



Rudolf Klingler, BSc

# **Messung und Simulation von Real World Emissionen beim PKW**

## **MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplomingenieur  
Masterstudium Maschinenbau

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer

Ao. Univ.- Prof. Dipl.- Ing. Dr. techn. Stefan Hausberger  
Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, TU Graz

Zweitbetreuer

Dipl.- Ing. Dr. techn. Martin Rexeis  
Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, TU Graz

Graz, Mai 2016



## Vorwort

Seit meiner Kindheit haben mich motorisierte Fahrzeuge begeistert, weshalb ich beim Masterstudium die Vertiefung Motor- und Antriebstechnik wählte. Bei der Wahl der Masterarbeit war ein interessantes Gespräch mit dem Leiter des Forschungsbereiches Emissionen, Herrn Ao. Univ.- Prof. Dr. Stefan Hausberger, ausschlaggebend, wobei das Thema sehr aktuell und komplett neu von der Aufgabenstellung war. Deshalb entschied ich mich für eine Masterarbeit im Bereich der Emissionen.

Die Masterarbeit mit dem Titel “Messung und Simulation von Real World Emissionen beim PKW“ wurde am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik vom Forschungsbereich Emissionen ausgeschrieben und auch abgewickelt.

Somit gilt ein besonderer Dank dem Institutsleiter Herrn Univ. Prof. Dr. Helmut Eichseder, der mir die Arbeit auf seinem Institut ermöglicht hat. Des Weiteren gilt ein besonderer Dank dem Leiter des Forschungsbereiches Emissionen und Hauptbetreuer meiner Masterarbeit Herrn Ao. Univ.- Prof. Dr. Stefan Hausberger, der mich bei der Arbeit immer tatkräftig unterstützt hat und immer für eine angenehme Gesprächsatmosphäre sorgte.

Bei meinem Teil der Simulation wurde mir tatkräftig von Frau Dipl. Ing. Silke Lipp, Herrn Dipl. Ing. Claus Matzer und Herrn Dr. Martin Rexeis geholfen, weshalb auch Ihnen ein großer Dank gilt.

Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Dr. Jürgen Blassnegger und Herrn Gerald Nöhner, die mich beim praktischen Teil der Masterarbeit, der Messung der Real World Emissionen, unterstützt haben.

Ein großer Dank gilt all meinen Freunden, Studienkollegen und meinen Geschwistern, welche mit mir eine der schönsten Zeiten meines bisherigen Lebens mitgestaltet haben. Hierbei auch ein großer Dank an meine Freundin, die mir großes Verständnis und Geduld für dieses Studium entgegenbrachte.

Der meiste Dank gilt meinen Eltern, die mir überhaupt das Studium ermöglicht haben. Sie haben mich immer großartig unterstützt und sind mir bei jeglichen Entscheidungen immer zur Seite gestanden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>VORWORT</b> .....	<b>I</b>
<b>FORMELZEICHEN, INDIZES UND ABKÜRZUNGEN</b> .....	<b>IV</b>
<b>EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG</b> .....	<b>VI</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN</b> .....	<b>2</b>
2.1 SIMULATIONSMODELL PHEM .....	2
2.1.1 Fahrzeugdatei (*.veh) .....	3
2.1.2 Emissionskennfeld (*.map, *.mep) .....	4
2.1.3 Volllastkurve (*.fld) .....	5
2.1.4 Fahrzyklus (*.dri, *.mes, *.npi) .....	5
2.2 EMISSIONSMESSUNG AM PRÜFSTAND .....	6
2.2.1 NEDC .....	8
2.2.2 WLTC .....	9
2.3 EMISSIONSMESSUNG DIREKT AM PKW (RDE) .....	10
2.3.1 RDE .....	10
2.3.2 PEMS .....	11
2.4 RDE DATEN KONVERTIEREN .....	14
2.4.1 Verschiebung der Messdaten .....	15
2.4.2 Leistung berechnen .....	16
2.4.3 Kennfeld erstellen .....	17
<b>3 BEDARFSERHEBUNG AN EINGANGSDATEN FÜR DIE SIMULATION</b> .....	<b>19</b>
3.1 VERSUCHSFAHRZEUG 1 .....	19
3.1.1 Volllastkurve .....	20
3.1.2 Fahrzeugdaten .....	20
3.1.3 Basis- Verbrauchskennfeld .....	21
3.2 ANALYSE BESTEHENDER RDE TESTS .....	21
3.2.1 Köflach .....	21
3.3 AUSWERTUNG DER STRECKEN .....	25
3.4 ZUSAMMENFASSUNG .....	27
3.5 VERBESSERUNGSBEDARF AN MESS- UND SIMULATIONSMETHODEN .....	28
3.5.1 Kennfeld .....	28
3.5.2 Kennfeldauffüllung .....	30
3.5.3 Simulationsmethodik .....	31
3.5.4 Fahrzeugdaten .....	32
<b>4 RDE MESSUNGEN</b> .....	<b>33</b>
4.1 VERSUCHSFAHRZEUG 2 .....	33
4.1.1 Volllastkurve .....	33
4.1.2 Fahrzeugdaten .....	34
4.1.3 Basis- Verbrauchskennfeld .....	34
4.1.4 Analyse ausgeführter RDE Tests .....	35
4.1.5 Auswertung der Strecken .....	39
4.2 VERSUCHSFAHRZEUG 3 .....	42
4.2.1 Volllastkurve .....	42
4.2.2 Fahrzeugdaten .....	43
4.2.3 Basis- Verbrauchskennfeld .....	43
4.2.4 Analyse ausgeführter RDE Tests .....	44
4.2.5 Auswertung der Strecken .....	46
4.3 ZUSAMMENFASSUNG .....	47

---

<b>5</b>	<b>PARAMETRISIERUNG DER FAHRZEUGMODELLE .....</b>	<b>48</b>
5.1	LEISTUNGS- UND NEBENAGGREGATSBERECHNUNG .....	48
5.2	AUSROLLVERSUCH .....	49
5.3	FAHRWIDERSTANDSPOLYNOM ÜBER EFFEKTIVE LEISTUNG .....	51
5.4	VERGLEICH DER EFFEKTIVEN LEISTUNGEN .....	52
5.5	ZUSAMMENFASSUNG .....	53
<b>6</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK .....</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>VERZEICHNISSE .....</b>	<b>55</b>
7.1	LITERATURVERZEICHNIS .....	55
7.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	56
7.3	TABELLENVERZEICHNIS .....	59
7.4	FORMELVERZEICHNIS .....	60
<b>8</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>61</b>
8.1	VERSUCHSFAHRZEUG 1 .....	61
8.1.1	<i>Analyse bestehender Tests.....</i>	<i>61</i>
8.1.2	<i>Auswertung.....</i>	<i>68</i>
8.2	VERSUCHSFAHRZEUG 2 .....	69
8.2.1	<i>Analyse ausgeführter RDE Tests.....</i>	<i>69</i>
8.2.2	<i>Auswertung.....</i>	<i>77</i>
8.3	VERSUCHSFAHRZEUG 3 .....	78
8.3.1	<i>Analyse der Strecken .....</i>	<i>78</i>
8.3.2	<i>Auswertung der Strecken.....</i>	<i>83</i>

## Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen

### Lateinische Formelzeichen

$a$	$m/s^2$	Beschleunigung
$A$	$m^2$	Fläche, Oberfläche, Querschnittsfläche
$c_W$	-	Luftwiderstandsbeiwert
$CF_{\text{Schadstoff}}$	-	Conformity Faktor
$CO$	ppm, g/h, g/km	Kohlenmonoxid
$CO_2$	ppm, g/h, g/km	Kohlendioxid
$v$	$m/s$	Geschwindigkeit
$EURO\ 6_{\text{Limit}}$	$g/km, \#/km$	EURO 6 Emissionslimit
$F_{\text{Fahrwiderstand}}$	$(k)N$	Kraft der Fahrwiderstände
$FC$	$g/h, g/km$	Kraftstoffverbrauch
$FC_{\text{Norm}}$	$(g/h)\ \text{norm}$	Normierter Kraftstoffverbrauch
$Fr_0$	-	Konstanter Rollwiderstandskoeffizient
$Fr_1$	$s/m$	Linearer Rollwiderstandskoeffizient
$g$	$m/s^2$	örtliche Fallbeschleunigung
$HC$	ppm, g/h, g/km	Kohlenwasserstoffe
$I_{\text{Getriebe}}$	$kgm^2$	Trägheitsmoment des Getriebes/ Antriebsstranges
$I_{\text{Motor}}$	$kgm^2$	Trägheitsmoment des Motors
$LG$	$W/kg$	Leistungsgewicht
$m$	$kg$	Masse
$m_{\text{Fahrzeug}}$	$kg$	Gesamtmasse des Fahrzeuges
$m_{\text{Leer}}$	$kg$	Leergewicht des Fahrzeuges
$m_{\text{Rot}}$	$kg$	Rotatorische Masse des Fahrzeuges
$M$	$Nm$	Drehmoment
$n$	$U/min, \text{norm}$	Drehzahl
$n_{\text{Leerlauf}}$	$U/min$	Leerlaufdrehzahl
$n_{\text{Nenn}}$	$U/min$	Nenndrehzahl
$n_{\text{Norm}}$	$\text{norm}$	Normierte Drehzahl
$NOx$	ppm, g/h, g/km	Stickoxide
$NTE_{\text{Schadstoff}}$	$g/km, \#/km$	Not- To- Exceed- Wert
$P$	$(k)W, \text{norm}$	Motorleistung
$P_0$	$\%$	Nebenaggregatsleistung bezogen auf die Motornennleistung
$P_a$	$(k)W$	Leistung zur Überwindung der Fahrzeugträgheit
$P_{a\text{Eng}}$	$(k)W$	Leistung zur Überwindung der Motorträgheit
$P_{\text{Aux}}$	$(k)W$	Leistung zur Überwindung der Nebenaggregate
$P_{e\text{Längsdynamik}}$	$(k)W$	Effektive Motorleistung über Längsdynamikberechnung
$P_{eCO_2}$	$(k)W$	Effektive Motorleistung über PHEM
$P_{\text{Fahrwiderstand}}$	$(k)W$	Leistung zur Überwindung der Fahrwiderstände
$P_{\text{Nenn}}$	$(k)W, \text{norm}$	Motornennleistung des Fahrzeuges
$P_{\text{Norm}}$	$\text{norm}$	Normierte Motorleistung
$P_{\text{Steigung}}$	$(k)W$	Leistung zur Überwindung der Steigung
$R_0$	$N$	Konstanter Faktor des Rollwiderstandes
$R_1$	$Ns/m$	Linearer Faktor des Rollwiderstandes
$R_2$	$Ns^2/m^2$	Quadratischer Faktor des Rollwiderstandes
$Stg$	$\%$	Steigung/ Fahrbahnneigung der Strecke
$t$	$^{\circ}C$	Celsius-Temperatur

## Griechische Formelzeichen

$\alpha$	$^{\circ}$ ; rad; $1/s^2$	Winkel, Winkelbeschleunigung
$\omega$	$s^{-1}$	Winkelgeschwindigkeit

## Konstanten

$g = 9,8067$	$m/s^2$	Erdbeschleunigung
$\Lambda = 1,03$	-	Drehmassenfaktor

## Abkürzungen

CVS	Constant Volume Sample
DPF	Dieselpartikelfilter
ECU	Engine Control Unit
EFM	Exhaust Flow Meter
EUDC	Extra Urban Driving Cycle
FID	Flammenionisationsdetektor
GPS	Global Positioning System
IVT	Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik
KFA	Kennfeldauffüllung
KFA 1	Kennfeldauffüllung auf neuer Strecke, Versuch 1
KFA 2	Kennfeldauffüllung auf neuer Strecke, Versuch 2
NDIR	Nicht Dispersiver Infrarot
NDUV	Nicht Dispersiver Ultraviolett
NEDC	New European Driving Cycle
norm	Bei Leistung auf Nennleistung und bei Drehzahl auf Nenndrehzahl und Leerlauf bezogen
OBD	On Board Diagnose
PEMS	Portable Emission Measurement System
PHEM	Passenger car and Heavy duty Emission Model
ppm	Parts per million
RDE	Real Drive Emission
T90	Zeitpunkt von 90% der endgültigen Lesung
UDC	Urban Driving Cycle
WLTC	Worldwide harmonized Light vehicle Test Cycle
WLTP	Worldwide harmonized Light vehicle Test Procedure

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Vorname Nachname

Graz, am 09. Mai 2016



## Zusammenfassung

Aufgrund der bevorstehenden Neuerung der gesetzlichen Vorschrift für die Emissionsmessung gewinnt die RDE Messung und die damit verbundene Auswertung und Simulation eine große Bedeutung. Um in Zukunft keinen zusätzlichen Rollenprüfstandstest für die Bedatung der Simulationssoftware fahren zu müssen, sollen mit dieser Masterarbeit Optionen erarbeitet werden, sodass RDE Fahrten für die Bedatung herangezogen werden können.

Um die gemessenen Emissionen für eine Bedatung bereitzustellen ist im ersten Schritt die Ermittlung der Leistung ausschlaggebend. Ohne eine genaue Zuordnung der Leistung können keine guten Kennfelder erzeugt werden. Hierfür wird das umgekehrte Prinzip der Verbrauchssimulation, nämlich die Interpolation der Leistung aus einem Verbrauchskennfeld, angewendet. Mit dem ursprünglich verwendeten Shepard- Interpolator wurde in manchen Kennfeldbereichen schlecht interpoliert, weshalb man hierfür einen anderen, den Delaunay- Interpolator, eingebettet hat. Mit den so interpolierten Leistungen können im folgenden Schritt, mit der Simulationssoftware PHEM, die Emissionskennfelder erstellen werden. Für eine Quantifizierung werden mit den erstellten Kennfeldern die gleichen Strecken mit PHEM nachsimuliert und mit den tatsächlich gemessenen Emissionswerten verglichen. Um hierfür die Genauigkeit der Simulation zu steigern wurde noch eine Parametrisierung der Fahrzeugdaten, vor allem für die Bestimmung der realen Luft- und Rollwiderstände, durchgeführt.

Das Ergebnis ist eine gute und funktionierende Bedatung der Simulationssoftware PHEM.

## Abstract

Due to the upcoming new feature of the legal requirement to measure emissions, the RDE measurement and the associated analysis and simulation gain a great importance. Instead of driving additional tests at the chassis dynamometer for the parameterization of the simulation software, this master thesis should develop options so that RDE journeys can be used for parameterization.

In order to provide the measured emissions for parameterization, the evaluation of the power is crucial in the first step. Without an exact correlation of the power no good engine maps can be generated. For this purpose, the reversed principle of the fuel consumption simulation, namely the interpolation of the power out of the fuel consumption map, is applied. With the originally used Shepard interpolator some map areas were badly interpolated which is why therefor the Delaunay interpolator was embedded. In the next step, the so interpolated power is used to create the emission maps with the simulation software PHEM. For a quantification the created maps were simulated at the same journeys with PHEM and compared with the actual measured emission values. To raise the accuracy of the simulation, a parameterization of the vehicle data, especially to determine the air and rolling resistance, was operated.

The result is a good and functioning parameterization of the simulation software PHEM.



# 1 Einleitung

Seit den 1970ern versucht man, die Emissionen bei Kraftfahrzeugen zu limitieren um somit den Ausstoß der schädlichen Komponenten einer Verbrennung für Mensch und Natur zu minimieren. Hierzu wurde 1992 in der EU ein genormter Rollenprüfstandszyklus, der NEDC (Neuer Europäischer Fahrzyklus), Basis der Emissionsmessung. Automobilhersteller können nur Kraftfahrzeug typisieren, wenn diese die gesetzlichen Limits einhalten. Da jedoch der NEDC ein sehr statischer Rollenprüfstandstest ist und die Fahrzeuge hierbei nur in einem kleinen Kennfeldbereich gemessen werden, war man in den letzten Jahren bestrebt, einen etwas dynamischeren Emissionstest einzuführen. Somit sollen realitätsnähere Emissionen bei der Emissionsmessung dargestellt werden können. So wurde das WLTP Testverfahren entwickelt, welches ab 2017 in der EU für Emissionsmessung gültig sein wird. Dieses Testverfahren setzt sich aus einem dynamischeren Rollenprüfstandszyklus, dem WLTC (Worldwide harmonized Light vehicle Test Cycle), und einer RDE (Real Drive Emission) Messung zusammen.

Nicht nur messtechnisch, sondern auch simulatorisch war man versucht diese Emissionen zu bestimmen oder nachzurechnen, weshalb am IVT (Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik) seit 1999 ein Simulationsprogramm entwickelt wird, welches über ein Längsdynamikmodell die Emissionen berechnet. Dieses wurde seit damals bei nationalen und internationalen Projekten weiterentwickelt sodass man heute schon die Emissionen sehr gut simulieren kann. Für die Simulation der jeweiligen Emissionen ist hierfür ein gutes Verbrauchs- und Emissionskennfeld erforderlich, welche bisher aus gemessenen Rollenprüfstandstests ermittelt wurden. Da jedoch in den nächsten Jahren der Gesetzgeber fordert, Emissionstests direkt auf der Straße, also On-Board Messungen bei PKW's durchzuführen, ist man bestrebt, diese in Zukunft als Basis für die Emissionskennfelder heranzuziehen.

Im Zuge dieser Masterarbeit sollen daher Optionen entwickelt und angewendet werden um RDE Messungen für eine Bedatung bereitzustellen.

Hierfür wird nach einem kurzen Überblick über die Theorie der Emissionsmessung die Methodik der Leistungsermittlung und Kennfelderstellung erklärt. Anhand dieser Methodik wird für die Simulation eine Bedarfserhebung an Eingangsdaten anhand bestehender RDE Messungen durchgeführt. Im Anschluss zur Bedarfserhebung wird ein Verbesserungsbedarf abgeleitet, welcher im nachfolgenden Kapitel, dem der RDE Messungen, als Basis für die Messung und Simulation dient. Abschließend wird noch die Parametrisierung der Fahrzeugmodelle erklärt.

Für weitere Untersuchungen wurden sämtliche Analysen und Auswertungen der Versuchsfahrzeuge, welche erstellt aber nicht in der Schriftfassung eingearbeitet wurden, im Anhang als Nachschlagewerk abgebildet.

## 2 Theoretische Grundlagen

Um einen kurzen Einblick in die Thematik Emissionsmessung und ferner in die RDE (Real Drive Emission) Messung zu bekommen, wird in diesem Kapitel auf die Simulation der Emissionen im Programm PHEM und die Messung der Schadstoffe am Prüfstand und direkt am Fahrzeug eingegangen. Anschließend wird noch kurz auf die Überführung der PEMS- (Portable Emission Measurement System) Messdaten in das Simulationsprogramm beschrieben.

Ein Großteil der Definitionen und Erklärungen sind sinngemäß aus den Quellen [11], [6], [7] entnommen worden.

### 2.1 Simulationsmodell PHEM

Das Emissionsmodell PHEM (Passenger Car and Heavy Duty Emission Model) wird seit 1999 am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik (IVT) der TU Graz in nationalen und internationalen Projekten weiterentwickelt.

PHEM berechnet in Sekundenschritten die notwendige Antriebsleistung, die zur Erreichung der durch den Fahrzyklus geforderten Geschwindigkeit und Beschleunigung benötigt wird. Berücksichtigt werden dabei sämtliche Fahrwiderstände inklusive Fahrbahneigung sowie Verluste im Antriebsstrang. Durch ein Schaltmodell wird der jeweilig verwendete Gang berechnet, womit der Betriebspunkt (Leistung  $P_e$  / Drehzahl  $n$ ) der Verbrennungskraftmaschine für jeden Sekundenschritt bestimmt ist. Ein Emissionskennfeld liefert zu jedem Betriebspunkt die Schadstoffemissionen und den Kraftstoffverbrauch. Um die Genauigkeit der Schadstoffemissionssimulation zu erhöhen, werden, je nach Fahrzeugkategorie, auch Dynamikkorrekturfunktionen verwendet und eine detaillierte Berechnung der Abgasnachbehandlungssysteme durchgeführt. Abbildung 2-1 zeigt schematisch die Funktionsweise.

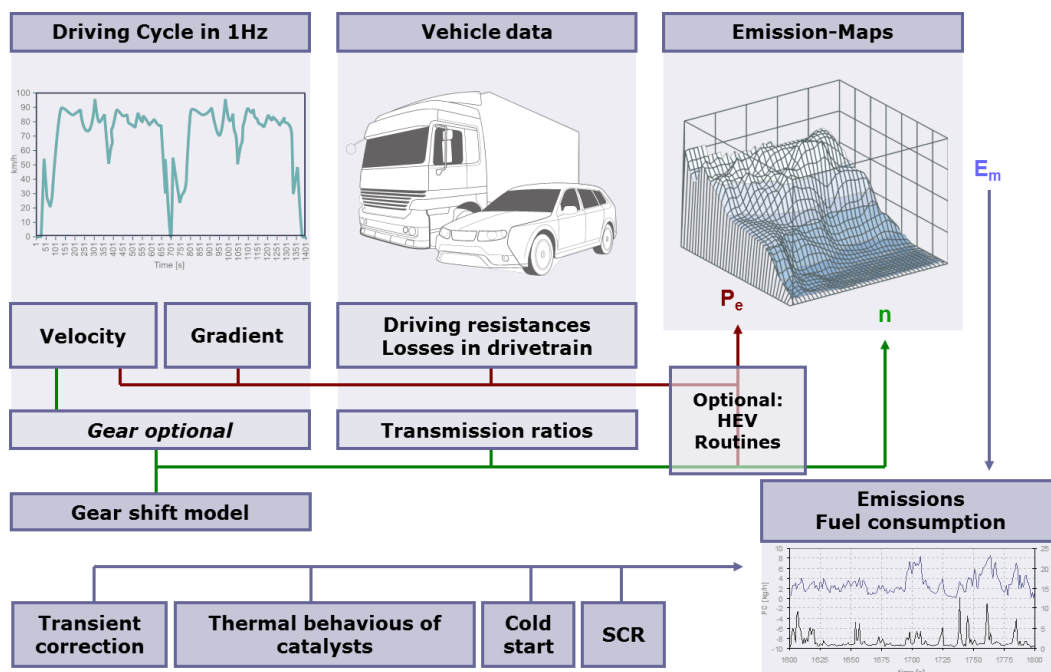


Abbildung 2-1: Funktionsweise von PHEM [11]

Zur Berechnung mittlerer Emissionen bestimmter Fahrzeugklassen ist eine Datenbasis hinterlegt, die Durchschnittsfahrzeuge aufgeteilt nach Fahrzeugklasse, Kraftstoff und EURO-Klasse beinhaltet, z.B.: PKW EURO 4 Diesel. Somit können Berechnungen für ganze Flotten bestehend aus PKW, leichten und schweren Nutzfahrzeugen durchgeführt werden.

Für die Simulation einer Strecke oder für die Auswertung von Messdaten sind für PHEM verschiedene Input Dateien vorzugeben, welche in den nachfolgenden Kapiteln 2.1.1 bis 2.1.4 erläutert werden.

### 2.1.1 Fahrzeugdatei (\*.veh)

Um fahrzeugspezifisch Strecken nachsimulieren zu können benötigt man die genauen Parameter des verwendeten Fahrzeuges. In Abbildung 2-2 ist die Vorlage einer Fahrzeugdatei mit allen erforderlichen Parametern dargestellt.

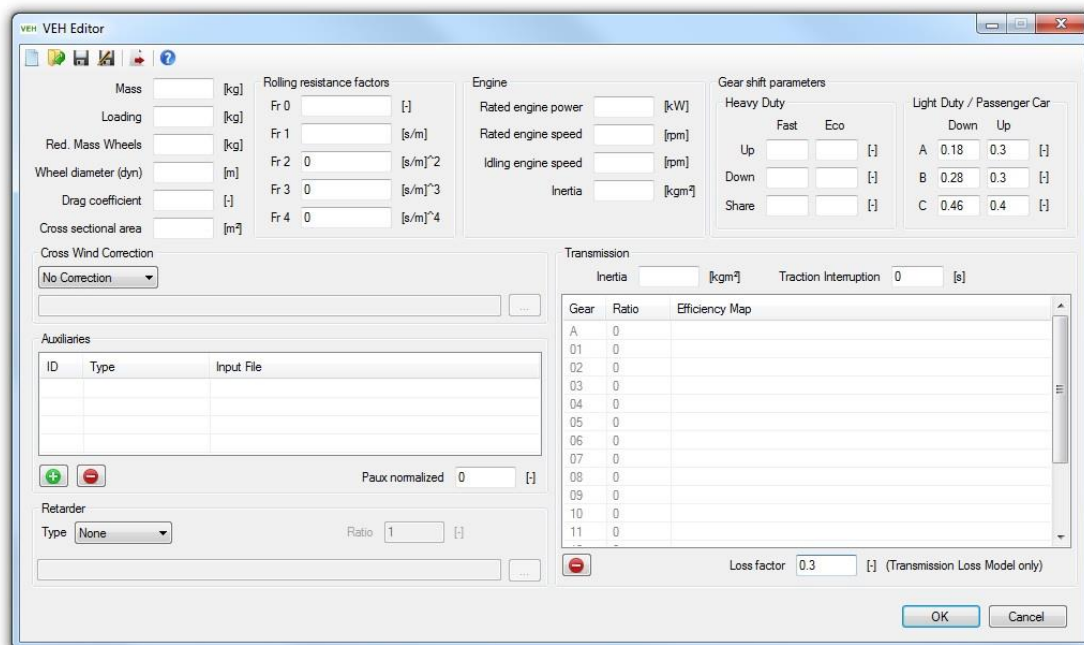


Abbildung 2-2: Vorlage einer \*.veh Fahrzeugdatei [11]

Parameter wie Masse, Reifendurchmesser, Motornennleistung und Motornendrehzahl kann man direkt aus dem Zulassungsschein ablesen. Die der Übersetzungen zumeist noch im Typenschein. Für die anderen Parameter bedarf es jedoch einer kurzen Berechnung oder Verwendung von standardmäßigen Werten.

Die Rollwiderstandskoeffizienten erhält man am genauesten durch Ausführen von Ausrollversuchen welche einer gewissen Norm unterliegen. In Kapitel 5 wird auf die Ermittlung der Rollwiderstände eingegangen. Hier kann man jedoch gleich einmal erwähnen, dass ab dem linearen Widerstandskoeffizient (Fr1) die Koeffizienten 0 gesetzt werden, da jene meist im millionstel Bereich liegen oder kleiner.

Um auch alle Leistungsanforderungen miteinzubeziehen benötigt man die Trägheit des Motors und des Getriebes. Beim PKW kann man diese als Funktion der Motornennleistung gut annähern. Der Verlustfaktor des Getriebes und die der Zugkraftunterbrechung werden mit Standardwerten versehen, wie in der oben angeführten Abbildung 2-2 mit 0,3 für den Verlustfaktor des Getriebes. Für die Zugkraftunterbrechung wird bei diesen Simulationen 0 angenommen.

Der Wert für die Zuladung, welcher für die Gesamtmasse des Fahrzeuges eine große Bedeutung hat, ist der einzige, den man nicht einfach annehmen kann und somit nur per abwägen bekommt.

In den folgenden Gleichungen (2–1) bis (2–6) werden die Berechnungen aller relevanten Parameter dargestellt.

$$m_{\text{Rot}} = m_{\text{Fahrzeug}} \cdot (\Lambda - 1) \quad (2-1)$$

$$Fr_0 = \frac{R_0}{m_{\text{Fahrzeug}} \cdot g} \quad (2-2)$$

$$Fr_1 = \frac{R_1}{m_{\text{Fahrzeug}} \cdot g} \quad (2-3)$$

$$c_W = \frac{2 \cdot R_2}{\rho \cdot A} \quad (2-4)$$

$$I_{\text{Motor}} = 0,0066 \cdot P_{\text{Nenn}} \quad (2-5)$$

$$I_{\text{Getriebe}} = 0,000725 \cdot P_{\text{Nenn}} \quad (2-6)$$

### 2.1.2 Emissionskennfeld (\*.map, \*.mep)

Um aus einem gegebenen Geschwindigkeitsverlauf die dazugehörenden Emissionen interpolieren zu können benötigt man ein Emissionskennfeld. Dieses wird direkt vorgegeben oder auch mit PHEM aus einem gefahrenen Zyklus erstellt. Der prinzipielle Aufbau wird in Abbildung 2-3 schematisch dargestellt.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	v1											
2	c <b>required</b>	<b>required</b>	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
3	n	pe_norm	<FC>	<NOx>	<HC>	<CO>	<PM>	<PN>	<NO>	<MassFlow>	<Lambda>	<Temp>
4	norm	norm	[g/h]norm	[g/h]	[g/h]	[g/h]	[g/h]	[#/h]	[g/h]	[kg/s]	[-]	[°C]
5												
6												
7												
8												

Abbildung 2-3: Vorlage eines \*.mep Emissionskennfeldes [11]

In der zweiten Zeile steht ob ein Parameter erforderlich ist oder nicht, die dritte Zeile beinhaltet die Parameterbezeichnung und die vierte Zeile die dazugehörige Einheit des Parameters.

Sofern manche Parameter nicht vorhanden oder relevant sind kann man ganze Spalten davon löschen, außer es handelt sich um "erforderliche Daten", wie in Zeile 2 in rot eingetragen, diese sind notwendigerweise anzugeben. Da meistens die Messdaten nicht normiert sind, gibt es die Möglichkeit die Leistung in [kW] und die Drehzahl in [U/min] anzugeben. Anstelle von "norm" muss dann die jeweilige Einheit in der vierten Zeile eingesetzt werden.

Die Einheit "norm" bedeutet, dass bei der Motorleistung und beim Kraftstoffverbrauch (P und FC) durch die Motornennleistung des Fahrzeuges dividiert und bei der Drehzahl durch Motornenn- und Leerlaufdrehzahl dividiert wurde. Dadurch bekommt man Werte zwischen 0 und 1, welches für Vergleiche zwischen verschiedenen Fahrzeugen oder Emissionskennfeldern erforderlich ist. Die Berechnung der Normwerte wird in den nachfolgenden Gleichungen (2-7) bis (2-9) dargestellt.

$$P_{\text{Norm}} = \frac{P}{P_{\text{Nenn}}} \quad (2-7)$$

$$FC_{\text{Norm}} = \frac{FC}{P_{\text{Nenn}}} \quad (2-8)$$

$$n_{\text{Norm}} = \frac{n - n_{\text{Leerlauf}}}{n_{\text{Nenn}} - n_{\text{Leerlauf}}} \quad (2-9)$$

### 2.1.3 Volllastkurve (\*.fld)

Die Volllastkurve beschreibt die maximal verfügbare Ausgangsleistung über die Motordrehzahl und auch die Schleppleistung über die Motordrehzahl.

Es benötigt also nur eine Spalte für Drehzahl, eine für die maximal positive Leistung und eine weitere Spalte für die maximal negative Leistung bezogen auf die jeweilige Motordrehzahl.

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben kann dies ebenfalls in den Einheiten ([U/min], [kW]) oder in normierter Art und Weise eingetragen werden, siehe Abbildung 2-4.

	A	B	C	D
1	v1			
2	n	Pe full	Pe drag	
3	norm	norm	norm	
4				
5				
6				

Abbildung 2-4: Vorlage einer \*.fld Volllastkurve [11]

### 2.1.4 Fahrzyklus (\*.dri, \*.mes, \*.npi)

Für eine normale Streckensimulationen ist die Geschwindigkeit der einzige erforderliche Parameter (.dri- oder .mes- Endung). Wenn jedoch nur der reine Motor berechnet wird sind nur die Motordrehzahl und die Motorleistung erforderlich (.npi- Endung).

Es gibt 3 verschiedene Dateierweiterungen für Fahrzyklen wobei ich hier nur die Erweiterung .dri und .npi anführen werde.

- .dri: Fahrzyklus (Geschwindigkeit, Steigung, etc.) für Fahrzeugberechnungen
- .npi: Lastzyklus (Motordrehzahl und Motorleistung) für Motorberechnungen (mit oder ohne Messdaten)

Messdaten werden benötigt wenn

- ein Kennfeld aus einem dynamischen Rollenprüfstandstest, PEMS (Portable Emission Measurement System) oder Motorprüfstand erstellt werden soll oder
- ein Vergleich zwischen simulierten und gemessenen Emissionen durchgeführt werden soll

Die Fahrzyklen werden in einem 1Hz Intervall erwartet. Wenn jedoch eine andere Zeitauflösung vorliegt, so ist diese in eine sekundliche Auflösung überzuführen.

Wie in Kapitel 2.1.2 können hier auch nicht benötigte oder gegebene Spalten als Ganzes gelöscht werden.

In der nachfolgenden Abbildung 2-5 und Abbildung 2-6 werden die 2 verwendeten Dateierweiterungen aufgezeigt.

	A	B	C	D	E	F	G
1	v1						
2	c optional	required	optional	optional	optional	optional	optional
3	<t>	<v>	<grad>	<n>	<Gear>	<Wind>	<Padd>
4	[s]	[km/h]	[%]	[1/min]	[-]	[km/h]	[kW]
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							

Abbildung 2-5: Vorlage eines \*.dri Fahrzyklus für Fahrzeugberechnungen [11]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	v1											
2	c PHEM Driving Cycle Template											
3	c optional	required	required	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional
4	<t>	<n>	<Pe>	<FC>	<NOx>	<HC>	<CO>	<PM>	<PN>	<NO>	<MassFlow>	<Lambda>
5	[s]	norm	norm	[g/h]	[g/h]	[g/h]	[g/h]	[g/h]	[/h]	[g/h]	[kg/s]	[-]
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												

Abbildung 2-6: Vorlage eines \*.npi Fahrzyklus für Motorberechnungen [11]

## 2.2 Emissionsmessung am Prüfstand

Jegliche Verbrennung von Kraftstoffen, welcher Art auch immer, führt zu Produkten der vollständigen als auch der unvollständigen Verbrennung. Produkte der vollständigen Verbrennung sind z.B. CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O und bei der unvollständigen z.B. CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM, und viele mehr. Da einige der Verbrennungsprodukte einen sehr schädlichen und negativen Einfluss auf Mensch und Umwelt haben begann man in Europa ab den 70er Jahren diese Komponenten zu limitieren.

In Tabelle 2-1 sind die seit 1992 zu erfüllenden Grenzwerte laut Gesetzgeber angegeben. Diese Grenzwerte müssen unter einem genormten Prüfverfahren erreicht werden. Ab der Gesetzgebungsstufe Euro 1 ist das Prüfverfahren der NEDC (Neuer Europäischer Fahrzyklus).

Tabelle 2-1: Emissionsgrenzwerte Euro 1 bis 6 [5]

Diesel - Personenkraftwagen (Kategorie M <sub>1</sub> )								
Gesetzgebungsstufe	Einführungsdatum	CO g/km	HC g/km	NMHC g/km	HC+NO <sub>x</sub> g/km	NO <sub>x</sub> g/km	PM g/km	PM #/km
<b>Euro 1</b>	Jul. 1992	2,72	-	-	0,97	-	0,14	-
<b>Euro 2</b>	Jän. 1966	1	-	-	0,7	-	0,08	-
<b>Euro 3</b>	Jän. 2000	0,64	-	-	0,56	0,5	0,05	-
<b>Euro 4</b>	Jän. 2005	0,5	-	-	0,3	0,25	0,025	-
<b>Euro 5</b>	Sep. 2009	0,5	-	-	0,23	0,18	0,005	6E11
<b>Euro 6</b>	Sep. 2014	0,5	-	-	0,17	0,08	0,005	6E11

Um diese Emissionen gültig messen zu können ist ein genormter Rollenprüfstand mit Abgasanlage erforderlich. Am Standort der TU Graz befindet sich eine solche Rollenprüfstandsanlage mit einer CVS (Konstanter Volumenstrom) Abgasmessanlage.

In Abbildung 2-7 sieht man eine prinzipielle Darstellung eines Rollenprüfstandes mit CVS Anlage.



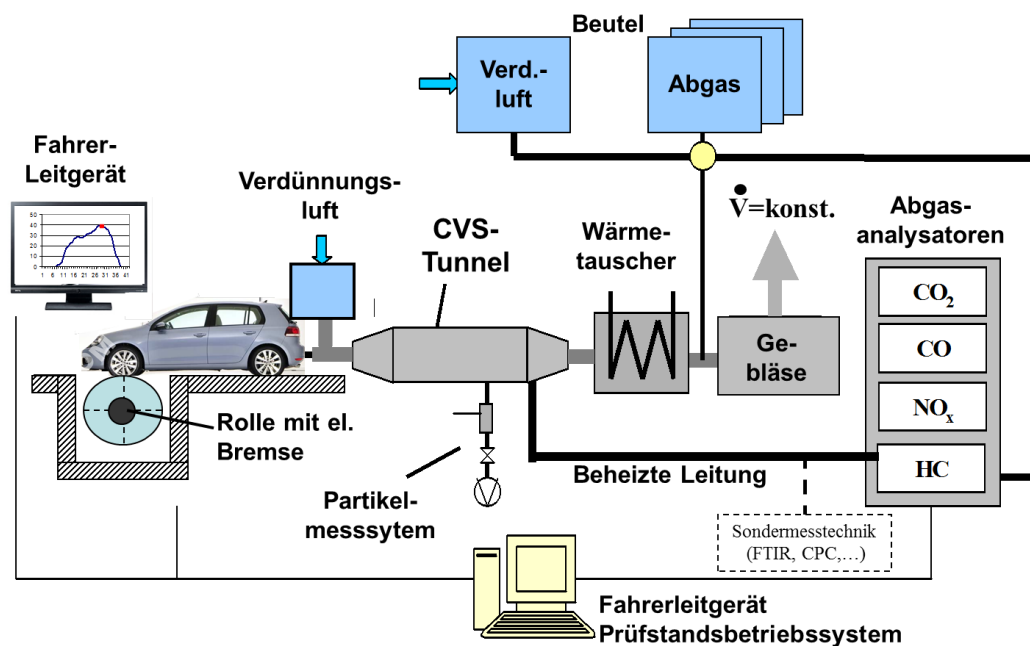


Abbildung 2-7: Rollenprüfstandsanlage [7]

Bei einem Rollenprüfstand wird das Fahrzeug mit der Antriebsachse direkt über eine Rolle oder zwischen 2 Rollen gestellt und der Auspuff an die Abgasmessanlage angeschlossen.

Eine der Rollen wird über einen Elektromotor gesteuert also angetrieben oder gebremst. Ein Rechner steuert den Elektromotor und gibt ihm ständig das notwendige Drehmoment vor, um so zu jedem Zeitpunkt den anfallenden Rollreibungswiderstand, Luftwiderstand und Steigungswiderstand aufzubringen. Zur Simulation der Beschleunigungswiderstände können verschiedene Schwungmassen bei der angetriebenen Rolle eingekuppelt werden. Somit kann die gesamte beschleunigte Fahrzeugmasse wie bei einer normaler Straßenfahrt nachgebildet werden.

Der Elektromotor und die Schwungmassen ermöglichen eine sehr genaue Berücksichtigung jeglicher Widerstände auf dem Rollenprüfstand.

Die vom Auspuff austretenden Emissionen werden nach dem CVS Verfahren gemessen. Hierbei wird das ausgestoßene Abgas des Fahrzeuges mit gereinigter Umgebungsluft soweit verdünnt, dass eine Kondensation des Abgases vermieden wird und von einem Gebläse abgesaugt. Das Gebläse fördert eine konstante Gasmenge welcher kontinuierlich 3 Proben entnommen werden.

**“Probe 1:** Der erste Teilstrom wird über ein Filterplättchen zur gravimetrischen Auswertung geleitet.

**Probe 2:** Dieser Teilstrom wird direkt den Abgasanalysatoren zugeführt welche die  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $HC$  und  $NO_x$  Konzentration messen, und in einem sekundlichen Messschrieb abspeichern.

**Probe 3:** Der dritte Teilstrom wird in einen Abgasbeutel geleitet. Parallel dazu wird ein zweiter Beutel mit Verdünnluft gefüllt. Nach Testende wird der Beutelinhalt den Analysatoren aufgeschaltet und liefert so den Emissionssummenwert über den Testzyklus für die jeweilige Emissionskomponente. Die Analyse des Verdünnungsluftbeutels dient um eine Bereinigung der Messwerte um die Hintergrundkonzentration vornehmen zu können.“ [7]

Wird nun ein gesetzlich vorgeschriebener Testzyklus abfahren, so wird dem Fahrerleitgerät der jeweilige Geschwindigkeitsverlauf inklusive der Schaltvorgänge übertragen. Der Testfahrer muss, sobald er die Messung im Auto startet, den sekundlichen Geschwindigkeitsverlauf in einem engen Toleranzband folgen, ansonsten kann der Test

ungültig sein. Nach der Prüffahrt können gleich direkt die Ergebnisse des Rollentests abgelesen werden.

In den nächsten 2 Unterkapiteln werden kurz die wichtigsten Testzyklen behandelt.

### 2.2.1 NEDC

Seit 1992 wurde im Zuge der Euro1 Gesetzgebung der zu prüfende Fahrzyklus der NEDC (Neuer Europäischer Fahrzyklus), Fahrzyklus siehe Abbildung 2-8.

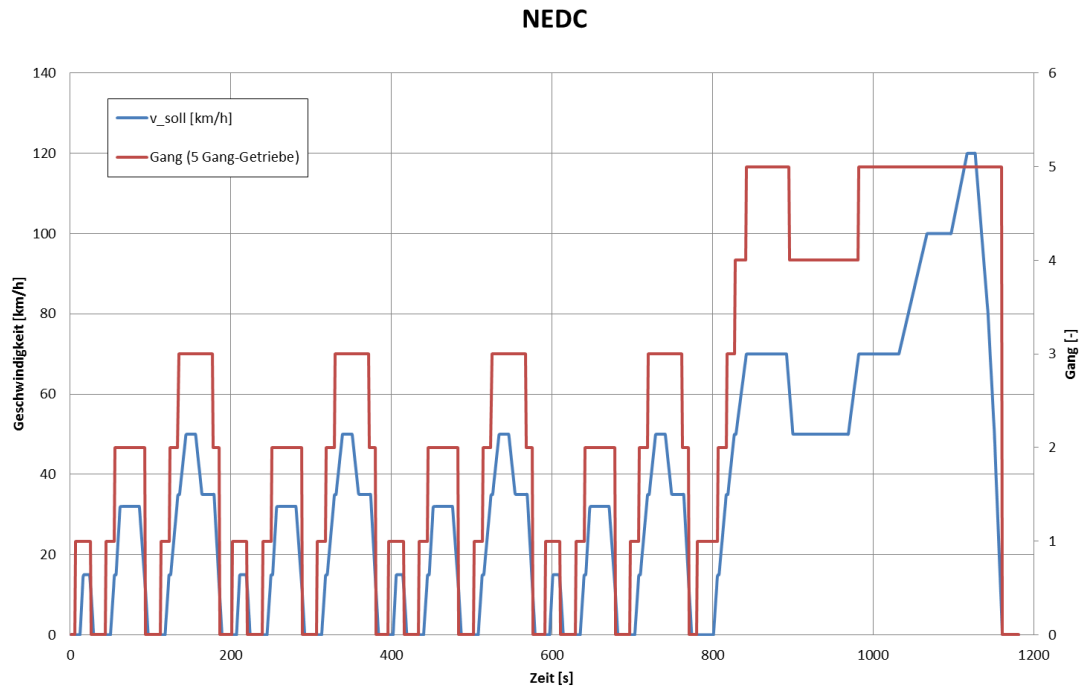


Abbildung 2-8: NEDC - Neuer Europäischer Testzyklus

Der NEDC gliedert sich in 2 Teile, den City- Zyklus und den Überlandzyklus. Der City-Zyklus, oder UDC (Urban Driving Cycle) genannt, dauert die ersten 780 Sekunden und beinhaltet 4 gleiche Stadtfahrzyklen bis 50 km/h. Von 780 bis 1180 Sekunden geht der Überlandzyklus, oder EUDC (Extra Urban Driving Cycle) genannt, welcher sich aus Überland- und Autobahnteil zusammensetzt und bis maximal 120 km/h geht. Gesamt kommt man somit auf ungefähr 11km Strecke und 20 Minuten Fahrzeit. Des Weiteren ist beim NEDC ein fixes Gangmuster vorgegeben, siehe Abbildung 2-8. Hier ist ein 5 Gang Getriebe dargestellt. Hat man ein 6 Gang Getriebe auf dem Rollenprüfstand bleiben alle Schaltzeiten und Gänge gleich, nur bei der Autobahnfahrt wird in den 6ten Gang geschaltet.

In der nachfolgenden Tabelle 2-2 sind ein paar Eckdaten des NEDC abgebildet.

Tabelle 2-2: Eckdaten des NEDC

	Zykluszeit	Standzeitanteil	Zykluslänge	mittlere Geschwindigkeit	Höchstgeschwindigkeit
NEDC	20 min.	24%	11 km	34 km/h	120 km/h

Betrachtet man die oben angeführte Abbildung und Tabelle erkennt man, dass der NEDC nur eine sehr geringe Fahrdynamik besitzt. Durch die kurzen Beschleunigungen und die langen Konstantfahrten bekommt man beim NEDC kein gutes Realemissionsverhalten des Fahrzeuges.

## 2.2.2 WLTC

“Ab dem Jahr 2017 soll es weltweit eine einheitliche Vorgabe zu Zertifizierung von PKWs geben, die die bisherigen Typprüfungen ablöst. Die Prozedur nennt sich WLTP (Worldwide harmonized Light vehicle Test Procedure).

In dieser Prozedur wird neben der Überprüfung der Emissionsgrenzwerte am Rollenprüfstand auch über die Messung der sogenannten RDE (Real Driving Emissions) im realen Fahrbetrieb nachgedacht. Der bisherige NEDC wird durch einen dynamischeren (und daher eventuell realistischeren) Zyklus, dem WLTC (Worldwide harmonized Light vehicle Test Cycle) ersetzt.“ [6]

Der Geschwindigkeitsverlauf des WLTC ist in Abbildung 2-9 dargestellt.

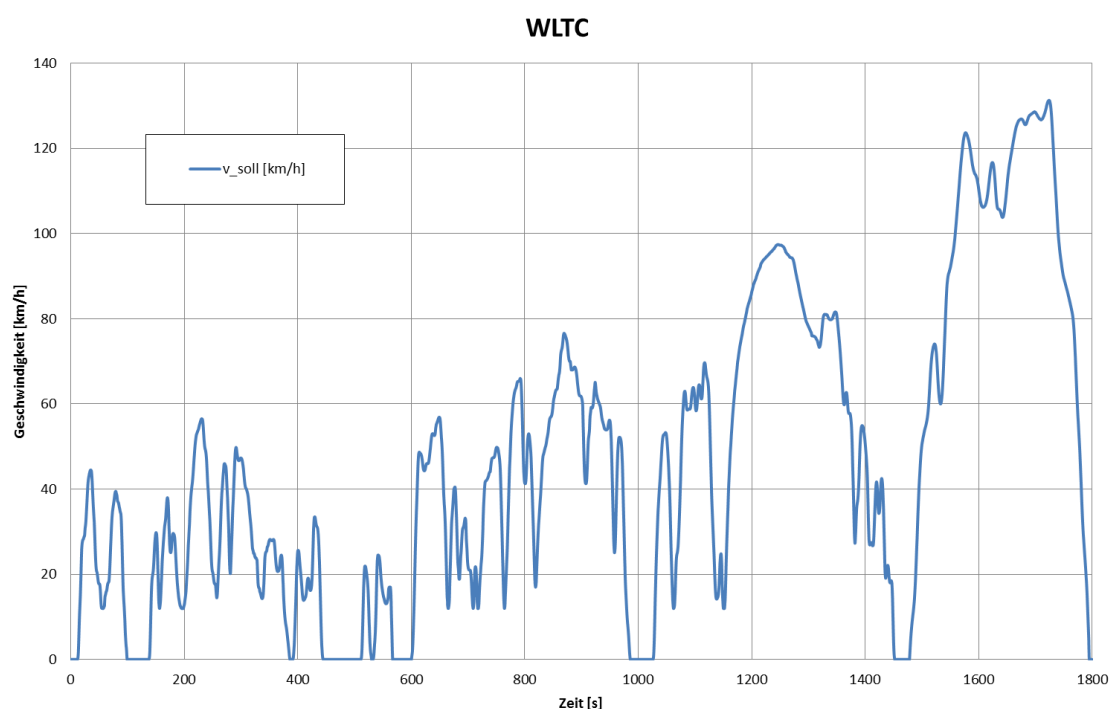


Abbildung 2-9: WLTC - Worldwide Harmonized Light vehicle Test Cycle

Der WLTC ist grundsätzlich in 3 Leistungsklassen unterteilt:

**Klasse 1:**  $\leq 22$  W/kg

**Klasse 2:**  $> 22$  W/kg bis  $\leq 34$  W/kg

**Klasse 3:**  $> 34$  W/kg

Berechnung des Leistungsgewichtes, siehe Gleichung (2–10).

$$LG = \frac{P_{\text{Nenn}}}{m_{\text{Leer}}} \quad (2-10)$$

Je nach Leistungsklasse gibt es unterschiedliche Fahrzyklen die absolviert gehören. Für diese Masterarbeit beziehe ich mich aber nur auf die Klasse 3, in welche die getesteten Kraftfahrzeuge fallen. In der dritten Klasse wird eine Strecke von ca. 23.25km in rund 30 Minuten gefahren. Unterteilt ist der Zyklus in 4 verschiedene Geschwindigkeitsbereiche, Low (0-600), Medium (600–1000), High (1000-1475) und Extra High (1475-1800). Ein fixes Gangmuster ist für diesen Prüfzyklus nicht vorhanden. Dieses muss im Vorhinein für jedes Fahrzeug separat über ein eigenes Berechnungstool berechnet werden.

In der nachfolgenden Tabelle 2-3 werden ein paar Eckdaten abgebildet.

Tabelle 2-3: Eckdaten WLTC

	Zykluszeit	Standzeitanteil	Zykluslänge	mittlere Geschwindigkeit	Höchstgeschwindigkeit
WLTC	30 min.	13%	23.25 km	46.6 km/h	131 km/h

Betrachtet man die oben angeführte Abbildung und die Tabelle erkennt man sofort, dass es sich um einen sehr dynamischen Zyklus handelt. Die individuelle Gangberechnung und der dynamische Fahrzyklus würden ein realistischeres Emissionsverhalten als der NEDC wiedergeben.

### 2.3 Emissionsmessung direkt am PKW (RDE)

*“Zusätzlich zur Überprüfung der Emissionsgrenzwerte im WLTC am Rollenprüfstand werden in Zukunft auch die Emissionen des Fahrzeuges im realen Betrieb gemessen. Dazu werden sogenannte PEMS- Systeme (Portable Emission Measurement Systems) eingesetzt. Ein PEMS-System besteht im Wesentlichen aus den Messgeräten, die zur Erfassung der gasförmigen Abgaskomponenten (Kohlenmonoxid CO, Kohlendioxid CO<sub>2</sub>, Stickoxide NO<sub>x</sub>, Kohlenwasserstoffe HC's) dienen.“ [6]*

Um auf die Massenemissionen der einzelnen Komponenten rechnen zu können wird zusätzlich zu den Abgaskomponenten mittels eines EFM (Exhaust Flow Meters) der Massenstrom gemessen. Somit kommt man von den gemessenen ppm (parts per million) auf die jeweilige Massenemission in der Einheit Masse/Zeit (z.B. g/s). Eine genauere Beschreibung des PEMS Messgerätes folgt in Kapitel 2.3.2.

In Kapitel 2.3.1 und 2.3.2 wird nun kurz auf den RDE Test und die PEMS- Messgeräte eingegangen.

#### 2.3.1 RDE

Grundsätzlich soll bei diesem Test das Emissionsverhalten unter realen Fahrbedingungen erfasst werden. Da dieser Prüfzyklus direkt auf der Straße gemessen wird, also nicht in einem geschlossenen Raum wie bei den Rollentests, ist dieser stärker von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig.

Hier seien kurz ein paar Einflussfaktoren angeführt:

- Umgebungsbedingungen (Temperatur, Druck,..)
- Fahrbedingungen (hohes oder niedriges Verkehrsaufkommen, Fahrbahnneigung,..)
- Fahrzeugbedingungen (Masse des Fahrzeuges, Rollreibungs- und Luftwiderstand,..)

Zu diesen vielzähligen Einflussfaktoren kommt hinzu, dass der gesamte RDE Test einer Norm unterliegt, in welcher er durchgeführt werden muss, um gültig zu sein. In den nachfolgenden Aufzählungen werde ich kurz ein paar Richtlinien der Norm erwähnen, für eine genauere Betrachtung verweise ich auch die Norm selbst: [4]

#### Voraussetzungen am Fahrzeug

- Das PEMS- Messgerät muss eine eigene Spannungsversorgung besitzen.
- Nicht nur das PEMS, sondern auch alle anderen Sensoren und Nebenaggregate für die Messungen, müssen unabhängig vom Fahrzeug angetrieben werden.
- Für eine Typgenehmigung muss der Abgasmassenstrom durch ein vom Fahrzeug unabhängiges Messgerät gemessen werden. ECU- (Engine Control Unit) Daten des Fahrzeuges dürfen hierfür nicht verwendet werden.

### Voraussetzungen an der Strecke

- Streckenaufteilung in Geschwindigkeitsstufen: Stadt bis 60 km/h, Land von 60 bis 90 km/h und Autobahn über 90 km/h
- Fahrt soll ungefähr 34% Stadt-, 33% Land- und 33% Autobahn-Anteil an der Gesamtstrecke haben. Ungefähr bedeutet  $\pm 10\%$  im Bereich um den festgelegten Prozentsatz. Der Stadtanteil darf jedoch nie geringer als 29% der Gesamtstrecke betragen.
- Die mittlere Geschwindigkeit im Stadtteil soll zwischen 15 und 30 km/h liegen. Stopp- Perioden, welche als kleiner 1 km/h definiert sind, müssen vom Stadtteil mindestens 10% ausmachen.

### Randbedingungen (Umgebung, Nebenaggregate,..)

- Die RDE Fahrt sollte unter bestimmten Umgebungsbedingungen ausgeführt werden, welche unterhalb festgehalten werden. *“Um ‘erweiterte‘ Umgebungsbedingungen handelt es sich, wenn mindestens die auf die Temperatur oder die Höhenlage bezogenen Bedingungen erweitert sind.“* [4]
- Gemäßigte Temperaturbedingungen: Liegt die Temperatur zwischen 0°C und 30°C.
- Erweiterte Temperaturbedingungen: Befindet sich die Temperatur zwischen -7°C und 0°C oder 30 und 35°C so ist die Temperatur “erweitert“.
- Die Höhenlage- Bedingungen verhalten sich ähnlich: Gemäßigte Höhenlage geht von Meereshöhe bis 700 m und erweiterte Höhenlage von 700 bis 1300 m.
- Nebenaggregate, wie z.B. Klimaanlage, sollen vom Verbraucher auf eine Art betrieben werden, wie es unter normalen Fahrbedingungen üblich ist.

*“Grundsätzlich können die Emissionsgrenzwerte aus den RDE Fahrten mit den Grenzwerten aus der EURO 6 Gesetzgebung verglichen werden.“* [6] Da jedoch bei RDE Fahrten mehrere Messungenauigkeiten vorliegen wird ein sogenannter CF- Faktor (Conformity Faktor) definiert. Somit wird sich der Emissionsgrenzwert für die RDE Messung aus der Multiplikation von EURO 6 Grenzwert und CF ergeben. Festgelegt wurde für NO<sub>x</sub> ein CF-Faktor von 2,1 ab 2019 und ab 2021 ein CF von 1,5 (Stand: Literatur [4], Release- Datum 20.4.2016). Dieser wird in Zusammenarbeit von Automobilhersteller und EU Kommission erarbeitet.

In Gleichung (2–11) wird die Berechnung des zukünftigen NTE (Not- To- Exceed) Schwellwertes wiedergegeben.

$$NTE_{\text{Schadstoff}} = CF_{\text{Schadstoff}} \cdot EURO\ 6_{\text{Limit}} \quad (2-11)$$

### 2.3.2 PEMS

Für die RDE Messung von gasförmigen Emissionen (CO, HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, etc.) und Ruß wurde ein spezielles On- Board Messgerät entwickelt. Da es energieautark betrieben werden muss, ist auch ein transportabler Stromgenerator notwendig.

In den nachfolgenden 2 Unterpunkten werde ich kurz auf die 2 verschiedenen Messsysteme eingehen, welche momentan an der TU Graz zur Verfügung stehen.

### 2.3.2.1 Semtech

Die folgende Abbildung 2-10 zeigt das Messgerät Semtech der Firma Sensors, mit welchem man gasförmige Emissionen messen kann. Für den ersten Teil meiner Arbeit wurde ein solches Messgerät für die Erfassung der RDE Daten verwendet.



Abbildung 2-10: Semtech DS - Mobiles Emissionsgerät [14]

Die Probenentnahme erfolgt mit einer beheizten Entnahmeleitung. Diese fördert einen Volumenstrom von ungefähr 8 Liter pro Minute zu den jeweiligen Analysatoren, welche mit einer Aufzeichnungsrate von 1Hz arbeiten. Die Ausgabe der Analysatoren erfolgt in ppm. Um auf einen sekundlichen Emissionswert (z.B. g/s) zu kommen, wird ein zusätzliches Gerät (EFM) verbaut, welches den Massenstrom misst. [6]

In den folgenden Punkten werde ich kurz auf die physikalischen Grundlagen der Emissionsmessung in den Analysatoren eingehen. Die Beschreibung ist inhaltlich an Quelle [6] gehalten.

- **NDIR** (Nichtdispersiver Infrarot Analysator)

Diese Analysatoren werden verwendet um CO<sub>2</sub> und CO Konzentrationen zu messen.

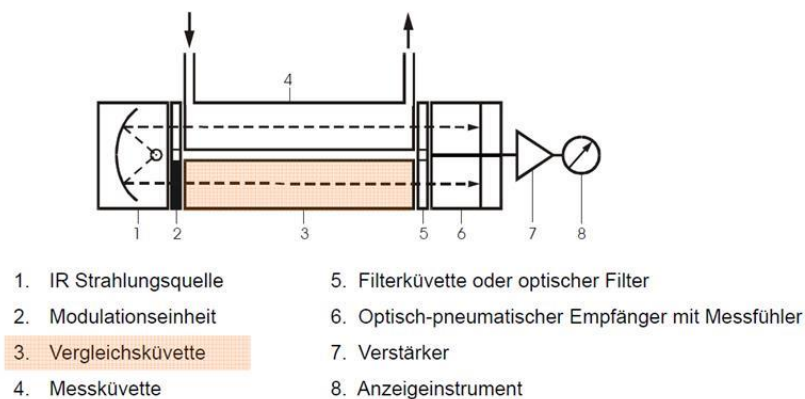


Abbildung 2-11: NDIR Analysator [6]

Der NDIR besteht grundsätzlich aus einer Quelle für die Infrarotstrahlung, einer Vergleichs- und Messküvette, einem Infrarot Wellenfilter und einem Infrarot Detektor. Das Licht der Infrarot- Quelle durchstrahlt abwechselnd die Mess- und die Vergleichsküvette. Am Ende der Küvette befindet sich ein Filter, welcher nur ein bestimmtes Spektrum der Strahlung hindurchlässt. Dessen Frequenz ist so ausgelegt, sodass die Moleküle des zu untersuchenden Gases die Strahlung effektiv absorbieren. Die Wellenlänge sollte so ausgelegt sein, dass nur das zu untersuchende Gas die Strahlung absorbiert.

In der Vergleichsküvette befindet sich ein Referenzgas, welches die Infrarotstrahlung nicht absorbiert. Die Strahlen der Mess- und Referenzküvette treffen nach dem Filter auf jeweils einen Infrarot Sensor welche in abgeschlossene Kammern liegen. Diese beiden Kammern sind durch eine Metallmembran in 2 gleich große Volumen getrennt. Die unterschiedlich stark ausgeprägten Absorptionen in den jeweiligen Küvetten haben eine Druck- und Temperaturdifferenz zur Folge, welche die Metallmembran periodisch durchbiegt.

Die Metallmembran ist Teil eines Kondensators, weshalb sich die periodischen Schwankungen in einer ständigen Kapazitätsänderung auswirken. Diese Kapazitätsänderung wird durch eine elektrische Schaltung mit Widerstand und Gleichspannungsquelle über den Spannungsabfall am Widerstand ausgewertet. Der Spannungsabfall gibt somit die Konzentration des zu untersuchenden Gases an.

- **NDUV** (Nichtdispersiver Ultraviolett Analysator)

Zum Messen von Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) werden NDUV Analysatoren verwendet. Diese unterscheiden sich zum NDIR im Wesentlichen nur durch die verwendete Strahlung. Anstelle der Infrarot Strahlung wird hier eine ultraviolette Strahlung eingesetzt.

- **FID** (Flammenionisationsdetektor Analysator)

Für die Messung von unverbrannten Kohlenwasserstoffen (HC) verwendet man einen FID. Bei diesem Messverfahren wird einer reinen Wasserstoffflamme das Abgas zugeleitet. Die Kohlenwasserstoffe verbrennen in der Flamme und erzeugen einen erhöhten Ionenstrom zwischen 2 Elektroden. Dieser Strom kann als Maß für den Gehalt an Kohlenwasserstoffen verwendet werden.

- **AVL – Micro Soot Sensor**

Für eine Messung der Ruß Emissionen wird ein Micro Soot Sensor benutzt. Dieser Sensor basiert auf dem photoakustischen Messprinzip. Eine Probe wird aus dem Abgas entnommen und mit einem modulierten Laserstrahl bestrahlt. Die Rußpartikel in der Probe absorbieren den Laserstrahl weshalb es durch die zyklische Bestrahlung einerseits zu einer Erwärmung, und andererseits zu einer Abkühlung der Rußpartikel kommt. Aus der periodischen Rußerwärmung resultiert eine Ausdehnung und Kontraktion des Messgases. Diese Gasschwingungen erzeugen eine Schallwelle, welche mit einem Mikrofon detektiert werden kann. Das Signal wird proportional der Konzentration in der Probe größer oder kleiner.

### 2.3.2.2 M.O.V.E.

Abbildung 2-12 zeigt das PEMS Messgerät M.O.V.E der Firma AVL eingebaut in einem Versuchsfahrzeug. Seit November 2015 ist dieses Messgerät Teil der Messeinrichtung am IVT Graz. Für meinen Zweiten Teil der Masterarbeit, dem RDE Messen von Emissionen am Fahrzeug, wurde dieses Messgerät verwendet.

Aufbau und Einbau des Messgerätes:

Das Messgerät ist im Kofferraum platziert. Zusätzlich befindet sich dort auch noch ein kleiner Computer, welcher sämtliche Messdaten aufzeichnet. Für die Ermittlung der Lage und der Umgebungstemperaturen ist ein GPS Sensor und ein Temperatursensor am Dach des Versuchsfahrzeuges fixiert. Für die Dauer von ungefähr 2 Messfahrten befinden sich 2 Batterien im Gerät, um so alle notwendigen Systeme mit Strom zu versorgen. In Abbildung 2-12 erkennt man auch noch die beheizte Entnahmeleitung und den Einbau des EFM, also dem der Auswerteeinheit und die der Messstelle selbst.

Bis auf den FID, zum Bestimmen der HC Emissionen, beinhaltet dieses System alle Weiteren Analysatoren gleich wie das System Semtech.

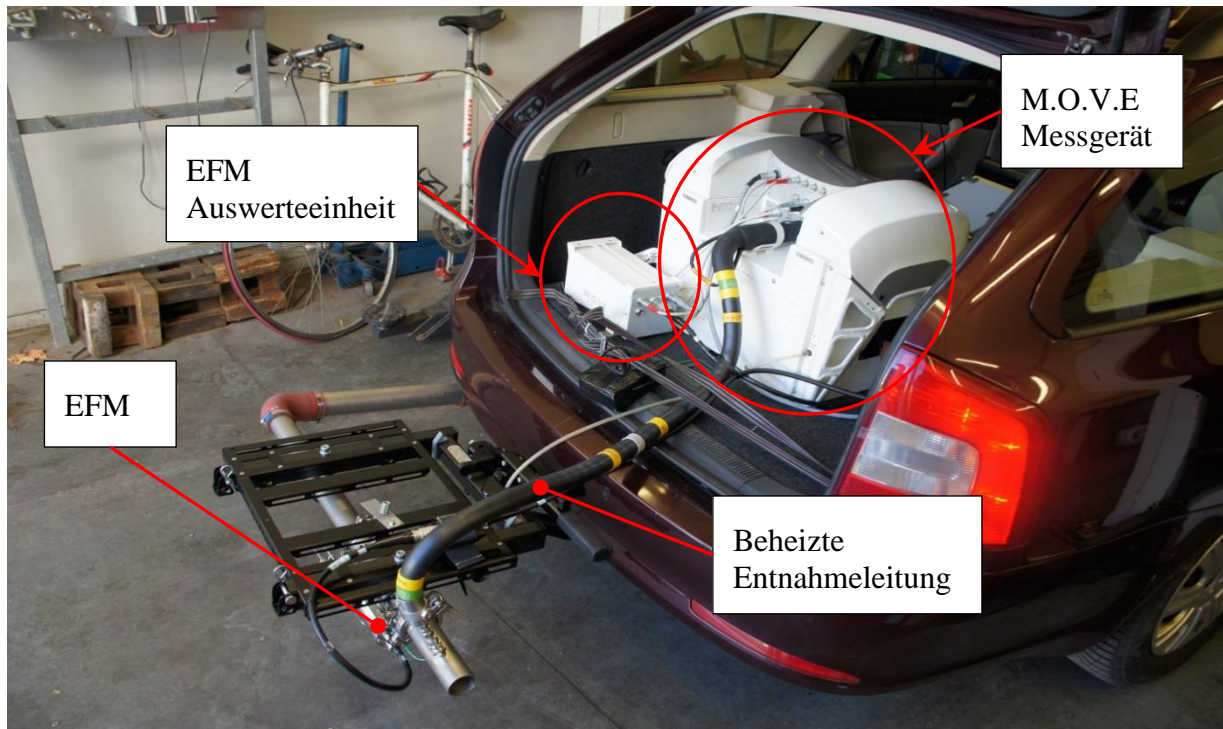


Abbildung 2-12: M.O.V.E eingebaut in zweiten Versuchsfahrzeug

## 2.4 RDE Daten konvertieren

Für die Arbeit ist es nun notwendig, die RDE- Daten in das Programm PHEM einzubinden um Kennfelder erzeugen oder Strecken nachrechnen zu können. Um dies zu ermöglichen wird in diesem Kapitel die dahinterliegende Methodik näher gebracht.

Grundsätzlich können viele Parameter vom Fahrzeug oder den Messgeräten abgenommen werden. Die wichtigsten Eingangsdaten für die Simulation sind jedoch (jeder Punkt kennzeichnet ein einzelnes Messgerät/System):

- OBD: Geschwindigkeit und Motordrehzahl
- GPS: Geschwindigkeit und Höhenlage
- PEMS- Messgerät: Emissionskomponenten wie CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>,..
- EFM: Emissionsmassenstrom

Um auf ein richtiges Kennfeld oder eine richtige Leistung zu kommen, ist es vorerst schon mal erforderlich, die Messdaten auf eine gemeinsame Zeitbasis zu bringen. Obwohl alle Messgeräte im 1Hz Bereich arbeiten, heißt, es gibt von allen Parametern sekundlich einen Wert, ist die zeitliche Zuordnung zwischen den einzelnen Messgeräten nicht gleich. So sind z.B. das GPS- System und das OBD- System ungefähr um 1-2 Sekunden zeitverschoben.

Diese Verschiebungen sind erforderlich, da ansonsten die Parameter zueinander falsche Tendenzen zeigen und somit keine gute Beurteilung der gemessenen Daten erfolgen kann. Im schlimmsten Fall zeigt der Verlauf der Drehzahl eine Beschleunigung der Fahrt an und gleichzeitig erkennt man aber ein Absenken der CO<sub>2</sub> Emissionen, was natürlich nicht möglich sein kann.

Als Zeitbasis wird im weiteren Verlauf die des OBD genommen. Die Emissionen, die Massenströme und die GPS Daten werden, wie in Kapitel 2.4.1, zeitlich auf das OBD verschoben.



### 2.4.1 Verschiebung der Messdaten

Da es teilweise vorkommt, dass Messgeräte ausfallen, kontrolliert man zuerst alle Parameterverläufe. Sind sie fehlerhaft, so muss überprüft werden, ob diese Messdaten dann überhaupt noch die Norm erfüllen können. Ansonsten kann normal fortgeschritten werden.

Typische Fehler die auftreten können

- **Tunnelfahrt:** GPS Signal fällt aus. OBD Werte können für den Ausfall übernommen werden.
- **PEMS:** Messsystem hat ein Problem und zeichnet eine Zeit lang keine Werte auf. Testfahrt deswegen ungültig.
- **Fahrzeug mit DPF:** Regeneriert das Auto bei der Testfahrt, so ist diese ungültig.

Ablauf der Verschiebung:

1. **GPS auf OBD:** Das GPS Signal braucht ungefähr 1 bis 2 Sekunden länger bis es den gleichen Geschwindigkeitswert liefert. Für die Verschiebung werden beide Geschwindigkeitsverläufe angeglichen sodass die steigenden und fallenden Flanken übereinstimmen. Diese Zeitanpassung ist erforderlich, da für eine gültige Messung das GPS Geschwindigkeitssignal verwendet werden muss.
2. **EFM auf PEMS:** Um von den gemessenen Emissionskonzentrationen der Analysatoren auf den Emissionsmassenstrom in g/s zu kommen, benötigt man die richtige Zuordnung zum Massenstrom gemessen durch das EFM. Diese Zeitverschiebung wird mittels des Auswerteprogramms Concerto der Firma AVL gemacht. Hierbei werden die steigenden und sinkenden Flanken der gemessenen Emissionen und die des Massenstromes werden hierbei so gerichtet, dass sie über den ganzen Verlauf gut zueinander passen. Das PEMS- System korrigiert somit die Laufzeit von der Entnahmestelle bis hin zum jeweiligen Analysator.

Besser wäre jedoch, die Laufzeit vom Einlass der Entnahmesonde bis T90 (Zeitpunkt von 90% der endgültigen Lesung) der Analysatoren zu messen. Wegen der konstanten Fördermenge von den Analysatoren sollte die Zeit konstant sein. Diese so verschobenen Konzentrationen können dann mittels des Massenstromes des EFM in Massenemissionen umgerechnet werden. Konzentrationen und Massenstrom müssen hierbei nicht die gleichen Tendenzen haben.

3. **Emissionsmassenstrom auf OBD:** Die einzige Verschiebung die nun noch ausgeglichen gehört ist jene der Laufzeit der Emissionen von Motor bis Entnahmestelle des PEMS. Diese Laufzeit ist jedoch nicht immer gleich, weshalb wir einen mittleren Wert annehmen müssen um nicht gänzlich falsch zu liegen. Im Leerlauf betragen die Gaslaufzeiten von 2 bis 4 Sekunden, im Volllastbetrieb ungefähr 1 Sekunde. Hierbei sei zu erwähnen, dass sich momentan am IVT eine variable Zeitverschiebung in der Versuchsphase befindet, welche die Leerlaufströme mehr und die Volllastströme weniger zeitverschiebt, um so in jedem Betriebspunkt genauere Emissionskomponenten zu bekommen.

Sind alle Verschiebungen erfolgt, so können alle erforderlichen Parameter in einen Fahrzyklus transformiert werden. Aufbau und Erklärung der möglichen Fahrzyklen befinden sich in Kapitel 2.1.4.

In unserem Fall wird ein Fahrzyklus mit der Endung \*.npi für eine Motorberechnung benötigt. Im Gegensatz zu der Vorlage der Fahrzyklusvorlage (\*.npi) aus Kapitel 2.1.4 werden für die Leistungs- und Kennfeldberechnung mit der neuen PHEM- Version 11.7.6 andere Parameter benötigt, siehe Abbildung 2-13.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	v1											
2	c PHEM Driving Cycle Template											
3	c optional	required	required	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	optional	
4	<t>	<n>	<CO2>	<NOx>	<HC>	<CO>	<PM>	<PN>	<NO>	<MassFlow>	<Lambda>	
5	[s]	norm	[g/h]	[g/h]	[g/h]	[g/h]	[g/h]	[#/h]	[g/h]	[kg/s]	[-]	
6												
7												
8												
9												

Abbildung 2-13: Vorlage eines Fahrzyklus \*.npi in PHEM Version 11.7.6

Im nächsten Schritt können nun die Leistungen und Kennfelder mittels einbinden in die Simulationssoftware PHEM ermittelt werden.

### 2.4.2 Leistung berechnen

Unter den Messdaten befinden sich keine Leistungswerte, weshalb wir zuerst diese noch bestimmen müssen.

Normalerweise werden aus einem Motorkennfeld Verbrauch oder andere Emissionen interpoliert. Da bei den RDE Fahrten genau das Gegenteil vorliegt, also Emissionen und Drehzahl, so geht man den umgekehrten Weg und interpoliert aus einem Basis-Verbrauchskennfeld mittels CO<sub>2</sub> und Drehzahl die Leistung.

Um dies zu bewerkstelligen bedarf es eines Basis- Verbrauchskennfeldes, in welchem Drehzahl, Leistung und Verbrauch eingetragen sind. Dieses Kennfeld wird über ein schon bereits erfolgtes abgeschlossenes Projekt ermittelt ([13]). Hierbei wird ausgehend von einem Basis- Verbrauchskennfeld, welches direkt am Motorprüfstand an stationären Punkten vermessen wurde, mittels Bewertung von Motor- und Fahrzeugtechnologien ein neues Basis-Verbrauchskennfeld errechnet. Da die Motor- und Fahrzeugtechnologien aller Versuchsfahrzeuge ähnlich sind, braucht für die gesamte Masterarbeit nur ein Kennfeld erstellt werden. Für die jeweiligen Versuchsfahrzeuge muss das Kennfeld dann nur mehr nach den Fahrzeugdaten richtig entnormiert werden. Basis- Verbrauchskennfeld siehe Abbildung 2-14.

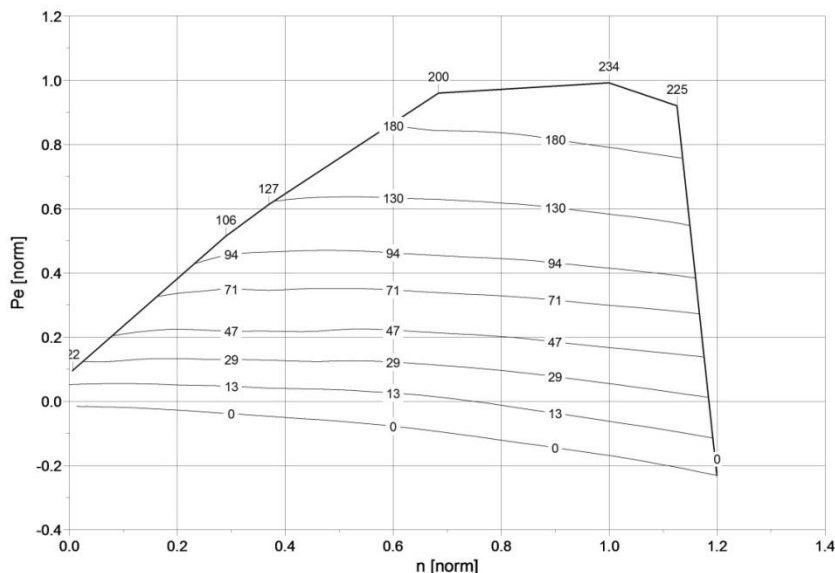


Abbildung 2-14: Basis- Verbrauchskennfeld [13]

Das Basis- Verbrauchskennfeld ist normiert aufgetragen um es so auf verschiedenste Leistungsklassen leicht umrechnen zu können. Die Isolinien im Feld sind Linien konstanten Verbrauches (FC) in der Einheit “(g/h) normiert“. Verbrauch kann ganz einfach über eine Kohlenstoffbilanz in CO<sub>2</sub> (g/h) umgerechnet werden, siehe Gleichung (2–12).

$$CO_2 = 3.153 \cdot FC \cdot P_{\text{Nenn}} \quad (2-12)$$

In der nachfolgenden Abbildung 2-15 wird der Vorgang der Leistungsinterpolation schematisch dargestellt.

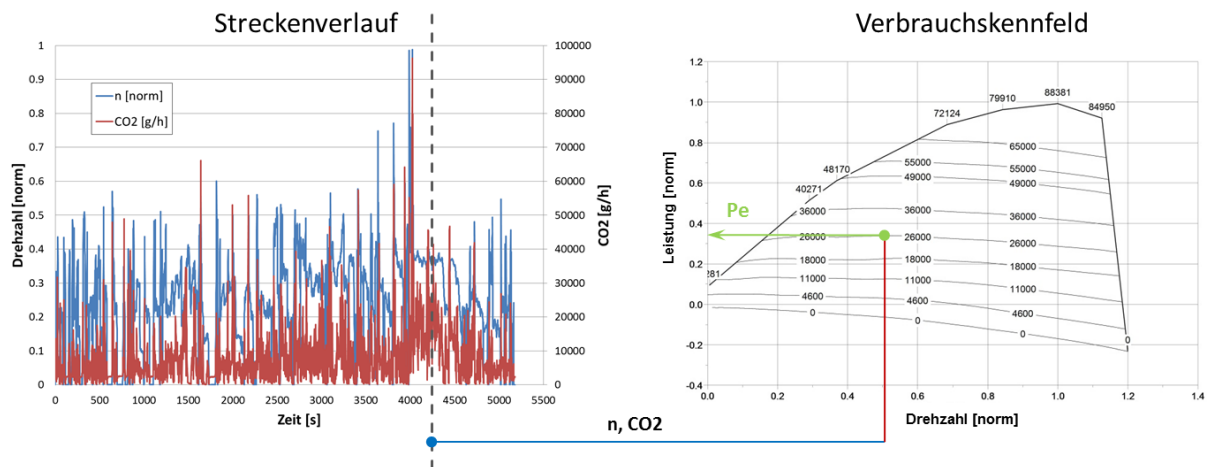


Abbildung 2-15: schematischer Vorgang der Leistungsinterpolation

Dieser Vorgang wird für jeden einzelnen Sekundenschritt im Fahrzyklus wiederholt.

Um dies nicht per Hand erledigen zu müssen ist dies in dem Programm PHEM automatisiert. Als weitere Vorgabe zum Fahrzyklus werden eine Fahrzeugdatei, eine Vollastkurve und ein Basis- Verbrauchskennfeld benötigt.

Als nächstes kann nun aus den Messdaten ein Motor- Emissionskennfeld erstellt werden.

### 2.4.3 Kennfeld erstellen

Für weitere Berechnungen und Analysen werden im folgenden Schritt die sekundlichen Werte in ein Motorkennfeld eingefügt und anschließend Mittelwerte an Stützstellen ausgerechnet.

Um sekundliche Messungenauigkeiten auszugleichen wird bei Leistung, Drehzahl und Emissionen ein 3 Sekunden- Mittelwert gebildet. Des Weiteren werden die Leistungswerte, welche über der Vollastkurve liegen, abgeschnitten und direkt auf die Vollastkurve gelegt. Diese Methoden sollen helfen, um alle möglichen Ungenauigkeiten zu glätten und zu berücksichtigen.

Diese geglätteten Werte werden nun in ein Emissionskennfeld überführt. Im folgenden Schritt werden an ausgewählten oder festgelegten Stützstellen des Kennfeldes die Werte aller Parameter berechnet. Dies erfolgt im Programm PHEM wie folgt. Ein Algorithmus erzeugt rund um eine betrachtete Stützstelle des Motorkennfeldes ein Rechteck. Beinhaltet dieses Rechteck mehr als oder gleich 2 Messwerte, so bildet er aus allen beinhalteten Messwerten einen mit dem Quadrat der Abstände gewichteten Mittelwert (jeweils nur vom gleichen Parameter). Da dieser Mittelwert nie exakt auf der Stützstelle liegt, kann dieser über eine Leistungskorrektur auf die Stützstelle hin bezogen werden. Befinden sich keine 2 Messwerte in dem betrachteten Rechteck, so wird das Rechteck mit einem Faktor vergrößert und danach wieder betrachtet ob sich mindestens 2 Werte darin befinden. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt bis sich mindestens 2 Werte im Bereich befinden. Gekennzeichnet werden diese Stellen indem ein Parameter Extrapoliert den Wert "1" bekommt. Umso größer das Rechteck gemacht wird desto weniger beinhalten sich tatsächliche Messergebnisse in der Nähe der Stützstelle und somit wird das direkte Fahrverhalten an dieser Stützstelle nicht richtig wiedergegeben.

Abbildung 2-16 zeigt eine schematische Darstellung der Einordnung der Emissionsdaten in ein Kennfeld.

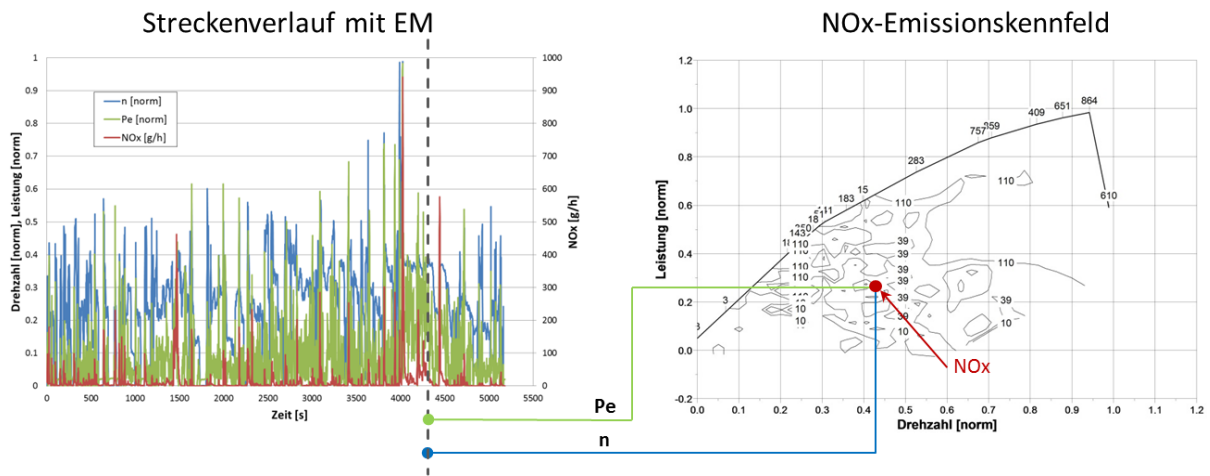


Abbildung 2-16: schematische Darstellung der Kennfelderstellung

Die so erhaltenen Kennfelder können nun für weitere Betrachtungen herangezogen werden.

### 3 Bedarfserhebung an Eingangsdaten für die Simulation

Ausgehend von einer Analyse bestehender RDE Testzyklen werden in diesem Kapitel mögliche Verbesserungen erarbeitet. Hierbei wird vorerst das Versuchsfahrzeug beschrieben bevor es zur Analyse verschiedener Testzyklen kommt. Nach der Analyse wird mit einer kurzen Auswertung das ganze nochmals untersucht und bewertet und im Anschluss zusammengefasst. Am Schluss werden noch die Verbesserungspotenziale aufgezeigt.

Da der Vorgang für die Analyse und die Auswertung der verschiedenen Strecken gleich verläuft, werde ich hier nur eine Strecke exemplarisch beschreiben und die weiteren im Anhang, siehe Kapitel 8.1, anführen.

Kurze Erklärung aller Teststrecken/Zyklen:

- Köflach: Strecke mit eher wenigen Steigungen Richtung Köflach. Wird in der nachfolgenden Analyse näher beschrieben.
- Köflach (kalt): Wurde im gleichen Jahr, nur im Jänner durchgeführt. Streckenverlauf war da noch eher zugunsten des Autobahnanteils und nicht des Stadtanteils ausgefallen. Ansonsten gleich der Köflach Strecke. Temperaturdifferenz zu den anderen gemessenen Strecken ca. 20°C.
- Arzberg: Dynamische Strecke über den Arzberg Richtung Frohnleiten und über Autobahn wieder retour zum Standort der TU im Inffeld. Hat ungefähr das 3 fache an Höhenmetern wie die Strecke Köflach.
- Ries: Strecke mit einigen Steigungen über die Ries bis hin nach Großesendorf. Bei Sinabelkirchen wird dann über Autobahn nach Graz zurückgefahren. Da der Stadtanteil bis zum Standort der TU im Inffeld zu gering ist, wird noch eine kleine Zusatzrunde in Graz gefahren.
- Ermes: Ist ein dynamischer Rollenprüfstandstest, wird aber hier auch angeführt weil es auch unter RDE fällt.

#### 3.1 Versuchsfahrzeug 1

Für die Einbindung in das Simulationsprogramm PHEM werden hier die Fahrzeugdaten, das Basis- Verbrauchskennfeld und die Vollastkurve des verwendeten Versuchsfahrzeuges angegeben. Die Beschreibung und die notwendigen Berechnungen zum Erstellen der Dateien befinden sich in Kapitel 2.1.1 bis 2.1.3.

### 3.1.1 Volllastkurve

Abbildung 3-1 zeigt die Volllast- und Drehmomentenkurve des Versuchsfahrzeuges.

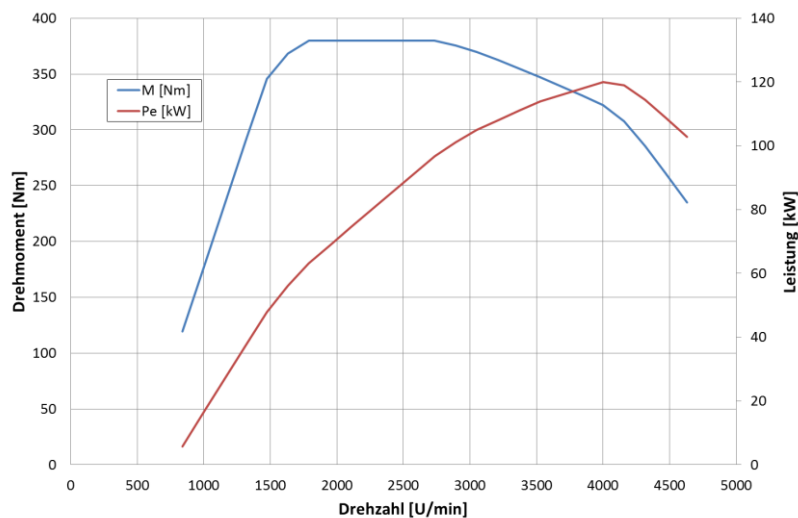


Abbildung 3-1: Volllastkurve des ersten Versuchsfahrzeuges [2]

### 3.1.2 Fahrzeugdaten

Die technischen Details zur Erstellung der Fahrzeugdatei sind in der nachfolgenden Tabelle 3-1 angeführt.

Tabelle 3-1: Fahrzeugdaten des ersten Versuchsfahrzeuges [2]

<b>Motorisierung</b>	Vierzylinder Reihenmotor		
Schadstoffklasse	EURO 6		
Nennleistung	120 kW bei 4000 U/min		
max. Drehmoment	380 Nm bei 1750 - 2750 U/min		
Hubraum	1995 cm <sup>3</sup>		
Nenn Drehzahl	4000 U/min		
Leerlauf Drehzahl	830 U/min		
<b>Kraftübertragung</b>	6 Gang Schaltgetriebe		
Achsübersetzung	2.929		
1. Gang	4.110	4. Gang	1.000
2. Gang	2.248	5. Gang	0.802
3. Gang	1.403	6. Gang	0.659
Reifendimension	205/60 R16		
<b>Fahrzeugdaten</b>			
Kraftstoff	Diesel		
Stirnfläche	2.16 m <sup>2</sup>		
Leergewicht	1415 kg		

### 3.1.3 Basis- Verbrauchskennfeld

Anhand des Basis- Verbrauchskennfeldes aus Kapitel 2.4.2 und der Motornennleistung aus Tabelle 3-1 kann hier das Verbrauchskennfeld des ersten Versuchsfahrzeuges erstellt werden, siehe Abbildung 3-2.

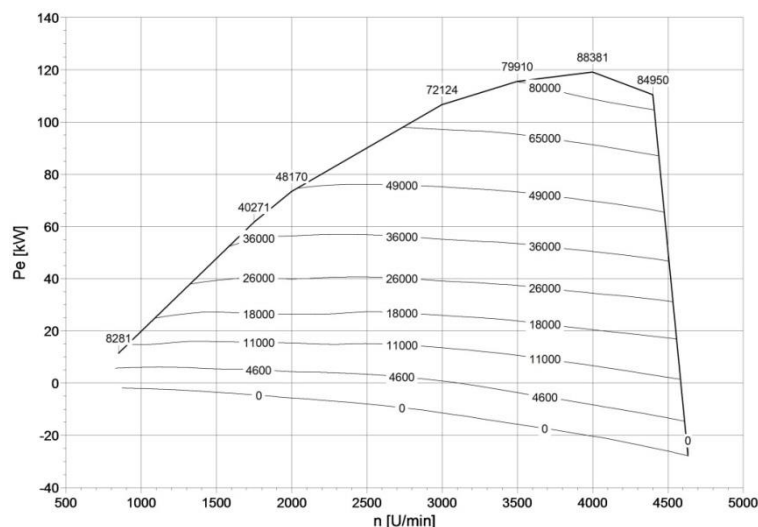


Abbildung 3-2: Verbrauchskennfeld des ersten Versuchsfahrzeuges

## 3.2 Analyse bestehender RDE Tests

Für die Analyse werden jetzt nur mehr die einzelnen Fahrzyklen benötigt. Wie schon erwähnt, wird die Analyse anhand von einem Testzyklus beschrieben, die anderen werden analog ausgewertet und befinden sich im Anhang.

### 3.2.1 Köflach

Start der RDE-Messung ist bei der Köflach Strecke, wie auch bei all den anderen Strecken, von der TU in der Inffeldgasse aus. Am Anfang geht es durch die Stadt Richtung Puntigam. Von dort wird auf der Landstraße nach Lieboch gefahren, wo im Weiteren bis nach Mooskirchen auf der Autobahn gefahren wird. Der restliche Landzyklus wird Richtung Köflach und retour abgefahren. Von Mooskirchen geht es dann wieder über die Südautobahn nach Graz zurück. Endpunkt der Fahrt ist gleichzeitig der Anfangspunkt, also Inffeldgasse.

Im Vergleich zu den anderen Strecken (Ries und Arzberg) besitzt die Strecke Köflach die wenigsten Höhenmeter welche gefahren werden müssen. In Abbildung 3-3 ist der Streckenverlauf dargestellt.

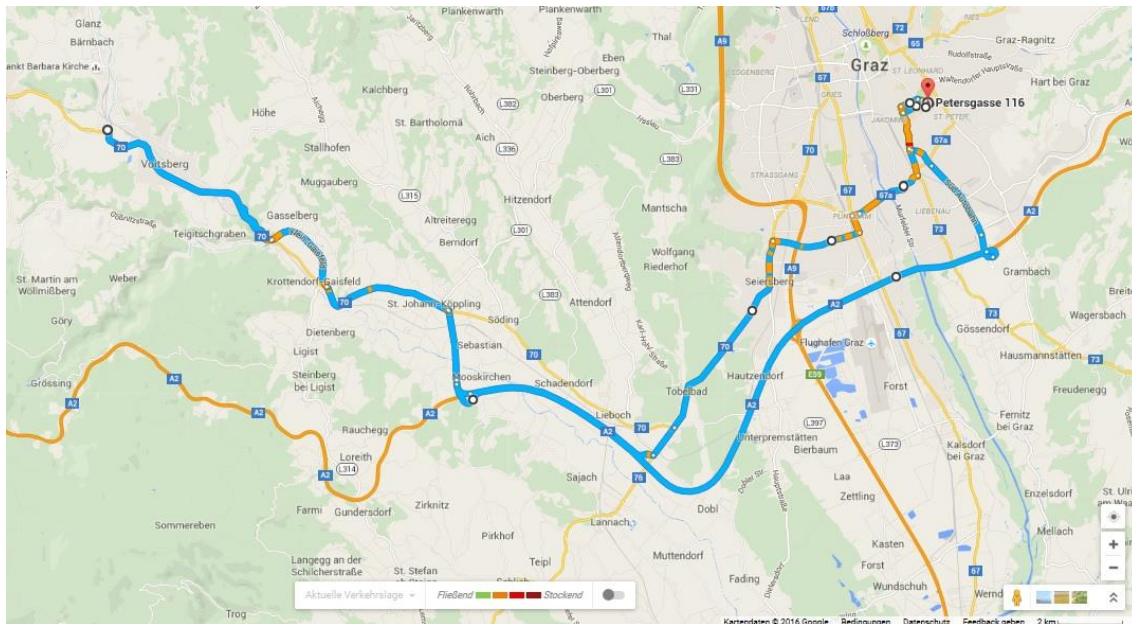


Abbildung 3-3: Streckenverlauf der Strecke Köflach [9]

Für eine Analyse der Strecke wird im Folgenden die Leistung gebraucht sodass auch im Weiteren das Kennfeld erstellt werden kann. Die Vorgehensweise ist in Kapitel 2.4 zusammengefasst.

In Abbildung 3-4 ist die Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach dargestellt.

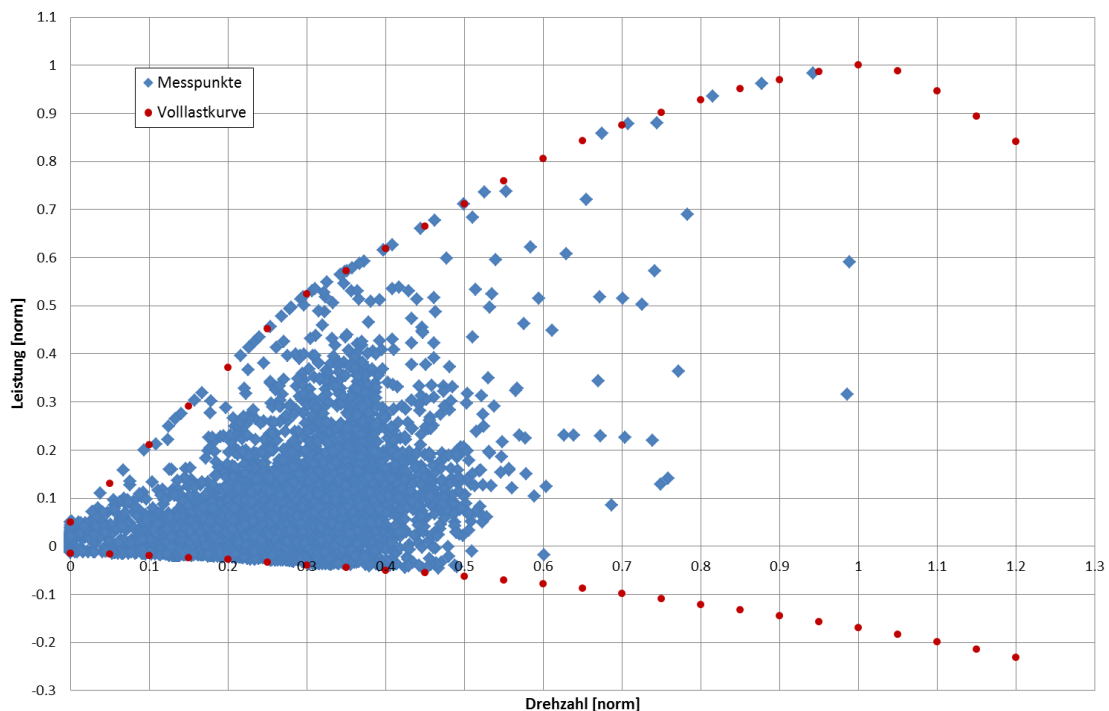


Abbildung 3-4: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach

In der oben dargestellten Abbildung sind alle sekundlichen Messpunkte des Fahrzyklus über normierte Leistung und normierte Drehzahl in einem Motorkennfeld dargestellt. Zusätzlich ist auch die Volllastkurve aufgetragen. Betrachtet man nun die rund 5200 Messpunkte, so erkennt man, dass sich nur wenige Messpunkte (<1% der gesamten Messdaten) über einer Drehzahl von 0,5 (entspricht 2415 U/min) und über einer Leistung von 0,5 (entspricht 60 kW)



befinden.

Im Anschluss an die erfolgte Leistungsberechnung sind gleich die Emissionskennfelder erstellt worden. Diese sind in Abbildung 3-5 und Abbildung 3-6 dargestellt.

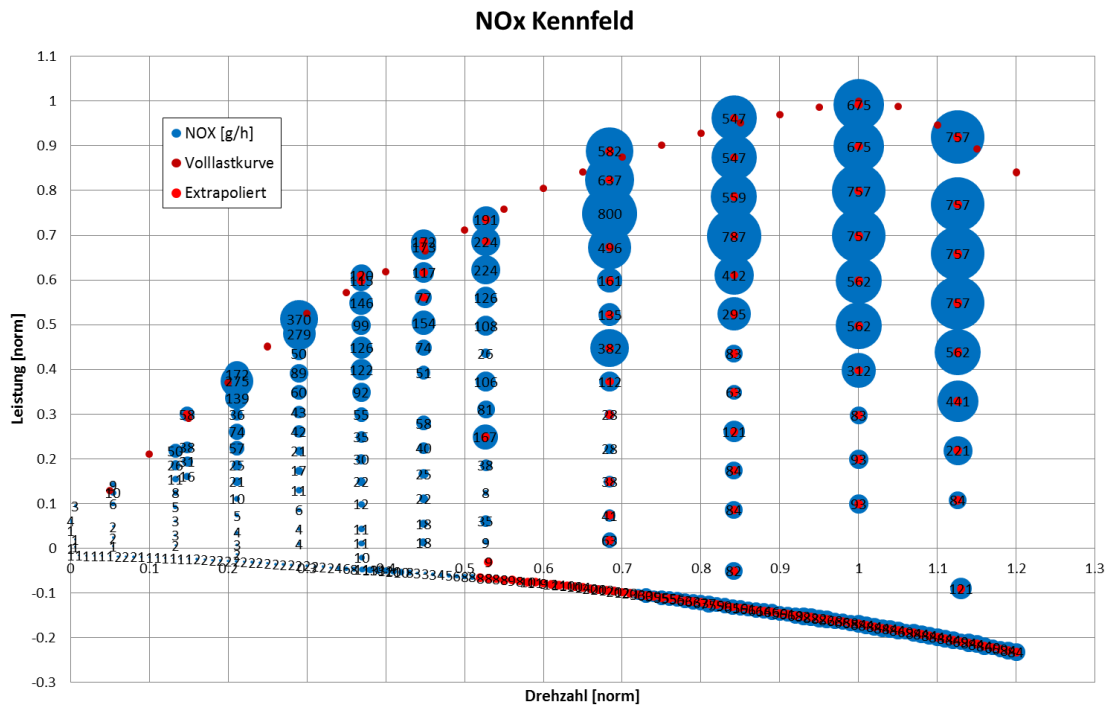


Abbildung 3-5: NOx- Kennfeld der Strecke Köflach

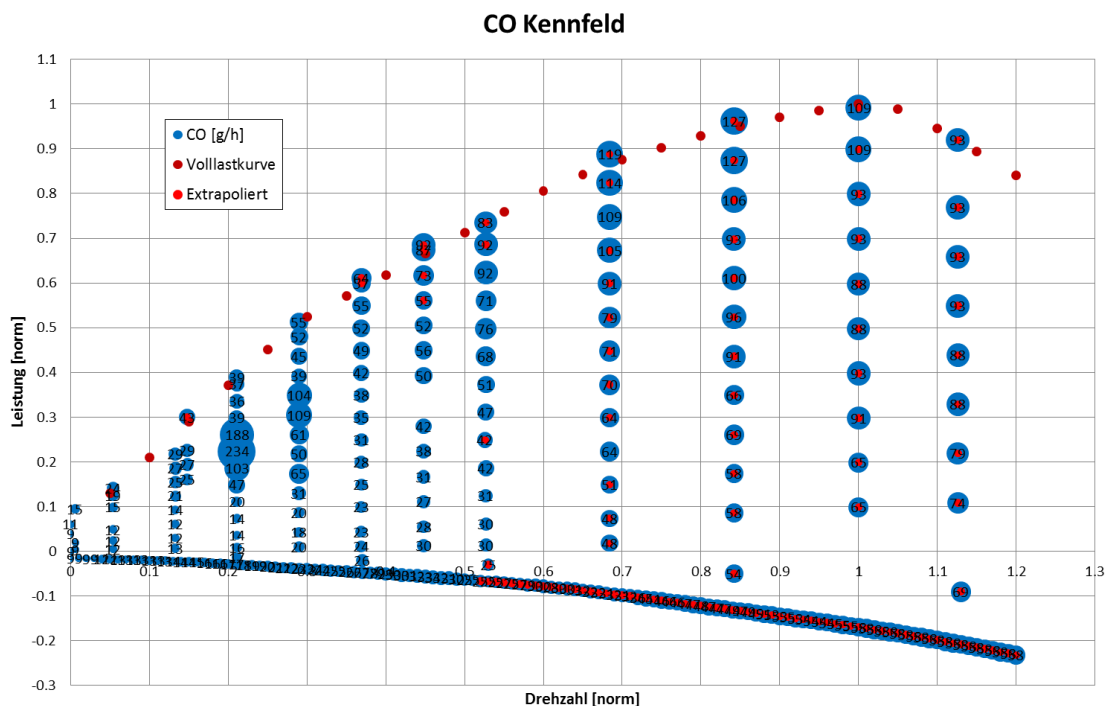


Abbildung 3-6: CO- Kennfeld der Strecke Köflach

In den beiden Emissionskennfeldern kann man an den Stützstellen, welche aus dem Basis-Verbrauchskennfeld übernommen wurden, die Emissionswerte ablesen. Jene Stützstellen, für welche für die Ermittlung des Emissionswertes der Interpolationsbereich vergrößert werden musste, sind als extrapoliert gekennzeichnet. Weiters ist auch noch die Volllastkurve

eingetragen. Nähere Details zur Kennfelderstellung siehe Kapitel 2.4.3.

Betrachtet man nun das NO<sub>x</sub>- Kennfeld so erkennt man, dass die Emissionen zur Volllastkurve hin steigen. Ein sehr markanter Punkt sind die 800 g/h im oberen Drehzahl und Leistungsbereich, da rund um diese Stützstelle kaum noch eine interpoliert wurde. Dieser Wert hebt sich von den anderen davor interpolierten Werten deutlich ab, wobei die Tendenz, also bei steigender Leistung und Drehzahl ein steigendes NO<sub>x</sub>, dort hinkommt. Was jedoch nicht ganz passen kann, ist von den 800 g/h das Sinken der Emissionen zur Volllastkurve hin. Dies ist programmtechnisch schwer auszubessern wodurch ein besser gedecktes Kennfeld anzustreben ist, um solche Lücken zu vermeiden.

Im CO- Kennfeld erkennt man einen Bereich inmitten der interpolierten Stützstellen welcher deutlich höhere CO- Emissionen besitzt. Solche Punkte/ Bereiche entstehen zumeist aus verschiedenen Einflussfaktoren welche sich dann addieren. Hier ist vor allem der größte Einflussfaktor die Laufzeit der Gase von Motor bis zum Analysator. Da momentan nur eine statische Zeitverschiebung gemacht werden kann, so ist entweder Volllast oder Leerlauf gut zueinander abgestimmt.

Grundsätzlich zeigen beide Emissionskennfelder, dass vor allem im Volllastbereich, also an der Volllastkurve, und in den höheren Drehzahlbereichen kaum interpolierte Stützstellen vorhanden sind. Des Weiteren wird auch durch die statische Zeitverschiebung nur ein Teil des Kennfeldes gut bedatet, also entweder Niederlast- oder der Hochlastbereich.

Betrachtet man noch kurz die anderen Strecken, so erkennt man doch noch ein paar Unterschiede zu der hier ausgewerteten Köflach Strecke.

#### **Unterschiede der anderen Strecken:**

- **Köflach (kalt):** Die Lage der Messpunkte im Kennfeld sieht sehr ähnlich aus. Jedoch bei den Emissionskennfeldern erkennt man deutliche Unterschiede bei den Werten. So sind in etwa doppelt so hohe NO<sub>x</sub> Werte und ca. halb so große CO Werte in den Kennfeldern. Dies kann man jedoch auf die niedrigen Temperaturen bei dieser Messung zurückführen. Bei Köflach (kalt) waren diese um die 2°C, bei den anderen Strecken um die 20°C.
- **Arzberg:** Die Lage der Messpunkte im Kennfeld zeigt mehr Werte im höheren Leistungs- und Drehzahlbereich. Dies ändert jedoch wenig an der Anzahl an interpolierten Stützstellen bei den Emissionskennfeldern. Die Werte sind zumeist höher, was bei dieser Strecke sicherlich die Streckenführung ausmacht. Es sind die zurückzulegenden Höhenmeter um ca. Faktor 3 größer als bei der Köflach Strecke.
- **Ermes:** Man erkennt sofort, dass die Lage der Messpunkte im Kennfeld das Kennfeld nur schwach ausfüllen. Mit dem vorgegebenen Fahrzyklus auf der Rolle wird kaum in hohe Leistungs- und Drehzahlbereiche vorgedrungen. Deshalb sind nur sehr wenige Kennfeldpunkte interpoliert und eigentlich keine an der Volllastkurve bestimmt worden. Vergleicht man die interpolierten Werte der Emissionskennfelder, so erkennt man bei den NO<sub>x</sub> Werten höhere Emissionen und bei den CO zum einen Teil so gut wie keine oder dann auch wieder extrem hohe Emissionen.
- **Ries:** Die Kennfelder sind den Kennfeldern aus Köflach sehr ähnlich. Es sind lediglich, wie schon bei der Arzberg Strecke, ca. doppelt so viele Höhenmeter zurückzulegen, weshalb die interpolierten Emissionen zumeist etwas höher sind.

### 3.3 Auswertung der Strecken

Da für diese Masterarbeit im Vordergrund steht, ob ein RDE besetztes Kennfeld auch gut für Emissionsberechnungen genommen werden kann, so wird in dieser Auswertung die Aussagekraft der jeweiligen Strecken- Kennfelder beim Nachrechnen der gleichen Strecken betrachtet.

Für die Auswertung werden nun mit den vorher erstellten Strecken- Kennfeldern die gleichen Strecken nachgerechnet. Diese Berechnung erfolgt im Batch Modus von PHEM. Bei dieser Simulation wird für jedes einzelne Kennfeld eine Arbeitsdatei erzeugt, in welcher bis auf das unterschiedliche Kennfeld eine gleiche Fahrzeugdatei und Vollastkurve vorgegeben wird. Da bei der Kennfelderstellung der einzelnen Strecken immer jeweils andere Nebenaggregatsverbräuche und andere Massen vorliegen, so hat man für die Fahrzeugdatei bei der Auswertung die jeweiligen Werte gemittelt. Die erforderlichen Fahrwiderstände für diese Auswertung wurden aus einem Ausrollversuch, siehe Kapitel 5.2, gewonnen. Die Fahrzyklen, welche als Datei mit der Endung \*.dri (siehe Kapitel 2.1.4) benötigt wird, werden in diesem Modus nicht in der Arbeitsdatei, sondern im Arbeitsfenster unter dem Reiter "Fahrzyklus" reingegeben.

In der nachfolgenden Tabelle 3-2 ist das Ergebnis für die simulierte Köflachrunde dargestellt. Im oberen Teil befinden sich die Absolutwerte, im unteren Teil die relativen Abweichungen zum Messwert.

Tabelle 3-2: Auswertung der Strecke Köflach

	Strecke	Kennfeld				
	Köflach	Köflach	Köflach (kalt)	Arzberg	Ermes	Ries
<b>CO<sub>2</sub>RDE [g/h]</b>	7823.73	7579.35	7579.35	7579.35	7579.35	7579.35
<b>NO<sub>x</sub>RDE [g/h]</b>	15.03	15.33	28.96	18.89	17.86	20.36
<b>CO<sub>RDE</sub> [g/h]</b>	24.46	25.51	9.31	24.81	2.19	20.20

	Strecke	Kennfeld				
	Köflach	Köflach	Köflach (kalt)	Arzberg	Ermes	Ries
<b>CO<sub>2</sub>RDE [%]</b>	-	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%
<b>NO<sub>x</sub>RDE [%]</b>	-	2%	93%	26%	19%	35%
<b>CO<sub>RDE</sub> [%]</b>	-	4%	-62%	1%	-91%	-17%

Gehen wir kurz auf die Darstellung der Auswertung ein:

Die Emissionskomponente und die jeweilige Einheit dazu befinden sich in der ersten Spalte. In der zweiten Spalte befinden sich die gemittelten Werte der Emissionskomponenten aus der RDE- Messung. Geht man nun die nächsten Spalten weiter so befindet sich dort das Simulationsergebnis aus den jeweiligen Emissionskennfeldern (aus der obigen Analyse), siehe Kapitel 3.2.1, mit der Strecke aus der zweiten Spalte. Im unteren Teil befinden sich die relativen Abweichungen der simulierten Werte aus dem Kennfeld zu den gemessenen Werten der Strecke.

Grundlegend sei gleich zu erwähnen, dass die CO<sub>2</sub> Werte bei jedem Kennfeld die gleichen sind, da sie bei der Erstellung des Emissionskennfeldes direkt aus dem Basis- Verbrauchskennfeld übernommen worden sind. Die Abweichungen vom Messwert sind durch beinhaltete Fehler bei den Fahrzeugdaten wie Roll- und Luftwiderstand sowie dem Fahrzyklus wie Steigung und natürlich des Basis- Verbrauchskennfeldes zu erklären.

Im Weiteren werden die einzelnen Kennfelder gegenüber der Strecke betrachtet.

**Kennfeld Köflach:** Betrachtet man das Kennfeld Köflach, so sieht man, dass alle Emissionen sehr ähnlich der RDE Strecke nachsimuliert worden sind. Dies ist nicht verwunderlich, da das Kennfeld aus der gleichen Strecke erzeugt worden ist.

**Kennfeld Köflach (kalt):** So wie schon bei der Analyse des Kennfeldes gesehen, ergeben sich auch beim Nachsimulieren deutlich höhere NO<sub>x</sub> und deutlich geringere CO Werte. Grund für die deutlichen Unterschiede wird ein nicht anspringen des SCR Katalysators bei den niedrigeren Temperaturen sein.

**Kennfeld Arzberg:** Das Emissionskennfeld der Strecke Arzberg zeigt um 26% höhere NO<sub>x</sub> Emissionen bei der Simulation der Köflach Strecke. Bei den CO Emissionen kann man jedoch eine sehr gute Nachsimulation der Messwerte erkennen.

**Kennfeld Ermes:** Obwohl das Kennfeld eher schlecht gefüllt ist, simuliert es die NO<sub>x</sub> Emissionen relativ gut. Dies lässt sich bei den CO Emissionen leider nicht sagen. Bei diesem Kennfeld kommen so gut wie keine CO Emissionen aus der Simulation raus. Dies lässt auf einen Fehler in der Messung (verwenden von anderen Analysatoren) oder Datenaufbereitung schließen.

**Kennfeld Ries:** Mit dem Kennfeld der Strecke Ries können die NO<sub>x</sub> Werte im Vergleich schlecht nachgerechnet werden. Mit 35% Abweichung ist doch ein großer Unterschied zwischen simuliertem und gemessenen NO<sub>x</sub>- Emissionswert. Die CO Emissionen werden um 17% geringer nachsimuliert.

Um genau das Gegenteil zu Köflach Runde zu betrachten, also eine etwas dynamischere Strecke, wird in Tabelle 3-3 die Auswertung der Strecke Arzberg angeführt und anschließend diskutiert.

Tabelle 3-3: Auswertung der Strecke Arzberg

	Strecke	Kennfeld				
	Arzberg	Köflach	Köflach (kalt)	Arzberg	Ermes	Ries
CO <sub>2RDE</sub> [g/h]	9824.57	8740.76	8740.76	8740.76	8740.76	8740.76
NO <sub>xRDE</sub> [g/h]	27.22	21.06	37.44	24.30	26.14	28.51
CO <sub>RDE</sub> [g/h]	33.83	31.74	10.28	31.36	2.54	23.66

	Strecke	Kennfeld				
	Arzberg	Köflach	Köflach (kalt)	Arzberg	Ermes	Ries
CO <sub>2RDE</sub> [%]	-	-11%	-11%	-11%	-11%	-11%
NO <sub>xRDE</sub> [%]	-	-23%	38%	-11%	-4%	5%
CO <sub>RDE</sub> [%]	-	-6%	-70%	-7%	-92%	-30%

Anhand der gemittelten Streckenemissionen erkennt man schon den höheren Anteil an Höhenmetern im Vergleich zur vorher betrachteten Köflach Strecke. Weiters erkennt man eine hohe Abweichung der CO<sub>2</sub> Emission, bedeutet, dass der Verbrauch zu gering nachsimuliert wurde. Dies kann, wie oben schon einmal angeführt, an den Vorgaben der Fahrzeugdaten und des Fahrzyklus liegen.

Betrachten wir wieder kurz die einzelnen Simulationsergebnisse der verschiedenen Kennfelder.

**Kennfeld Köflach:** CO Emissionen werden grundsätzlich recht gut nachsimuliert. Bei den NOx Werten ist jedoch schon eine etwas größere Lücke zwischen simulierter und gemessener Strecke. Ist aber durchaus erklärbar, da das Köflach Kennfeld gerade bei den NOx Emissionen geringer ist.

**Kennfeld Köflach (kalt):** Bei der Simulation der Strecke Arzberg zeigt das Kennfeld wiederum ein ähnliches Verhalten wie bei der Köflach Strecke. Bis auf die Größe der Unterschiede sind alle Tendenzen gleich geblieben, also NOx höher und CO niedriger.

**Kennfeld Arzberg:** Beim Nachsimulieren der eigenen Strecke sind hier dennoch größere Unterschiede bemerkbar. Im Vergleich zu den anderen Kennfeldern liegt dieses jedoch noch gut bei den RDE Messergebnissen.

**Kennfeld Ermes:** Das Ergebnis ist gleich wie bei der Strecke Köflach. NOx wird sehr gut und CO sehr schlecht nachsimuliert.

**Kennfeld Ries:** Das Kennfeld kann hier im Gegensatz zur Köflach Strecke die NOx Werte sehr gut nachrechnen. Die CO Werte hingegen werden deutlich geringer nachsimuliert.

### 3.4 Zusammenfassung

Betrachtet man die Analyse und die Auswertung der einzelnen Strecken, so kann man grundsätzlich erkennen, dass die NOx- Emissionen mit allen Streckenkennfeldern ähnlich gut nachsimuliert werden können. Das Streckenkennfeld Köflach (kalt) schafft dies als einziges jedoch nicht.

Bei den CO- Emissionen erkennt man grundsätzlich ähnliches, außer bei Ermes. Hierbei ist die Frage, ob bei der Aufzeichnung der Messwerte mit den Analysatoren der PEMS Messung oder der Rollenmessung ein Fehler unterlaufen ist.

Man erkennt sehr gut, dass Kennfelder welche bei tieferen Temperaturen aufgenommen worden sind nicht für die Simulation bei höheren Temperaturen geeignet sind. Im umgekehrten Fall ist dies ebenso. Für die Erstellung gemittelter Emissionskennfelder sollte somit eine Trennung der Kennfelder mit kalten Umgebungsbedingungen stattfinden.

### 3.5 Verbesserungsbedarf an Mess- und Simulationseinhalten

Bei den ersten Schritten von der Analyse und Simulation von RDE Messungen bis hin zur Zusammenfassung des Kapitels, sind im Laufe der Arbeit einige Verbesserungen angefallen, sowie Ideen entstanden, welche die Simulation vereinfachen sollten. Diese werden in den folgenden Kapiteln 3.5.1 bis 3.5.4 angeführt.

#### 3.5.1 Kennfeld

Im Laufe der ersten paar Simulationen, welche sich nur auf die Leistungsberechnung beschränkte bemerkte man, dass in manchen Bereichen nicht wirklich gut interpoliert wurde. Deshalb wurde das verwendete Basis- Verbrauchskennfeld betrachtet. In Abbildung 3-7 ist das verwendete Basis- Verbrauchskennfeld dargestellt.

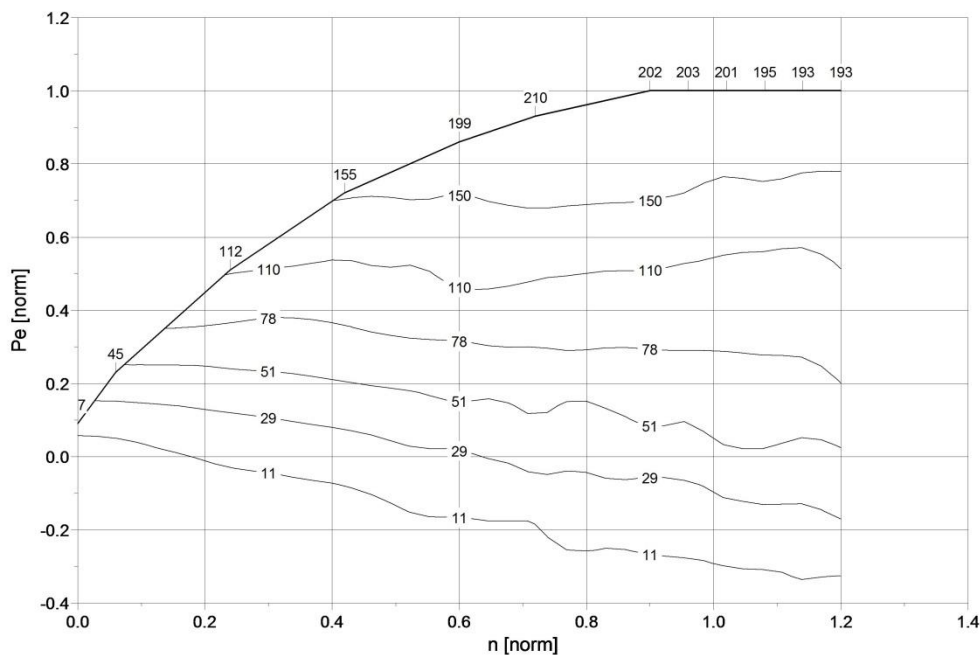


Abbildung 3-7: Basis- Verbrauchskennfeld Diesel Euro 5 [12]

Dieses Verbrauchskennfeld ist ein gemittelt Kennfeld aus einer Vielzahl von vermessenen EURO5 Diesel Fahrzeugen. Dabei werden jedoch Rollentests verwendet und der gemessene Verbrauch nach gemessener Drehzahl und Leistung eingerastert.

Betrachtet man in diesem Verbrauchskennfeld eine konkrete Drehzahl, so ergibt sich Abbildung 3-8.

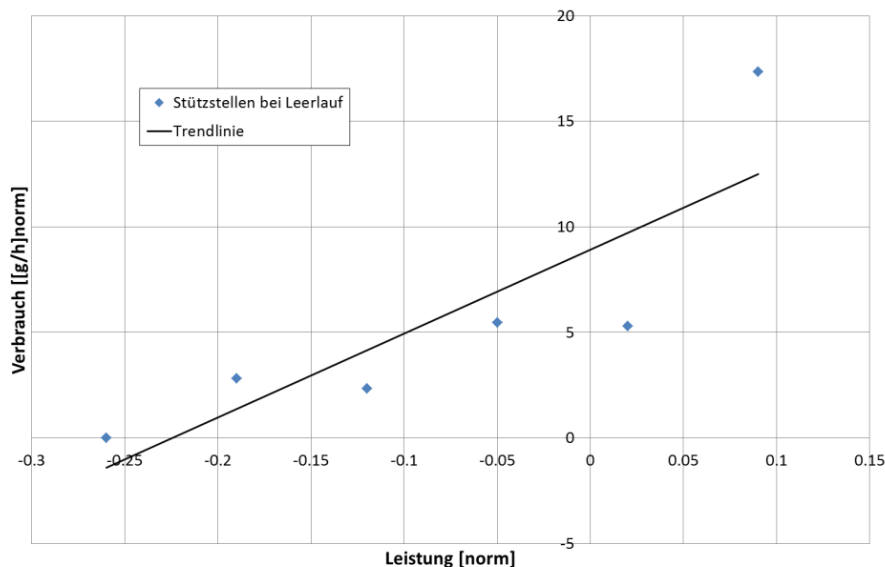


Abbildung 3-8: Willanslinie des Diesel Euro5- Basis- Verbrauchskennfeldes bei Leerlauf [12]

In dieser Abbildung sind Leistung und Verbrauch der Stützstellen bei konstanter Drehzahl dargestellt. Die eingezeichnete Trendlinie markiert die Tendenz des Verbrauches bei steigender Leistung oder umgekehrt.

Man erkennt sofort, dass die Trendlinie kaum durch die Verbrauchs-/ Leistungspunkte geht. Bei einem abgestimmten Verbrauchskennfeld sollte dies jedoch der Fall sein, siehe Abbildung 3-9.

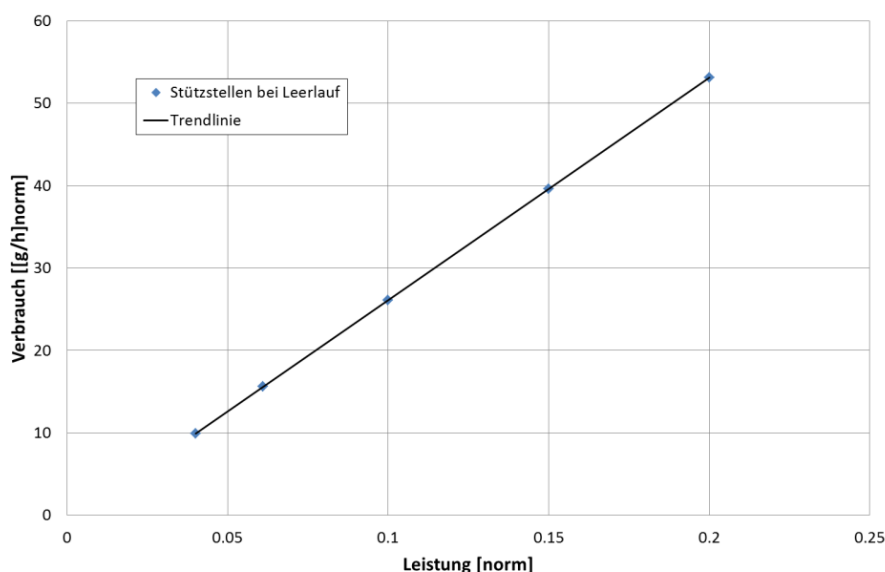


Abbildung 3-9: Willanslinie aus Basis- Verbrauchskennfeld bei Leerlauf [13]

In dieser Abbildung sieht man sehr gut, dass Verbrauch und Leistung auf einer Geraden liegen, welche Willanslinie genannt wird. Willanslinien sind Linien konstanter Drehzahl, wo der Verbrauch durch eine Gerade angenähert werden kann. Ursprünglich verwendet man Willanslinie für die Ermittlung des Reibmitteldruckes, da es einfach aus einem Verbrauchskennfeld ermittelt werden kann. In diesem Fall wird es für die Erweiterung des Kennfeldes herangezogen. [8]

Für die Analyse und das Auswerten wurde in weiterer Folge das Verbrauchskennfeld, siehe Abbildung 3-9, für die Leistungsinterpolation verwendet. Für die Beschreibung des Basis-Verbrauchskennfeldes verweise ich auf Kapitel 2.4.2.

### 3.5.2 Kennfeldauffüllung

In Kapitel 3.2.1 ist die Leistung berechnet und anschließend das Kennfeld erstellt worden. Beim Betrachten der Emissionskennfelder fiel sofort das schlecht gedeckte Kennfeld auf, also die wenigen interpolierten Stützstellen im Kennfeld. Diese "extrapolierten" Stützstellen sind zumeist ungenau, weshalb versucht werden soll, die Anzahl dieser Stützstellen in Bereichen in welchen gefahren wird zu reduzieren.

In Abbildung 3-10 ist das NO<sub>x</sub> Kennfeld der Strecke Köflach dargestellt.

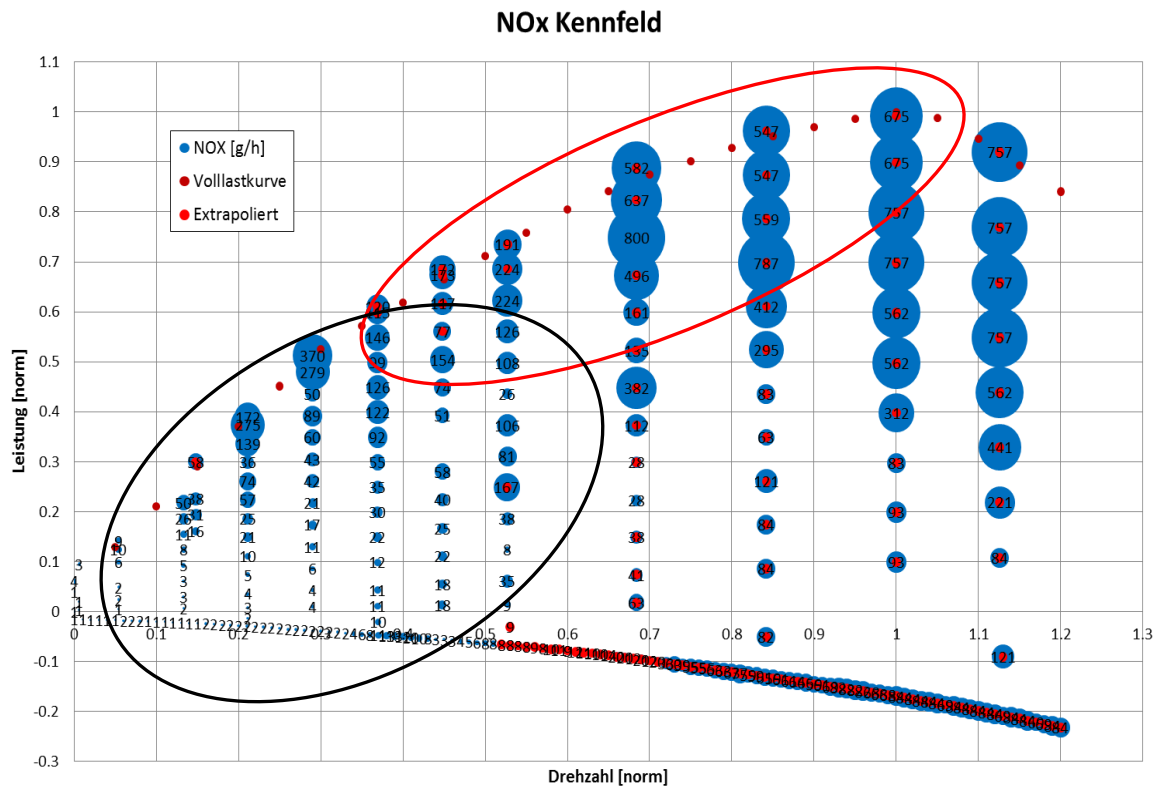


Abbildung 3-10: Beispiel für Verbesserung der Kennfeldauffüllung anhand NO<sub>x</sub>- Kennfeld

In Abbildung 3-10 ist der interpolierte Bereich schwarz markiert. Dieser Bereich deckt normale Fahrten relativ gut ab. Hat man jedoch mal etwas höhere Beschleunigungen von unten raus, so fehlen ab ungefähr  $n=0,4$  interpolierte Werte und das Programm verwendet extrapolierte Werte.

Für eine Verbesserung der Kennfeldgüte ist in der Abbildung ein roter Bereich markiert. Dieser Bereich ist vor allem für Beschleunigungen relevant. Der Bereich rechts unterhalb des roten Bereiches ist nicht wirklich von Bedeutung, da bei einer Verzögerung oder nach den Beschleunigungen erfolgten Schaltvorgängen, der Lastpunkt schnell wieder unter  $n=0,5$  kommt.

Um für die kommenden RDE Fahrten besser gefüllte Kennfelder zu bekommen, soll eine Extrafahrt gemacht werden, in welcher der rote Bereich durch gezieltes Abfahren von Lastpunkten gefüllt wird. Diese Lastpunkte sollen durch Volllast und Teillastbeschleunigungen bei gleich bleibendem Gang bis kurz über die Nenndrehzahl gefahren werden.



### 3.5.3 Simulationsmethodik

Bei der Anfangsversion des Simulationsprogrammes (PHEM 11.7.5) haben sich bei der Betrachtung des Berechnungsvorganges ein paar Ungenauigkeiten bei der Leistungsinterpolation ergeben. Um sicherzugehen wo der Fehler liegt wurden ein paar Tests durchgeführt:

**Test 1:** Aus dem Basis- Verbrauchskennfeld werden für eine Strecke die Leistungen interpoliert. Im Folgenden werden Leistungs-, Verbrauchs- und Drehzahlwerte in ein Kennfeld mit der Endung \*.mep reingegeben. Des Weiteren wird das benutzte Basis-Verbrauchskennfeld in einen Fahrzyklus für eine Motorberechnung (\*.npi) umgeschrieben (Drehzahl- und Leistungseingabe). Berechnet man nun für den Fahrzyklus den Verbrauch aus dem erstellten Kennfeld, so sollte das Basis- Verbrauchskennfeld rauskommen.

**Test 2:** Der Test verläuft am Anfang gleich wie der 1 Test, nur dass in das Kennfeld mit der Endung \*.mep alle Verbrauchswerte auf 1 gesetzt werden. Der weitere Verlauf ist wieder gleich. Am Schluss sollte jedoch nicht der Verbrauch des Basis- Verbrauchskennfeldes rauskommen, sondern überall 1.

Vor allem im ersten Test sind erhebliche Unterschiede in den unteren Leistungs- und Drehzahlbereichen festgestellt worden, weshalb ein anderer, der Delaunay Interpolator, zur Anwendung herangezogen worden ist. Mit diesem ist der erste Test ebenfalls nachgerechnet worden. An Stellen, an welchen der alte Shepard Interpolator schlechte Ergebnisse lieferte, erzielte der Delaunay Interpolator ein deutlich besseres Ergebnis (geringere Abweichung zur tatsächlichen Leistung).

**Test 3:** Für einen weiteren Test wurde nun einerseits mit dem neuen (Delaunay) und mit dem alten (Shepard) Interpolator die Leistung einer Strecke nachgerechnet.

Zur Kontrolle der Ergebnisse sind das gleiche Verbrauchskennfeld und die gleiche Strecke mit dem Programm Matlab gerechnet worden. In diesem Programm wurde mittels der Funktion „Thin Plate Skin“ eine Fläche durch die Verbrauchspunkte gelegt aus welcher danach die Streckenleistungen interpoliert wurden. Dieses Ergebnis wird als Referenz verwendet, da hier keinerlei Abweichung zur tatsächlichen Leistung auftritt, und somit am genauesten sein sollte.

In Tabelle 3-4 sind alle Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 3-4: Vergleich der Leistungsinterpolation mit Shepard und Delaunay Interpolator

	gemittelte Leistung der Köflach Strecke	Abweichung zu Matlab	Relative Abweichung zu Matlab (Ist - Soll)/Soll
	Pe [kW]	$\Delta Pe$ [kW]	[%]
Matlab (Thin Plate Skin)	10.33	-	-
Shepard Interpolator	8.67	-1.66	16%
Delaunay Interpolator	10.22	-0.10	1%

Aus dieser Tabelle kann man gut ablesen, dass der im PHEM gebrauchte Shepard Interpolator mit 16% relativer Abweichung, nicht gut aus dem Kennfeld interpoliert. Der Delaunay Interpolator hingegen kommt bis auf eine relative Abweichung von 1% der gemittelten Leistungswerte über eine Strecke von ~5200 Messreihen.

Aufgrund dessen, wurde für die Weiteren Leistungsberechnungen der Delaunay Interpolator in das Programm PHEM (Version 11.7.6) eingebunden.

### 3.5.4 Fahrzeugdaten

Um ein besseres Gefühl für die Leistungsberechnung in PHEM zu bekommen wurde eine Strecke nachgerechnet. Einerseits wurde die Leistung über PHEM aus der Drehzahl und dem  $CO_2$  bestimmt, andererseits mittels einer Fahrzeuglängsdynamikberechnung über die Leistungsverzweigung (Roll- und Fahrwiderstandsleistung, Steigungswiderstandsleistung, etc.). Beide Wege sind in den nachfolgenden Gleichungen (3–1) und (3–2) dargestellt.

$$n, CO_2 \xrightarrow{\text{Leistungsinterpolation (siehe Kapitel 2.4.2)}} P_{eCO_2} \quad (3-1)$$

$$P_{eLängsdynamik} = (P_{\text{Fahrwiderstand}} + P_a + P_{\text{Steigung}}) \frac{\dot{}}{\ddot{}} 0.9 + P_{aEng} + P_{Aux} \quad (3-2)$$

Betrachtet man nun den Verlauf der beiden Leistungen, so ist der Verlauf in manchen Bereichen deckend, in anderen dann wieder überhaupt nicht.

Um nicht weiter vorzugreifen verweise ich auf Kapitel 5, Parametrisierung der Fahrzeugmodelle.

## 4 RDE Messungen

Ausgehend von den vorher erarbeiteten Verbesserungen werden in diesem Kapitel mit dem zweiten Versuchsfahrzeug die RDE Messungen behandelt. Hierbei wird wieder zuerst das verwendete Versuchsfahrzeug beschrieben bevor es zur Analyse der verschiedenen RDE Messungen kommt. Nach der Analyse wird mit einer Auswertung das Ergebnis mit und ohne Verbesserungen betrachtet.

Nach der Auswertung des zweiten Versuchsfahrzeuges wird anhand eines dritten Versuchsfahrzeuges die Kennfeldauffüllung weiterbehandelt. Dabei sind die Analyse der Strecken und die Auswertung der Kennfelder des zweiten Versuchsfahrzeuges sehr ähnlich, weshalb textlich nur die Änderungen angeführt werden.

Da der Vorgang für die Analyse und die Auswertung der verschiedenen Strecken gleich verläuft, werde ich hier nur eine Strecke exemplarisch beschreiben und die weiteren im Anhang, siehe Kapitel 0 und Kapitel 8.3, anführen.

Kurze Erklärung der gefahrenen Teststrecken:

- Köflach/Ries: verlaufen gleich wie in Kapitel 3.
- Kennfeldauffüllung Versuchsfahrzeug 2: Strecke zum Füllen des Kennfeldes nach Mooskirchen und zurück. In der nachfolgenden Analyse wird die Strecke genauer beschrieben.
- Kennfeldauffüllung Versuchsfahrzeug 3: Strecke zum Füllen des Kennfeldes von Knoten Graz Ost bis Lassnitzhöhe. Wird in der nachfolgenden Analyse noch genauer beschrieben.

### 4.1 Versuchsfahrzeug 2

In den nachfolgenden Unterpunkten werden, wie schon in Kapitel 3.1, die Eingabedaten für das Simulationsprogramm PHEM angegeben. Beschreibung und Berechnung zum Erstellen der Input- Dateien befinden sich in Kapitel 2.1.1 bis Kapitel 2.1.3.

#### 4.1.1 Volllastkurve

Für das Versuchsfahrzeug 2 wurde über die direkte Typenbezeichnung keine Volllastkurve gefunden. Da ein nachfolgendes Modell der gleichen Automarke den gleichen Motor eingebaut hat, wird dieser als Basis für die Volllastkurve herangezogen, siehe Abbildung 4-1.

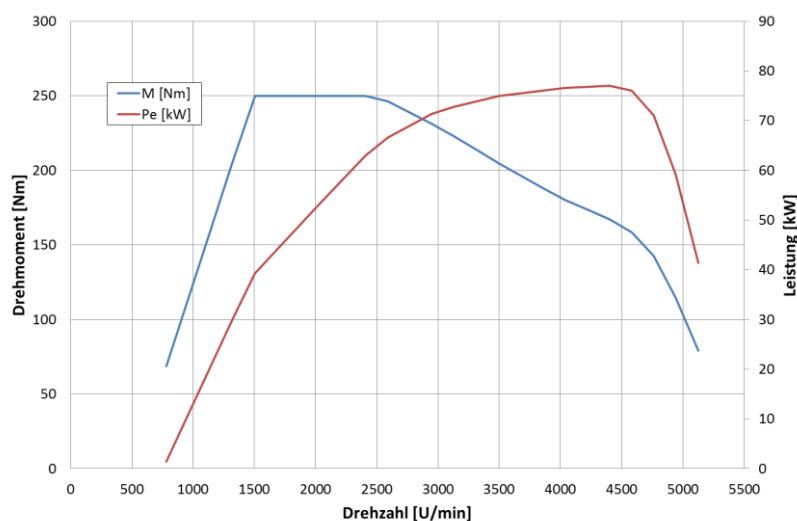


Abbildung 4-1: Volllastkurve des zweiten Versuchsfahrzeuges [3]

### 4.1.2 Fahrzeugdaten

Die technischen Details zur Erstellung der Fahrzeugdatei sind in der nachfolgenden Tabelle 4-1 angeführt.

Tabelle 4-1: Fahrzeugdaten des zweiten Versuchsfahrzeuges [3]

<b>Motorisierung</b>		Vierzylinder Reihenmotor	
Schadstoffklasse	EURO 5		
Nennleistung	77 kW bei 4400 U/min		
max. Drehmoment	250 Nm bei 1500 - 2500 U/min		
Hubraum	1598 cm <sup>3</sup>		
Nenn Drehzahl	4400 U/min		
Leerlauf Drehzahl	780 U/min		
<b>Kraftübertragung</b>		7 Gang Automatikgetriebe	
Achsübersetzung	4.800		
1. Gang	3.500	5. Gang	0.974
2. Gang	2.087	6. Gang	0.778
3. Gang	1.343	7. Gang	0.653
4. Gang	0.993		
Reifendimension	195/65 R15		
<b>Fahrzeugdaten</b>			
Kraftstoff	Diesel		
Stirnfläche	2.10 m <sup>2</sup>		
Leergewicht	1320 kg		

### 4.1.3 Basis- Verbrauchskennfeld

Anhand des Basis- Verbrauchskennfeldes aus Kapitel 2.4.2 und der Motornennleistung aus Tabelle 4-1 kann hier das Verbrauchskennfeld des zweiten Versuchsfahrzeuges erstellt werden, siehe Abbildung 4-2.

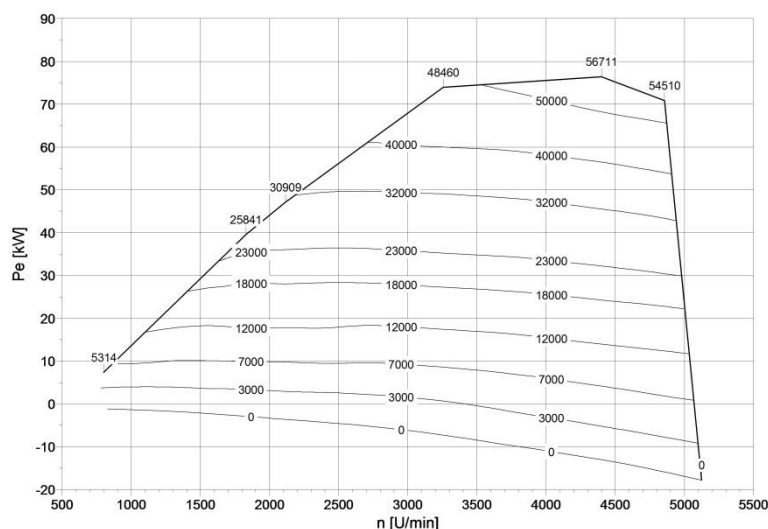


Abbildung 4-2: Verbrauchskennfeld des zweiten Versuchsfahrzeuges

#### 4.1.4 Analyse ausgeführter RDE Tests

Für die Analyse werden jetzt nur mehr die einzelnen Fahrzyklen benötigt. Prinzipiell werden die Strecken wie in Kapitel 3.2 analysiert, nur mit dem Unterschied, dass hier zusätzlich zu den normalen Strecken auch die Strecken plus Kennfeldauffüllung analysiert werden. Um dies zu ermöglichen muss zu allererst die Kennfeldauffüllung analysiert werden. Im Anschluss werden die Volllastpunkte bei den Strecken angefügt. Somit sind von jeder Strecke einmal nur die Strecke selbst und einmal die Strecke mit Kennfeldauffüllung als Datenbasis für die nachfolgende Analyse und Auswertung gegeben.

##### 4.1.4.1 Kennfeldauffüllung (KFA)

Grund der Kennfeldauffüllung ist eine bessere Füllung in Bereichen des Kennfeldes, in welchen die Strecken nicht gut abgedeckt sind. Als entscheidende Faktoren für die Wahl der Strecke war, dass das Tempolimit größer gleich 100 km/h und eine gute Überschaubarkeit der Teststrecke gegeben sein sollte. Aufgrund dessen hat man sich bei der Kennfeldauffüllung für die Autobahn entschieden.

Start der Kennfeldauffüllung ist wie bei allen anderen Strecken von der TU in der Inffeldgasse aus. Am Anfang geht es am kürzesten Weg Richtung Murpark, wo auf die Südautobahn gefahren wird. Die Teststrecke geht im Weiteren entlang der Südautobahn bis hin zur Abfahrt Mooskirchen, an welcher gleich wieder aufgefahren wird, und wieder retour nach Graz. Endpunkt der Fahrt ist gleichzeitig der Anfangspunkt, also TU Inffeldgasse.

Abbildung 4-3 zeigt den Streckenverlauf der Kennfeldauffüllung.

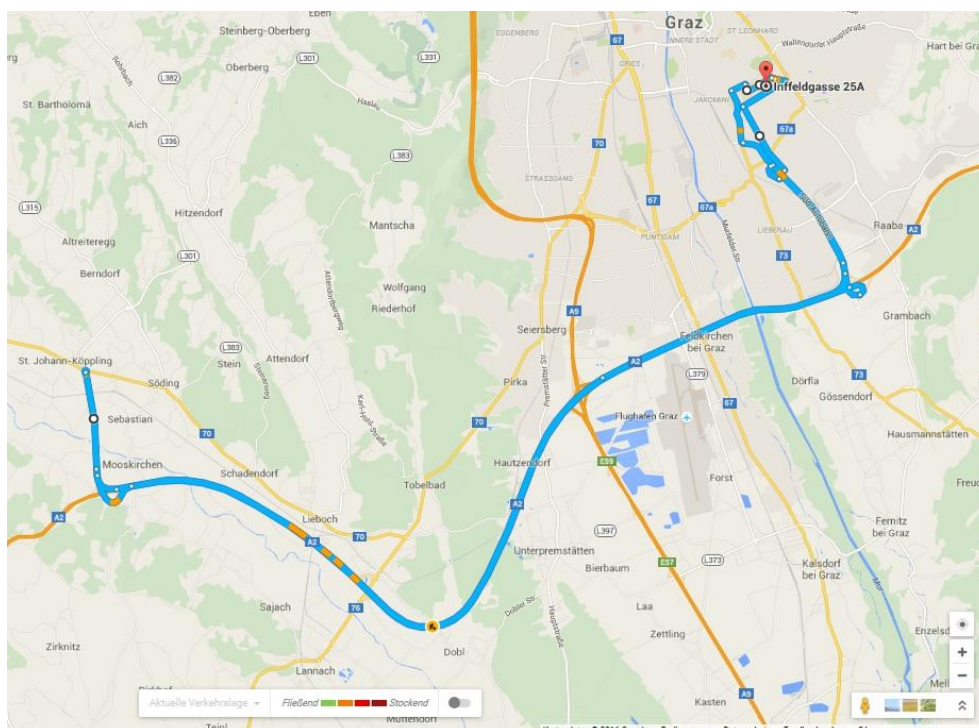


Abbildung 4-3: Streckenverlauf der Strecke Kennfeldauffüllung [9]

Bei der Kennfeldauffüllung sind in den letzten 4 Gängen des Versuchsfahrzeuges je 2 bis 3 Voll- und Teillastbeschleunigungen von ca. 75 bis 145 km/h durchgeführt worden, um so den Bereich an der Volllastkurve bis hin zur Nenndrehzahl heraus zu fahren. Diese sind in Tabelle 4-2 zusammengefasst. Die Messpunkte, welche in der Stadt und beim Umkehrpunkt aufgenommen wurden, sind für die Analyse nicht wichtig, weshalb sie im Weiteren nicht berücksichtigt werden.

Tabelle 4-2: Voll- und Teillastfahrten der Strecke Kennfeldauffüllung

Gang [-]	Volllastbeschleunigung		Index [-]	Gang [-]	Teillastbeschleunigung		Index [-]
	von [km/h]	bis [km/h]			von [km/h]	bis [km/h]	
4	75	130	1	7	90	140	12
4	80	130	2	7	80	145	13
4	80	135	3	6	85	140	14
5	80	140	4	6	75	145	15
5	80	140	5	5	85	140	16
5	80	140	6	5	75	140	17
6	80	140	7	5	80	140	18
6	95	130	8	4	75	125	19
6	100	145	9	4	85	130	20
7	90	145	10	4	80	130	21
7	85	145	11				

Für die Kennzeichnung der jeweiligen Beschleunigung ist die Spalte mit dem Index angefügt. Für eine Betrachtung der Messpunkte wird im Folgenden nur die positive Leistung benötigt. Die nach dem Beschleunigen aufgenommenen Punkte beim Verzögern werden hierbei auch vernachlässigt. Für die Vorgehensweise der Leistungsermittlung verweise ich auf Kapitel 2.4.2.

Aus den leistungsinterpolierten Messdaten kann man nun die Lage der Beschleunigungsfahrten im Kennfeld aufzeichnen. Um nicht alle Kennfelder hier anzuführen sind in Abbildung 4-4 nur die ausgewählten Voll- und Teillastfahrten in einem Kennfeld dargestellt. Die Lage der Voll- oder Teillastbeschleunigungen im Kennfeld befinden sich im Anhang, siehe Kapitel 8.2.1.

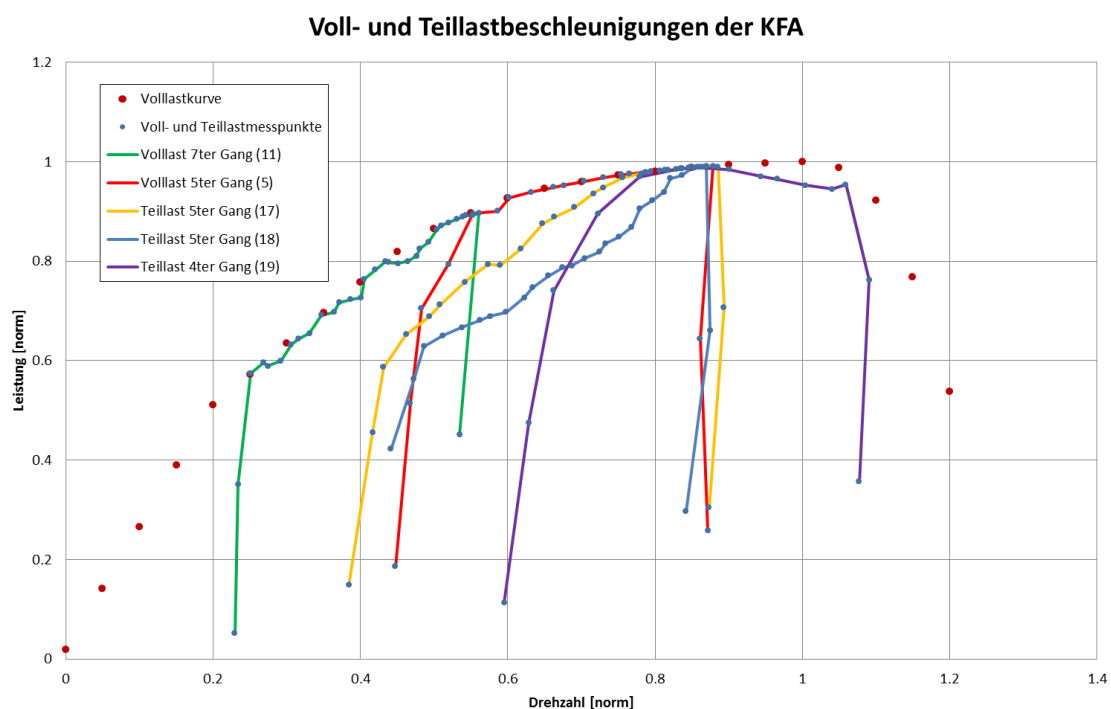


Abbildung 4-4: Lage der Messpunkte im Kennfeld der kombinierten Voll- und Teillastfahrten der KFA

In Abbildung 4-4 sind die ausgewählten Beschleunigungsfahrten in einem Motorkennfeld dargestellt. Eingetragen sind die Volllastkurve und alle ausgewählten Beschleunigungen. Messpunkte, welche mit einer Linie verbunden sind bedeuten einen einzelnen Beschleunigungsvorgang (von niedriger bis höherer Drehzahl). Gekennzeichnet sind die Beschleunigungen mit dem jeweiligen Index, welcher in der Legende in einer Klammer angefügt ist. Nimmt man so beispielsweise die grüne Linie, so ist dies die Volllastbeschleunigung im siebten Gang mit dem Index 11.

Die hohen Gänge sind für die Kennfeldauffüllung für den Volllastbereich im unteren Drehzahlbereich gedacht und die niedrigeren Gänge für den oberen Drehzahlbereich bis Nenndrehzahl und darüber. Die Teillastbeschleunigungen sind vom Drehzahlbereich gleich, nur durch die geringere Pedalstellung verlaufen die Messpunkte unterhalb der Volllastkurve, wodurch im Kennfeld ein gut bedeckter Bereich an der Volllastlinie entsteht.

Für die nachfolgenden gemessenen Strecken werden nun diese Messpunkte für den Versuch mit KFA für die Leistungsinterpolation und Kennfelderstellung am Ende des Fahrzyklus angefügt.

**Wichtig:** Für die Kennfelderstellung muss bei dem Fahrzyklus mit KFA eine 1 sekundliche Mittelung eingestellt werden, da sonst die tatsächlich gemessene Leistung über 3 Sekunden gemittelt eingetragen wird.

#### 4.1.4.2 Köflach und Köflach + KFA

Die Streckenverläufe der gefahrenen Strecken sind gleich der Strecken aus Kapitel 3.2. Der weitere Verlauf der Analyse ist ebenfalls gleich dem Kapitel, weshalb ich für eine genauere Beschreibung Analyse auf Kapitel 3.2 verweise.

In Abbildung 4-5 und Abbildung 4-6 sind die Lagen der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach und der Strecke Köflach + KFA abgebildet.

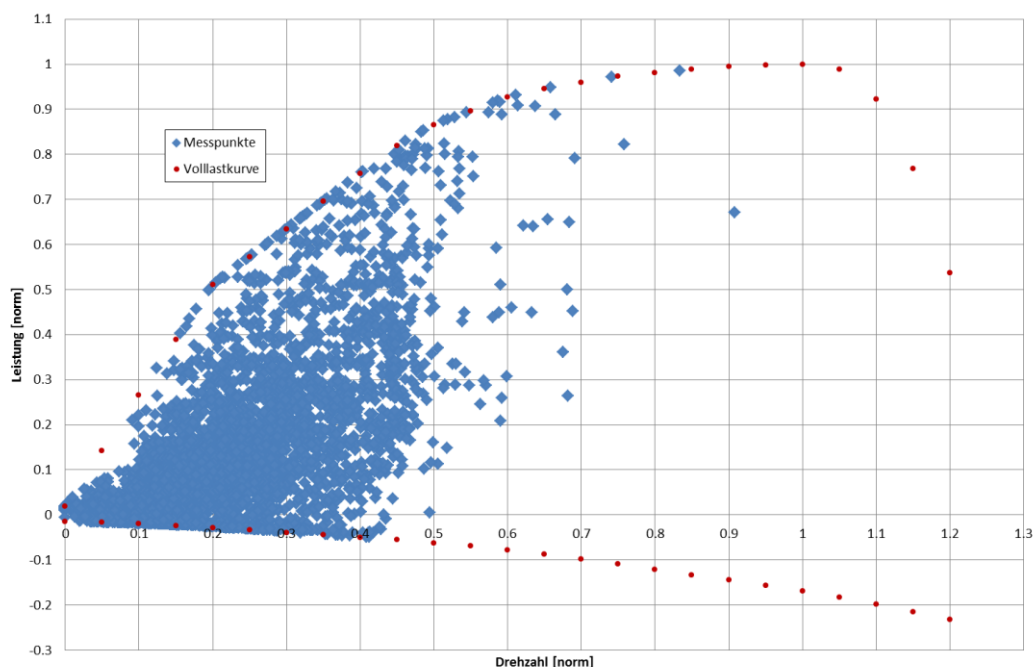


Abbildung 4-5: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach

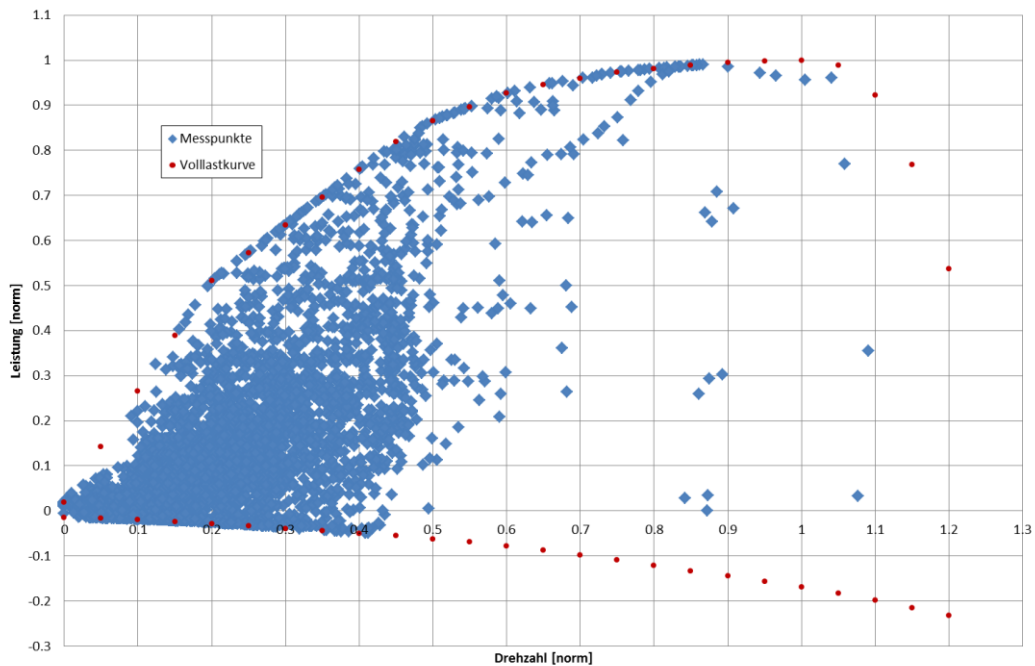


Abbildung 4-6: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach + KFA

Betrachtet man die Lagen der Messpunkte im Kennfeld so sind sie denen aus Kapitel 3.2.1 sehr ähnlich. Am meisten Unterschied erkennt man bei der Vollastkurve, da das zweite Versuchsfahrzeug eine etwas höher gelegene hat. Da die Strecke die gleiche ist befinden sich die Messpunkte ähnlich im Kennfeld, nur ein paar mehr Volllastpunkte sind schon ohne KFA ersichtlich. Bei dem Kennfeld mit KFA sind nur durch die hinzugefügten Beschleunigungsmessdaten Änderungen an der Vollastkurve ersichtlich.

Nach der erfolgten Leistungsinterpolation sind gleich die Kennfelder erstellt worden. Da sich NO<sub>x</sub>- und CO- Kennfelder nur von den Werten unterscheiden, und nicht von den interpolierten Stützstellen, habe ich die CO- Kennfelder in Anhang Kapitel 8.2.1 eingefügt. In Abbildung 4-7 und Abbildung 4-8 sind die NO<sub>x</sub>- Kennfelder dargestellt.

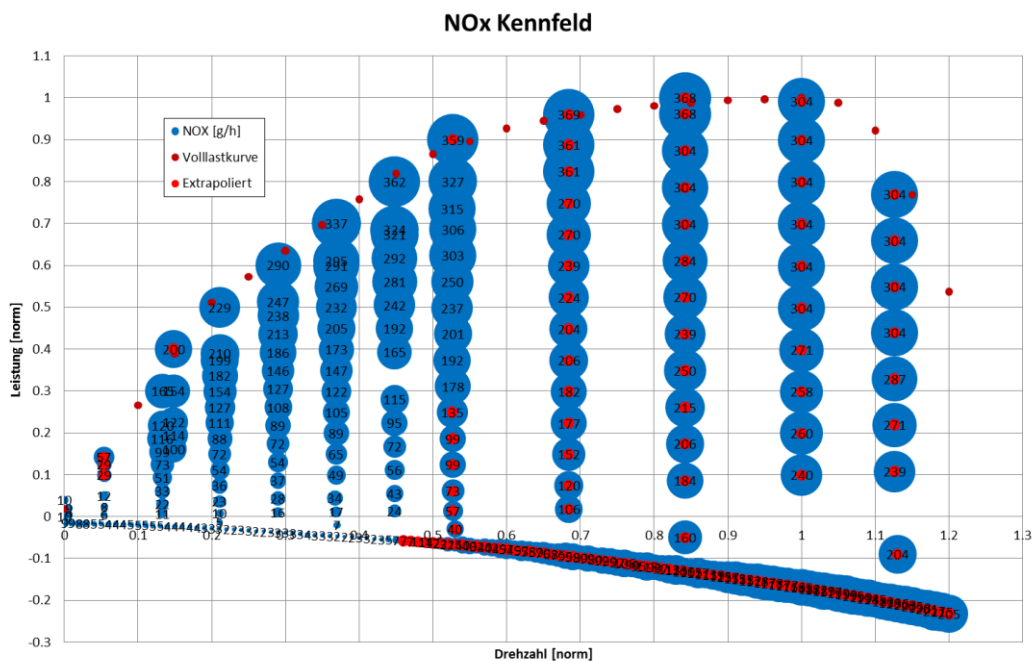


Abbildung 4-7: NO<sub>x</sub>- Kennfeld der Strecke Köflach



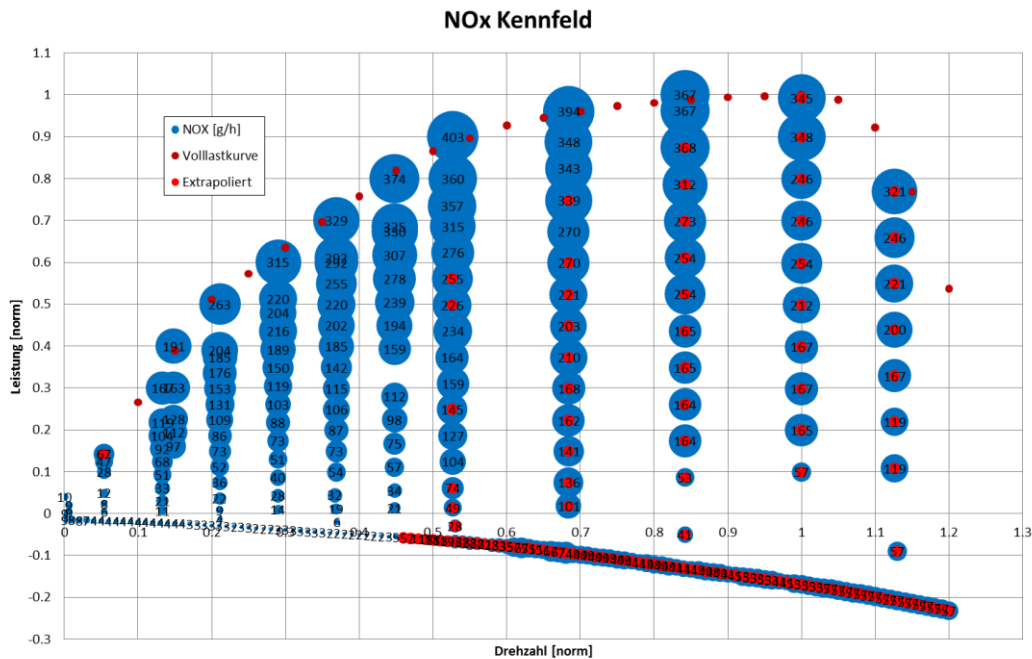


Abbildung 4-8: NOx- Kennfeld der Strecke Köflach + KFA

Bei dem Vergleich der ermittelten NO<sub>x</sub>- Kennfelder erkennt man die zusätzlich interpolierten Stützstellen bei der Strecke mit KFA der Vollastkurve entlang zur Nenndrehzahl. Dies sollte beim Nachrechnen einer dynamischen Strecke für eine höhere Genauigkeit der Emissionswerte bei Beschleunigungsvorgängen führen. Die leichten Werteunterschiede und so manche unterschiedlich interpolierte Stützstellen sind auf die unterschiedliche Mittelung bei der Kennfelderstellung zurückzuführen. Betrachtet man die Werte der Kennfelder so erkennt man, dass überall zur Vollastkurve hin die Emissionswerte steigen. Dies zeugt von einer guten Umsetzung der Rohdaten in das Kennfeld, welches am Programm PHEM und/oder dem neuen Messgerät M.O.V.E liegen wird.

Machen wir kurz einen Blick auf die CO- Kennfelder in Kapitel 8.2.1, so erkennt man gleiches wie bei den NO<sub>x</sub>- Kennfeldern, also eine gute Aufteilung der Werte im Kennfeld. Interpolierte Stützstellen sind jeweils die gleichen wie bei den NO<sub>x</sub>- Kennfeldern.

Betrachtet man die beiden Ries Strecken aus Kapitel 8.2.1, so erkennt man bei den NO<sub>x</sub>- Werten wenig Unterschied zu der oben angeführten Köflach Strecke. Einzig und allein das CO- Kennfeld der Ries1 und der Ries1+KFA Strecke haben im unteren Drehzahlbereich einen Bereich mit erhöhten CO- Werten, ansonsten sind die CO- Kennfelder der Ries Strecken der Köflach Strecke sehr ähnlich.

#### 4.1.5 Auswertung der Strecken

Die Auswertung des zweiten Versuchsfahrzeuges wird wieder gleich wie im vorherigen Kapitel 3.3 gemacht. Hauptaugenmerk ist jedoch nicht direkt auf die unterschiedlichen Kennfelder selbst, sondern auf die Unterschiede zwischen Kennfelder mit und ohne KFA. Für die grundsätzliche Beschreibung der Auswertung verweise ich auf Kapitel 3.3.

Bei der Auswertung des zweiten Versuchsfahrzeuges werden als Vorgabe, im Batch Modus des Simulationsprogrammes PHEM, für jedes einzelne Kennfeld aus Kapitel 4.1.4 Arbeitsdateien erstellt, welche bis auf die unterschiedlichen Kennfelder gleiche Fahrzeugdateien und Vollastkurven beinhalten. Die Fahrzeugdateien werden in der Längsdynamiksimulation mit gemittelten Werten für die Nebenaggregate bedatet. Zusätzlich dazu wurden die Fahrwiderstände über das in Kapitel 5.4 gezeigte Verfahren ermittelt und verwendet. Dies war für die zuvor gemachte Analyse nicht notwendig. Die Fahrzyklen

werden wieder im Reiter "Fahrzyklus" des Arbeitsfensters reingegeben.

Als zusätzliche Strecken, zur Überprüfung der Kennfeldauffüllung, sind die Strecke mit KFA und die der KFA selbst hinzugefügt worden. Dies soll zeigen, ob mit den extrapolierten Stützstellen der Kennfelder ohne KFA eine gute Nachsimulation der KFA Strecken möglich ist.

#### 4.1.5.1 Strecke Köflach

In Tabelle 4-3 ist die Auswertung der Strecke Köflach dargestellt.

Tabelle 4-3: Auswertung der Strecke Köflach

	Strecke	Kennfeld					
	Köflach	Köflach	Köflach + KFA	Ries 1	Ries 1 + KFA	Ries 2	Ries 2 + KFA
<b>CO<sub>2</sub>RDE [g/h]</b>	7030.77	6317.83	6317.83	6317.83	6317.83	6317.83	6317.83
<b>NO<sub>x</sub>RDE [g/h]</b>	63.46	59.36	58.76	55.35	55.74	60.26	59.75
<b>CO<sub>RDE</sub> [g/h]</b>	1.33	1.34	1.31	2.53	2.29	2.05	1.74

	Strecke	Kennfeld					
	Köflach	Köflach	Köflach + KFA	Ries 1	Ries 1 + KFA	Ries 2	Ries 2 + KFA
<b>CO<sub>2</sub>RDE [%]</b>	-	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%
<b>NO<sub>x</sub>RDE [%]</b>	-	-6%	-7%	-13%	-12%	-5%	-6%
<b>CO<sub>RDE</sub> [%]</b>	-	1%	-1%	90%	72%	54%	31%

Grundlegend erkennt man, dass die CO<sub>2</sub> Emissionen 10% Abweichung vom tatsächlich gemessenen Wert haben. Die etwas größere Abweichung ist auf viele einzelne Einflussfaktoren wie die Mittelung der Nebenaggregate oder die ungenaue simulatorische Berechnung der Fahrwiderstände zurückzuführen (da leider kein Ausrollversuch zur Verfügung stand).

Betrachtet man bei den normalen Streckenkennfeldern die NO<sub>x</sub> Ergebnisse, so erkennt man, dass alle die tatsächlich gemessenen NO<sub>x</sub> unterschätzen. Dies dürfte an zu niederen Fahrwiderständen oder einem zu geringen Leistungsbedarf der Nebenaggregate in der Simulation liegen, da ja auch der Verbrauch unterschätzt ist. Am genauesten kommt noch die Ries 2 Strecke ran, welche jedoch bei den Messungen um ca. 10°C kälter Umgebungsbedingungen vorliegen hatte. Bei den Streckenkennfeldern mit KFA ist im Vergleich zu den normalen Streckenkennfeldern eine leichte Änderung erkennbar, jedoch nicht in Richtung der gemessenen NO<sub>x</sub>- Emissionen.

Bei den CO- Emissionen erkennt man nur bei den Kennfeldern Köflach und Köflach mit KFA eine gute Nachsimulation. Die anderen Streckenkennfelder haben eine zum Teil relativ große Abweichung. Die Kennfelder mit KFA zeigen hierbei auch wieder eine leichte Änderung, diesmal jedoch in Richtung in der gemessenen CO- Emissionen.

Rollenprüfstandstests standen bei Fahrzeug 2 nicht zur Verfügung.

#### 4.1.5.2 Strecke Köflach mit KFA

Im Folgenden wird die Strecke Köflach mit KFA beschrieben. Ergebnisse befinden sich in Tabelle 4-4.

Tabelle 4-4: Auswertung der Strecke Köflach + KFA

	Strecke	Kennfeld					
	Köflach + KFA	Köflach	Köflach + KFA	Ries 1	Ries 1 + KFA	Ries 2	Ries 2 + KFA
<b>CO<sub>2</sub>RDE [g/h]</b>	7728.35	6978.29	6978.29	6978.29	6978.29	6978.29	6978.29
<b>NO<sub>x</sub>RDE [g/h]</b>	69.19	64.56	64.16	60.83	61.36	65.97	65.24
<b>CO<sub>RDE</sub> [g/h]</b>	1.43	1.47	1.45	2.76	2.42	2.72	1.89

	Strecke	Kennfeld					
	Köflach + KFA	Köflach	Köflach + KFA	Ries 1	Ries 1 + KFA	Ries 2	Ries 2 + KFA
<b>CO<sub>2</sub>RDE [%]</b>	-	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%
<b>NO<sub>x</sub>RDE [%]</b>	-	-7%	-7%	-12%	-11%	-5%	-6%
<b>CO<sub>RDE</sub> [%]</b>	-	3%	1%	93%	69%	90%	32%

Betrachtet man Tabelle 4-4 so erkennt man, dass alle Tendenzen gleich den obigen sind, wie jene in Tabelle 4-3 und dazu gehörende Auswertung. Durch Hinzufügen der KFA zur Strecke sind jedoch die gemittelten Emissionen überall etwas höher als in Tabelle 4-3.

Grund für die gleichen Unterschiede ist die Kürze der angefügten KFA. Die Strecke selbst hat in etwa 5760 Messwerte, die hinzugefügte KFA gerade einmal 125 Messwerte. Somit kommen die an der Volllastkurve liegenden Messpunkte bei der Nachsimulation durch die Mittelwertbildung nicht gut zur Geltung, und die Kennfelder mit und ohne KFA zeigen Gleiches wie oben bei der Strecke ohne KFA.

#### 4.1.5.3 Strecke KFA

Um den Extremfall darzustellen wird in der darauf folgenden Auswertung nur die KFA als Strecke herangezogen, Ergebnisse siehe Tabelle 4-5.

Tabelle 4-5: Auswertung der Strecke KFA

	Strecke	Kennfeld					
	KFA	Köflach	Köflach + KFA	Ries 1	Ries 1 + KFA	Ries 2	Ries 2 + KFA
<b>CO<sub>2</sub>RDE [g/h]</b>	40636.43	36712.86	36712.86	36712.86	36712.86	36712.86	36712.86
<b>NO<sub>x</sub>RDE [g/h]</b>	339.89	302.42	308.81	311.44	316.71	329.87	313.98
<b>CO<sub>RDE</sub> [g/h]</b>	6.24	7.40	7.36	13.13	8.17	33.11	8.05

	Strecke	Kennfeld					
	KFA	Köflach	Köflach + KFA	Ries 1	Ries 1 + KFA	Ries 2	Ries 2 + KFA
<b>CO<sub>2</sub>RDE [%]</b>	-	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%
<b>NO<sub>x</sub>RDE [%]</b>	-	-11%	-9%	-8%	-7%	-3%	-8%
<b>CO<sub>RDE</sub> [%]</b>	-	19%	18%	110%	31%	431%	29%

Bei der Simulation der Strecke KFA mit den verschiedenen Kennfeldern fallen die hohen Emissionswerte auf. Dies liegt natürlich daran, dass jetzt nur ca. 125 Messwerte nachsimuliert werden, und diese nur bei Voll- oder Teillastbeschleunigungen aufgezeichnet wurden.

Die CO<sub>2</sub> Werte liegen hoch wobei die relative Abweichung von 10% jedoch gleich wie bei den anderen simulierten Strecken ist.

Bei den NO<sub>x</sub>- Emissionen erkennt man bei den Kennfeldern Köflach mit KFA und Ries 1 mit KFA eine Verbesserung durch die angefügte KFA, wobei der Unterschied zu den gemessenen Emissionen der Strecke immer noch eine relative Abweichung von ca. 9% beträgt (11% relative Abweichung bei Kennfelder ohne KFA). Das Nachsimulieren mit dem Ries 2-Kennfeld berechnet im Gegensatz zu den anderen Kennfeldern ohne KFA höhere Werte als Ries 2 mit KFA. Dies kann man wieder auf die kalten Umgebungstemperaturen zurückführen, wobei dort die extrapolierten Werte in den oberen Lastbereichen bis hin zur Nenndrehzahl höher sind.

Betrachtet man die CO Emissionen so erkennt man, dass das Anfügen der KFA ein deutlich besseres Ergebnis bei den beiden Ries Strecken ergibt. Die Strecke Köflach kann gleich gut simuliert werden ob mit oder ohne KFA.

## 4.2 Versuchsfahrzeug 3

Anhand der Auswertung des zweiten Versuchsfahrzeuges wurden Möglichkeiten zu weiteren Verbesserungen erkannt, weshalb die Kennfeldauffüllung nochmals mit einem dritten Versuchsfahrzeug gemacht wurde. Die Analyse und die Auswertung der erstellten Kennfelder erfolgen gleich wie beim zweiten Versuchsfahrzeug, nur die Strecke der Kennfeldauffüllung wird geändert.

Für die weiterfolgende Analyse und Auswertung werden wieder die Fahrzeugdaten benötigt.

### 4.2.1 Volllastkurve

Abbildung 4-9 zeigt die Volllast- und Drehmomentenkurve des dritten Versuchsfahrzeuges.

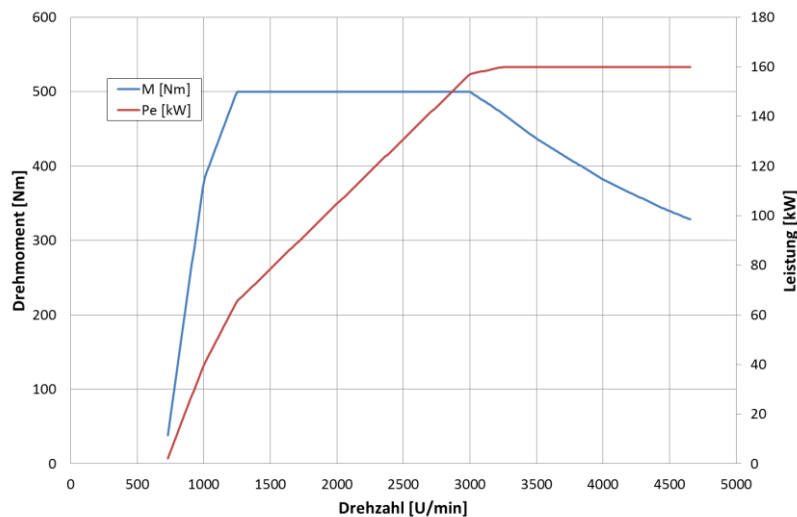


Abbildung 4-9: Volllastkurve des dritten Versuchsfahrzeuges [1]

## 4.2.2 Fahrzeugdaten

Die technischen Details zur Erstellung der Fahrzeugdatei sind in der nachfolgenden Tabelle 4-6 dargestellt.

Tabelle 4-6: Fahrzeugdaten des dritten Versuchsfahrzeuges [1]

<b>Motorisierung</b>		Sechszylinder V-Motor	
Schadstoffklasse	EURO 6		
Nennleistung	160 kW bei 3250 - 4750 U/min		
max. Drehmoment	500 Nm bei 1250 - 3000 U/min		
Hubraum	2967 cm <sup>3</sup>		
Nenn Drehzahl	4000 U/min		
Leerlaufdrehzahl	730 U/min		
<b>Kraftübertragung</b>		8 Gang Automatikgetriebe	
Achsübersetzung	2.848		
1. Gang	4.714	5. Gang	1.285
2. Gang	3.143	6. Gang	1.000
3. Gang	2.106	7. Gang	0.839
4. Gang	1.667	8. Gang	0.667
Reifendimension	285/45 R20		
<b>Fahrzeugdaten</b>			
Kraftstoff	Diesel		
Stirnfläche	2.86 m <sup>2</sup>		
Leergewicht	2060 kg		

## 4.2.3 Basis- Verbrauchskennfeld

Anhand des Basis- Verbrauchskennfeldes aus Kapitel 2.4.2 und der Motornennleistung aus Tabelle 4-6 kann hier das Verbrauchskennfeld des zweiten Versuchsfahrzeuges erstellt werden, siehe Abbildung 4-10.

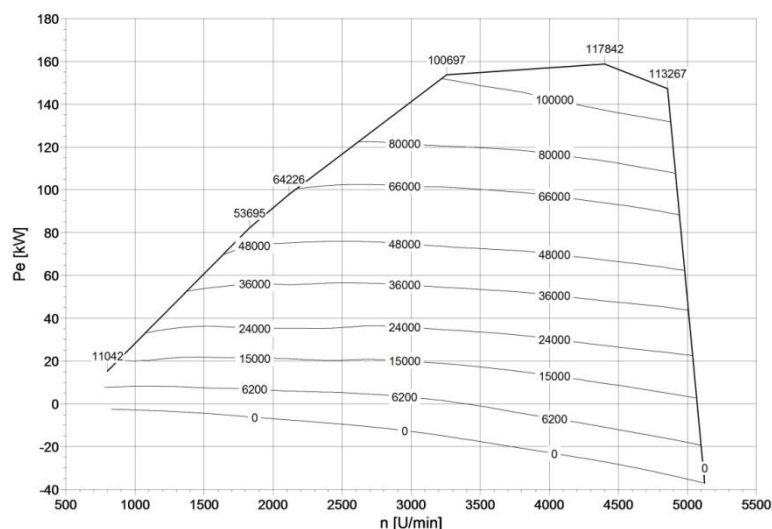


Abbildung 4-10: Verbrauchskennfeld des dritten Versuchsfahrzeuges

#### 4.2.4 Analyse ausgeführter RDE Tests

Für die Analyse werden jetzt nur mehr die Fahrzyklen benötigt. Die Kennfeldauffüllung des zweiten Versuchsfahrzeuges wurde auf der Autobahn Richtung Mooskirchen gefahren, wobei nur manche Beschleunigungsfahrten herausgenommen wurden, siehe Kapitel 4.1.4, Tabelle 4-2 und Abbildung 4-4. Um nicht wieder sehr viele Beschleunigungsvorgänge durchzuführen, wurde nach einer kürzeren Strecke gesucht, auf welcher die notwendigen Kennfeldpunkte abgefahren werden können.

Daten und Fakten der alten Kennfeldauffüllung:

- Die Strecke zum Herausfahren der KFA Punkte beträgt ca. 20 km
- Die typische Länge, die rein für eine KFA nötig ist, beträgt 3,9 km
- Gefahrene Zeit für die typische Länge der KFA (ohne Verzögern nach den Beschleunigungen) beträgt 123 Sekunden

Da eine Autobahnfahrt mehr Vorteile als eine Land- oder Bundesstraße hat, wurde nach kurzer Überlegung die Anfahrt gleichgelassen und die Südautobahn Richtung Lassnitzhöhe betrachtet. Diese Streckenführung ist in Abbildung 4-11 dargestellt.

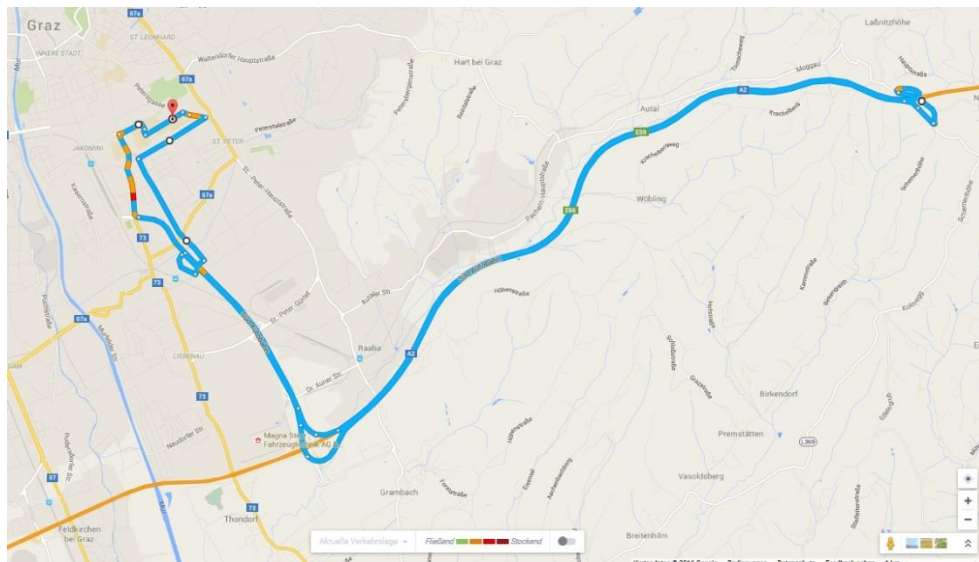


Abbildung 4-11: Streckenverlauf der Strecke Kennfeldauffüllung neu [9]

Daten der neuen Strecke für die Kennfeldauffüllung (Knoten Graz Ost bis Lassnitzhöhe):

- Strecke beträgt in eine Richtung ca.10km
- In Richtung Lassnitzhöhe eine leichte Steigung
- Kurzer Anfahrtsweg bis hin zum Knoten Graz Ost

Auf dieser Strecke sollten sich somit die notwendigen Beschleunigungen gut ausgeben.

Für die nachfolgende Analyse und Auswertung wurden zwei RDE Beschleunigungsfahrten absolviert. Im Folgenden werden KFA 1 für den ersten Versuch der Kennfeldauffüllung bei neuer Strecke und KFA 2 für den zweiten Versuch der Kennfeldauffüllung bei neuer Strecke bezeichnet. Beginn der Messung war jeweils beim Knoten Graz Ost und Ende der Messung Lassnitzhöhe. Da die Messung spontan angefallen ist war nicht genug Zeit um alle Parameter sorgfältig heraus zu suchen, weshalb die Nenndrehzahl falsch angenommen wurde. Anstelle der 4000U/min als Nenndrehzahl wurde 3250U/min angenommen, weshalb die Beschleunigungsfahrten nicht bis auf die Nenndrehzahl kommen. In Tabelle 4-7 sind die gefahrenen Voll- und Teillastbeschleunigungen der KFA 2 dargestellt.

Tabelle 4-7: Voll- und Teillastbeschleunigungen der KFA 2

	Gang [-]	Geschwindigkeit		Index [-]
		von [km/h]	bis [km/h]	
Volllastbeschl.	5	85	135	1
	5	95	125	2
	6	95	150	3
	6	105	140	3
Teillastbeschl.	7	105	135	5
	7	95	145	6
	6	95	130	7
	6	80	130	8

Nach der Leistungsinterpolation kann die Lage der Messpunkte der gefahrenen Beschleunigungen in einem Kennfeld dargestellt werden, siehe Abbildung 4-12.

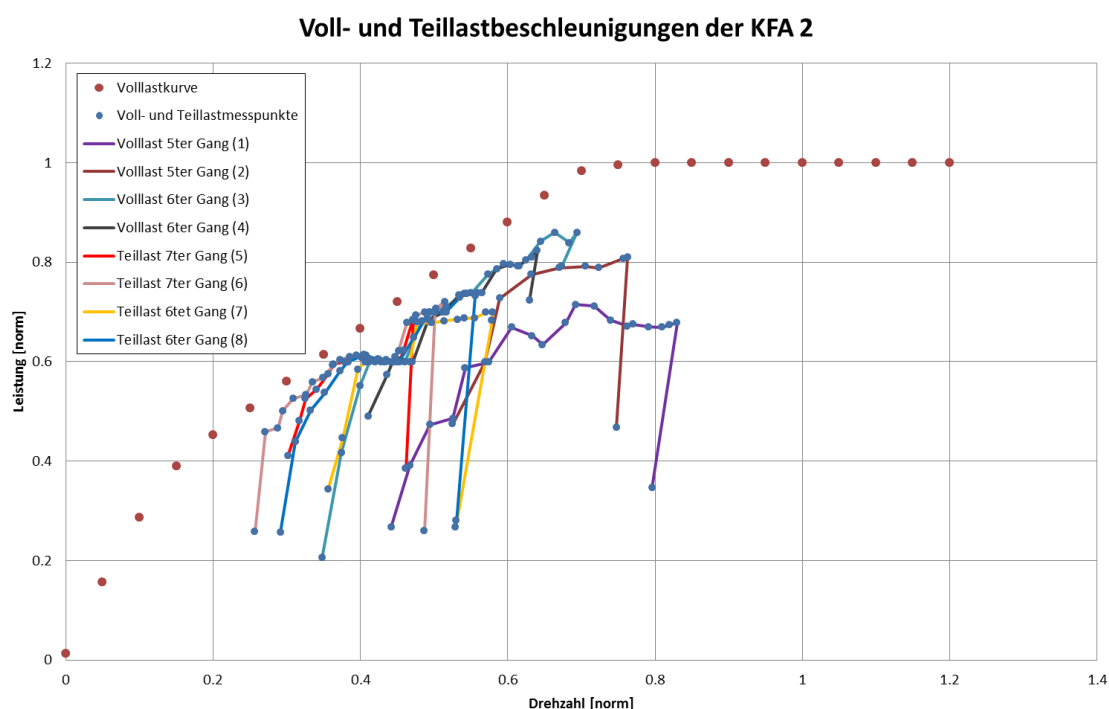


Abbildung 4-12: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Voll- und Teillastbeschleunigungen der KFA 2

Eingetragen sind die Volllastkurve und alle Beschleunigungsfahrten wie oben dargestellt in Tabelle 4-7. Messpunkte, welche mit einer Linie verbunden sind bedeuten einen einzelnen Beschleunigungsvorgang (von niedriger bis höherer Drehzahl). Gekennzeichnet sind die Beschleunigungen mit dem jeweiligen Index, welcher in der Legende in einer Klammer angefügt ist. Durch die falsche Abschätzung der Nenndrehzahl erkennt man hier, dass die Beschleunigungsfahrten gerade mal nur bis knapp über 0,8 kommen.

Für die folgende Analyse wurde in weiterer Folge bei einer Strecke, hier ist es die Strecke Köflach, einmal die KFA 1 und ein weiteres Mal die KFA 2 angefügt. Somit gibt es 3 Strecken. Aus diesen 3 Strecken werden im Folgenden die Emissionskennfelder erstellt.

**Wichtig:** Bei den Strecken mit KFA wurde für die Kennfelderstellung wieder eine 1 Sekunden Mittelung im Simulationsprogramm eingestellt.

Wie schon am Anfang des Kapitel 4 erwähnt, werden in der Analyse nur die groben Änderungen betrachtet. Für die Emissionskennfelder verweise ich auf den Anhang, siehe Kapitel 8.3.1.

#### 4.2.5 Auswertung der Strecken

Die Auswertung des dritten Versuchsfahrzeuges erfolgt gleich wie die des zweiten Versuchsfahrzeuges im vorherigen Kapitel 4.1.5. Hauptaugenmerk ist wieder auf die Unterschiede zwischen Kennfeld mit und ohne KFA gerichtet.

Für die Auswertung des dritten Versuchsfahrzeuges werden wieder im Batch Modus des Simulationsprogrammes PHEM, für jedes einzelne Streckenkennfeld aus Kapitel 8.3.1 Arbeitsdateien erstellt, welche bis auf die unterschiedlichen Kennfelder gleiche Fahrzeugdateien und Vollastkurven beinhalten. Die Fahrzeugdateien werden in der Längsdynamiksimulation mit gemittelten Werten für die Nebenaggregate bedatet. Zusätzlich dazu wurden die Fahrwiderstände über das in Kapitel 5.4 gezeigte Verfahren ermittelt und verwendet. Dies war für die zuvor gemachte Analyse nicht notwendig. Die Fahrzyklen werden wieder im Reiter "Fahrzyklus" des Arbeitsfensters reingegeben.

Wie schon beim zweiten Versuchsfahrzeug werden wieder drei zusätzliche Strecken zur Überprüfung hinzugefügt:

- Strecke Köflach + KFA 1
- Strecke KFA 1
- Strecke KFA 2

Im Folgenden werden die Auswertungen der Strecke Köflach + KFA 1 und KFA 2 dargestellt und beschrieben. Alle Weiteren Auswertungen sind in Kapitel 8.3.2 angefügt.

##### 4.2.5.1 Strecke Köflach + KFA 1

In Tabelle 4-8 ist die Auswertung der Strecke Köflach + KFA 1 dargestellt.

Tabelle 4-8: Auswertung der Strecke Köflach + KFA 1

	Strecke	Kennfeld		
	Köflach + KFA 1	Köflach	Köflach + KFA 1	Köflach + KFA 2
<b>CO<sub>2</sub>RDE [g/h]</b>	11363.02	10764.25	10764.25	10764.25
<b>NO<sub>x</sub>RDE [g/h]</b>	7.42	7.57	8.54	7.91
<b>CO<sub>RDE</sub> [g/h]</b>	2.56	2.90	2.82	2.83

	Strecke	Kennfeld		
	Köflach + KFA 1	Köflach	Köflach + KFA 1	Köflach + KFA 2
<b>CO<sub>2</sub>RDE [%]</b>	-	-5%	-5%	-5%
<b>NO<sub>x</sub>RDE [%]</b>	-	2%	15%	6%
<b>CO<sub>RDE</sub> [%]</b>	-	13%	10%	11%

Bei den CO<sub>2</sub> Emissionen erkennt man eine 5%ige Abweichung des simulierten Emissionswertes. Im Vergleich zu den Auswertungen der vorherigen Versuchsfahrzeuge kommen hier die CO<sub>2</sub> Werte näher an die gemessenen. Dies deutet auf eine bessere Übereinstimmung der realen und simulierten Fahrwiderstände und Nebenaggregate.

Betrachtet man die NO<sub>x</sub>- und CO- Emissionen, so sind sich die simulierten und die tatsächlich gemessenen Werte sehr ähnlich. Einzig und allein die NO<sub>x</sub>- Emissionen des Kennfeldes Köflach mit KFA 1 werden schlechter nachsimuliert.



#### 4.2.5.2 Strecke KFA 2

Um den Extremfall darzustellen wird in der darauf folgenden Auswertung nur die Strecke KFA 2 nachgerechnet, siehe Tabelle 4-9

Tabelle 4-9: Auswertung der Strecke KFA 2

	Strecke	Kennfeld		
	KFA 2	Köflach	Köflach + KFA 1	Köflach + KFA 2
<b>CO<sub>2</sub>RDE [g/h]</b>	66465.93	62493.82	62493.82	62493.82
<b>NO<sub>x</sub>RDE [g/h]</b>	91.45	63.87	103.93	83.59
<b>CO<sub>RDE</sub> [g/h]</b>	9.95	12.46	11.90	10.99

	Strecke	Kennfeld		
	KFA 2	Köflach	Köflach + KFA 1	Köflach + KFA 2
<b>CO<sub>2</sub>RDE [%]</b>	-	-6%	-6%	-6%
<b>NO<sub>x</sub>RDE [%]</b>	-	-30%	14%	-9%
<b>CO<sub>RDE</sub> [%]</b>	-	25%	20%	10%

Es fallen hier sofort die hohen CO<sub>2</sub>- Emissionswerte auf. Diese lassen sich jedoch durch die nur rund 130 simulierten Messpunkte, welche an der Volllastkurve liegen beschreiben. Die relative Abweichung beträgt jedoch gerade einmal 6%.

Bei den NO<sub>x</sub>- Emissionen erkennt man beim Kennfeld Köflach eine sehr große Abweichung von 30%. Mit den hinzugefügten KFA werden die Ergebnisse deutlich besser, jedoch kann man nicht von genau sprechen. So hat das Kennfeld der Strecke Köflach + KFA 1 eine relative Abweichung von 14% und die der Köflach + KFA 2 von 9%.

Betrachtet man die CO- Emissionen, so werden diese von allen Kennfeldern überschätzt. Am besten kommt man bei der Simulation mit dem Kennfeld der Strecke Köflach + KFA 2 nach. Dies ist gut möglich, da hier Messpunkte simuliert werden, welche vorher zur Kennfelderzeugung verwendet worden sind.

### 4.3 Zusammenfassung

Anhand der Auswertung des zweiten und dritten Versuchsfahrzeuges erkennt man, dass die NO<sub>x</sub>- Emissionen bei den Streckenkennfeldern mit KFA keine besseren Ergebnisse liefern, außer es handelt sich um die Simulation von Volllast- Beschleunigungsfahrten. Bei den CO- Emissionen erkennt man bei beiden Versuchsfahrzeugen eine Verbesserung der simulierten Werte, vor allem bei der Simulation der reinen Volllast- Beschleunigungsstrecke.

Grundlegend sei also zu sagen, dass die Strecken ohne Kennfeldauffüllung mit den extrapolierten Stützstellen größtenteils gute Simulationsergebnisse liefern. Die angefügte Kennfeldauffüllung hat am meisten Verbesserungspotential bei der Simulation von Volllast- Beschleunigungsfahrten.

Somit stellt sich grundlegend die Frage, ob sich die zum Teil geringen Vorteile einer Kennfeldauffüllung für die zusätzliche Fahrt der Kennfeldauffüllung auszahlen.

## 5 Parametrisierung der Fahrzeugmodelle

Unter Parametrisierung der Fahrzeugmodelle versteht man die Bestimmung der Fahrzeugparameter. Die meisten Parameter wie z.B. Masse, Leistung und Übersetzung sind in Kapitel 2.1.1 schon definiert und berechnet worden. Andere, und durchaus sehr wichtige wie Nebenaggregatsverbrauch und Fahrwiderstände, sind hierbei noch nicht direkt besprochen worden, welche aber für die Simulation von großer Bedeutung sind.

Im Folgenden wird nun auf die Berechnung der Leistungen mittels Simulationsprogramm und Fahrzeuglängsdynamikberechnung eingegangen. Weiters werden in den nachfolgenden Unterkapiteln 5.2 bis 5.4 drei mögliche Methoden für die Bestimmung der Fahrwiderstände beschrieben.

### 5.1 Leistungs- und Nebenaggregatsberechnung

Wie schon in Kapitel 3.5.4 beschrieben, war bei den Leistungsnachrechnungen in manchen Bereichen die berechnete Leistung zu niedrig. Die Leistungsnachrechnung besteht einerseits aus der Bestimmung der effektiven Leistung über das Simulationsprogramm PHEM aus Drehzahl und CO<sub>2</sub>, andererseits über die Längsdynamikberechnung berechnet über die einzelnen Leistungen von Fahrwiderstand bis Motorträgheit. Da die Abweichungen der Leistungen größtenteils an den Fahrwiderständen und an den Nebenaggregaten liegen, wird auf dessen Bestimmung in den folgenden 3 Unterkapitel Einsicht genommen.

Für die Leistungsberechnung wurden die nachfolgenden Gleichungen (5–1) und (5–2) verwendet, siehe auch Kapitel 3.5.4.

$$n, CO_2 \xrightarrow{\text{Leistungsinterpolation (siehe Kapitel 2.4.2)}} P_{eCO_2} \quad (5-1)$$

$$P_{eLängsdynamik} = (P_{\text{Fahrwiderstand}} + P_a + P_{\text{Steigung}}) \cdot \frac{1}{\eta} \cdot 0.9 + P_{aEng} + P_{Aux} \quad (5-2)$$

$$P_a = m_{\text{Fahrzeug}} \cdot \Lambda \cdot a \cdot v = 1.03 \cdot m_{\text{Fahrzeug}} \cdot a \cdot v \quad (5-3)$$

$$P_{\text{Fahrwiderstand}} = (R_0 + R_1 \cdot v + R_2 \cdot v^2) \cdot v \quad (5-4)$$

$$P_{\text{Steigung}} = m_{\text{Fahrzeug}} \cdot g \cdot \frac{Stg}{100} \cdot v \quad (5-5)$$

$$P_{aEng} = I_{Motor} \cdot \omega \cdot \alpha = 0.0066 \cdot P_{Nenn} \cdot \omega \cdot \alpha \quad (5-6)$$

$$P_{Aux} = \frac{P_0}{100} \cdot P_{Nenn} \quad (5-7)$$

Gleichung (5–1) zeigt die Leistungsberechnung im Programm PHEM, ermittelt aus Drehzahl und CO<sub>2</sub>- Massenemissionsstrom (genauere Details zur Leistungsberechnung siehe Kapitel 2.4.2).

Gleichung (5–2) zeigt die Berechnung aus der Fahrzeuglängsdynamik, wie sie das Programm PHEM für die Leistungsbestimmung heranzieht, wenn im Fahrzyklus Geschwindigkeit und Steigung vorgegeben werden. Die Gleichungen (5–3) bis (5–7) zeigen die Berechnung der einzelnen Teilleistungen wobei für  $I_{Motor}$ ,  $\Lambda$  und  $P_0$  generische Werte verwendet werden.

In Abbildung 5-1 sind die beiden Leistungsverläufe gegenübergestellt. Da die Darstellung der gesamten Strecke unübersichtlich ist, wird nur ein Teil aus der gesamten Strecke dargestellt.

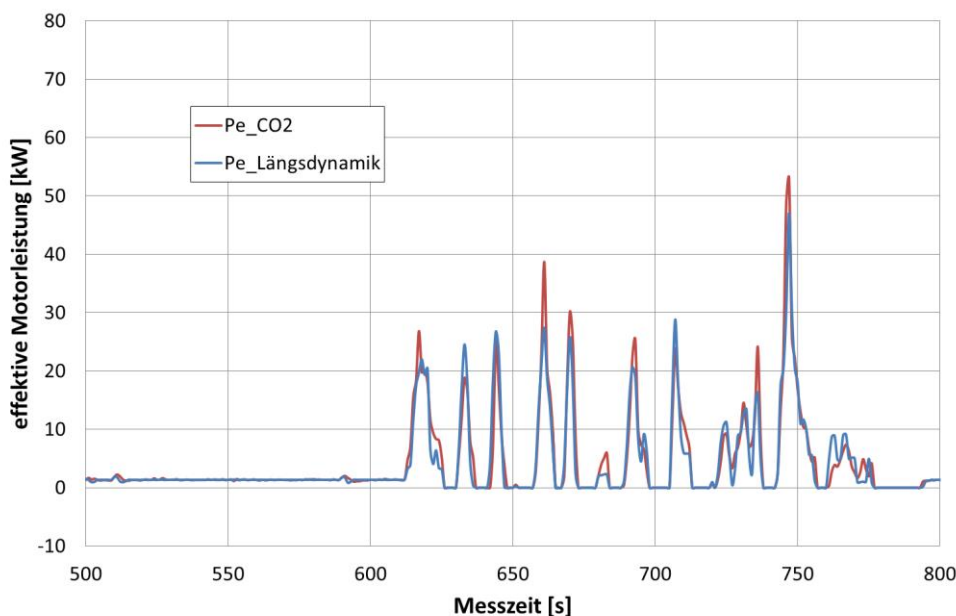


Abbildung 5-1: Leistungsnachrechnung der Strecke Köflach mit Versuchsfahrzeug 2

Man erkennt, dass beide Kurven sich grundsätzlich gut decken. An einigen Stellen ist jedoch der Unterschied höher, weshalb man versucht, diese Unterschiede zu minimieren. Exakt verlaufende Leistungskurven sind jedoch beinahe unmöglich, da viele Ungenauigkeiten schon bei der Messung der Emissionsdaten und aller anderen Parameter, sowie bei dem Nachrechnen der Leistung bestehen.

In den nachfolgenden Unterkapitel 5.2 bis 5.4 werden verschiedene Möglichkeiten der Bestimmung der Fahrwiderstände beschrieben. Die Bestimmung der Nebenaggregatsleistung ist mit diesen Verfahren nicht möglich und zum Teil Voraussetzung für die Berechnung der Fahrwiderstände, weshalb ich diese hier gleich anführe.

Für die Bestimmung der Nebenaggregatsleistung wurden nur die beiden Leistungsverläufe herangezogen. Befindet man sich mit dem Auto gerade im Leerlauf, so hat man keine Beschleunigungen oder Geschwindigkeiten, weshalb alle Verlustleistungen, bis auf die der Nebenaggregate Null werden ( $P_{eLängsdynamik} = P_{Aux}$ ). Verändert man  $P_0$  soweit, dass sich beide Leistungslinien, also die der Längsdynamikberechnung und die der mit CO<sub>2</sub>- Kennfeld berechneten Linie, schneiden, so kann man durch umrechnen auf die Nebenaggregatsleistung schließen, siehe Abbildung 5-1 (Intervall: Sekunde 500 bis 600). Diese beläuft sich auf ungefähr 0 bis höchstens 3kW, außer es werden zusätzliche Nebenaggregate wie z.B. Klimaanlage eingeschaltet, dann sind diese Werte zum Teil höher. Eine Unsicherheit ergibt sich dabei insbesondere, wenn die Nebenaggregate bedarfsgesteuert sind und im Leerlauf z.B. weniger Leistung aufnehmen als im Schub.

Die weiteren Kapitel beinhalten die Bestimmung der Fahrwiderstände.

## 5.2 Ausrollversuch

Beim Ausrollversuch wird das Fahrzeug auf eine definierte Geschwindigkeit gebracht und dann ausgerollt. Dies erfolgt durch auskuppeln. Ist ausgekuppelt, so sind die Trägheitskräfte des Fahrzeuges gleich der Summe der Widerstandskräfte aus Luft und Rollreibung ( $\sum_i F = 0$ ), sowie Verluste in Radlager und Achse. Aufgezeichnet wird lediglich die sekundliche Geschwindigkeit.

Um genaue Widerstandswerte zu erhalten bedarf es genormter Umgebungsbedingungen wie:

1. Windstille
2. Ebene Strecke
3. Normtemperatur und Norm- Luftdruck (20°C und 1 bar)

Da diese Umgebungsbedingungen nur selten so auftreten, so kann man für eine korrekte Bestimmung der Fahrwiderstände auf die genormten Bedingungen zurückrechnen. Nähere Details befinden sich hierfür in der Literatur [10].

In Abbildung 5-2 ist der Geschwindigkeitsverlauf eines Ausrollversuches schematisch dargestellt.

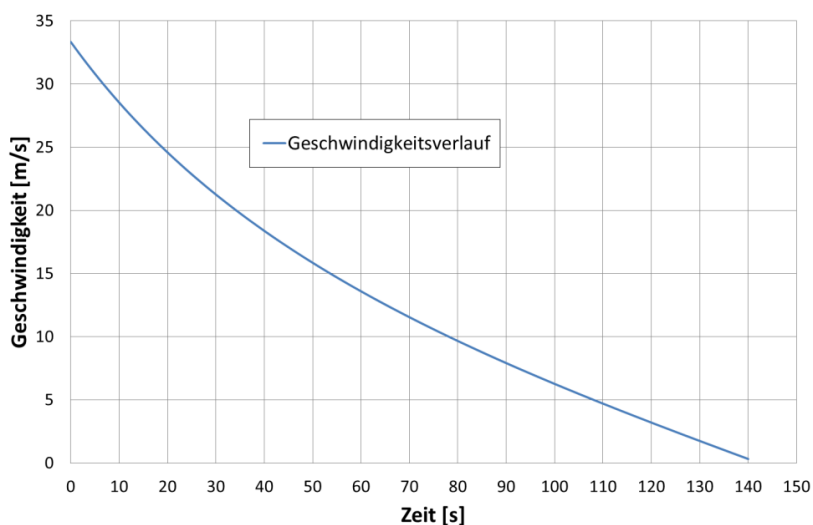


Abbildung 5-2: Geschwindigkeitsverlauf eines Ausrollversuches

Aus dem gemessenen Geschwindigkeitsverlauf werden in weiterer Folge in 10 km/h Intervallen die Beschleunigungen berechnet. Werden diese mit der Fahrzeugmasse multipliziert so ergibt dies im Groben die Summe aus Luft und Rollwiderstand. Trägt man dies über die Geschwindigkeit auf und legt ein Ausgleichspolynom 2ter Ordnung hinein, so kann man die Roll- und Luftwiderstände ablesen, siehe Abbildung 5-3.

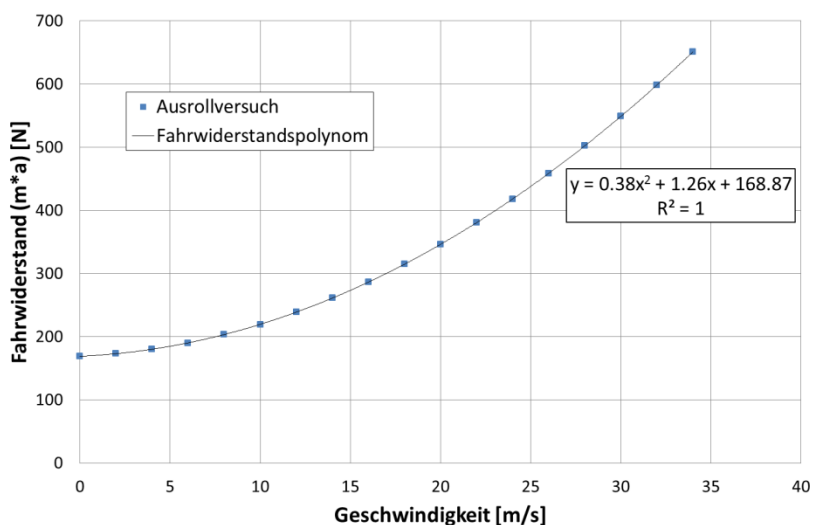


Abbildung 5-3: Fahrwiderstandspolynom eines Ausrollversuches

In Abbildung 5-3 ist auch ein Fahrwiderstandspolynom reingelegt worden, welches alle Punkte bestmöglich miteinander verbindet. Die Funktion dieser Kurve beschreibt nun die einzelnen Roll- und Luftwiderstandskoeffizienten.

So erhalten wir z.B. aus Abbildung 5-3 die Fahrwiderstandsgleichung, siehe Gleichung (5–8).

$$F_{\text{Fahrwiderstand}} = (R_0 + R_1 \cdot v + R_2 \cdot v^2) = (168.87 + 1.26 \cdot v + 0.38 \cdot v^2) \quad (5-8)$$

Bei vielen Versuchsfahrzeugen besitzt man keinen Ausrollversuch weshalb man versucht, über eine Berechnung darauf zu schließen, um sich so einen extra Ausrollversuch zu ersparen. Diese Versuche sind in den folgenden Kapiteln angeführt.

### 5.3 Fahrwiderstandspolynom über effektive Leistung

Um rechnerisch auf die Fahrwiderstände zu kommen wurde in diesem Versuch über eine Strecke von der interpolierten effektiven Motorleistung auf die Fahrwiderstände zurückgerechnet. Um die Fahrwiderstände zu ermitteln wird Gleichung (5–2) umgestellt, siehe Gleichung (5–9).

$$F_{\text{Fahrwiderstand}} = \frac{\left[ (P_{e\text{CO}_2} - P_{a\text{Eng}} - P_{\text{Aux}}) \cdot 0.9 - P_a - P_{\text{Steigung}} \right]}{v} \quad (5-9)$$

Trägt man nun die sekundlichen Werte der Fahrwiderstandskraft über die Geschwindigkeit auf, so erhält man Abbildung 5-4.

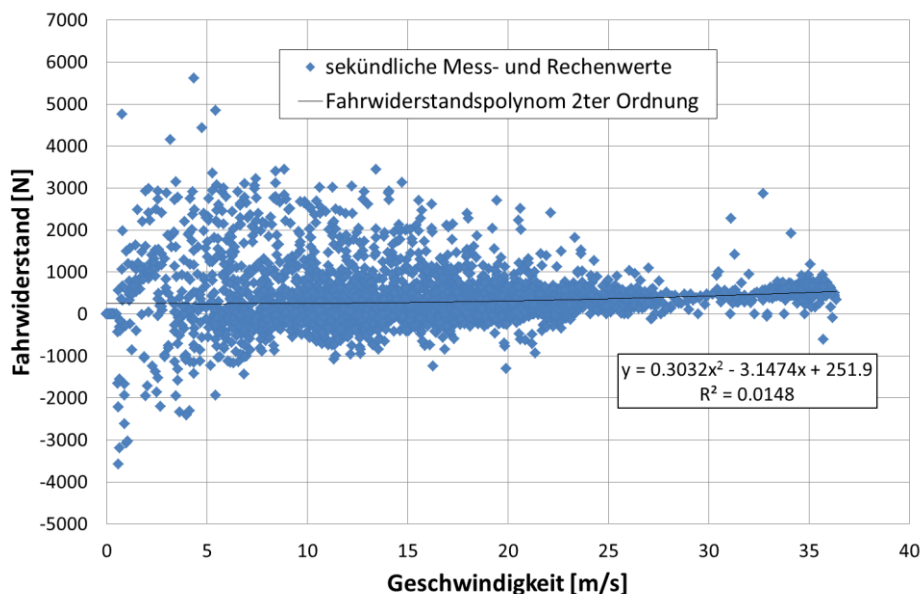


Abbildung 5-4: Fahrwiderstandspolynom berechnet über die effektive Leistung über CO2 Methode

Im perfekten Fall ergibt das ein Fahrwiderstandspolynom 2ter Ordnung wie in Abbildung 5-3, wobei eine leichte Streuung durchaus möglich ist. Jedoch ist im Falle der Abbildung 5-4 die Streuung nicht klein, sondern sehr groß. Dies wird durch das  $R^2$ , das sogenannte Bestimmtheitsmaß, angegeben. Dieses Bestimmtheitsmaß ist ein Wert zwischen 0 und 1 wobei 1 bedeutet, dass alle Werte auf der eingezeichneten Fahrwiderstandskurve liegen. In diesem Fall ist das  $R^2=0.0148$ , dies bedeutet eine sehr schlechte Korrelation, weshalb sich die Bestimmung der Fahrwiderstände mit Hilfe dieses Verfahrens nicht gut eignet. Ursache dürften dafür die ungenaue Fahrbahnneigung aus den GPS- Signal, Wind und ungenaue zeitliche Zuordnung von CO2 und Geschwindigkeit sein.

## 5.4 Vergleich der effektiven Leistungen

Ein weiterer Versuch stellt den Vergleich der effektiven Motorleistungen dar. Hierfür wird einerseits die effektive Leistung über Drehzahl und CO<sub>2</sub> mit PHEM berechnet, siehe Formel (5-1), andererseits wird die effektive Leistung über die Fahrzeuglängsdynamik von den Fahrwiderständen bis hin zur effektiven Motorleistung bestimmt, siehe Formel (5-2). Berücksichtigt werden hier jedoch nur positive Leistungen, die negativen werden 0 gesetzt.

Trägt man die berechnete Leistung der Fahrzeuglängsdynamikrechnung über die berechnete Leistung mittels PHEM auf, so bekommt man Abbildung 5-5.

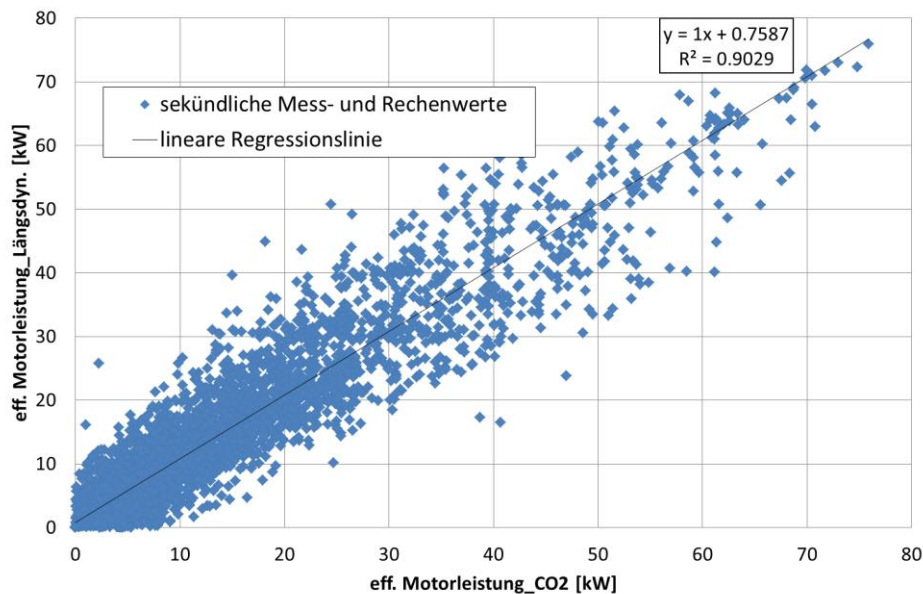


Abbildung 5-5: Vergleich der effektiven Motorleistungen

Eingetragen ist ebenfalls wieder eine Regressionslinie, welche mit der Steigungsfunktion einer Gerade und dem Bestimmtheitsmaß  $R^2$  angegeben ist. Um nun auf ein besseres Ergebnis als im vorherigen Kapitel 5.3 zu kommen, wird mittels einer Geradenfunktion im Excel (RGP) die Steigungsfunktion wiedergegeben. Mittels des “Solver“ werden danach im Excel gewählte Parameter, in diesem Fall  $R_0$ ,  $R_1$  und  $R_2$  in definierten Bereichen soweit verändert, sodass die Steigungsfunktion der Regressionslinie annähernd die Geradenfunktion  $y=x$  berechnet. Dies wäre dann eine 45° Linie im Diagramm.

In der dargestellten Abbildung 5-5 ist der Vergleich der effektiven Leistungen einer Strecke dargestellt. Es wurden dort schon mittels des Solver die Widerstandsparameter so verändert, dass eine minimale Abweichung zur Geradenfunktion  $y=x$  entsteht. Betrachtet man die Gerade, so verläuft sie im 45° Winkel, jedoch nicht durch den Nullpunkt. Das Bestimmtheitsmaß ist 0.9029 was eine gute Übereinstimmung der Punkte mit der Regressionslinie widerspiegelt.

Somit hat man einen guten Ansatz für die Fahrwiderstände. Für die Beurteilung, ob diese auch tatsächlich stimmen oder sich in der Nähe realer Fahrwiderstände befinden, wäre allerdings eine Überprüfung mittels eines Ausrollversuches notwendig.

## 5.5 Zusammenfassung

Grundsätzlich wird angenommen, dass ein Ausrollversuch die genauesten Roll- und Luftwiderstände wiedergibt. Da jedoch nur in den seltensten Fällen ein solcher vorhanden ist, besteht ein besonderes Interesse für die Bestimmung direkt über eine gemessene Strecke, da diese Daten schon vorhanden sind.

Mit dem oben angeführten Vergleich der effektiven Leistungen scheint eine realistische Aussage über die Fahrwiderstände möglich, jedoch wäre eine Validierung mit einem Ausrollversuch des gleichen Versuchsfahrzeuges notwendig. Dies war jedoch im Rahmen dieser Masterarbeit nicht mehr möglich, weshalb mittlerweile schon daran gearbeitet wird.

## 6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Durch die Einführung des neuen Testverfahrens, dem sogenannten RDE, sollen in Zukunft realitätsnähere Emissionen erfasst werden. Um nicht noch zusätzlich Rollentests für die Bedatung der Simulationssoftware PHEM abzufahren, wurde in dieser Masterarbeit die Möglichkeit der Bedatung mittels RDE Messdaten untersucht. Betrachtet man hierfür die einzelnen Ergebnisse so kann man grundsätzlich die Aussage treffen, dass die Einbindung in das Programm PHEM gut funktioniert.

Für die Leistungsbestimmung wurde das anfänglich verwendete HBEFA Verbrauchskennfeld, ein Kennfeld berechnet aus Rollentests an einer Vielzahl an Fahrzeugen einer Emissionsstufe, durch ein Verbrauchskennfeld ersetzt, welches über Motor- und Fahrzeugtechnologien berechnet wurde. Der Shepard Interpolator, welcher ansonsten normalerweise für die Verbrauchsinterpolation herangezogen wurde, wurde durch den Delaunay Interpolator ersetzt. Durch diese Änderungen wurde alleine bei der Nachrechnung einer Strecke eine Verbesserung der mittleren Leistung um 15% erzielt.

Bei der Kennfelderstellung und der Analyse fielen die unvollständig gefüllten Kennfelder auf, weshalb mit Hilfe von Beschleunigungsfahrten der Bereich entlang der Volllastkurve abgedeckt wurde. Bei der nachfolgenden Auswertung der simulierten und gemessenen Werte wurde mit diesen angefügten Beschleunigungen keine signifikante Verbesserung der simulierten Werte erzielt, außer es wurden nur Punkte an der Volllastkurve zur Simulation herangezogen. Deshalb kann man sagen, dass sich für eine Simulation einer normalen RDE Strecke die ermittelten Streckenkennfelder gut eignen. Nur für Spezialfälle sind Kennfelderweiterungen durch Beschleunigungsfahrten vorteilhaft.

Für die genaue Simulation sind vor allem genaue Parameter des Fahrzeuges und der Strecke notwendig. Betrachtet man nur die Parameter des Fahrzeuges, so kann man durch Angabe nicht richtig ermittelter Parameter das Ergebnis bei den Simulationen stark verschlechtern. So wurde im speziellen durch verschiedene Tests versucht, die Roll- und Luftwiderstände zu ermitteln. Ansatzweise wurden realistische Ergebnisse ermittelt, jedoch war keine Möglichkeit vorhanden, diese Ergebnisse zu validieren.

Durch die systematische Zerlegung der einzelnen Teilschritte bis hin zu einer Simulation können einzelne Aspekte genau betrachtet und verbessert werden. So gibt es noch ein großes Potential bei der Bestimmung der Fahrwiderstände und aus meiner Sicht schon bei der Aufbereitung der Messdaten nämlich der Korrektur der Gaslaufzeiten der Emissionen vom Motor bis hin zu den Analysatoren.

Momentan ist eine variable Zeitverschiebung in der Testphase, welche die gemessenen Emissionsmassen auf den aktuellen Motorbetriebspunkt legt. In den ersten Tests ergab dies eine deutliche Verbesserung bei der Übereinstimmung der Peaks im Voll- und Teillastbereich. Dies war ohne die variable Zeitverschiebung nur für einen Lastbereich möglich.

Des Weiteren befasst sich gerade eine Bachelorarbeit mit der Berechnung der realen Fahrwiderstände. Durch das Entwickeln neuer Tests konnte mit dem ersten Versuchsfahrzeug, über eine Zielwertanalyse der positiven Leistungen, ein gutes Ergebnis erzielt werden. Für genauere Aussagen fehlen jedoch noch eigene Messungen und weitere Analysen.



## 7 Verzeichnisse

### 7.1 Literaturverzeichnis

- [...] Mediacenter, [https://\[...\]mediacenter-a.akamaihd.net/system/production/car\\_motorizations/339/file\\_de/0c28925744b45d4937b124dc63fe16a0bc4b5ee9/](https://[...]mediacenter-a.akamaihd.net/system/production/car_motorizations/339/file_de/0c28925744b45d4937b124dc63fe16a0bc4b5ee9/) [Versuchsfahrzeug 3], 25. Februar 2016
- [1] Alle-Autos-In.de, Autokatalog - Technische Daten, [http://www.alle-autos-in.de/\[Versuchsfahrzeug 1\]](http://www.alle-autos-in.de/[Versuchsfahrzeug 1]), 6. Oktober 2015
- [2] Alle-Autos-In.de, Autokatalog - Technische Daten, [http://www.alle-autos-in.de/\[Versuchsfahrzeug 2\]](http://www.alle-autos-in.de/[Versuchsfahrzeug 2]), 18. November 2016
- [3] Anhang der Verordnung der Kommission zu Änderung der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (EURO 6), Brüssel, 2015
- [4] Auto-Umwelt.at, [http://www.auto-umwelt.at/\\_gesetzg/gesvs\\_abg.htm](http://www.auto-umwelt.at/_gesetzg/gesvs_abg.htm), 23. März 2016
- [5] Blassnegger, J.; et. al.: PEMS, On- Board Messtechnik. In: Laborübung Motor und Umwelt, Laborübungsskriptum, Technische Universität Graz, 2015
- [6] Blassnegger, J.; et. al.: PKW Rollenprüfstand. In: Laborübung Motor und Umwelt, Laborübungsskriptum, Technische Universität Graz, 2015
- [7] Eichlseder, H.; Kögeler, M.; Kranawetter, E.: VKM- Funktionsentwicklung. Vorlesungsskriptum, Technische Universität Graz, 2013
- [8] Google Maps Österreich, <https://www.google.at/maps>, 31. März 2016
- [9] Hausberger, S.: Umweltauswirkungen des Verkehrs Teil 1. Vorlesungsskriptum, Technische Universität Graz, 2015
- [10] Hausberger, S.; Rexeis, M.; Luz, R.: PHEM User Guide for Version 11. Technische Universität Graz, 2012
- [11] Hausberger, S.; Rexeis, M.; Zallinger, M.; Luz, R.: Emission Factors from the Model PHEM for the HBEFA Version 3, Technische Universität Graz, 2009
- [12] Hill, N.; Windisch, E.; Hausberger, S.; Matzer, C.; Skinner, I.; et. al.: Improving understanding of technology and costs for CO<sub>2</sub> reductions from cars and LCVs in the period to 2030 and development of cost curves. Service Request 4 to LDV Emissions Framework Contract, Final Report for DG Climate Action, Ref. CLIMA.C.2/FRA/2012/0006, Ricardo AEA, UK, 2015
- [13] Sensors, Inc.: On- Vehicle Diesel Emission Analyzer – Semtech- DS, Document 9510-086, Revision 1.14 – User Manual
- [14] UNECE (United Nations Economic Commission for Europe): Global technical regulation on Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure. ECE/TRANS/180/Add.15, 12 Mai 2014 – Technical Report
- [15]

## 7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Funktionsweise von PHEM [11] .....	2
Abbildung 2-2: Vorlage einer *.veh Fahrzeugdatei [11] .....	3
Abbildung 2-3: Vorlage eines *.mep Emissionskennfeldes [11].....	4
Abbildung 2-4: Vorlage einer *.fld Volllastkurve [11].....	5
Abbildung 2-5: Vorlage eines *.dri Fahrzyklus für Fahrzeugberechnungen [11] .....	6
Abbildung 2-6: Vorlage eines *.npi Fahrzyklus für Motorberechnungen [11].....	6
Abbildung 2-7: Rollenprüfstandsanlage [7] .....	7
Abbildung 2-8: NEDC - Neuer Europäischer Testzyklus .....	8
Abbildung 2-9: WLTC - Worldwide Harmonized Light vehicle Test Cycle .....	9
Abbildung 2-10: Semtech DS - Mobiles Emissionsgerät [14].....	12
Abbildung 2-11: NDIR Analysator [6] .....	12
Abbildung 2-12: M.O.V.E eingebaut in zweiten Versuchsfahrzeug.....	14
Abbildung 2-13: Vorlage eines Fahrzyklus *.npi in PHEM Version 11.7.6 .....	16
Abbildung 2-14: Basis- Verbrauchskennfeld [13] .....	16
Abbildung 2-15: schematischer Vorgang der Leistungsinterpolation.....	17
Abbildung 2-16: schematische Darstellung der Kennfelderstellung.....	18
Abbildung 3-1: Volllastkurve des ersten Versuchsfahrzeuges [2].....	20
Abbildung 3-2: Verbrauchskennfeld des ersten Versuchsfahrzeuges.....	21
Abbildung 3-3: Streckenverlauf der Strecke Köflach [9] .....	22
Abbildung 3-4: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach.....	22
Abbildung 3-5: NO <sub>x</sub> - Kennfeld der Strecke Köflach .....	23
Abbildung 3-6: CO- Kennfeld der Strecke Köflach.....	23
Abbildung 3-7: Basis- Verbrauchskennfeld Diesel Euro 5 [12] .....	28
Abbildung 3-8: Willanslinie des Diesel Euro5- Basis- Verbrauchskennfeldes bei Leerlauf [12] .....	29
Abbildung 3-9: Willanslinie aus Basis- Verbrauchskennfeld bei Leerlauf [13].....	29
Abbildung 3-10: Beispiel für Verbesserung der Kennfeldauffüllung anhand NO <sub>x</sub> - Kennfeld	30
Abbildung 4-1: Volllastkurve des zweiten Versuchsfahrzeuges [3].....	33
Abbildung 4-2: Verbrauchskennfeld des zweiten Versuchsfahrzeuges .....	34
Abbildung 4-3: Streckenverlauf der Strecke Kennfeldauffüllung [9].....	35
Abbildung 4-4: Lage der Messpunkte im Kennfeld der kombinierten Voll- und Teillastfahrten der KFA.....	36
Abbildung 4-5: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach.....	37
Abbildung 4-6: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach + KFA.....	38
Abbildung 4-7: NO <sub>x</sub> - Kennfeld der Strecke Köflach .....	38

Abbildung 4-8: NO <sub>x</sub> - Kennfeld der Strecke Köflach + KFA .....	39
Abbildung 4-9: Volllastkurve des dritten Versuchsfahrzeuges [1] .....	42
Abbildung 4-10: Verbrauchskennfeld des dritten Versuchsfahrzeuges .....	43
Abbildung 4-11: Streckenverlauf der Strecke Kennfeldauffüllung neu [9] .....	44
Abbildung 4-12: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Voll- und Teillastbeschleunigungen der KFA 2 .....	45
Abbildung 5-1: Leistungsnachrechnung der Strecke Köflach mit Versuchsfahrzeug 2 .....	49
Abbildung 5-2: Geschwindigkeitsverlauf eines Ausrollversuches .....	50
Abbildung 5-3: Fahrwiderstandspolynom eines Ausrollversuches .....	50
Abbildung 5-4: Fahrwiderstandspolynom berechnet über die effektive Leistung über CO <sub>2</sub> Methode .....	51
Abbildung 5-5: Vergleich der effektiven Motorleistungen .....	52
Abbildung 8-1: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach (kalt) .....	61
Abbildung 8-2: NO <sub>x</sub> - Kennfeld der Strecke Köflach (kalt) .....	61
Abbildung 8-3: CO- Kennfeld der Strecke Köflach (kalt) .....	62
Abbildung 8-4: Streckenverlauf der Strecke Arzberg [9] .....	62
Abbildung 8-5: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Arzberg .....	63
Abbildung 8-6: NO <sub>x</sub> - Kennfeld der Strecke Arzberg .....	63
Abbildung 8-7: CO- Kennfeld der Strecke Arzberg .....	64
Abbildung 8-8: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Ermes .....	64
Abbildung 8-9: NO <sub>x</sub> - Kennfeld der Strecke Ermes .....	65
Abbildung 8-10: CO- Kennfeld der Strecke Ermes .....	65
Abbildung 8-11: Streckenverlauf der Strecke Ries [9] .....	66
Abbildung 8-12: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Ries .....	66
Abbildung 8-13: NO <sub>x</sub> - Kennfeld der Strecke Ries .....	67
Abbildung 8-14: CO- Kennfeld der Strecke Ries .....	67
Abbildung 8-15: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Volllastbeschleunigungen der KFA .....	69
Abbildung 8-16: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Teillastbeschleunigungen der KFA .....	69
Abbildung 8-17: CO- Kennfeld der Strecke Köflach .....	70
Abbildung 8-18: CO- Kennfeld der Strecke Köflach + KFA .....	70
Abbildung 8-19: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Ries 1 .....	71
Abbildung 8-20: NO <sub>x</sub> - Kennfeld der Strecke Ries 1 .....	71
Abbildung 8-21: CO- Kennfeld der Strecke Ries 1 .....	72
Abbildung 8-22: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Ries 1 + KFA .....	72
Abbildung 8-23: NO <sub>x</sub> - Kennfeld der Strecke Ries 1 + KFA .....	73
Abbildung 8-24: CO- Kennfeld der Strecke Ries 1 + KFA .....	73
Abbildung 8-25: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Ries 2 .....	74

---

Abbildung 8-26: NO <sub>x</sub> - Kennfeld der Strecke Ries 2 .....	74
Abbildung 8-27: CO- Kennfeld der Strecke Ries 2 .....	75
Abbildung 8-28: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Ries 2 + KFA .....	75
Abbildung 8-29: NO <sub>x</sub> - Kennfeld der Strecke Ries 2 + KFA .....	76
Abbildung 8-30: CO- Kennfeld der Strecke Ries 2 + KFA .....	76
Abbildung 8-31: Lage der Messpunkte im Kennfeld für die Voll- und Teillastbeschleunigungen der KFA 1 .....	78
Abbildung 8-32: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach .....	79
Abbildung 8-33: NO <sub>x</sub> - Kennfeld der Strecke Köflach .....	79
Abbildung 8-34: CO- Kennfeld der Strecke Köflach .....	80
Abbildung 8-35: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach + KFA 1 .....	80
Abbildung 8-36: NO <sub>x</sub> - Kennfeld der Strecke Köflach + KFA 1 .....	81
Abbildung 8-37: CO- Kennfeld der Strecke Köflach + KFA 1 .....	81
Abbildung 8-38: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach + KFA 2 .....	82
Abbildung 8-39: NO <sub>x</sub> - Kennfeld der Strecke Köflach + KFA 2 .....	82
Abbildung 8-40: CO- Kennfeld der Strecke Köflach + KFA 2 .....	83

### 7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Emissionsgrenzwerte Euro 1 bis 6 [5] .....	6
Tabelle 2-2: Eckdaten des NEDC .....	8
Tabelle 2-3: Eckdaten WLTC .....	10
Tabelle 3-1: Fahrzeugdaten des ersten Versuchsfahrzeuges [2] .....	20
Tabelle 3-2: Auswertung der Strecke Köflach .....	25
Tabelle 3-3: Auswertung der Strecke Arzberg .....	26
Tabelle 3-4: Vergleich der Leistungsinterpolation mit Shepard und Delaunay Interpolator ...	31
Tabelle 4-1: Fahrzeugdaten des zweiten Versuchsfahrzeuges [3] .....	34
Tabelle 4-2: Voll- und Teillastfahrten der Strecke Kennfeldauffüllung .....	36
Tabelle 4-3: Auswertung der Strecke Köflach .....	40
Tabelle 4-4: Auswertung der Strecke Köflach + KFA .....	41
Tabelle 4-5: Auswertung der Strecke KFA .....	41
Tabelle 4-6: Fahrzeugdaten des dritten Versuchsfahrzeuges [1] .....	43
Tabelle 4-7: Voll- und Teillastbeschleunigungen der KFA 2 .....	45
Tabelle 4-8: Auswertung der Strecke Köflach + KFA 1 .....	46
Tabelle 4-9: Auswertung der Strecke KFA 2 .....	47
Tabelle 8-1: Auswertung der Strecke Köflach (kalt) .....	68
Tabelle 8-2: Auswertung der Strecke Ries .....	68
Tabelle 8-3: Auswertung der Strecke Ermes .....	68
Tabelle 8-4: Auswertung der Strecke Ries 1 .....	77
Tabelle 8-5: Auswertung der Strecke Ries 2 .....	77
Tabelle 8-6: Voll- und Teillastbeschleunigungen der KFA 1 .....	78
Tabelle 8-7: Auswertung der Strecke Köflach .....	83
Tabelle 8-8: Auswertung der Strecke KFA 1 .....	84

## 7.4 Formelverzeichnis

(2-1): rotatorische Fahrzeugmasse [10] .....	4
(2-2): konstanter Rollwiderstandskoeffizient .....	4
(2-3): linearer Rollwiderstandskoeffizient.....	4
(2-4): Luftwiderstandbeiwert.....	4
(2-5): Trägheitsmoment des Motors .....	4
(2-6): Trägheitsmoment des Getriebes .....	4
(2-7): normierte Leistung [11] .....	5
(2-8): normierter Kraftstoffverbrauch [11].....	5
(2-9): normierte Drehzahl [11] .....	5
(2-10): Bestimmung des Leistungsgewichtes [15] .....	9
(2-11): Berechnung des Not-To-Exceed Schwellwertes [4].....	11
(2-12): Umrechnung des Verbrauches in CO <sub>2</sub> .....	17
(3-1): Bestimmung der effektiven Leistung über PHEM .....	32
(3-2): Formel für die effektive Leistung über Verlustleistungen [10].....	32
(5-1): Wiederholung: Bestimmung der effektive Leistung über PHEM .....	48
(5-2): Wiederholung: Formel für die effektive Leistung über Verlustleistungen [10].....	48
(5-3): Leistung zur Überwindung der Fahrzeugträgheit [12] .....	48
(5-4): Leistung zur Überwindung der Luft- und Rollwiderstände [12].....	48
(5-5): Leistung zur Überwindung des Steigungswiderstandes [12] .....	48
(5-6): Leistung zur Überwindung der Motorträgheit.....	48
(5-7): Leistung zur Überwindung der Nebenaggregate [13] .....	48
(5-8): Bestimmung der Fahrwiderstandskraft [12].....	51
(5-9): Formel für die Berechnung der Fahrwiderstandskraft [12].....	51

## 8 Anhang

### 8.1 Versuchsfahrzeug 1

#### 8.1.1 Analyse bestehender Tests

##### 8.1.1.1 Köflach (kalt)

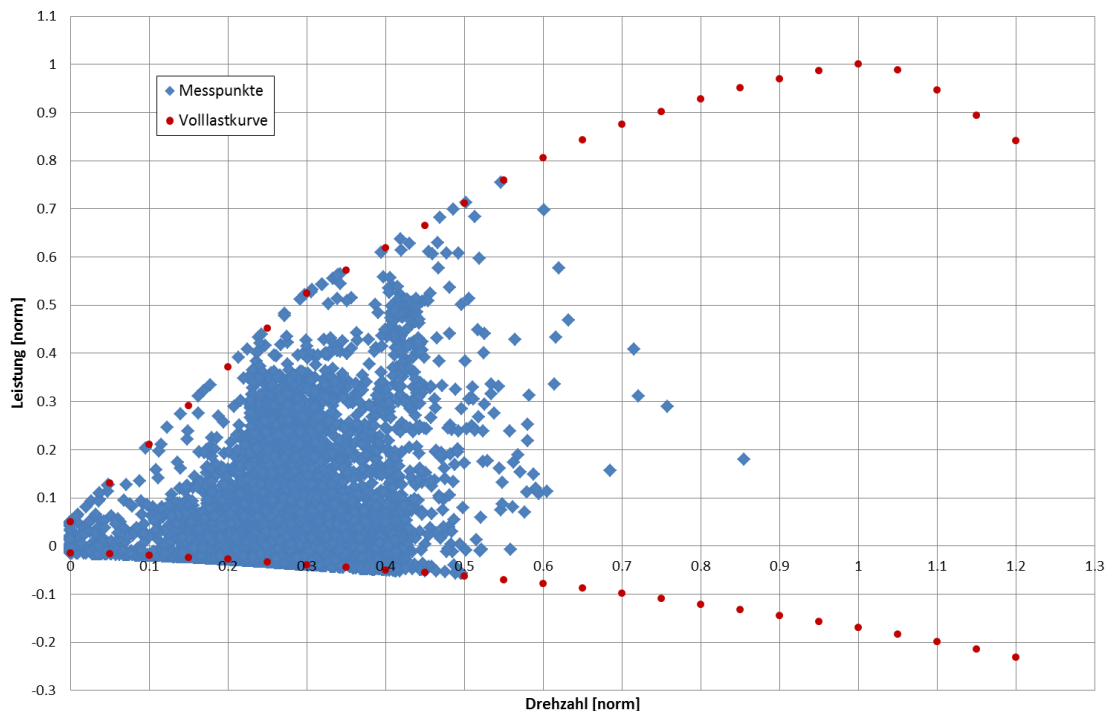


Abbildung 8-1: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach (kalt)

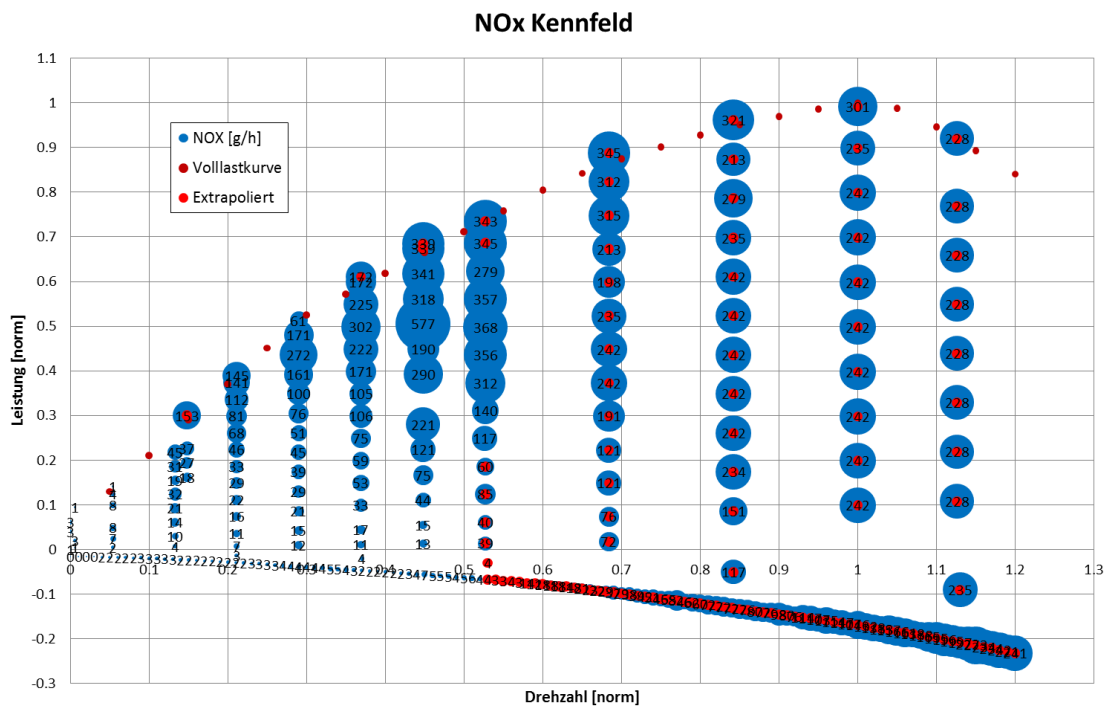


Abbildung 8-2: NOx- Kennfeld der Strecke Köflach (kalt)

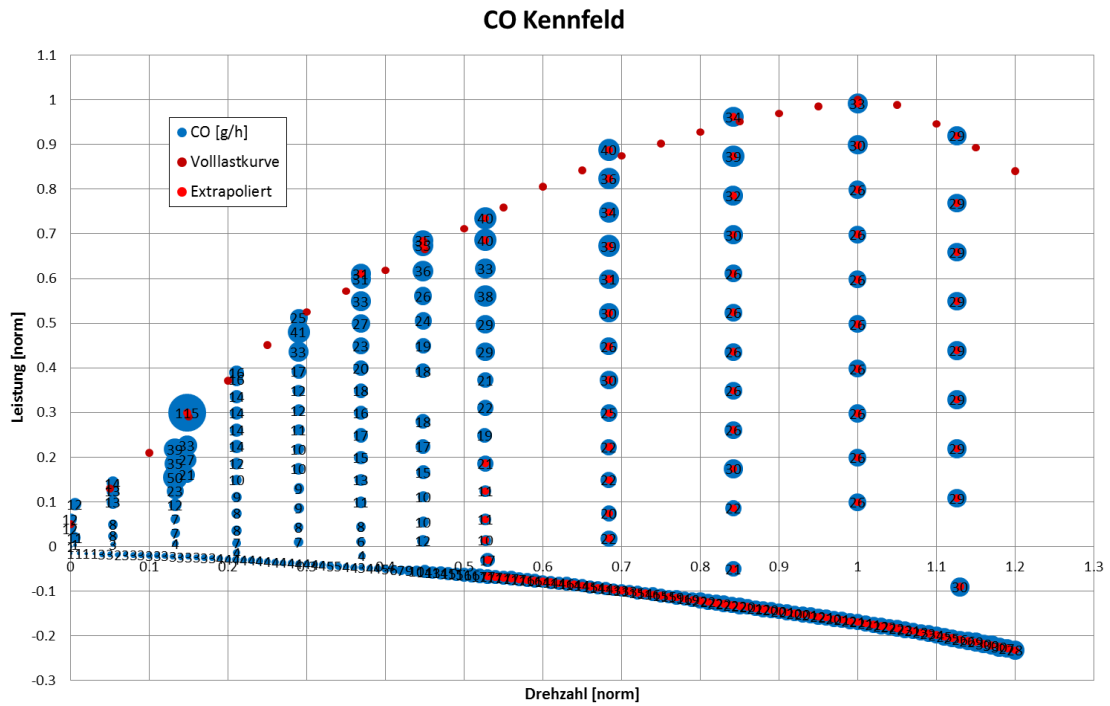


Abbildung 8-3: CO- Kennfeld der Strecke Köflach (kalt)

### 8.1.1.2 Arzberg

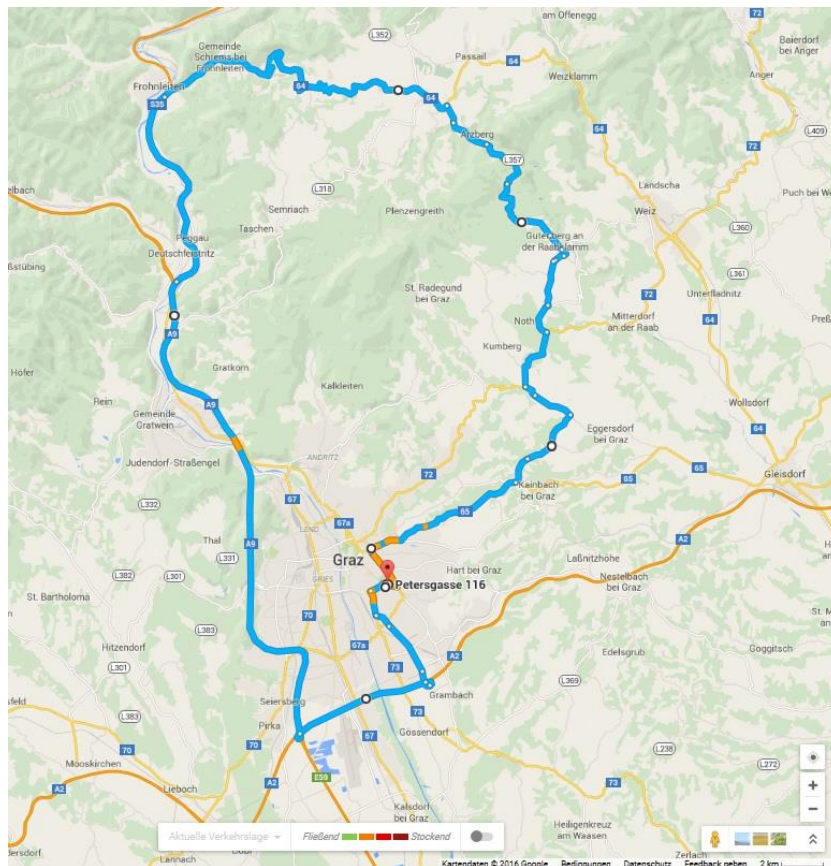


Abbildung 8-4: Streckenverlauf der Strecke Arzberg [9]



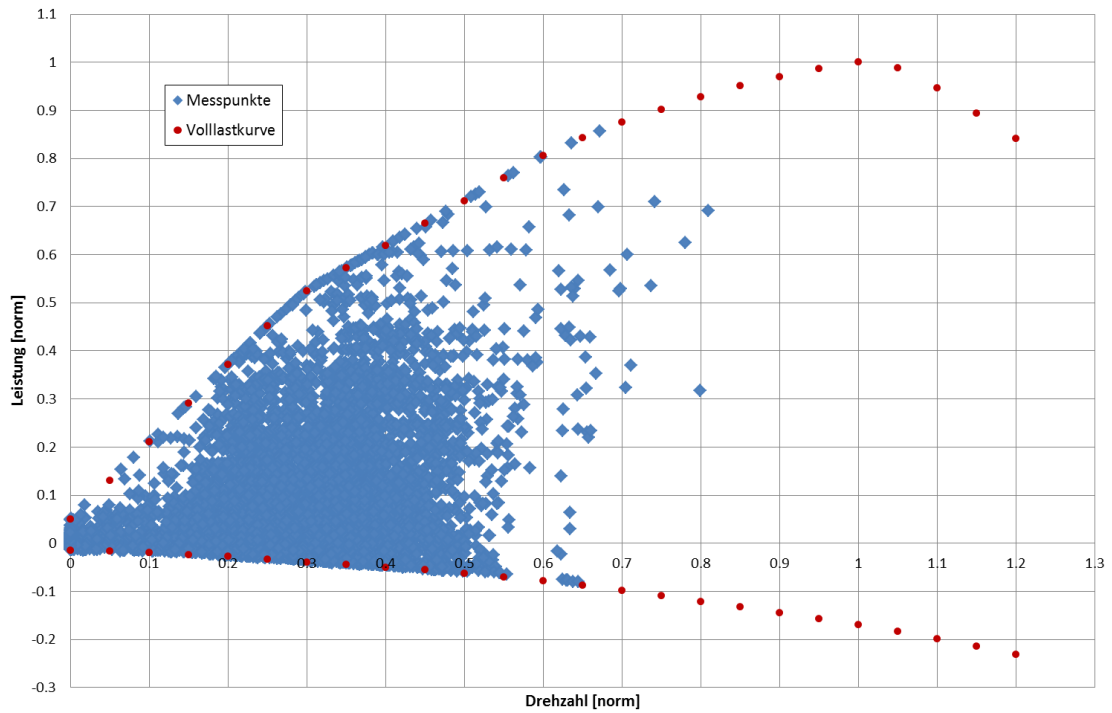


Abbildung 8-5: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Arzberg

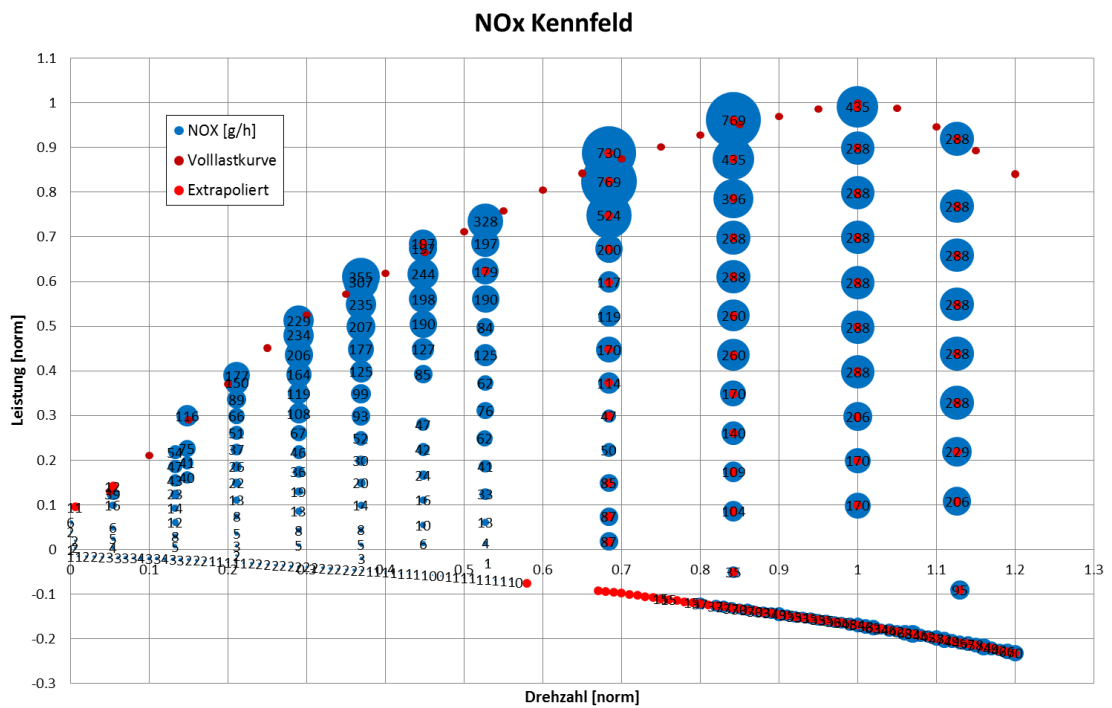


Abbildung 8-6: NOx- Kennfeld der Strecke Arzberg

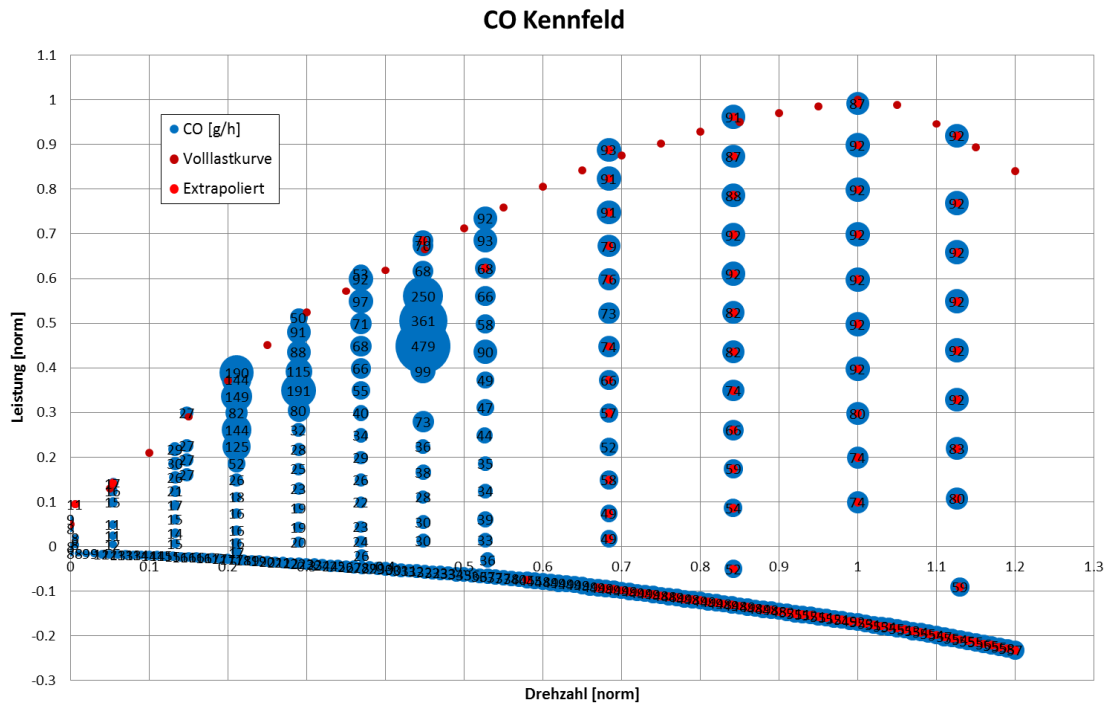


Abbildung 8-7: CO- Kennfeld der Strecke Arzberg

8.1.1.3 Ermes

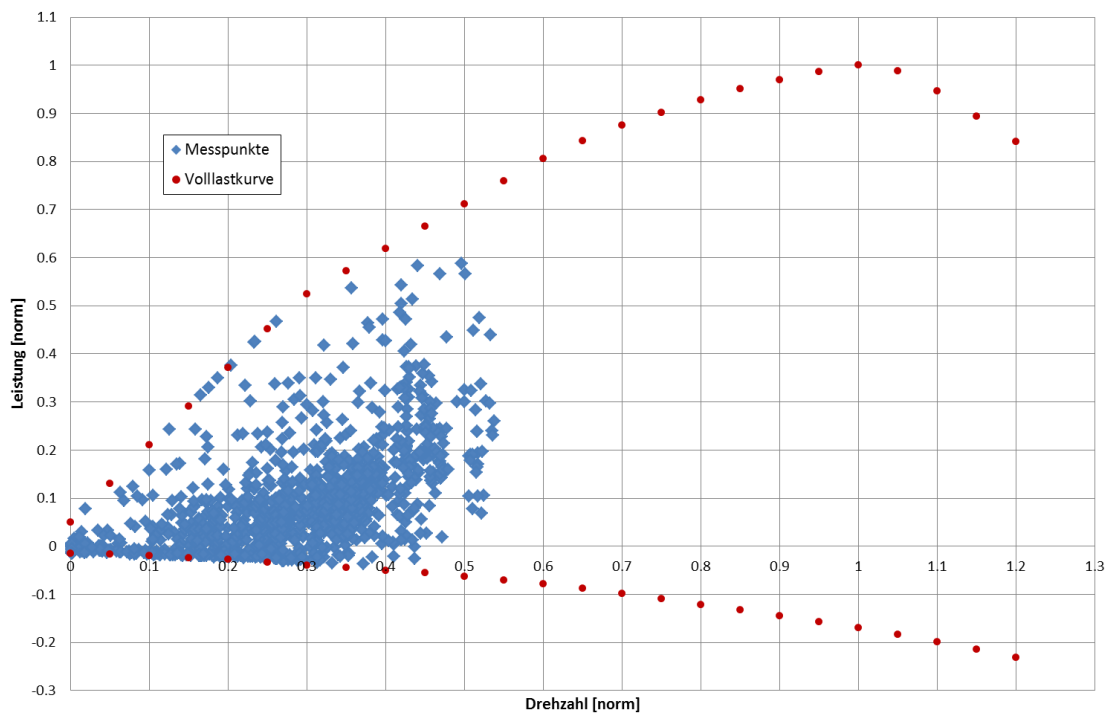


Abbildung 8-8: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Ermes

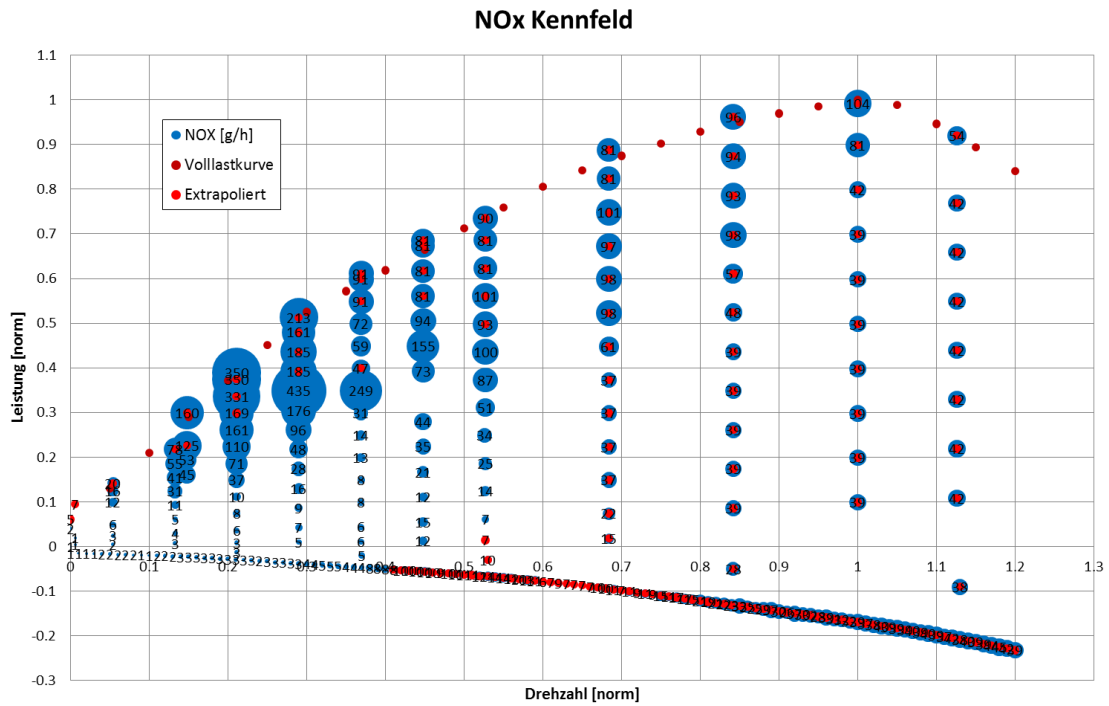


Abbildung 8-9: NOx- Kennfeld der Strecke Ermes

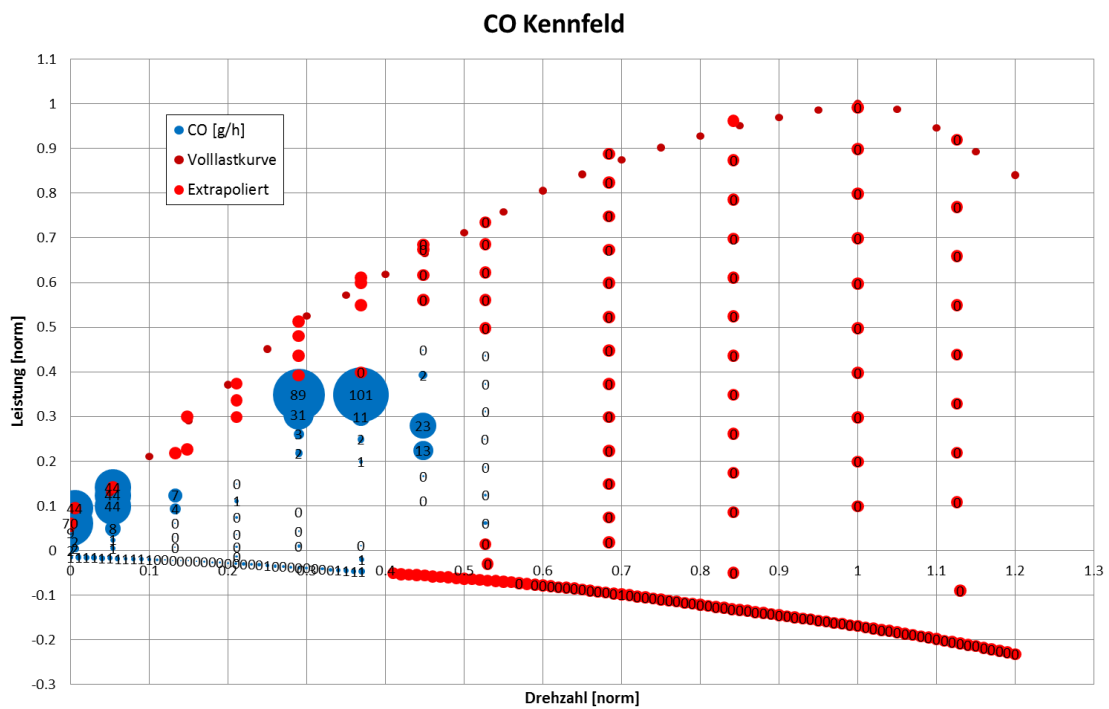


Abbildung 8-10: CO- Kennfeld der Strecke Ermes

### 8.1.1.4 Ries

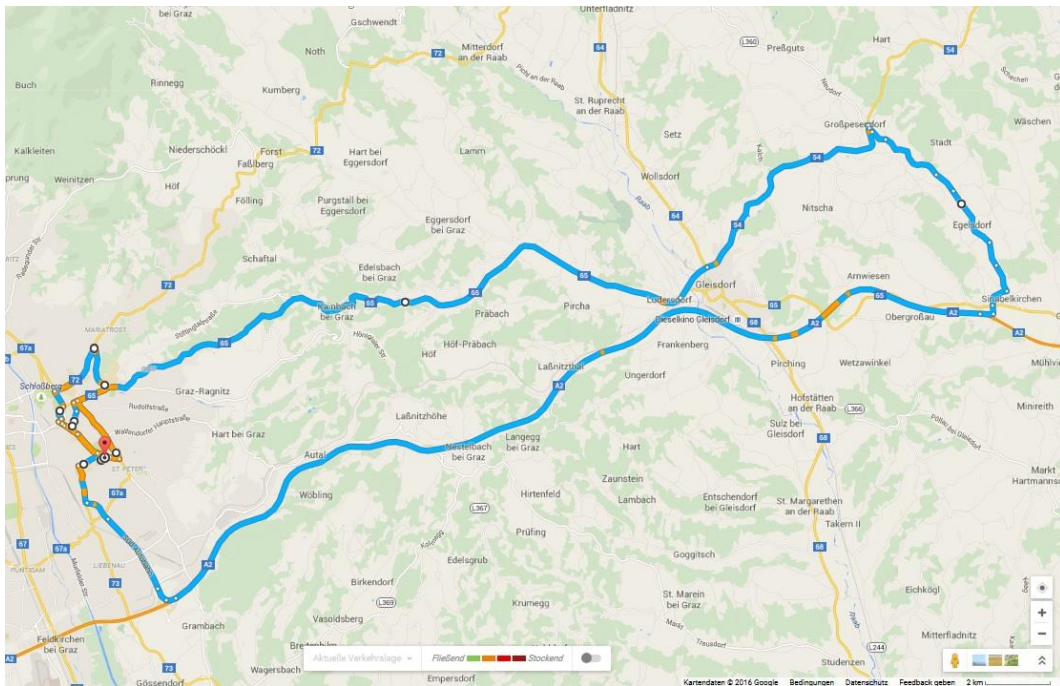


Abbildung 8-11: Streckenverlauf der Strecke Ries [9]

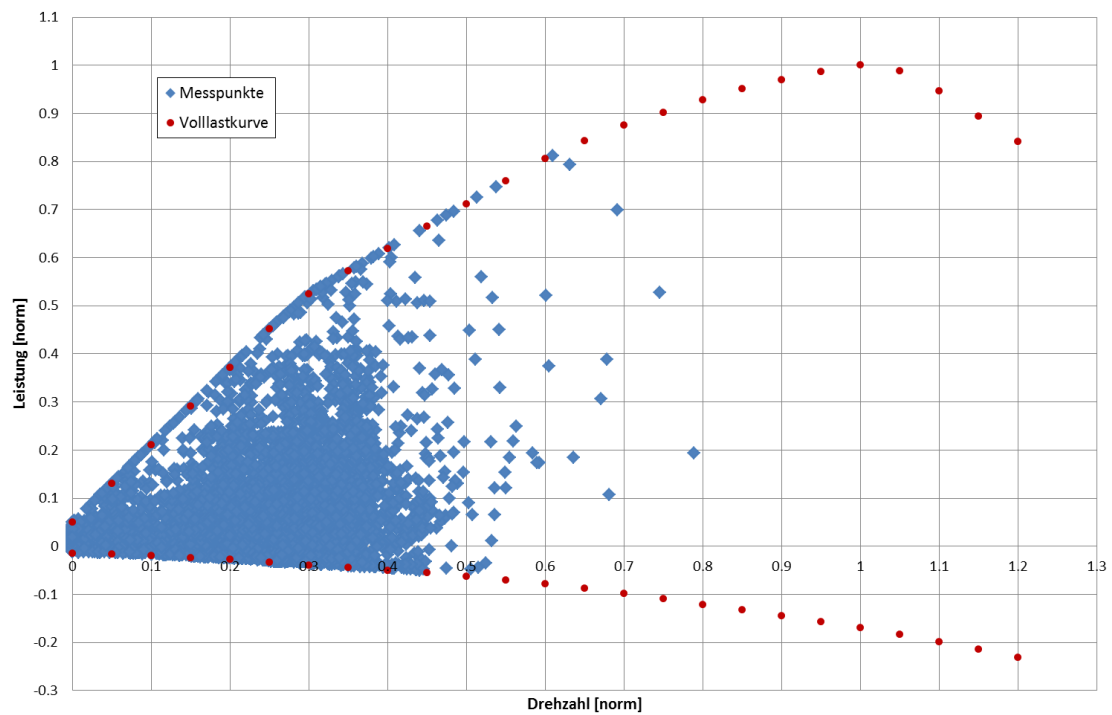


Abbildung 8-12: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Ries

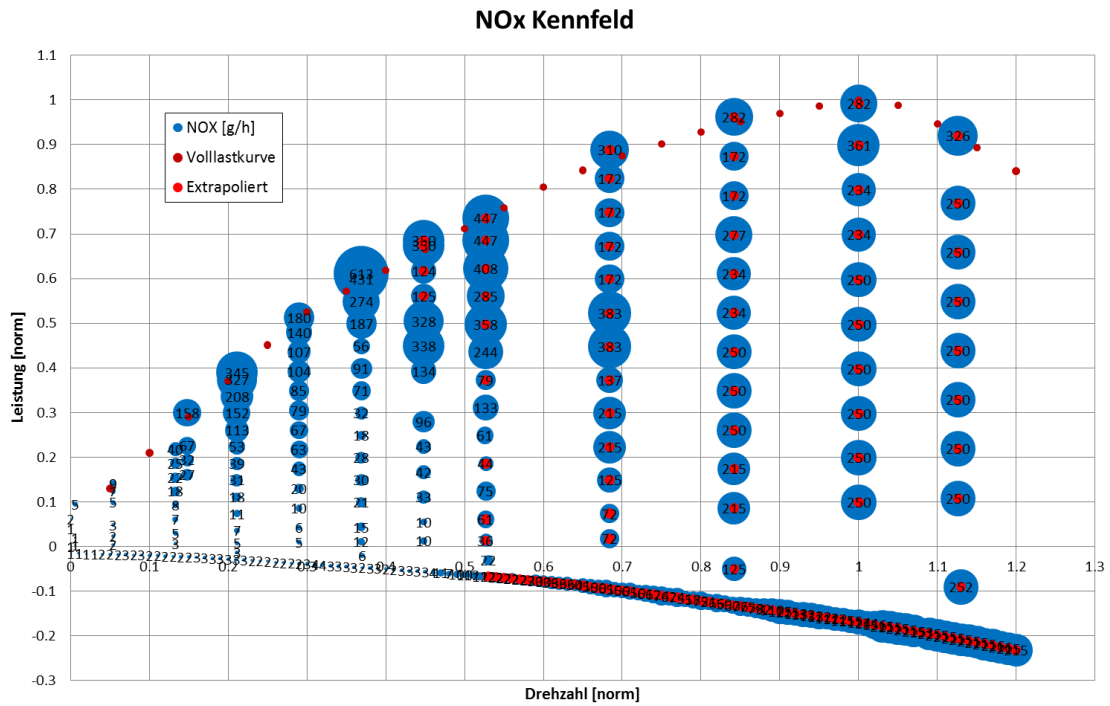


Abbildung 8-13: NOx- Kennfeld der Strecke Ries

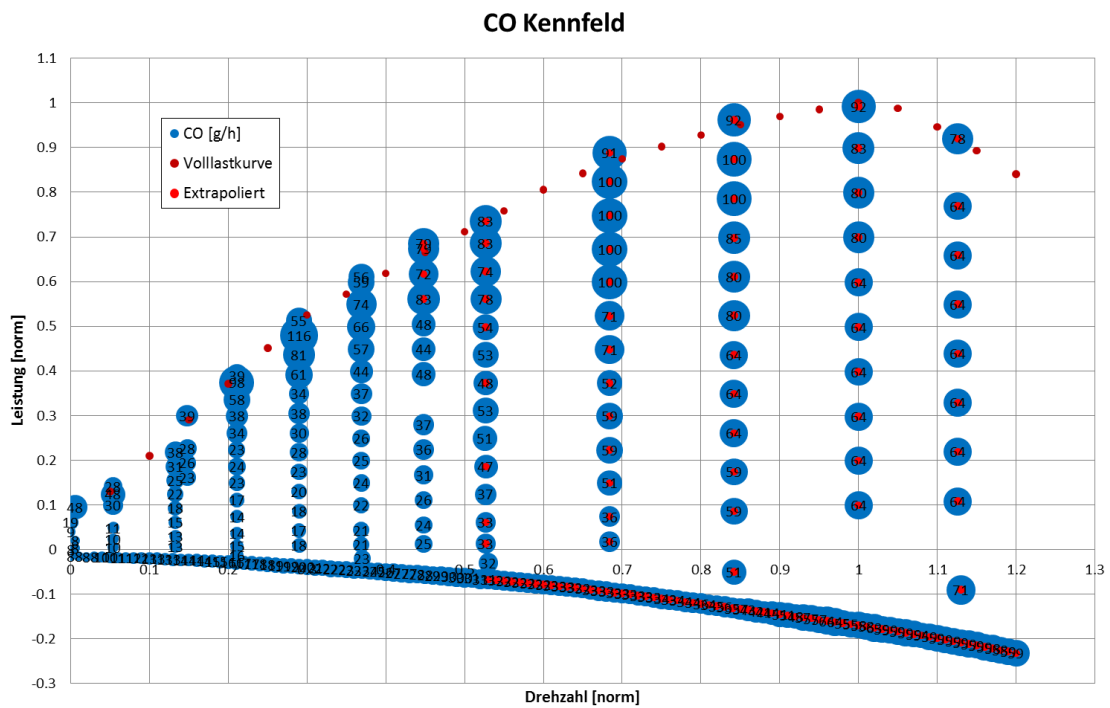


Abbildung 8-14: CO- Kennfeld der Strecke Ries

### 8.1.2 Auswertung

Tabelle 8-1: Auswertung der Strecke Köflach (kalt)

	Strecke	Kennfeld				
	Köflach (kalt)	Köflach	Köflach (kalt)	Arzberg	Ermes	Ries
<b>CO<sub>2</sub>RDE [g/h]</b>	7888.19	8300.18	8300.18	8300.18	8300.18	8300.18
<b>NO<sub>x</sub>RDE [g/h]</b>	31.89	16.77	31.26	21.92	25.25	25.43
<b>CO<sub>RDE</sub> [g/h]</b>	8.36	30.28	9.85	28.06	2.36	21.13

	Strecke	Kennfeld				
	Köflach (kalt)	Köflach	Köflach (kalt)	Arzberg	Ermes	Ries
<b>CO<sub>2</sub>RDE [%]</b>	-	5%	5%	5%	5%	5%
<b>NO<sub>x</sub>RDE [%]</b>	-	-47%	-2%	-31%	-21%	-20%
<b>CO<sub>RDE</sub> [%]</b>	-	262%	18%	236%	-72%	153%

Tabelle 8-2: Auswertung der Strecke Ries

	Strecke	Kennfeld				
	Ries	Köflach	Köflach (kalt)	Arzberg	Ermes	Ries
<b>CO<sub>2</sub>RDE [g/h]</b>	7650.44	7251.03	7251.03	7251.03	7251.03	7251.03
<b>NO<sub>x</sub>RDE [g/h]</b>	17.82	14.48	25.13	19.32	22.21	19.72
<b>CO<sub>RDE</sub> [g/h]</b>	18.34	25.51	8.51	25.06	2.78	18.73

	Strecke	Kennfeld				
	Ries	Köflach	Köflach (kalt)	Arzberg	Ermes	Ries
<b>CO<sub>2</sub>RDE [%]</b>	-	-5%	-5%	-5%	-5%	-5%
<b>NO<sub>x</sub>RDE [%]</b>	-	-19%	41%	8%	25%	11%
<b>CO<sub>RDE</sub> [%]</b>	-	39%	-54%	37%	-85%	2%

Tabelle 8-3: Auswertung der Strecke Ermes

	Strecke	Kennfeld				
	Ermes	Köflach	Köflach (kalt)	Arzberg	Ermes	Ries
<b>CO<sub>2</sub>RDE [g/h]</b>	8374.85	8038.53	8038.53	8038.53	8038.53	8038.53
<b>NO<sub>x</sub>RDE [g/h]</b>	15.60	16.49	36.12	19.16	18.07	23.62
<b>CO<sub>RDE</sub> [g/h]</b>	2.62	26.38	9.49	27.11	2.13	21.93

	Strecke	Kennfeld				
	Ermes	Köflach	Köflach (kalt)	Arzberg	Ermes	Ries
<b>CO<sub>2</sub>RDE [%]</b>	-	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%
<b>NO<sub>x</sub>RDE [%]</b>	-	6%	132%	23%	16%	51%
<b>CO<sub>RDE</sub> [%]</b>	-	907%	262%	934%	-19%	737%

## 8.2 Versuchsfahrzeug 2

### 8.2.1 Analyse ausgeführter RDE Tests

#### 8.2.1.1 Kennfeldauffüllung

- **Volllastbeschleunigungen**

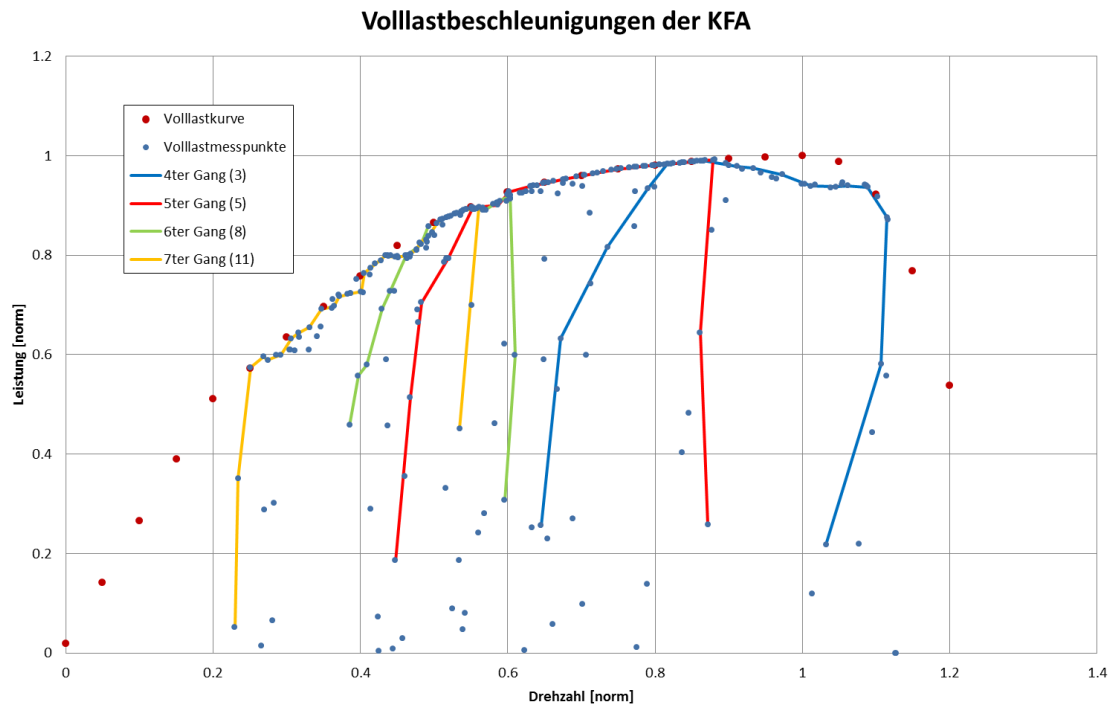


Abbildung 8-15: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Volllastbeschleunigungen der KFA

- **Teillastbeschleunigungen**

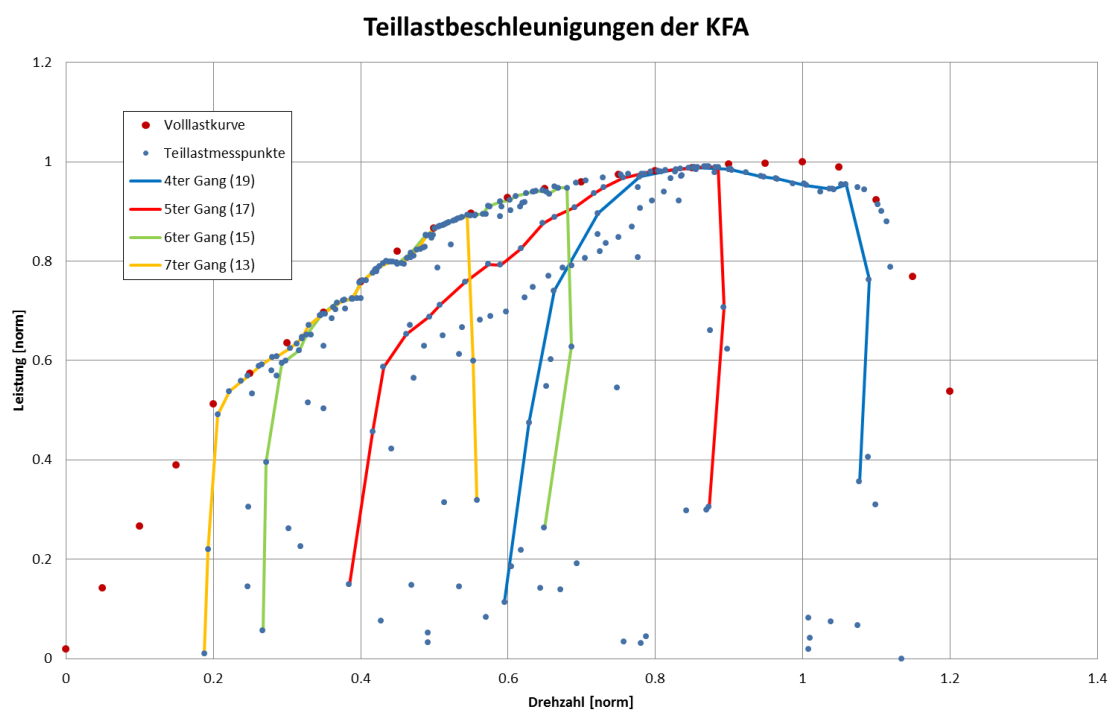


Abbildung 8-16: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Teillastbeschleunigungen der KFA

### 8.2.1.2 Köflach und Köflach + KFA

- Köflach

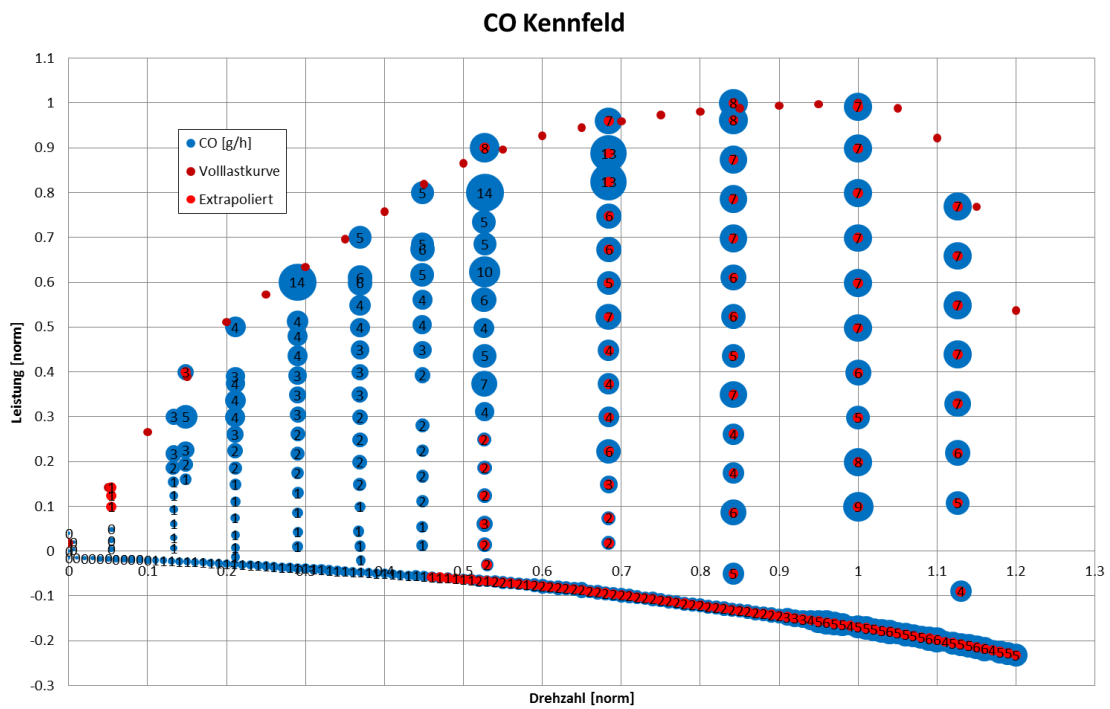


Abbildung 8-17: CO- Kennfeld der Strecke Köflach

- Köflach + KFA

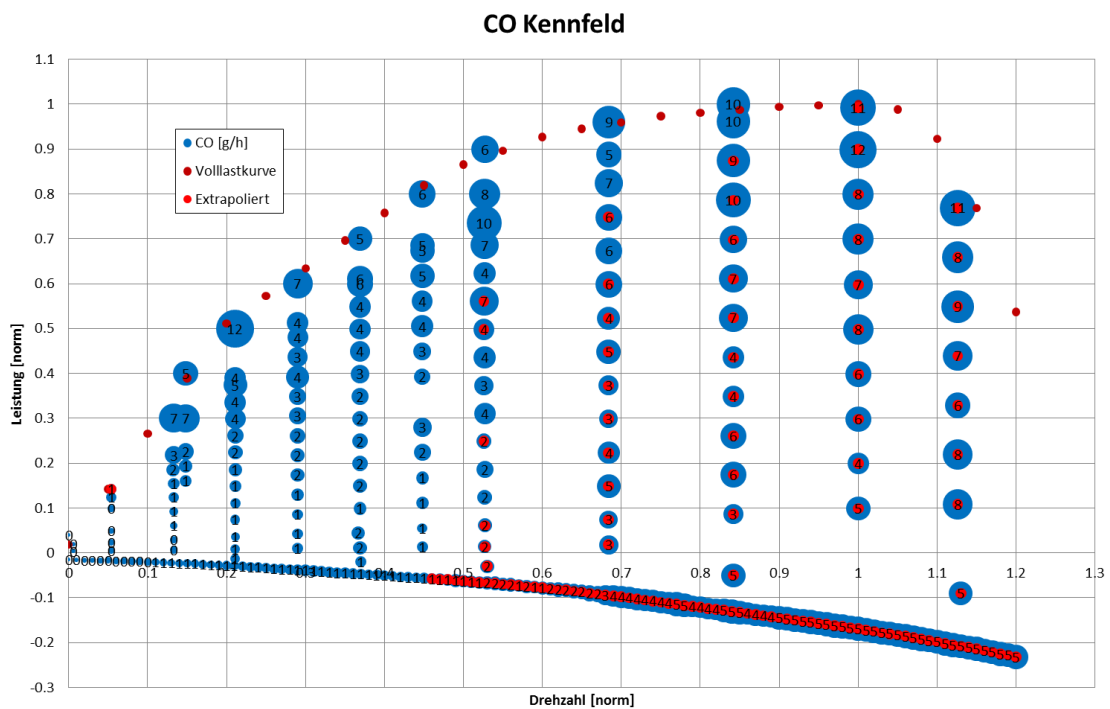


Abbildung 8-18: CO- Kennfeld der Strecke Köflach + KFA



### 8.2.1.3 Ries 1 und Ries 1 + KFA

- Ries 1

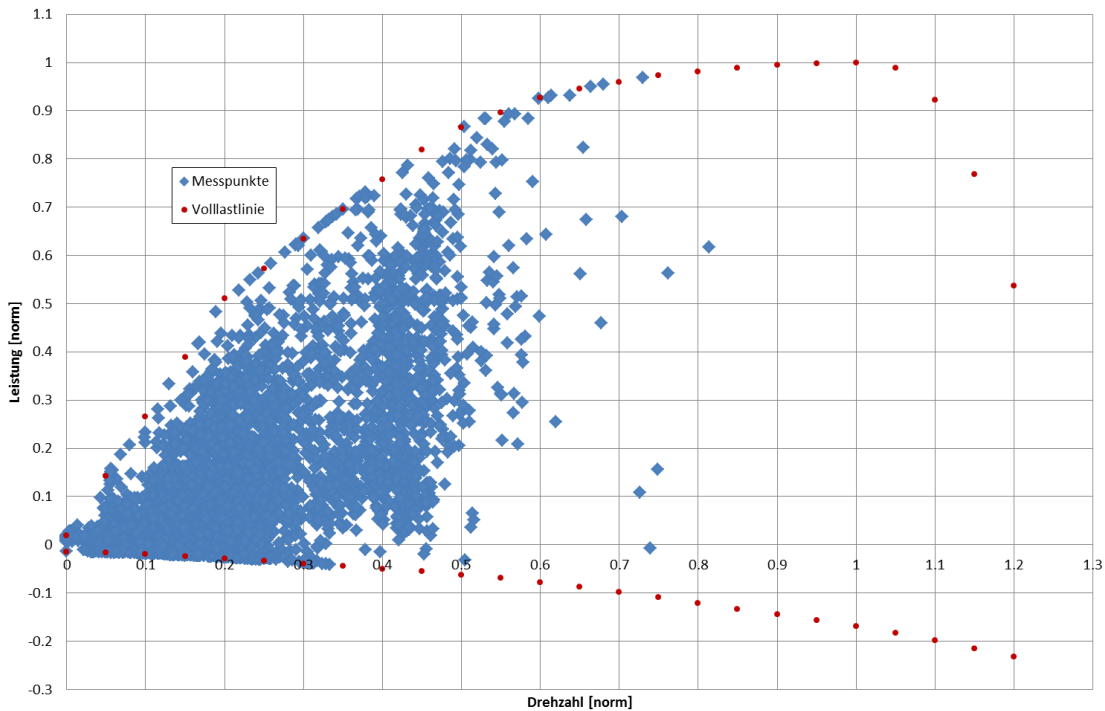


Abbildung 8-19: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Ries 1

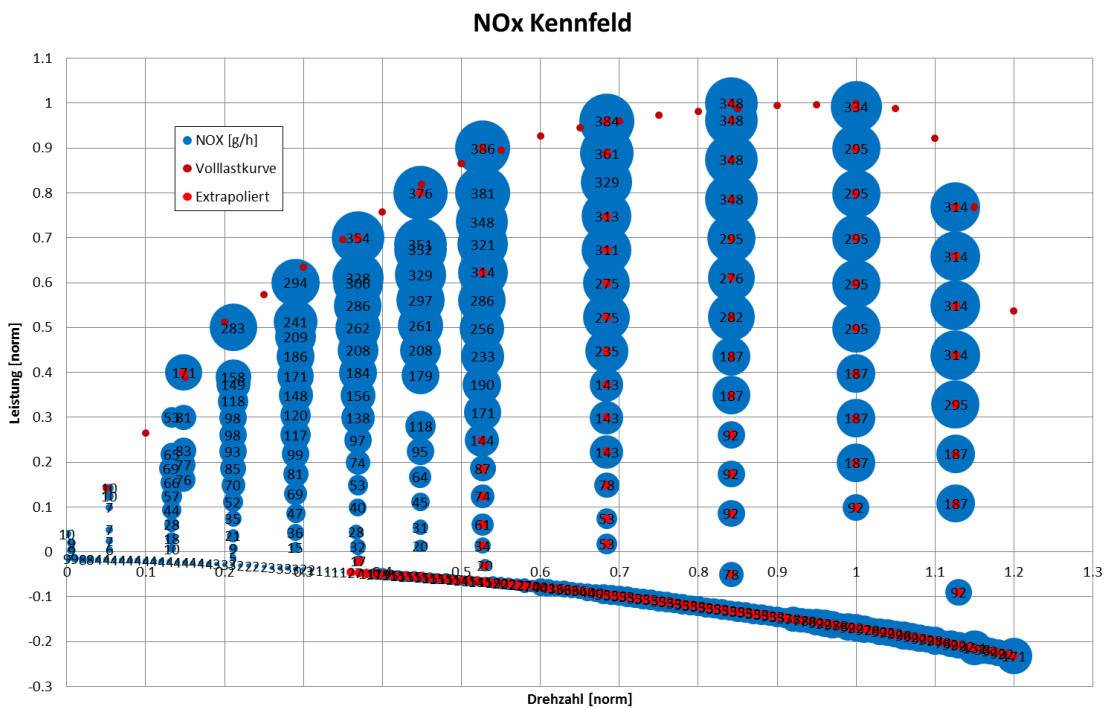


Abbildung 8-20: NOx- Kennfeld der Strecke Ries 1

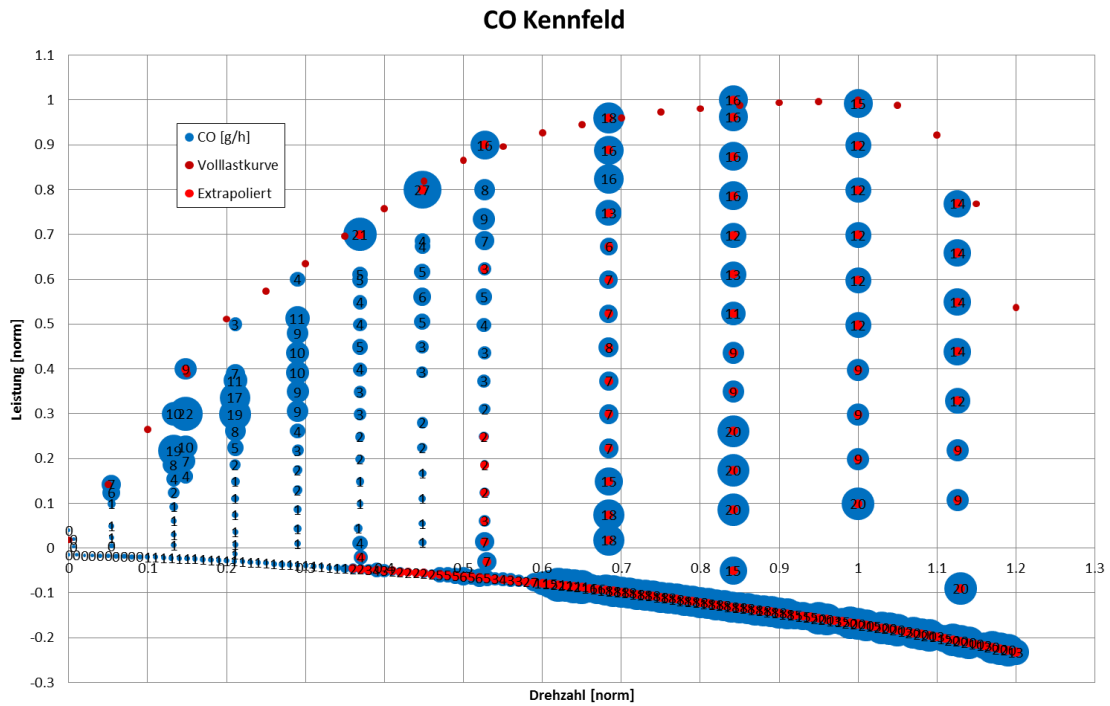


Abbildung 8-21: CO- Kennfeld der Strecke Ries 1

- **Ries 1 + KFA**

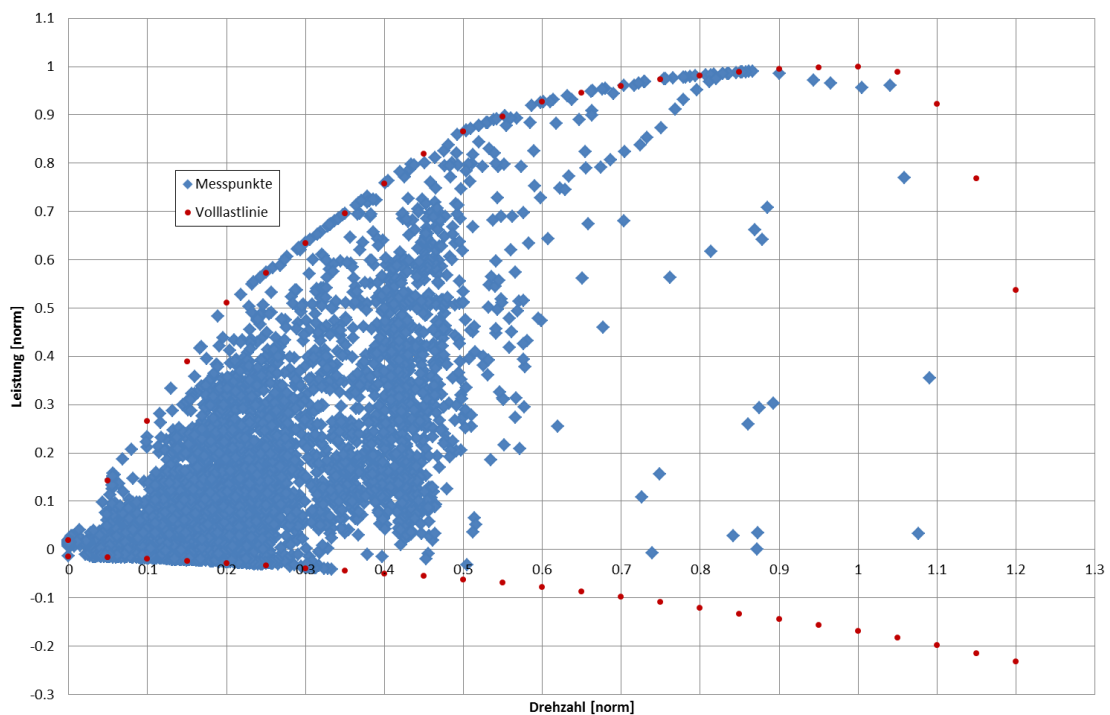


Abbildung 8-22: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Ries 1 + KFA

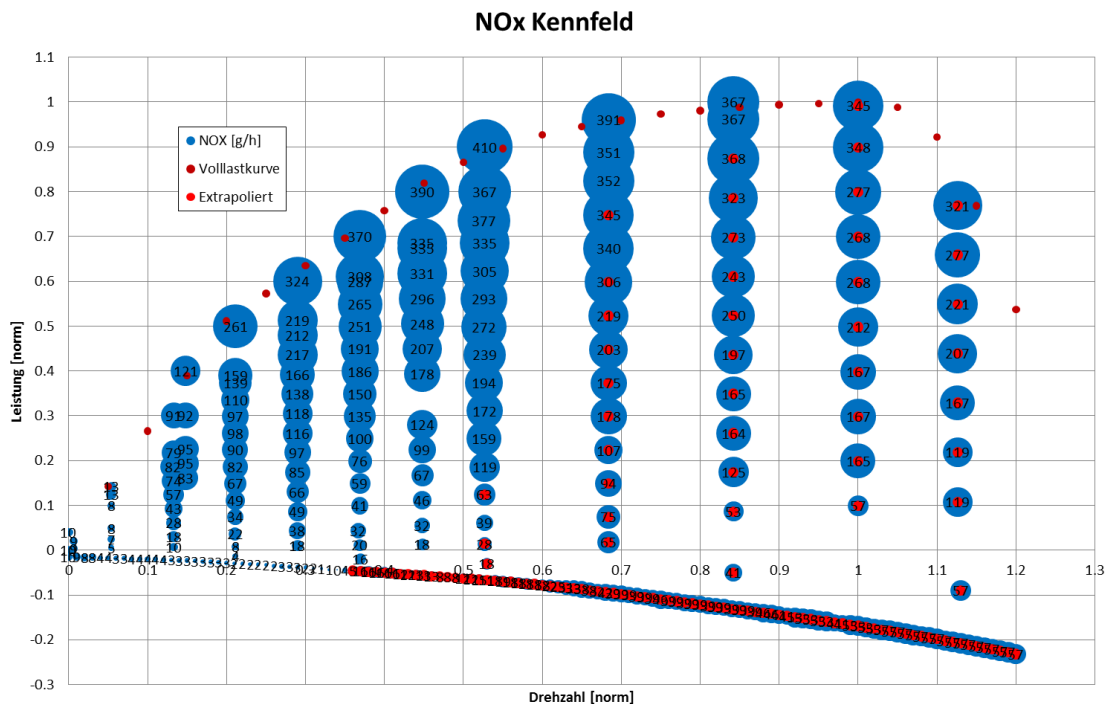


Abbildung 8-23: NOx- Kennfeld der Strecke Ries 1 + KFA

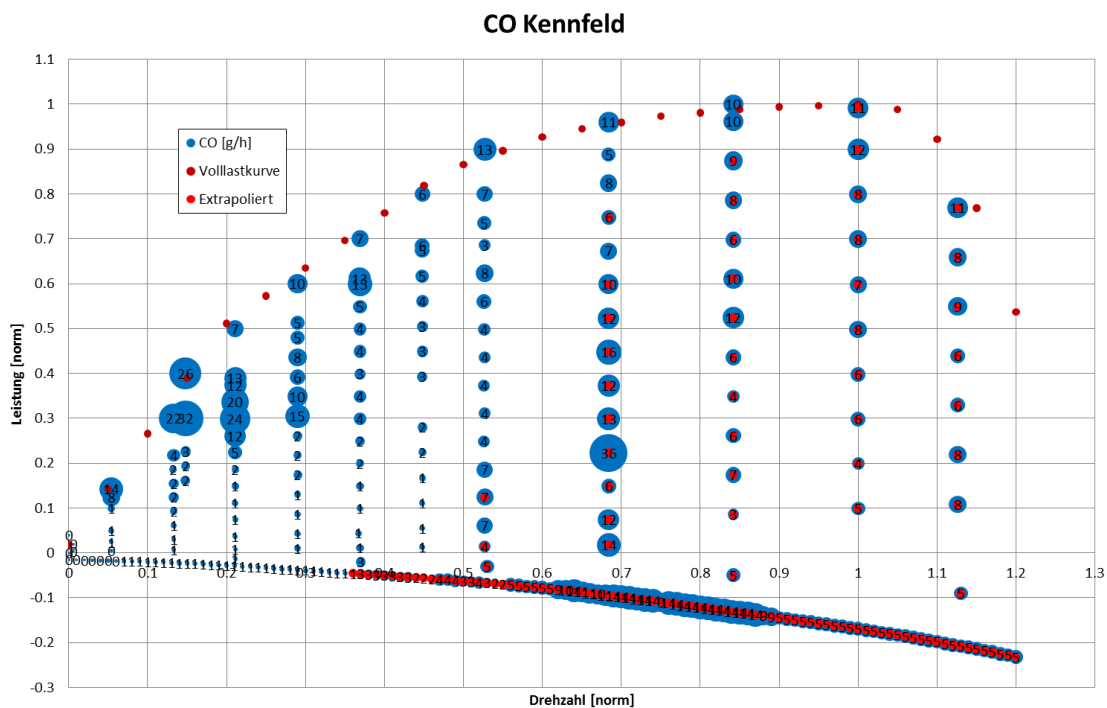


Abbildung 8-24: CO- Kennfeld der Strecke Ries 1 + KFA

### 8.2.1.4 Ries 2 und Ries 2 + KFA

- **Ries 2**

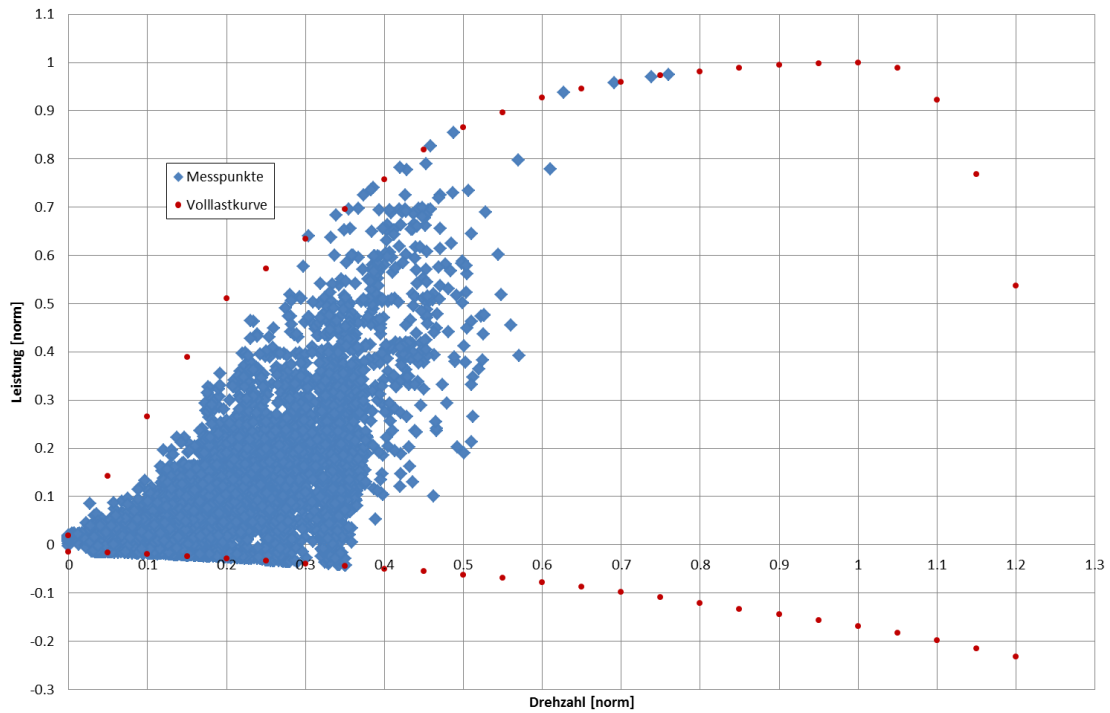


Abbildung 8-25: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Ries 2

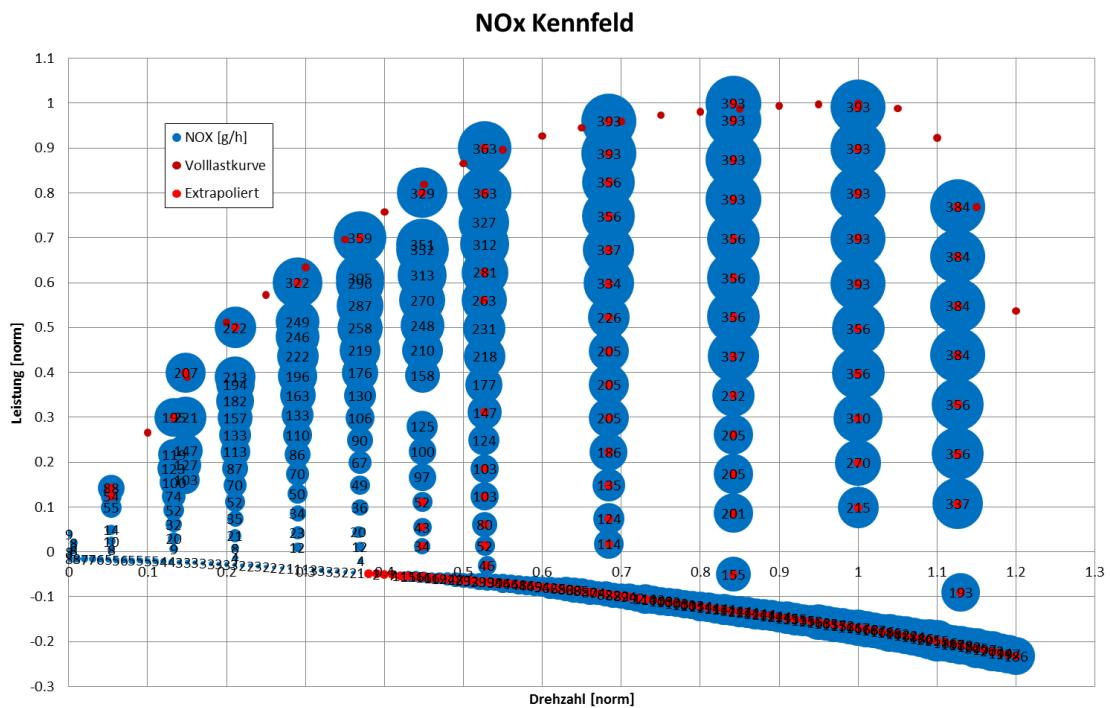


Abbildung 8-26: NOx- Kennfeld der Strecke Ries 2

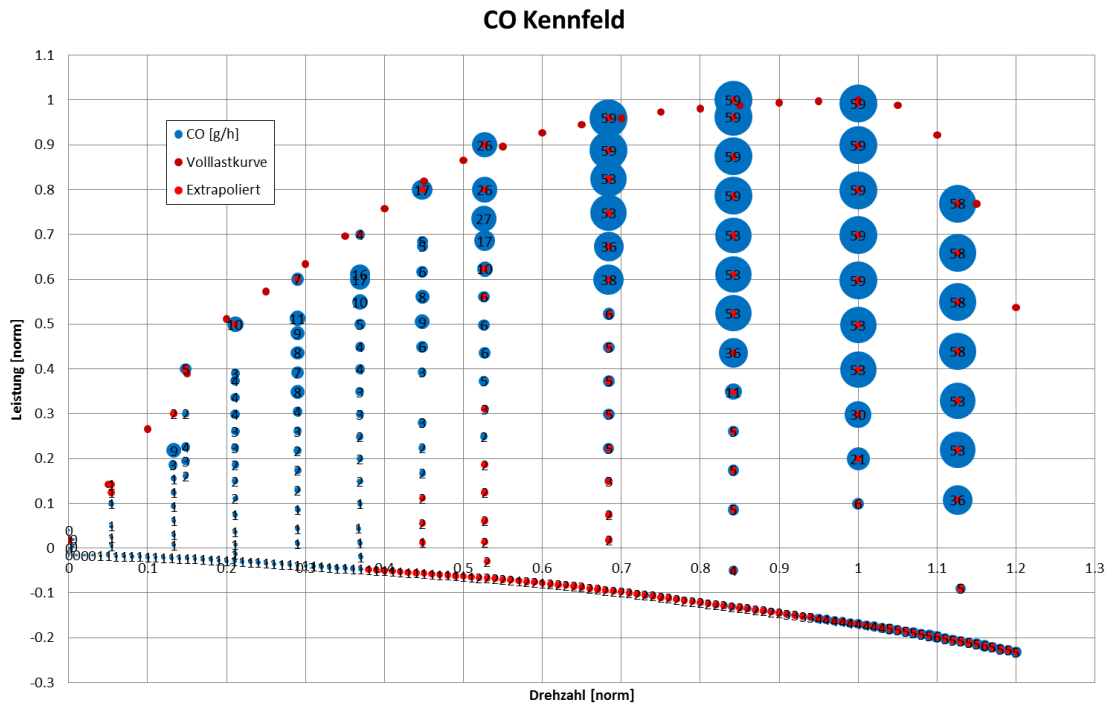


Abbildung 8-27: CO- Kennfeld der Strecke Ries 2

- **Ries 2 + KFA**

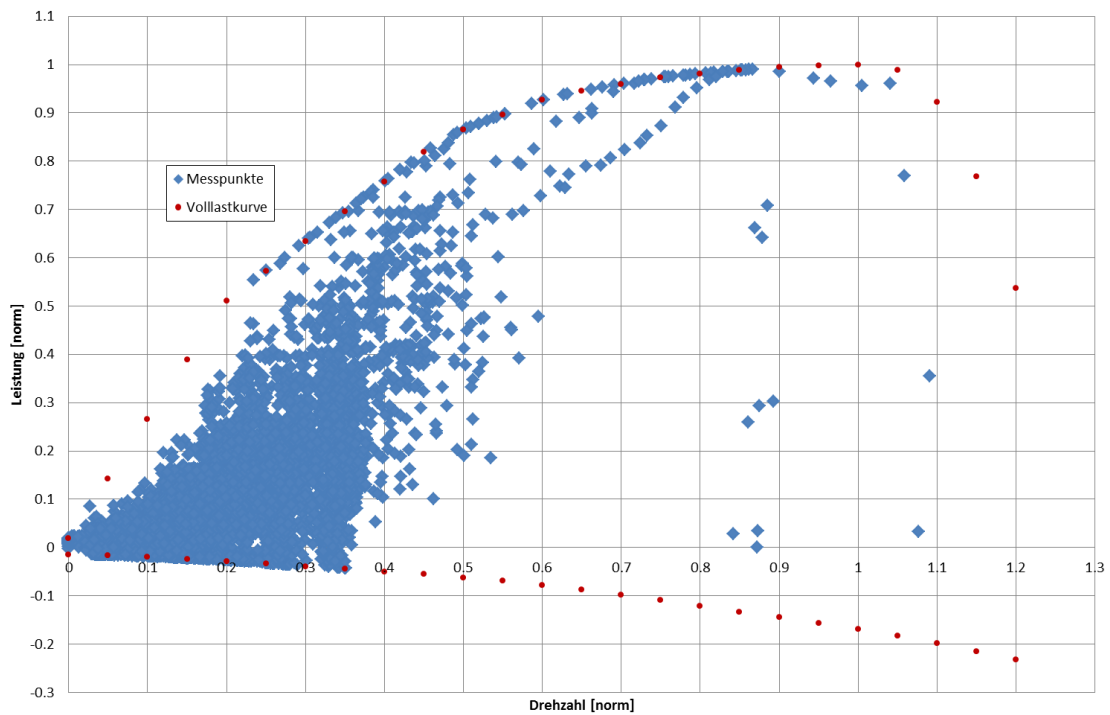


Abbildung 8-28: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Ries 2 + KFA

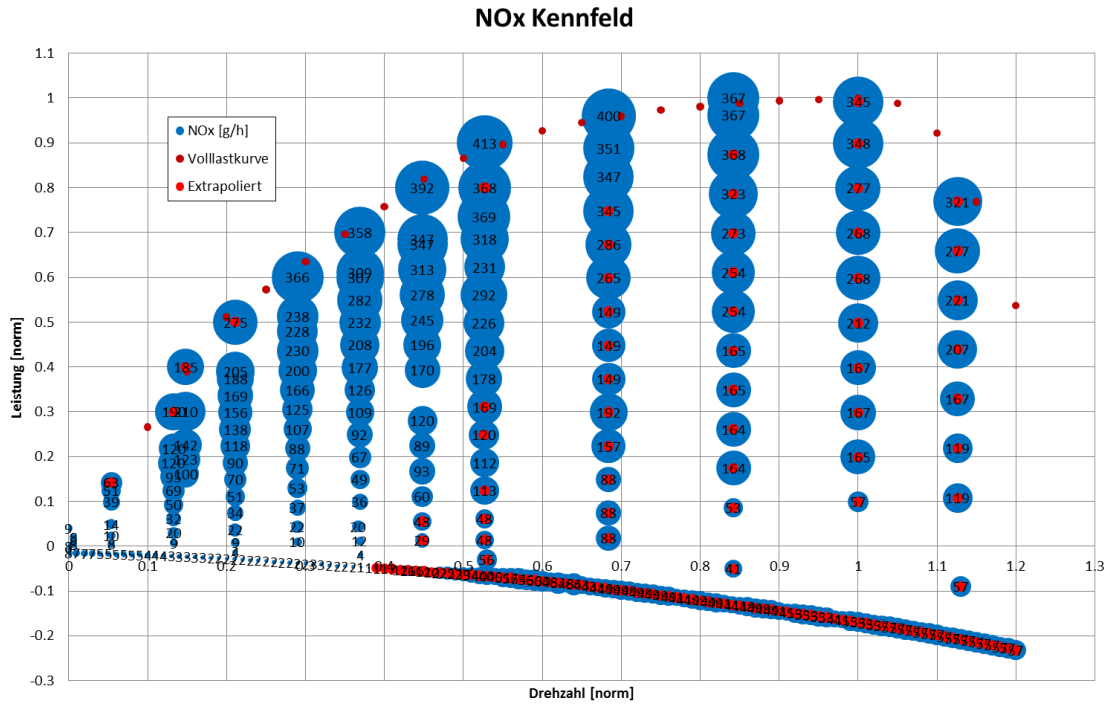


Abbildung 8-29: NOx- Kennfeld der Strecke Ries 2 + KFA

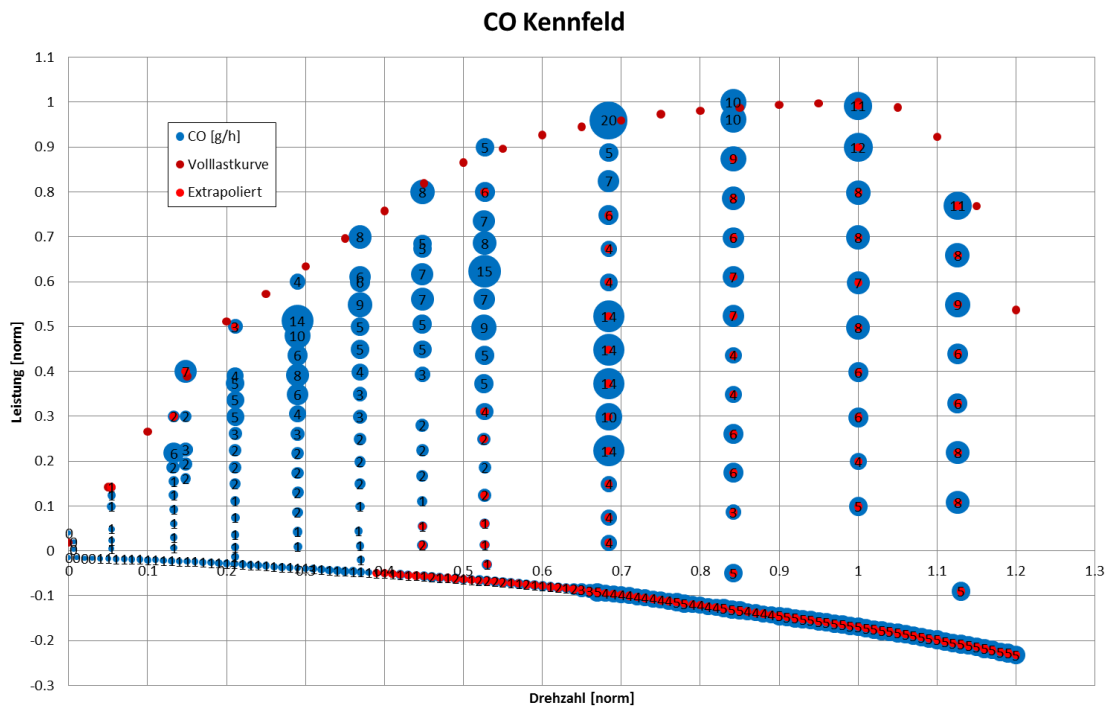


Abbildung 8-30: CO- Kennfeld der Strecke Ries 2 + KFA

## 8.2.2 Auswertung

Tabelle 8-4: Auswertung der Strecke Ries 1

	Strecke	Kennfeld					
	Ries 1	Köflach	Köflach + KFA	Ries 1	Ries 1 + KFA	Ries 2	Ries 2 + KFA
<b>CO<sub>2</sub>RDE [g/h]</b>	7576.13	6149.20	6149.20	6149.20	6149.20	6149.20	6149.20
<b>NO<sub>x</sub>RDE [g/h]</b>	63.61	57.92	57.44	54.75	54.95	58.66	58.24
<b>CO<sub>RDE</sub> [g/h]</b>	2.54	1.32	1.28	2.28	2.13	1.95	1.72

	Strecke	Kennfeld					
	Ries 1	Köflach	Köflach + KFA	Ries 1	Ries 1 + KFA	Ries 2	Ries 2 + KFA
<b>CO<sub>2</sub>RDE [%]</b>	-	-19%	-19%	-19%	-19%	-19%	-19%
<b>NO<sub>x</sub>RDE [%]</b>	-	-9%	-10%	-14%	-14%	-8%	-8%
<b>CO<sub>RDE</sub> [%]</b>	-	-48%	-50%	-10%	-16%	-23%	-32%

Tabelle 8-5: Auswertung der Strecke Ries 2

	Strecke	Kennfeld					
	Ries 2	Köflach	Köflach + KFA	Ries 1	Ries 1 + KFA	Ries 2	Ries 2 + KFA
<b>CO<sub>2</sub>RDE [g/h]</b>	6245.45	5646.88	5646.88	5646.88	5646.88	5646.88	5646.88
<b>NO<sub>x</sub>RDE [g/h]</b>	54.30	52.74	52.08	48.67	48.83	52.78	52.16
<b>CO<sub>RDE</sub> [g/h]</b>	1.67	1.20	1.17	2.28	2.09	1.71	1.59

	Strecke	Kennfeld					
	Ries 2	Köflach	Köflach + KFA	Ries 1	Ries 1 + KFA	Ries 2	Ries 2 + KFA
<b>CO<sub>2</sub>RDE [%]</b>	-	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%
<b>NO<sub>x</sub>RDE [%]</b>	-	-3%	-4%	-10%	-10%	-3%	-4%
<b>CO<sub>RDE</sub> [%]</b>	-	-28%	-30%	37%	25%	2%	-5%

## 8.3 Versuchsfahrzeug 3

### 8.3.1 Analyse der Strecken

#### 8.3.1.1 Kennfeldauffüllung 1 (KFA 1)

Tabelle 8-6: Voll- und Teillastbeschleunigungen der KFA 1

	Gang [-]	Geschwindigkeit		Index [-]
		von [km/h]	bis [km/h]	
Volllastbeschl.	6	80	150	1
	5	85	140	2
	5	85	135	3
Teillastbeschl.	7	95	135	4
	7	90	135	5
	6	95	135	6

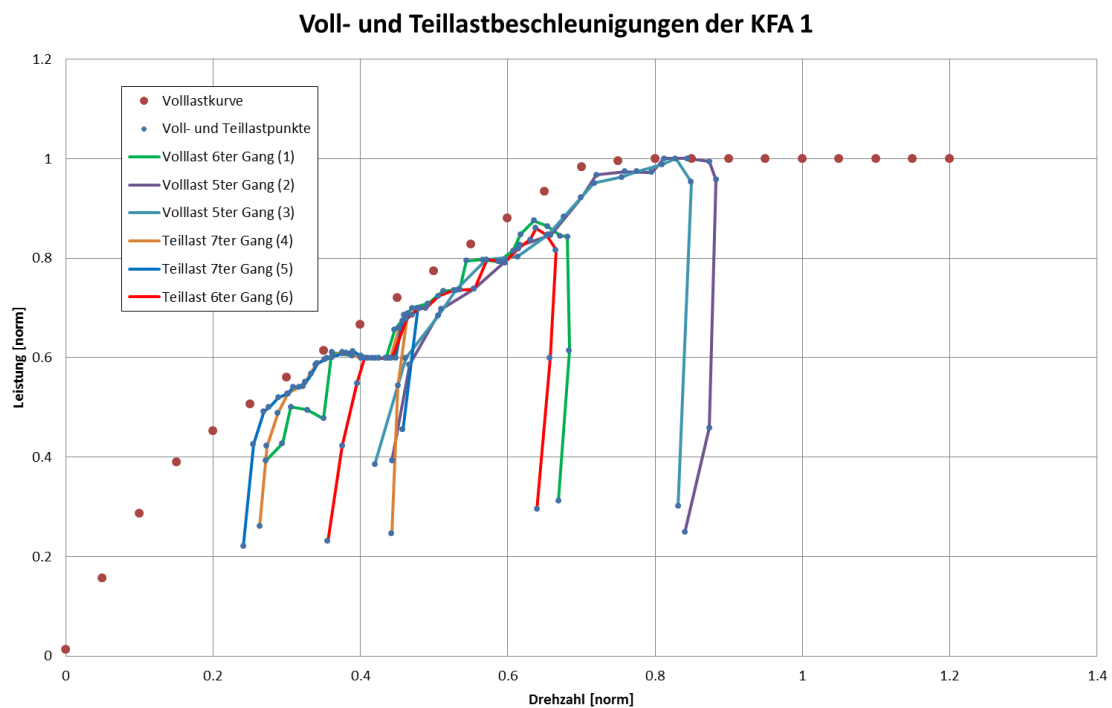


Abbildung 8-31: Lage der Messpunkte im Kennfeld für die Voll- und Teillastbeschleunigungen der KFA 1



### 8.3.1.2 Köflach

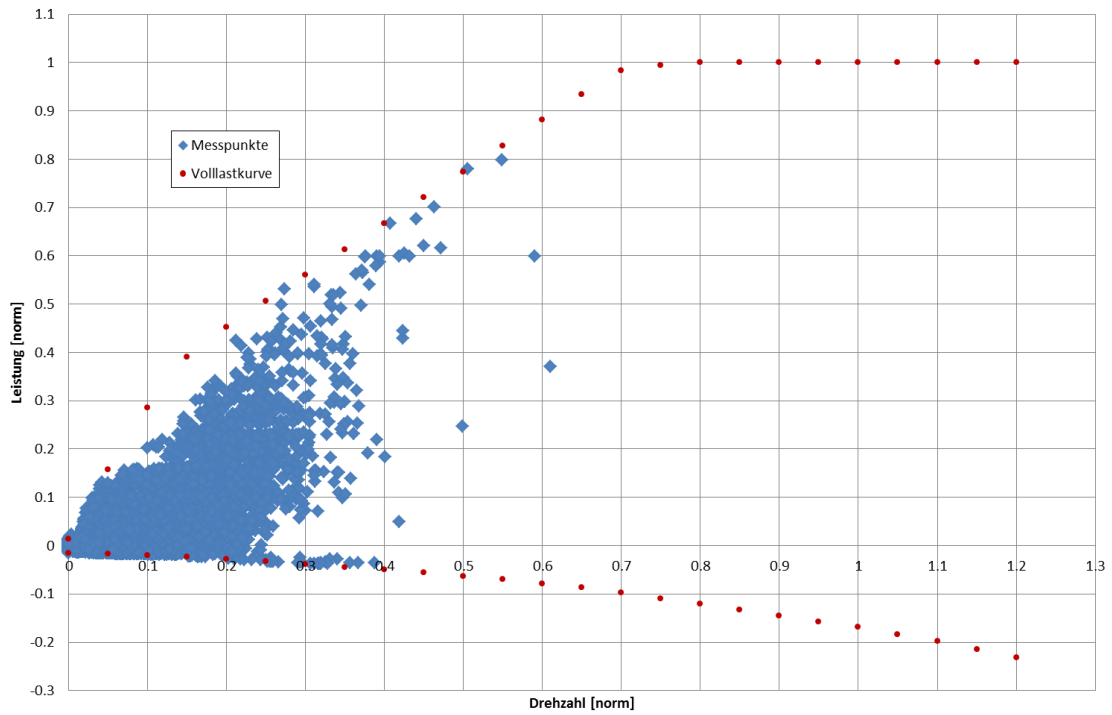


Abbildung 8-32: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach

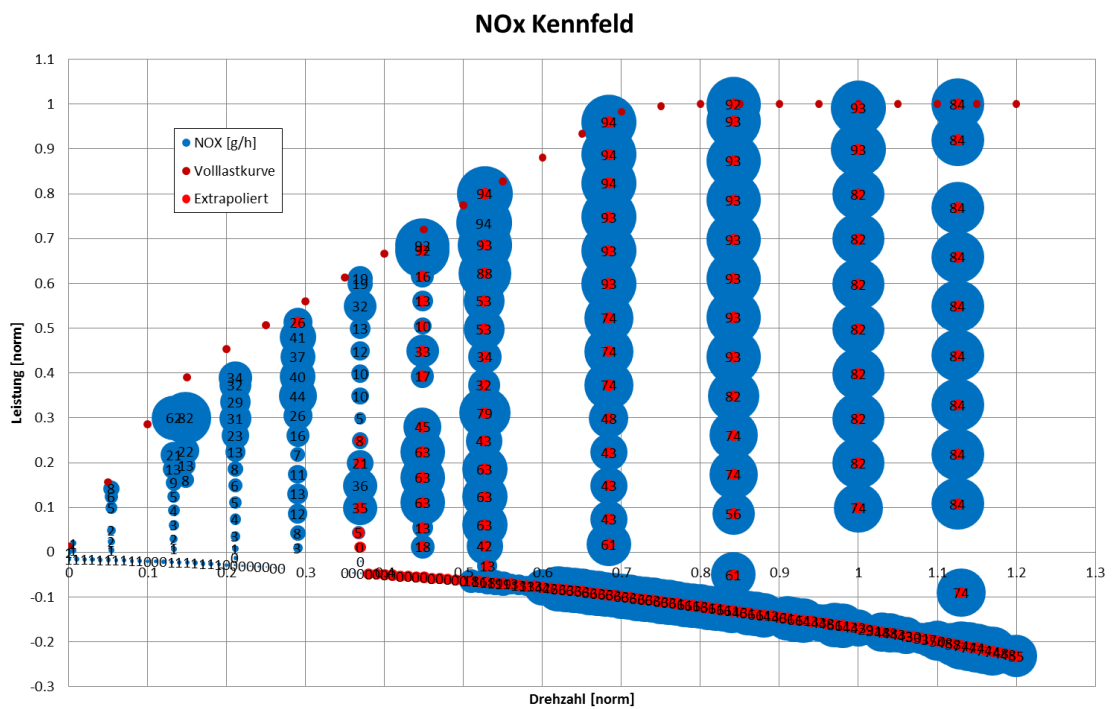


Abbildung 8-33: NOx- Kennfeld der Strecke Köflach

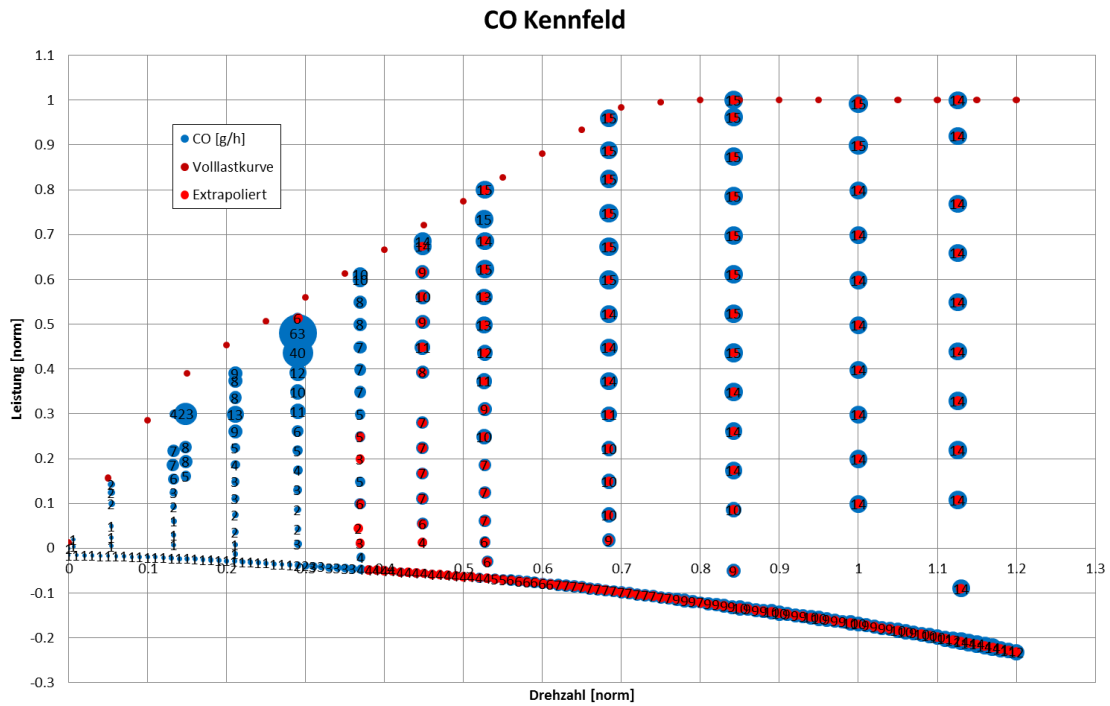


Abbildung 8-34: CO- Kennfeld der Strecke Köflach

### 8.3.1.3 Köflach + KFA 1

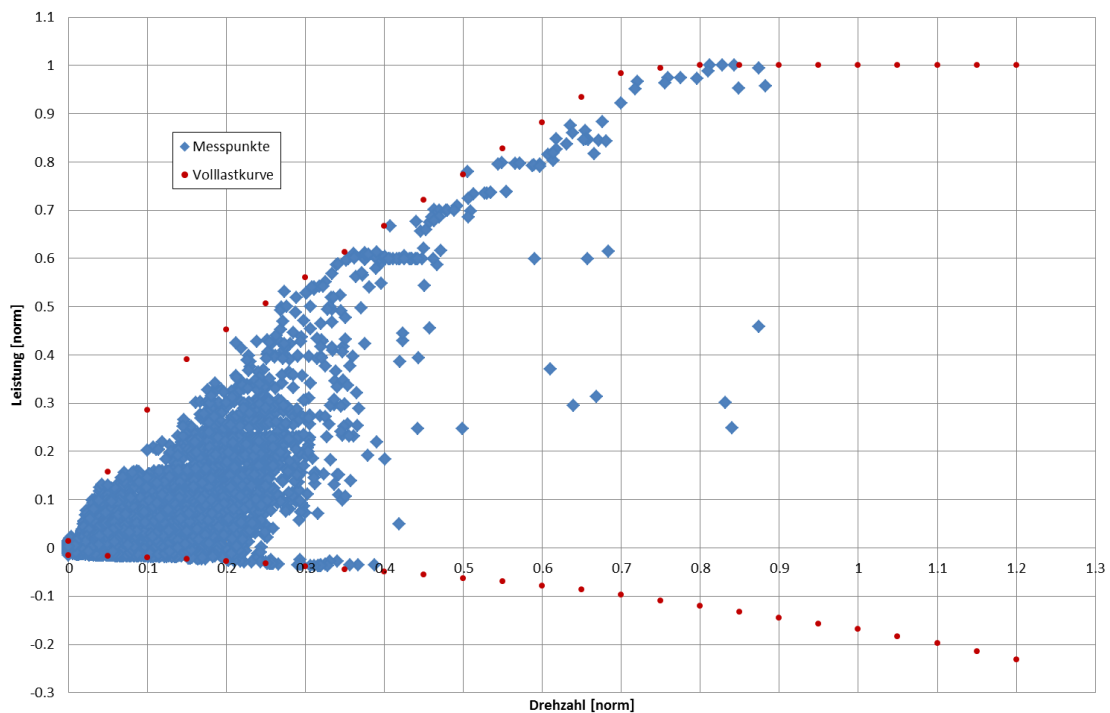


Abbildung 8-35: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach + KFA 1

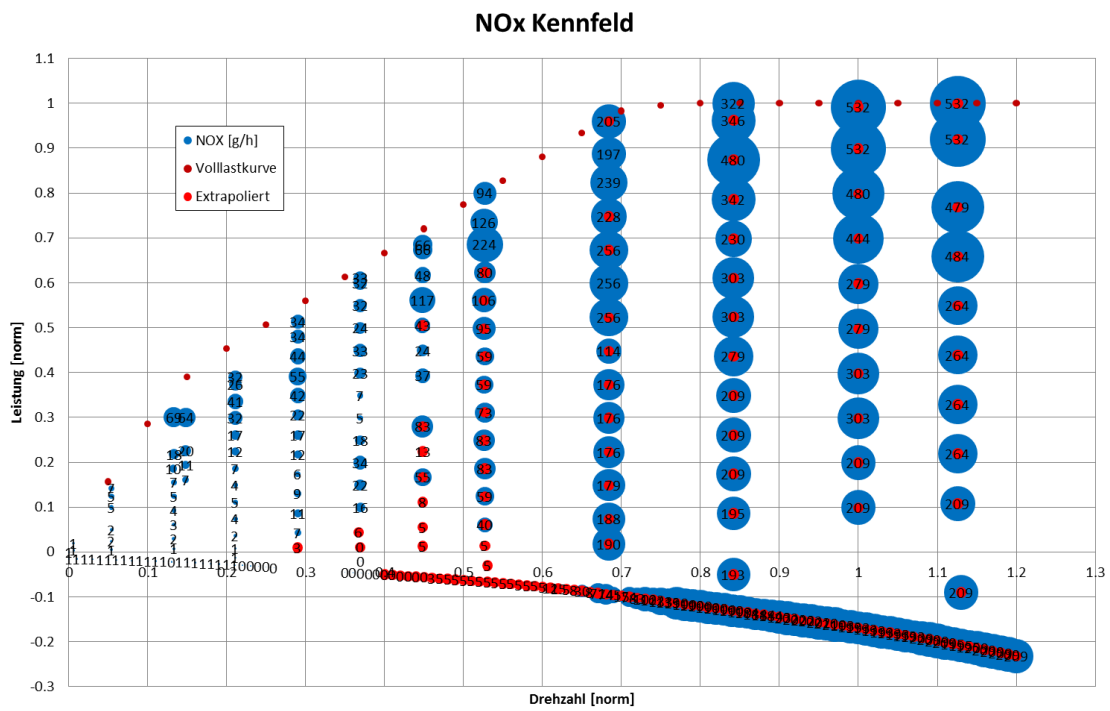


Abbildung 8-36: NOx- Kennfeld der Strecke Köflach + KFA 1

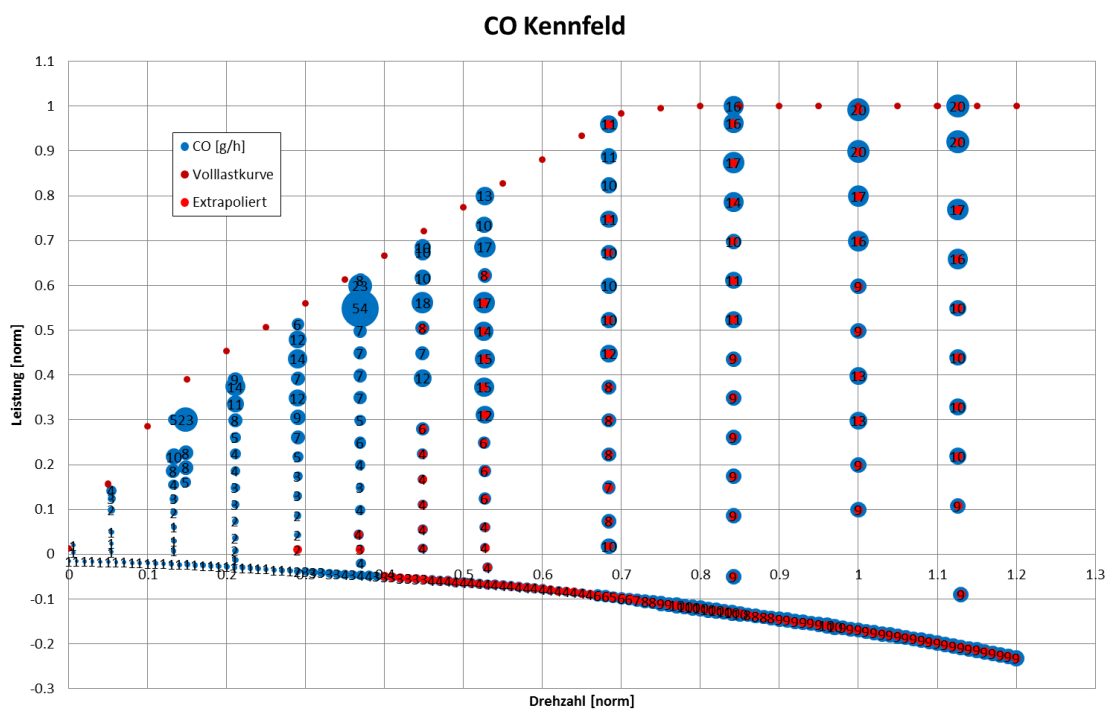


Abbildung 8-37: CO- Kennfeld der Strecke Köflach + KFA 1

### 8.3.1.4 Köflach + KFA 2

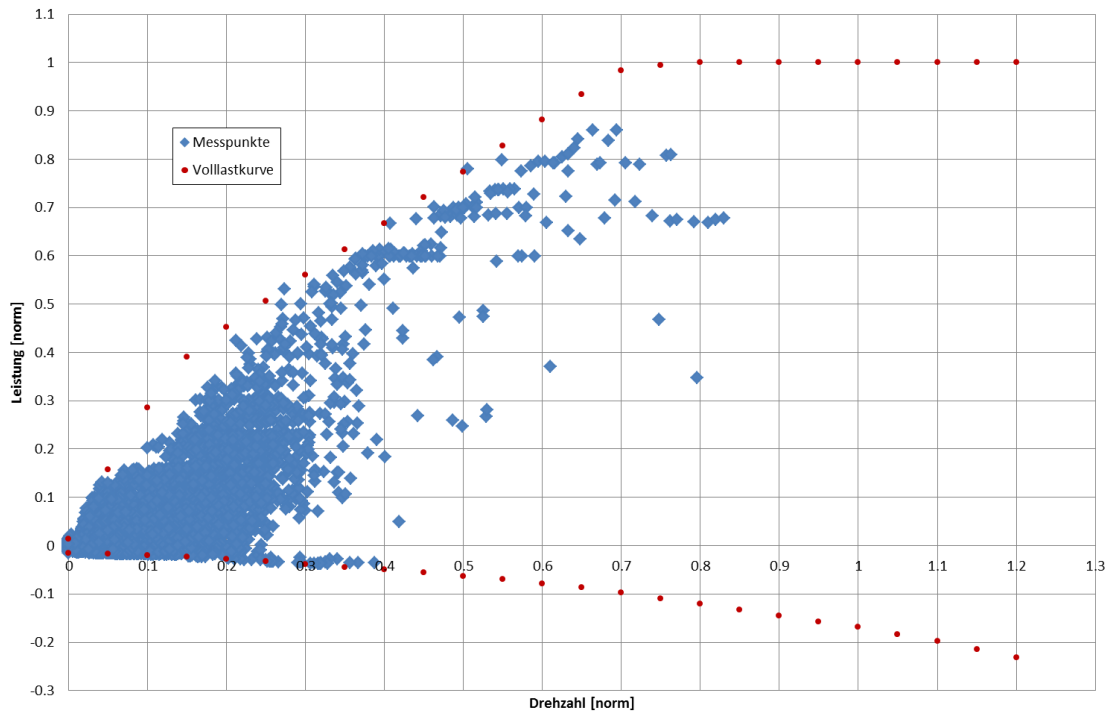


Abbildung 8-38: Lage der Messpunkte im Kennfeld der Strecke Köflach + KFA 2

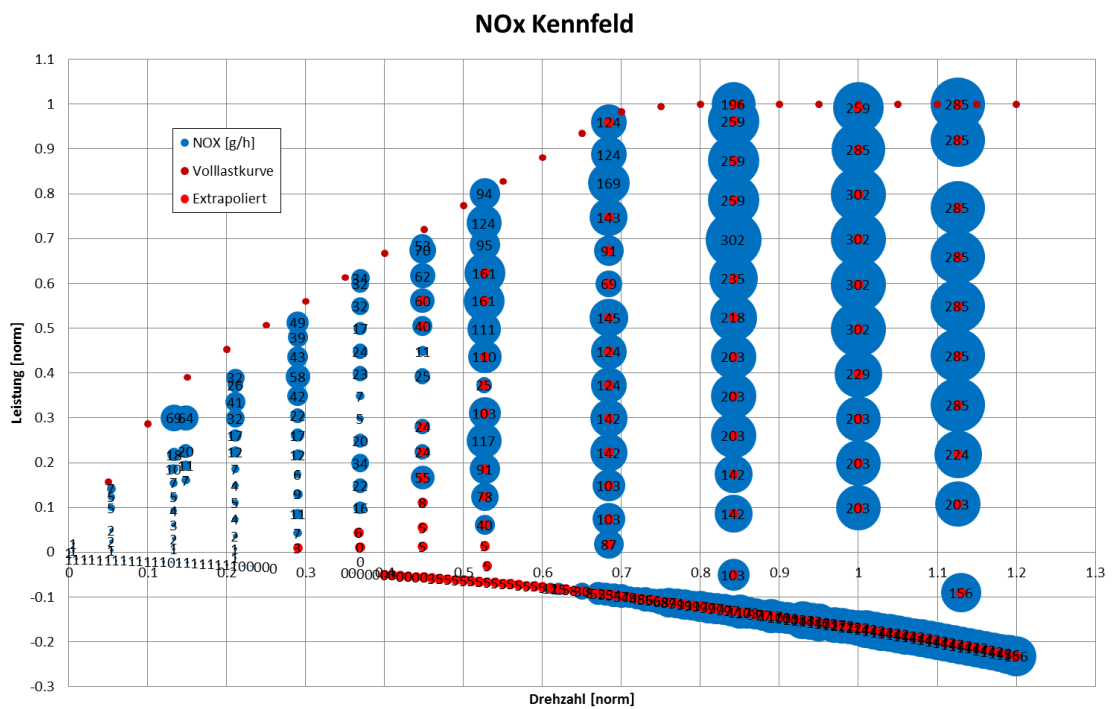


Abbildung 8-39: NOx- Kennfeld der Strecke Köflach + KFA 2

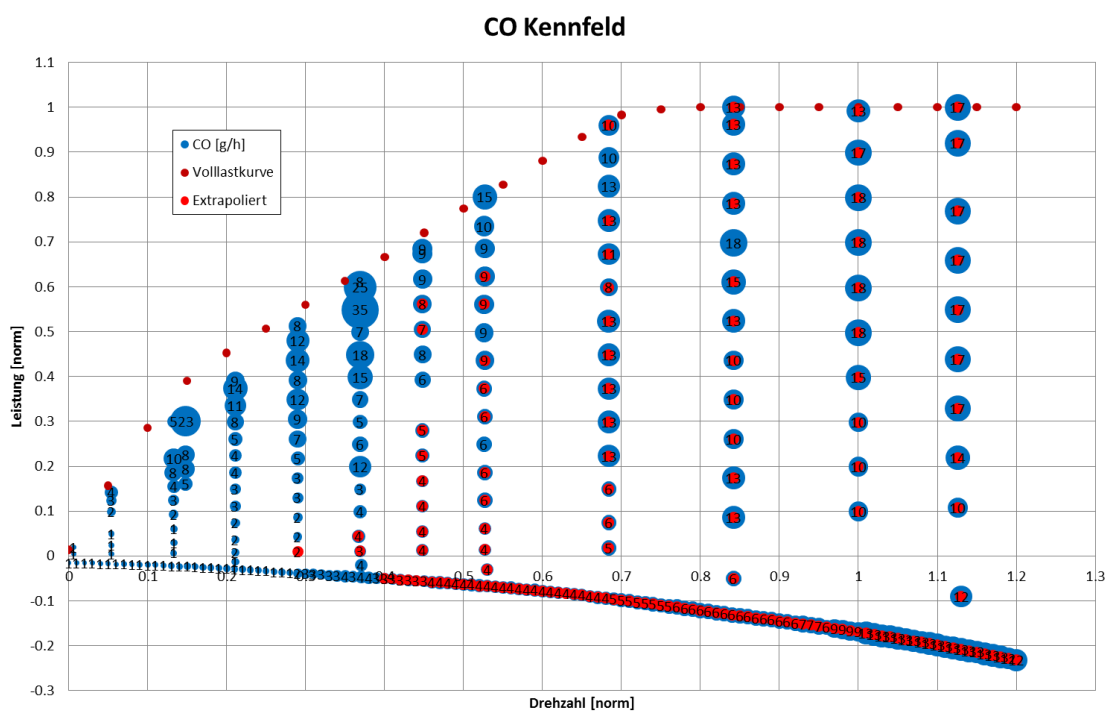


Abbildung 8-40: CO- Kennfeld der Strecke Köflach + KFA 2

### 8.3.2 Auswertung der Strecken

Tabelle 8-7: Auswertung der Strecke Köflach

	Strecke	Kennfeld		
	Köflach	Köflach	Köflach + KFA 1	Köflach + KFA 2
<b>CO<sub>2RDE</sub> [g/h]</b>	10066.39	9494.93	9494.93	9494.93
<b>NO<sub>xRDE</sub> [g/h]</b>	5.00	6.30	6.17	6.17
<b>CO<sub>RDE</sub> [g/h]</b>	2.40	2.69	2.63	2.65

	Strecke	Kennfeld		
	Köflach	Köflach	Köflach + KFA 1	Köflach + KFA 2
<b>CO<sub>2RDE</sub> [%]</b>	-	-6%	-6%	-6%
<b>NO<sub>xRDE</sub> [%]</b>	-	26%	23%	23%
<b>CO<sub>RDE</sub> [%]</b>	-	12%	9%	10%

Tabelle 8-8: Auswertung der Strecke KFA 1

	Strecke	Kennfeld		
	KFA 1	Köflach	Köflach + KFA 1	Köflach + KFA 2
<b>CO<sub>2</sub>RDE [g/h]</b>	66329.62	66944.70	66944.70	66944.70
<b>NO<sub>x</sub>RDE [g/h]</b>	81.39	64.23	118.20	87.02
<b>CO<sub>RDE</sub> [g/h]</b>	10.11	12.71	11.64	11.08

	Strecke	Kennfeld		
	KFA 1	Köflach	Köflach + KFA 1	Köflach + KFA 2
<b>CO<sub>2</sub>RDE [%]</b>	-	1%	1%	1%
<b>NO<sub>x</sub>RDE [%]</b>	-	-21%	45%	7%
<b>CO<sub>RDE</sub> [%]</b>	-	26%	15%	10%