
Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	4
Abstract	5
Kurzfassung.....	6
Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	vi
Tabellenverzeichnis	xi
Formelverzeichnis	xiii
Abkürzungsverzeichnis	xiv
Verzeichnis der Formelzeichen und Indizes.....	xvii
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Konkretisierung der Problemstellung.....	2
1.3 Gliederung der Arbeit.....	3
2 Ausgewählte Studien und Abgrenzung der Arbeit	6
2.1 Auswahl aktueller Studien zur Bewertung der Nachhaltigkeit verschiedener Antriebsarten.....	6
2.2 Abgeleitete Anforderungen an die vorliegende Arbeit	10
3 Ansatz zur Digitalisierung der Fahrprofile von realen Nutzfahrzeuganwendungen	12
3.1 Datenaufnahme im realen Versuch	13
3.2 Streckendigitalisierung.....	14
3.2.1 Erstellung des x/y-Streckenprofils	15
3.2.2 Zuordnung einer Höhe z für jeden x/y-Punkt der digitalen Strecke.....	16
3.2.3 Übertrag des gemessenen Geschwindigkeitsprofils in die Simulation	16
3.2.4 Zusammenfassung der Streckendigitalisierung	18

3.3	Erstellung eines antriebsstrangneutralen Geschwindigkeitsprofils	19
3.4	Zusammenfassung der Digitalisierung realer Fahrprofile	26
4	Fahrzeugmodelle	27
4.1	Fahrwiderstände	27
4.1.1	Rollwiderstand	28
4.1.2	Luftwiderstand	29
4.1.3	Beschleunigungswiderstand	30
4.1.4	Steigungswiderstand	31
4.2	Erstellung der Simulationsmodelle der Diesel-Referenzfahrzeuge	31
4.3	Energiebedarf zur Konditionierung der Fahrgastzelle	36
4.4	Validierung des Diesel-Referenzfahrzeugmodells	40
4.4.1	Simulationsvalidierung mittels Daten aus realen Fahrversuchen am Beispiel des Abfallsammelfahrzeugs	40
4.4.2	Simulationsvalidierung ohne reale Motordaten am Beispiel des Stadtbusses	42
4.5	Erstellung von Fahrzeugmodellen mit alternativen Antrieben	45
4.5.1	Diesel-Hybrid Fahrzeug	45
4.5.2	Gasfahrzeug	47
4.5.3	Batterieelektrisches Fahrzeug (BEV)	51
4.5.4	Brennstoffzellenfahrzeug (FCEV)	59
4.5.5	Fahrzeug mit Wasserstoffverbrennungsmotor (H ₂ -VKM)	64
5	Definition der Energiesysteme: Szenarien zur Stromproduktion	69
5.1	Aktuelle Stromproduktion in Deutschland und der Europäischen Union	70
5.2	Stromproduktion in Deutschland und der Europäischen Union in 2030	72
5.3	Stromproduktion in Deutschland und der Europäischen Union in 2050	74
5.4	Zusammenfassung der Szenarien zur Stromproduktion	75
6	Well-to-Tank-Emissionsfaktoren nach Energieträger (WtT)	77
6.1	Strom	78
6.2	Fossile Energieträger	79

6.2.1	Diesel	79
6.2.1	Komprimiertes Erdgas (CNG) und verflüssigtes Erdgas (LNG)	80
6.3	Strombasierte Energieträger auf Wasserstoffbasis (PtH ₂ und PtX)	82
6.3.1	Produktion von Wasserstoff (PtH ₂)	83
6.3.2	Strombasierte Kraftstoffe mit Kohlenwasserstoffkette (PtX)	85
6.3.3	Zusammenfassung strombasierter Energieträger auf Wasserstoffbasis	92
6.4	Fortschrittliche biogene Energieträger	94
6.4.1	Hydriertes Pflanzenöl (HVO)	95
6.4.2	Fettsäuremethylester (FAME)	97
6.4.3	Zusammenfassung von fortschrittlichen biogenen Energieträgern	98
6.5	Wässrige Harnstofflösung	99
6.6	Zusammenfassung Well-to-Tank Bilanzierung	100
7	Tank-to-Wheel: Berechnung der Emissionsfaktoren im Betrieb (TtW)	102
8	Well-to-Wheel: CO_{2,eq}-Emissionen von der Quelle bis zum Rad (WtW)	105
8.1	Anrechnung von CO ₂ -Gutschriften	105
8.2	Well-to-Wheel CO _{2,eq} -Emissionsfaktoren der betrachteten Energieträger	105
9	Well-to-Wheel CO_{2,eq}-Bilanz in den nutzfahrzeugspezifischen Anwendungen	109
9.1	Abfallsammelbetrieb	111
9.1.1	Einfluss der Umgebungstemperatur auf die spezifischen CO _{2,eq} -Emissionen	113
9.1.2	Vergleich der spezifischen CO _{2,eq} -Emissionen bei 10°C Umgebungstemperatur 116	
9.1.3	Zusammenfassung Abfallsammelbetrieb	119
9.2	Stadtbusbetrieb	120
9.2.1	Vergleich der spezifischen CO _{2,eq} -Emissionen auf der Darmstädter Stadtbuslinie-L bei 10°C Umgebungstemperatur	122
9.2.2	Vergleich der spezifischen CO _{2,eq} -Emissionen auf der Darmstädter Stadtbuslinie-L bei -20°C Umgebungstemperatur	124
9.2.3	Einfluss der Stadtbusroute auf die spezifischen CO _{2,eq} -Emissionen	125

9.2.4	Zusammenfassung Stadtbusbetrieb	126
9.3	Verteilerverkehr	128
9.3.1	Vergleich der spezifischen CO _{2,eq} -Emissionen auf der Odenwald-Route bei 10°C Umgebungstemperatur und 7 t Zuladung	130
9.3.2	Einfluss der Route auf die spezifischen CO _{2,eq} -Emissionen	131
9.3.3	Einfluss der Änderung der Umgebungsbedingungen auf die spezifischen CO _{2,eq} -Emissionen	132
9.3.4	Einfluss der Änderung der Zuladung auf die spezifischen CO _{2,eq} -Emissionen	134
9.3.5	Zusammenfassung Verteilerverkehr	135
9.4	Fernverkehr	137
9.4.1	Einfluss der Route auf die spezifischen CO _{2,eq} -Emissionen	139
9.4.2	Einfluss der Variation der Zuladung auf die spezifischen CO _{2,eq} -Emissionen auf unterschiedlichen Routen	141
9.4.3	Einfluss der Variation der Umgebungsbedingungen auf die CO _{2,eq} -Emissionen einer Sattelzugmaschine	142
9.4.4	Zusammenfassung Fernverkehrsranwendung	143
10	Einfluss der Fahrzeugherstellung auf die Lebenszyklusanalyse	145
11	Zusammenfassung	150
11.1	Vergleich der Antriebs- und Energiesystemkombinationen mit fossilem Diesel	151
11.2	Vergleich der Antriebs- und Energiesystemkombinationen mit HVO33	152
11.3	Vergleich der Antriebs- und Energiesystemkombinationen mit Fischer-Tropsch-Diesel aus Island (FT-Island)	152
11.4	Wichtigste Erkenntnisse aus den Untersuchungen dieser Arbeit	152
12	Ausblick	154
	Literatur	156
	Anhang	170
A	Abfallsammelbetrieb	171
B	Stadtbusbetrieb	174

C	Verteilerverkehr	177
D	Fernverkehr	180
Curriculum Vitae Nicolas Hummel		183
Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge im Rahmen dieser Arbeit		184
Verzeichnis studentischer Arbeiten im thematischen Rahmen dieser Arbeit		185