.22 ist der Weg vom Ort des Testbetriebes zur Tankstelle dargestellt. Diese



**Abb. 3.22:** GPS-Darstellung der Fahrtroute des Baggers vom Testbetriebsort zur Zapfsäule

Darstellung wurde mit dem Smartphone mit der GPS-Funktion und mit Hilfe der App Runtastic erstellt. Außerdem lässt die Konzentration des Maschinisten mit der Zeit nach, wenn dieser immer die gleiche Tätigkeit ausführt. Daher ist die erzielte Menge an Lastzyklen pro Stunde nicht konstant, weil sich mit der sinkenden Konzentrationsleistung die Dauer für einen Lastzyklus ändert. Aus diesen beiden genannten Gründen ist in einer frühen Testbetriebsphase ohne Kit ein zusätzliches Aufzeichnungskonzept entwickelt worden.

Bei diesem zweiten Konzept erfolgt das Monitoring stundenweise, wobei der Lastzyklus durch einen Diplomanden vor Ort händisch mitgezählt werden. Nach Abschluss der vollen Stunde wird der erzielte Kraftstoffverbrauch vom Bordcomputer abgelesen und dokumentiert. Die Berechnung des Kraftstoffverbrauchs erfolgt über im Kennfeld des Motors hinterlegte Einspritzmengen, welche den jeweiligen Drehzahlen zugeordnet sind. Anschließend fährt der Hydraulikraupenbagger zur Tankstelle und befüllt den Tank vollständig mit Dieselmotorkraftstoff. Die Verifizierung des Ergebnisses erfolgt durch Vergleich der getankten Menge und der Summe aus dem Verbrauch der Fahrt und dem Verbrauch, welcher am Bordcomputer nach Beendigung der Stunde abgelesen wurde.

Durch diese Versuchsdurchführung sind viele unbekannte Parameter der kontinuierlichen Aufzeichnung beseitigt worden. Außerdem ist die Vergleichbarkeit der einzelnen Messungen außer den sich ändernden Witterungsbedingungen gegeben. Daher sind durch die stundenweise Aufzeichnung des Kraftstoffverbrauchs solche Randbedingungen des Testbetriebes geschaffen worden, welche den Bedingungen in einem Labor sehr nahe kommen.

In Abb. 3.23 ist das auszufüllende Protokoll zur kontinuierlichen Kraftstoffverbrauchsaufzeichnung zu sehen. In der ersten Spalte wird das jeweilige Datum des Aufzeichnungstages eingetragen.

Raupenbagger										
Blatt Nr.:				Fahrer:						
Datum	Betriebsstunden		Diesel-Tanken	Wasser-Füllung	Pausen				Ladespiele	Anmerkung/Tätigkeit
t.m. Abend/Früh	Anfang	Ende	Liter	Liter	Anfang	Ende	Anfang	Ende		Witterung in °C

**Abb. 3.23:** Kraftstoffverbrauchsprotokoll für die kontinuierliche Aufzeichnung beim Hydraulikraupenbagger

Das Eintragen der Betriebsstunden zu Arbeitsbeginn bzw. zu Arbeitsende erfolgt in den Spalten zwei und drei. Daraus ergibt sich die täglich geleistete Arbeitszeit. In der vierten Spalte wird eingetragen, wie viel Diesel an der Zapfsäule getankt wurde. Die fünfte Spalte kommt erst in der Testbetriebsphase mit Kit zum Einsatz, wo Wasser ebenfalls bei Bedarf nach getankt werden muss. Die nächsten vier Spalten sind für die Eintragung der Vormittagspause bzw. Mittagspause reserviert. In die vorletzte Spalte sollen die Lastzyklen des Tages eingetragen werden. Die letzte Spalte ist für Anmerkungen und Aufzeichnungen zur Witterung reserviert, da es aufgrund von Regen zu einer geänderten Materialbeschaffenheit kommt und diese eventuell Auswirkungen auf den Kraftstoffverbrauch haben kann.

### 3.4.2 Radlader

Das Kraftstoffverbrauchsmonitoring wird bei zwei Radladern durchgeführt. Ein Radlader ist in Traismauer im Einsatz, der andere zu untersuchende Radlader verrichtet seinen Betrieb in Zwettl. Das Kraftstoffmonitoring erfolgt bei beiden Baufahrzeugen im laufenden Betrieb.

Die Kraftstoffverbrauchsdaten werden bei den zu untersuchenden Radladern ausschließlich durch die Fahrer notiert. Diese tragen gewissenhaft nach jeder Betankung die Daten in das Aufzeichnungsprotokoll ein und übergeben die ausgefüllten Protokolle den Diplomanden bei den regelmäßigen Besuchen der Mischanlagen. Die Betankung soll jeden Tag in der Früh erfolgen, wobei ein Tankintervall maximal einen Tag betragen soll. Das Ziel der Aufzeichnung ist die Ermittlung des Durchschnittskraftstoffverbrauchs pro Kilometer beziehungsweise des Verbrauchs pro Betriebsstunde. Das Monitoring zum Kraftstoffverbrauch erfolgt nach dem zuvor beschriebenen Terminplan.

Das Aufzeichnungsprotokoll, welches von den Fahrern regelmäßig bei jedem Tankstellenbesuch ausgefüllt wird, ist in Abb. 3.24 ersichtlich. Auf einem Protokollblatt können zwei Tankintervalle eingetragen werden. Im oberen Bereich des Aufzeichnungsprotokolls werden die allgemeinen Daten angegeben, wie Unternehmen, Typenbezeichnung (Kennzeichen), Fahrer und ob mit oder ohne Kit gefahren wird. Eingetragen wird für jedes Tankintervall die fortlaufende Nummer, wann getankt wurde, wie viel Liter Kraftstoff bzw. (mit eingebauten Kit) wie viel Wasser nachgetankt wurde. Zudem werden die Betriebsstunden vom Radlader aufgezeichnet. Außerdem soll die Produktionsleistung der Asphaltmischanlage ins Protokoll eingetragen werden, um auf die Auslastung des Radladers schließen zu können. Dies hat vor allem für den Radlader in Zwettl eine hohe Aussagekraft, da dieses Baufahrzeug nur für die Asphaltmischanlage zuständig ist. Im unteren Bereich sollen außerplanmäßige Tätigkeiten beziehungsweise Betriebszustände (Reparatur, Ausfall

Radlader									
Allgemeine Daten									
Unternehmen (Firma)				Typenbezeichnung					
Fahrer				Mit/ohne Kit					
Tankintervall				Tankintervall					
Tanken Nr. (fortlaufend)				Tanken Nr. (fortlaufend)					
Datum				Datum					
Betriebszeit Anfang				Betriebszeit Anfang					
Betriebszeit Ende				Betriebszeit Ende					
Tankung Wasser [l]				Tankung Wasser [l]					
Tankung Kraftstoff [l]				Tankung Kraftstoff [l]					
Produktionsleistung [to/d]				Produktionsleistung [to/d]					
Kilometerstand Anfang				Kilometerstand Anfang					
Kilometerstand Ende				Kilometerstand Ende					
abweichende Tätigkeiten				abweichende Tätigkeiten					
Art	Kilometerstand		Betriebszeit		Art	Kilometerstand		Betriebszeit	
	Anfang	Ende	Anfang	Ende		Anfang	Ende	Anfang	Ende
Mittagspause					Mittagspause				
Anmerkung				Anmerkung					

Abb. 3.24: Kraftstoffaufzeichnungsprotokoll der Radlader

der Siebanlage oder Asphaltmischanlage etc.) eingetragen und unter dem Punkt „Anmerkungen“ beschrieben werden. Die Betankung der Radlader erfolgt bei der innerbetrieblichen Tankstelle auf dem jeweiligen Testareal.

### 3.4.3 Lastkraftwagen

Das Kraftstoffverbrauchsmonitoring wird bei zwei Lastkraftwagen durchgeführt. Beide Fahrzeuge sind in Trumau (Bezirk Baden) stationiert. Die Kraftstoffverbrauchsdaten werden bei den zu untersuchenden Lastkraftwagen ausschließlich durch die Fahrer protokolliert. Diese tragen gewissenhaft nach jeder Betankung die Daten in das jeweilige Aufzeichnungsprotokoll ein. Letztendlich soll eine Auswertung des Durchschnittsverbrauchs pro km bzw. l/km durch die aufgezeichneten Protokolle möglich sein. Aus zeit- und betriebswirtschaftlichen Gründen entfällt eine tägliche Betankung. Abb. 3.25 zeigt das Aufzeichnungsprotokoll, welches von den Fahrern regelmäßig bei jedem Tankstellenbesuch ausgefüllt wird. Im oberen Bereich des Aufzeichnungsprotokolls werden die allgemeinen Daten, wie Unternehmen, Typenbezeichnung (Kennzeichen), Fahrer und ob ohne oder mit Applikation gefahren wird, angegeben. Darunter sind Angaben zum jeweiligen Tankintervall aufzuzeichnen. Eingetragen wird hierbei die fortlaufende Nummer, wann getankt wurde, wie viel Liter Kraftstoff getankt wurde und, bei Betrieb mit eingebauten Kit, wie viel Wasser nach gefüllt wurde.

In die erste Spalte ist die Tätigkeit (Fahren/Kranbetrieb) einzutragen. In der zweiten und dritten Spalte ist der Kilometerstand der jeweiligen Fahrt zu vermerken. Bei Kranbetrieb können diese Spalten freigelassen werden. In den Spalten vier und fünf sind die Start- und Zielorte einer Fahrt anzugeben. In die Spalten sechs und sieben wird die Kranbetriebsdauer notiert. Die Aufzeichnung der Dauer des Kranbetriebes ist wichtig, da diese Motorleistung nicht im Kilometerstand berücksichtigt wird. In der vorletzten Spalten ist die Beladung des Lastkraftwagen

LKW								
Allgemeine Daten								
Unternehmen (Firma)			Typenbezeichnung					
Fahrer			Mit/ohne Kit					
Tankungsintervall								
Tanken Nr: (fortlaufend)				Datum				
Tankung Kraftstoff [l]				Tankung Wasser [l]				
Tätigkeit	Kilometerstand		Ort		Betriebszeit bei Kranbetrieb		Anhänger	Beladen
Kranbetrieb/Fahren	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Anfang	Ende	Ja/nein	voll/teil/leer

Abb. 3.25: Kraftstoffaufzeichnungsprotokoll der Lastkraftwagen

in drei Abstufungen (voll, teil oder leer) zu protokollieren. Die letzte Spalte gibt Auskunft darüber ob mit oder ohne Anhänger gefahren wird.

Die Beladung und die Verwendung eines Anhängers beeinflussen sehr stark den Kraftstoffverbrauch und werden daher protokolliert. Bei der Art der Beladung wird nur zwischen voll, teil und leer unterschieden. Eine genauere Angabe der Transportmenge ist den Fahrern aus Zeitgründen nicht zumutbar.

#### 3.4.4 Kleintransporter

Die Kraftstoffverbrauchsmessungen bei den drei zu untersuchenden Kleintransportern werden ausschließlich durch die Fahrer selbst durchgeführt. Diese tragen nach jeder Betankung die Daten in das Aufzeichnungsprotokoll ein und übermitteln es an die Diplomanden elektronisch in regelmäßigen Abständen. Das Ziel der Aufzeichnung ist einen Durchschnittsverbrauch pro km bzw. l/km zu erhalten.

Abb. 3.26 zeigt das Aufzeichnungsprotokoll, welches von den Fahrern regelmäßig bei jedem Tankstellenbesuch ausgefüllt wird. In jedes Aufzeichnungsprotokoll werden die allgemeinen Daten eingegeben, wie Unternehmen, Typenbezeichnung (Kennzeichen), Fahrer und ob ohne oder mit verbauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation gefahren wird, oben im Datenblatt. Anschließend sind

Pritsche						
Allgemeine Daten						
Unternehmen (Firma)		Typenbezeichnung				
Fahrer		Mit/ohne Kit				
Tankungsintervall						
Tanken Nr: (fortlaufend)			Datum			
Tankung Kraftstoff [l]			Tankung Wasser [l]			
Anmerkung	Kilometerstand		Ort		Beladen	Anhänger
[/]	Anfang	Ende	Anfang	Ende	voll/teil/leer	Ja/nein

Abb. 3.26: Kraftstoffaufzeichnungsprotokoll der Kleintransporter

Angaben zum jeweiligen Tankintervall zu führen. Genau wie bei den Lastkraftwagen sind hier die fortlaufende Nummer, wann getankt wurde, wie viel Liter Kraftstoff getankt wurde und, bei Betrieb mit eingebauten Kit wie viel Wasser nach gefüllt wurde, einzutragen.

Die erste Spalte ist für Anmerkungen (hierin kann auch das Datum eingetragen werden) aller Art reserviert. In der zweiten und dritten Spalte ist der Kilometerstand der jeweiligen Fahrten einzutragen. In den Spalten vier und fünf sind die Start- und Endorte anzugeben. In der vorletzten Spalten ist die Beladung des Kleintransporter in drei Abstufungen (voll, teil oder leer) zu protokollieren. Die letzte Spalte gibt Auskunft darüber, ob mit oder ohne Anhänger gefahren wurde.

### 3.5 Emissionsmessung

Neben dem Kraftstoffmonitoring wird für die beiden Radlader und den Hydraulikraupenbagger ein Emissionsmonitoring durchgeführt. Das Emissionsmonitoring soll überprüfen, ob die DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation die Emissionen CO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> im Abgas reduziert. Für diese beiden Bestandteile im Abgas sind oft Grenzwerte bei Ausschreibungen z. B. laut *Richtlinie 2004/26/EG Mobile Maschinen und Geräte (Gasförmige Schadstoffe)* in urbanen Gebieten vorgeschrieben. Liegen Baufahrzeuge über diesen Grenzwerten, dürfen diese nicht für das Bauvorhaben eingesetzt werden. Die Applikation soll daher durch Reduzierung der Abgasbestandteile CO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> älteren Baufahrzeuge allenfalls ermöglichen, in Gebieten mit strengen Emissionsgrenzwerten zu arbeiten.

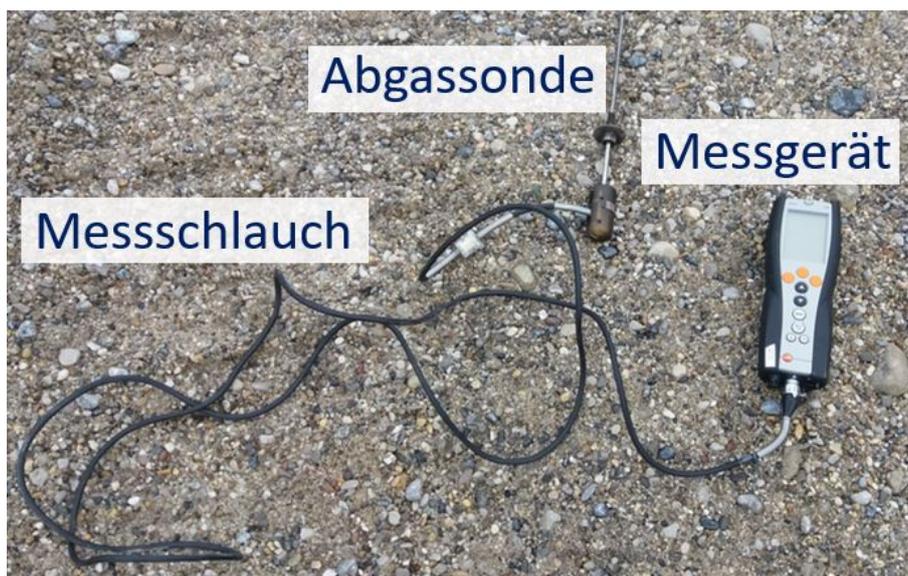
Dieses Monitoring zur Überprüfung der Funktionalität des Kits erfolgt im Gegensatz zur Kraftstoffverbrauchsuntersuchung nicht jeden Tag, sondern punktuell ein- bis zweimal wöchentlich. Die Emissionen von Baufahrzeugen hängen nicht nur von den Motoreigenschaften und der Drehzahl ab, sondern werden auch durch äußere Faktoren beeinflusst. Die Messung der Emissionen von Baufahrzeugen an mehreren verschiedenen Tagen und damit mit unterschiedlichen äußeren Randbedingungen birgt daher von vornherein eine gewisse Ungenauigkeit, da diese Faktoren schwer in ein Ergebnis eingerechnet werden können. Folgende äußere Faktoren beeinflussen die Emissionsmessung:

- Temperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Luftdruck
- Tätigkeit vor der Messung (Pause, Betrieb)  
Diese Beeinflussung wurde möglichst gering gehalten, indem die Messung nie nach einer Pause erfolgte.

#### 3.5.1 Gerätebeschreibung

Die Abgasmessung erfolgt mit Hilfe des akkubetriebenen Abgasanalysegeräts Testo 340. Dieses Produkt ist TÜV-geprüft nach *DIN EN 50379-2:2013-06 (Anforderungen an tragbare elektrische Geräte zur Messung von Verbrennungsparametern von Heizungsanlagen)*. Das Messgerät besteht aus folgenden Bestandteilen (siehe auch Abb. 3.27):

- Abgassonde
- Messschlauch
- Messgerät



**Abb. 3.27:** Abgasanalysegerät Testo 340 [Foto: Urban]

Über die Abgassonde wird das Gasgemisch angesaugt. In der Sonde ist ein Filter enthalten, der verhindert, dass Feststoffe ins Messgerät gelangen und es beschädigen können. Über einen Kunststoffschlauch gelangt anschließend das Gasgemisch ins Messgerät. Im Messgerät befindet sich die Messeinheit und eine Messgaspumpe, welche den nötigen Unterdruck erzeugt, um das Gasgemisch ansaugen zu können. Die Messeinheit besteht aus mehreren Sensoren, welche unterschiedliche Bestandteile im Gas messen können. Insgesamt können bis zu 21 verschiedene Messgrößen bei einer Messung ermittelt werden.

Für die Emissionsauswertung sind folgende Kenngrößen relevant:

- $O_2$
- $CO_2$
- $NO_x$
- $CO_{unv}$
- $CO$
- $NO_2$

Das Messgerät der Fa. Testo besitzt ein Display mit einer Auflösung von 160x240 Pixel. Dieses zeigt alle gemessenen Kenngrößen in Echtzeit an. Das Gerät führt automatisch alle vier Sekunden eine neue Analyse des Gasgemisches durch. Durch manuelles Drücken eines Speicher-Knopfes werden die 21 Messgrößen in eine CSV-Datei gespeichert und über Bluetooth an ein App im Smartphone geschickt.<sup>58</sup>

<sup>58</sup>Vgl. [21] Testo GmbH

### 3.5.2 Messdurchführung

Die Messungen wurden punktuell ein- bis zweimal wöchentlich bei allen Fahrzeugen nach folgenden Ablauf durchgeführt:

1. Starten des Fahrzeuges im Leerlauf (untere definierte Drehzahl ist der Leerlauf)
2. Einschalten und Spülung des Messgeräts  
Beim erstmaligen Aufruf der Gasmessfunktion wird die Messgaspumpe eingeschaltet und die Abgassonde, Messschlauch und das Messgerät mit Frischluft durchgespült. Diese sogenannte Gasnullung dauert 30 Sekunden. In diesem Zeitraum darf sich die Abgassonde nicht im Abgaskanal befinden.
3. Einführen der Abgassonde in den Auspuff
4. Starten der Messung  
Die Anzeige der Messergebnisse werden alle vier Sekunden aktualisiert, aber nicht gespeichert.
5. Speichern der Messwerte, nachdem der  $\text{CO}_{\text{unv}}$ -Wert sich eingependelt hat  
Beim Beginn der Messung braucht das Gerät einige Sekunden bis die Messgrößen sich eingependelt haben. Da der  $\text{CO}_{\text{unv}}$ -Wert den sensibelsten Messwert darstellt, ist dieser der Indikator für den Beginn der Speicherung der Messgrößen. Die Speicherung erfolgt manuell durch Betätigen eines Knopfes alle zehn Sekunden für vier Minuten.
6. Wiederholen des Messvorgangs bei zwei weiteren Motordrehzahlen

Bei jeder Speicherung wird eine eigene CSV-Datei mit bis zu 21 verschiedenen Messgrößen erstellt, welches am Smartphone abgespeichert wird. Bei einer Messung von einem Fahrzeug erhält man daher bis zu 80 CSV-Dateien. Da das Filtern und Zusammenführen dieser enormen Datenmenge in eine Excel-Datei händisch viel Zeit in Anspruch nimmt, wurde in Matlab ein Programm erstellt, welche diese Aufgabe übernimmt.

### 3.6 Problempunkte der Durchführung

Bei der Durchführung des Kraftstoff- und Emissionsmonitorings traten einige Problempunkte auf. Diese sind sehr vielfältig und werden in der folgenden Aufzählung Punkt für Punkt beschrieben:

1. Die Rahmenbedingungen für den Testbetrieb der Kraftstoffverbrauchsaufzeichnungen sind durch den laufenden Betrieb und die vielen Tätigkeitsfelder als nicht konstant einzustufen.
  - a) Der Radlader in der Asphaltmischanlage in Traismauer hat ein sehr umfangreiches Gelände zu bedienen und viele verschiedene Aufgaben zu erfüllen (siehe Kapitel 3.1.1). Somit können die einzelnen Tage der Messungen nicht eins zu eins miteinander verglichen werden und die Mittelwertbildung über die beiden Testzeiträume ohne und mit eingebauter DROP- $\text{NO}_x$ -Applikation führt zwar zu einem Ergebnis, welches aber aufgrund der vielen Unbekannten in Frage zu stellen ist. Da aufgrund dieser Ausgangslage keine Laborbedingungen von Haus aus gegeben sind, können die gewonnenen Daten höchstens zur Trendfeststellung herangezogen werden und als Grundlage für weitere Forschungen dienen.
  - b) Beim Radlader in Zwettl verhält sich die Situation auf dem Testareal ähnlich. Auch hier gehen viele unbekannte Parameter in die Aufzeichnung zum Kraftstoffverbrauch

- ein. Das Gelände der Asphaltmischanlage ist im Verhältnis zur Anlage in Traismauer um einiges kleiner, aber die abwechselnden und nicht überprüfbareren Aufgaben pro Tag erlauben ebenfalls nur eine beschränkte Aussagekraft der gewonnenen Daten und Ergebnisse zum Kraftstoffverbrauch.
2. Ein weiterer Aspekt, welcher die Durchführung des Kraftstoffmonitorings erschwerte, war die Genauigkeit und Regelmäßigkeit der Aufzeichnungen. Eine Bewusstseinsbildung für die Wichtigkeit und Bedeutung einer möglichst gewissenhaften und genauen Protokollierung der Daten war notwendig. Außerdem kam es in Traismauer zu einem Missverständnis in der Aufzeichnungsweise der Stunden. Der Radladerfahrer zeichnete, aufgrund eines Kommunikationsmissverständnisses, immer die Arbeitszeit und nicht die Betriebsstunden des jeweiligen Tages auf. Somit sind die beim Radlader in Traismauer erhaltenen Daten zum Kraftstoffverbrauch aufgrund des Bezugs zu Arbeits- und nicht zu Betriebsstunden kritisch zu hinterfragen.
  3. Das zu Verfügung gestellte Emissionsmessgerät von Testo kristallisierte sich im Laufe des Testbetriebes als nicht ausreichend zuverlässig heraus, da Messwerte teilweise zu Beginn nicht angezeigt wurden und erst nach mehrmaligen Auf- und Abdrehen des Gerätes die Messung der Emissionen ordnungsgemäß funktionierte. Daraufhin veranlassten die Besitzer des Messgerätes Mitte Oktober 2016 eine Reinigung und Neukalibrierung. Nach dieser Instandsetzungsmaßnahme konnte keine wirkliche Verbesserung der Zuverlässigkeit erkannt werden. Während einiger Messungen musste das Geräte immer wieder neu kalibriert werden, da das Messgerät plötzlich die Messergebnisse nicht mehr anzeigte.
  4. Beim Hydraulikraupenbagger ist davon auszugehen, dass der Motor beim Leihgerät gedrosselt wurde, da eine Maximaldrehzahl beim geliehenen Raupenbagger von 1700 U/min vom Baggerfahrer festgestellt wurde. Vergleicht man diesen Wert mit den in Tab. 2.1 angegebenen Leistungsdaten, fällt auf, dass die angegebene Nennleistung von 122 kW erst bei 2000 U/min erreicht wird. Somit ist es nicht möglich, das volle Leistungsspektrum des Motors abzurufen. Nichtsdestotrotz veränderte sich der verfügbare Drehzahlbereich über den gesamten Testzeitraum nicht und diese Drosselung des Motors hat keine Auswirkung auf die gewonnenen Daten bezüglich des Kraftstoffverbrauchs beim Hydraulikraupenbagger.
  5. Der Zustand des Baggers war nach der ersten Inspektion des Baggerfahrers und der Diplomanden zufriedenstellend. Im Laufe der ersten Testwoche trat am Mittwoch, dem 05.10.2016, ein Dichtungsproblem im Bereich der Ölwanne für die Hydraulik auf. Die Ursache konnte trotz intensiver Suche nicht festgestellt werden. Aufgrund des geringen Ölverlustes entschied der Fahrer und die Diplomanden den Betrieb nach einem Tag wieder aufzunehmen. Um eine eventuelle Kontamination des anstehenden Bodens zu vermeiden, wurde eine Wanne unter dem tropfenden Bereich platziert (siehe dazu Abb. 3.28). So konnte eine eventuelle Kontamination des anstehenden Bodens auf jeden Fall vermieden werden.



**Abb. 3.28:** Wanne zum Auffangen des austretenden Öls [Foto: Bisenberger]

Ein weiterer Problemfall einer undichten Stelle trat am Freitag, den 04.11.2016, gegen 9 Uhr auf. Bei einem routinemäßigen Besuch bemerkte einer der Diplomanden, dass eine Flüssigkeit am Drehkranz des Raupenbaggers hinabfloss. Die Ursache dieser Undichtheit ist ein defektes Schauglas, welches den Füllstand des Hydrauliköls im Betrieb anzeigt. Dieses war vermutlich durch die Temperaturdifferenz zwischen Tag und Nacht gesprungen. Das kaputte Schauglas ist in Abb. 3.29 dargestellt und durch die blaue Markierung gekennzeichnet. Mit der Leihfirma wurde in Anbetracht der nur noch verbleibenden Restdauer des Testbetriebes von einer Woche vereinbart, dass eine provisorische Lösung durch den Baggerfahrer die sinnvollste Problemlösung darstellt.



**Abb. 3.29:** Undichtiges Schauglas beim Raupenbagger [Foto: Bisenberger]

Durch diese Problemfälle sind insgesamt drei Aufzeichnungstage ausgefallen. Jedoch konnten diese Ausfälle durch die fachmännische Problemlösungskompetenz des Baggerfahrers relativ schnell behoben werden.

6. Zu Beginn der Testphase beim Raupenbagger wurde gemeinsam mit dem Baggerfahrer der definierte Lastzyklus entwickelt. Dieser Lastzyklus stellte sich im Laufe der ersten Testwoche als ermüdend für den Fahrer heraus, da dieser immer wieder die gleiche Tätigkeit ohne Abwechslung ausführt. Unter diesen Bedingungen des ermüdenden Arbeitsalltages leidet natürlich die Genauigkeit der Datenqualität. Somit entwickelten die Diplomanden das Konzept der stundenweisen Aufzeichnung, welches in Kapitel 4.1.2 genauer beschrieben wird. Durch dieses zusätzliche eingeführte System des Kraftstoffmonitorings konnte eine höhere Datengenauigkeit und Aussagekraft erzielt werden.
7. Bei den untersuchten Lastkraftwagen ist vor allem die Thematik der genauen Aufzeichnung der Beladung ein großer Unsicherheitsfaktor. Da ein beladener LKW einen komplett anderen Kraftstoffverbrauch aufweist als ein leerer Lastkraftwagen, sind die Ergebnisse des Kraftstoffmonitorings zwar als Datengrundlage für weitere Forschungen und eventuell als Tendaussage zu verwenden, aber keinesfalls als repräsentative Aussage zum Kraftstoffverbrauch zu bewerten.
8. Die Emissionen und der Kraftstoffverbrauch von Baufahrzeugen hängen nicht nur von den Motoreigenschaften und der Drehzahl ab, sondern werden auch durch äußere Faktoren beeinflusst. Die Messung der Emissionen von Baufahrzeugen an mehreren verschiedenen Tagen und damit mit unterschiedlichen äußeren Randbedingungen hat daher von vornherein eine gewisse Ungenauigkeit.

Verbesserungsvorschläge zu einem geeigneten Versuchsaufbau sind im Kapitel 6.3 aufgelistet und beschrieben.

# Kapitel 4

## Auswertung des Kraftstoffmonitorings

Die Auswertung des Kraftstoffmonitorings erfolgte für jede Baumaschine bzw. für jedes straßenzugelassene Fahrzeug getrennt. Die Aufzeichnungen zum Kraftstoffverbrauch führen ausschließlich die jeweiligen Maschinisten bzw. Fahrer selbst. Nur eine vollautomatisierte Aufzeichnung könnte eine fast vollständige Genauigkeit ergeben. Zusätzlich waren aufgrund der gegebenen Randbedingungen weitere Unsicherheitsfaktoren vorhanden, welche die Genauigkeit und Präzision der Messungen beeinflussen. Folgende Baumaschinen bzw. straßenzugelassene Fahrzeuge werden untersucht:

- Hydraulikraupenbagger Hitachi ZX225USRLC-3
- Radlader
  - Volvo L120 F
  - Volvo L110 E
- Lastkraftwagen
  - DAF FAT CF 85
  - MAN TGA 33.413
- Kleintransporter
  - VW T5 Bus (2 Fahrzeuge)
  - Mercedes-Benz Sprinter

Die folgenden Unterkapitel geben genauere Beschreibungen und Ausführungen zu den Kraftstoffverbräuchen der untersuchten Fahrzeugen.

### 4.1 Raupenbagger

Der Raupenbagger wurde von der Firma Gerl Baumaschinen Handel Ges.m.b.H für den Zeitraum des Testbetriebes angemietet. Die Anlieferung nach Traismauer fand am Mittwoch, den 28.09.2016, statt; am Tag darauf erfolgte die Erstinspektion gemeinsam mit dem Baggerfahrer (siehe Abb. 4.1), um die Funktionstüchtigkeit der Baumaschine zu überprüfen und eventuell vorhandene Schäden zu dokumentieren. Die Entkoppelung vom laufenden Betrieb gewährleistete eine uneingeschränkte Verfügbarkeit für die Untersuchungen und die Möglichkeit einen vorher definierten Lastzyklus wiederholt auszuführen. Beim Hydraulikraupenbagger gab es ebenso, wie bei allen anderen untersuchten Geräten, eine Testphase ohne eingebauter Applikation und eine zweite Phase mit eingebautem bzw. angeschlossenem Kit. Darüber hinaus ergaben sich wie bei jedem Prozess im Laufe der Durchführung einige Änderungen und Adaptionen. So kam es zu einer Erweiterung der Kraftstoffmonitorings – von einem rein kontinuierlichen Monitoring zu Beginn zu einem



**Abb. 4.1:** Erstinspektion des Baggers

zusätzlichen stündlichen Monitoring mit einer genauen Aufzeichnung der Lastzyklen des Baggers innerhalb des betrachteten Zeitraums.

Die erste Testphase ohne Kit erstreckte sich von 03.10.2016 bis 14.10.2016. Danach erfolgte der Einbau des Kits am 17.10.2016 mit Hilfe eines Mechanikers der Firma Swietelsky. Die zweite Phase des Kraftstoffverbrauchstest umfasste, aufgrund der Feiertage, 3 Arbeitswochen beginnend mit dem 17.10.2016 bis 04.11.2016. Eine dritte Testphase mit wieder ausgebauten Kit sollte der Validierung der ersten Phase dienen und eine bessere Aussagekraft über die Wirkung des Kits liefern. Aufgrund der stabilen Testbedingungen konnte nach Ausbau des Kit diese dritte Testphase noch von 07.11.2016 bis 11.11.2016 angesetzt werden.

#### 4.1.1 Kontinuierliches Kraftstoffmonitoring

Unter dem kontinuierlichen Kraftstoffmonitoring wird die Aufzeichnung der gemittelten stündlichen Kraftstoffverbrauchsrate über den ganzen Arbeitstag verstanden. Da sich aufgrund einiger Randbedingungen Ungenauigkeiten ergeben können, wurde zusätzlich die stündliche Aufzeichnung in das Testprogramm implementiert.

##### **Kontinuierliche Aufzeichnung – Testphase ohne Kit**

Die Testperiode ohne eingebauten Kit erstreckte sich über 2 Arbeitswochen beginnend mit Montag, den 03.10.2016. Tab. 4.1 zeigt die aufgezeichneten Werte des Maschinisten. Am Mittwoch, dem 05.10.2016 konnte der Bagger aufgrund eines Öllecks nicht zur Tankstelle fahren, da aufgrund des austretenden Schmiermittels Kontaminationsgefahr bestand. Dieses Problem wurde am nächsten Tag behoben und so ist der Kraftstoffverbrauch von 19,371/h (Eintrag am 06.10.2016) als ein gemittelter Wert über beide Tage zu verstehen. Am letzten Aufzeichnungstag (14.10.2016) wurden schon stündliche Aufzeichnungen durchgeführt und daher gibt es keinen Durchschnittskraftstoffverbrauch bei der kontinuierlichen Aufzeichnung. Aus statistischen Gründen werden die Extremwerte (rote Zahlen in Tab. 4.1 bei der Durchschnittsberechnung)

**Tab. 4.1:** Kraftstoffmonitoring Raupenbagger kontinuierlich – Testphase ohne Kit

Datum	Betriebsstunden		Betriebsstunden pro Tag [h/d]	Diesel- betankung [l]	Verbrauch pro Stunde [l/h]
	Anfang	Ende			
03.10.2016	11584,9	11588,8	3,9	87,38	22,41
04.10.2016	11588,9	11594,6	5,8	120,72	20,81
05.10.2016	11594,6	11599,5	4,9	—	—
06.10.2016	11599,5	11604,6	5,1	193,72	19,37
07.10.2016	11604,6	11608,1	3,5	88,50	25,29
10.10.2016	11608,1	11613,9	5,8	94,17	16,24
11.10.2016	11613,9	11619,2	5,3	106,68	20,13
12.10.2016	11619,2	11624,9	5,7	109,08	19,14
13.10.2016	11624,9	11631,0	6,1	131,85	21,61
14.10.2016	11631,0	—	—	—	—
<b>Durchschnitt:</b>					<b>20,36</b>

nicht berücksichtigt. Der Durchschnitt des Kraftstoffverbrauchs pro Stunde ergibt sich somit zu 20,36l/h.

Nach der folgenden Testphase mit Kit erfolgte nochmals eine kurze Testphase ohne Kit, deren Ergebnisse listet Tab. 4.2 auf. Während dieser zweiten kit-losen Testphase wurde auf eine stundenweise Aufzeichnung umgestellt, um die Genauigkeit zu erhöhen. Am letzten Tag (11.11.2016) erfolgte die Reinigung und Vorbereitung auf den Transport des Raupenbaggers, aus diesem Grund gibt es an diesem Tag keinerlei Aufzeichnungen.

**Tab. 4.2:** Kraftstoffmonitoring Raupenbagger kontinuierlich – 2. Testphase ohne Kit

Datum	Betriebsstunden		Betriebsstunden pro Tag [h/d]	Diesel- betankung [l]	Verbrauch pro Stunde [l/h]
	Anfang	Ende			
08.11.2016	11691,9	11694,2	4,2	77,20	18,38
09.11.2016	11694,2	11700,1	5,9	—	—
10.11.2016	11700,1	—	—	—	—

### Kontinuierliche Aufzeichnung – Testphase mit Kit

Die Testphase mit eingebauten Kit umfasste 3 Wochen beginnend mit dem 17.10.2016. An diesem Tag erfolgte auch der Einbau des Kits und ab dem nächsten Tag wurde gemessen. Tab. 4.3 listet die vom Baggerfahrer protokollierten Werte. Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch pro Stunde beträgt im Beobachtungszeitraum 19,96l/h – statistisch unberücksichtigt bleiben wieder die Extremwerte (in der Tabelle die roten Zahlen) Am 04.11.2016 wurde die kontinuierliche Aufzeichnung aufgrund einer Undichtigkeit im Hydraulikkreislauf abgebrochen.

Neben Datum und täglichen Betriebsstunden zeigt Tab. 4.4 die Dieselbetankung und die nachgefüllte Menge an destillierten Wasser. Aus diesen beiden Werten berechnet sich der durchschnittliche Wasserverbrauch je getanktem Liter Kraftstoff (letzte Spalte der Tabelle). Die Messung der nachgefüllten Menge an destillierten Wasser wurde mit einem Messbecher durch-

**Tab. 4.3:** Kraftstoffmonitoring Raupenbagger kontinuierlich – Testphase mit Kit

Datum	Betriebsstunden		Betriebsstunden pro Tag [h/d]	Diesel- betankung [l]	Verbrauch pro Stunde [l/h]
	Anfang	Ende			
18.10.2016	11637,8	11643,4	5,6	116,01	20,72
19.10.2016	11643,4	11649,2	5,8	116,79	20,14
20.10.2016	11649,2	11655,1	5,9	113,73	19,28
21.10.2016	11655,1	11658,9	3,8	74,11	19,50
24.10.2016	11658,9	11664,8	5,9	118,76	20,13
25.10.2016	11664,8	11671,0	6,2	123,14	19,86
27.10.2016	11671,0	11676,6	5,6	70,66	12,62
28.10.2016	11676,6	11679,2	2,6	54,33	20,90
02.11.2016	11679,2	11684,7	5,5	114,03	20,73
03.11.2016	11684,7	11690,0	5,3	114,45	21,59
04.11.2016	11690,0	11611,9	1,9	—	—
<b>Durchschnitt:</b>					<b>19,66</b>

geführt. Der durchschnittliche Wasserverbrauch während der gesamten Testphase mit mit Kit beträgt somit 3,37 ml/l pro getanktem Liter Kraftstoff.

**Tab. 4.4:** Übersicht der nachgefüllten Wassermenge – Hydraulikraupenbagger

Datum	Betriebsstunden pro Tag [h/d]	Verbrauch pro Stunde [l/h]	Diesel- betankung [l]	Nachgefüllte Wassermenge [ml]	Wasser pro Liter Diesel [ml/l]	
18.10.2016	5,6	20,72	116,01	450	3,88	
19.10.2016	5,8	20,14	116,79	300	2,57	
20.10.2016	5,9	19,28	113,73	320	2,81	
21.10.2016	3,8	19,50	74,11	160	2,16	
24.10.2016	5,9	20,13	118,76	350	2,95	
25.10.2016	6,2	19,86	123,14	490	3,98	
27.10.2016	5,6	12,62	70,66	400	5,66	
28.10.2016	2,6	20,90	54,33	100	1,84	
02.11.2016	5,5	20,73	114,03	430	3,77	
03.11.2016	5,3	21,59	114,45	420	3,67	
				$\Sigma$ 1.016,01	$\Sigma$ 3.420	<b>3,37</b>

### Zusammenfassung – kontinuierliches Kraftstoffmonitoring

Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch pro Stunde lag in der Testphase ohne Kit bei 20,36 l/h, in der Testphase mit eingebautem Kit bei 19,96 l/h. Die Einsparung in der Testphase mit Kit ist somit 0,40 l/h (ca. 2,0%).

Dabei ist zu beachten, dass aufgrund einiger technischer Probleme einige Testtage zusammen- bzw. komplett ausfielen. Außerdem bedingt die Messung mit der Zapfsäule durch den großflächigen Tank des Raupenbaggers eine Ungenauigkeit, da nur ein um Zentimeter anderer Füllstand des Dieseltanks einen Unterschied von mehreren Litern ausmacht.

#### 4.1.2 Stundenweise Aufzeichnung des Kraftstoffverbrauches

Zur Erhöhung der Genauigkeit wurde im Zuge der Messungen auf eine stundenweise Aufzeichnung gewechselt. Dabei wurde genau eine Stunde betrachtet, in denen der Baggerfahrer den definierten Lastzyklus immer wieder abspult. Es wurde die Anzahl der Lastzyklen von einem Diplomanden vor Ort mitgezählt und anschließend der Kraftstoffverbrauch pro Stunde am Display des Bordcomputers abgelesen. Die Verifizierung dieser Aufzeichnungen erfolgte beim nächsten Tankstellenbesuch. Am Beginn fuhr der Bagger nach jeder Stunde zur Zapfsäule, später dann nach jeweils zwei Stunden. Dies sparte Zeit und schonte zugleich das Kettenlaufwerk des Raupenbaggers. Diese stundenweisen Aufzeichnungen zum Kraftstoffverbrauch wurden bei jedem Besuch vor Ort eines Diplomanden durchgeführt.

##### Stundenweise Aufzeichnung – Testphase ohne Kit

Die Messung des Kraftstoffverbrauches des Baggers ohne Kit erfolgte in der ersten Testphase (am 14.10.2016 und 17.10.2016) und in der dritten Testphase (am 08.11.2016 und 10.11.2016). Tab. 4.5 fasst die gemessenen Werte zusammen. Anzumerken ist, dass am 17.10.2016 vor Einbau des Kits noch stundenweise Messungen durchgeführt wurden. Aufgrund des straffen Zeitplanes kam es an diesem Tag bei der zweiten Stundenzählung zum Abbruch nach 40 Minuten.

**Tab. 4.5:** Kraftstoffmonitoring Raupenbagger Stundenaufzeichnung – Testphase ohne Kit

Datum	Dauer [min]	Kraftstoff- verbrauch [l]	Verbrauch pro Stunde [l/h]	Lastzyklen [LZ]	Verbrauch pro Lastzyklus [l/LZ]
14.10.2016	60,0	24,5	24,6	50	0,49
14.10.2016	60,0	25,0	24,8	52	0,48
17.10.2016	60,0	24,5	24,0	42	0,58
17.10.2016	40,0	16,5	24,5	28	0,39
08.11.2016	60,0	24,5	24,4	41	0,60
08.11.2016	60,0	24,5	24,3	42	0,58
10.11.2016	60,0	24,5	24,3	42	0,58
10.11.2016	60,0	24,5	24,3	43	0,57
<b>Durchschnitt:</b>			<b>24,4</b>	<b>44</b>	

Das Ergebnis des stündlichen Kraftstoffverbrauches ist dadurch nicht verfälscht worden. Es ergibt sich ein durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch pro Stunde von 24,4l/h für den Testbetrieb ohne Kit. Die Anzahl der Lastzyklen pro Stunde beläuft sich im Durchschnitt auf 44 LZ/h.

##### Stundenweise Aufzeichnung – Testphase mit Kit

In Tab. 4.6 sind jene Aufzeichnungen ersichtlich, die im Zeitraum der Testperiode mit Kit von 17.10.2016 bis 04.11.2016 gemacht wurden. Daraus ergibt sich ein durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch pro Stunde von 23,7l/h für die Testphase mit eingebautem Kit. Die ermittelten Lastzyklen pro Stunde betragen im Durchschnitt 42 LZ/h.

**Tab. 4.6:** Kraftstoffmonitoring Raupenbagger Stundenaufzeichnung – Testphase mit Kit

Datum	Dauer [min]	Kraftstoff- verbrauch [l]	Kraftstoffverbrauch pro Stunde [l/h]	Lastzyklen [LZ]	Verbrauch pro Lastzyklus [l/LZ]
27.10.2016	60,0	24,0	24,0	41	0,59
27.10.2016	60,0	24,0	23,7	40	0,60
28.10.2016	60,0	24,0	23,7	42	0,57
28.10.2016	60,0	23,5	23,7	43	0,55
03.11.2016	60,0	23,5	23,5	42	0,56
03.11.2016	60,0	23,5	23,6	42	0,56
<b>Durchschnitt:</b>			<b>23,7</b>	<b>42</b>	

### Zusammenfassung – stundenweise Aufzeichnung

Durch die gleichbleibenden Testbedingungen ergaben sich konstante und aussagekräftige Daten in den Testphasen sowohl mit als auch ohne Kit. Die Reduktion des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs pro Stunde vom Testbetrieb ohne eingebauten Kit zum Testbetrieb mit eingebautem Kit beträgt 0,7 l/h – eine Einsparung von 2,9%. Die Anzahl der Lastzyklen war über die gesamte Testperiode nahezu konstant, mit Ausnahme der Ausreißer am ersten Testtag der stundenweisen Aufzeichnung den 14.10.2016. Bei 1000 Betriebsstunden und einem durchschnittlich angenommenen Dieselpreis von 1,20 €/l ist mit einer Ersparnis von 840 € für den Gerätebetreiber zu rechnen.

### Durchgerechnetes Beispiel Kraftstoffeinsparung beim Bagger laut ÖBGL

In diesem Abschnitt soll verdeutlicht werden, inwieweit die Daten auf kalkulatorischer Basis zum Kraftstoffverbrauch in Liter pro Kilowatt und Stunde [l/kWh] mit den im Zuge des Monitorings beim Raupenbagger erhaltenen Daten übereinstimmen bzw. abweichen. Darüber hinaus wird die Berechnung der Kraftstoffkosten nach ÖBGL mit den gewonnenen Daten zum Kraftstoffverbrauch pro Stunde durchgeführt und das Ergebnis ohne und mit verbauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation verglichen. Abschließend werden über eine angenommene Nutzungsdauer von 7 Jahren (laut ÖBGL) und der Annahme von 10 Betriebsmonaten im Jahr die Kosten für den Kraftstoffverbrauch über die gesamte Nutzungsdauer eines Raupenbaggers berechnet und ebenfalls ein Vergleich der Kosten ohne und mit installierter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation angestellt.

1. Vergleich kalkulatorischer Annahmen zum Kraftstoffverbrauch [l/kWh]

$$\text{Ansatz aus Literatur} = 0,12 - 0,20 \text{ l/kWh} \quad (4.1)$$

$$\text{Verbrauch ohne Kit} = \frac{24,41 \text{ l/h}}{122 \text{ kW}} = 0,2001 \text{ l/kWh} \quad (4.2)$$

$$\text{Verbrauch mit Kit} = \frac{23,71 \text{ l/h}}{122 \text{ kW}} = 0,1941 \text{ l/kWh} \quad (4.3)$$

2. Berechnung der Kraftstoffkosten nach ÖBGL

$$\begin{aligned} \text{Betriebskosten [€/Mo]} &= \text{Leistung [kW]} \cdot \text{Verbrauch [l/kWh]} \cdot \text{Kraftstoffkosten [€/l]} \\ &\quad \cdot \text{LF} \cdot \text{Einsatzstunden/Mo [h/Mo]} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Für den Leistungsfaktor (LF) wird ein Wert von 0,7 angenommen, dieser stellt eine kalkulative Annahme für die Auslastung dieses Gerätes während des Betriebes dar. Die Betriebsstunden pro Monat betragen laut ÖBGL 170 h/Mo und ein Dieselpreis von 1,20 €/l liegt der Berechnung zu Grunde.

- Kraftstoffkosten ohne Kit

$$122 \text{ kW} \cdot 0,2001/\text{kWh} \cdot 1,20 \text{ €/l} \cdot 0,7 \cdot 170 \text{ h/Mo} = 3.484,32 \text{ €/Mo} \quad (4.5)$$

- Kraftstoffkosten mit Kit

$$122 \text{ kW} \cdot 0,1941/\text{kWh} \cdot 1,20 \text{ €/l} \cdot 0,7 \cdot 170 \text{ h/Mo} = 3.384,36 \text{ €/Mo} \quad (4.6)$$

### 3. Kraftstoffkosten über die gesamte Nutzungsdauer

- Ohne Kit

$$3.484,32 \text{ €/Mo} \cdot 10 \text{ Betriebsmonate} \cdot 7 \text{ Nutzungsjahre} = 243.902,40 \text{ €} \quad (4.7)$$

- Mit Kit

$$3.384,36 \text{ €/Mo} \cdot 10 \text{ Betriebsmonate} \cdot 7 \text{ Nutzungsjahre} = 236.905,20 \text{ €} \quad (4.8)$$

- Kraftstoffkostendifferenz auf 10 Nutzungsjahre

$$243.902,40 \text{ €} - 236.905,20 \text{ €} = 6.997,20 \text{ €} \quad (4.9)$$

Die Differenz des monatlichen Ergebnisses beträgt 100 € und jene über die Nutzungsdauer beläuft sich auf 6.997,20 €. In Prozentpunkten ausgedrückt ergibt sich eine Ersparnis von etwa 3% mit im Raupenbagger verbautem Kit. Die Kosten für den Einbau der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation sind in dieser Berechnung nicht berücksichtigt.

## 4.2 Radlader

Das Kraftstoffverbrauchsmonitoring wird bei zwei Radladern durchgeführt. Einer davon verrichtet in Traismauer seinen Dienst, der andere zu untersuchende Radlader ist in Zwettl stationiert. Die Arbeitstätigkeiten dieser Baufahrzeuge sind im Kapitel 3.2.2 beschrieben. Vom Fahrer werden während der Testphase folgende Daten protokolliert:

- Datum
- Betriebsstunden [h]
  - Anfang
  - Ende
- Dieselbetankung [l]
- Kilometerstand laut Tachometer
  - Anfang
  - Ende

### 4.2.1 Radlader Traismauer

Die Aufzeichnungen zum Kraftstoffverbrauch des Radladers in Traismauer fanden im laufenden Betrieb statt. Das Kraftstoffmonitoring des Radladers vom Typ Volvo L110 E führte der Maschinist durchgehend selbst durch. Ein Problem für die Vergleichbarkeit der Messungen stellen die im Kapitel 3.1.1 beschriebenen unterschiedlichen Tätigkeiten dar. Von 03.10.2016 bis 14.10.2016 wurde das Baufahrzeug ohne Kit betrieben. Am 17.10.2016 in der Früh erfolgte der Einbau des Kits. Die Aufzeichnung von 17.10.2016 bis 11.11.2016 erfolgte somit beim Radlader mit Kit.

In den folgenden Unterkapiteln werden jeweils die einzelnen Testphasen ohne und mit verbautem Kit näher betrachtet. Abschließend wird eine Zusammenfassung und Schlussfolgerung aus den erhaltenen Kraftstoffverbrauchswerten gemacht, um einen Vergleich der beiden Testphasen zu erhalten. Bei der statistischen Ermittlung des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs ist anzumerken, dass bei der Auswertung des Kraftstoffverbrauchs der jeweils höchste und niedrigste Wert pro Stunde nicht in die Berechnung der gemittelten Werte einfließt, um zu verhindern, dass einzelne Ausreißer das Ergebnis verfälschen können.

#### Kraftstoffmonitoring – Testphase ohne Kit

Die eigentliche Testphase ohne Kit begann am 26.09.2016 mit der Pre-Testphase, sie dauerte eine Arbeitswoche. In diesem Zeitraum konnte sich der Maschinist des Radladers in Traismauer auf das Prozedere des Kraftstoffmonitorings einstellen und bei eventuellen Rückfragen oder Unklarheiten die Diplomanden kontaktieren. Die aussagekräftige und auszuwertende Aufzeichnung begann am Montag, den 03.10.2016 und erstreckte sich über zwei Arbeitswochen bis zum Freitag, den 14.10.2016. Die in diesem Zeitraum aufgezeichneten Daten und berechneten Parameter sind in Tab. 4.7 ersichtlich. Die im Zuge der Auswertung des Kraftstoffmonitorings berechneten Parameter umfassen:

- Betriebsstunden pro Tag
- Kraftstoffverbrauch pro Stunde
- Kilometer pro Stunde

**Tab. 4.7:** Daten des Kraftstoffmonitorings vom Radlader in Traismauer – Testphase ohne Kit

Datum	Arbeitszeit pro Tag [h]	Kilometer pro Tag [km]	Kraftstoff- betankung [l]	Verbrauch pro Stunde [l/h]	Kilometer pro Stunde [km/h]	Verbrauch pro Kilometer [l/km]
03.10.2016	10,17	43,63	206,00	20,26	4,29	4,72
04.10.2016	9,67	56,20	186,03	19,24	5,81	3,31
05.10.2016	9,67	47,30	173,98	18,00	4,89	3,68
06.10.2016	9,67	51,30	179,97	18,62	5,31	3,51
07.10.2016	11,17	54,40	173,36	15,52	4,87	3,19
10.10.2016	10,17	54,90	157,30	15,47	5,40	2,87
11.10.2016	—	—	—	—	—	—
12.10.2016	15,33	68,80	153,57	10,02	4,49	2,33
13.10.2016	—	—	—	—	—	—
14.10.2016	15,83	73,70	205,24	12,96	4,65	2,78
<b>Durchschnitt:</b>				<b>16,26</b>	<b>5,11</b>	<b>3,18</b>

Am 11.10.2016 und am 13.10.2016 war der Fahrer nicht tanken, daher gibt es für diese Tage Werte. Es wurden statt der Betriebsstunden die Arbeitsstunden aufgezeichnet. Zudem hat der Maschinist nicht die Betriebsstunden, sondern die Arbeitszeit eingetragen. Daher ist die Berechnung des Verbrauches pro Stunde nicht genau. Der Unterschied zwischen Arbeits- und Betriebsstunden ist, dass bei der Arbeitszeit außer der Mittagspause keine anderen Leerlaufzeiten berücksichtigt werden. Die Abweichung zwischen Arbeits- und Betriebszeit dürfte jedoch beim Radlader in Traismauer relativ gering sein, da das Baufahrzeug den ganzen Tag durchgehend betrieben wird. Die Mittagspause wurde mit einer Dauer von 50 Minuten berücksichtigt. Bei Halbtagsarbeit wurde die Arbeitszeit um 20 Minuten reduziert.

Anhand dieser Daten ergibt sich ein durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch von 16,26 l/h bei einer durchschnittlich zurückgelegten Distanz von 5,11 km pro Stunde. Der Kraftstoffverbrauch pro gefahrenem Kilometer beläuft sich in der Testphase ohne angeschlossenen Kit auf 3,18 l/km. Bei der Berechnung der Durchschnittswerte werden der höchste und der niedrigste Tagesverbrauch nicht berücksichtigt, um Ausreißer bei der Berechnung zu eliminieren. Diese Werte sind in Tab. 4.7 rot markiert.

### Kraftstoffmonitoring – Testphase mit Kit

Die zweite Testphase mit Kit begann durch den Einbau des Kits am 17.10.2016. Diese Periode des Testbetriebs erstreckte sich über vier Wochen und endet am Freitag, den 11.11.2016. Die in diesem Zeitraum aufgezeichneten Daten und berechneten Parameter sind in Tab. 4.8 ersichtlich. In diesem Zeitraum fielen einige Feiertage, in denen die Anlage in Traismauer geschlossen ist und daher der Radlader nicht in Betrieb war.

**Tab. 4.8:** Daten des Kraftstoffmonitorings vom Radlader in Traismauer – Testphase mit Kit

Datum	Arbeitszeit pro Tag [h]	Kilometer pro Tag [km]	Kraftstoff- betankung [l]	Verbrauch pro Stunde [l/h]	Kilometer pro Stunde [km/h]	Verbrauch pro Kilometer [l/km]
17.10.2016	10,17	45,20	208,86	20,54	4,45	4,62
18.10.2016	10,17	49,90	144,94	14,26	4,91	2,90
19.10.2016	10,17	65,40	155,05	15,25	6,43	2,37
20.10.2016	—	—	—	—	—	—
21.10.2016	15,25	49,40	212,31	13,41	3,12	4,30
24.10.2016	10,17	47,60	128,44	12,63	4,68	2,70
25.10.2016	10,17	41,70	129,80	12,77	4,10	3,11
27.10.2016	10,17	53,10	156,30	15,37	5,22	2,94
28.10.2016	7,17	43,10	159,80	22,30	6,01	3,71
02.11.2016	10,17	58,60	187,01	18,39	5,76	3,19
07.11.2016	10,17	44,40	169,67	16,39	4,37	3,82
08.11.2016	10,17	46,30	134,61	13,24	4,55	2,91
09.11.2016	10,17	48,10	139,71	13,74	4,73	2,90
10.11.2016	10,17	57,50	141,79	13,95	5,66	2,47
<b>Durchschnitt:</b>				<b>15,10</b>	<b>4,77</b>	<b>3,16</b>

Anhand der Daten aus Tab. 4.8 ergibt sich ein durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch von 15,10 l/h bei einer durchschnittlich zurückgelegten Distanz von 4,77 km pro Stunde. Der Kraftstoffverbrauch pro gefahrenem Kilometer beläuft sich in der Testphase mit angeschlossenen Kit auf 3,16 l/km. Bei der Berechnung der Durchschnittswerte werden der höchste und der niedrigste Tagesverbrauch

nicht berücksichtigt, um Ausreißer bei der Berechnung zu eliminieren. Diese Extremwerte sind in Tab. 4.8 mit roter Schrift markiert.

In Tab. 4.9 ist die Menge des nachgefüllten destillierten Wasser aufgelistet. Das Nachfüllen erfolgte eigenständig vom Fahrer gleich nach dem jeweiligen Tankvorgang. Insgesamt wurde im Zeitraum von 17.10.2016 bis 09.11.2016 eine Menge von 9450 ml destilliertem Wasser nachgefüllt. Aus der Tabelle ist jedoch eine sehr große Varianz zwischen den Durchschnittswerten zu erkennen. Der Fahrer hatte das Wasser immer selbständig nachgefüllt, abgemessen und abgeschätzt, wodurch diese Varianz entstand. Gerade bei geringer Füllmenge ist der Ablesefehler systembedingt sehr hoch. Daher ist nur der ermittelte Durchschnittsverbrauch über die gesamte Messdauer einigermaßen aussagekräftig, da sich die Ablesefehler ausgleichen. Anhand der Daten aus Tab. 4.9 ergibt sich daher ein durchschnittlicher Wasserverbrauch von 4,91 ml pro Liter Kraftstoff. Der Wasserverbrauch pro gefahrenem Kilometer beläuft sich in diesem Zeitraum auf 15,94 ml/km.

**Tab. 4.9:** Übersicht der nachgefüllten Wassermenge – Radlader Traismauer

Datum	Nachgefüllte Wassermenge [ml]	Kraftstoffbetankung [l]	Gefahrene Kilometer [km]	Wasser pro Liter Diesel [ml/l]	Wasser pro Kilometer [ml/km]
18.10.2016	2700	353,80	95,10	7,63	28,39
19.10.2016	1000	155,05	65,40	6,45	15,29
21.10.2016	750	212,31	49,40	3,53	15,18
25.10.2016	500	258,24	89,30	1,94	5,60
27.10.2016	1000	156,30	53,10	6,40	18,83
02.11.2016	1500	346,81	101,70	4,33	14,75
07.11.2016	1500	169,67	44,40	8,84	33,78
09.11.2016	500	274,32	94,40	1,82	5,30
<b>Durchschnitt:</b>				<b>4,91</b>	<b>15,94</b>

### Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die berechneten Durchschnittswerte des Kraftstoffmonitorings sind in Tab. 4.10 zusammengefasst. Der durchschnittliche Verbrauch pro Stunde konnte von 16,26 l/h ohne Kit auf 15,10 l/h (mit Kit) gesenkt werden, das entspricht einer Einsparung um 7,15%. Da auch die Kilometerleistung um 9,43% sank, ergibt sich eine kaum merkbare Senkung des Kraftstoffverbrauchs pro km um 0,83%. Aufgrund der oben dargestellten Ergebnisse ist keine Tendenz über eine mögliche Reduktion des Kraftstoffverbrauches zu erkennen. Damit die Kraftstoffmessungen eine Aussagekraft besitzen, muss das untersuchte Fahrzeug immer die gleichen Tätigkeiten ausführen. Die gleichbleibende Tätigkeit konnte jedoch am Standort Traismauer nicht erzielt werden, wodurch die Ergebnisse eine

**Tab. 4.10:** Durchschnittswerte des Kraftstoffmonitorings des Radladers in Traismauer

Testphase	Durchschnittlicher Verbrauch pro Stunde [l/h]	Durchschnittliche Kilometer pro Stunde [km/h]	Verbrauch pro km [l/km]
ohne/mit Kit			
ohne Kit	16,26	5,11	3,18
mit Kit	15,10	4,77	3,16
Veränderung in %	-7,15	-9,43	-0,85

hohe Schwankungsbreite besitzen. Der Radlader hatte verschiedenste Aufgaben in unregelmäßig Abständen zu erledigen, außerdem musste er die unterschiedlichsten Materialien transportieren. Dieser Umstand ist vor allem in den großen täglichen Verbrauchsschwankungen zu erkennen. Die Standardabweichung für den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch pro Kilometer in der Testphase ohne Kit beträgt daher 10% und in der Testphase mit Kit 16%. Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, ist ein längerer Betrachtungszeitraum bei gleichbleibender Tätigkeit erforderlich.

#### 4.2.2 Radlader Zwettl

Die Aufzeichnungen zum Kraftstoffverbrauch beim Radlader in der Mischanlage in Zwettl erfolgten unter laufendem Betrieb, daher ist mit gewissen Schwankungen bei den gemessenen Daten von vornherein zu rechnen. Das Kraftstoffmonitoring beim Radlader vom Typ Volvo L120 F wurde vom Maschinisten durchgehend durchgeführt. Somit ist eine entsprechende Datengrundlage gewährleistet und Aussagen zur Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs sind somit möglich. In den folgenden Unterkapiteln werden jeweils die einzelnen Testperioden ohne und mit verbautem Kit näher betrachtet. Abschließend werden eine Zusammenfassung und Schlussfolgerung aus den erhaltenen Kraftstoffverbrauchswerten erstellt, um einen Vergleich der beiden Testphasen herzustellen.

Allgemein anzumerken ist, dass bei der Auswertung des Kraftstoffverbrauchs der jeweils höchste und niedrigste Wert des Kraftstoffverbrauchs pro Stunde nicht in die Berechnung der gemittelten Werte einfließt. So sollen vereinzelte statistische Ausreißer eliminiert werden, damit es zu keiner Verfälschung des Ergebnisses kommen kann.

##### **Kraftstoffmonitoring – Testphase ohne Kit**

Die eigentliche Testphase ohne Kit begann bereits am 26.09.2016 mit der Pre-Testphase. In diesem Zeitraum konnte sich der Maschinist des Radladers in Zwettl auf das Prozedere des Kraftstoffmonitorings einstellen und bei eventuellen Rückfragen oder Unklarheiten die Diplomanden zur Lösung des Problems kontaktieren. Die aussagekräftige und ausgewertete Aufzeichnung begann am Montag, den 03.10.2016 begonnen und erstreckte sich über zwei Arbeitswochen bis zum Freitag, den 14.10.2016.

Tab. 4.11 listet die aufgezeichneten Daten sowie die daraus berechneten Durchschnittswerte. Die im Zuge der Auswertung des Kraftstoffmonitorings berechneten Parameter umfassen:

- Betriebsstunden pro Tag
- Kraftstoffverbrauch pro Stunde
- Kilometer pro Stunde

**Tab. 4.11:** Daten des Kraftstoffmonitorings des Radladers in Zwettl – Testphase ohne Kit

Datum	Betriebs- stunden [h/d]	Kilometer pro Tag [km]	Kraftstoff- betankung [l]	Verbrauch pro Stunde [l/h]	Kilometer pro Stunde [km/h]	Verbrauch pro Kilometer [l/km]
03.10.2016	14,0	46,0	130,0	9,29	3,29	2,83
04.10.2016	6,0	18,9	60,0	10,00	3,15	3,17
05.10.2016	12,0	40,4	108,0	9,00	3,37	2,67
06.10.2016	10,0	32,0	86,0	8,60	3,20	2,69
07.10.2016	7,0	23,2	58,0	8,29	3,31	<b>2,50</b>
10.10.2016	9,0	30,8	79,0	8,78	3,42	2,56
11.10.2016	5,0	12,2	37,0	<b>7,40</b>	2,44	3,03
12.10.2016	5,0	16,4	52,0	<b>10,40</b>	3,28	<b>3,17</b>
13.10.2016	12,0	32,2	99,0	8,25	2,68	3,07
14.10.2016	5,0	16,9	49,0	9,80	3,38	2,90
<b>Durchschnitt:</b>				<b>8,92</b>	<b>3,16</b>	<b>2,82</b>

Anhand dieser Daten ergibt sich ein durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch von 8,92 l/h bei einer durchschnittlich zurückgelegten Distanz von 3,16 km pro Stunde. Der Kraftstoffverbrauch pro gefahrenem Kilometer beläuft sich in der Testphase ohne angeschlossenen Kit auf 2,82 l/km. Bei der Berechnung der Durchschnittswerte werden der höchste und der niedrigste Tagesverbrauch nicht berücksichtigt, um Ausreißer bei der Berechnung zu eliminieren. Diese Extremwerte sind in Tab. 4.11 mit roter Schrift markiert.

#### Kraftstoffmonitoring – Testphase mit Kit

Die zweite Testphase mit Kit wurde durch den Einbau des Kits am 17.10.2016 eingeleitet. Diese Periode des Testbetriebs erstreckt sich über vier Wochen und endet am Freitag, den 11.11.2016. In Tab. 4.12 sind alle aufgezeichneten Daten zum Kraftstoffmonitoring mit angeschlossenen Kit des Radladers in Zwettl nachzulesen. Es ergibt sich ein durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch pro Stunde von 9,41 l/h bei einer gefahrenen Distanz von 3,33 km/h. Der Kraftstoffverbrauch pro Kilometer im Mittel steht mit 2,80 l/km zu Buche. Bei der Berechnung der Durchschnittswerte werden der höchste und der niedrigste Tagesverbrauch nicht berücksichtigt, um Ausreißer bei der Berechnung zu eliminieren. Diese Extremwerte sind in Tab. 4.12 in roter Schrift angeführt.

Die Auffüllung der Wasserbehälter des Kits erfolgte lediglich an zwei Tagen, da laut Aussage des Maschinisten kein Bedarf zum Nachfüllen bestand. Am 07.11.2016 wurden 3000 ml und zusätzlich am 09.11.2016 800 ml an destilliertem Wasser in die Behälter des Kits gefüllt. Insgesamt verbrauchte der Radlader im Zeitraum vom 17.10.2016 bis 10.11.2016 8300 ml destilliertes Wasser (inklusive des beim Einbau im Behälter vorhandenen Wasser). Im Mittel ergibt dies einen Wasserverbrauch von 21,68 ml/km auf die gefahrenen Kilometer bzw. 7,65 ml/l pro getanktem Liter Dieselmotorkraftstoff.

**Tab. 4.12:** Daten des Kraftstoffmonitorings des Radladers in Zwettl – Testphase mit Kit

Datum	Betriebs- stunden [h/d]	Kilometer pro Tag [km]	Kraftstoff- betankung [l]	Verbrauch pro Stunde [l/h]	Kilometer pro Stunde [km/h]	Verbrauch pro Kilometer [l/km]
17.10.2016	8,0	31,1	89,0	11,13	3,89	2,86
18.10.2016	5,0	14,7	44,0	8,80	2,94	2,99
19.10.2016	8,0	32,4	82,0	10,25	4,05	2,53
20.10.2016	9,0	29,6	80,0	8,89	3,29	2,70
21.10.2016	3,0	9,8	26,0	8,67	3,27	2,65
24.10.2016	10,0	30,6	86,0	8,60	3,06	2,81
25.10.2016	4,0	14,7	40,0	10,00	3,67	2,72
27.10.2016	8,0	24,0	63,0	7,88	3,00	2,63
28.10.2016	4,0	12,5	35,0	8,75	3,13	2,80
02.11.2016	11,0	34,3	119,0	10,82	3,12	3,47
03.11.2016	8,0	24,8	72,0	9,00	3,10	2,90
04.11.2016	6,0	16,0	46,0	7,67	2,67	2,88
07.11.2016	8,0	30,3	84,0	10,50	3,79	2,77
08.11.2016	9,0	29,0	88,0	9,78	3,22	3,03
09.11.2016	9,0	32,2	88,0	9,78	3,58	2,73
10.11.2016	5,0	16,9	43,0	8,60	3,38	2,54
<b>Durchschnitt:</b>				<b>9,41</b>	<b>3,33</b>	<b>2,80</b>

### Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die berechneten Durchschnittswerte des Kraftstoffmonitorings sind in Tab. 4.13 zusammengefasst. Der durchschnittliche Verbrauch pro Stunde stieg um 5,45% auf 9,41 l/h bei Verwendung des Kits bei einer gleichzeitig um 5,21% gesteigerte Kilometerleistung (auf 3,33 km/h mit Kit). Der Kraftstoffverbrauch pro Kilometer konnte um 1,0% gesenkt werden. Die Standardabweichung für den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch pro Kilometer beträgt in der Testphase ohne Kit jedoch 7% und in der Testphase mit Kit 5%. Daher liegt die Kraftstoffreduktion im Schwankungsbereich der Messung. Aus den in der Tabelle dargestellten Ergebnissen und die durch den täglich im laufenden Betrieb leicht ändernden Randbedingungen, kann keine Aussage über eine mögliche Reduktion des Kraftstoffverbrauches getroffen werden. Um ein eindeutiges Ergebnis zu erhalten, wäre ein längerer Betrachtungszeitraum bei gleichbleibender Tätigkeit erforderlich.

**Tab. 4.13:** Durchschnittswerte des Kraftstoffmonitorings des Radladers in Zwettl

Testphase	Durchschnittlicher Verbrauch pro Stunde [l/h]	Durchschnittliche Kilometerleistung pro Stunde [km/h]	Verbrauch pro km [l/km]
ohne/mit Kit			
ohne Kit	8,92	3,16	2,82
mit Kit	9,41	3,33	2,80
Veränderung in %	5,45	5,21	-1,03

## 4.3 Lastkraftwagen

Das Kraftstoffverbrauchsmonitoring wurde bei zwei Lastkraftwagen durchgeführt. Beide Fahrzeuge waren in Trumau (Bezirk Baden) stationiert, wobei ihr Einsatzgebiet ganz Ostösterreich umfasste. Bei diesen Fahrzeugen handelt es sich um:

- Lastkraftwagen DAF
- Lastkraftwagen MAN

Die Kraftstoffverbrauchsdaten wurden bei den zu untersuchenden Lastkraftwagen während des täglichen Betriebs ermittelt. Aus zeit- und betriebswirtschaftlichen Gründen war eine tägliche Betankung wie bei den Radladern und Raupenbaggern nicht möglich. Die Arbeitstätigkeiten dieser Baufahrzeuge sind im Kapitel 3.2.3 beschrieben. Vom Fahrer wurden während der Testphase, wie in Kapitel 3.4.3 dargestellt, folgende für die Auswertung relevanten Daten protokolliert:

- Datum
- Dieseltankung
- Betriebszeit Kran
- mit/ohne Anhänger
- Beladung (voll/teil/leer)
- Kilometerstand laut Tachometer

Die exakte Fahrstrecke kann aufgrund fehlender Telematikaufzeichnung bei den zu untersuchenden Lastkraftwagen nicht bestimmt werden. Daher ist die Unterteilung der Fahrten in innerstädtische bzw. Überlandfahrten in der Auswertung nicht möglich.

Der Zeitraum der Aufzeichnung des Kraftstoffmonitorings erstreckte sich von Montag, den 26.09.2016 bis Freitag, den 11.11.2016; das waren somit insgesamt sieben Wochen. Die Testperiode war in eine Phase ohne Kit und eine mit angeschlossenem Kit unterteilt. Die erste Phase des Testbetriebs erstreckte sich über drei Wochen (von 26.09.2016 bis 14.10.2016). Am Montag, den 17.10.2016 erfolgte der Einbau des Kits. Die zweite Periode mit Kit begann am Tag des Einbaus, den 17.10.2016 und endete vier Wochen später am 11.11.2016. Die Aufzeichnung der Kraftstoffverbräuche erfolgte, nach einmaliger Einschulung durch die Diplomanden, von jedem Fahrer eigenverantwortlich.

### 4.3.1 Lastkraftwagen DAF

Der Lastkraftwagen von DAF war bereits mit einem Kit der ersten Version des Kits vor Beginn der Untersuchungen bestückt. Dieses Kit wurde zwei Wochen vor Beginn des Testbetriebes abgeschlossen, damit es die Phase ohne Kit von 26.09.2016 bis 14.10.2016 nicht beeinflusste.

In Tab. 4.14 ist exemplarisch ein ausgewähltes Tankintervall ohne angeschlossenem Kit dargestellt, um die Systematik der Aufzeichnung besser nachvollziehen zu können. Der Kranbetrieb wurde für die Auswertung bereits aus dem Protokoll des Fahrers in eine Position zusammengerechnet. In diesem Tankintervall wurden in Summe 732 km zurückgelegt und die getankte Menge an der Zapfsäule betrug 270 l. Dies ergab einen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 0,371/l/km. Die Protokolle der gesamten Tankintervalle sind im Anhang enthalten.

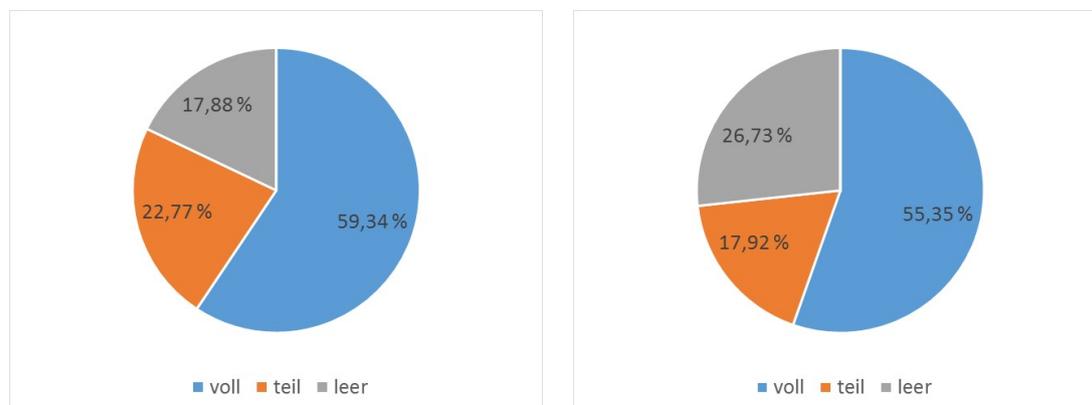
**Tab. 4.14:** Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen DAF – Tankintervall in Testphase ohne Kit

Datum	Tätigkeit [-]	Kilometer		Kilometer [Summe]	Anhänger [Ja/Nein]	Beladung [voll/teil/leer]
		[Anfang]	[Ende]			
26.09.2016	Fahren	232.826	232.857	31,00	nein	teil
	Fahren	232.857	232.889	32,00	nein	teil
	Fahren	232.889	232.941	52,00	nein	leer
	Fahren	232.941	232.982	41,00	nein	voll
	Fahren	232.982	233.164	182,00	nein	voll
27.09.2016	Fahren	233.164	233.206	42,00	nein	voll
	Fahren	233.206	233.244	38,00	nein	teil
	Fahren	233.244	233.267	23,00	nein	voll
	Fahren	233.267	233.303	36,00	nein	teil
	Fahren	233.303	233.345	42,00	nein	voll
28.09.2016	Fahren	233.345	233.385	40,00	nein	voll
	Fahren	233.385	233.417	32,00	ja	leer
	Fahren	233.417	233.451	34,00	ja	voll
	Fahren	233.451	233.483	32,00	nein	voll
	Fahren	233.483	233.491	8,00	nein	voll
28.09.2016	Fahren	233.491	233.518	27,00	nein	teil
	Fahren	233.518	233.558	40,00	nein	voll
	Kranbetrieb			4,50 [h]		
28.09.2016	Tankung	270 [l]	Summe	732 [km]		

In Tab. 4.15 ist zum Vergleich ein Tankintervall mit angeschlossenem Kit angeführt. In diesem Tankintervall wurden in Summe 614 km zurückgelegt und an der Zapfsäule wurde das Fahrzeug mit 275 l vollgetankt. Dies ergibt einen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 0,45 l/km. Tab. 4.16 stellt die getankte Menge und die gefahrenen Kilometer aller Tankintervalle übersichtlich dar. Für das zweite Tankintervall von 29.09.2016 bis 11.10.2016 wurde vom Fahrer kein Protokoll geführt worden. Der einzige Kennwert ist die Kilometerangabe. Dieses Tankintervall wird daher für die weitere Auswertung nicht weiter berücksichtigt. Anhand des Kraftstoffverbrauchs pro Kilometer und Tankintervall ergibt sich der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch zu 0,42 l/km (Testphase ohne Kit) und 0,43 l/km (Testphase mit Kit). Der Kraftstoffverbrauch hängt stark davon ab, ob der Lastkraftwagen mit Anhänger fährt. Daher ist in Tab. 4.17 der Anhängerfahranteil für den Betrieb ohne Kit und mit Kit gegenübergestellt. Beim Kranbetrieb wird je nach Hebegewicht eine höhere Motorleistung benötigt. Der im Zuge des Kranbetriebes verbrauchte Kraftstoff ist ebenso zu berücksichtigen. Die durchschnittliche Kranbetriebsdauer pro 100 km für den Betrieb ohne und mit Kit wird daher ebenfalls in der Tab. 4.17 dargestellt. Eine weitere wesentliche Einflussgröße ist die Beladung. Der Lastkraftwagen kann bis zu 10,1 to Nutzlast transportieren. Bei der Protokollierung der Beladung wird zwischen voll, teil und leer unterschieden. In Abb. 4.2 ist die Beladeverteilung für beide Testphasen dargestellt. In Tab. 4.16 ist ersichtlich, dass der Kraftstoffverbrauch in der Testphase mit Kit pro Kilometer geringfügig höher liegt, als beim Betrieb ohne Kit. Im Gegenzug sind aber auch die Kranbetriebsdauer pro 100 km und der Anhängeranteil in den Tankintervallen der Testphase mit Kit um 39% beziehungsweise 53% höher als in den Tankintervallen ohne Kit. Diese beiden Faktoren erhöhen natürlich den Kraftstoffverbrauch vom Lastkraftwagen. Andererseits ist dafür der Beladungszustand leer anteilmäßig auf die Gesamtkilometer bei Fahrten mit Kit höher als bei jenen ohne Kit. Auf

**Tab. 4.15:** Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen DAF – Tankintervall in Testphase mit Kit

Datum	Tätigkeit [-]	Kilometer		Kilometer [Summe]	Anhänger [Ja/Nein]	Beladung [voll/teil/leer]
		[Anfang]	[Ende]			
17.10.2016	Fahren	235.567	235.654	87,00	ja	voll
	Fahren	235.654	235.707	53,00	ja	leer
	Fahren	235.707	235.720	13,00	nein	voll
	Fahren	235.720	235.733	13,00	nein	voll
	Fahren	235.733	235.746	13,00	nein	voll
	Fahren	235.746	235.763	17,00	nein	voll
	Fahren	235.763	235.809	46,00	ja	leer
18.10.2016	Fahren	235.809	235.897	88,00	ja	voll
	Fahren	235.897	235.949	52,00	ja	voll
	Fahren	235.949	235.990	41,00	ja	leer
	Fahren	235.990	236.010	20,00	nein	leer
	Fahren	236.010	236.041	31,00	nein	leer
	Fahren	236.041	236.086	45,00	nein	voll
19.10.2016	Fahren	236.086	236.137	51,00	nein	leer
	Fahren	236.137	236.181	44,00	nein	voll
	Kranbetrieb			11,75 [h]		
19.10.2016	Tankung	275 [l]	Summe	614 [km]		

**Abb. 4.2:** Beladeverteilung LKW DAF (Anteil Wegstrecke) während des Betriebs ohne Kit (links) und mit Kit (rechts)

Grund der oben beschriebenen Ergebnisse ist keine klare Aussage über eine mögliche Reduktion des Kraftstoffverbrauches möglich. Die Aussagekraft der Ergebnisse wird aufgrund von zusätzlich nicht erfassbaren Randbedingungen gemindert. Zum Beispiel ist nicht erfasst, welche Straßen mit welchem Verkehrsaufkommen für die jeweilige Route benutzt wurden oder wie viel wirklich im Anhänger geladen war. Vor allem bei der Angabe der Beladungsart und der Kranbetriebsdauer ist eine gewisse Unsicherheit gegeben. Um ein aussagekräftigeres Ergebnis zu erhalten, empfiehlt es sich das Monitoring in Zukunft auf einem Rollstand durchzuführen.

**Tab. 4.16:** Kraftstoffmonitoring Tankintervallübersicht – Lastkraftwagen DAF

Tankintervall	Datum		Liter [l]	Kilometer [km]	Verbrauch [l/km]
	[Anfang]	[Ende]			
ohne Kit					
1	26.09.2016	28.09.2016	270	732	0,37
2	29.09.2016	09.10.2016	—	1494	—
3	11.10.2016	14.10.2016	250	515	0,49
			$\Sigma$ 520	$\Sigma$ 1247	<b>0,42</b>
mit Kit					
1	17.10.2016	19.10.2016	275	614	0,45
2	19.10.2016	25.10.2016	270	612	0,44
3	27.10.2016	03.11.2016	179	476	0,38
			$\Sigma$ 724	$\Sigma$ 1702	<b>0,43</b>

**Tab. 4.17:** Anhängeranteil und Kranbetriebsdauer pro 100 km – Lastkraftwagen DAF

	ohne Kit	mit Kit
Kranbetrieb [Stunde pro 100 km]	1,38	1,92
Anhängeranteil [%]	21,81	33,43

### 4.3.2 Lastkraftwagen MAN

Der Lastkraftwagen MAN war bereits mit Version 1 des Kits bestückt. Dieses Gerät wurde zwei Wochen vor Beginn der Testphase abgeschlossen, damit es die Phase ohne Kit nicht beeinflusst.

In Tab. 4.18 ist exemplarisch ein Tankintervall der Testphase ohne Kit ersichtlich, um die Systematik der Aufzeichnung besser nachvollziehen zu können. Der Kranbetrieb wurde für die Auswertung bereits aus dem Protokoll des Fahrers in eine Position zusammengerechnet. In diesem Tankintervall wurden in Summe 473 km zurückgelegt und an der Zapfsäule wurde das Fahrzeug mit 236l betankt. Dies ergibt einen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 0,56l/km. Die Protokolle der gesamten Tankintervalle sind im Anhang enthalten.

In Tab. 4.19 ist zum Vergleich ein Tankintervall der Testphase mit angeschlossenem Kit zu sehen. In diesem Tankintervall wurden in Summe 687km zurückgelegt und an der Zapfsäule wurde das Fahrzeug mit 300l betankt. Dies ergibt einen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 0,44l/km.

In Tab. 4.20 sind das Tankvolumen und die gefahrenen Kilometer aller Tankintervalle übersichtlich dargestellt. Beim ersten Tankintervall der Testphase mit Kit beträgt der Kraftstoffverbrauch von 0,91l/km. Dieser hohe Verbrauchswert kommt dadurch zu Stande, dass zwischen 11.10.2016 und 17.10.2016 keine Aufzeichnungen geführt wurden. Dieses Tankintervall wird daher für die weitere Auswertung nicht berücksichtigt. Ab dem 27.10.2016 sind keine verwertbaren Aufzeichnungen vorhanden. Aufgrund dieser beiden Umstände steht für die Kraftstoffverbrauchsauswertung nur ein Tankintervall mit Kit zur Verfügung. Außerdem ist anzumerken, dass ab dem 03.10.2016 ein anderer Fahrer mit dem Lastkraftwagen fuhr. Anhand des Kraftstoffverbrauchs pro Kilometer und Tankintervall aus Tab. 4.20 kann der gesamte durchschnittliche Verbrauch pro Kilometer ohne und mit Kit berechnet werden. Der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch beträgt in der

**Tab. 4.18:** Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen MAN – Tankintervall in Testphase ohne Kit

Datum	Tätigkeit [-]	Kilometer		Kilometer [Summe]	Anhänger [Ja/Nein]	Beladung [voll/teil/leer]	
		[Anfang]	[Ende]				
04.10.2016	Fahren	350.341	350.376	35,00	ja	teil	
	Fahren	350.376	350.447	71,00	ja	teil	
05.10.2016	Fahren	350.447	350.454	7,00	nein	leer	
	Fahren	350.454	350.474	20,00	nein	teil	
	Fahren	350.474	350.504	30,00	nein	voll	
06.10.2016	Fahren	350.504	350.544	40,00	nein	leer	
	Fahren	350.544	350.564	20,00	nein	teil	
	Fahren	350.564	350.604	40,00	nein	teil	
	Fahren	350.604	350.614	10,00	nein	teil	
	Fahren	350.614	350.633	19,00	nein	voll	
	Fahren	350.633	350.669	36,00	nein	voll	
	Fahren	350.669	350.704	35,00	nein	teil	
	Fahren	350.704	350.740	36,00	nein	teil	
	Fahren	350.740	350.762	22,00	nein	teil	
	Fahren	350.762	350.789	27,00	nein	teil	
	Fahren	350.789	350.814	25,00	nein	teil	
		Kranbetrieb			9,25 [h]		
	06.10.2016	Tankung	236 [l]	Summe	473 [km]		

Testphase ohne Kit 0,41 l/km und in jener mit Kit 0,44 l/km. Der Kraftstoffverbrauch hängt stark davon ab, ob der Lastkraftwagen mit einem Hänger fährt. Daher wird in Tab. 4.21 der Anhängerfahranteil für den Betrieb ohne und mit Kit gegenübergestellt. Beim Kranbetrieb wird je nach Hebegewicht eine höhere Motorleistung benötigt. Der im Zuge des Kranbetriebes verbrauchte Kraftstoff ist daher zu berücksichtigen. Die durchschnittliche Kranbetriebsdauer pro 100 km für den Betrieb mit und ohne Kit wird in Tab. 4.21 dargestellt. Eine weitere wesentliche Einflussgröße ist die Beladung. Der Lastkraftwagen kann bis zu 11,4 to Nutzlast transportieren. Bei der Beladungsprotokollierung wird zwischen voll, teil und leer unterschieden. In Abb. 4.3 ist die Beladungsverteilung für beide Testphase dargestellt. Die Beladung in der Testphase ohne Kit wurde lückenhaft dokumentiert, wodurch bei ca. 14% der Streckenlänge keine Beladungsart zugewiesen werden konnte.

In Tab. 4.20 ist ersichtlich, dass der Kraftstoffverbrauch mit Kit pro Kilometer höher ist, als beim Betrieb ohne Kit. Im Gegenzug ist aber auch die Kranbetriebsdauer pro 100 km in den Tankintervallen mit Kit um 160% höher als in den Tankintervallen ohne Kit. Andererseits ist dafür der Anhängeranteil in den Tankintervallen ohne Kit viermal so groß als in den Intervallen mit Kit. Über die Beladungsverteilung des Lastkraftwagens innerhalb des Testzeitraumes kann aufgrund zu weniger Informationen keine Aussage getroffen werden. Anhand dieser Ergebnisse ist kein klarer Trend über eine mögliche Reduktion des Kraftstoffverbrauches zu erkennen.

**Tab. 4.19:** Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen MAN – Tankintervall in Testphase mit Kit

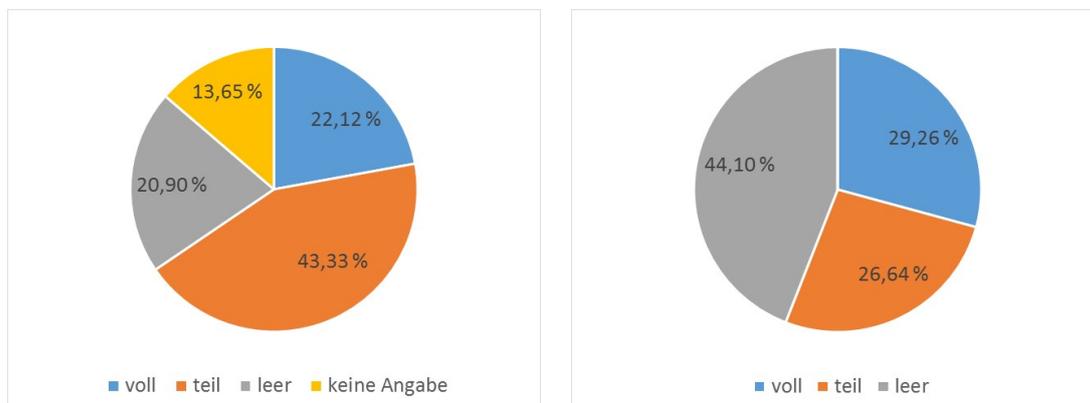
Datum	Tätigkeit [-]	Kilometer		Kilometer [Summe]	Anhänger [Ja/Nein]	Beladung [voll/teil/leer]
		[Anfang]	[Ende]			
20.10.2016	Fahren	352.115	352.130	15,00	nein	leer
	Fahren	352.130	352.167	37,00	nein	leer
	Fahren	352.167	352.212	45,00	nein	voll
	Fahren	352.212	352.217	5,00	nein	leer
	Fahren	352.217	352.262	45,00	nein	voll
	Fahren	352.262	352.321	59,00	nein	leer
21.10.2016	Fahren	352.321	352.336	15,00	nein	voll
	Fahren	352.336	352.359	23,00	nein	teil
	Fahren	352.359	352.384	25,00	nein	teil
	Fahren	352.384	352.390	6,00	nein	leer
	Fahren	352.390	352.415	25,00	nein	leer
24.10.2016	Fahren	352.415	352.444	29,00	nein	teil
	Fahren	352.444	352.453	9,00	nein	teil
	Fahren	352.453	352.483	30,00	nein	leer
	Fahren	352.483	352.516	33,00	nein	leer
	Fahren	352.516	352.528	12,00	nein	leer
25.10.2016	Fahren	352.528	352.534	6,00	nein	leer
	Fahren	352.534	352.552	18,00	nein	teil
	Fahren	352.552	352.577	25,00	nein	voll
	Fahren	352.577	352.586	9,00	nein	teil
	Fahren	352.586	352.596	10,00	nein	teil
	Fahren	352.596	352.626	30,00	nein	teil
	Fahren	352.626	352.658	32,00	nein	leer
	Fahren	352.658	352.688	30,00	nein	teil
	Fahren	352.688	352.720	32,00	ja	voll
	Fahren	352.720	352.751	31,00	ja	leer
	Fahren	352.751	352.782	31,00	nein	voll
	Fahren	352.782	352.786	4,00	nein	voll
	Fahren	352.786	352.790	4,00	nein	voll
	Fahren	352.790	352.802	12,00	nein	leer
		Kranbetrieb			22 [h]	
25.10.2016	Tankung	300 [l]	Summe	687 [km]		

**Tab. 4.20:** Kraftstoffmonitoring Tankintervallübersicht – Lastkraftwagen MAN

Tankintervall	Datum		Liter [l]	Kilometer [km]	Verbrauch [l/km]
	[Anfang]	[Ende]			
ohne Kit					
1	26.09.2016	28.09.2016	270	864	0,31
2	30.09.2016	03.10.2016	275	647	0,43
3	04.10.2016	06.10.2016	263	473	0,56
3	06.10.2016	11.10.2016	250	566	0,44
			$\Sigma$ 1058	$\Sigma$ 2550	<b>0,41</b>
mit Kit					
1	17.10.2016	19.10.2016	270	296	0,91
2	20.10.2016	27.10.2016	300	687	0,44
			$\Sigma$ 300	$\Sigma$ 687	<b>0,44</b>

**Tab. 4.21:** Anhängeranteil und Kranbetriebsdauer pro 100 km – Lastkraftwagen MAN

	ohne Kit	mit Kit
Kranbetrieb [Stunde pro 100 km]	1,25	3,20
Anhängeranteil [%]	53,80	9,17

**Abb. 4.3:** Beladeverteilung LKW MAN (Anteil Wegstrecke) während des Betriebs ohne Kit (links) und mit Kit (rechts)

## 4.4 Kleintransporter

Drei Kleintransporter wurden im Zuge dieser Diplomarbeit näher unter die Lupe genommen. Dabei wurde ausschließlich das begleitende Kraftstoffmonitoring durchgeführt, da die Aussagekraft von Emissionsmessungen bei Fahrzeugen nur sinnvoll an Prüfständen durchgeführt werden kann. Bei diesen Kleintransportern handelte es sich um:

- VW T5 Bus (2 Fahrzeuge)
- Mercedes-Benz Sprinter

Der Zeitraum der Aufzeichnung des Kraftstoffmonitorings erstreckte sich von Montag, den 26.09.2016 bis Freitag, den 11.11.2016 und beträgt somit insgesamt sieben Wochen. Die Aufzeichnung des Kraftstoffverbrauchs erfolgte, nach einmaliger Einschulung durch die Diplomanden, von jedem Fahrer eigenverantwortlich. Da vor Beginn der Aufzeichnungsphase im Zuge dieser Diplomarbeit schon firmenintern ein Monitoring zum Kraftstoffverbrauch in ähnlicher Form durchgeführt wurden, waren die Fahrer mit dieser Situation vertraut. Es erfolgten lediglich leichte Adaptionen im Aufzeichnungsprotokoll. Die exakte Fahrstrecke der Kleintransporter ist aufgrund fehlender GPS-Daten nicht bestimmbar. Daher ist die Unterteilung der Fahrten in innerstädtische bzw. Überlandfahrten in der Auswertung nicht möglich.

Die Testperiode von sieben Wochen ist wiederum in eine Phase ohne angeschlossenes Kit und eine mit angeschlossenem Kit geteilt. Von angeschossen wird in diesem Fall gesprochen, da vor Beginn der Testperiode im Zuge dieser Diplomarbeit das Kit (Version 1) bereits installiert wurde und im Fahrbetrieb im Einsatz war. Die erste Phase des Testbetriebs erstreckte sich über drei Wochen (von 26.09.2016 bis 14.10.2016). Am Montag, den 17.10.2016 erfolgte der Einbau des Kits. Die zweite Periode mit Kit begann am Tag des Einbaues, den 17.10.2016, und endete vier Wochen später am 11.11.2016.

### 4.4.1 VW T5 Bus 1

Der VW T5 Bus 1 VW Bus wurde als Transportmittel für die Bauarbeiter benützt, um diese zur jeweiligen Wochen- bzw. Tagesbaustelle zu chauffieren. In Tab. 4.22 ist ein exemplarisch ausgewähltes Tankintervall der Testphase ohne installiertem Kit dargestellt, um die Systematik der Aufzeichnung besser nachzuvollziehen. Da es sich hier um einen Mannschaftsbus handelt, wird in der Spalte Beladung in Tab. 4.22 die Personenanzahl eingetragen. In diesem Tankintervall wurden in Summe 801,0 km zurückgelegt, wobei an der Zapfsäule 70,0 l nachgetankt wurden. Dies ergibt einen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 8,73 l/100 km bzw. von 0,087 l/km.

**Tab. 4.22:** Kraftstoffmonitoring VW T5 Bus 1 – Tankintervall Testphase ohne Kit

Datum	Tätigkeit [-]	Kilometer		Kilometer [Summe]	Anhänger [Ja/Nein]	Beladung [Personenanzahl]
		[Anfang]	[Ende]			
03.10.2016	Fahren	162.008	162.197	189,00	Ja	3
04.10.2016	Fahren	162.197	162.330	133,00	Nein	3
05.10.2016	Fahren	162.330	162.446	116,00	Nein	3
06.10.2016	Fahren	162.446	162.576	130,00	Nein	2
10.10.2016	Fahren	162.576	162.709	133,00	Ja	3
11.10.2016	Fahren	162.709	162.809	100,00	Nein	2

In Tab. 4.23 ist zum Vergleich ein Tankintervall der Testphase mit angeschlossenem Kit nachzulesen. In Summe belief sich die zurückgelegte Kilometerleistung auf 844,0 km bei einer

Tankmenge von 78,0l. Diese Daten ergeben einen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 9,24l/100km bzw. von 0,092l/km.

**Tab. 4.23:** Kraftstoffmonitoring VW T5 Bus 1 – Tankintervall Testphase mit Kit

Datum	Tätigkeit [-]	Kilometer [Anfang]	Kilometer [Ende]	Kilometer [Summe]	Anhänger [Ja/Nein]	Beladung [Personenanzahl]
04.11.2016	Fahren	164.968	165.133	165,00	Nein	2
07.11.2016	Fahren	165.133	165.330	197,00	Ja	3
08.11.2016	Fahren	165.330	165.526	196,00	Ja	3
09.11.2016	Fahren	165.526	165.693	167,00	Nein	3
10.11.2016	Fahren	165.693	165.812	119,00	Nein	4

Diese beiden beispielhaft ausgewählten Tankintervalle stellen nur stichprobenartige Aussagen dar. Anhand aller ausgewerteten Daten ergibt sich ein durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch in der Testphase ohne Kit von 9,88l/100km und im Gegenzug dazu in der Testphase mit Kit von 8,99l/100km. Dies ergibt eine Verminderung des Kraftstoffverbrauchs von etwa 9%. Zusätzlich ist noch zu erwähnen, dass in der Testphase mit Kit anhand der geführten Aufzeichnungen sogar ein höherer Anteil an Anhängereinsatz mit etwa 38% zu verbuchen ist (Vergleich Testphase mit Kit 27%). Eine gewisse Vorsicht ist trotzdem geboten, da einige Randbedingungen nicht genau erfasst werden konnten. Einen nicht messbaren Einfluss auf das Ergebnis hat das jeweilige Verkehrsaufkommen an den Aufzeichnungstagen, der Zustand der gefahrenen Straßen und das exakte Gewicht der Beladung. Durch nicht verifizierbaren Faktoren ist das erhaltene Ergebnis kritisch zu hinterfragen.

#### 4.4.2 VW T5 Bus 2

Der zweite untersuchte Kleintransporter ist ebenso ein VW T5 Bus. In Tab. 4.24 ist ein exemplarisch ausgewähltes Tankintervall der Testphase ohne angeschlossenem Kit ersichtlich, um einen Überblick über die Aufzeichnungsmethodik zu erhalten. Bei diesem Kraftfahrzeug wurde in den Aufzeichnungen zur Beladung zwischen voll/teil/leer unterschieden. In diesem Intervall legte das Fahrzeug in Summe 834,0 km zurück und tankte 68,79l Diesel. Diese protokollierten Daten ergeben einen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 8,25l/100km bzw. von 0,083l/km.

**Tab. 4.24:** Kraftstoffmonitoring VW T5 Pritsche 2 – Tankintervall Testphase ohne Kit

Datum	Tätigkeit [-]	Kilometer [Anfang]	Kilometer [Ende]	Kilometer [Summe]	Anhänger [Ja/Nein]	Beladung [teil/voll/leer]
30.09.2016	Fahren	253.140	253.281	141,00	Nein	leer
03.10.2016	Fahren	253.281	253.552	271,00	Nein	leer
04.10.2016	Fahren	253.552	253.833	281,00	Nein	leer
05.10.2016	Fahren	253.833	253.974	141,00	Nein	leer

In Tab. 4.25 ist zum Vergleich ein Tankintervall der Testphase mit angeschlossenem Kit zu sehen. In Summe belief sich die zurückgelegte Kilometerleistung auf 479,0 km bei einer Tankmenge von 64,19l. Diese Daten ergeben einen durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von 13,40l/100km bzw. von 0,134l/km.

Diese beiden Protokolle stellen wiederum nur eine stichprobenartige Aufzeichnung des Kraftstoffmonitorings dar. Die Berücksichtigung aller Protokolle ergibt, dass es in der Testphase ohne

**Tab. 4.25:** Kraftstoffmonitoring VW T5 Pritsche 2 – Tankintervall Testphase mit Kit

Datum	Tätigkeit [-]	Kilometer		Kilometer	Anhänger	Beladung
		[Anfang]	[Ende]	[Summe]	[Ja/Nein]	[teil/voll/leer]
17.10.2016	Fahren	255.473	255.611	138,00	Nein	leer
18.10.2016	Fahren	255.611	255.712	101,00	Nein	leer
19.10.2016	Fahren	255.712	255.811	99,00	Nein	leer
20.10.2016	Fahren	255.811	255.911	100,00	Nein	leer
24.10.2016	Fahren	255.911	256.025	114,00	Nein	leer
25.10.2016	Fahren	256.025	256.132	107,00	Nein	leer
27.10.2016	Fahren	256.132	256.273	141,00	Nein	leer

Kit zu einem Kraftstoffverbrauch von 8,97l/100km kam und in der Testphase mit Kit zu einem Verbrauch von 9,41l/100km. Das bedeutet, dass mit eingebautem Kit um knapp 5% mehr Diesel verbraucht wird als ohne Kit. Die Aufzeichnungspunkte des Gewichts der generellen Beladung und der Anhängerbeladung sind sehr schwierig in einem solchen begleitenden Kraftstoffmonitoring zu erfassen. Diese Aspekte des Kraftstoffmonitorings liefern aber einen wesentlichen Beitrag zum Kraftstoffverbrauch, daher ist das Ergebnis des Kraftstoffmonitorings mit Vorsicht zu genießen und die gewonnen Erkenntnisse zum Kraftstoffverbrauch kritisch zu hinterfragen.

#### 4.4.3 Mercedes-Benz Sprinter

Aufgrund nicht vorhandener Aufzeichnungen über die Menge der jeweiligen Betankung bei den Tankstopps, kann beim Mercedes Benz Sprinter keine Aussage zum Kraftstoffverbrauch gemacht werden.

# Kapitel 5

## Auswertung des Emissionsmonitorings

Das Emissionsmonitoring bei Baumaschinen ist von großer Bedeutung, da schon ab 2019 mit der Emissionsklasse V gemäß *Richtlinie 2004/26/EG Mobile Maschinen und Geräte (Gasförmige Schadstoffe)* noch strengere Regeln für Baumaschinen gelten werden. Bei Ausschreibungen in urbanen Gebieten werden teilweise zum gegenwärtigen Zeitpunkt Anforderungen an den Emissionsausstoß der jeweiligen Baumaschinen gestellt.

Im Zuge des Emissionsmonitorings werden die charakteristische Emissionen eines Dieselerbrennungsmotors gemessen. Die zu untersuchenden Emissionen werden nun kurz beschrieben:

- $\text{CO}_2$  (Kohlenstoffdioxid)  
Kohlenstoffdioxid entsteht bei Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Brennstoffen (z. B. Dieselkraftstoff). Die Menge des gebildeten  $\text{CO}_2$  eines gegebenen Energieträgers steht in direktem Zusammenhang mit der Menge des Brennstoffs und damit der umgesetzten Energie. Aus diesem Grund kann Kohlenstoffdioxid als ein direkter Indikator für den Kraftstoffverbrauch interpretiert werden. Fällt somit die  $\text{CO}_2$ -Emission, so sinkt der Kraftstoffverbrauch des Motors und umgekehrt.<sup>59</sup>
- $\text{O}_2$  (Sauerstoff)  
Der natürliche Bestandteil der Luft Sauerstoff wird bei der Verbrennung von Kraftstoff zur Umsetzung in mechanische Energie benötigt. Der exakte natürliche Anteil an  $\text{O}_2$  in der Luft beläuft sich auf 20,95 Vol.-%. Durch Verbrennung (Redoxreaktion) von Kraftstoff im Motor kommt es zu einem Anstieg des  $\text{CO}_2$ -Gehalts in der Luft.
- $\text{CO}$  (Kohlenstoffmonoxid) bzw.  $\text{CO}_{\text{unv}}$  (Kohlenstoffmonoxid unverdünnt)  
*Kohlenstoffmonoxid ist ein farb-, geruchs- und geschmackloses Gas. Es entsteht bei der unvollständigen Oxidation von kohlenstoffhaltigen Substanzen.*<sup>60</sup> Der unverdünnte Kohlenstoffmonoxid dient bei den Abgasmessungen als Indikator für das Einpendeln der gemessenen Emissionen, da dieser der sensibelste Messwert ist. Er wird in ppm (parts per Million) gemessen und gibt so eine Anzahl an vorhandenen  $\text{CO}$ -Teilchen pro Million Teilchen an.
- $\text{NO}_x$  (Stickstoffoxide)  
*Stickoxide oder Stickstoffoxide sind eine Sammelbezeichnung für die gasförmigen Oxide des Stickstoffs. Sie werden auch mit  $\text{NO}_x$  abgekürzt, da es auf Grund der vielen Oxidationsstufen des Stickstoffs mehrere Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen gibt. Die Stickstoffoxide sind ausnahmslos endotherme Verbindungen, d.h. sie bilden sich aus den Elementen nur unter äußerem Zwang (Energiezufuhr). Sie verhalten sich gegenüber Wasser als Säurebildner. Unter anderem wegen dieser Säurebildung (auf den Schleimhäuten) wirken sie reizend und giftig. Damit zogen sie schon frühzeitig eine umweltpolitische Aufmerksamkeit auf sich.*<sup>61</sup>

---

<sup>59</sup>Vgl. [3] Chemie.de Service GmbH

<sup>60</sup>Vgl. [4] Chemie.de Service GmbH

<sup>61</sup>Vgl. [5] Chemie.de Service GmbH

- NO<sub>2</sub> (Stickstoffdioxid)  
Dieses Gas gehört zu den Stickstoffoxiden. Im Zuge des Emissionsmonitorings wird der Stickstoffdioxidgehalt in den Abgasen zusätzlich getrennt von diesen ermittelt.

In den Statistiken über den Kraftstoffverbrauch auf Baustellen dominieren die Fahrzeugtypen Radlader, Raupenlader und Hydraulikbagger. Diese sind zusammen für mehr als 60% des Kraftstoffverbrauchs und daher auch des Emissionsausstoßes auf Baustellen verantwortlich.<sup>62</sup> Um möglichst repräsentative Werte zu erhalten, wurde ein Emissionsmonitoring an zwei Radladern und einem Hydraulikraupenbagger über eine Testperiode von insgesamt sieben Wochen durchgeführt. Dazu erfolgten regelmäßig Emissionsmessungen an den Baufahrzeugen. Bei jeder Messung wurden drei verschiedene Drehzahlen betrachtet:

1. niedrige Drehzahl (Drehzahl bei Standgas bzw. im Leerlauf)
2. mittlere Drehzahl (im Hauptbetriebsbereich des Motors)
3. hohe Drehzahl (unter Volllast)

Diese Vorgehensweise deckte alle repräsentativen Betriebsbereiche des Motors ab und ergab ein bessere Vergleichbarkeit der einzelnen Messungen im Vergleich zu einer Messung bei nur einer Drehzahl.

Das Emissionsmonitoring erfolgte mit dem Abgasanalysegerät Testo 340. Am Beginn der Messperiode ohne Kit wurden die Werte noch händisch und punktuell mitgeschrieben. Im Laufe der ersten Messungen waren sehr große Schwankungsbreiten der Emissionen zu beobachten, welche eine Veränderung des Messvorgangs unumgänglich gemacht haben. Daraufhin wurde ein App von der Firma Testo heruntergeladen. Mit diesem Programm ist es möglich die Messergebnisse in einigen Sekundenabständen, als CSV-Dateien auf dem Smartphone zu speichern. So konnte bei einer größeren Datenmenge eine bessere Datenqualität erzielt werden, da bei einer Drehzahl etwa 15–20 Messungen und CSV-Dateien gespeichert wurden. Aus dieser Datenvielfalt pro gemessener Drehzahl wurden bei der Auswertung der Mittelwert und die Standardabweichung für die jeweiligen Emission (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, ...) berechnet. Dies verbesserte die Genauigkeit und Aussagekraft der Ergebnisse. Das Emissionsmonitoring soll überprüfen, ob die DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation die Emissionen CO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> im Abgas reduziert.

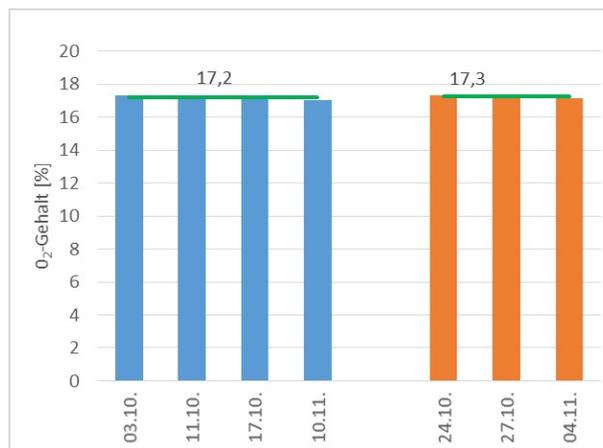
In den folgenden Kapiteln wird der Emissionsausstoß der einzelnen Baumaschinen näher betrachtet und die Veränderungen der jeweiligen Emissionen im Betrieb ohne und mit verbautem Kit näher untersucht. Für jedes Baufahrzeug werden die Emissionsmessergebnisse von Kohlenstoffdioxid, Sauerstoff, Kohlenstoffmonoxid unverdünnt und Stickstoffoxide graphisch dargestellt. Abschließend kommt es zu einer Zusammenfassung, wobei zusätzlich noch die Schadstoffe CO (Kohlenstoffmonoxid) und NO<sub>2</sub> (Stickstoffdioxid) besprochen werden. Dabei soll der Vergleich der jeweiligen Mittelwerte zeigen, ob und wie sich der Emissionsausstoß ändert. Dazu wird zusätzlich noch die Standardabweichung angegeben wird, um die Schwankungsbreite des betrachteten Schadstoffs abschätzen zu können.

### Diagramme der statistischen Auswertung

Das Emissionsmonitoring für alle Baufahrzeuge erfolgte mit dem Abgasanalysegerät Testo 340. An jedem Messtag wurden bei jeder Umdrehung mindestens 12 Einzelmessungen durchgeführt und daraus der Mittelwert der jeweilig betrachteten Emission an diesem Tag ermittelt. Diese Mittelwerte werden in den folgenden Kapiteln in Säulendiagrammen graphisch dargestellt. Anhand Abb. 5.1 werden diese Diagramme nun allgemein erklärt.

---

<sup>62</sup>Vgl. [18] Schäffler u. a., S. 70



**Abb. 5.1:** Beispiel zur statistischen Auswertung – O<sub>2</sub>-Gehalt

Bei der Abb. 5.1 handelt es sich um ein Säulendiagramm. Auf der Ordinatenachse wird der mittlere Emissionsgehalt im Abgas aus den mindestens 12 Einzelmessungen an dem jeweiligen Messtag aufgetragen. Auf der Abszissenachse ist das Datum der Messungen dargestellt. Die Messungen ohne angeschlossenem Kit werden mit orangen Säulen und die Messungen mit angeschlossenem Kit mit blauen Säulen dargestellt. Die grünen Linien symbolisieren den Mittelwert aller Messergebnissen der jeweiligen Messperiode und dienen zur schnellen Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Diese beschriebene graphische Auswertung erfolgt für folgenden Emissionen:

- CO<sub>2</sub> (Kohlenstoffdioxid)
- O<sub>2</sub> (Sauerstoff)
- CO<sub>unv</sub> (Kohlenstoffmonoxid unverdünnt)
- NO<sub>x</sub> (Stickstoffoxide)

## 5.1 Raupenbagger

Beim Hydraulikraupenbagger wurden folgende vordefinierten Drehzahlen untersucht:

1. niedrige Drehzahl: 800 min<sup>-1</sup>
2. mittlere Drehzahl: 1300 min<sup>-1</sup>
3. hohe Drehzahl: 1700 min<sup>-1</sup>

Die Messungen der Emissionen wurden bei den regelmäßigen Baustellenbesuchen von den Diplomanden selbst durchgeführt. Beim Raupenbagger erfolgten vier Messungen ohne eingebautem Kit (eine davon am 10.11.2016 nach Ausbau des Kits) und drei Messaufzeichnungen mit eingebautem Kit. Zur Platzierung der Messsonde im Auspuff des Baggers unterbrach der Baggerfahrer den definierten Lastzyklus des Baggers. Während des Messvorganges beobachtete ein Diplomand das Messgerät und der andere kontrollierte die Werte mit Hilfe des Apps der Fa. Testo auf dem Smartphone.

Die Emissionsmessungen wurden an folgenden Tagen in Traismauer beim Raupenbagger durchgeführt:

- Betrieb ohne Kit: 03.10.2016, 11.10.2016, 17.10.2016, 10.11.2016
- Betrieb mit Kit: 24.10.2016, 27.10.2016, 04.11.2016

Die Emissionsaufzeichnung am 03.10.2016 erfolgte noch händisch und ab der Messung am 11.10.2016 wurde die beschriebene Vorgehensweise mit dem Testo App umgesetzt. Der besagte Einbau des Kits erfolgte am Montag, den 17.10.2016, wobei davor noch eine Emissionsmessung ausgeführt wurde, um eine größere Datenbasis für die Auswertung zu generieren.

Diese insgesamt sieben punktuellen Messungen schufen eine ausreichende Datenbasis für eine Auswertung der betrachteten Emissionen. An jedem Messtag wurden bei jeder Umdrehung mindestens 12 Einzelmessungen durchgeführt und daraus der Mittelwert und die Standardabweichung des jeweilig betrachteten Schadstoffs an diesem Tag ermittelt.

### CO<sub>2</sub> (Kohlenstoffdioxid)

Abb. 5.2 ist der jeweilige Kohlenstoffdioxidausstoß bei einer Motordrehzahl von 800 min<sup>-1</sup> an den einzelnen Messtagen dargestellt. Dabei ist anzumerken, dass am 17.10.2016 ein zweiter Messpunkt eingeführt wurde, welcher den Einbau des Kits in den Hitachi Hydraulikraupenbagger repräsentiert. Gemessen wird die CO<sub>2</sub>-Emission in Volumensprozent der Luft, wobei in der natürlichen Luftzusammensetzung 0,04 Vol.-% vorkommen. Die grüne horizontale Linie symbolisiert den Mittelwert im Betrieb ohne beziehungsweise mit verbautelem Kit. Hierbei ist eine leichte Verbesserung des Kohlendioxidausstoßes von i.M. 1,8 Vol.-% auf 1,7 Vol.-% im Leerlauf des Raupenbaggers zu erkennen.



**Abb. 5.2:** CO<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 800 min<sup>-1</sup> – Raupenbagger

In Abb. 5.3 ist die jeweilige CO<sub>2</sub>-Emission bei der mittleren Drehzahl von 1300 min<sup>-1</sup> zu sehen. Im mittleren Lastbereich ist ebenso wie im Leerlauf eine leichte Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes abzulesen. Der Mittelwert der durchgeführten Messungen ohne Kit beträgt 2,3 Vol.-%, wohingegen der gemittelte Wert im Betrieb mit Kit sich auf 2,0 Vol.-% reduziert.

Die Messauswertung der hohen Drehzahl von 1700 min<sup>-1</sup> wird in Abb. 5.4 dargestellt. Hier ist ebenfalls eine leichte Reduktion des Kohlenstoffdioxidausstoßes zu erkennen. Die in grün dargestellten Linien für die Mittelwerte ohne bzw. mit Kit belaufen sich auf 2,7 Vol.-% bzw. 2,5 Vol.-%.

In allen drei Lastbereichen ist eine leichte Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission zu beobachten. Diese Emissionsminderung geht einher mit einer Reduktion des Kraftstoffverbrauches.



Abb. 5.3: CO<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 1300 min<sup>-1</sup> – Raupenbagger

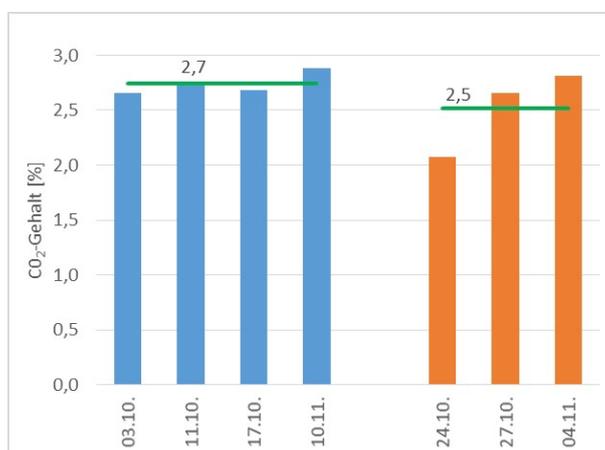


Abb. 5.4: CO<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 1700 min<sup>-1</sup> – Raupenbagger

### O<sub>2</sub> (Sauerstoff)

In Abb. 5.5 ist der jeweilige Sauerstoffgehalt bei einer Motordrehzahl von 800 min<sup>-1</sup> an den einzelnen Messtagen dargestellt. Der O<sub>2</sub>-Gehalt wird in Volumensprozent der Luft gemessen. Bei der Testphase ohne Kit beträgt die O<sub>2</sub>-Emission gemessen im Auspuff im Mittel 18,5 Vol.-%. Im Vergleich liegt der Mittelwert in der Phase des Testbetriebes mit verbautem Kit bei 18,5 Vol.-%. Somit ergibt sich keine Veränderung des Sauerstoffgehaltes in der Luft bei einer Drehzahl von 800 min<sup>-1</sup>.

In Abb. 5.6 ist die jeweilige O<sub>2</sub>-Emission an den einzelnen Tagen der Messungen bei einer mittleren Drehzahl von 1300 min<sup>-1</sup> dargestellt. Dabei ist eine leichte Tendenz einer Veränderung des O<sub>2</sub>-Gehaltes in der Luft zu erkennen, da der Mittelwert ohne Kit den Wert von 17,9 Vol.-% annimmt und jener mit verbauten Kit 18,0 Vol.-%. Dies deutet auf eine leichte Erhöhung des Sauerstoffgehaltes bei einer Drehzahl von 1300 min<sup>-1</sup> hin.

Die Messauswertung der hohen Drehzahl von 1700 min<sup>-1</sup> kann in Abb. 5.7 abgelesen werden. Dabei ist wie zuvor eine leichte Erhöhung der O<sub>2</sub>-Emission mit verbautem Kit zu beobachten. Der Mittelwert im Betrieb ohne Kit beläuft sich auf 17,2 Vol.-% und jener im Betrieb mit Kit auf 17,3 Vol.-%. Abschließend ist anzumerken, dass sich die Messwerte beim Sauerstoffgehalt über die ganze Phase des Testbetriebes als sehr konstant erwiesen haben und keine nennenswerten Ausreißer nach unten und nach oben zu verzeichnen waren.

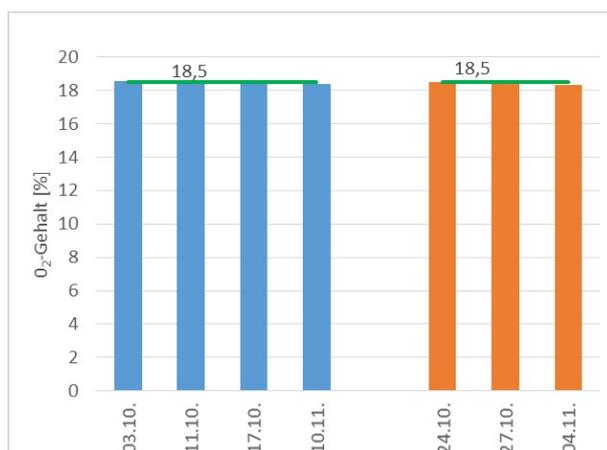


Abb. 5.5: O<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 800 min<sup>-1</sup> – Raupenbagger



Abb. 5.6: O<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 1300 min<sup>-1</sup> – Raupenbagger

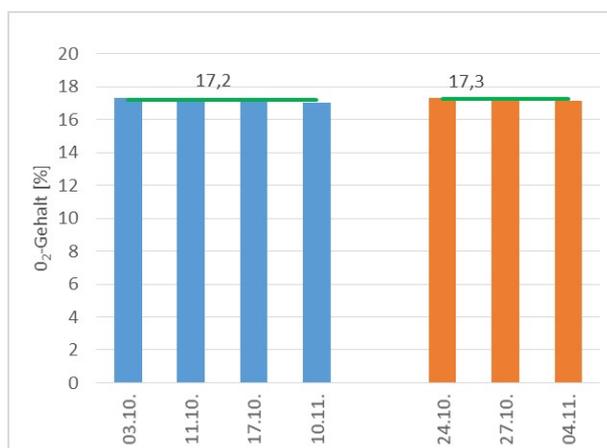


Abb. 5.7: O<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 1700 min<sup>-1</sup> – Raupenbagger

In allen untersuchten Lastbereichen des Dieselmotors stellte sich eine leichte Erhöhung der O<sub>2</sub>-Emission durch den Einbau der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation ein.

### CO<sub>unv</sub> (Kohlenstoffmonoxid unverdünnt)

In Abb. 5.8 ist der gemessene Kohlenstoffmonoxidgehalt in parts per Million bei einer Drehzahl von 800 min<sup>-1</sup> zu sehen. Am 17.10.2016 wurde ein zweiter Messpunkt eingeführt, um ersichtlich zu machen, dass an diesem Tag der Übergang von der Testphase ohne auf jene mit Kit erfolgt. Es ist eine deutliche Differenz der gemessenen CO<sub>unv</sub>-Emissionen zu erkennen. Der Mittelwert in der Testphase ohne Kit beträgt 1087 ppm und in jener mit installierter Applikation ergaben sich 937 ppm. Dies bedeutet eine Reduktion in der Testphase mit Kit von etwa 150 ppm – in etwa 14%.



Abb. 5.8: CO<sub>unv</sub>-Messergebnisse bei 800 min<sup>-1</sup> – Raupenbagger

Die Messauswertung bei der mittleren Drehzahl von 1300 min<sup>-1</sup> kann in Abb. 5.9 abgelesen werden. Auch hier ist eine klare Reduktion des Kohlenmonoxidausstoßes von der Testperiode ohne zu jener mit eingebauter Applikation zu beobachten. In der Phase ohne Kit entspricht der Mittelwert 910 ppm. Bei Betrieb mit Kit stößt der Raupenbagger im Mittel 842 ppm CO<sub>unv</sub> aus. Die Reduktion beträgt in etwa 68 ppm – in etwa 7%.



Abb. 5.9: CO<sub>unv</sub>-Messergebnisse bei 1300 min<sup>-1</sup> – Raupenbagger



**Abb. 5.10:** CO<sub>unv</sub>-Messergebnisse bei 1700 min<sup>-1</sup> – Raupenbagger

Die Übersicht zu den Messergebnissen bei einer Drehzahl von 1700 min<sup>-1</sup> ist in Abb. 5.10 illustriert. Auch hier ist eine eindeutige Tendenz der CO<sub>unv</sub>-Emission zu erkennen. Der Vergleich der Mittelwerte von 914 ppm ohne verbauten Kit und 848 ppm mit Kit lässt auf eine Verbesserung durch die Installation des Kits schließen. Die Reduktion unter Vollast in Zahlen ausgedrückt beläuft sich auf etwa 67 ppm - also ca. 7%.

Zusammenfassend ist von einer durchgehenden Reduktion der unverdünnten Kohlenmonoxid-Emission durch den Einbau des Kits in den Hydraulikraupenbagger zu sprechen.

### NO<sub>x</sub> (Stickstoffoxide)

Die Emission der Stickoxide wird ebenso wie das unverdünnte Kohlenmonoxid in parts per Million (ppm) gemessen.

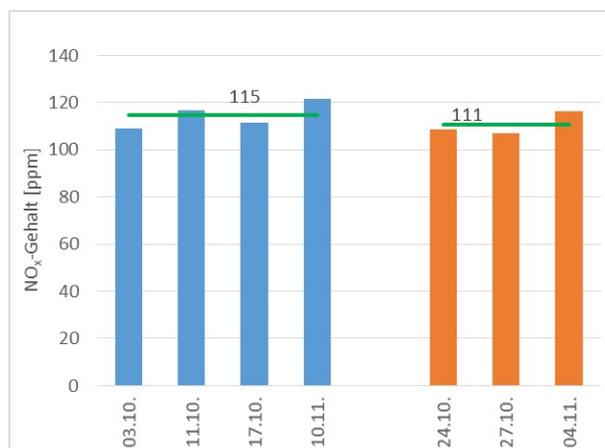
Die einzelnen Messungen bei einer Motordrehzahl von 800 min<sup>-1</sup> ist in Abb. 5.11 zu sehen. Dabei ist keine Differenz zwischen den Mittelwerten der Stickoxidemission in den Testphasen ohne und mit Kit zu erkennen. Beide Mittelwerte ergeben sich zu 111 ppm.



**Abb. 5.11:** NO<sub>x</sub>-Messergebnisse bei 800 min<sup>-1</sup> – Raupenbagger

Die Messauswertung der NO<sub>x</sub>-Emission für die mittlere Drehzahl von 1300 min<sup>-1</sup> kann in Abb. 5.12 abgelesen werden. Dabei ist festzustellen, dass bei den Messungen ohne Kit ein Mittelwert von 115 ppm und im Gegenzug bei ausgeführten Messungen mit Kit ein mittlerer

Wert von 111 ppm zu Buche steht. Dies bedeutet eine minimale Verbesserung der  $\text{NO}_x$ -Emission von 4 ppm im mittleren Lastbereich des Dieselverbrennungsmotors.



**Abb. 5.12:**  $\text{NO}_x$ -Messergebnisse bei  $1300 \text{ min}^{-1}$  – Raupenbagger

Die Übersicht zu den Messergebnissen bei der hohen Drehzahl von  $1700 \text{ min}^{-1}$  ist in Abb. 5.13 dargestellt. Auch im Volllastbereich des Motors ist nur eine geringfügige Änderung zwischen den beiden Testperioden des  $\text{NO}_x$ -Gehaltes in der Luft zu erkennen. Der gemittelte Wert ohne Kit beläuft sich auf 113 ppm und jener mit verbauter DROP- $\text{NO}_x$ -Applikation beträgt 110 ppm. Dies bedeutet eine Differenz von 3 parts per Million – in etwa 3%.



**Abb. 5.13:**  $\text{NO}_x$ -Messergebnisse bei  $1700 \text{ min}^{-1}$  – Raupenbagger

Zusammenfassend ist bei zwei von drei gemessenen Drehzahlen eine leichte Reduktion der  $\text{NO}_x$ -Emission festzustellen, wobei im niederen Lastbereich kein signifikanter Unterschied zwischen der Testphase ohne und mit verbauter Applikation zu beobachten ist.

### Zusammenfassung und Schlussfolgerung der Messergebnisse

In diesem Abschnitt wurden die Messungen bei drei untersuchten Drehzahlen betrachtet und dabei die Emissionen der Testphasen ohne und mit verbauten Kit gemessen. Tab. 5.1 gibt die Übersicht über die Messergebnisse des Emissionsmonitorings bei einer Drehzahl von  $800 \text{ min}^{-1}$  beim Hydraulikraupenbagger an. Zusätzlich zu den vier näher beschriebenen Emissionen sind in dieser Zusammenfassung zusätzlich noch das Kohlenmonoxid ( $\text{CO}$ ) und das Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ )

**Tab. 5.1:** Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 800 min<sup>-1</sup> – Raupenbagger

		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>unv</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>2</sub>
		[Vol-%]	[Vol-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
		mit Kit					
Mittelwert	mit Kit	1,69	18,48	937	111	112	22
Standardabweichung		± 0,23	± 0,12	± 46	± 5	± 9	± 2
		ohne Kit					
Mittelwert	ohne Kit	1,84	18,46	1087	111	136	25
Standardabweichung		± 0,06	± 0,08	± 67	± 4	± 3	± 1
		Gegenüberstellung					
Veränderung	Absolut	-0,14	0,02	-150	0	-24	-3
	relativ [%]	-8	0	-14	0	-17	-10

in der Übersicht angegeben. In den Tabellen sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen gemessenen Emissionen gelistet, wobei natürlich diese nach den Testperioden getrennt ausgewertet sind. Im letzten Teil der Tabelle erfolgt eine Gegenüberstellung in absoluten und relativen Zahlen der erhaltenen Werte, wobei das Vorzeichen die Richtung der Veränderung angibt. Dabei bedeutet ein Minus (-) eine Reduktion der gemessenen Emission von der Testphase ohne Kit zu jener mit Kit.

Augenscheinlich ist die Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes mit Kit um etwa 8%, wobei der Sauerstoffgehalt beinahe keine Veränderung zwischen den beiden Testperioden aufweist. Eine klare Reduktion ist beim CO<sub>unv</sub> bzw. beim CO zu erkennen. Dabei kommt es zu einer Einsparung im Fall des CO<sub>unv</sub> von 14% und beim CO von 17%. Eine interessante Tendenz ergibt sich bei den Stickoxiden. Obwohl das NO<sub>2</sub> (Stickstoffdioxid) markant durch den Einbau des Kits in den Raupenbagger sinkt, verändert sich der Wert für den Emissionsausstoß des NO<sub>x</sub> nur marginal.

Tab. 5.2 zeigt übersichtlich die Messergebnisse der Emissionsmessungen bei einer Drehzahl von 1300 min<sup>-1</sup> beim Raupenbagger. Die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission beträgt 10%, wobei beim Wert der Sauerstoffemission wiederum keine markante Veränderung zu erkennen ist. Eine weitere Verminderung des Schadstoffausstoßes ist beim CO<sub>unv</sub> bzw. beim CO zu beobachten. Die Veränderung von CO<sub>unv</sub> beläuft sich auf -7% und beim CO auf -11%. Eine Fortsetzung der in Tab. 5.1 beobachteten Tendenz ergibt sich auch bei der mittleren Drehzahl von 1300 min<sup>-1</sup> bei

**Tab. 5.2:** Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 1300 min<sup>-1</sup> – Raupenbagger

		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>unv</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>2</sub>
		[Vol-%]	[Vol-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
		mit Kit					
Mittelwert	mit Kit	2,05	17,96	842	111	122	23
Standardabweichung		± 0,28	± 0,14	± 16	± 4	± 7	± 1
		ohne Kit					
Mittelwert	ohne Kit	2,28	17,86	910	115	137	27
Standardabweichung		± 0,10	± 0,14	± 57	± 5	± 9	± 1
		Gegenüberstellung					
Veränderung	Absolut	-0,23	0,10	-68	-4	-15	-5
	relativ [%]	-10	1	-7	-4	-11	-17

den Stickoxiden. Während die  $\text{NO}_x$ -Emission nur um 4% leicht sinkt, fällt die  $\text{NO}_2$ -Emission in der Luft deutlich um 17%.

In Tab. 5.3 sind die ausgewerteten Ergebnisse des Emissionsmonitorings bei einer Motordrehzahl von  $1700 \text{ min}^{-1}$  beim Bagger dargestellt. Die Verminderung des  $\text{CO}_2$ -Ausstoßes setzt sich auch im oberen Lastbereich des Motors fort. Es kommt zu einer Reduktion von 8%, wobei der gemessene Sauerstoffgehalt wiederum keine Veränderung zwischen den Testphasen ohne und mit Kit aufweist. Auch die Tendenz der Kohlenmonoxidreduktion von  $\text{CO}_{\text{unv}}$  und CO setzt sich ungebrochen weiter fort. Es ist eine Minimierung des unverdünnten Kohlenmonoxidausstoßes von 7% festzustellen und beim CO sinkt der Wert um 9%. Die Beobachtung zu den Stickstoffoxidemissionen ist auch im Volllastbereich zu erkennen. Dabei sinkt die Emission des  $\text{NO}_x$  leicht um 3% und der  $\text{NO}_2$ -Gehalt in der Luft reduziert sich durch den Einbau des Kits um 9%.

**Tab. 5.3:** Übersicht Messergebnissen Emissionsmonitoring bei  $1700 \text{ min}^{-1}$  – Raupenbagger

		$\text{CO}_2$	$\text{O}_2$	$\text{CO}_{\text{unv}}$	$\text{NO}_x$	CO	$\text{NO}_2$
		[Vol-%]	[Vol-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
mit Kit							
Mittelwert	mit Kit	2,51	17,26	848	110	151	27
Standardabweichung		$\pm 0,32$	$\pm 0,10$	$\pm 27$	$\pm 2$	$\pm 9$	$\pm 1$
ohne Kit							
Mittelwert	ohne Kit	2,75	17,21	914	113	166	29
Standardabweichung		$\pm 0,09$	$\pm 0,12$	$\pm 47$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 0$
Gegenüberstellung							
Veränderung	Absolut	-0,23	0,10	-67	-3	-15	-3
	relativ [%]	-8	0	-7	-3	-9	-9

Die beobachteten Tendenzen ziehen sich durch alle drei betrachteten Drehzahlbereiche des Motors durch, wobei selten und wenn nur kleine Ausreißer bei den einzelnen Messungen abzulesen sind. Aufgrund der hohen Standardabweichungen der Messergebnisse kann kein jedoch kein zuverlässiger Prozentbereich für die Reduktion schadhaften Emissionen genannt werden. Ziel des Emissionsmonitoring ist es, Tendenzen festzustellen. Bei den Messungen bei  $800$ ,  $1300$  und  $1700 \text{ min}^{-1}$  ist die Tendenz zu erkennen, dass der Betrieb mit verbauter DROP- $\text{NO}_x$ -Applikation zu einer Reduktion des CO-Gehalts,  $\text{CO}_2$ -Gehalts und  $\text{NO}_2$ -Gehalts führt. Diese Tendenz ist auch beim  $\text{NO}_x$ -Gehalt zu erkennen, jedoch nur bei  $1300$  und  $1700 \text{ min}^{-1}$ . Zudem ist die Reduktion beim  $\text{NO}_x$ -Gehalt wesentlich geringer.

## 5.2 Radlader

Das Emissionsmonitoring wurde bei beiden untersuchten Radladern in Traismauer und Zwettl durchgeführt. Die vordefinierten drei Drehzahlen setzten sich folgendermaßen zusammen:

1. niedrige Drehzahl:  $780 \text{ min}^{-1}$  (Traismauer) bzw.  $800 \text{ min}^{-1}$  (Zwettl)
2. mittlere Drehzahl:  $1500 \text{ min}^{-1}$  (Traismauer, Zwettl)
3. hohe Drehzahl:  $2240 \text{ min}^{-1}$  (Traismauer) bzw.  $2250 \text{ min}^{-1}$  (Zwettl)

### 5.2.1 Radlader Traismauer

Die Messung des in Traismauer stationierten Radladers erfolgte während der regelmäßigen Besuche des Areals durch die Diplomanden punktuell. Im Zuge der Emissionsmessung musste der Radlader seine Tätigkeiten unterbrechen. Die Messdurchführung wurde am Lagerplatz vor der Werkstatt durchgeführt, dabei erfolgten drei Messungen vor Einbau des Kits und vier Messaufzeichnungen nach Einbau des Kits ausgeführt worden. Die Emissionsmessungen wurde an den folgenden Tagen beim Radlader in Traismauer durchgeführt:

- ohne Kit: 03.10.2016, 11.10.2016, 17.10.2016
- mit Kit: 24.10.2016, 27.10.2016, 04.11.2016, 10.11.2016

Während den Messungen war die Abgassonde im Auspuff des Radladers situiert. Die Aufzeichnung am 03.10.2016 erfolgte noch ohne App der Fa. Testo. Diese Messung erreicht wegen der geringeren Datenmenge und der händischen Aufzeichnung nicht die Genauigkeit, der Messungen mit dem Testo App. Der Einbau der Applikation erfolgte am Montag den 17.10.2016. Anschließend kam es zu einer Messpause von einer Woche, damit sich das Kit-System einspielen konnte. Durch die sieben punktuellen Messungen wurde eine ausreichende Datenbasis für eine aussagekräftige Auswertung der betrachteten Emissionen geschaffen. Die in Kapitel 3.5 beschriebene Vorgehensweise wurde ab dem 03.10.2016 angewendet, wobei mindestens 12 Einzelmessungen pro Drehzahl und Messtag stattfanden und daraus der Mittelwert der jeweilig betrachteten Emission ermittelt wurde.

#### CO<sub>2</sub> (Kohlenstoffdioxid)

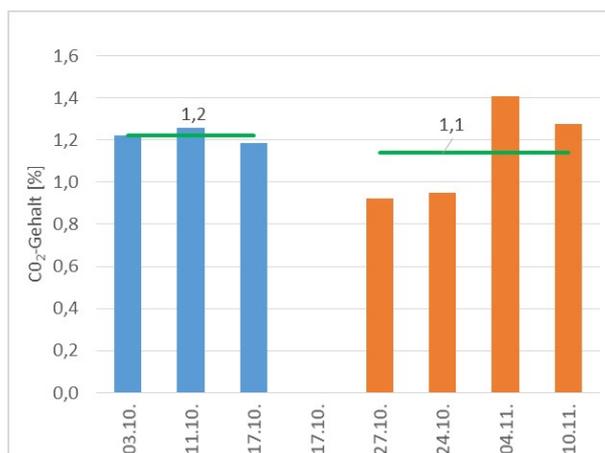
In Abb. 5.14 ist der jeweilige Kohlenstoffdioxidausstoß bei einer Motordrehzahl von 780 min<sup>-1</sup> an den einzelnen Messtagen dargestellt. Gemessen wird die CO<sub>2</sub>-Emission in Volumensprozent der



**Abb. 5.14:** CO<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 780 min<sup>-1</sup> – Radlader Traismauer

Luft. Die grüne horizontale Linie symbolisiert den Mittelwert der Testphase ohne beziehungsweise mit verbaute Kit. Hierbei ist eine Erhöhung des Kohlendioxidausstoßes von im Mittel 0,8 Vol.-% auf 1,1 Vol.-% im Leerlauf (bei 780 min<sup>-1</sup>) des Radladers zu erkennen.

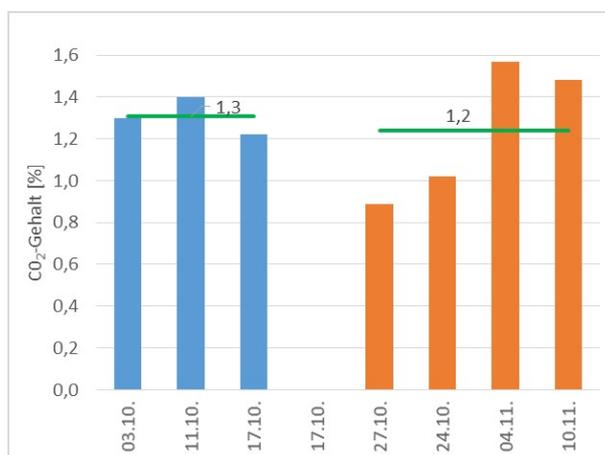
In Abb. 5.15 ist die jeweilige CO<sub>2</sub>-Emission bei der mittleren vordefinierten Drehzahl von 1500 min<sup>-1</sup> zu sehen. Beim mittleren Lastbereich des Motors ist im Gegensatz zum Leerlauf eine leichte Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes zu beobachten. Der Mittelwert der durchgeführten Messungen ohne Kit beträgt 1,2 Vol.-%, wohingegen der gemittelte Wert mit verbauter Applikation sich auf 1,1 Vol.-% reduziert. In der Grafik ist zudem zu erkennen, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei den



**Abb. 5.15:** CO<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 1500 min<sup>-1</sup> – Radlader Traismauer

ersten zwei Messungen mit Kit nur bei 0,9 Vol.-% lag. Dieser Wert ist wesentlich geringer als bei den anderen zwei Messungen mit Kit.

Die Messauswertung bei der hohen Drehzahl von 2240 min<sup>-1</sup> wird in Abb. 5.16 dargestellt. Hier ist ebenfalls eine leichte Reduktion des Kohlenstoffdioxidausstoßes zu erkennen. Die in grün dargestellten Linien für die Mittelwerte der jeweiligen Testperioden belaufen sich ohne Kit auf 1,3 Vol.-% und mit verbautem Kit auf 1,2 Vol.-%.



**Abb. 5.16:** CO<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 2240 min<sup>-1</sup> – Radlader Traismauer

Bei den Messungen mit höherer Motordrehzahl ist eine leichte Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission zu beobachten. Jedoch ist eine große Schwankung bei den Messungen mit Kit festzustellen. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt ist bei den beiden ersten Messungen mit Kit wesentlich geringer, als bei den anderen beiden. Eine Möglichkeit dieser Variation lässt sich dadurch ableiten, dass der Radlader andere Tätigkeiten vor der Messung durchführte oder das Gerät aufgrund der niedrigeren Temperaturen nicht ordnungsgemäß funktionierte.

### O<sub>2</sub> (Sauerstoff)

In Abb. 5.17 ist der jeweilige Sauerstoffgehalt an den einzelnen Messtagen bei einer Motordrehzahl von 780 min<sup>-1</sup> dargestellt. Die grünen Linien symbolisieren wiederum den Mittelwert der jeweiligen

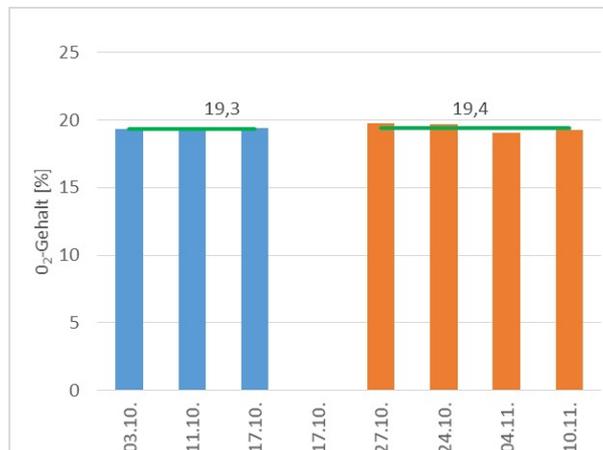
Messperioden und dienen zur schnellen Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Der O<sub>2</sub>-Gehalt wird ebenso wie der Kohlendioxidgehalt in Volumenprozent der Luft gemessen.



**Abb. 5.17:** O<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 780 min<sup>-1</sup> – Radlader Traismauer

Bei der Testphase ohne Kit beträgt die O<sub>2</sub>-Emission, im Mittel 19,9 Vol.-%. Im Vergleich dazu liegt die grüne horizontale Linie für den Mittelwert in der Phase des Testbetriebes mit installiertem Kit bei 19,5 Vol.-%. Dies bedeutet eine leichte Reduktion von 0,4 Vol.-%.

In Abb. 5.18 ist der jeweilige O<sub>2</sub>-Gehalt an den einzelnen Tagen der Messungen bei einer mittleren Drehzahl von 1500 min<sup>-1</sup> ersichtlich. Dabei ist eine geringe Veränderung des O<sub>2</sub>-Gehaltes in der Luft zu erkennen. Der Mittelwert beträgt beim Betrieb ohne Kit 19,3 Vol.-% und mit Kit 19,4 Vol.-%. Es kommt daher zu einer leichten Erhöhung des O<sub>2</sub>-Gehaltes beim Betrieb mit Kit bei Abgasmessung.



**Abb. 5.18:** O<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 1500 min<sup>-1</sup> – Radlader Traismauer

Die Messauswertung der hohen Drehzahl von 2240 min<sup>-1</sup> kann in Abb. 5.19 nachgelesen werden. Dabei ist wie im mittleren Drehzahlbereich eine leichte Erhöhung der O<sub>2</sub>-Emission mit verbauter Applikation zu beobachten. Der Mittelwert ohne Kit beläuft sich auf 19,2 Vol.-% und jener mit Kit auf 19,3 Vol.-%, was zu einer Erhöhung von 0,1 Vol.-% führt.

Als abschließendes Fazit ist festzustellen, dass sich die Messwerte beim Sauerstoffgehalt über die ganze Phase des Testbetriebes als sehr konstant erweisen und keine nennenswerten Ausreißer zu verbuchen sind.



Abb. 5.19: O<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 2240 min<sup>-1</sup> – Radlader Traismauer

### CO<sub>unv</sub> (Kohlenstoffmonoxid unverdünnt)

Dieser Wert wird anders als Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid in ppm (parts per Million) gemessen und gibt so eine Anzahl an vorhandenen CO-Teilchen pro Million Teilchen an. In Abb. 5.20 ist in Balkenform der gemessene Kohlenstoffmonoxidgehalt bei einer Drehzahl von 780 min<sup>-1</sup> in parts per Million zu sehen. In Abb. 5.20 lässt sich eine deutliche Differenz der gemessenen CO<sub>unv</sub>-Emissionen festzustellen. Der Mittelwert der Testphase ohne Kit beträgt 199 ppm und jener mit verbauter Applikation beläuft sich auf 173 ppm. Dies bedeutet eine Reduktion von etwa 26 ppm was in etwa 13% entspricht.

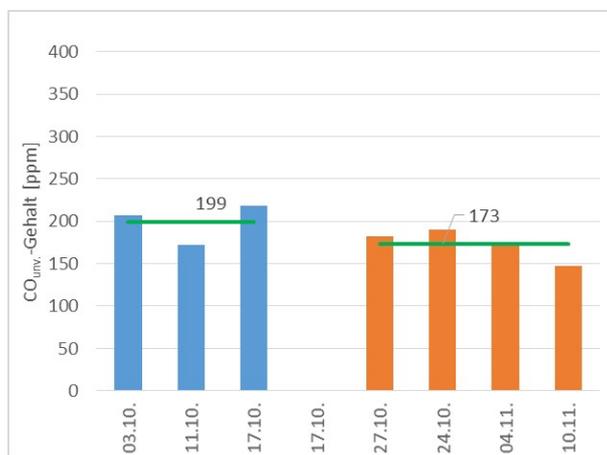


Abb. 5.20: CO<sub>unv</sub>-Messergebnisse bei 780 min<sup>-1</sup> – Radlader Traismauer

Die Messauswertung des mittleren Lastbereiches des Motors von 1500 min<sup>-1</sup> kann in Abb. 5.21 abgelesen werden. Anhand dieser gewonnenen Daten ist eine klare Veränderung des Kohlenmonoxidausstoßes zwischen der Testperiode ohne und mit eingebauter Applikation zu beobachten. Die grüne horizontale Linie, welche den Mittelwert repräsentiert, kommt im Falle des Testbetriebes ohne Kit bei 282 ppm zu liegen. Bei Betrieb mit Kit stößt der Radlader im Mittel 256 ppm CO<sub>unv</sub> aus. Die Differenz zwischen diesen Werten beträgt in etwa 26 ppm, eine Reduktion um 9%.

Die Übersicht zu den Messergebnissen bei jener Drehzahl von 2240 min<sup>-1</sup> ist in Abb. 5.22 nachzulesen. Wie bei den beiden anderen untersuchten Lastbereichen ist eine eindeutige Tendenz



Abb. 5.21: CO<sub>unv</sub>-Messergebnisse bei 1500 min<sup>-1</sup> – Radlader Traismauer



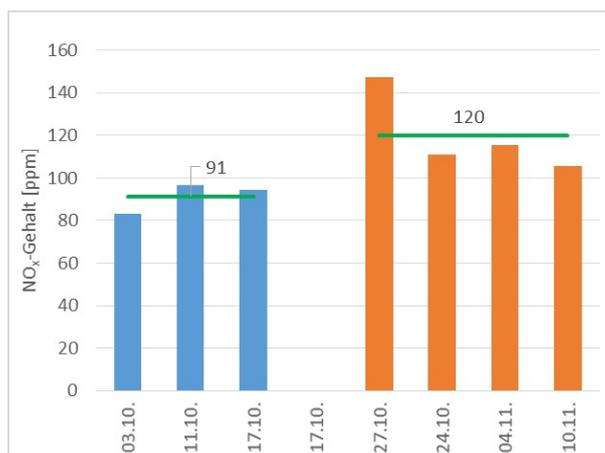
Abb. 5.22: CO<sub>unv</sub>-Messergebnisse bei 2240 min<sup>-1</sup> – Radlader Traismauer

der CO<sub>unv</sub>-Emission zu erkennen. Der Vergleich der Mittelwerte von 363 ppm ohne verbauten Kit und 292 ppm mit Kit zeigt eine Differenz von 71 ppm, eine Reduktion um 19%.

Zusammenfassend kann eine durchgehende Reduktion des unverdünnten Kohlenmonoxids durch den Einbau des Kits in den Radlader am Standort Traismauer festgestellt werden.

### NO<sub>x</sub> (Stickstoffoxide)

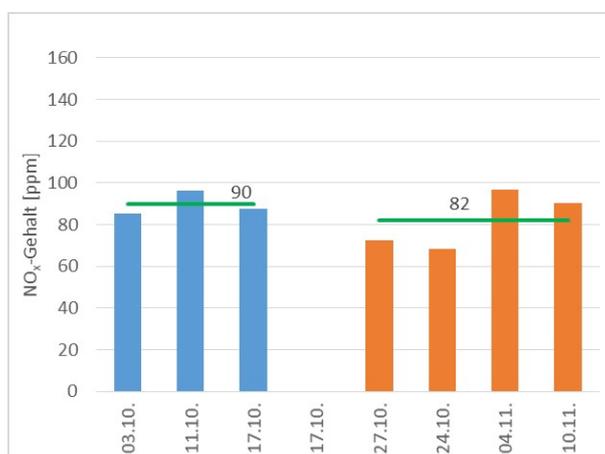
Stickoxide oder Stickstoffoxide dienen als eine Sammelbezeichnung für die gasförmigen Oxide des Stickstoffs und sie werden daher mit NO<sub>x</sub> abgekürzt. Die Emission der Stickoxide wird ebenso wie das unverdünnte Kohlenmonoxid in parts per Million (ppm) gemessen. Die Auswertung und übersichtswise Darstellung in Balkenform der Ergebnisse des Emissionsmonitorings ist in Abb. 5.23 dargestellt, wobei hier die einzelnen Messungen bei einer Motordrehzahl von 780 min<sup>-1</sup> betrachtet werden. Dabei ist eine Erhöhung der Stickoxidemission beim Betrieb mit Kit gegenüber ohne Kit zu erkennen. Der Mittelwert ohne verbauter Applikation beträgt 91 ppm und jener mit Applikation beläuft sich auf 120 ppm. Dies ergibt eine Differenz des NO<sub>x</sub>-Gehaltes in der Luft von 29 ppm. Jedoch ist eine große Schwankung bei den Messungen mit Kit zu beobachten. Der NO<sub>x</sub>-Gehalt ist bei der ersten Messung mit Kit am 27.10.2016 wesentlich größer als bei den anderen Messung mit Kit. Wenn diese beiden Messpunkte nicht bei der Mittelwertberechnung



**Abb. 5.23:** NO<sub>x</sub>-Messergebnisse bei 780 min<sup>-1</sup> – Radlader Traismauer

berücksichtigt werden, ist trotzdem der mittlere CO<sub>2</sub>-Gehalt beim Betrieb mit Kit höher als beim Betrieb ohne angeschlossenen Kit.

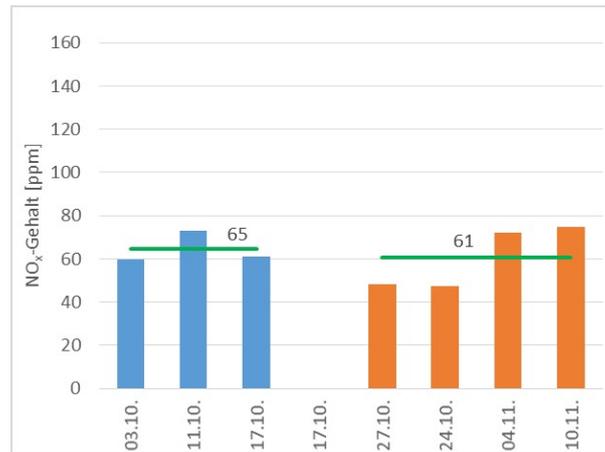
Die Messauswertung der NO<sub>x</sub>-Emission für die mittlere Drehzahl von 1500 min<sup>-1</sup> kann in Abb. 5.24 abgelesen werden. Dabei ist zu erkennen, dass bei den Messungen ohne Kit ein Mittelwert von 90 ppm und im Gegenzug bei ausgeführten Messungen mit Kit ein mittlerer Wert von 82 ppm zu Buche steht. Es kommt daher zu einer Reduzierung des NO<sub>x</sub>-Gehalt um 9% in den Abgasen beim Betrieb mit verbauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation gegenüber Normalbetrieb. Die



**Abb. 5.24:** NO<sub>x</sub>-Messergebnisse bei 1500 min<sup>-1</sup> – Radlader Traismauer

Übersicht zu den Messergebnissen bei der hohen Motordrehzahl von 2240 min<sup>-1</sup> ist in Abb. 5.25 dargestellt. Auch im Volllastbereich des Motors ist der NO<sub>x</sub>-Gehalt bei den Messungen mit verbauter Applikation geringer als bei den Messungen ohne installierte Applikation. Der mittlere NO<sub>x</sub>-Messwert ohne Kit beläuft sich auf 65 ppm und jener mit verbautem Kit beträgt 61 ppm. Dies bedeutet eine Differenz von 4 ppm. Jedoch ist eine große Schwankung bei den Messungen mit Kit zu erkennen. Der NO<sub>x</sub>-Gehalt ist bei beiden ersten Messungen mit Kit wesentlich geringer als bei den anderen Emissionsmessungen.

Zusammenfassend ist der mittlere NO<sub>x</sub>-Gehalt im Abgas im mittleren und Volllastbereich des Dieselverbrennungsmotors beim Betrieb mit Kit geringer als beim Betrieb ohne Kit. In der Auswertung des NO<sub>x</sub>-Gehalts bei den untersuchten Drehzahlen von 1500 und 2240 min<sup>-1</sup> ist zu



**Abb. 5.25:** NO<sub>x</sub>-Messergebnisse bei 2240 min<sup>-1</sup> – Radlader Traismauer

erkennen, dass die Messergebnisse der ersten beiden Messungen mit Kit wesentlich geringer sind, als bei den folgenden.

### Zusammenfassung und Schlussfolgerung der Messergebnisse

Diese Kapitel fasst die Ergebnisse der einzelnen vordefinierten Drehzahlbereiche zusammen und stellt die einzelnen Emissionen ohne und mit verbauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation gegenüber. Zusätzlich zu den vier vorhin näher betrachteten Emissionen werden in dieser Zusammenfassung das Kohlenmonoxid (CO) und das Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) ebenfalls berücksichtigt.

In Tab. 5.4 ist die Übersicht über die Messergebnisse des Emissionsmonitorings bei einer Drehzahl von 780 min<sup>-1</sup> beim Radlader in Traismauer nachzulesen. In dieser Tabelle sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen gemessenen Emissionen angegeben. Im letzten Teil der Tabelle erfolgt eine Gegenüberstellung in absoluten und relativen Zahlen der erhaltenen Werte, wobei das Vorzeichen die Richtung der Veränderung angibt. Dabei bedeutet negatives Vorzeichen (-) eine Reduktion der gemessenen Emission von der Testphase ohne Kit zu jener mit Kit. Aus Tab. 5.4 ist zu erkennen, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt um 33%, der NO<sub>2</sub>-Gehalt um 22% und der NO<sub>x</sub>-Gehalt um 31% mit Kit gegenüber ohne Kit steigt. Dies ist ungewöhnlich, da durch den Einsatz des Kits diese drei Abgaswerte reduziert werden sollten. Ein Grund für dieses

**Tab. 5.4:** Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 780 min<sup>-1</sup> – Radlader Traismauer

		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>unv</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>2</sub>
		[Vol-%]	[Vol-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
mit Kit							
Mittelwert	mit Kit	1,07	19,53	173	120	12	9
Standardabweichung		± 0,12	± 0,17	± 16	± 16	± 2	± 2
ohne Kit							
Mittelwert	ohne Kit	0,80	19,89	199	91	11	7
Standardabweichung		± 0,02	± 0,03	± 19	± 6	± 1	± 0
Gegenüberstellung							
Abweichung	Absolut	0,27	-0,36	-26	29	2	2
	relativ [%]	33	-2	-13	31	15	22

Ergebnis könnte sein, dass die Messungen bei Betrieb mit Kit Ende Oktober beziehungsweise Anfang November bei niedrigeren Temperaturen durchgeführt wurden. Die Heizung in der Fahrerkabine wurde bei der Messung jedoch ausgeschaltet, um einer möglichen Verfälschung der Ergebnisse vorzubeugen. Beim Sauerstoffgehalt sind nur minimale Veränderungen zu erkennen. Eine klare Reduktion ist beim  $\text{CO}_{\text{unv}}$  festzustellen. Der CO-Gehalt ist wiederum höher bei den Messungen mit installierter Applikation.

Tab. 5.5 zeigt übersichtlich die Messergebnisse des Emissionsmonitorings bei einer Drehzahl von  $1500 \text{ min}^{-1}$  beim Radlader in Traismauer. In Tab. 5.5 ist zu erkennen, dass im Gegensatz zur Auswertung bei  $780 \text{ min}^{-1}$  der  $\text{CO}_2$ -Gehalt um 7%, der  $\text{NO}_2$ -Gehalt um 12% und der  $\text{NO}_x$ -Gehalt um 9% mit Kit gegenüber ohne Kit sinkt. Eine weitere Verminderung des Schadstoffausstoßes ist beim  $\text{CO}_{\text{unv}}$  bzw. beim CO zu beobachten. Beim  $\text{O}_2$ -Gehalt ist eine geringe Erhöhung festzustellen. Dies ist plausibel, denn der  $\text{O}_2$ -Gehalt sollte ansteigen, wenn die anderen Abgaswerte geringer werden, da weniger  $\text{O}_2$ -Atome gebunden sind.

**Tab. 5.5:** Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei  $1500 \text{ min}^{-1}$  – Radlader Traismauer

		$\text{CO}_2$	$\text{O}_2$	$\text{CO}_{\text{unv}}$	$\text{NO}_x$	CO	$\text{NO}_2$
		[Vol-%]	[Vol-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
mit Kit							
Mittelwert	mit Kit	1,14	19,44	256	82	19	9
Standardabweichung		$\pm 0,21$	$\pm 0,29$	$\pm 15$	$\pm 12$	$\pm 4$	$\pm 1$
ohne Kit							
Mittelwert	ohne Kit	1,22	19,32	282	90	22	10
Standardabweichung		$\pm 0,03$	$\pm 0,04$	$\pm 20$	$\pm 5$	$\pm 1$	$\pm 0$
Gegenüberstellung							
Abweichung	Absolut	-0,08	0,11	-26	-8	-3	-1
	relativ [%]	-7	1	-9	-9	-15	-12

Tab. 5.6 stellt die ausgewerteten Ergebnisse des Emissionsmonitorings bei einer Motordrehzahl von  $2240 \text{ min}^{-1}$  beim Radlader in Traismauer dar. Aus Tab. 5.6 ist festzustellen, dass ähnlich wie bei  $1500 \text{ min}^{-1}$  der  $\text{CO}_2$ -Gehalt um 5%, der  $\text{NO}_2$ -Gehalt um 20% und der  $\text{NO}_x$ -Gehalt um 6% mit gegenüber nicht installierter Applikation sinkt. Eine weitere Verminderung des Schadstoffausstoßes ist beim  $\text{CO}_{\text{unv}}$  bzw. beim CO festzustellen. Die Beobachtung der Erhöhung des  $\text{O}_2$ -Gehaltes ist bei Vollast ebenfalls zu erkennen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass beim Leerlauf ( $780 \text{ min}^{-1}$ ) der  $\text{CO}_2$ -Gehalt, der  $\text{NO}_2$ -Gehalt und der  $\text{NO}_x$ -Gehalt mit Kit steigen. Dies ist ungewöhnlich, da durch den Einsatz des Kits diese drei Abgaswerte reduziert werden sollten. Ein Grund für dieses Ergebnis könnte sein, dass die Messungen bei Betrieb mit Kit Ende Oktober beziehungsweise Anfang November bei niedrigeren Temperaturen als bei den Messungen ohne Kit durchgeführt wurden. Die kalten Temperaturen beeinflussen die Emissionswerte bei niedriger Umdrehung stärker als zum Beispiel bei Vollast. Dies kann erklären, warum bei mittlerer und hoher untersuchter Motordrehzahl die Ergebnisse doch erwartungsgemäß ausfallen. Die Heizung in der Fahrerkabine wurde bei der Messung ausgeschaltet, um diese nicht zu verfälschen. Kapitel 3.5 listet äußere Randbedingungen, welche die Emissionen von Fahrzeugen beeinflussen, auf. Aufgrund der relativ hohen Standardabweichungen der Messergebnisse und den unterschiedlichen Randbedingungen kann kein zuverlässiger Prozentbereich für die Reduktion der schadhaften Emissionen genannt werden. Ziel des Emissionsmonitorings ist es, Tendenzen festzustellen. Bei den Messungen bei  $1500$  und  $2240 \text{ min}^{-1}$  ist eine Tendenz zu erkennen, dass der Betrieb mit verbauter DROP- $\text{NO}_x$ -

Applikation zu einer Reduktion des CO-Gehalts, CO<sub>2</sub>-Gehalts, NO<sub>2</sub>-Gehalts und NO<sub>x</sub>-Gehalts führt.

**Tab. 5.6:** Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 2240 min<sup>-1</sup> – Radlader Traismauer

		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>unv</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>2</sub>
		[Vol-%]	[Vol-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
mit Kit							
Mittelwert	mit Kit	1,24	19,30	292	61	24	7
Standardabweichung		± 0,29	± 0,40	± 15	± 13	± 5	± 2
ohne Kit							
Mittelwert	ohne Kit	1,31	19,20	362	65	31	9
Standardabweichung		± 0,07	± 0,10	± 23	± 6	± 0	± 0
Gegenüberstellung							
Abweichung	Absolut	-0,07	0,09	-71	-4	-7	-2
	relativ [%]	-5	0	-19	-6	-23	-20

### 5.2.2 Radlader Zwettl

Die Messung des Radladers in Zwettl wurden während der routinemäßigen Besuchen des Areals durch die Diplomanden punktuell durchgeführt. Es erfolgten zwei Messungen vor Einbau des Kits und vier Messaufzeichnungen nach Einbau der Applikation. Die Emissionsmessungen sind an den folgenden Tagen beim Radlader in Zwettl ausgeführt worden:

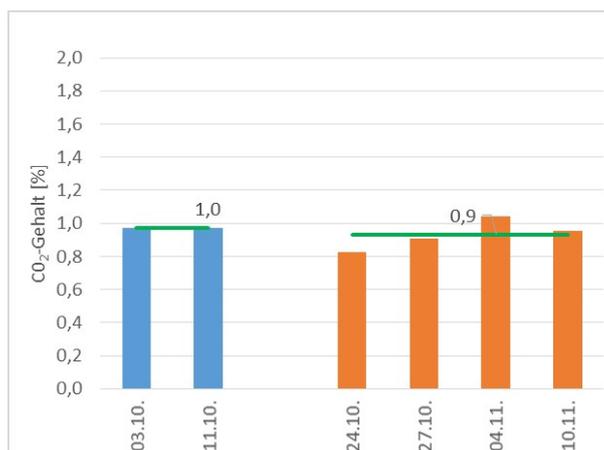
- ohne Kit: 03.10.2016, 11.10.2016
- mit Kit: 24.10.2016, 27.10.2016, 04.11.2016, 10.11.2016

Die Abgasmessungen erfolgten im Auspuff des Radladers. Für die Aufzeichnung am 03.10.2016 kam das App der Fa. Testo noch nicht zum Einsatz. Diese Messung erreicht wegen der geringeren Datenmenge und der händischen Aufzeichnung nicht die Genauigkeit, der Messungen mit dem Testo App. Der Einbau des Kits fand am Montag, den 17.10.2016 statt. Anschließend kam es zu einer Pause der Emissionsmessungen von einer Woche, damit sich das System der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation einspielen konnte. Durch die insgesamt sechs punktuellen Messungen wurde eine ausreichende Datenbasis für eine Auswertung der betrachteten Emissionen geschaffen.

#### CO<sub>2</sub> (Kohlenstoffdioxid)

Der Kohlenstoffdioxid-Gehalt ist ein direkter Indikator für den Kraftstoffverbrauch und eng an diesen gekoppelt. In Abb. 5.26 ist in Balkenform bei einer Motordrehzahl von 800 min<sup>-1</sup> der jeweilige Kohlenstoffdioxidausstoß an den einzelnen Messtagen dargestellt. Gemessen wird die CO<sub>2</sub>-Emission in Volumensprozent der Luft. Die grüne horizontale Linie repräsentiert den Mittelwert ohne beziehungsweise mit verbautem Kit. Hierbei ist eine Verringerung des Kohlendioxidausstoßes von im Mittel 1,0 Vol.-% auf 0,9 Vol.-% im Leerlauf (bei 800 min<sup>-1</sup>) des Radladers zu erkennen.

In Abb. 5.27 ist die jeweilige CO<sub>2</sub>-Emission bei der mittleren Drehzahl von 1500 min<sup>-1</sup> zu sehen. Im mittleren Lastbereich ist wie beim Leerlauf eine leichte Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes abzulesen. Der Mittelwert der durchgeführten Messungen ohne Kit beträgt 1,3 Vol.-%, wohingegen der gemittelte Wert mit Kit sich auf 1,2 Vol.-% reduziert. In der Grafik ist zudem festzustellen, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt bei den ersten zwei Messungen mit Kit nur bei circa 1,0 Vol.-% liegt. Dieser Wert ist wesentlich geringer als bei den anderen zwei Messungen mit installierter Applikation.



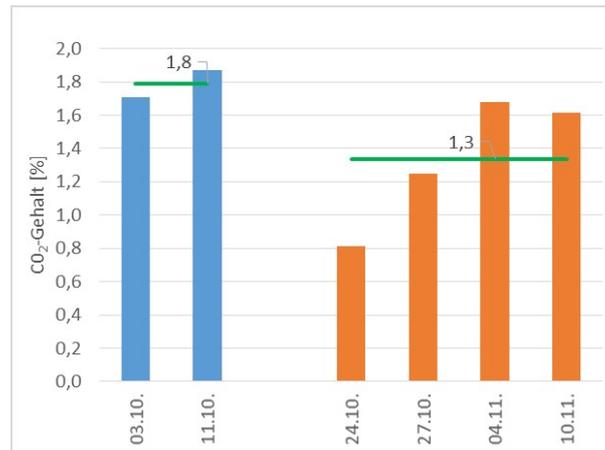
**Abb. 5.26:** CO<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 800 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl



**Abb. 5.27:** CO<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 1500 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl

Die Messauswertung unter Volllast von 2250 min<sup>-1</sup> wird in Abb. 5.28 dargestellt. Hier ist ebenfalls eine Reduktion des Kohlenstoffdioxidausstoßes zu beobachten. Die in grün dargestellten Linien für die Mittelwerte ohne bzw. mit Kit belaufen sich ohne Kit auf 1,8 Vol.-% und mit verbautem Kit auf 1,2 Vol.-%.

Bei allen Umdrehungen ist eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission in der Testphase mit verbauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation festzustellen. Vor allem bei Volllast ist der Unterschied erheblich. Jedoch ist eine große Schwankung bei den Messungen mit Kit vor allem bei mittlerer und hoher betrachteter Drehzahl zu erkennen. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt ist bei den Messungen am 24.10.2016 und am 27.10.2016 wesentlich geringer, als bei den beiden anderen Messungen mit Kit. Dies kann unter anderem daran liegen, dass die Funktionsfähigkeit des Emissionsmessgerätes von Testo bei niedrigen Temperaturen nicht optimal war.



**Abb. 5.28:** CO<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 2250 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl

### O<sub>2</sub> (Sauerstoff)

In Abb. 5.29 ist in Balkenform bei einer Motordrehzahl von 800 min<sup>-1</sup> der jeweilige Sauerstoffgehalt an den einzelnen Messtagen ersichtlich. Der O<sub>2</sub>-Gehalt wird in Volumenprozent der Luft gemessen. Die grünen Linien stellen den Mittelwert der jeweiligen Messperioden dar und dienen zur schnellen Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Die Abweichung des O<sub>2</sub>-Gehaltes in den Abgasen ist zwischen Betriebsart ohne und mit installierter Applikation sehr gering. Die gemessenen und bereits gemittelten O<sub>2</sub>-Emission betragen in beiden Testphasen 19,7 Vol.-%.



**Abb. 5.29:** O<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 800 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl

In Abb. 5.30 ist die jeweilige O<sub>2</sub>-Gehalt an den einzelnen Tagen der Messungen bei einer mittleren Drehzahl von 1500 min<sup>-1</sup> dargestellt. Dabei ist eine geringe Veränderung des O<sub>2</sub>-Gehaltes in der Luft zu erkennen. Der Mittelwert beträgt beim Betrieb ohne Kit 19,2 Vol.-% und mit Kit 19,3 Vol.-%. Es kommt daher zu einer leichten Erhöhung des O<sub>2</sub>-Gehaltes beim Betrieb mit verbauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation im Abgas.

Die Messauswertung der hohen Drehzahl von 2250 min<sup>-1</sup> kann in Abb. 5.31 abgelesen werden. Es lässt sich im Gegensatz zu den Messungen bei den anderen Drehzahlen, eine erhebliche Erhöhung der O<sub>2</sub>-Emission bei der Testphase mit verbautem Kit gegenüber der Phase ohne Kit feststellen. Der Mittelwert ohne installierter Applikation beläuft sich auf 18,5 Vol.-% und jener mit verbauter Applikation auf 19,2 Vol.-%, was zu einer Differenz von 0,7 Vol.-% führt.



Abb. 5.30: O<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 1500 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl



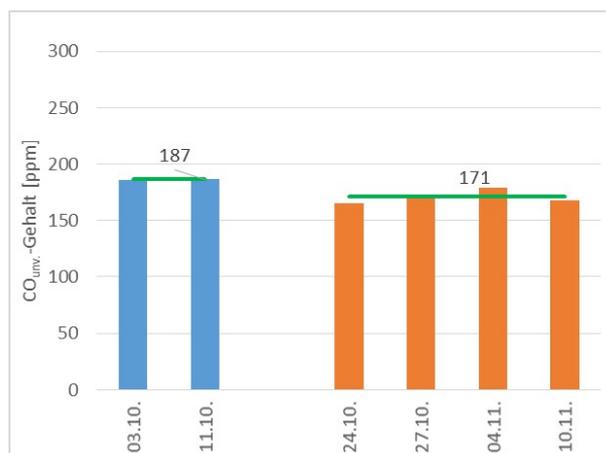
Abb. 5.31: O<sub>2</sub>-Messergebnisse bei 2250 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl

Abschließend ist anzumerken, dass sich die Messwerte beim Sauerstoffgehalt über die ganze Phase des Testbetriebes als sehr konstant erwiesen haben und keine nennenswerten Ausreißer zu verzeichnen sind. Der O<sub>2</sub>-Gehalt in den Abgasen ist bei jeder Umdrehung mit Kit höher als ohne Kit.

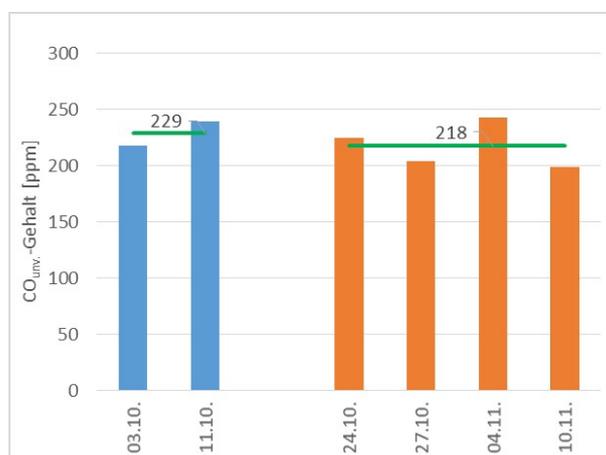
#### CO<sub>unv</sub> (Kohlenstoffmonoxid unverdünnt)

Kohlenstoffmonoxid wird nicht wie Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid in Volumenprozent der Luft gemessen, sondern in ppm (parts per Million) und gibt so eine Anzahl der vorhandenen CO-Teilchen pro Million Teilchen an. In Abb. 5.32 ist der gemessene Kohlenstoffmonoxidgehalt in ppm bei einer Drehzahl von 800 min<sup>-1</sup> zu sehen. In Abb. 5.32 ist eine deutliche Differenz der gemessenen CO<sub>unv</sub>-Emissionen zu erkennen. Der Mittelwert der Testphase ohne Kit beträgt 187 ppm und jener mit Kit beläuft sich auf 171 ppm. Dies bedeutet eine Reduktion von etwa 15 ppm, was in etwa 8,0% entspricht.

Die Messauswertung der mittleren Drehzahl von 1500 min<sup>-1</sup> kann in Abb. 5.33 abgelesen werden. Auch im mittleren Lastbereich des Motors ist eine Veränderung des Kohlenmonoxidausstoßes zwischen der Testperiode ohne und mit eingebauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation festzustellen. Die grüne Linie repräsentiert den Mittelwert dieser liegt im Falle des Testbetriebes ohne Kit bei



**Abb. 5.32:** CO<sub>unv</sub>-Messergebnisse bei 800 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl



**Abb. 5.33:** CO<sub>unv</sub>-Messergebnisse bei 1500 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl

229 ppm. Bei Betrieb mit Kit stößt der Radlader im Mittel 218 ppm CO<sub>unv</sub> aus. Die Differenz zwischen diesen Werten beträgt in etwa 11 ppm, eine Reduktion um 5%.

Die Übersicht zu den Messergebnissen bei jener Drehzahl unter Vollast von 2250 min<sup>-1</sup> ist in Abb. 5.34 nachzulesen. Wie bei den anderen beiden Lastbereichen ist eine Reduzierung der CO<sub>unv</sub>-Emission zu beobachten. Der Vergleich der Mittelwerte von 244 ppm ohne verbauten Kit und 236 ppm mit Kit zeigt eine Differenz von 7 ppm. Dies bedeutet eine Reduktion von 3%.

Zusammenfassend ist eine durchgehende Reduktion des unverdünnten Kohlenmonoxids durch den Einbau der DROP-NO<sub>x</sub> Applikation in den Radlader am Standort Zwettl festzustellen.

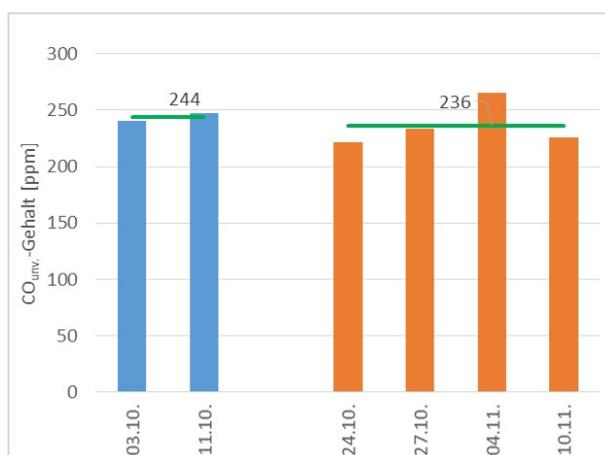


Abb. 5.34: CO<sub>unv</sub>-Messergebnisse bei 2250 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl

### NO<sub>x</sub> (Stickstoffoxide)

Die Emission der Stickoxide wird ebenso wie das unverdünnte Kohlenmonoxid in parts per Million (ppm) gemessen. Diese Emission ist ein weitere maßgebende für die Umweltbelastung von Dieselmotoren. Die Auswertung der einzelnen Messungen in Balkenform bei einer Motordrehzahl von 800 min<sup>-1</sup> ist in Abb. 5.35 dargestellt. Dabei ist eine Reduzierung der



Abb. 5.35: NO<sub>x</sub>-Messergebnisse bei 800 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl

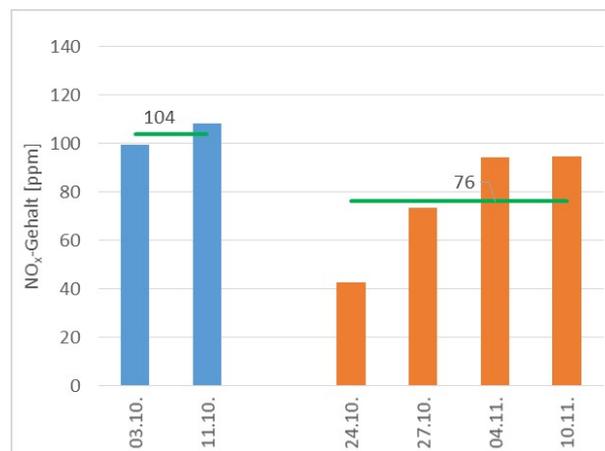
Stickoxidemission beim Betrieb mit Kit gegenüber der Testphase ohne verbauter Applikation zu erkennen. Der Mittelwert ohne installiertem Kit beträgt 121 ppm und jener mit Kit beläuft sich auf 111 ppm. Dies ergibt eine Differenz des NO<sub>x</sub>-Gehaltes in der Luft von 9 ppm beziehungsweise 8%. Der NO<sub>x</sub>-Gehalt ist bei der ersten Messung mit Kit am 27.10.2016 wesentlich geringer als bei den anderen Messung mit Kit. Dies lag wahrscheinlich an den unterschiedlichen Außentemperaturen bei den jeweiligen Messtagen.

Die Messauswertung der NO<sub>x</sub>-Emission für die mittlere Drehzahl von 1500 min<sup>-1</sup> ist in Abb. 5.36 nachzulesen. Dabei ist zu beobachten, dass bei den Messungen ohne Kit ein Mittelwert von 111 ppm und im Gegenzug bei ausgeführten Messungen mit Kit ein mittlerer Wert von 100 ppm zu Buche steht. Es kommt daher zu einer Reduzierung des NO<sub>x</sub>-Gehalt um 10% im Abgas beim Betrieb mit Kit gegenüber dem Normalbetrieb. Jedoch sind große Schwankungen bei den Messergebnissen mit verbauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation in Abb. 5.36 zu erkennen.



**Abb. 5.36:** NO<sub>x</sub>-Messergebnisse bei 1500 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl

Die Übersicht zu den Messergebnissen bei Motordrehzahl unter Vollast von 2250 min<sup>-1</sup> ist in Abb. 5.37 ersichtlich. Auch im hohen Drehzahlbereich ist der NO<sub>x</sub>-Gehalt bei den Messungen mit Kit geringer als bei jenen ohne Kit. Der mittlere NO<sub>x</sub>-Messwert ohne Kit beläuft sich auf 104 ppm und jener mit verbauter Applikation beträgt 76 ppm. Dies bedeutet eine Differenz von 28 ppm beziehungsweise 27%. Jedoch ist eine große Schwankung bei den Messungen mit Kit festzustellen. Der NO<sub>x</sub>-Gehalt ist an den ersten beiden Messtagen mit installiertem Kit wesentlich geringer als bei den anderen.



**Abb. 5.37:** NO<sub>x</sub>-Messergebnisse bei 2250 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl

Zusammenfassend ist der mittlere NO<sub>x</sub>-Gehalt in den Abgasen bei allen betrachteten Lastbereichen des Motors beim Betrieb mit Kit geringer als in der Testperiode ohne Kit. Bei Betrachtung der Auswertung des NO<sub>x</sub>-Gehalts ist zu beobachten, dass die Messergebnisse der ersten beiden Messungen mit installierter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation wesentlich geringer sind, als bei den folgenden Messungen in dieser Testperiode.

### Zusammenfassung und Schlussfolgerung der Messergebnisse

In diesem Kapitel werden jeweils die Emissionen bei drei verschiedenen Drehzahlen betrachtet und die einzelnen Emissionen ohne und mit verbauten Kit gegenübergestellt. Zusätzlich zu den vier näher beschriebenen Emissionen werden in dieser Zusammenfassung zusätzlich die Schadstoffe Kohlenmonoxid (CO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) betrachtet.

In Tab. 5.7 ist die Übersicht über die Messergebnisse des Emissionsmonitorings bei einer Drehzahl von 800 min<sup>-1</sup> beim Radlader in Zwettl abgebildet. In dieser Tabelle sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen gemessenen Emissionen angegeben. Im letzten Teil der Tabelle erfolgt eine Gegenüberstellung in absoluten und relativen Zahlen der erhaltenen Werte, wobei das Vorzeichen die Richtung der Veränderung angibt.

Aus Tab. 5.7 ist zu erkennen, dass der CO<sub>2</sub>-Gehalt um 4%, der NO<sub>2</sub>-Gehalt um 19% und der NO<sub>x</sub>-Gehalt um 8% mit Kit gegenüber der Testphase ohne Kit sinkt. Beim Sauerstoffgehalt sind nur marginale Veränderungen zu erkennen. Eine klare Reduktion ist bei der Emission CO<sub>unv</sub>- und CO zu beobachten.

Tab. 5.8 zeigt übersichtlich die Messergebnisse der Emissionsmessungen bei einer Drehzahl von 1500 min<sup>-1</sup> beim Zwettl stationierten Radlader. Aus Tab. 5.8 ist festzustellen, dass ähnlich wie bei der Auswertung bei 800 min<sup>-1</sup> der CO<sub>2</sub>-Gehalt um 10%, der NO<sub>2</sub>-Gehalt um 23% und der NO<sub>x</sub>-Gehalt um 10% mit verbautem Kit sinkt. Eine Verminderung des Schadstoffausstoßes ist ebenfalls beim CO<sub>unv</sub> bzw. beim CO zu beobachten. Beim O<sub>2</sub>-Gehalt in der Luft ist eine geringe Erhöhung festzustellen. Dies ist plausibel, denn der O<sub>2</sub>-Gehalt sollte ansteigen, wenn die anderen Abgaswerte geringer werden, da weniger Sauerstoff im Abgas gebunden wird.

In Tab. 5.9 sind die ausgewerteten Ergebnisse des Emissionsmonitorings bei einer Motordrehzahl von 2250 min<sup>-1</sup> beim Radlader in Zwettl dargestellt. Aus Tab. 5.9 ist zu erkennen, dass wieder der CO<sub>2</sub>-Gehalt um 25%, der NO<sub>2</sub>-Gehalt um 26% und der NO<sub>x</sub>-Gehalt um 27% mit installierter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation sinkt. Eine Reduzierung des Schadstoffausstoßes ist beim CO<sub>unv</sub> bzw. beim CO ebenfalls festzustellen. Die Beobachtung der Erhöhung des O<sub>2</sub>-Gehaltes ist bei Vollast ebenfalls zu erkennen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der mittlere CO-, CO<sub>2</sub>-, NO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Gehalt im Abgas bei allen zu untersuchten Lastbereichen des Motors bei den Messungen mit Kit gegenüber jenen ohne Kit gesunken ist. Aus der Auswertung kann daher grundsätzlich die Aussage getroffen werden, dass das Kit einen reduzierenden Einfluss auf die Emissionen des Radladers in Zwettl hat. Anzumerken ist vor allem die große Reduzierung der Emissionen unter Vollast von über 25%. Aus

**Tab. 5.7:** Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 800 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl

		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>unv</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>2</sub>
		[Vol-%]	[Vol-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
mit Kit							
Mittelwert	mit Kit	0,93	19,72	171	111	10	7
Standardabweichung		± 0,08	± 0,11	± 5	± 15	± 1	± 2
ohne Kit							
Mittelwert	ohne Kit	0,97	19,66	187	121	12	9
Standardabweichung		± 0,00	± 0,00	± 1	± 4	± 0	± 0
Gegenüberstellung							
Abweichung	Absolut	-0,04	0,06	-15	-9	-2	-2
	relativ [%]	-4	0	-8	-8	-13	-19

**Tab. 5.8:** Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 1500 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl

		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>unv</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>2</sub>
		[Vol-%]	[Vol-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
mit Kit							
Mittelwert	mit Kit	1,20	19,34	218	100	17	8
Standardabweichung		± 0,25	± 0,34	± 17	± 23	± 5	± 3
ohne Kit							
Mittelwert	ohne Kit	1,34	19,16	229	111	22	11
Standardabweichung		± 0,09	± 0,13	± 11	± 7	± 0	± 0
Gegenüberstellung							
Abweichung	Absolut	-0,14	0,19	-11	-11	-5	-3
	relativ [%]	-10	1	-5	-10	-23	-23

**Tab. 5.9:** Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 2250 min<sup>-1</sup> – Radlader Zwettl

		CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>unv</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>2</sub>
		[Vol-%]	[Vol-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
mit Kit							
Mittelwert	mit Kit	1,34	19,16	236	76	21	7
Standardabweichung		± 0,35	± 0,48	± 17	± 21	± 6	± 2
ohne Kit							
Mittelwert	ohne Kit	1,79	18,53	244	104	30	10
Standardabweichung		± 0,08	± 0,11	± 4	± 4	± 0	± 0
Gegenüberstellung							
Abweichung	Absolut	-0,45	0,63	-7	-28	-9	-3
	relativ [%]	-25	3	-3	-27	-31	-26

der Aufarbeitung der Messungen ist zu beobachten, dass beim ersten und zweiten Messtag mit installiertem Kit bei der NO<sub>x</sub> und CO<sub>2</sub> Auswertungen wesentlich geringere Werte zu Tage treten, als bei den beiden weiteren Messungen mit Kit. Die niedrigeren Temperaturen bei den letzten Messungen könnten diese Unterschiede verursacht haben. Kapitel 3.5 beschreibt weitere äußere Randbedingungen, welche die Emissionen von Fahrzeugen beeinflussen. Aufgrund der relativ hohen Standardabweichungen der Messergebnisse und den unterschiedlichen Randbedingungen kann keine wissenschaftlich fundierte Aussage getroffen werden, um welchen Prozentsatz sich die schadhafte Emissionen durch die Installation DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation reduziert hatten.

### 5.2.3 Gegenüberstellung der Radlader

In diesem Kapitel werden die Emissionsveränderungen durch den Betrieb mit eingebauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation bei den beiden untersuchten Radladern in Zwettl und Traismauer gegenübergestellt. Aufgrund der unterschiedlichen äußeren Randbedingungen (Temperatur, Zustand des Motors, ...) und den verschiedenen Motortypen ist die Vergleichbarkeit der Radlader jedoch beeinträchtigt. Der Radlader in Traismauer wurde 2007 und der Radlader in Zwettl 2010 gefertigt. In Tab. 5.10 sind die Emissionsveränderung in Prozent [%] für den Radlader in Traismauer und in Zwettl dargestellt. In dieser Tabelle werden die Radlader nur bei den Drehzahlen 1500 und 2240

bzw.  $2250 \text{ min}^{-1}$  miteinander verglichen. Der Emissionsvergleich bei Leerlauf ist nicht sinnvoll, da die gemittelten  $\text{CO}_2$ -,  $\text{NO}_2$ - und  $\text{NO}_x$ -Messergebnisse mit Kit beim Radlader in Traismauer bei diesem Lastfall höher sind als die Messergebnisse ohne Kit. Aus Tab. 5.10 ist zu erkennen, dass die Auswirkung des Kits auf die Emissionen in Zwettl wesentlich größer ausfällt, obwohl der Radlader in Traismauer ein älteres Baujahr hat. In Zwettl erfolgt die Zufuhr von destilliertem Wasser über drei Düsen. Beim Radlader in Traismauer sind aus Platzgründen nur zwei Düsen mit dem Wasserbehälter verbunden und aktiv. Dadurch wird weniger Wasser in den Ansaugstrang des Motors gesaugt. Dieser konstruktive Unterschied ist vermutlich der Grund für den geringeren Einfluss des Kits auf die Emissionen in Traismauer.

**Tab. 5.10:** Gegenüberstellung der Emissionsveränderung der Radlader in Traismauer und Zwettl

Umdrehung Standort	$1500 \text{ min}^{-1}$		$2240/2250 \text{ min}^{-1}$	
	Traismauer	Zwettl	Traismauer	Zwettl
	Reduzierung der Emission in % gegenüber ohne Kit			
$\text{CO}_2$	-7	-10	-5	-25
$\text{O}_2$	+1	+1	0	+3
$\text{NO}_x$	-9	-10	-6	-27
CO	-15	-23	-23	-31
$\text{NO}_2$	-12	-23	-20	-26

### 5.3 Vergleich mit europäischer Abgasemissionsrichtlinie

Die Grenzwerte der jeweiligen Abgasemissionsrichtlinie der EU sind in Kapitel 2.4.2 nachzulesen. Die untersuchten Radlader wie auch der Hydraulikraupenbagger fallen alle in die Stufe III A der *Emissionsabgasrichtlinie 2004/26/EG*, welche am 21.04.2004 von der EU erlassen wurde. Somit sind die Werte aus Tab. 2.9 auf Seite 27 maßgebend und einzuhalten.

Für Kohlenmonoxid (CO) und Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) sind sowohl Messwerte als auch Grenzwerte vorhanden. Die Vergleichbarkeit zwischen den gewonnenen Messdaten und den Grenzwerten aus der Abgasemissionsrichtlinie III A ist nur mit Hilfe einer Umrechnung von ppm in g/kWh möglich. Die Formel für die Umrechnung von parts per million in Gramm pro Kilowattstunde lautet:

$$EP_i = EV_i \cdot \frac{M_i \cdot \dot{m}_{Abg}}{M_{Abg} \cdot P_{eff}} \quad (5.1)$$

In Formel (5.1)<sup>63</sup> bedeuten  $EP_i$  die Masse der Schadstoffkomponente  $i$  auf  $P_{eff}$  bezogen [g/kWh],  $EV_i$  der Abgasemissionswert der Komponente  $i$  als Volumenanteil [ppm],  $M_i$  die Molmasse der Komponente  $i$  [kg/kmol],  $M_{Abg}$  die Molmasse des Abgases [kg/kmol],  $\dot{m}_{Abg}$  der Abgasmassenstrom [kg/h] und  $P_{eff}$  Motorleistung [kW]. Wobei sich der Abgasmassenstrom  $\dot{m}_{Abg}$  wie folgt berechnet:

$$\dot{m}_{Abg} = \rho \cdot C \cdot A \quad (5.2)$$

In Formel (5.2)<sup>64</sup> symbolisiert  $\rho$  die Dichte des Mediums [kg/m<sup>3</sup>],  $C$  die mittlere Strömungsgeschwindigkeit [m/h] und  $A$  die Querschnittsfläche [m<sup>2</sup>].

<sup>63</sup>Vgl. [23] VDMA (Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau) e.V.

<sup>64</sup>Vgl. [20] Schweizer

Aufgrund der Messmethodik mit dem Abgasanalysegerät der Fa. Testo ist keine Umrechnung von parts per million in g/kWh möglich, da die Strömungsgeschwindigkeit mit diesem Messgerät Testo 340 nicht gemessen wird. Eine Aussage über die Einordnung der gemessenen Emissionen in eine Emissionsklasse laut *Richtlinie 2004/26/EG Mobile Maschinen und Geräte (Gasförmige Schadstoffe)* ist daher auf Basis der vorliegenden Messungen nicht möglich.

# Kapitel 6

## Schlussfolgerungen und Fazit

In diesem Abschnitt werden die gewonnenen Daten und Erkenntnisse aus dem Kraftstoff- und Emissionsmonitoring ohne und mit installierter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation im Überblick zusammengefasst. Außerdem werden die beobachteten Problempunkte nochmals komprimiert aufgezählt und Verbesserungsvorschläge für künftige Untersuchungen gegeben.

### 6.1 Schlussfolgerung Kraftstoffmonitoring

Die gewonnenen Daten zum Kraftstoffverbrauch ohne und mit eingebauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation beim Hitachi Hydraulikraupenbagger sind in Tab. 6.1 angegeben.

**Tab. 6.1:** Ergebnisse Kraftstoffmonitoring Raupenbagger – Übersicht

Aufzeichnungsart	ohne/mit Kit	Kraftstoffverbrauch pro Stunde [l/h]	Lastzyklen pro Stunde [LZ/h]
kontinuierlich	ohne	20,36	—
kontinuierlich	mit	19,96	—
Veränderung in %		-2,0	
stundenweise	ohne	24,40	44
stundenweise	mit	23,70	42
Veränderung in %		-2,9	

Der Vergleich zwischen den Testphasen ohne und mit eingebauter Applikation zeigt bei beiden Aufzeichnungsvarianten eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs pro Stunde. Beim kontinuierlichen Kraftstoffmonitoring beläuft sich die Reduktion auf etwa 2%, wobei hier die Anzahl der Lastzyklen pro Stunde nicht bekannt ist und der Weg zur Zapfsäule zusätzlich das Ergebnis beeinflusst. Eine genauere Aussage ergibt sich beim Konzept der stundenweisen Protokollierung. Dabei tritt eine Verminderung des Kraftstoffverbrauchs pro Betriebsstunde von zirka 3% zu Tage. Aufgrund des geregelten Ablaufs beeinflussten weniger Unsicherheitsfaktoren das Endergebnis und somit stellt diese Aufzeichnungsart eine repräsentativere Aussage dar.

Die Ergebnisse zum Kraftstoffmonitoring der beiden untersuchten Radlader sind in Tab. 6.2 nachzulesen. Bei dem in Traismauer stationierten Radlader kommt es zu einer Reduktion des Kraftstoffverbrauchs pro Stunde von 7,15%, wobei die Differenz im Verbrauch pro gefahrenem Kilometer nur um 0,85% differiert. Diese Diskrepanz zwischen Kraftstoffverbrauch pro Stunde und Verbrauch pro Kilometer liegt daran, dass die Kilometerleistung mit Kit um 9,43% niedriger ist. Das Baufahrzeug fuhr in der Testphase mit Kit wesentlich weniger Kilometer in der Stunde, als in der Testperiode ohne Kit. Die Randbedingungen in Traismauer waren für ein

**Tab. 6.2:** Ergebnisse Kraftstoffmonitoring Radlader – Übersicht

Standort	ohne/mit Kit	Verbrauch pro Stunde [l/h]	Verbrauch pro Kilometer [l/km]	Kilometer pro Stunde [km/h]
Traismauer	ohne	16,26	3,18	5,11
Traismauer	mit	15,10	3,16	4,77
Veränderung in %		-7,15	0,85	-9,43
Zwettl	ohne	8,92	2,82	3,16
Zwettl	mit	9,41	2,80	3,33
Veränderung in %		5,45	-1,03	5,21

solches Kraftstoffmonitoring ungünstiger, da das Baufahrzeug unterschiedliche Tätigkeiten in unregelmäßigen Zeitabständen durchführte. Daher ist ein aussagekräftiger Vergleich zwischen Testperioden ohne und mit Kit nur eingeschränkt möglich. Die unterschiedlichen Tätigkeiten sind vor allem in den großen täglichen Verbrauchsschwankungen zu erkennen (siehe Anhang). Die Standardabweichung für den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch pro Kilometer ist daher relativ hoch und liegt beim Betrieb ohne Kit bei 10% und beim Betrieb mit Kit bei 16%. Aufgrund der oben dargestellten Ergebnisse ist kein aussagekräftiger Trend über eine mögliche Reduktion des Kraftstoffverbrauches zu erkennen.

Beim Radlader in Zwettl erhöht sich der Kraftstoffverbrauch mit Kit pro Stunde um 5,45 Prozentpunkte. Betrachtet man ausschließlich den Kraftstoffverbrauch pro Kilometer kommt es zu einer Reduktion des Verbrauchs zwischen Betrieb ohne zum Betrieb mit verbauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation um 1,03%. Diese Diskrepanz zwischen Kraftstoffverbrauch pro Stunde und Kraftstoffverbrauch pro Kilometer liegt daran, dass die Kilometerleistung in der Testphase mit Kit um 5,21% höher ist. Die Standardabweichung für den durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch pro Kilometer beträgt ohne Kit jedoch 7% und mit Kit 5%. Daher liegt die Kraftstoffreduktion im Schwankungsbereich der Messung. Aus diesen Ergebnissen kann daher ebenfalls kein aussagekräftiger Kraftstoffreduktionstrend beobachtet werden. Dabei ist anzumerken, dass aufgrund der gegebenen Rahmenbedingungen die Schaffung von Laborbedingungen nicht möglich war und dies die Aussagekraft dieses Vergleichs verringerte.

Tab. 6.3 gibt einen Überblick über den Kraftstoffverbrauch pro Kilometer bei den straßenzugelassenen Fahrzeugen. Diese umfassen zwei Lastkraftwagen und zwei Kleintransporter. Die Aufzeichnung bei allen straßenzugelassenen Fahrzeugen erfolgte händisch, wodurch eine gewisse Unsicherheit in der Aufzeichnung entsteht. Ein wichtiger Aspekt dabei stellt die genaue Protokollierung der jeweiligen Beladung dar. Da dies jedoch schwierig aufzuzeichnen ist, erfolgte eine für exakte Prognoseangaben eigentlich unzureichende Protokollierung. Die trotzdem gewonnenen Daten sollten in weiteren Untersuchungen zur DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation verifiziert werden. Beim betrachteten VW T5 Bus 1 kam es zu einer Verminderung des Kraftstoffverbrauchs um 9%. Beim anderen Kleintransporter dem VW T5 Bus 2 erhöhte sich der Kraftstoffverbrauch pro Kilometer mit eingebauter Applikation um etwa 5%. Bei den Lastkraftwagen ist ebenfalls eine leichte Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs zu erkennen. Diese unterschiedlichen Ergebnisse bzw. diese Erhöhungen beim Betrieb mit Kit sind dadurch erklärbar, dass der Kraftstoffverbrauch stark von der Beladung und der Art der gefahrenen Kilometer (Autobahn, Bundesstraße, Stadtgebiet, ...) abhängt. Anhand der gewonnenen Daten und Erkenntnisse kann daher kein eindeutiger Kraftstoffreduktionstrend nachgewiesen werden.

**Tab. 6.3:** Ergebnisse Kraftstoffmonitorings der straßenzugelassenen Fahrzeuge – Übersicht

Fahrzeug	ohne/mit Kit	Kraftstoffverbrauch pro Kilometer [l/km]
Lastkraftwagen DAF	ohne	0,420
Lastkraftwagen DAF	mit	0,430
Lastkraftwagen MAN	ohne	0,410
Lastkraftwagen MAN	mit	0,440
VW T5 Bus 1	ohne	0,0988
VW T5 Bus 1	mit	0,0899
VW T5 Bus 2	ohne	0,0897
VW T5 Bus 2	mit	0,0941

## 6.2 Schlussfolgerung Emissionsmonitoring

Ziel des Emissionsmonitorings ist es, ob die Anwendung der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation zu einer Reduktion der Schadstoffemission führt. Aufgrund der relativ hohen Standardabweichungen der Messergebnisse und den unterschiedlichen Randbedingungen kann jedoch keine wissenschaftlich fundierte Aussage getroffen werden, um wie viele Prozent die DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation in einem Baufahrzeug die schadhaften Emissionen reduzieren kann. Die detaillierten Ergebnisse zum Emissionsmonitoring sind in Kapitel 5 zu den einzelnen untersuchten Baufahrzeugen nachzulesen. In Tab. 6.4 sind die jeweils drei Messdrehzahlen beim Hydraulikraupenbagger, dem Radlader in Zwettl und jenem in Traismauer sowie die jeweilige prozentuale Veränderung durch die Verwendung der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation nachzulesen. Aus den Ergebnissen beim Raupenbagger

**Tab. 6.4:** Übersicht Ergebnisse Emissionsmonitoring – Veränderung der Emission in % gegenüber Messungen ohne Kit

Umdrehung min <sup>-1</sup> (U/min)	CO <sub>2</sub> [Vol. %]	O <sub>2</sub> [Vol. %]	CO <sub>unv</sub> [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]
Raupenbagger						
800	-8	0	-14	0	-17	-10
1300	-10	+1	-7	-4	-11	-17
1700	-8	0	-7	-3	-9	-9
Radlader Zwettl						
800	-4	0	-8	-8	-13	-19
1500	-10	+1	-5	-10	-23	-23
2250	-25	+3	-3	-27	-31	-26
Radlader Traismauer						
780	+33	-2	-13	+31	+15	+22
1500	-7	+1	-9	-9	-15	-12
2240	-5	0	-19	-6	-23	-20

ist eine Emissionsreduktion zu erkennen. Bei diesem Baufahrzeug sind die gewonnenen Daten zu den einzelnen Emissionen jeweils sehr konstant. Die beobachteten Tendenzen ziehen sich durch alle drei betrachteten Drehzahlbereiche des Motors, wobei selten kleine Ausreißer bei den einzelnen Messungen abzulesen sind. Die ausgewerteten und in Kapitel 5.1 beschriebenen Ergebnisse erlauben eine gewisse Aussagekraft, zeigen aber, dass ein Emissionstest am Prüfstand weitaus präziser ist.

Beim Radlader in Zwettl ist festzustellen, dass der mittlere  $\text{CO}_2$ -,  $\text{NO}_2$ - und  $\text{NO}_x$ -Gehalt im Abgas bei allen untersuchten Drehzahlen bei den Messungen mit Kit gegenüber jenem ohne Kit gesunken ist. Auffällig ist vor allem die große Reduzierung fast aller Emissionen unter Vollast (über 25%). Aus der Auswertung kann grundsätzlich die Aussage getroffen werden, dass der Einbau des Kits zu einer Verminderung des Emissionsausstoßes beim Radlader in Zwettl führt.

Bei dem Radlader in Traismauer ist ebenfalls der gleiche Trend bei mittlerer und hoher Drehzahl festzustellen. Im Leerlauf kommt es jedoch zu einer Erhöhung des Schadstoffanteils im Abgas. Dies kann an den unterschiedlichen Randbedingungen liegen (Temperatur, Tätigkeit vor der Messung, ...). Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass die Messschwankungen bei den untersuchten Radladern wesentlich größer sind als beim Hydraulikraupenbagger.

Aus Tab. 6.4 ist festzustellen, dass durch den Einbau der DROP- $\text{NO}_x$ -Applikation die Reduktion des Emissionsausstoßes beim Radlader in Zwettl wesentlich größer ausfällt als beim Radlader in Traismauer. Dieser Umstand ist dadurch zu erklären, dass beim Radlader in Zwettl die Zufuhr von destilliertem Wasser über drei Düsen erfolgte. Bei dem in Traismauer stationierten Radlader waren aus Platzgründen nur zwei Düsen angeschlossen und mit den Wasserbehältern verbunden, dadurch wurde weniger Wasser in den Ansaugstrang des Motors gesaugt. Dieser konstruktive Unterschied ist vermutlich der Grund für den geringeren Einfluss des Kits auf die Emissionen beim Radlader in Traismauer.

### 6.3 Fazit und Verbesserungspotenziale

Ein wesentlicher Punkt bei den Untersuchungen des Kraftstoffverbrauchs, ist die Vergleichbarkeit der Messungen, in diesem Fall der Messtage. Aufgrund der gegebenen Randbedingungen in Traismauer und Zwettl und der Arbeit im laufenden Betrieb ist diese Vergleichbarkeit bei den beiden untersuchten Radladern nicht gegeben, da die Tätigkeiten von Tag zu Tag (von Messung zu Messung) enorm variieren. Eine Definition eines sich wiederholenden Lastzyklus war nur beim Raupenbagger in einer Art „Laborversuch“ möglich. Daher konnte beim Hydraulikraupenbagger eine ausreichende Vergleichbarkeit der Ergebnisse geschaffen werden durch die Einführung des Konzepts der stundenweisen Aufzeichnung. Sowohl beim Radlader in der Asphaltmischanlage Traismauer, als auch bei jenem in Zwettl kann aufgrund der Aufzeichnungen im Betrieb keine fundierte qualitative Aussage zum Kraftstoffverbrauch getätigt werden. Dazu kommt, dass das Bewusstsein über Genauigkeit und Regelmäßigkeit von Aufzeichnungen erst geschaffen werden musste. Ein Missverständnis in Traismauer führte dazu, dass immer nur die Arbeitszeit und nicht die Betriebszeit der Maschine aufgezeichnet wurde. Dieser Umstand birgt einen weiteren Unsicherheitsfaktor für die gewonnenen Daten zum Kraftstoffverbrauch beim Radlader in Traismauer. Daher sind die erhaltenen Ergebnisse nur als Trendfeststellung zu interpretieren und können von den Gründern des Start-Ups der DROP- $\text{NO}_x$ -Applikation als Basis für weitere Forschungen verwendet werden.

Bei den straßenzugelassenen Fahrzeugen, bei denen ebenfalls ein begleitendes Kraftstoffmonitoring durchgeführt wurde, kann aufgrund der gegebenen Rahmenbedingungen ebenfalls nur eine Trendanalyse gemacht werden. Vor allem durch die Nichtüberprüfbarkeit der jeweiligen Beladung der Lastkraftwagen bzw. Kleintransporter sind die erhaltenen Werte zum Kraftstoff-

verbrauch pro Kilometer kritisch zu hinterfragen. Somit ist es bei diesen Fahrzeugtypen nicht möglich, eine wissenschaftlich fundierte Aussage über die genauen Verbesserungspotenziale der DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation zu tätigen.

Das Emissionsmonitoring bei den Baumaschinen sollte mögliche Tendenzen zur Reduzierung des Schadstoffausstoßes durch die Applikation von DROP-NO<sub>x</sub> aufzeigen. Diese Zielsetzung wurde unter den gegebenen Rahmenbedingungen erfüllt. Aufgrund der Verbesserungen der Datenaufzeichnung mit Hilfe des Apps der Fa. Testo im Laufe der ersten Testphase ohne verbauter DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation konnte das Maximum an Datenquantität und auch Datenqualität aus den vorgefundenen Randbedingungen geholt werden. Trotzdem wären Laborbedingungen und ein Rollenprüfstand für eine detaillierte und fundierte Aussage unerlässlich. Die gewonnenen Erkenntnisse sind als Trendaussage zu verstehen und dienen als Grundlage für weitere Forschungen zur DROP-NO<sub>x</sub>-Applikation.

Die folgenden Punkte sind bei weiteren Untersuchungen zum Kraftstoffverbrauch bzw. bei Aufzeichnung von Emissionen bei Baumaschinen unbedingt zu beachten:

- Ein Testbetrieb ist vom laufenden Betrieb zu entkoppeln.
- Vergleichbare Rahmenbedingungen der zu untersuchenden Geräte sind zu schaffen.
- Zusätzlich sind Telematikdatenaufzeichnung zur Überprüfung der protokollierten Daten zu verwenden. Damit soll eine größere Datensicherheit erreicht werden.

Die gemessenen Kraftstoffverbrauchs- und Emissionswerte der Baumaschinen dienen als Anhaltspunkte für weitere Forschungen. Die vielfältigen Rand- und Dokumentationsbedingungen lassen jedoch eine quantitative Aussage nicht zu. Um gesicherte Ergebnisse mit einer akzeptablen Schwankungsbreite zu erhalten, ist eine Messung am Rollprüfstand unabdingbar.

# Literaturverzeichnis

- [1] Anwendung Venturi. *Anwendungsgebiete Venturi-Düse*. URL: <http://www.wikipedia.org/wiki/Venturi-D%C3%BCse> (besucht am 01.11.2016).
- [2] T. Becker, R. Herrmann, V. Sandor, D. Schäfer und U. Wellisch. *Deskriptive Statistik und explorative Datenanalyse – Stochastische Risikomodellierung und statistische Methoden, Ein anwendungsorientiertes Lehrbuch für Aktuare*. 1. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016.
- [3] Chemie.de Service GmbH. *Kohlenstoffdioxid: Herstellung, Verwendung, physikalische und chemische Eigenschaften, CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre und Treibhauseffekt, Physiologische Wirkungen und Gefahren*. 2017. URL: <http://www.chemie.de/lexikon/Kohlenstoffdioxid.html> (besucht am 04.01.2017).
- [4] Chemie.de Service GmbH. *Kohlenstoffmonoxid: Name, chemische Eigenschaften, Toxizität, Herstellung, Entsorgung, Verwendung*. URL: <http://www.chemie.de/lexikon/Kohlenstoffmonoxid.html> (besucht am 04.01.2017).
- [5] Chemie.de Service GmbH. *Stickoxide: Nitrose Gase, Auswirkungen von Stickoxiden, NO<sub>x</sub> in der Feuerung*. URL: <http://www.chemie.de/lexikon/Stickoxide.html> (besucht am 04.01.2017).
- [6] Daimler AG. *Mercedes-Benz Sprinter*. URL: [http://www.mercedes-benz.at/content/austria/mpc/mpc\\_austria\\_website/de/home\\_mpc/van/home/new\\_vans/models/sprinter\\_906/pickup\\_/data/dimensions.html](http://www.mercedes-benz.at/content/austria/mpc/mpc_austria_website/de/home_mpc/van/home/new_vans/models/sprinter_906/pickup_/data/dimensions.html) (besucht am 12.12.2016).
- [7] Google Inc. *Luftbild aus Google-Maps mit dem Suchbegriff Dürnhof*. URL: <https://www.google.at/maps/place/Museum+D%C3%BCrnhof/@48.6238996,15.1767448,728m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0x9403f3250f07b303!8m2!3d48.6242082!4d15.1752958> (besucht am 03.01.2017).
- [8] Google Inc. *Luftbild aus Google-Maps mit dem Suchbegriff Neumühleweg 1*. URL: <https://www.google.at/maps/place/Neum%C3%BChleweg+1,+3134+Fr%C3%A4uleinm%C3%BChle/@48.3458041,15.7204228,732m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x476d7e18580fb927:0xd23e220ae2a82d88!8m2!3d48.3458041!4d15.7226115> (besucht am 04.01.2017).
- [9] F. Hänel, H. Rautenberg und P. G. Kunze. *Gefährdung durch Feinstaubemissionen von Baumaschinen*. Frankfurt: Institut für Verarbeitungsmaschinen und Mobile Arbeitsmaschinen, Technische Universität Dresden, 2015. 68 S.
- [10] Hitachi Produktdatenblatt. *Hitachi ZX225USRLC-3 Datenblatt*. URL: [http://www.papai.de/pdf/Hitachi\\_ZX225USLC-3.pdf](http://www.papai.de/pdf/Hitachi_ZX225USLC-3.pdf) (besucht am 12.01.2017).
- [11] H. König. *Maschinen im Baubetrieb*. 3. Aufl. Augsburg: Teubner Verlag, 2011.
- [12] G. Lichtblau, B. Schodl, B. Plankensteiner und R. Winter. *Feinstaubproblem Baumaschine – Emissionen und Kosten einer Partikelfilternachrüstung in Österreich*. Wien: Bundeskammer für Arbeiter und Angestellte, 2009. 82 S.
- [13] K. Mollenhauer und H. Tschöke. *Handbuch Dieselmotoren*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Berlin Heidelberg New York, 2007.

- [14] ÖNORM EN ISO 474-3:2010 02 15: *Erdbaumaschinen - Sicherheit - Teil 3 Anforderungen für Lader*. Wien: Austrian Standards, Feb. 2010.
- [15] ÖNORM EN ISO 474-5:2013 12 01: *Erdbaumaschinen - Sicherheit - Teil 5 Anforderungen für Hydraulikbagger*. Wien: Austrian Standards, Dez. 2013.
- [16] ÖNORM EN ISO 6165:2013 03 15: *Erdbaumaschinen, Grundtypen, Identifizierung und Begriffe*. Wien: Austrian Standards, März 2013.
- [17] Pöl-Tec. *Pöl-Tec, Die Pflanzenöl und Autogas – Auto Informationsseite*. URL: <http://www.poel-tec.com/lexikon/zapfseule.php> (besucht am 16.01.2017).
- [18] U. Schäffler und M. Keller. *Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors, Studie 1980-2020*. Bern: Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2008. 172 S.
- [19] Schweinert TRANSPORTE GmbH. *LKW Kipper*. URL: <http://www.schweinert-transporte.de/Content/Fuhrpark.php> (besucht am 12.12.2016).
- [20] A. Schweizer. *Formelsammlung und Berechnungsprogramme für Anlagenbau*. URL: <http://www.schweizer-fn.de/abgas/abgaswerte/abgaswerte.php> (besucht am 01.02.2017).
- [21] Testo GmbH. *Bedienungsanleitung Testo 340*. URL: <https://media.testo.com/media/cf/fb/6e2288a630c2/testo-340-Bedienungsanleitung.pdf> (besucht am 12.12.2016).
- [22] P. Tipler und G. Mosca. *Physik für Ingenieure*. 7. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 2015.
- [23] VDMA (Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbau) e.V. *Abgasgesetzgebung von Diesel- und Gasmotoren, Teil 5 Anhang*. URL: [http://vdma-motoren.de/sites/www.vdma-engines.com/files/emi\\_2011\\_teil5\\_anhang\\_1.pdf](http://vdma-motoren.de/sites/www.vdma-engines.com/files/emi_2011_teil5_anhang_1.pdf) (besucht am 01.02.2017).
- [24] *Verordnung (EU) 2016/1628; Emissionsgrenzwerte für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel und die Typp Genehmigung für Verbrennungsmotoren*. Brüssel: Europäisches Parlament, Sep. 2016.
- [25] Volkswagen AG. *Volkswagen-Nutzfahrzeuge*. URL: [http://www.volkswagen-nutzfahrzeuge.de/de/modelle/transporter\\_kombi.html](http://www.volkswagen-nutzfahrzeuge.de/de/modelle/transporter_kombi.html) (besucht am 12.12.2016).
- [26] Volvo Construction Equipment AB. *Produktbroschüre Volvo Radlader L110 E*. URL: [https://www.volvoce.com/SiteCollectionDocuments/VCE/History/Spec%20Sheets/Wheel%20Loaders/V%20L110E%20281%202667\(0212\).pdf](https://www.volvoce.com/SiteCollectionDocuments/VCE/History/Spec%20Sheets/Wheel%20Loaders/V%20L110E%20281%202667(0212).pdf) (besucht am 12.01.2017).
- [27] Volvo Construction Equipment AB. *Produktbroschüre Volvo Radlader L110 F, L120 F*. URL: [https://www.volvoce.com/SiteCollectionDocuments/VCE/Documents%20Global/wheel%20loaders/ProductBrochure\\_L110F\\_L120F\\_EN\\_21C1002738\\_2009-08.pdf](https://www.volvoce.com/SiteCollectionDocuments/VCE/Documents%20Global/wheel%20loaders/ProductBrochure_L110F_L120F_EN_21C1002738_2009-08.pdf) (besucht am 12.01.2017).

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Raupenbagger [Quelle: ÖN EN ISO 474-5:2013 12 01]	11
Abb. 2.2	Raupenbagger in Traismauer (li.) [Foto: Urban], Technische Daten (re.)	12
Abb. 2.3	Arbeitsbereich des Raupenbaggers [Quelle: Hitachi Produktdatenblatt]	12
Abb. 2.4	Radlader [Quelle: ÖN EN ISO 474-3:2010 02 15]	13
Abb. 2.5	Radlader in Traismauer (li.) [Foto: Urban], Technische Daten (re.)	14
Abb. 2.6	Radlader in Zwettl (li.) [Foto: Bisenberger], Technische Daten (re.)	14
Abb. 2.7	Abmessungen Volvo L110 E (li.), Volvo L120 F (re.) [Quelle: Volvo Construction Equipment AB]	15
Abb. 2.8	Aufbau eines Solofahrzeugs [Quelle: Schweinert TRANSPORTE GmbH]	17
Abb. 2.9	Lastkraftwagen Modell MAN (li.) [Foto: Urban], Modell DAF (re.) [Foto: Urban]	18
Abb. 2.10	Kleinbus VW T5 [Quelle: Volkswagen AG]	19
Abb. 2.11	Pritschenwagen Mercedes-Benz Sprinter [Quelle: Daimler AG]	19
Abb. 2.12	Dieselmotor als ein Komplex von Teilsystemen [Quelle: Mollenhauer u.a. (S.11)]	21
Abb. 2.13	Zapfsäule in der Asphaltmischanlage in Traismauer der Marke Tokheim [Foto: Bisenberger]	22
Abb. 2.14	Zusammenhang von Emission, Transmission, Immission und Wirkung [Quelle: Mollenhauer u.a. (S.461)]	23
Abb. 2.15	Verengung in einer Röhre, in der sich ein Fluid bewegt [Quelle: Tipler u.a. (S.391)]	29
Abb. 2.16	Stromlinien in einem Fluid [Quelle: Tipler u.a. (S.393)]	29
Abb. 2.17	Zerstäuber [Quelle: Tipler u.a. (S.393)]	30
Abb. 2.18	Schnittdarstellung einer Flugzeugtragfläche mit den dargestellten Stromlinien [Quelle: Tipler u.a. (S.393)]	30
Abb. 2.19	Bestandteile der DROP-NO <sub>x</sub> -Applikation [Foto: Urban]	32
Abb. 2.20	Version 1 – Luftansaugstrang mit Düse beim Lastkraftwagen MAN [Foto: Urban]	33
Abb. 2.21	Version 2 – Metallrohr [Foto: Urban]	33
Abb. 2.22	Version 3 – Metallrohr [Fotos: Urban]	34
Abb. 2.23	Fixierung des Ansaugrohrs [Foto: Urban]	35
Abb. 2.24	Einbau Metallrohr [Foto: Urban]	35
Abb. 2.25	Situierung der Wasserbehälter des Kits [Foto: Bisenberger]	36
Abb. 2.26	Eingebauter und adaptierter Ansaugstutzen des Raupenbaggers [Foto: Bisenberger]	36
Abb. 3.1	Luftbild der Asphaltmisch- und Siebanlage in Traismauer [Quelle: Google Inc.]	41
Abb. 3.2	Luftbild der Asphaltmischanlage in Traismauer [Quelle: Google Inc.]	42
Abb. 3.3	LKW Entladestation (li.), Doseure (re.) [Fotos: Urban]	42
Abb. 3.4	Doseure für Siebanlage (li.), Hauptbeschickungsanlage (mi.), Zwischenlager (re.) [Fotos: Urban]	43
Abb. 3.5	Luftbild der Mischanlage Zwettl (Dürnhof) [Quelle: Google Inc.]	44
Abb. 3.6	Schrittweise Darstellung des Lastzyklus beim Hydraulikraupenbagger	45
Abb. 3.7	Fotovisualisierung zur Abfolge des Lastzyklus beim Raupenbagger [Fotos: Bisenberger]	46
Abb. 3.8	Lageplan mit eingezeichnetem Weg vom Untersuchungsstandort zur Tankstelle [Quelle: Google Inc.]	47

Abb. 3.9	Positionskonfiguration des Stiels beim Tankvorgang [Foto: Bisenberger]	47
Abb. 3.10	Tankvorgang in Traismauer beim Hydraulikraupenbagger [Foto: Bisenberger]	48
Abb. 3.11	Radlader beim Befüllen eines Doseurs [Foto: Urban]	49
Abb. 3.12	Radlader bei der Beschickung der Siebanlage [Foto: Urban]	49
Abb. 3.13	Radlader fährt zur Beladung des über den Rechen gerutschten Gesteinsgemisches in die Mulde [Foto: Urban]	50
Abb. 3.14	Bauschutt freilagernd [Foto: Urban]	51
Abb. 3.15	Altasphalt freilagernd [Foto: Urban]	51
Abb. 3.16	Siebrechen für Altasphalt [Foto: Urban]	51
Abb. 3.17	Ausgangsposition Radlader [Foto: Bisenberger]	52
Abb. 3.18	Doseuranlage in Zwettl [Foto: Bisenberger]	53
Abb. 3.19	Rahmenterminplan Kraftstoff- und Emissionsmonitoring	54
Abb. 3.20	Angepasster Rahmenterminplan Kraftstoff- und Emissionsmonitoring	56
Abb. 3.21	Arbeitsterminplan Kraftstoff- und Emissionsmonitoring	57
Abb. 3.22	GPS-Darstellung der Fahrtroute des Baggers vom Testbetriebsort zur Zapfsäule	58
Abb. 3.23	Kraftstoffverbrauchsprotokoll für die kontinuierliche Aufzeichnung beim Hydraulikraupenbagger	59
Abb. 3.24	Kraftstoffaufzeichnungsprotokoll der Radlader	60
Abb. 3.25	Kraftstoffaufzeichnungsprotokoll der Lastkraftwagen	61
Abb. 3.26	Kraftstoffaufzeichnungsprotokoll der Kleintransporter	61
Abb. 3.27	Abgasanalysegerät Testo 340 [Foto: Urban]	63
Abb. 3.28	Wanne zum Auffangen des austretenden Öls [Foto: Bisenberger]	66
Abb. 3.29	Undichtiges Schauglas beim Raupenbagger [Foto: Bisenberger]	66
Abb. 4.1	Erstinspektion des Baggers	69
Abb. 4.2	Beladeverteilung LKW DAF (Anteil Wegstrecke) während des Betriebs ohne Kit (links) und mit Kit (rechts)	83
Abb. 4.3	Beladeverteilung LKW MAN (Anteil Wegstrecke) während des Betriebs ohne Kit (links) und mit Kit (rechts)	87
Abb. 5.1	Beispiel zur statistischen Auswertung – O <sub>2</sub> -Gehalt	93
Abb. 5.2	CO <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 800 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger	94
Abb. 5.3	CO <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 1300 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger	95
Abb. 5.4	CO <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 1700 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger	95
Abb. 5.5	O <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 800 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger	96
Abb. 5.6	O <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 1300 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger	96
Abb. 5.7	O <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 1700 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger	96
Abb. 5.8	CO <sub>unv</sub> -Messergebnisse bei 800 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger	97
Abb. 5.9	CO <sub>unv</sub> -Messergebnisse bei 1300 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger	97
Abb. 5.10	CO <sub>unv</sub> -Messergebnisse bei 1700 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger	98
Abb. 5.11	NO <sub>x</sub> -Messergebnisse bei 800 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger	98
Abb. 5.12	NO <sub>x</sub> -Messergebnisse bei 1300 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger	99
Abb. 5.13	NO <sub>x</sub> -Messergebnisse bei 1700 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger	99
Abb. 5.14	CO <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 780 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer	102
Abb. 5.15	CO <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 1500 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer	103
Abb. 5.16	CO <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 2240 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer	103
Abb. 5.17	O <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 780 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer	104
Abb. 5.18	O <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 1500 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer	104
Abb. 5.19	O <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 2240 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer	105

Abb. 5.20	CO <sub>unv</sub> -Messergebnisse bei 780 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer . . . . .	105
Abb. 5.21	CO <sub>unv</sub> -Messergebnisse bei 1500 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer . . . . .	106
Abb. 5.22	CO <sub>unv</sub> -Messergebnisse bei 2240 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer . . . . .	106
Abb. 5.23	NO <sub>x</sub> -Messergebnisse bei 780 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer . . . . .	107
Abb. 5.24	NO <sub>x</sub> -Messergebnisse bei 1500 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer . . . . .	107
Abb. 5.25	NO <sub>x</sub> -Messergebnisse bei 2240 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer . . . . .	108
Abb. 5.26	CO <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 800 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl . . . . .	111
Abb. 5.27	CO <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 1500 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl . . . . .	111
Abb. 5.28	CO <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 2250 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl . . . . .	112
Abb. 5.29	O <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 800 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl . . . . .	112
Abb. 5.30	O <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 1500 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl . . . . .	113
Abb. 5.31	O <sub>2</sub> -Messergebnisse bei 2250 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl . . . . .	113
Abb. 5.32	CO <sub>unv</sub> -Messergebnisse bei 800 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl . . . . .	114
Abb. 5.33	CO <sub>unv</sub> -Messergebnisse bei 1500 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl . . . . .	114
Abb. 5.34	CO <sub>unv</sub> -Messergebnisse bei 2250 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl . . . . .	115
Abb. 5.35	NO <sub>x</sub> -Messergebnisse bei 800 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl . . . . .	115
Abb. 5.36	NO <sub>x</sub> -Messergebnisse bei 1500 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl . . . . .	116
Abb. 5.37	NO <sub>x</sub> -Messergebnisse bei 2250 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl . . . . .	116

# Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Technische Daten des Motors des Raupenbaggers in Traismauer . . . . .	12
Tab. 2.2	Technische Daten des Motors des Radladers in Traismauer . . . . .	14
Tab. 2.3	Technische Daten des Motors des Radladers in Zwettl . . . . .	15
Tab. 2.4	Gegenüberstellung der technischen Daten beider Radlader . . . . .	16
Tab. 2.5	Kenngrößen von Lastkraftwagen ausgeführt als Solofahrzeug . . . . .	17
Tab. 2.6	Technische Daten der Lastkraftwagen in Trumau . . . . .	18
Tab. 2.7	Technische Daten der Kleintransporter . . . . .	20
Tab. 2.8	Stufe I/II Emissions-Standards für Off-Road-Dieselmotoren . . . . .	27
Tab. 2.9	Stufe III A Emissions-Standards für Off-Road Dieselmotoren . . . . .	27
Tab. 2.10	Stufe III B Emissions-Standards für Off-Road Dieselmotoren . . . . .	27
Tab. 2.11	Stufe IV Emissions-Standards für Off-Road Dieselmotoren . . . . .	28
Tab. 2.12	Stufe V Emissions-Standards für Off-Road Dieselmotoren . . . . .	28
Tab. 2.13	Überblick der eingebauten Systeme . . . . .	37
Tab. 4.1	Kraftstoffmonitoring Raupenbagger kontinuierlich – Testphase ohne Kit . . . .	70
Tab. 4.2	Kraftstoffmonitoring Raupenbagger kontinuierlich – 2.Testphase ohne Kit . . .	70
Tab. 4.3	Kraftstoffmonitoring Raupenbagger kontinuierlich – Testphase mit Kit . . . . .	71
Tab. 4.4	Übersicht der nachgefüllten Wassermenge – Hydraulikraupenbagger . . . . .	71
Tab. 4.5	Kraftstoffmonitoring Raupenbagger Stundenaufzeichnung – Testphase ohne Kit	72
Tab. 4.6	Kraftstoffmonitoring Raupenbagger Stundenaufzeichnung – Testphase mit Kit .	73
Tab. 4.7	Daten des Kraftstoffmonitorings vom Radlader in Traismauer – Testphase ohne Kit . . . . .	75
Tab. 4.8	Daten des Kraftstoffmonitorings vom Radlader in Traismauer – Testphase mit Kit	76
Tab. 4.9	Übersicht der nachgefüllten Wassermenge – Radlader Traismauer . . . . .	77
Tab. 4.10	Durchschnittswerte des Kraftstoffmonitorings des Radladers in Traismauer . . .	77
Tab. 4.11	Daten des Kraftstoffmonitorings des Radladers in Zwettl – Testphase ohne Kit	79
Tab. 4.12	Daten des Kraftstoffmonitorings des Radladers in Zwettl – Testphase mit Kit .	80
Tab. 4.13	Durchschnittswerte des Kraftstoffmonitorings des Radladers in Zwettl . . . . .	80
Tab. 4.14	Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen DAF – Tankintervall in Testphase ohne Kit	82
Tab. 4.15	Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen DAF – Tankintervall in Testphase mit Kit	83
Tab. 4.16	Kraftstoffmonitoring Tankintervallübersicht – Lastkraftwagen DAF . . . . .	84
Tab. 4.17	Anhängeranteil und Kranbetriebsdauer pro 100 km – Lastkraftwagen DAF . . .	84
Tab. 4.18	Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen MAN – Tankintervall in Testphase ohne Kit	85
Tab. 4.19	Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen MAN – Tankintervall in Testphase mit Kit	86
Tab. 4.20	Kraftstoffmonitoring Tankintervallübersicht – Lastkraftwagen MAN . . . . .	87
Tab. 4.21	Anhängeranteil und Kranbetriebsdauer pro 100 km – Lastkraftwagen MAN . .	87
Tab. 4.22	Kraftstoffmonitoring VW T5 Bus 1 – Tankintervall Testphase ohne Kit . . . . .	88
Tab. 4.23	Kraftstoffmonitoring VW T5 Bus 1 – Tankintervall Testphase mit Kit . . . . .	89
Tab. 4.24	Kraftstoffmonitoring VW T5 Pritsche 2 – Tankintervall Testphase ohne Kit . .	89
Tab. 4.25	Kraftstoffmonitoring VW T5 Pritsche 2 – Tankintervall Testphase mit Kit . . .	90
Tab. 5.1	Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 800 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger .	100

Tab. 5.2	Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 1300 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger	100
Tab. 5.3	Übersicht Messergebnissen Emissionsmonitoring bei 1700 min <sup>-1</sup> – Raupenbagger	101
Tab. 5.4	Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 780 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer . . . . .	108
Tab. 5.5	Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 1500 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer . . . . .	109
Tab. 5.6	Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 2240 min <sup>-1</sup> – Radlader Traismauer . . . . .	110
Tab. 5.7	Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 800 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl	117
Tab. 5.8	Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 1500 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl	118
Tab. 5.9	Übersicht Messergebnisse Emissionsmonitoring bei 2250 min <sup>-1</sup> – Radlader Zwettl	118
Tab. 5.10	Gegenüberstellung der Emissionsveränderung der Radlader in Traismauer und Zwettl . . . . .	119
Tab. 6.1	Ergebnisse Kraftstoffmonitoring Raupenbagger – Übersicht . . . . .	121
Tab. 6.2	Ergebnisse Kraftstoffmonitoring Radlader – Übersicht . . . . .	122
Tab. 6.3	Ergebnisse Kraftstoffmonitorings der straßenzugelassenen Fahrzeuge – Übersicht	123
Tab. 6.4	Übersicht Ergebnisse Emissionsmonitoring – Veränderung der Emission in % gegenüber Messungen ohne Kit . . . . .	123

# **Anhang A**

## **Unterlagen**

## Auswertung Kraftstoffmonitoring - Raupenbagger (kontinuierliches Monitoring)

Datum	Betriebsstunden		Betriebsstunden pro Tag [h/d]	Dieselbetankung [l]	Dieselverbrauch laut Bildschirm [l]	Wasserfüllung [mj]	Kraftstoffverbrauch		Mittelwert [l/h]
	Anfang	Ende					[l/h]		
03.10.2016	11584,9	11588,8	3,9	87,38	-	-	22,41		20,36
04.10.2016	11588,8	11594,6	5,8	120,72	-	-	20,81		20,36
05.10.2016	11594,6	11599,5	4,9	-	-	-	-		20,36
06.10.2016	11599,5	11604,6	5,1	193,72	-	-	19,37		20,36
07.10.2016	11604,6	11608,1	3,5	88,50	-	-	25,29		20,36
10.10.2016	11608,1	11613,9	5,8	94,17	-	-	16,24		20,36
11.10.2016	11613,9	11619,2	5,3	106,68	-	-	20,13		20,36
12.10.2016	11619,2	11624,9	5,7	109,08	-	-	19,14		20,36
13.10.2016	11624,9	11631,0	6,1	131,85	-	-	21,61		20,36
14.10.2016	11631,0	-	-	-	-	-	-		20,36
Einbau DROP-NO <sub>x</sub>									
17.10.2016	-	11637,8	Einbau Kit			-			19,96
18.10.2016	11637,8	11643,4	5,6	116,01	119,60	450	20,72		19,96
19.10.2016	11643,4	11649,2	5,8	116,79	123,00	300	20,14		19,96
20.10.2016	11649,2	11655,1	5,9	113,73	118,50	320	19,28		19,96
21.10.2016	11655,1	11658,9	3,8	74,11	71,00	160	19,50		19,96
24.10.2016	11658,9	11664,8	5,9	118,76	126,00	350	20,13		19,96
25.10.2016	11664,8	11671,0	6,2	123,14	129,50	490	19,86		19,96
27.10.2016	11671,0	11676,6	5,6	70,66	-	400	12,62		19,96
28.10.2016	11676,6	11679,2	2,6	54,33	-	100	20,90		19,96
02.11.2016	11679,2	11684,7	5,5	114,03	123,80	430	20,73		19,96
03.11.2016	11684,7	11690,0	5,3	114,45	125,30	420	21,59		19,96
04.11.2016	11690,0	11691,9	1,9	Bagger undicht	Ausbau Kit	-	-		19,96
08.11.2016	11691,9	11694,2	2,3	77,20			18,38		19,96
09.11.2016	11694,2	11700,1	5,9		129,96		-		19,96
10.11.2016	-	-	-	-	-				19,96
Extremwerte der Testperioden und Messausfälle, daher in Berechnung nicht berücksichtigt									

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring - Raupenbagger (kontinuierliches Monitoring)

Datum	Betriebszeit				Temperatur		Niederschlag [ja/-]	Anmerkung
	Anfang	Ende	Anfang	Ende	zusätzliche Pause	min. [C°]		
03.10.2016	10:10	12:00	12:30	14:30	-	15,0	16,0	-
04.10.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	00:15	10,0	14,0	ja
05.10.2016	08:00	12:00	12:30	13:45	00:15	7,0	12,0	-
06.10.2016	08:45	12:00	12:30	14:30	01:00	6,0	11,0	-
07.10.2016	08:00	12:00	-	-	-	6,0	13,0	ja
10.10.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	00:15	7,5	11,0	-
11.10.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	00:15	6,5	10,0	-
12.10.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	00:15	5,0	5,0	ja
13.10.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	-	8,0	8,0	-
14.10.2016	08:00	12:00	-	-	-	6,0	9,0	-
Einbau DROP-NO <sub>x</sub>								
17.10.2016						8,0	11,0	-
18.10.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	00:30	10,0	12,0	ja
19.10.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	00:15	8,0	10,0	-
20.10.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	00:15	6,5	9,0	ja
21.10.2016	08:00	12:00	-	-	00:15	3,0	11,0	-
24.10.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	00:15	8,0	11,0	-
25.10.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	00:15	10,0	10,0	-
27.10.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	-	9,0	14,0	-
28.10.2016	08:00	12:00	-	-	-	8,0	16,0	-
02.11.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	00:30	11,0	8,0	-
03.11.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	00:30	6,5	14,0	-
04.11.2016	08:00	12:00	-	-	-	-2,0	4,0	ja
08.11.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	00:15	-1,0	3,0	-
09.11.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	00:30	0,5	5,0	-
10.11.2016	08:00	12:00	12:30	14:30	00:15	-2,0	3,0	-

Bisenberger, Urban

5. 11 und 6.10 Kraftstoff gerechnet

Stundenaufzeichnung

Stundenaufzeichnung

Stundenaufzeichnung

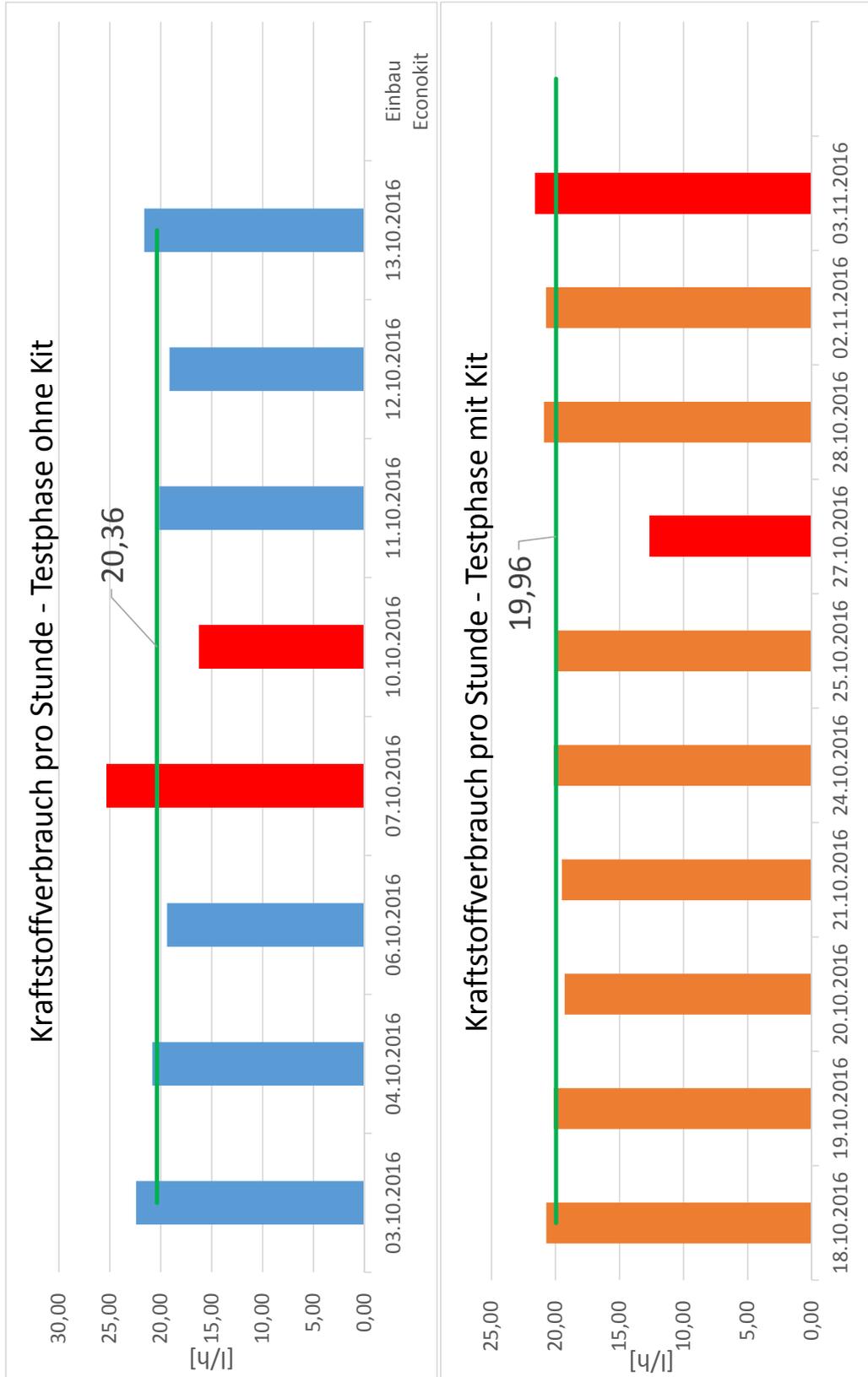
Stundenaufzeichnung

Stundenaufzeichnung

4.11 und 8.11 Kraftstoff gerechnet und  
Stundenaufzeichnung 8.11

Stundenaufzeichnung

Auswertung Kraftstoffmonitoring - Raupenbagger (kontinuierliches Monitoring)



Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring - Raupenbagger (stundenweise Aufzeichnung)

Technische Daten Hydraulikraupenbagger:	
Gewicht:	23,4 to
Leistung:	122 kW
Baujahr:	2008
Hersteller:	Hitachi
Modell:	ZAXIS 225 USRLC-3
Betriebsstunden:	11500 h

Stundenweise Betrachtung des Kraftstoffverbrauches und der Lastzyklen									
Datum	Dauer [min]	Kraftstoffverbrauch [Liter]	Verbrauchsrate [Liter/h]	Lastzyklen [-]	Kit [ohne/mit]	Mittelwert [Liter/h]	Mittelwert [LZ/h]	Liter pro Lastzyklus [l/LZ]	
14.10.2016	60	24,5	24,6	50	ohne	24,4	44	0,49	
14.10.2016	60	25	24,8	52	ohne	24,4	44	0,48	
17.10.2016	60	24,5	24	42	ohne	24,4	44	0,58	
17.10.2016	40	16,5	24,5	42	ohne	24,4	44	0,39	
27.10.2016	60	24	24	41	mit	23,7	42	0,59	
27.10.2016	60	24	23,7	40	mit	23,7	42	0,60	
28.10.2016	60	24	23,7	42	mit	23,7	42	0,57	
28.10.2016	60	23,5	23,7	43	mit	23,7	42	0,55	
03.11.2016	60	23,5	23,5	42	mit	23,7	42	0,56	
03.11.2016	60	23,5	23,6	42	mit	23,7	42	0,56	
08.11.2016	60	24,5	24,4	41	ohne	24,4	44	0,60	
08.11.2016	60	24,5	24,3	42	ohne	24,4	44	0,58	
10.11.2016	60	24,5	24,3	42	ohne	24,4	44	0,58	
10.11.2016	60	24,5	24,3	43	ohne	24,4	44	0,57	

## Auswertung Kraftstoffmonitoring - Radlader Traismauer

Datum	ohne/mit KIT	Arbeitszeit Beginn	Arbeitszeit Ende	Pausen (Summe)	Diesel- Tanken [l]	Wasser- Füllung [ml]	Kilometerstand [km]		Arbeits- stunden pro Tag [h/d]	Kraftstoff- verbrauch [l/h]
							Anfang	Ende		
03.10.2016	ohne	06:00	17:00	00:45	206,00	-	0,00	43,63	10,17	20,26
04.10.2016	ohne	06:00	16:30	00:45	186,03	-	0,00	56,20	9,67	19,24
05.10.2016	ohne	06:00	16:30	00:45	173,98	-	0,00	47,30	9,67	18,00
06.10.2016	ohne	06:00	16:30	00:45	179,97	-	0,00	51,30	9,67	18,62
07.10.2016	ohne	06:00	18:00	00:45	173,36	-	0,00	54,40	11,17	15,52
10.10.2016	ohne	06:00	17:00	00:45	157,30	-	0,00	54,90	10,17	15,47
11.10.2016	ohne	06:00	17:00	00:45	-	-	0,00	0,00	5,17	-
12.10.2016	ohne	11:00	17:00	00:30	153,57	-	0,00	68,80	15,33	10,02
13.10.2016	ohne	06:00	17:00	00:45	-	-	0,00	0,00	10,17	-
14.10.2016	ohne	06:00	12:00	00:15	205,24	-	0,00	73,70	15,83	12,96
Einbau DROP-NO <sub>x</sub>										
17.10.2016	mit	06:00	17:00	00:45	208,86	-	0,00	45,20	10,17	20,54
18.10.2016	mit	06:00	17:00	00:45	144,94	3000,0	0,00	49,90	10,17	14,26
19.10.2016	mit	06:00	17:00	00:45	155,05	1000,0	0,00	65,40	10,17	15,25
20.10.2016	mit	06:00	17:00	00:45	-	-	0,00	0,00	10,17	-
21.10.2016	mit	06:00	12:00	00:15	212,31	750,0	0,00	49,40	15,83	13,41
24.10.2016	mit	06:00	17:00	00:45	128,44	-	0,00	47,60	10,17	12,63
25.10.2016	mit	06:00	17:00	00:45	129,80	500,0	0,00	41,70	10,17	12,77
27.10.2016	mit	06:00	17:00	00:45	156,30	1000,0	0,00	53,10	10,17	15,37
28.10.2016	mit	06:00	12:00	00:15	159,80	-	0,00	43,10	5,67	28,20
02.11.2016	mit	06:00	17:00	00:45	187,01	1500,0	0,00	58,60	10,17	18,39
07.11.2016	mit	06:00	17:00	00:45	169,67	1500,0	0,00	44,40	10,17	16,69
08.11.2016	mit	06:00	17:00	00:45	134,61	-	0,00	46,30	10,17	13,24
09.11.2016	mit	06:00	17:00	00:45	139,71	500,0	0,00	48,10	10,17	13,74
10.11.2016	mit	06:00	17:00	00:45	141,79	-	0,00	57,50	10,17	13,95

Extremwerte der Testperioden, daher in Berechnung nicht berücksichtigt

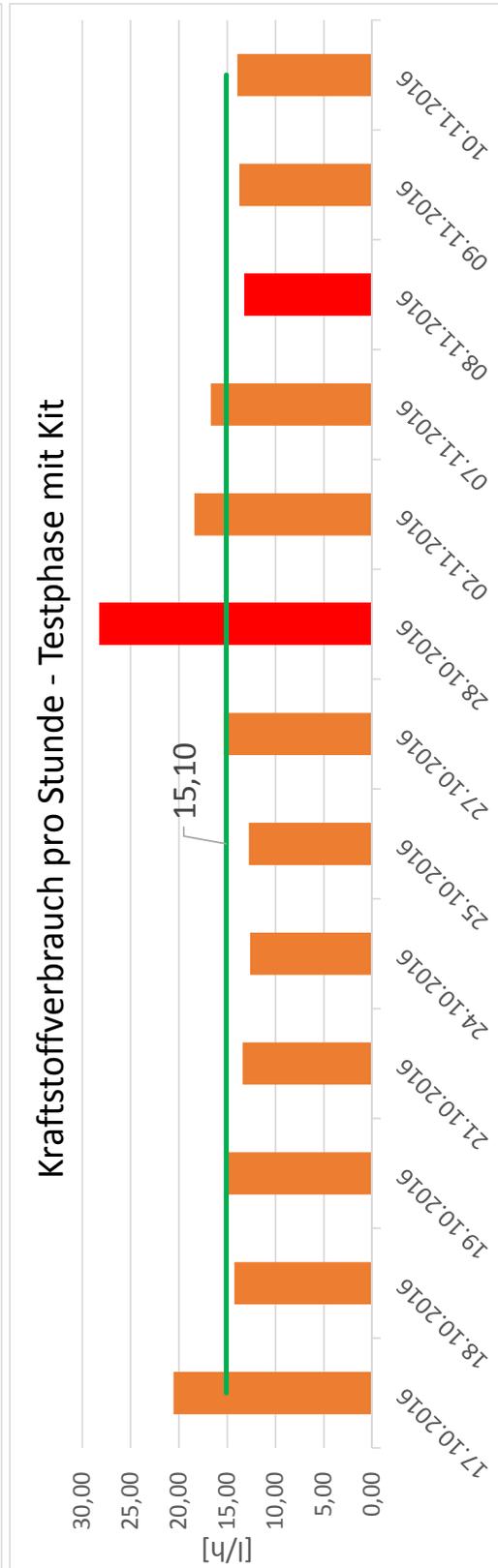
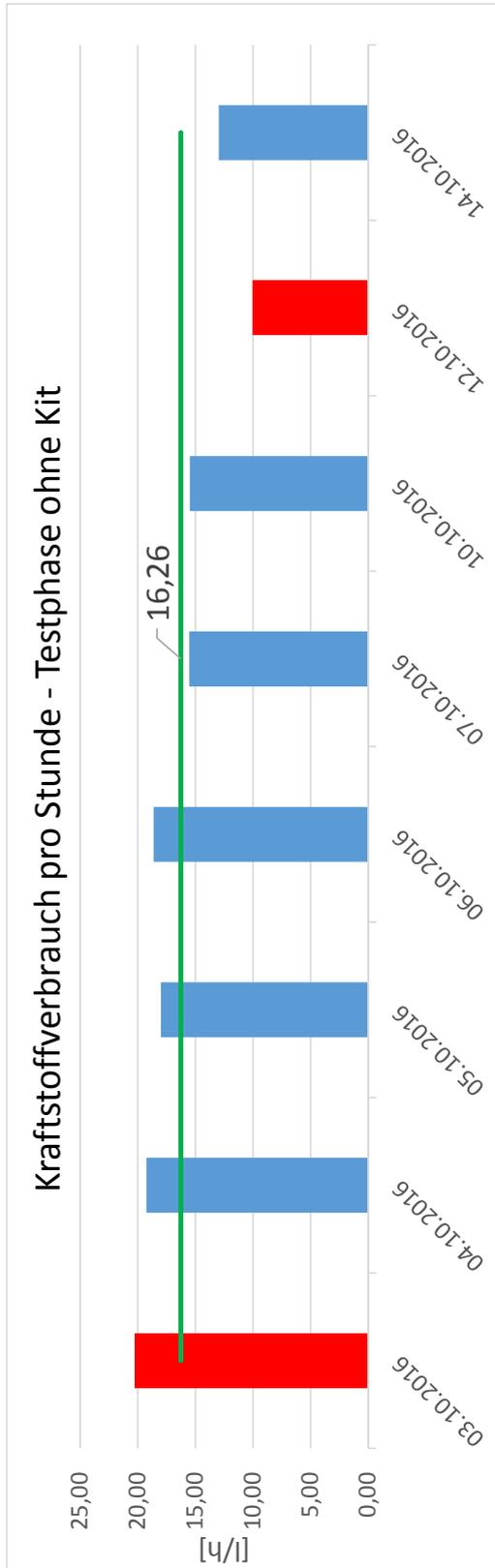
Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring - Radlader Traismauer

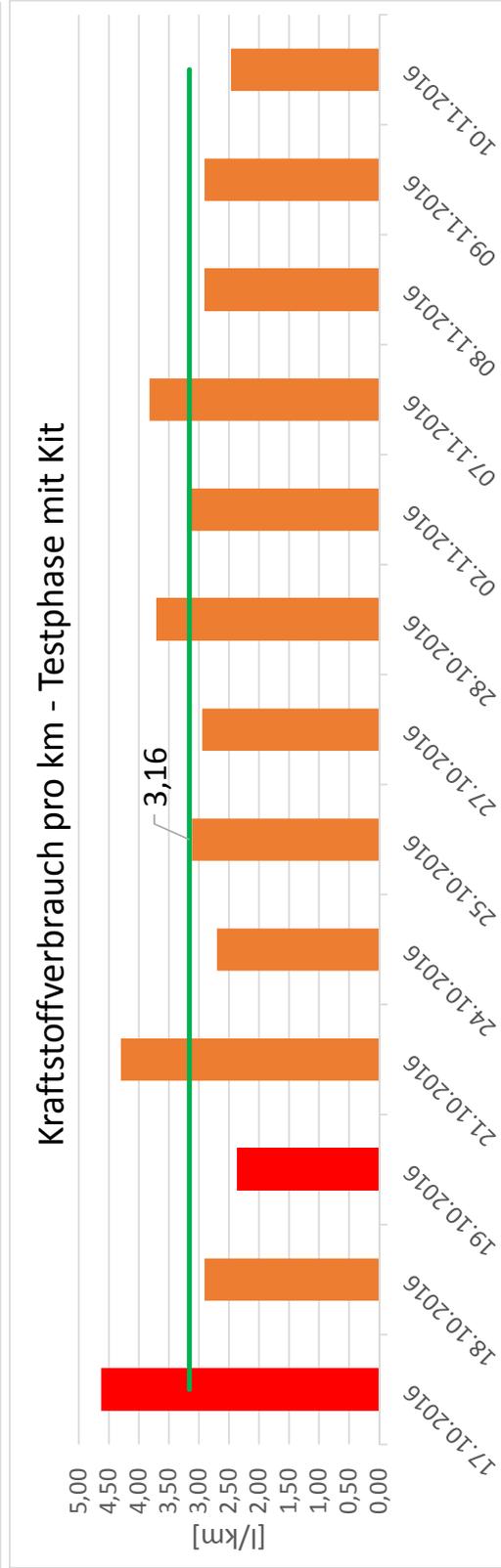
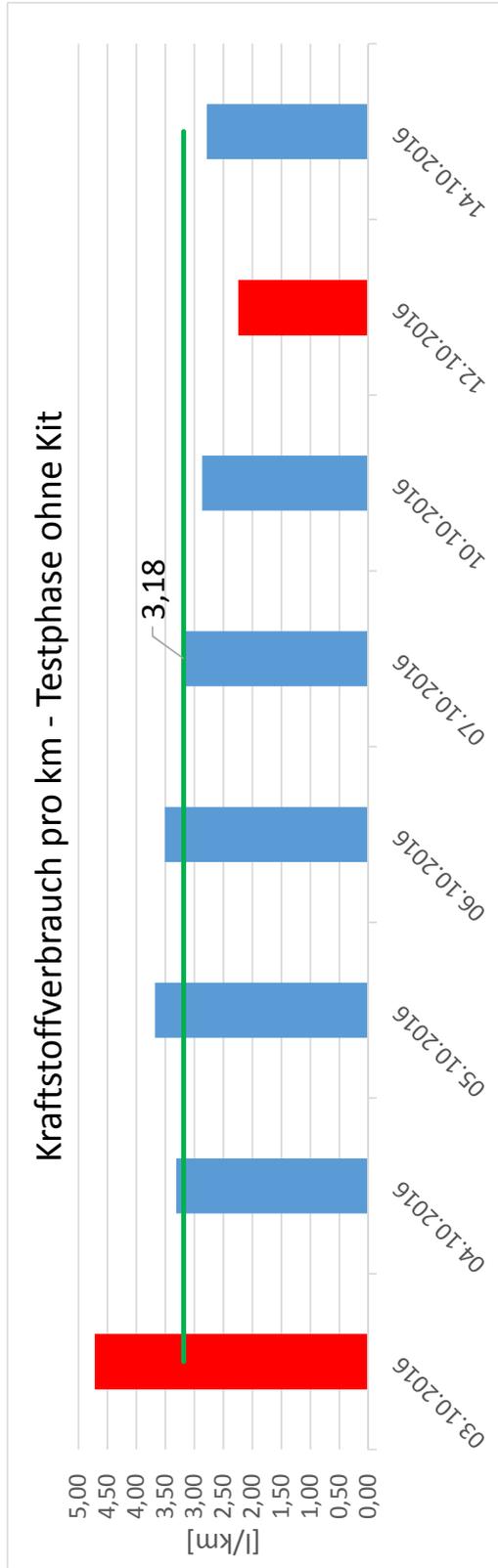
Datum	Kilometerleistung pro Tag [km]	Kraftstoffverbrauch pro km [l/km]	Kilometer pro Stunde [km/h]	Produktionsleistung [to/d]	Mittelwert [l/h]	Mittelwert [l/km]
03.10.2016	43,63	4,72	4,29	570	16,26	3,18
04.10.2016	56,20	3,31	5,81	1700	16,26	3,18
05.10.2016	47,30	3,68	4,89	1250	16,26	3,18
06.10.2016	51,30	3,51	5,31	1050	16,26	3,18
07.10.2016	54,40	3,19	4,87	950	16,26	3,18
10.10.2016	54,90	2,87	5,40	950	16,26	3,18
11.10.2016	-	-	-	-	16,26	3,18
12.10.2016	68,80	2,23	4,49	870	16,26	3,18
13.10.2016	-	-	-	-	16,26	3,18
14.10.2016	73,70	2,78	4,65	1000	16,26	3,18
Einbau DROP-NO <sub>x</sub>						
17.10.2016	45,20	4,62	4,45	870	15,10	3,16
18.10.2016	49,90	2,90	4,91	870	15,10	3,16
19.10.2016	65,40	2,37	6,43	950	15,10	3,16
20.10.2016	-	-	-	-	15,10	3,16
21.10.2016	49,40	4,30	3,12	1270	15,10	3,16
24.10.2016	47,60	2,70	4,68	700	15,10	3,16
25.10.2016	41,70	3,11	4,10	800	15,10	3,16
27.10.2016	53,10	2,94	5,22	1170	15,10	3,16
28.10.2016	43,10	3,71	7,61	1000	15,10	3,16
02.11.2016	58,60	3,19	5,76	950	15,10	3,16
07.11.2016	44,40	3,82	4,37	870	15,10	3,16
08.11.2016	46,30	2,91	4,55	1050	15,10	3,16
09.11.2016	48,10	2,90	4,73	1200	15,10	3,16
10.11.2016	57,50	2,47	5,66	970	15,10	3,16

Bisenberger, Urban

Auswertung Kraftstoffmonitoring - Radlader Traismauer



Bisenberger, Urban



## Auswertung Kraftstoffmonitoring - Radlader Zweitl

Datum	ohne/mit KIT	Betriebsstunden Beginn [h]	Betriebsstunden Ende [h]	Diesel-Tanken [l]	Wasser- Füllung [ml]	Kilometerstand [km]		Betriebs- stunden pro Tag [h/d]	Kraftstoff- verbrauch [l/h]
						Anfang	Ende		
03.10.2016	ohne	6897,00	6911,00	130,00	-	780,20	826,20	14,00	9,29
04.10.2016	ohne	6911,00	6917,00	60,00	-	826,20	845,10	6,00	10,00
05.10.2016	ohne	6917,00	6929,00	108,00	-	845,10	885,50	12,00	9,00
06.10.2016	ohne	6929,00	6939,00	86,00	-	885,50	917,50	10,00	8,60
07.10.2016	ohne	6939,00	6946,00	58,00	-	917,50	940,70	7,00	8,29
10.10.2016	ohne	6946,00	6955,00	79,00	-	940,70	971,50	9,00	8,78
11.10.2016	ohne	6955,00	6960,00	37,00	-	971,50	983,70	5,00	7,40
12.10.2016	ohne	6960,00	6965,00	52,00	-	983,70	1000,10	5,00	10,40
13.10.2016	ohne	6965,00	6977,00	99,00	-	1000,10	1032,30	12,00	8,25
14.10.2016	ohne	6977,00	6982,00	49,00	-	1032,30	1049,20	5,00	9,80
Einbau DROP-NO <sub>x</sub>									
17.10.2016	mit	6982,00	6990,00	89,00	3xkit voll	1049,20	1080,30	8,00	11,13
18.10.2016	mit	6990,00	6995,00	44,00	-	1080,30	1095,00	5,00	8,80
19.10.2016	mit	6995,00	7003,00	82,00	-	1095,00	1127,40	8,00	10,25
20.10.2016	mit	7003,00	7012,00	80,00	-	1127,40	1157,00	9,00	8,89
21.10.2016	mit	7012,00	7015,00	26,00	-	1157,00	1166,80	3,00	8,67
24.10.2016	mit	7015,00	7025,00	86,00	-	1166,80	1197,40	10,00	8,60
25.10.2016	mit	7025,00	7029,00	40,00	-	1197,40	1212,10	4,00	10,00
27.10.2016	mit	7029,00	7037,00	63,00	-	1212,10	1236,10	8,00	7,88
28.10.2016	mit	7037,00	7041,00	35,00	-	1236,10	1248,60	4,00	8,75
02.11.2016	mit	7041,00	7052,00	119,00	-	1248,60	1282,90	11,00	10,82
03.11.2016	mit	7052,00	7060,00	72,00	-	1282,90	1307,70	8,00	9,00
04.11.2016	mit	7060,00	7066,00	46,00	-	1307,70	1323,70	6,00	7,67
07.11.2016	mit	7066,00	7074,00	84,00	3000,00	1323,70	1354,00	8,00	10,50
08.11.2016	mit	7074,00	7083,00	88,00	-	1354,00	1383,00	9,00	9,78
09.11.2016	mit	7083,00	7092,00	88,00	800,00	1383,00	1415,20	9,00	9,78
10.11.2016	mit	7092,00	7097,00	43,00	-	1415,20	1432,10	5,00	8,60
Extremwerte der Testperioden, daher in Berechnung nicht berücksichtigt									

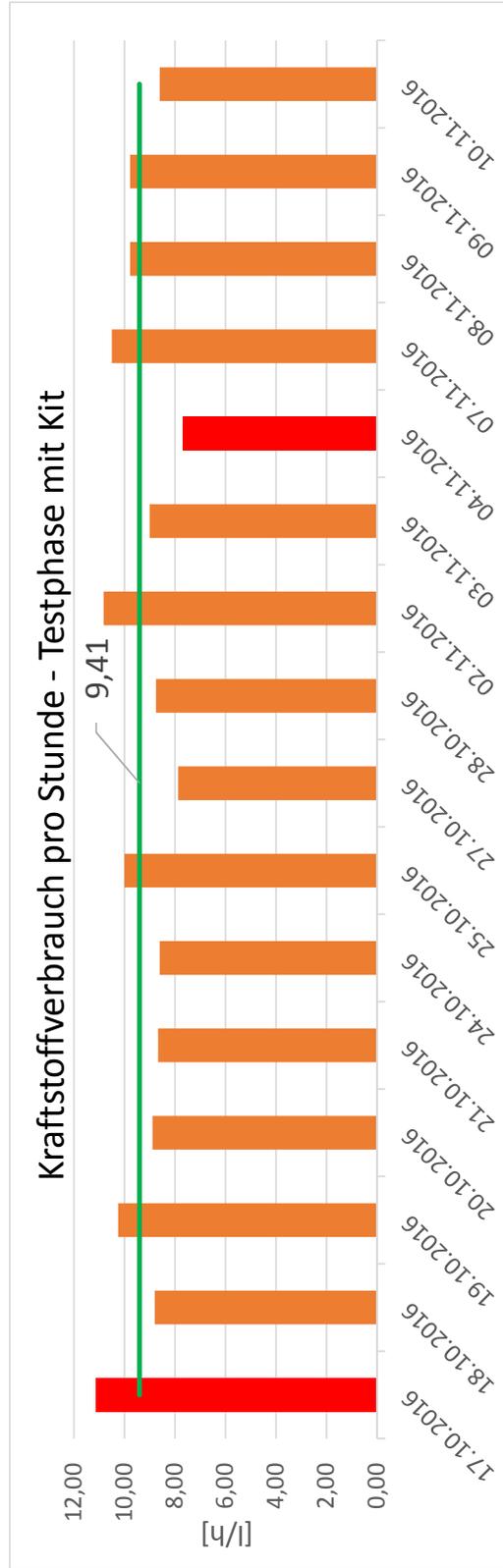
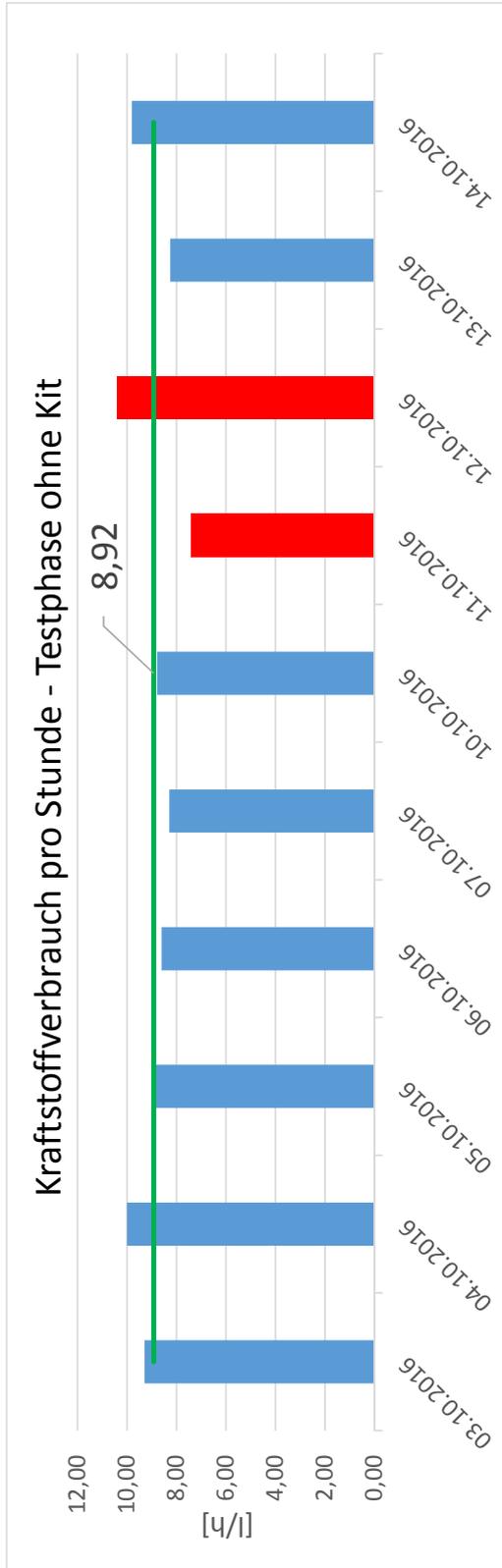
Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring - Radlader Zwettl

Datum	Kilometerleistung pro Tag [km]	Kraftstoffverbrauch pro km [l/km]	Kilometer pro Stunde [km/h]	Mittelwert [l/h]	Mittelwert [l/km]
03.10.2016	46,00	2,83	3,29	8,92	2,82
04.10.2016	18,90	3,17	3,15	8,92	2,82
05.10.2016	40,40	2,67	3,37	8,92	2,82
06.10.2016	32,00	2,69	3,20	8,92	2,82
07.10.2016	23,20	2,50	3,31	8,92	2,82
10.10.2016	30,80	2,56	3,42	8,92	2,82
11.10.2016	12,20	3,03	2,44	8,92	2,82
12.10.2016	16,40	3,17	3,28	8,92	2,82
13.10.2016	32,20	3,07	2,68	8,92	2,82
14.10.2016	16,90	2,90	3,38	8,92	2,82
Einbau DROP-NO <sub>x</sub>					
17.10.2016	31,10	2,86	3,89	9,41	2,80
18.10.2016	14,70	2,99	2,94	9,41	2,80
19.10.2016	32,40	2,53	4,05	9,41	2,80
20.10.2016	29,60	2,70	3,29	9,41	2,80
21.10.2016	9,80	2,65	3,27	9,41	2,80
24.10.2016	30,60	2,81	3,06	9,41	2,80
25.10.2016	14,70	2,72	3,67	9,41	2,80
27.10.2016	24,00	2,63	3,00	9,41	2,80
28.10.2016	12,50	2,80	3,13	9,41	2,80
02.11.2016	34,30	3,47	3,12	9,41	2,80
03.11.2016	24,80	2,90	3,10	9,41	2,80
04.11.2016	16,00	2,88	2,67	9,41	2,80
07.11.2016	30,30	2,77	3,79	9,41	2,80
08.11.2016	29,00	3,03	3,22	9,41	2,80
09.11.2016	32,20	2,73	3,58	9,41	2,80
10.11.2016	16,90	2,54	3,38	9,41	2,80

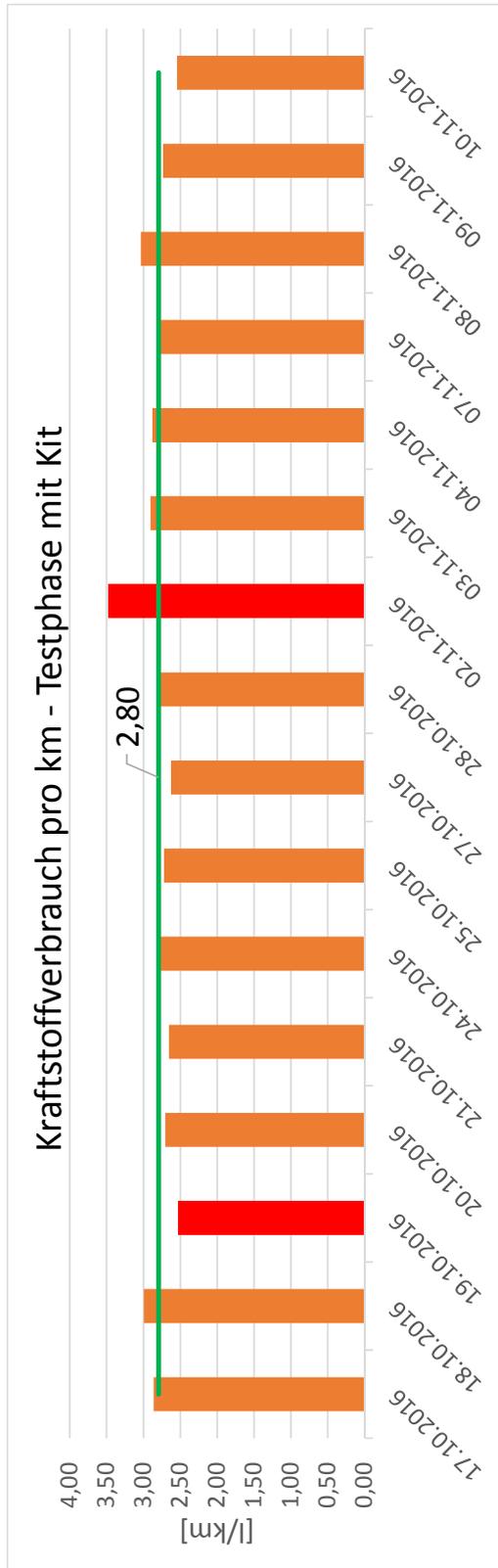
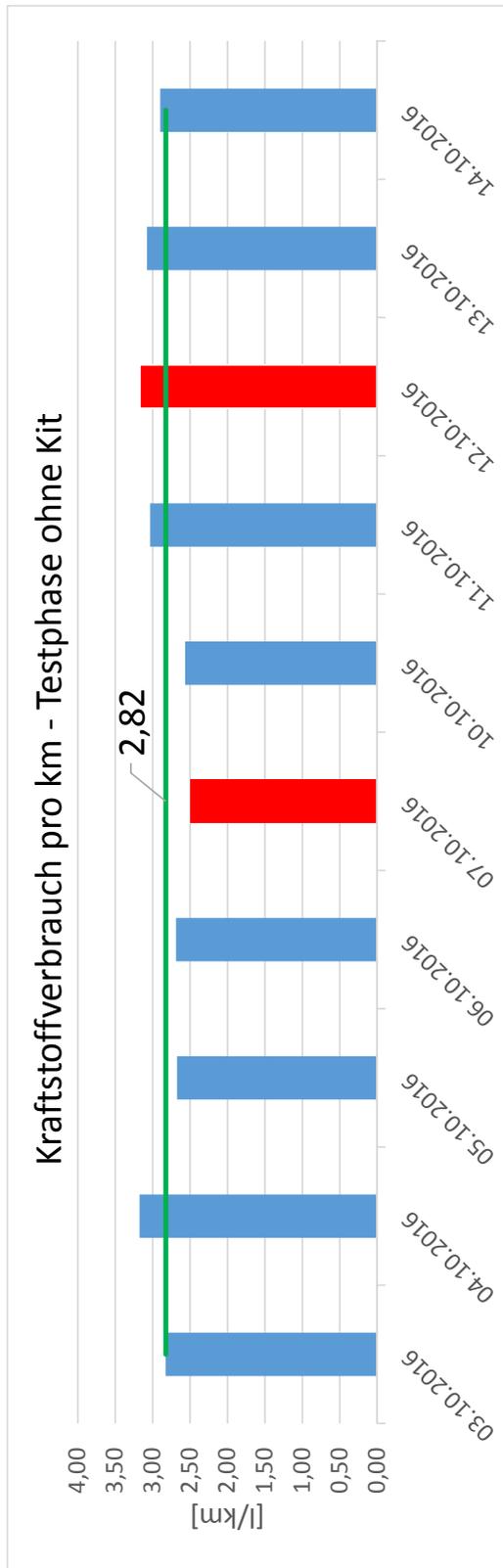
Bisenberger, Urban

Auswertung Kraftstoffmonitoring - Radlader Zwertl



Bisenberger, Urban

Auswertung Kraftstoffmonitoring - Radlader Zwettl



Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen DAF

## DAF LKW

Datum	Tätigkeit		mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Betriebszeit bei Kranbetrieb		Anhänger Ja/Nein	Beladung voll/teil/Leer
	Fahren Kranbetrieb			Anfang	Ende					
26.09.2016	Fahren		ohne	232826,00	232857,00	31,00			nein	t
	Fahren		ohne	232857,00	232889,00	32,00			nein	t
	Fahren		ohne	232889,00	232941,00	52,00			nein	l
	Fahren		ohne	232941,00	232982,00	41,00			nein	v
	Fahren		ohne	232982,00	233164,00	182,00			nein	v
27.09.2016	Fahren		ohne	233164,00	233206,00	42,00			nein	v
	Fahren		ohne	233206,00	233244,00	38,00			nein	t
	Fahren		ohne	233244,00	233267,00	23,00			nein	v
	Fahren		ohne	233267,00	233303,00	36,00			nein	t
	Fahren		ohne	233303,00	233345,00	42,00			nein	v
	Fahren		ohne	233345,00	233385,00	40,00			nein	v
	Fahren		ohne	233385,00	233417,00	32,00			ja	l
28.09.2016	Fahren		ohne	233417,00	233451,00	34,00			ja	v
	Fahren		ohne	233451,00	233483,00	32,00			nein	v
	Fahren		ohne	233483,00	233491,00	8,00			nein	v
	Fahren		ohne	233491,00	233518,00	27,00			nein	t
	Fahren		ohne	233518,00	233558,00	40,00			nein	v
	Kranbetrieb							4,50		
28.09.2016	Tankung [Liter]							4,50		
			270,00		Summe	732,00		4,50		

Datum	Tätigkeit		mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Betriebszeit bei Kranbetrieb		Anhänger Ja/Nein	Beladung voll/teil/Leer
	Fahren Kranbetrieb			Anfang	Ende					
29.09.-11.10.2016	Fahren		ohne	233558,00	235052,00	1494,00			-	-
	keine weiteren Daten									
	Tankung [Liter]		-		Summe	1494,00		0,00		

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen DAF

Datum	Tätigkeit		mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Betriebszeit bei Kranbetrieb	Anhänger		Beladung voll/teil/Leer
	Fahren	Kranbetrieb		Anfang	Ende			Ja/Nein		
11.10.2016	Fahren		ohne	235052,00	235092,00	40,00		ja		v
	Fahren		ohne	235092,00	235104,00	12,00		ja		v
	Fahren		ohne	235104,00	235133,00	29,00		ja		v
	Fahren		ohne	235133,00	235134,00	1,00		ja		t
	Fahren		ohne	235134,00	235163,00	29,00		ja		l
	Fahren		ohne	235163,00	235204,00	41,00		nein		t
	Fahren		ohne	235204,00	235221,00	17,00		nein		l
	Fahren		ohne	235221,00	235238,00	17,00		nein		t
	Fahren		ohne	235238,00	235278,00	40,00		nein		t
	Fahren		ohne	235278,00	235305,00	27,00		nein		l
13.10.2016	Fahren		ohne	235305,00	235316,00	11,00		nein		v
	Fahren		ohne	235316,00	235325,00	9,00		nein		v
	Fahren		ohne	235325,00	235345,00	20,00		nein		v
	Fahren		ohne	235345,00	235373,00	28,00		ja		v
	Fahren		ohne	235373,00	235382,00	9,00		nein		v
	Fahren		ohne	235382,00	235392,00	10,00		nein		v
	Fahren		ohne	235392,00	235429,00	37,00		nein		l
	Fahren		ohne	235429,00	235458,00	29,00		nein		v
	Fahren		ohne	235458,00	235479,00	21,00		nein		v
	Fahren		ohne	235479,00	235500,00	21,00		nein		t
14.10.2016	Fahren		ohne	235500,00	235527,00	27,00		ja		v
	Fahren		ohne	235527,00	235556,00	29,00		ja		l
	Fahren		ohne	235556,00	235567,00	11,00		ja		v
	Kranbetrieb						12,75			
14.10.2016	Tankung [Liter]		250,00							
				Summe	515,00		12,75			

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen DAF

Datum	Tätigkeit		mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Betriebszeit bei Kranbetrieb	Anhänger		Beladung voll/teil/Leer
	Fahren	Kranbetrieb		Anfang	Ende			Ja/Nein		
17.10.2016	Fahren		mit	235567,00	235654,00	87,00		ja		v
	Fahren		mit	235654,00	235707,00	53,00		ja		l
	Fahren		mit	235707,00	235720,00	13,00		nein		v
	Fahren		mit	235720,00	235733,00	13,00		nein		v
	Fahren		mit	235733,00	235746,00	13,00		nein		v
	Fahren		mit	235746,00	235763,00	17,00		nein		v
	Fahren		mit	235763,00	235809,00	46,00		ja		l
18.10.2016	Fahren		mit	235809,00	235897,00	88,00		ja		v
	Fahren		mit	235897,00	235949,00	52,00		ja		v
	Fahren		mit	235949,00	235990,00	41,00		ja		l
	Fahren		mit	235990,00	236010,00	20,00		nein		l
	Fahren		mit	236010,00	236041,00	31,00		nein		l
	Fahren		mit	236041,00	236086,00	45,00		nein		v
19.10.2016	Fahren		mit	236086,00	236137,00	51,00		nein		l
	Fahren		mit	236137,00	236181,00	44,00		nein		v
	Kranbetrieb						11,75			
19.10.2016	Tankung [Liter]		275,00		Summe	614,00	11,75			

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen DAF

Datum	Tätigkeit		mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Betriebszeit bei Kranbetrieb	Anhänger Ja/Nein	Beladung voll/teil/Leer
	Fahren Kranbetrieb			Anfang	Ende				
19.10.2016	Fahren		mit	236181,00	236267,00	86,00		nein	t
20.10.2016	Fahren		mit	236267,00	236319,00	52,00		nein	v
	Fahren		mit	236319,00	236363,00	44,00		nein	t
	Fahren		mit	236363,00	236393,00	30,00		nein	v
	Fahren		mit	236393,00	236423,00	30,00		nein	l
24.10.2016	Fahren		mit	236423,00	236473,00	50,00		ja	t
	Fahren		mit	236473,00	236517,00	44,00		ja	v
	Fahren		mit	236517,00	236590,00	73,00		ja	v
	Fahren		mit	236590,00	236625,00	35,00		ja	t
25.10.2016	Fahren		mit	236625,00	236653,00	28,00		nein	v
	Fahren		mit	236653,00	236700,00	47,00		nein	l
	Fahren		mit	236700,00	236759,00	59,00		nein	v
	Fahren		mit	236759,00	236793,00	34,00		nein	t
	Gesamter Kranbetrieb		mit	-	-	-	11,50		
25.10.2016	Tankung [Liter]		270,00	Summe		612,00	11,50		

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen DAF

Datum	Tätigkeit		mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Betriebszeit bei Kranbetrieb	Anhänger		Beladung voll/teil/Leer
	Fahren	Kranbetrieb		Anfang	Ende			Ja/Nein		
27.10.2016	Fahren		mit	236793,00	236811,00	18,00		nein		l
	Fahren		mit	236811,00	236829,00	18,00		nein		l
28.10.2016	Fahren		mit	236829,00	236854,00	25,00		nein		v
	Fahren		mit	236854,00	236865,00	11,00		nein		l
	Fahren		mit	236865,00	236898,00	33,00		nein		v
02.11.2016	Fahren		mit	236898,00	236940,00	42,00		nein		v
	Fahren		mit	236940,00	236980,00	40,00		nein		l
	Fahren		mit	236980,00	237036,00	56,00		nein		t
	Fahren		mit	237036,00	237082,00	46,00		nein		v
03.11.2016	Fahren		mit	237082,00	237128,00	46,00		nein		v
	Fahren		mit	237128,00	237171,00	43,00		nein		v
	Fahren		mit	237171,00	237220,00	49,00		nein		l
	Fahren		mit	237220,00	237269,00	49,00		nein		v
	Kranbetrieb		mit				9,50			
03.11.2016	Tankung [Liter]		179,00							
				Summe	Summe	476,00	9,50			

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen MAN

## MAN LKW

Datum	Tätigkeit Fahren Kranbetrieb	mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Betriebszeit bei Kranbetrieb	Anhänger Ja/Nein	Beladung voll/teil/leer
			Anfang	Ende				
26.09.2016	Fahren	ohne	348830,00	348900,00	70,00		ja	l
	Fahren	ohne	348900,00	348950,00	50,00		ja	l
	Fahren	ohne	348950,00	349000,00	50,00		ja	t
27-28.09.2016	Fahren	ohne	349000,00	349203,00	203,00		ja	v
	Fahren	ohne	349203,00	349456,00	253,00		ja	t
	Fahren	ohne	349456,00	349694,00	238,00		ja	v
	Kranbetrieb					5,00		
28.09.2016	Tankung [Liter]	270,00		Summe	864,00	5,00		

Anmerkung: Ab diesem Zeitpunkt ein anderer Fahrer

Datum	Tätigkeit Fahren Kranbetrieb	mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Betriebszeit bei Kranbetrieb	Anhänger Ja/Nein	Beladung voll/teil/leer
			Anfang	Ende				
30.09.2016	Fahren	ohne	349694,00	349730,00	36,00		nein	t
	Fahren	ohne	349730,00	349957,00	227,00		nein	l
	Fahren	ohne	349957,00	350004,00	47,00		nein	t
	Fahren	ohne	350004,00	350038,00	34,00		nein	l
	Fahren	ohne	350038,00	350106,00	68,00		ja	t
03.10.2016	Fahren	ohne	350106,00	350150,00	44,00		ja	t
	Fahren	ohne	350150,00	350341,00	191,00		Ja	t
	Kranbetrieb					10,50		
03.10.2016	Tankung [Liter]	275,00		Summe	647,00	10,50		

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen MAN

Datum	Tätigkeit		mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Betriebszeit bei Kranbetrieb	Anhänger		Beladung voll/tei/leer
	Fahren	Kranbetrieb		Anfang	Ende			Ja/Nein		
04.10.2016	Fahren		ohne	350341,00	350376,00	35,00		ja	t	
	Fahren		ohne	350376,00	350447,00	71,00		ja	t	
05.10.2016	Fahren		ohne	350447,00	350454,00	7,00		nein	l	
06.10.2016	Fahren		ohne	350454,00	350474,00	20,00		nein	t	
	Fahren		ohne	350474,00	350504,00	30,00		nein	v	
	Fahren		ohne	350504,00	350544,00	40,00		nein	l	
	Fahren		ohne	350544,00	350564,00	20,00		nein	t	
	Fahren		ohne	350564,00	350604,00	40,00		nein	t	
	Fahren		ohne	350604,00	350614,00	10,00		nein	t	
	Fahren		ohne	350614,00	350633,00	19,00		nein	v	
	Fahren		ohne	350633,00	350669,00	36,00		nein	v	
	Fahren		ohne	350669,00	350704,00	35,00		nein	t	
	Fahren		ohne	350704,00	350740,00	36,00		nein	t	
	Fahren		ohne	350740,00	350762,00	22,00		nein	t	
	Fahren		ohne	350762,00	350789,00	27,00		nein	t	
	Fahren		ohne	350789,00	350814,00	25,00		nein	t	
	Kranbetrieb						9,25			
06.10.2016	Tankung [Liter]		263,00		Summe	473,00	9,25			

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen MAN

Datum	Tätigkeit		mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Betriebszeit bei Kranbetrieb	Anhänger Ja/Nein	Beladung voll/tei/leer
	Fahren Kranbetrieb			Anfang	Ende				
	Fahren		ohne	350814,00	350847,00	33,00		nein	k
07.10.2016	Fahren		ohne	350847,00	350878,00	31,00		nein	k
	Fahren		ohne	350878,00	350906,00	28,00		nein	k
	Fahren		ohne	350906,00	350937,00	31,00		nein	k
	Fahren		ohne	350937,00	351023,00	86,00		nein	k
	Fahren		ohne	351023,00	351053,00	30,00		nein	k
	Fahren		ohne	351053,00	351071,00	18,00		nein	k
10.10.2016	Fahren		ohne	351071,00	351101,00	30,00		ja	l
	Fahren		ohne	351101,00	351131,00	30,00		ja	t
	Fahren		ohne	351131,00	351136,00	5,00		ja	t
	Fahren		ohne	351136,00	351170,00	34,00		ja	l
	Fahren		ohne	351170,00	351210,00	40,00		nein	t
	Fahren		ohne	351210,00	351214,00	4,00		nein	l
	Fahren		ohne	351214,00	351227,00	13,00		nein	l
	Fahren		ohne	351227,00	351238,00	11,00		nein	v
	Fahren		ohne	351238,00	351259,00	21,00		nein	v
	Fahren		ohne	351259,00	351283,00	24,00		nein	l
11.10.2016	Fahren		ohne	351283,00	351289,00	6,00		nein	v
	Fahren		ohne	351289,00	351298,00	9,00		k	k
	Fahren		ohne	351298,00	351302,00	4,00		k	k
	Fahren		ohne	351302,00	351317,00	15,00		k	k
	Fahren		ohne	351317,00	351340,00	23,00		k	k
	Fahren		ohne	351340,00	351363,00	23,00		k	k
	Fahren		ohne	351363,00	351380,00	17,00		k	k
	Kranbetrieb						7,00		
06.10.2016	Tankung [Liter]		250,00		Summe	566,00	7,00		

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen MAN

Datum	Tätigkeit		mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Betriebszeit bei Kranbetrieb		Anhänger Ja/Nein	Beladung voll/tei/leer
	Fahren	Kranbetrieb		Anfang	Ende					
17.10.2016	Fahren		mit	351819,00	351840,00	21,00			nein	l
	Fahren		mit	351840,00	351853,00	13,00			nein	v
	Fahren		mit	351853,00	351893,00	40,00			nein	l
	Fahren		mit	351893,00	351922,00	29,00			nein	v
	Fahren		mit	351922,00	351933,00	11,00			nein	l
	Fahren		mit	351933,00	351944,00	11,00			nein	t
	Fahren		mit	351944,00	351950,00	6,00			nein	l
	Fahren		mit	351950,00	351972,00	22,00			nein	l
	Gesamter Kranbetrieb		mit	-	-	-	3,30			
18.10.2016	Fahren		mit	351972,00	351988,00	16,00			nein	l
	Gesamter Kranbetrieb		mit	-	-	-	2,00			
19.10.2016	Fahren		mit	351988,00	351995,00	7,00			nein	l
	Fahren		mit	351995,00	352011,00	16,00			nein	l
	Fahren		mit	352011,00	352024,00	13,00			nein	v
	Fahren		mit	352024,00	352037,00	13,00			nein	v
	Fahren		mit	352037,00	352049,00	12,00			nein	l
	Fahren		mit	352049,00	352060,00	11,00			nein	l
	Fahren		mit	352060,00	352070,00	10,00			nein	v
	Fahren		mit	352070,00	352090,00	20,00			nein	v
	Fahren		mit	352090,00	352101,00	11,00			nein	l
	Fahren		mit	352101,00	352115,00	14,00			nein	l
	Gesamter Kranbetrieb		mit	-	-	-	5,50			
	Tankung [Liter]		270,00			296,00	10,80			
				Summe						

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen MAN

Datum	Tätigkeit		mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Betriebszeit bei Kranbetrieb	Anhänger Ja/Nein	Beladung voll/tei/leer
	Fahren Kranbetrieb			Anfang	Ende				
20.10.2016	Fahren		mit	352115,00	352130,00	15,00		nein	l
	Fahren		mit	352130,00	352167,00	37,00		nein	l
	Fahren		mit	352167,00	352212,00	45,00		nein	v
	Fahren		mit	352212,00	352217,00	5,00		nein	l
	Fahren		mit	352217,00	352262,00	45,00		nein	v
	Fahren		mit	352262,00	352321,00	59,00		nein	l
21.10.2016	Fahren		mit	352321,00	352336,00	15,00		nein	v
	Fahren		mit	352336,00	352359,00	23,00		nein	t
	Fahren		mit	352359,00	352384,00	25,00		nein	t
	Fahren		mit	352384,00	352390,00	6,00		nein	l
	Fahren		mit	352390,00	352415,00	25,00		nein	l
24.10.2016	Fahren		mit	352415,00	352444,00	29,00		nein	t
	Fahren		mit	352444,00	352453,00	9,00		nein	t
	Fahren		mit	352453,00	352483,00	30,00		nein	l
	Fahren		mit	352483,00	352516,00	33,00		nein	l
	Fahren		mit	352516,00	352528,00	12,00		nein	l
25.10.2016	Fahren		mit	352528,00	352534,00	6,00		nein	l
	Fahren		mit	352534,00	352552,00	18,00		nein	t
	Fahren		mit	352552,00	352577,00	25,00		nein	v
	Fahren		mit	352577,00	352586,00	9,00		nein	t
	Fahren		mit	352586,00	352596,00	10,00		nein	t
	Fahren		mit	352596,00	352626,00	30,00		nein	t
	Fahren		mit	352626,00	352658,00	32,00		nein	l
	Fahren		mit	352658,00	352688,00	30,00		nein	t
	Fahren		mit	352688,00	352720,00	32,00		ja	v
	Fahren		mit	352720,00	352751,00	31,00		ja	l
	Fahren		mit	352751,00	352782,00	31,00		nein	v
	Fahren		mit	352782,00	352786,00	4,00		nein	v
	Fahren		mit	352786,00	352790,00	4,00		nein	v
	Fahren		mit	352790,00	352802,00	12,00		nein	l

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen MAN

27.10.2016	Kranbetrieb	mit							
	Tankung [Liter]	300,00							
			Summe	687,00	22,00	22,00		nein	

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Lastkraftwagen

Auswertung:

Fahrzeug	DAF LKW
----------	---------

Ohne Kit	Liter	Km	Verbrauch [l/km]
1. Tankbereich	270,00	732,00	0,37
2. Tankbereich	-	1494,00	-
3. Tankbereich	250,00	515,00	0,49

mit Kit	Liter	Km	Verbrauch [l/km]
1. Tankbereich	275,00	614,00	0,45
2. Tankbereich	270,00	612,00	0,44
3. Tankbereich	179,00	476,00	0,38

		Ohne Kit	mit Kit
Gesamte Kilometer	[km]	1247,00	1702,00
Gesamter Verbrauch	[l]	520,00	724,00
Liter/km	[l/km]	0,42	0,43
Kranbetrieb	[h/km*100]	1,38	1,92
Anhängeranteil	[%]	21,81	33,43
Beladeanteil			
	voll	59,34 %	55,35 %
	teil	22,77 %	17,92 %
	leer	17,88 %	26,73 %
	keine Angabe	0,00 %	0,00 %

Auswertung:

Fahrzeug	MAN LKW
----------	---------

Ohne Kit	Liter	Km	Verbrauch [l/km]
1. Tankbereich	270,00	864,00	0,31
2. Tankbereich	275,00	647,00	0,43
3. Tankbereich	263,00	473,00	0,56
4. Tankbereich	250,00	566,00	0,44

mit Kit	Liter	Km	Verbrauch [l/km]
1. Tankbereich	270,00	296,00	0,91
2. Tankbereich	300,00	687,00	0,44

		Ohne Kit	mit Kit
Gesamte Kilometer	[km]	2550,00	687,00
Gesamter Verbrauch	[l]	1058,00	300,00
Liter/km	[l/km]	0,41	0,44
Kranbetrieb	[h/km*100]	1,25	3,20
Anhängeranteil	[%]	53,80	9,17
Beladeanteil			
	voll	22,12 %	29,26 %
	teil	43,33 %	26,64 %
	leer	20,90 %	44,10 %
	keine Angabe	13,65 %	0,00 %

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Kleintransporter - VW T5 Bus 1

Kleintransporter (Kleinbus)  
VW T5 Bus 1

Anmerkung:

Datum	Tätigkeit Fahren	mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Anhänger Ja/Nein	Beladung Personenanzahl
			Anfang	Ende			
26.09.2016	Fahren	ohne	161332,00	161486,00	154,00	nein	3,00
27.09.2016	Fahren	ohne	161486,00	161621,00	135,00	nein	3,00
28.09.2016	Fahren	ohne	161621,00	161754,00	133,00	nein	3,00
29.09.2016	Fahren	ohne	161754,00	161898,00	144,00	nein	3,00
30.09.2016	Fahren	ohne	161898,00	162008,00	110,00	ja	3,00
Tankung [Liter]			Summe		676,00		

Datum	Tätigkeit Fahren	mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Anhänger Ja/Nein	Beladung Personenanzahl
			Anfang	Ende			
03.10.2016	Fahren	ohne	162008,00	162197,00	189,00	ja	3,00
04.10.2016	Fahren	ohne	162197,00	162330,00	133,00	nein	3,00
05.10.2016	Fahren	ohne	162330,00	162446,00	116,00	nein	3,00
06.10.2016	Fahren	ohne	162446,00	162576,00	130,00	nein	2,00
10.10.2016	Fahren	ohne	162576,00	162709,00	133,00	ja	3,00
11.10.2016	Fahren	ohne	162709,00	162809,00	100,00	nein	2,00
Tankung [Liter]			Summe		801,00		

Datum	Tätigkeit Fahren	mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Anhänger Ja/Nein	Beladung Personenanzahl
			Anfang	Ende			
12.10.2016	Fahren	ohne	162809,00	163009,00	200,00	ja	2,00
13.10.2016	Fahren	ohne	163009,00	163143,00	134,00	ja	2,00
14.10.2016	Fahren	ohne	163143,00	163321,00	178,00	ja	2,00
17.10.2016	Fahren	mit	163321,00	163524,00	203,00	ja	3,00
18.10.2016	Fahren	mit	163524,00	163643,00	119,00	ja	3,00
Tankung [Liter]			Summe		834,00		

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Kleintransporter - VW T5 Bus 1

Kleintransporter (Kleinbus)  
VW T5 Bus 1

Anmerkung:

Datum	Tätigkeit Fahren	mit oder ohne KIT		Kilometerstand		Kilometer Summe	Anhänger Ja/Nein	Beladung	
				Anfang	Ende			Personenanzahl	Personenanzahl
19.10.2016	Fahren	mit		163643,00	163827,00	184,00	nein	3,00	
20.10.2016	Fahren	mit		163827,00	164057,00	230,00	ja	3,00	
24.10.2016	Fahren	mit		164057,00	164210,00	153,00	ja	3,00	
25.10.2016	Fahren	mit		164210,00	164292,00	82,00	ja	3,00	
	Tankung [Liter]	55,00		Summe		649,00			

Datum	Tätigkeit Fahren	mit oder ohne KIT		Kilometerstand		Kilometer Summe	Anhänger Ja/Nein	Beladung	
				Anfang	Ende			Personenanzahl	Personenanzahl
27.10.2016	Fahren	mit		164292,00	164506,00	214,00	nein	3,00	
28.10.2016	Fahren	mit		164506,00	164705,00	199,00	nein	3,00	
02.11.2016	Fahren	mit		164705,00	164849,00	144,00	nein	3,00	
03.11.2016	Fahren	mit		164849,00	164968,00	119,00	nein	2,00	
	Tankung [Liter]	62,00		Summe		676,00			

Datum	Tätigkeit Fahren	mit oder ohne KIT		Kilometerstand		Kilometer Summe	Anhänger Ja/Nein	Beladung	
				Anfang	Ende			Personenanzahl	Personenanzahl
04.11.2016	Fahren	mit		164968,00	165133,00	165,00	nein	2,00	
07.11.2016	Fahren	mit		165133,00	165330,00	197,00	ja	3,00	
08.11.2016	Fahren	mit		165330,00	165526,00	196,00	ja	3,00	
09.11.2016	Fahren	mit		165526,00	165693,00	167,00	nein	3,00	
10.11.2016	Fahren	mit		165693,00	165812,00	119,00	nein	4,00	
	Tankung [Liter]	78,00		Summe		844,00			

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Kleintransporter - VW T5 Bus 2

Kleintransporter (Kleinbus)  
VW T5 Bus 2

Anmerkung:

Datum	Tätigkeit Fahren	mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Anhänger Ja/Nein	Beladung leer/teil/voll
			Anfang	Ende			
27.09.2016	Fahren	ohne	252258,00	252400,00	142,00	nein	leer
28.09.2016	Fahren	ohne	252400,00	252681,00	281,00	nein	leer
29.09.2016	Fahren	ohne	252681,00	252999,00	318,00	nein	leer
30.09.2016	Fahren	ohne	252999,00	253140,00	141,00	nein	leer
Tankung [Liter]			Summe		882,00		

Datum	Tätigkeit Fahren	mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Anhänger Ja/Nein	Beladung leer/teil/voll
			Anfang	Ende			
30.09.2016	Fahren	ohne	253140,00	253281,00	141,00	nein	leer
03.10.2016	Fahren	ohne	253281,00	253552,00	271,00	nein	leer
04.10.2016	Fahren	ohne	253552,00	253833,00	281,00	nein	leer
05.10.2016	Fahren	ohne	253833,00	253974,00	141,00	nein	leer
Tankung [Liter]			Summe		834,00		

Datum	Tätigkeit Fahren	mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Anhänger Ja/Nein	Beladung leer/teil/voll
			Anfang	Ende			
05.10.2016	Fahren	ohne	253974,00	254150,00	176,00	nein	leer
06.10.2016	Fahren	ohne	254150,00	254548,00	398,00	nein	leer
10.10.2016	Fahren	ohne	254548,00	254691,00	143,00	nein	leer
Tankung [Liter]			Summe		717,00		

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Kleintransporter - VW T5 Bus 2

Kleintransporter (Kleinbus)  
VW T5 Bus 2

Anmerkung:

Datum	Tätigkeit Fahren		mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Anhänger Ja/Nein	Beladung leer/teil/voll
	Fahren			Anfang	Ende			
10.10.2016	Fahren		ohne	254691,00	254831,00	140,00	nein	leer
11.10.2016	Fahren		ohne	254831,00	255112,00	281,00	nein	leer
12.10.2016	Fahren		ohne	255112,00	255216,00	104,00	nein	leer
13.10.2016	Fahren		ohne	255216,00	255319,00	103,00	nein	leer
14.10.2016	Fahren		ohne	255319,00	255423,00	104,00	nein	leer
17.10.2016	Fahren		ohne	255423,00	255473,00	50,00	nein	leer
	Tankung [Liter]		65,14	Summe		575,00		

Datum	Tätigkeit Fahren		mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Anhänger Ja/Nein	Beladung leer/teil/voll
	Fahren			Anfang	Ende			
17.10.2016	Fahren		mit	255473,00	255611,00	138,00	nein	leer
18.10.2016	Fahren		mit	255611,00	255712,00	101,00	nein	leer
19.10.2016	Fahren		mit	255712,00	255811,00	99,00	nein	leer
20.10.2016	Fahren		mit	255811,00	255911,00	100,00	nein	leer
24.10.2016	Fahren		mit	255911,00	256025,00	114,00	nein	leer
25.10.2016	Fahren		mit	256025,00	256132,00	107,00	nein	leer
27.10.2016	Fahren		mit	256132,00	256273,00	141,00	nein	leer
	Tankung [Liter]		64,19	Summe		479,00		

Datum	Tätigkeit Fahren		mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Anhänger Ja/Nein	Beladung leer/teil/voll
	Fahren			Anfang	Ende			
27.10.2016	Fahren		mit	256273,00	256413,00	140,00	nein	leer
28.10.2016	Fahren		mit	256413,00	256681,00	268,00	nein	leer
02.11.2016	Fahren		mit	256681,00	256984,00	303,00	nein	leer
03.11.2016	Fahren		mit	256984,00	257124,00	140,00	nein	leer
	Tankung [Liter]		69,23	Summe		851,00		

Bisenberger, Urban

## Auswertung Kraftstoffmonitoring Kleintransporter - VW T5 Bus 2

## Kleintransporter (Kleinbus)

## VW T5 Bus 2

Anmerkung:

Datum	Tätigkeit	mit oder ohne KIT	Kilometerstand		Kilometer Summe	Anhänger Ja/Nein	Beladung leer/teil/voll
	Fahren		Anfang	Ende			
03.11.2016	Fahren	mit	257124,00	257324,00	200,00	nein	leer
04.11.2016	Fahren	mit	257324,00	257601,00	277,00	nein	leer
07.11.2016	Fahren	mit	257601,00	257742,00	141,00	nein	leer
	Tankung [Liter]	49,93	Summe		618,00		

Bisenberger, Urban

## Emissionsmonitoring Raupenbagger

Fahrzeug: Raupenbagger Hitachi ZX225USRLC-3		Standort: Traismauer									
Datum	Kit	Drehzahl [U/min]	CO <sub>2</sub> [Vol-%]	O <sub>2</sub> [Vol-%]	CO <sub>unv</sub> [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]	Anmerkung		
03.10.2016	mit/ohne	800	1,77	18,56	1002	105	-	-			
11.10.2016	ohne	800	1,87	18,42	1086	115	133	24			
17.10.2016	ohne	800	1,79	18,53	1189	114	140	26			
10.11.2016	ohne	800	1,92	18,35	1071	111	135	25			
17.10.2016	Einbau										
24.10.2016	mit	800	1,40	18,51	995	111	118	25			
27.10.2016	mit	800	1,73	18,61	882	106	100	20			
04.11.2016	mit	800	1,95	18,32	933	117	119	22			

Anmerkung: Aufzeichnung am 03.10.2016 ohne Testo App

Datum	Kit	Drehzahl [U/min]	CO <sub>2</sub> [Vol-%]	O <sub>2</sub> [Vol-%]	CO <sub>unv</sub> [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]	Anmerkung	
03.10.2016	mit/ohne	1300	2,19	17,98	925	109	-	-		
11.10.2016	ohne	1300	2,24	17,91	848	117	125	26		
17.10.2016	ohne	1300	2,23	17,92	996	111	146	28		
10.11.2016	ohne	1300	2,45	17,63	870	122	140	28		
17.10.2016	Einbau									
24.10.2016	mit	1300	1,68	18,03	848	109	120	23		
27.10.2016	mit	1300	2,12	18,08	820	107	114	22		
04.11.2016	mit	1300	2,35	17,77	857	116	132	24		

Bisenberger, Urban

## Emissionsmonitoring Raupenbagger

Fahrzeug: Raupenbagger Hitachi ZX225USRLC-3		Trismauer									
Standort:											
Datum	Kit mit/ohne	Drehzahl [U/min]	CO <sub>2</sub> [Vol-%]	O <sub>2</sub> [Vol-%]	CO <sub>unv</sub> [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]	Anmerkung		
03.10.2016	ohne	1700	2,66	17,33	926	108	-	-			
11.10.2016	ohne	1700	2,76	17,20	881	115	159	29			
17.10.2016	ohne	1700	2,68	17,30	985	111	174	30			
10.11.2016	ohne	1700	2,89	17,02	865	120	164	29			
17.10.2016	Einbau										
24.10.2016	mit	1700	2,07	17,32	841	111	148	27			
27.10.2016	mit	1700	2,66	17,34	818	107	143	26			
04.11.2016	mit	1700	2,81	17,12	884	111	163	27			

Bisenberger, Urban

Emissionsmonitoring Raupenbagger

Vergleich ohne/mit Kit							
800 U/min	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>unv</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	
	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	
	mit Kit						
Mittelwert	1,69	18,48	937	111	112	22	
Standardabweichung	± 0,23	± 0,12	± 46	± 5	± 9	± 2	
	ohne Kit						
Mittelwert	1,84	18,46	1087	111	136	25	
Standardabweichung	± 0,06	± 0,08	± 67	± 4	± 3	± 1	
	Gegenüberstellung						
Veränderung	Absolut	-0,14	0,02	-150	0	-24	-3
	relativ [%]	-8	0	-14	0	-17	-10

Vergleich ohne/mit Kit							
1300 U/min	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>unv</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	
	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	
	mit Kit						
Mittelwert	2,05	17,96	842	111	122	23	
Standardabweichung	± 0,28	± 0,14	± 16	± 4	± 7	± 1	
	ohne Kit						
Mittelwert	2,28	17,86	910	115	137	27	
Standardabweichung	± 0,10	± 0,14	± 57	± 5	± 9	± 1	
	Gegenüberstellung						
Veränderung	Absolut	-0,23	0,10	-68	-4	-15	-5
	relativ [%]	-10	1	-7	-4	-11	-17

## Emissionsmonitoring Raupenbagger

1700 U/min	mit Kit						
	CO <sub>2</sub> [Vol-%]	O <sub>2</sub> [Vol-%]	CO <sub>unv</sub> [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]	
Mittelwert	2,51	17,26	848	110	151	27	
Standardabweichung	± 0,32	± 0,10	± 27	± 2	± 9	± 1	
	ohne Kit						
Mittelwert	2,75	17,21	914	113	166	29	
Standardabweichung	± 0,09	± 0,12	± 47	± 4	± 6	± 0	
	Gegenüberstellung						
Veränderung	Absolut	-0,23	0,10	-67	-3	-15	-3
	relativ [%]	-8	0	-7	-3	-9	-9

Bisenberger, Urban

## Emissionsmonitoring Radlader Traismauer

Fahrzeug:	Radlader Volvo L110 E									
Standort:	Traismauer									
Datum	Kit	Drehzahl [U/min]	CO <sub>2</sub> [Vol.-%]	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO <sub>unv</sub> [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]	Anmerkung	
03.10.	mit/ohne	780	0,77	19,94	207	83	-	-		
11.10.	ohne	780	0,82	19,88	172	96	9	7		
17.10.	ohne	780	0,83	19,87	218	94	12	8		
17.10.	Einbau									
27.10.	mit	780	1,25	19,28	182	147	15	11		
24.10.	mit	780	1,02	19,60	190	111	13	9		
04.11.	mit	780	1,10	19,49	173	115	12	9		
10.11.	mit	780	0,92	19,74	148	106	9	6		

Anmerkung: Aufzeichnung am 03.10.2016 ohne Testo App

Datum	Kit	Drehzahl [U/min]	CO <sub>2</sub> [Vol.-%]	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO <sub>unv</sub> [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]	Anmerkung
03.10.2016	mit/ohne	1500	1,22	19,33	285	85	-	-	
11.10.2016	ohne	1500	1,26	19,27	257	96	21	10	
17.10.2016	ohne	1500	1,19	19,37	304	88	24	10	
17.10.2016	Einbau								
27.10.2016	mit	1500	0,92	19,74	245	73	15	7	
24.10.2016	mit	1500	0,95	19,70	273	68	17	7	
04.11.2016	mit	1500	1,41	19,07	267	97	24	11	
10.11.2016	mit	1500	1,27	19,25	238	90	20	9	

Bisenberger, Urban

## Emissionsmonitoring Radlader Traismauer

Fahrzeug:	Radlader Volvo L110 E									
Standort:	Traismauer									
Datum	Kit	Drehzahl [U/min]	CO <sub>2</sub> [Vol.-%]	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO <sub>unv</sub> [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]	Anmerkung	
03.10.2016	mit/ohne	2240	1,30	19,21	370	60	-	-		
11.10.2016	ohne	2240	1,40	19,08	331	73	30	9		
17.10.2016	ohne	2240	1,22	19,32	386	61	31	9		
17.10.2016	Einbau									
27.10.2016	mit	2240	0,89	19,78	291	48	17	5		
24.10.2016	mit	2240	1,02	19,60	316	48	21	6		
04.11.2016	mit	2240	1,57	18,84	281	72	29	9		
10.11.2016	mit	2240	1,48	18,96	280	75	27	8		

Bisenberger, Urban

Emissionsmonitoring Radlader Traismauer

Vergleich ohne/mit Kit							
780 U/min	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>unv</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	
	[Vol-%]	[Vol-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	
	mit Kit						
Mittelwert	1,07	19,53	173	120	12	9	
Standardabweichung	± 0,12	± 0,17	± 16	± 16	± 2	± 2	
	ohne Kit						
Mittelwert	0,80	19,89	199	91	11	7	
Standardabweichung	± 0,02	± 0,03	± 19	± 6	± 1	± 0	
	Gegenüberstellung						
Abweichung	Absolut	0,27	-0,36	-26	29	2	2
	relativ [%]	33	-2	-13	31	15	22

Vergleich ohne/mit Kit							
1500 U/min	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>unv</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	
	[Vol-%]	[Vol-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	
	mit Kit						
Mittelwert	1,14	19,44	256	82	19	9	
Standardabweichung	± 0,21	± 0,29	± 15	± 12	± 4	± 1	
	ohne Kit						
Mittelwert	1,22	19,32	282	90	22	10	
Standardabweichung	± 0,03	± 0,04	± 20	± 5	± 1	± 0	
	Gegenüberstellung						
Abweichung	Absolut	-0,08	0,11	-26	-8	-3	-1
	relativ [%]	-7	1	-9	-9	-15	-12

## Emissionsmonitoring Radlader Traismauer

2240 U/min	mit Kit						
	CO <sub>2</sub> [Vol-%]	O <sub>2</sub> [Vol-%]	CO <sub>unv</sub> [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]	
Mittelwert	1,24	19,30	292	61	24	7	
Standardabweichung	± 0,29	± 0,40	± 15	± 13	± 5	± 2	
	ohne Kit						
Mittelwert	1,31	19,20	362	65	31	9	
Standardabweichung	± 0,07	± 0,10	± 23	± 6	± 0	± 0	
	Gegenüberstellung						
Abweichung	Absolut	-0,07	0,09	-71	-4	-7	-2
	relativ [%]	-5	0	-19	-6	-23	-20

Bisenberger, Urban

## Emissionsmonitoring Radlader Zwettl

Fahrzeug:	Radlader Volvo L120 F									
Standort:	Zwettl									
Datum	Kit	Drehzahl [U/min]	CO <sub>2</sub> [Vol.-%]	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO <sub>unv</sub> [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]	Anmerkung	
03.10.2016	mit/ohne	800	0,97	19,66	186	117	-	-		
11.10.2016	ohne	800	0,97	19,66	187	124	12	9		
17.10.2016	Einbau									
24.10.2016	mit	800	0,82	19,87	166	90	9	5		
27.10.2016	mit	800	0,91	19,76	172	105	10	7		
04.11.2016	mit	800	1,04	19,57	179	127	12	9		
10.11.2016	mit	800	0,95	19,69	168	123	11	8		

Anmerkung: Aufzeichnung am 03.10.2016 ohne Testo App

Datum	Kit	Drehzahl [U/min]	CO <sub>2</sub> [Vol.-%]	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO <sub>unv</sub> [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]	Anmerkung	
03.10.2016	mit/ohne	1500	1,25	19,29	218	104	-	-		
11.10.2016	ohne	1500	1,44	19,03	239	118	22	11		
17.10.2016	Einbau									
24.10.2016	mit	1500	1,03	19,59	225	80	15	6		
27.10.2016	mit	1500	0,94	19,71	204	74	13	6		
04.11.2016	mit	1500	1,57	18,84	243	129	25	12		
10.11.2016	mit	1500	1,28	19,24	199	115	17	10		

Bisenberger, Urban

## Emissionsmonitoring Radlader Zwettl

Fahrzeug:	Radlader Volvo L120 F									
Standort:	Zwettl									
Datum	Kit	Drehzahl [U/min]	CO <sub>2</sub> [Vol.-%]	O <sub>2</sub> [Vol.-%]	CO <sub>unv</sub> [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]	Anmerkung	
03.10.2016	mit/ohne ohne	2250	1,71	18,64	240	100	-	-		
11.10.2016	ohne	2250	1,87	18,43	247	108	30	10		
17.10.2016	Einbau									
24.10.2016	mit	2250	0,81	19,88	221	42	12	4		
27.10.2016	mit	2250	1,25	19,29	233	73	19	6		
04.11.2016	mit	2250	1,68	18,69	266	94	29	9		
10.11.2016	mit	2250	1,61	18,78	226	95	24	9		

Bisenberger, Urban

## Emissionsmonitoring Radlader Zwettl

Vergleich ohne/mit Kit						
800 U/min	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>unv</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>2</sub>
	[Vol-%]	[Vol-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
	mit Kit					
Mittelwert	0,93	19,72	171	111	10	7
Standardabweichung	± 0,08	± 0,11	± 5	± 15	± 1	± 2
	ohne Kit					
Mittelwert	0,97	19,66	187	121	12	9
Standardabweichung	± 0,00	± 0,00	± 1	± 4	± 0	± 0
	Gegenüberstellung					
Abweichung	Absolut	-0,04	0,06	-15	-9	-2
	relativ [%]	-4	0	-8	-8	-13

Vergleich ohne/mit Kit							
1500 U/min	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>unv</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	
	[Vol-%]	[Vol-%]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	
	mit Kit						
Mittelwert	1,20	19,34	218	100	17	8	
Standardabweichung	± 0,25	± 0,34	± 17	± 23	± 5	± 3	
	ohne Kit						
Mittelwert	1,34	19,16	229	111	22	11	
Standardabweichung	± 0,09	± 0,13	± 11	± 7	± 0	± 0	
	Gegenüberstellung						
Abweichung	Absolut	-0,14	0,19	-11	-11	-5	-3
	relativ [%]	-10	1	-5	-10	-23	-23

Bisenberger, Urban

## Emissionsmonitoring Radlader Zwettl

2250 U/min	mit Kit						
	CO <sub>2</sub> [Vol-%]	O <sub>2</sub> [Vol-%]	CO <sub>unv</sub> [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	CO [ppm]	NO <sub>2</sub> [ppm]	
Mittelwert	1,34	19,16	236	76	21	7	
Standardabweichung	± 0,35	± 0,48	± 17	± 21	± 6	± 2	
	ohne Kit						
Mittelwert	1,79	18,53	244	104	30	10	
Standardabweichung	± 0,08	± 0,11	± 4	± 4	± 0	± 0	
	Gegenüberstellung						
Abweichung	Absolut	-0,45	0,63	-7	-28	-9	-3
	relativ [%]	-25	3	-3	-27	-31	-26

Bisenberger, Urban