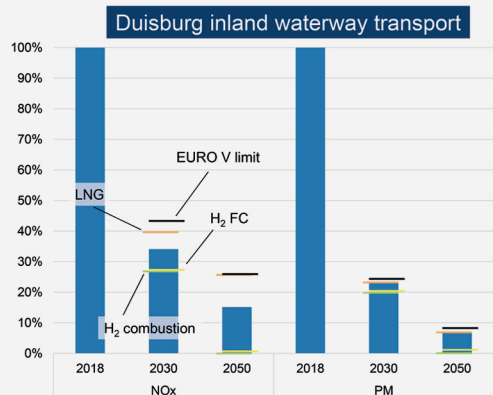
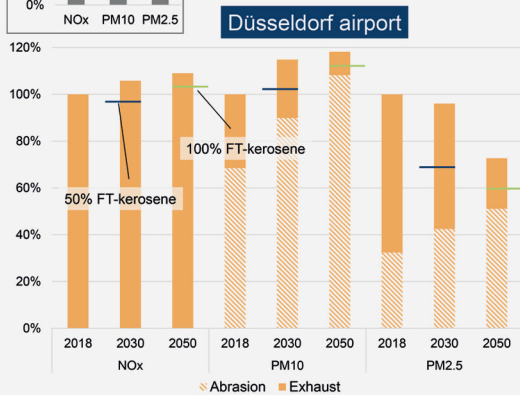
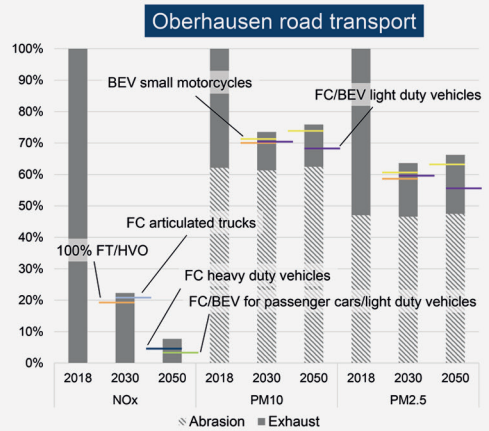
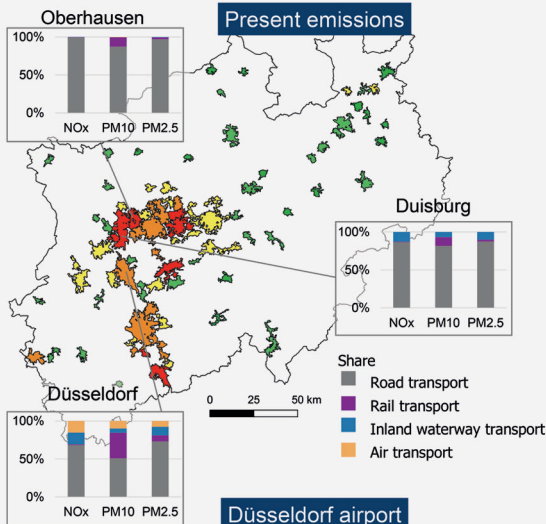




Senkung zukünftiger Stickoxid- und Partikelemissionen in Nordrhein-Westfalen durch den Einsatz alternativer Energieträger und Antriebe

Janos Lucian Breuer

Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 632

ISBN 978-3-95806-760-8

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK)
Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-14)

Senkung zukünftiger Stickoxid- und Partikelemissionen in Nordrhein-Westfalen durch den Einsatz alternativer Energieträger und Antriebe

Janos Lucian Breuer

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 632

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-760-8

Inhaltsverzeichnis

Abstract	i
Kurzfassung	iii
1 Einleitung	1
1.1 Nordrhein-Westfalen als Modellgebiet	2
1.2 Zielsetzung der Arbeit	2
1.3 Gliederung der Arbeit	3
2 Grundlagen	5
2.1 Gesundheitsschädliche Emissionen	5
2.1.1 Verbrennungsbedingte Emissionen	5
2.1.2 Abriebsemissionen	9
2.2 Antriebe und Energieträger	11
2.3 Straßenverkehr	11
2.3.1 Definition und Fahrzeugklassen	11
2.3.2 Konventionelle Energieträger	12
2.3.3 Richtlinien für Schadstoffemissionen	13
2.4 Binnenschifffahrt	16
2.4.1 Definition und Schiffstypen	16
2.4.2 Konventionelle Energieträger	17
2.4.3 Richtlinien für Schadstoffemissionen	17
2.5 Schienenverkehr	18
2.5.1 Definition und Fahrzeugklassen	18
2.5.2 Konventionelle Energieträger	18
2.5.3 Richtlinien für Schadstoffemissionen	19
2.6 Flugverkehr	19
2.6.1 Definition und Verkehrstypisierung	19
2.6.2 Konventionelle Energieträger	19
2.6.3 Richtlinien für Schadstoffemissionen	20
2.7 Fahrleistung, Verkehrsleistung und Betriebsleistung	21
3 Literatur	23
3.1 Modelle zur Emissionsberechnung in der Literatur	23
3.2 Straßenverkehr	25
3.2.1 Straßennetz	25
3.2.2 Fahrleistungen und Fahrzeugbestände	25
3.2.3 Emissionsberechnung	27
3.2.4 Emissionsfaktoren	28
3.3 Binnenschifffahrt	29
3.3.1 Wasserstraßen	29
3.3.2 Verkehrsleistung	29
3.3.3 Emissionsberechnung	31

3.3.4	Emissionsfaktoren	32
3.3.5	Sonstige Daten	34
3.4	Schienenverkehr	36
3.4.1	Schienennetz	36
3.4.2	Daten zur Berechnung von Fahrleistung, Verkehrsleistung und Betriebsleistung	36
3.4.3	Emissionsberechnung	39
3.4.4	Emissionsfaktoren	40
3.5	Flugverkehr	43
3.5.1	Flughäfen	43
3.5.2	LTO-Zyklus	45
3.5.3	Emissionsberechnung	45
3.5.4	Emissionsfaktoren	52
3.5.5	Sonstige Daten	52
3.6	Allgemeine georeferenzierte und statistische Daten	54
3.7	Verkehrsleistungsentwicklung	54
3.7.1	Verkehrsleistungsentwicklung in Deutschland bis 2050	54
3.7.2	Fahrleistungsentwicklung des Straßenverkehrs mit der S-Kurven Methode nach Decker [50]	61
3.7.3	Entwicklung der <i>Landing and Take Off</i> Zyklen	61
3.8	Identifizierung von potentialreichen Energieträgern für den zukünftigen Transportsektor	63
3.8.1	Rahmen zur Diskussion	63
3.8.2	Bewertung der technischen Reife, des Potentials und der Kosten	67
3.8.3	Bewertung des Einsatzes von alternativen Energieträgern	74
3.8.4	Fazit	83
4	Modellentwicklung	89
4.1	Allgemeine Annahmen	89
4.2	Verkehrsmodell für den Straßenverkehr	89
4.2.1	Diskretisierung der Fahrleistung	90
4.2.2	Berechnung der Emissionen	94
4.2.3	Zukünftige Emissionen	95
4.3	Verkehrsmodell für die Binnenschifffahrt	108
4.3.1	Diskretisierung der Fahrleistung	108
4.3.2	Berechnung der Emissionen	108
4.3.3	Zukünftige Emissionen	111
4.4	Verkehrsmodell für den Schienenverkehr	114
4.4.1	Diskretisierung der Fahrleistung	114
4.4.2	Berechnung der Emissionen	119
4.4.3	Zukünftige Emissionen	120
4.5	Verkehrsmodell für den Flugverkehr	121
4.5.1	Diskretisierung der Landing and Take Off Cycle-Werte	121
4.5.2	Berechnung der Emissionen	123
4.5.3	Zukünftige Emissionen	126
4.6	Visualisierung	128
4.7	Fazit	128
5	Ergebnisse	131
5.1	Aktuelle Fahrleistungen und Verkehrsleistungen 2018	131
5.1.1	Straßenverkehr	131
5.1.2	Binnenschifffahrt	138
5.1.3	Schienenverkehr	139
5.1.4	Flugverkehr	145

5.2	Aktuelle Emissionen 2018	148
5.2.1	Straßenverkehr	148
5.2.2	Binnenschifffahrt	154
5.2.3	Schienenverkehr	158
5.2.4	Flugverkehr	162
5.2.5	Vergleich der Emissionen von Straßenverkehr, Binnenschifffahrt, Schienenverkehr und Flugverkehr	168
5.2.6	Fazit aktuelle Emissionen	177
5.3	Zukünftige Emissionen 2030 und 2050	177
5.3.1	Straßenverkehr	177
5.3.2	Binnenschifffahrt	187
5.3.3	Schienenverkehr	190
5.3.4	Flugverkehr	191
5.4	Validierung der Ergebnisse	194
5.4.1	Fahrleistung und Verkehrsleistung	194
5.4.2	Emissionen	195
5.5	Fazit Ergebnisse	198
6	Diskussion und Fazit	201
6.1	Vergleich und Diskussion der zukünftigen Emissionen	201
6.2	Einordnung in die bestehende Literatur	204
6.2.1	Einfluss zukünftiger Emissionen auf Immissionen	204
6.2.2	Bedeutung von Abriebsemissionen in der Zukunft	204
6.3	Handlungsempfehlungen für den zukünftigen Transportsektor	205
6.3.1	Straßenverkehr	206
6.3.2	Binnenschifffahrt	207
6.3.3	Schienenverkehr	208
6.3.4	Flugverkehr	208
7	Zusammenfassung	211
	Literaturverzeichnis	215
	Abkürzungsverzeichnis	239
	Symbol- und Indexverzeichnis	245
	Tabellenverzeichnis	247
	Abbildungsverzeichnis	253
A	Anhang	261
A.1	Ergänzende Informationen zum Kapitel Grundlagen	262
A.2	Ergänzende Informationen zum Kapitel Literatur	267
A.3	Ergänzende Informationen zum Kapitel Modellentwicklung	291
A.4	Ergänzende Informationen zum Kapitel Ergebnisse	312
A.5	Ergänzende Informationen zum Kapitel Diskussion und Fazit	338

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 632
ISBN 978-3-95806-760-8