

Fachbericht

Ökobilanz der Mobilitätskonzepte der Stadt Essen

Wilhelm Wall, Stefan Flamme, Nikolaj Zugcic, Marco K. Koch

Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl Energiesysteme und Energiewirtschaft

September 2016

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben „Begleitforschung des Wettbewerbs
„Energieeffiziente Stadt““ wird mit den Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
(BMBF) unter dem Förderkennzeichen 03SF0415A gefördert.



Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	2
1 Einleitung	3
2 Grundlagen - Untersuchungsrahmen und Ökobilanzierung	3
2.1 Untersuchungsrahmen der durchgeführten Betrachtung	3
2.2 Kurze Einführung in die Grundlagen der Ökobilanzierung	5
3 Referenzsystem für die Untersuchung des innerstädtischen Verkehrskonzeptes in Essen	6
3.1 Referenzsystem 2010	6
3.2 Referenzsystem 2020	6
3.3 Darstellung der Referenzsysteme 2010 und 2020.....	8
4 Ökobilanzielle Betrachtung der Auswirkungen von Mobilitätsmaßnahmen	9
4.1 Wirkungsabschätzung der betrachteten Maßnahmen.....	10
4.2 Ergebnisse der ökobilanziellen Betrachtung.....	13
5 Zusammenfassung und Fazit	17
6 Literaturverzeichnis	19

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung Bezeichnung

AP	Acid Potential (Versauerungspotenzial)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BUS	Schweizer Bundesamt für Umweltschutz
CNG	Compressed Natural Gas (komprimiertes Erdgas)
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
EnEff-Stadt	Energieeffiziente Stadt
EU	Europäische Union
EVAG	Essener Verkehrs AG
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme
GWP	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial)
ISO	International Organisation for Standardisation
KBA	Kraftfahrtbundesamt
KEA	kumulierter Energieaufwand
Kfz	Kraftfahrzeug
LPG	Liquid Petroleum Gas (Flüssiggas, Autogas)
MIV	Motorisierter Individualverkehr (Pkw, Krafträder)
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
P.km	Personenkilometer
Pkw	Personenkraftwagen
TOPP	Tropospheric Ozone Precursor Potential (Troposphärisches Ozonbildungspotenzial)

1 Einleitung

Die Bundesregierung hat ambitionierte Klimaziele formuliert, die die Reduktion treibhausrelevanter Klimagase, allen voran des Kohlenstoffdioxids (CO₂), vorsehen. Eine Reduktion CO₂-äquivalenter Emissionen von 40 % bis zum Jahr 2020 und von 80-95 % bis zum Jahr 2050 gegenüber dem Bezugsjahr 1990 werden als Ziel angestrebt. [BUN2014]

Um die deutschen Klimaziele erreichen zu können, sind Einsparungen in allen energierelevanten Sektoren nötig. So sind im Sektor Verkehr in Deutschland seit 1990 kaum Einsparungen der Endenergie oder der Treibhausgasemissionen erreicht worden. Auf den Verkehr entfallen bundesweit immer noch 30 % des Endenergieverbrauchs sowie 20 % der CO₂-äquivalenten Emissionen, wobei die Fahrleistung im motorisierten Individualverkehr (MIV) seit 1990 um 28 % gestiegen ist. Der Anteil des MIV am bundesweiten Personenverkehr sowie am verkehrsbedingten Primärenergieverbrauch liegt zudem seit 1990 unverändert bei 80 % [UBA2012], [UBA2014].

In dieser Arbeit werden zunächst die Mobilitätskonzepte der Gewinnerstädte des Wettbewerbs „Energieeffiziente Stadt“ untersucht. Daraus wird eine geeignete Stadt für eine erste ökobilanzielle Betrachtung gewählt. Für diese Stadt werden zwei Referenzkonzepte für die Jahre 2010 und 2020 erarbeitet, die in einem weiteren Schritt den Ergebnissen der ökobilanziellen Betrachtung der Mobilitätskonzepte gegenübergestellt und ausgewertet werden. Abschließend erfolgt eine Zusammenfassung der durchgeführten Arbeit.

2 Grundlagen - Untersuchungsrahmen und Ökobilanzierung

2.1 Untersuchungsrahmen der durchgeführten Betrachtung

Um die Verkehrsstruktur auf kommunaler Ebene positiv zu verändern, werden im Rahmen des vom BMBF geförderten Wettbewerbs „Energieeffiziente Stadt“ von vier der fünf teilnehmenden Städte Maßnahmen im Bereich Mobilität entwickelt.

Eine Analyse der Umsetzungskonzepte ergab, dass sich die städtischen Mobilitätskonzepte für eine ökobilanzielle Betrachtung unterschiedlich gut eignen. Die Konzepte der Städte Stuttgart und Essen beinhalten viele Maßnahmen, die sich auch über den zeitlichen Projektrahmen des Wettbewerbs „Energieeffiziente Stadt“ hinaus, in der kommunalen Planung und Umsetzung befinden. Die Gewinnerstädte werden hierzu um fünf weitere Städte aus der Projektphase 2¹ des Wettbewerbs „Energieeffiziente Stadt“ erweitert, da diese ebenfalls Mobilitätsmaßnahmen in deren Umsetzung vorsahen. Das verdeutlicht die Relevanz dieser Maßnahmen und des Felds Mobilität für die Diskussion der Energieeffizienz im Sektor Verkehr. Die Tabelle 2-1 beinhaltet neun Städte und gibt eine Übersicht der Maßnahmen. Die Gewinnerstadt Delitzsch ist aufgrund der wenigen Mobilitätsmaßnahmen im Umsetzungskonzept nicht mit aufgenommen. Der Fokus liegt auf den

¹ Die Projektphase 2 hatte eine Laufzeit von einem Jahr (2009-2010). In diesem Zeitraum wurden 15 Städte gefördert, um Umsetzungskonzepte zu erarbeiten, die in Projektphase 3 von fünf Gewinnerstädten umgesetzt werden.

Gewinnerstädten, die grau unterlegt sind. Die waagrecht grau unterlegten Maßnahmenbereiche werden aufgrund der Häufung der Maßnahmen als relevante Bereiche identifiziert. Besonders die Gewinnerstädte Essen und Stuttgart weisen in diesen Maßnahmenbereichen eine Fülle verschiedener Maßnahmen auf. Am häufigsten lassen sich die Maßnahmen in die Bereiche Elektromobilität, Stärkung des ÖPNV's und die Stärkung des Fahrradverkehrs einordnen. Die Kontaktaufnahme mit den Städten Essen und Stuttgart ergibt, dass die Maßnahmen in der Stadt Essen detaillierter definiert und beschrieben sind und somit für die Konstruktion einer ökobilanziellen Analyse eignen [SCH2015], [DOB2014], [ESS2014B], [ZUG2014], [FLA2015]. Aus diesem Grund wurde die Stadt Essen für die weitere Untersuchung der Mobilitätsmaßnahmen ausgewählt. Der wesentliche Fokus der kommunalen Mobilitätsmaßnahmen in den Umsetzungskonzepten liegt auf der Personenmobilität (s. Tabelle 2-1), sodass lediglich die Betrachtung der Personenmobilität erfolgt. Zudem liegt das Verhältnis von Personen- zu Gütertransport in Städten ganz klar auf der Seite des Personenverkehrs. Darüber hinaus weisen die Maßnahmen, die im Projekt auf den Güterverkehr abzielen, starke Züge von Pilot- oder Forschungsprojekten auf (z. B. das Miniverteilzentrum der Stadt Magdeburg [RIC2015]). Eine detaillierte Erfassung ist somit derzeit nur schwer möglich.

Tabelle 2-1: Übersicht der Mobilitätskonzepte der Städte aus der Phase 2 und der Umsetzungsphase des Wettbewerb „Energieeffiziente Stadt“

Maßnahmenbereiche	Städte								
	Essen	Stuttgart	Magdeburg	Wolffhagen	Gmünd	Aachen	München	Düsseldorf	Oldenburg
	[Ess2010]	[Stu2010]	[Mag2010]	[Wol2010]	[Sch2010]	[AAC2010]	[MÜN2010]	[DÜS2010]	[Old2010]
Umstieg auf effizientere Kfz	X				X				X
E-mobilität und altern. Kfz-Antriebe	X			X	X	X	X		X
effiziente Fahrweise	X	X							
Stärkung ÖPNV	X	X		X	X			X	X
Carsharing	X				X				
Stärkung Radverkehr	X	X			X	X	X		X
Stärkung Wege zu Fuß	X				X				X
regionale Mautgebühren		X							
Parkraummanagement		X			X				
Hybrid- statt konv. Busse		X			X			X	
Verbesserung Verkehrsleittechnik		X	X			X			
Verkehrsman. Zentrale			X		X			X	
Miniverteilzentrum			X						
Kombination Wohnen und Mobilität						X	X		

Dazu wird in einem ersten Schritt ein Referenzsystem für das Jahr 2010 erarbeitet, das das Verkehrssystem des innerstädtischen Personenverkehrs vereinfacht abbildet. Das Fahrverhalten der Bevölkerung der beiden Städte wird nach dem Verursacherprinzip ausgewertet. Der gewählte Betrachtungszeitraum für die Auswirkungen der Maßnahmen liegt aufgrund der Datenlage sowie der Tatsache, dass die meisten Maßnahmen schon vor Beginn des eigentlichen Umsetzungszeitraumes begonnen wurden, zwischen den Jahren 2010 und 2020. Ein wichtiger Aspekt bei der Erarbeitung des Referenzsystems ist das bereits im Vorfeld durchgeführte Screening der Maßnahmen. Das ist notwendig, damit das Referenzsystem auf das zukünftige System für das Jahr 2020 erweitert werden kann. Das Referenzsystem wird so gestaltet, dass die kommunalen Maßnahmen und deren Wirkungen (s. Kapitel 3) auch im Nachhinein ergänzt werden können. Aufbauend darauf wird das System in einem nächsten Schritt zunächst in das Jahr 2020 extrapoliert, um anhand dieses Systems die Auswirkungen der städtischen Mobilitätsmaßnahmen in der Zukunft bestimmen zu können. Der Betrachtungsrahmen der Untersuchungen von zehn Jahren liegt somit über der Laufzeit des Wettbewerbs „Energieeffiziente Stadt“, was für die Betrachtung von Mobilitätskonzepten jedoch äußerst sinnvoll ist, da Mobilitätsmaßnahmen und vor allem die Mobilitätsinfrastruktur auf lange Zeiträume ausgelegt sind. Anschließend werden für alle betrachteten Maßnahmen Wirkungsabschätzungen durchgeführt, deren Ergebnisse mit Werten aus der Ökobilanzdatenbank GEMIS beaufschlagt werden. [ZUG2014] [FLA2015]

2.2 Kurze Einführung in die Grundlagen der Ökobilanzierung

Das erstmalige Auftreten des Gedankens der Ökologie erfolgte im Zeitraum um 1970 im Zusammenhang mit dem Anstieg des Interesses am Umweltschutz. Die erstmalige Nutzung des Begriffes Ökobilanz erfolgte 1984 durch das Schweizer Bundesamt für Umweltschutz (BUS) im Jahr 1993. Zu dieser Zeit wurden auch die ersten Normungsanstrengungen durch die International Organization for Standardization (ISO) unternommen und im Verlauf der Zeit ins Deutsche übersetzt und in die DIN-Norm übernommen. Im deutschsprachigen Raum wird im Wesentlichen die Bezeichnung DIN verwendet. Heutzutage ist die Ökobilanzierung durch die beiden Normen (DIN EN ISO 14040 und 14044) definiert [KLÖ2009]. [WAL2012]

In einer Ökobilanz wird ein Produkt gesamtheitlich betrachtet. Ein Produkt ist dabei nicht zwingend ein materieller Gegenstand sondern kann vielmehr ein Nutzen sein. Somit kann ein Produkt neben einem klassischen Produkt (z. B. ein Auto) auch eine entsorgte Tonne Abfall, ein gebautes Gebäude oder eine Transportleistung sein. Eine Ökobilanz ist demnach eine Methode, mit Hilfe derer ermöglicht wird Produkten produktspezifische potenzielle Umweltauswirkungen zuzuweisen bzw. diese abzuschätzen, die darüber hinaus z. B. Schwachpunkte aufzeigen können. [KLÖ2009], [DIN2006], [DIN2009], [WAL2012]

Die ökobilanzielle Betrachtung der Verkehrskonzepte erfolgt in Anlehnung an die Normen für die produktbezogenen Ökobilanzen nach der DIN 14040 und 14044, eine „vollständige“ Ökobilanz wird jedoch nicht umgesetzt [DIN2006], [DIN2009]. Eine Produktökobilanz umfasst neben der

Nutzungsphase auch die Herstellungs- und die Entsorgungsphase [KLÖ2009]. Für die hier durchgeführte Ökobilanz erfolgt jedoch nur die Betrachtung der Nutzungsphase, da dort die wesentlichen Energieaufwendungen anfallen (Kraftstoffe, Fahrstrom) und zudem für die Betrachtung eines definierten Zeitraums (einige Jahre) keine Beschaffung neuer Fahrzeuge und auch keine Entsorgung selbiger angenommen wird. Die durchgeführte ökobilanzielle Betrachtung verfolgt dennoch den ganzheitlichen Ansatz, wodurch die Mobilität, die als System betrachtet werden muss hinreichend genau beschrieben und die Umweltwirkungen der heutigen und der zukünftigen Mobilität beziffert werden können. Auf dieser Basis lassen sich Maßnahmen in ihrer Wirkung und unter den getroffenen Annahmen bewerten.

3 Referenzsystem für die Untersuchung des innerstädtischen Verkehrskonzeptes in Essen

Es folgt die Beschreibung des Vorgehens bei der Erstellung der für die Bilanzierung der Mobilitätskonzepte benötigten Referenzsysteme 2010 und 2020 für die Stadt Essen sowie deren Darstellung.

3.1 Referenzsystem 2010

Bei der Erstellung des Referenzsystems 2010 für die Stadt Essen wird, basierend auf den Daten einer Mobilitätsumfrage sowie Daten des Bestands der Essener Verkehrsbetriebe (EVAG) und des Kraftfahrtbundesamtes (KBA), die jährliche Verkehrsleistung aller in der Betrachtung relevanten Verkehrsmittel ermittelt (siehe Darstellung in Abschnitt 3.3) [KBA2015], [EVA2013], [EVA2014], [LKA2012]. Dazu wird der Anteil der Verkehrsmittel am Modal Split mit der Gesamtzahl der täglich gefahrenen Wege sowie der durchschnittlichen Weglänge des jeweiligen Verkehrsmittels multipliziert. Der Pkw-Besetzungsgrad wird mit „1“ angesetzt, da zum einen die Pkw-Datensätze aus GEMIS diesen Besetzungsgrad voraussetzen, wodurch nicht zwischen Pkw mit und ohne Mitfahrer differenziert werden kann und zudem die Erhöhung des Energieverbrauchs des Pkw mit Mitfahrer gering ausfällt [IIN2014].

3.2 Referenzsystem 2020

Die Erstellung des Referenzsystems 2020, im Folgenden auch „Null-System“ 2020 (2020N) genannt, erfolgt auf Basis des Systems 2010 der Stadt Essen. Dazu wird zunächst anhand der zu erwartenden Veränderung der Einwohnerzahl ein neuer Wert der täglich zurückgelegten Wege errechnet. Weiterhin wird der Modal Split für das Jahr 2020 anhand von Zeitreihenwerten mittels Trendfunktionen bestimmt, wobei ein Mittelwert aus linearen und polynomischen Trendfunktionen verwendet wird (s. Abbildung 3-1). Die Zeitreihenwerte decken den Zeitraum von 1989 bis 2011, mit drei Mobilitätserhebungen der Stadt Essen [LKA2012], ab. Es wird angenommen, dass sich die bestehenden Trends auch in naher Zukunft fortsetzen. Es zeigt sich, dass der Prognose zufolge der Anteil der Pkw-Fahrer am Modal Split der Stadt Essen zwischen 2010 und 2020 konstant bei 42 % bleibt. Ebenso bleibt der Anteil der Pkw-Mitfahrer konstant bei 12 %. Die starke „Autoorien-

tierung“ der Stadt Essen [DOB2014] wird durch die konstant bleibenden Anteile verdeutlicht. Der ÖPNV-Anteil steigt in diesem Zeitraum von 19 % auf 21,7 %. Der Fahrradanteil, besonders in Essen sehr gering [DOB2014], steigt leicht von 5 % auf 6,9 %, der Anteil der Fußgänger geht von 22 % auf 17,4 % zurück.

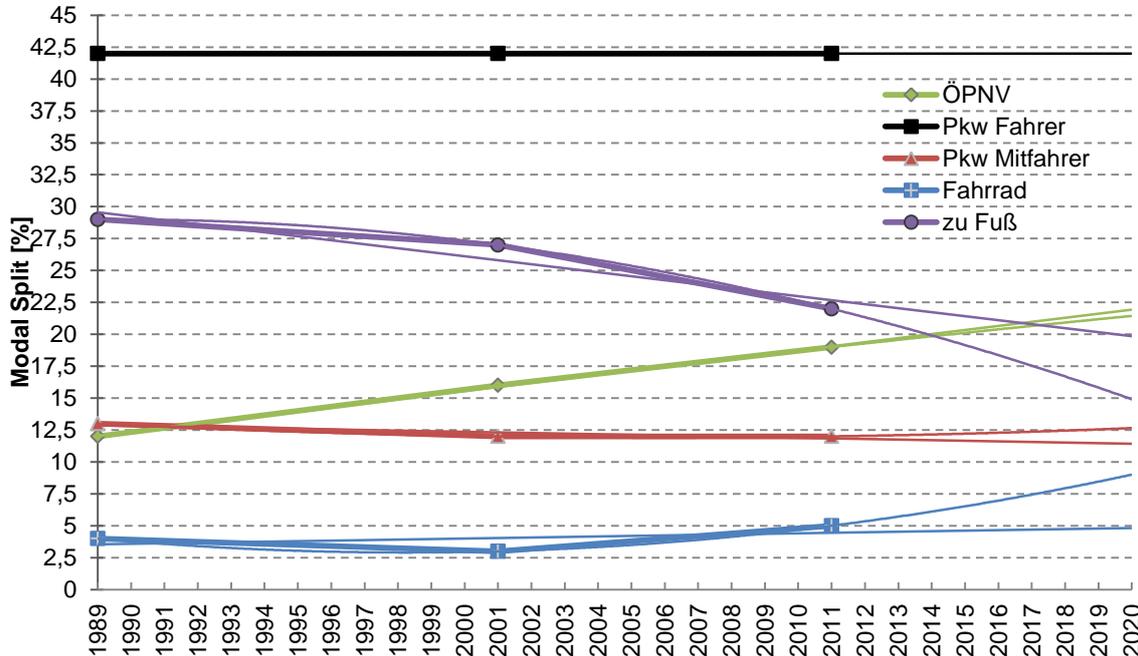


Abbildung 3-1: Prognose des Essener Modal Split 2020 aus Trendfunktionen - auf Basis von [LKA2012], [ZUG2014], [FLA2015]

Zeitreihen in Kombination mit Trendfunktionen erlauben eine Abschätzung benötigter Werte in naher Zukunft. Selbstverständlich können unvorhergesehene Effekte (z. B. VW-Abgasskandal) einen großen Einfluss auf die zukünftige Entwicklung nehmen, jedoch lassen sich die Auswirkungen solcher Effekte nur schwer beziffern. Aus diesem Grund wird mit dieser Methode auch der Pkw-Bestand nach Kraftstoffart auf Basis von Zeitreihendaten des KBA ermittelt.

Tabelle 3-1: Kfz-Bestand der Stadt Essen nach [KBA2014]

Jahr (Stichtag 01.Januar)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2020
Anzahl Kfz	258.432	260.606	263.082	266.527	268.826	271.376	291.616

Es zeichnete sich in Abbildung 3-2 ab, dass sich bei Fortsetzung des Trends die Anteile von Benzin und Diesel bis 2020 immer weiter annähern, bis der Dieselanteil im Jahr 2020 mehr als der Hälfte des Benzinanteils entspricht². Im Jahr 2014 sind nach [KBA2015] in Essen 271.376 Pkw gemeldet. Durch die Fortführung der Kfz-Zulassungszahlen (siehe Tabelle 3-1) kann eine Abschätzung der Kfz-Zahlen für das Jahr 2020 ermittelt werden. Der Anteil der LPG-Fahrzeuge steigt auf über 2 %, Elektrofahrzeuge liegen immer noch bei einem Anteil von unter 0,1 %. Besonders bei den E-Fahrzeugen könnte eine stärkere Veränderung erfolgen, wenn Anreizprogramme zum Erwerb eingeführt werden und auch greifen. Derzeit erfolgt die politische Förderung von

² Unberücksichtigt bei der Entwicklung des Kfz-Bestandes sind Effekte wie z. B. der VW-Abgasskandal und die Diskussion um die Blaue Plakette für Kfz zur Einfahrt in Innenstädte. Solche Ereignisse haben Einfluss auf die Neuzulassung von Kfz, können jedoch nicht belastbar für eine einzelne Stadt abgeschätzt werden.

E-Fahrzeugen durch die Befreiung von der Kfz-Steuer [KFZ2015] sowie einer Kaufprämie für neue E-Kfz die seit ihrer Einführung bundesweit jedoch nur wenig nachgefragt wurde (derzeit 1.973 Anträge auf die Förderung eines E-Kfz mit 4.000 €) [BAF2016]. CNG-Fahrzeuge verzeichnen den geringsten Zuwachs, Hybridfahrzeuge liegen 2020 bei über einem halben Prozent. Nach Benzin und Diesel haben im Jahr 2020 LPG-Fahrzeuge weiterhin den größten Anteil am Kfz-Bestand der Stadt Essen. Es wird besonders bei der Kfz-Bestandszahl die Nutzung des Pkw vorausgesetzt, da tatsächliche nach Kraftstoffart und Stadt aufgeschlüsselte Fahrleistungen nicht existieren.

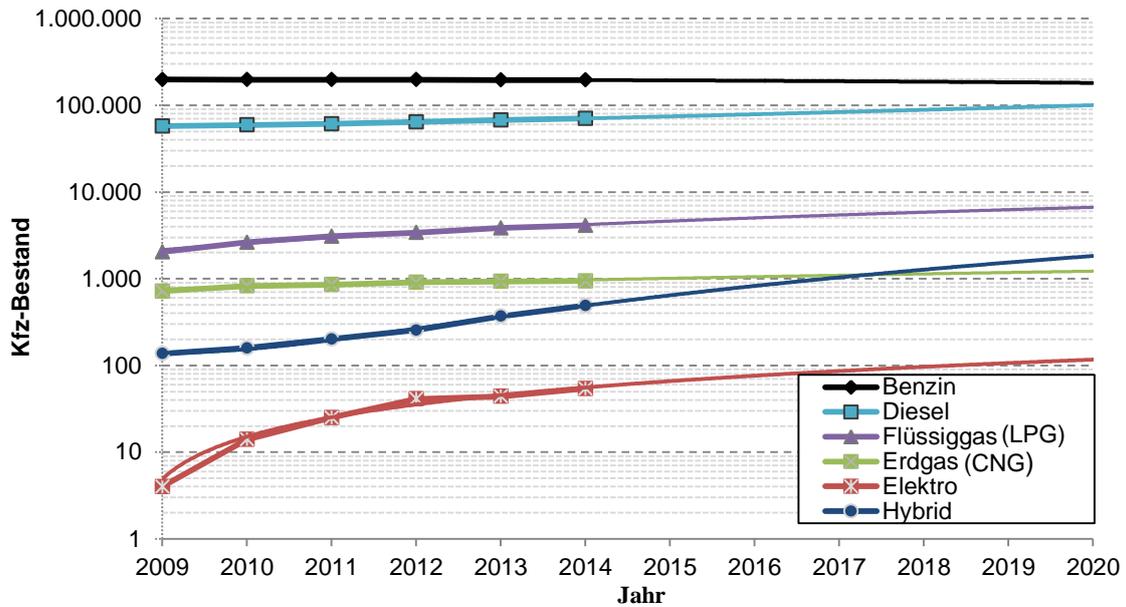


Abbildung 3-2: Logarithmische Darstellung des Kfz-Bestands der Stadt Essen 2009 bis 2014 und Trendfunktionen bis 2020 - auf Basis von [KBA2015], [ZUG2014], [FLA2015]

Trends bieten eine gute Möglichkeit Entwicklungen in nahe Zukunft abzuschätzen, wenngleich der Trend keine voll belastbare Aussage erlaubt, da externes Wirken (z. B. Gesetze) zum Teil starke Veränderungen hervorrufen kann. Ausgehend von einer Erhöhung der je Weg zurückgelegten Strecke, die besonders im MIV sowie mit dem Fahrrad zurückgelegt wird, konnte mithilfe der zuvor ermittelten Kfz-Bestandsdaten und des Modal Split die Verteilung der im Jahr 2020 zurückgelegten Personenkilometer auf die einzelnen Verkehrsmittel berechnet werden. [ZUG2014] [FLA2015]

3.3 Darstellung der Referenzsysteme 2010 und 2020

Es folgt die Darstellung der Ergebnisse der Verkehrsleistung der energierelevanten Verkehrsmittel für das Referenzsystem der Jahre 2010 und 2020 der Stadt Essen. Die energierelevante gesamte Verkehrsleistung wird lediglich in den MIV und den ÖPNV aufgeteilt (siehe Tabelle 3-2). Es wird nur der MIV und ÖPNV betrachtet, da die Verkehrsleistung beider Mobilitätsbereiche direkt energierelevant sind und Emissionen verursachen. Die Wege die zu Fuß zurückgelegt werden sind ebenso wie die Nutzung des Fahrrads in hohem Maße gut für die Umwelt, können jedoch nicht mit Umweltwirkungen belegt werden, da keine Kraftstoffe verwendet werden. Deren Nutzung substituiert jedoch einen zum Teil hohen Betrag des MIV oder des ÖPNV, wodurch durch die

Verringerung der Verkehrsleistung auch Energie eingespart und umweltrelevante Emissionen vermieden werden können. [ZUG2014] [FLA2015]

Tabelle 3-2: Verkehrsleistung der Referenzsysteme 2010 und 2020 aufgeschlüsselt für MIV, ÖPNV und das Gesamtsystem – auf Basis von [Ess2010], [KBA2015], [LKA2012], [EVA2013], [EVA2014], [ZUG2014], [FLA2015]

Jahr	2010 [P.km]	2020 [P.km]
ÖPNV	1.297.451.630	1.399.541.577
MIV	3.212.413.910	3.457.585.665
Gesamt	4.509.865.540	4.857.127.242

Die Verkehrsleistung im MIV sowie die ÖPNV-Verkehrsleistung steigen in Essen um jeweils 8 %. Alle Werte und Quellen der beiden Referenzsysteme befindet sich in Tabelle 3-3 [LKA2012], [EVA2013], [EVA2014], [KBA2015].

Tabelle 3-3: Verkehrsleistung der Referenzsysteme 2010 und 2020 in Essen [ZUG2014], [FLA2015]

Verkehrsmittel		Jährliche Verkehrsleistung [P.km] 2010	Jährliche Verkehrsleistung [P.km] 2020
Pkw (nur Fahrer) *: inkl. bivalent	Benzin	2.402.020.512	2.121.567.715
	Diesel	718.857.375	1.176.697.326
	Gas LPG*	31.866.635	79.617.331
	Gas CNG*	10.031.189	12.879.274
	Hybrid	1.930.943	22.246.019
	Elektrizität	170.020	1.358.178
	∑ Pkw	3.164.876.675	3.414.365.844
Krafträder	Benzin	47.537.235	43.219.821
∑ MIV		3.212.413.910	3.457.585.665
ÖPNV (EVAG)	Stadt-/ Straßenbahn	279.209.101	295.729.220
	Bus (Diesel)	237.844.789	251.917.484
ÖPNV (DB)	S-Bahn	780.397.740	851.894.873
∑ ÖPNV		1.297.451.630	1.399.541.577
∑ Gesamt		4.509.865.540	4.857.127.242

Die stärksten Zuwächse aus dem Bereich des MIV weist der E-Pkw auf, der Wert von 2010 verachtfacht sich nahezu. Da die Verkehrsleistung der Elektrofahrzeuge an der gesamten Verkehrsleistung jedoch auch in 2020 einen geringen Anteil aufweist ist die Entwicklung bei den Diesel-Pkw für den Emissionsausstoß ausschlaggebender. Die Verkehrsleistung stellt die Ausgangsbasis für die folgende ökobilanzielle Betrachtung dar. [ZUG2014] [FLA2015]

4 Ökobilanzielle Betrachtung der Auswirkungen von Mobilitätsmaßnahmen

Im folgenden Kapitel werden zunächst die betrachteten Mobilitätsmaßnahmen der Stadt Essen und die verwendete Methodik zur Wirkungsabschätzung erläutert. Anschließend werden die verwendeten Ökobilanzdaten aus der Datenbank GEMIS erläutert und die Ergebnisse der ökobilanziellen Betrachtung dargestellt.

4.1 Wirkungsabschätzung der betrachteten Maßnahmen

Die Abschätzung der Auswirkungen der betrachteten Maßnahmen sowie die Erläuterung der zugrunde gelegten Daten und Annahmen werden in diesem Unterkapitel thematisiert. Insgesamt werden acht Maßnahmen der Stadt Essen betrachtet, die sich im Wesentlichen in die in Tabelle 2-1 gekennzeichneten Maßnahmenbereiche verorten lassen. Nachfolgend sind die Maßnahmen aufgeführt. Von den acht Maßnahmen können fünf dem Bereich „Stärkung ÖPNV“, zwei Maßnahmen „Stärkung Rad“ und eine Maßnahme dem Bereich „Elektromobilität und alternative Kfz-Antriebe“ zugeordnet werden. Die durch diese Maßnahmen bewirkten Veränderungen stellen das System EnEff-Stadt 2020 (2020E) dar. [FLA2015]

Maßnahme 1: Infrastrukturmaßnahmen Radverkehr (D03³)

Mit dieser Maßnahme soll durch die Schaffung von Radinfrastruktur der Fahrradanteil am Modal Split erhöht werden. Aus Daten des Amtes für Stadtplanung und Bauordnung der Stadt Essen [WAG2015] sowie [ESS2014A] geht hervor, dass bis 2020 mit Ausgaben von 250.000 € pro Jahr für neue Radwege geplant wird. Nach [ADF2012] können Kosten von 134,05 € pro Meter Radweg veranschlagt werden, was zu einem Zubau von 1,87 km pro Jahr führt. Verrechnet mit dem Zubau von 10 km Radwege zwischen 2010 und 2014 folgt ein gesamter Zubau von 21,2 km zwischen 2010 und 2020. Nach [KNO2009], in dem ein statistischer Zusammenhang zwischen den Metern an Fahrradwegen pro Einwohner und dem Anteil der Fahrradfahrten am Modal Split hergestellt wird, ergab sich für den Zubau zwischen 2010 und 2020 ein Anstieg des Anteils der Fahrradfahrten am Modal Split von 5 % auf 6,25 %. Dies entspricht, verrechnet mit Daten aus [LKA2012], im Jahr 2020 einer substituierten Verkehrsleistung von knapp 18,9 Mio. P.km im MIV (-0,55 %) sowie 11,5 Mio. P.km im ÖPNV (-0,82 %). Die Auswirkung und Veränderung hin zu einer umweltfreundlichen Mobilität mit dem Rad führt leider nicht ausschließlich zu einer Verringerung im MIV sondern auch zu einer Verringerung im ÖPNV.

Maßnahme 2: ÖPNV-Qualität - Modernisierung und barrierefreier Umbau von Haltestellen Bahn und Bus (D11)

Innerhalb dieser Maßnahme ist ein barrierefreier Umbau von insgesamt 76 Bus- sowie 16 Bahnhaltstellen vorgesehen, was einem Anteil von 6 % aller 1.572 Haltestellen entspricht [Ess2010], [WIK2015]. Um die Auswirkungen des Umbaus von 6 % der Haltestellen abzuschätzen, wurde auf einen Literaturwert von 70 % barrierefreien Haltestellen im Referenzzustand in deutschen Städten zurückgegriffen [INF2004]. Dazu wurde angenommen, dass ein Anstieg der barrierefreien Haltestellen um 6 % zu einem Anstieg der Fahrleistung der betroffenen Menschen mit körperlicher Behinderung in Essen um ebenfalls 6 % führt, da sich den körperlich beeinträchtigten Personen dadurch eine um 6 % höhere Anzahl an Haltestellen zur Verfügung steht. Auf Basis von

³ Nummerierung der Maßnahmen im Handlungsfeld (D) – Mobilität - des Klimakonzeptes der Stadt Essen. Die Lücken in der fortlaufenden Nummer entstehen durch die Nichtberücksichtigung einzelner für diese Untersuchung irrelevanter Mobilitätsmaßnahmen.

Erhebungen zur Mobilität von Menschen mit körperlicher Behinderung in Essen aus [LKA2012] (siehe Tabelle 4-1) sowie der Annahme aus [INF2004], dass 100 % der Rollstuhlfahrer, 75 % der Gehbehinderten sowie 50 % der Sehbehinderten mobilitätseingeschränkt sind, wird aus dem resultierenden Personenkreis sowie den zuvor getroffenen Annahmen die Verkehrsleistung berechnet. Dabei fährt jede Person täglich die in der Erhebung ermittelte Kilometerzahl. Aufsummiert ergibt sich die Verkehrsleistung der Personen mit Mobilitätseinschränkung. Werden nun 6 % der ÖPNV-Haltestellen ausgebaut, so erhöht sich der Anteil der gefahrenen Personenkilometer im ÖPNV zeitgleich verringern sich die Kilometer als Pkw-Fahrer und Mitfahrer während die gesamten Personenkilometer pro Person und Jahr unverändert bleiben. Mit der auf diese Weise verlagerten täglichen Verkehrsleistung kann die verlagerte jährliche Verkehrsleistung errechnet werden. Im Jahr 2020 führt die Maßnahme somit entsprechend der getroffenen Annahmen durch einen Anstieg der Verkehrsleistung im ÖPNV um 4,3 Mio. P.km dazu, dass 0,13 % der jährlichen Verkehrsleistung des MIV substituiert werden.

Tabelle 4-1: Personen mit körperlich bedingter Mobilitätseinschränkung sowie deren Modal Split des Fahrverhaltens [LKA2012], [FLA2015], [INF2004]

Beschränkung	Anteil Essener Bevölkerung [%]	Anzahl Personen	Fahrverhalten, differenzierte Barrierefreiheit [km/%]		
			Mobilitätsart	70 %	76 %
Rollstuhlfahrer	1	5.478	MIV-Fahrer	(0 / 0)	(0 / 0)
			MIV-Mitfahrer	(17,5 / 76,5)	(17,3 / 75,5)
			ÖPNV	(3,4 / 14,8)	(3,6 / 15,7)
			Rad/Fuß	(2 / 8,7)	(2 / 8,7)
			Gesamt	(22,9 / 100)	(22,9 / 100)
Gehbehindert	12	49.299	MIV-Fahrer	(11,8 / 51,5)	(11,7 / 51,1)
			MIV-Mitfahrer	(5,7 / 24,9)	(5,6 / 24,4)
			ÖPNV	(3,4 / 14,8)	(3,6 / 15,7)
			Rad/Fuß	(2 / 8,7)	(2 / 8,7)
			Gesamt	(22,9 / 100)	(22,9 / 100)
Sehbehindert	1	2.738	MIV-Fahrer	(10,8 / 40)	(10,7 / 39,5)
			MIV-Mitfahrer	(7,3 / 27)	(7,2 / 26,5)
			ÖPNV	(4,9 / 18,1)	(5,2 / 19,2)
			Rad/Fuß	(4 / 14,8)	(4 / 14,8)
			Gesamt	(27 / 100)	(27 / 100)

Maßnahme 3: Seniorenbuschule (D15)

Durch die Schulung von jährlich 240 Senioren im Umgang mit dem ÖPNV soll eine Steigerung des Anteils des ÖPNV an den Fahrten der geschulten Personen erzielt werden [JAN2014]. Für die Wirkungsabschätzung werden Werte des Mobilitätsverhaltens von Personen über 65 aus [LKA2012] vorausgesetzt. Angelehnt an einen Literaturwert aus [WAL2009], der die Auswirkungen von Dialogmarketing⁴ im ÖPNV beschreibt, wird von einer Steigerung des Anteils des ÖPNV am Modal Split der betrachteten Personengruppe um 2 Prozentpunkte ausgegangen. Daraus ergibt

⁴ Eine Marketingstrategie bestehend aus dem Dialog zwischen Anbieter, Kunde und Zielgruppe. Kundenanregungen können verstärkt betrachtet werden. [SPR2015]

sich ein jährlicher Wert von 24.125 P.km substituierter Fahrleistung durch die 240 pro Jahr geschulten Personen. Es folgt, unter Berücksichtigung der Addition der geschulten Personen zwischen 2010 und 2020, ein Wert von 241.250 P.km substituierter Fahrleistung im MIV (-0,01 %) durch den ÖPNV im Jahr 2020.

Maßnahme 4: Firmenticket (D18)

Mit einem vergünstigten Ticket für Firmen >50 Mitarbeiter soll der Anteil der ÖPNV-Fahrten im Berufsverkehr gesteigert werden. Aus der Hochrechnung von Nutzungsdaten ergibt sich für das Jahr 2020 ein Ticketabsatz von 21.000 Firmentickets. Unter der Annahme, dass jeder Ticketbesitzer das Ticket für die Fahrt zur Arbeit benutzt sowie einer durchschnittlichen Weglänge von 2 mal 15,6 km pro Fahrt zur Arbeit [LKA2012] an 210 Arbeitstagen folgt für das Jahr 2020 eine Substitution von 88 Mio. P.km im MIV (-2,6 %) durch einen Anstieg der Verkehrsleistung im ÖPNV um 137,6 Mio. P.km. Diese Werte basieren auf dem Ansatz, dass die Fahrten ansonsten nach dem Anteil des MIV am normalen Modal Split der Stadt Essen durchgeführt worden wären.

Maßnahme 5: Kombitickets (D19)

Mithilfe eines kostenlosen Kombitickets, das bei Eintrittskarten für Veranstaltungen in Essen enthalten ist, sollen die Fahrten mit dem ÖPNV gesteigert werden. Auf Basis der Prognose anhand von abgesetzten Tickets zwischen 2007 und 2012 ergibt sich für das Jahr 2020 ein Wert von 1.880.000 Wegen, die potenziell mit dem Ticket zurückgelegt werden können. Dies entspricht unter Annahme einer durchschnittlichen Weglänge von 7,2 km pro Weg [LKA2012] einer jährlichen Verkehrsleistung von 13.536.000 P.km. Es wird vorausgesetzt, dass sich durch die Maßnahme der Anteil des ÖPNV an den Fahrten zu den betrachteten Veranstaltungen verdoppelt und damit der Pkw-Anteil um ebenfalls 50 % zurückgeht. Exakte Daten bezüglich der Nutzung des Kombitickets können nur durch die Befragung der Personen bei Veranstaltungen erhoben werden, da anderweitige Daten nicht verfügbar sind wurde auf die Annahme zurückgegriffen. Dennoch wird nicht jedes Kombiticket verwendet, da die Anfahrt zur Veranstaltung unter Umständen nicht zufriedenstellend mit dem ÖPNV erfolgen kann. Unter den getroffenen Annahmen führt dies im Jahr 2020 zu einer Substitution von 2.937.312 P.km des MIV (0,1 %) durch den ÖPNV.

Maßnahme 6: Neubürgeransprache (D20)

Mit einem Begrüßungspaket für Neubürger sollen diese mit den ÖPNV-Angeboten der Stadt Essen vertraut gemacht werden. Dadurch soll der ÖPNV-Anteil dieser Zielgruppe gesteigert werden. Auf Basis von Zeitreihendaten der Zuzüge in den Jahren 2006 bis 2013 ergibt sich für das Jahr 2020 ein Wert von 32.000 Zuzügen. Die in [WAL2009] und [BAM2009] enthaltenen Ergebnisse durchgeführter Mobilitätsstudien mit verschiedenen Ansätzen erlauben eine Abschätzung der Wirkung des Dialogmarketings auf das Fahrverhalten der Essener Bevölkerung. Basierend auf den Literaturwerten sowie den zugezogenen Essener Bürgern (ca. 27.000 jährliche Zuzüge) kann eine Erhöhung des ÖPNV-Anteils um 3,5 % errechnet werden. Somit steigert sich, ausgehend vom normalen Modal Split der Stadt Essen, der Anteil des ÖPNV bei der betrachteten Personengruppe

von 21,7 % auf 25,2 %. Unter der Annahme, dass die Fahrten ansonsten mit den anderen Verkehrsmitteln entsprechend des Essener Modal Splits durchgeführt worden wären, ergibt sich unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Fahrverhaltens der Essener Bürger [LKA2012] eine durch den ÖPNV vom MIV substituierte Verkehrsleistung von 76.505.590 P.km im Jahr 2020. Dies entspricht einem Anteil von 2,24 % der Jahresfahrleistung der Essener Pkw-Fahrer. Bei der Berechnung wurde wie bei der Maßnahme „Seniorenbuschule“ davon ausgegangen, dass sich die Anzahl der jährlich neu angesprochenen Personen zu denen des Vorjahres aufaddiert.

Maßnahme 7: Alternative Fahrzeugantriebe (D33)

Die Maßnahme sieht vor, alle 105 Fahrzeuge der Essener Stadtwerke durch Erdgasfahrzeuge zu ersetzen. Um die Auswirkungen dieser Maßnahme zu beziffern, wird angelehnt an [STA2010] von einer Jahresfahrleistung von 12.000 km pro Pkw der Essener Stadtwerke ausgegangen. Somit ergibt sich eine insgesamt zu betrachtende Verkehrsleistung von 1.260.000 P.km. Bei der ursprünglichen Flottenzusammensetzung wird von einem Anteil von 67 % Benzin- sowie 33 % Dieselfahrzeugen entsprechend der Zusammensetzung der Essener Kfz im Jahr 2010 ausgegangen.

Maßnahme 8: Metropolradruhr (D37)

Bestandteil dieser Maßnahme ist der Ausbau des Fahrradverleihsystems „Metropolradruhr“. Auf Basis von Nutzungsdaten [VIA2014] wird für das Jahr 2020 ein Wert von 31.500 Fahrten errechnet. Weiterhin werden die durch die Metropolradfahrten substituierten Fahrten mithilfe von Umfragedaten aus [WEH2014] ermittelt. Danach substituieren die Metropolradruhfahrten zu je 4 % Fahrten oder Mitfahrten mit dem Pkw und 5 % mit dem Bus, den größten Anteil von 55 % macht jedoch die Substitution von Fahrten mit dem schienengebundenen ÖPNV aus. Daraus ergibt sich für das Jahr 2020 insgesamt eine verlagerte Verkehrsleistung von je 5.670 P.km vom MIV, 77.963 P.km vom schienengebundenen ÖPNV sowie 7.088 P.km vom ÖPNV mit dem Bus.

Zusammenfassend sinkt durch alle betrachteten Mobilitätsmaßnahmen der Stadt Essen im Jahr 2020 die Verkehrsleistung des MIV um 190,97 Mio. P.km (-5,6 %) und die Fahrleistung des ÖPNV steigt um 273,23 Mio. P.km (+19,5 %).

4.2 Ergebnisse der ökobilanziellen Betrachtung

Die ökobilanzielle Betrachtung der städtischen Mobilitätsmaßnahmen erfolgte auf Basis von Datensätzen aus der Ökobilanzdatenbank GEMIS 4.93 [IIN2014]. Betrachtet werden neben dem kumulierten Energieaufwand (KEA) nachfolgend aufgelistete umweltbelastende Wirkungsindikatoren:

- das Treibhauspotenzial (GWP),
- das Versauerungspotenzial (AP),
- das Ozonbildungspotenzial (TOPP),
- sowie die Staubemissionen.

Für die einzelnen Verkehrsmittelgruppen werden gemittelte Wirkungsindikatoren der verschiedenen Fahrzeuggrößen aus GEMIS verwendet. Die Werte aus GEMIS sind spezifisch pro P.km angegeben und enthalten in der verwendeten Betrachtung keine Bauvorleistungen (Förder-

anlagen, Herstellung der Fahrzeuge etc.), da hier lediglich substituierte Verkehrsleistung in der Größenordnung von 5 % bilanziert wird. Somit wurde nicht davon ausgegangen, dass die Anschaffung von Fahrzeugen oder Infrastruktur durch die Verkehrsleistungsreduktion substituiert wird. [IIN2014] Da keine Ökobilanzdaten für LPG-Fahrzeuge verfügbar waren, wurde vereinfacht angenommen, dass diese die gleichen Kennwerte wie CNG-Fahrzeuge aufweisen. Der Datensatz für Hybridbusse wird aufgrund fehlender Daten aus den Daten von Diesel- und Hybrid-Pkw sowie von Dieselbussen auf Hybridbusse hochskaliert. Abbildung 4-1 zeigt die Anteile der Verkehrsmittel an den spezifischen aufsummierten Wirkungsindikatorwerten aller Verkehrsmittel. [FLA2015]

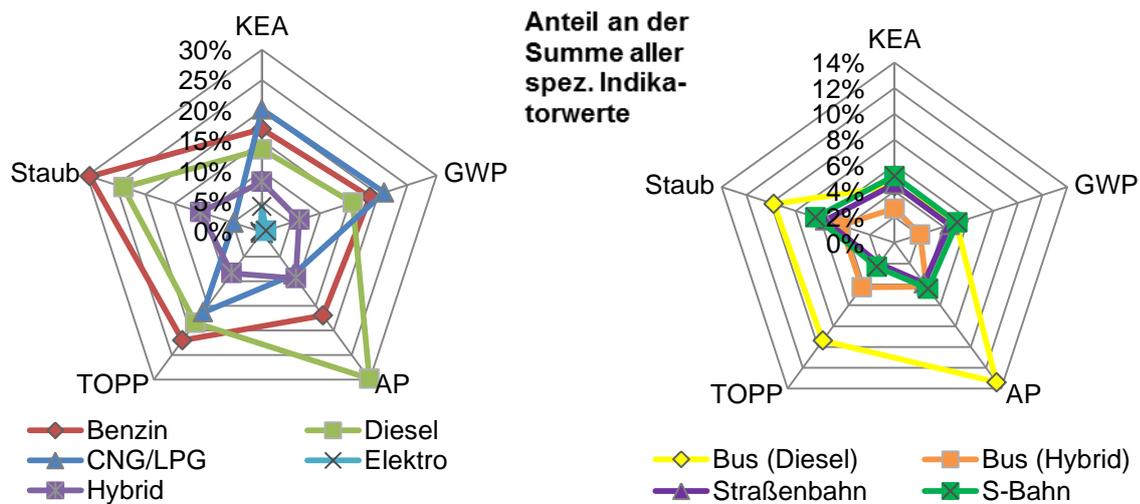


Abbildung 4-1: Anteile der betrachteten Verkehrsmittel an der Summe aller spezifischen Wirkungsindikatorwerte pro P.km im Jahr 2020 [IIN2014], [FLA2015]

Tabelle 4-2: Anteile direkter und indirekter Emissionen betrachteter Verkehrsmittel 2020 [FLA2015]

Verhältnis der Beträge von direkten zu indirekten Emissionen im Jahr 2020 basierend auf [IIN2014]									
Verkehrsmittel		Treibhauspotenzial (GWP)		Versauerungspotenzial (AP)		Ozonbildungspotenzial (TOPP)		Staubemissionen (PM)	
		direkt	indirekt	direkt	indirekt	direkt	indirekt	direkt	indirekt
MIV Pkw	Benzin	81%	19%	16%	84%	38%	62%	0%	100%
	Diesel	84%	16%	59%	41%	81%	19%	12%	88%
	CNG	84%	16%	46%	54%	74%	26%	0%	100%
	LPG	84%	16%	46%	54%	74%	26%	0%	100%
	Elektro	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
	Hybrid	76%	24%	50%	50%	61%	39%	17%	83%
ÖPNV	Bus (Diesel)	52%	48%	52%	48%	51%	49%	54%	46%
	Bus (Hybrid)*	-	-	-	-	-	-	-	-
	Straßenbahn	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%
	S-Bahn	0%	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%

*keine Aufteilung in direkt und indirekt möglich, da Werte für den Hybridbus auf Werten für Dieselbusse und Hybrid-Pkw basieren

Es zeigte sich z. B., dass Benzinfahrzeuge aufgrund der Vorkette der Kraftstoffherstellung (indirekte Emissionen z. B. aus dem Transport, der Verarbeitung etc.) die höchsten spezifischen Staubemissionen verursachen (Tabelle 4-2). Das größte spezifische Versauerungspotenzial wird durch Diesel-Kfz hervorgerufen, KEA und GWP sind bei den CNG/LPG-Kfz am größten. Beim ÖPNV

weist der Dieselbus die höchsten Anteile bei Staubemissionen, Ozonbildungspotenzial und Versauerungspotenzial auf. Die geringsten Umweltauswirkungen weisen Hybridbusse auf, die jedoch in der Stadt Essen nicht berücksichtigt werden, da diese derzeit nur testweise im Einsatz sind.

Es folgt die Auswertung der Auswirkungen aller Mobilitätsmaßnahmen der Stadt Essen. Die Übersicht der ausführlichen Ergebnisse der Ökobilanz für die Stadt Essen sind in nachfolgender Tabelle 4-3 aufgeführt. Die Abbildung 4-2 stellt in geordneter Reihenfolge die gemittelten Einsparungen der einzelnen Maßnahmen dar.

Tabelle 4-3: Wirkungsindikatoren der Systeme für das Jahr 2020 [FLA2015]

Wirkungsindikatoren pro Jahr (Ref.)											
Essen		Kumulierter Energieaufwand (KEA)		Treibhauspotenzial (GWP)		Versauerungspotenzial (AP)		Ozonbildungspotenzial (TOPP)		Staubemissionen (PM)	
		[MWh]		[t CO ₂ -Äq.]		[t SO ₂ -Äq.]		[t TOPP-Äq.]		[kg]	
Verkehrsmittel		2020N	2020E	2020N	2020E	2020N	2020E	2020N	2020E	2020N	2020E
MIV Pkw	Benzin	1.753.241	1.654.378	398.282	375.823	480,6	453,5	1.482,6	1.399,0	25.527	24.087
	Diesel	779.105	735.253	185.447	175.010	469,0	442,6	688,9	650,1	11.396	10.755
	CNG	12.654	13.184	2.732	2.847	1,5	1,6	6,7	7,0	157	158
	LPG	78.225	73.850	16.891	15.946	9,3	8,7	41,3	39,0	25	17
	Elektro	277	261	10	9	7 kg	7 kg	14 kg	13 kg	0	0
	Hybrid	8.935	8.435	1.450	1.369	2,8	2,6	5,9	5,6	95	90
Σ MIV		2.632.437	2.485.362	604.812	571.004	963,2	909,1	2.225,3	2.100,6	37.201	35.107
ÖPNV	Dieselbus	53.952	64.587	12.754	15.268	45,0	53,9	74,9	89,7	1.003	1.200
	Hybridbus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Straßenbahn	65.698	78.659	13.370	16.008	15,3	18,3	18,9	22,7	676	809
	S-Bahn	215.272	257.768	43.810	52.458	50,2	60,1	62,0	74,3	2.215	2.652
Σ ÖPNV		334.922	401.014	69.934	83.734	110,5	132,2	155,9	186,7	3.894	4.662
Σ gesamt		2.967.359	2.886.376	674.746	654.737	1.073,7	1.041,4	2.381,3	2.287,3	41.095	39.770

Die Tendenz in der Entwicklung der Wirkungsindikatoren lässt sich grob in zwei Verläufe aufteilen. Die Verkehrsmittel im MIV weisen, wenn nicht minimale Anstiege, zumeist stärkere Verringerungen auf. Im Bereich des ÖPNV erfahren die Werte der Wirkungsindikatoren durchweg einen Anstieg. Das ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass der Fokus durch die betrachteten Maßnahmen auf den ÖPNV und dessen Stärkung abzielt. Insgesamt zeigt sich, dass durch die Maßnahmen der Stadt Essen im Jahr 2020 insgesamt 81 GWh bzw. 2,7 % des KEA des Null-Systems 2020 eingespart wird sowie 20.000 t (-3 %) CO₂-äquivalente Emissionen vermieden werden können.

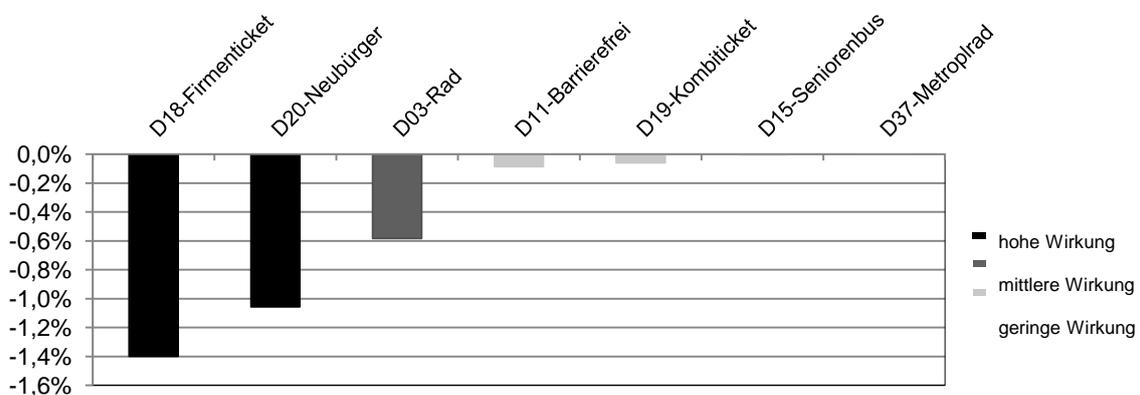


Abbildung 4-2: Ranking der einzelnen Mobilitätsmaßnahmen der Stadt Essen nach den gemittelten Einsparungen (GWP, AP, TOPP, Staub) des Jahres 2020 [FLA2015]

Es zeigt sich, dass die wirkungsvollsten Maßnahmen der Stadt Essen das Firmenticket (D18) sowie die Neubürgeransprache (D20) darstellen. Somit werden durch die Maßnahme D18 1,4 % der gemittelten Wirkungsindikatoren des Jahres 2020 eingespart, durch die Maßnahme D20 sind es 1,1 %. Mittelstarke Auswirkungen hat die Maßnahme D03 (Radverkehr, 0,6 %). Die Maßnahmen D11, D19, D15 sowie D37 haben nur sehr geringe Auswirkungen von unter 0,5 %. Die Maßnahme D33 (Erdgasfahrzeuge) erbringt eine Veränderung um $\pm 0\%$, da die Vorkette des Kraftstoffes Erdgas höhere Werte für KEA sowie GWP aufweisen als Benzin- bzw. Diesel-Pkw (vgl. Abbildung 4-1). Da die Übertragbarkeit der Maßnahmen D18 und D20 auf andere Städte ohne großen Aufwand denkbar sind, werden sie als Best-Practice Maßnahmen ausgewiesen.

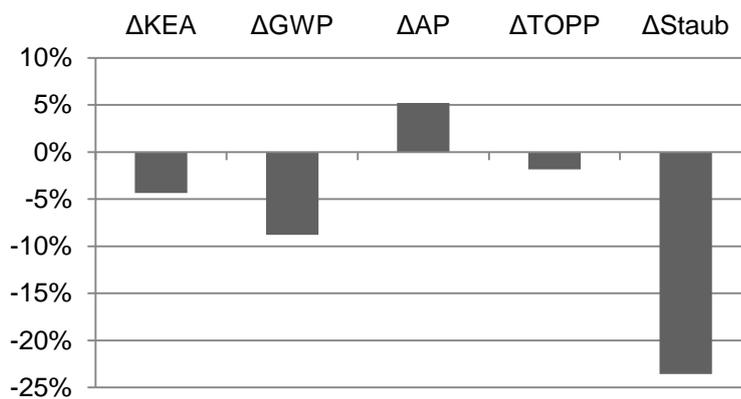


Abbildung 4-3: Vergleich der Entwicklung der Wirkungsindikatoren der Stadt Essen zwischen dem Referenzsystem 2010 und dem Null-System 2020 [FLA2015]

Weiterhin erfolgte ein Vergleich der natürlichen Entwicklungen der Wirkungsindikatoren der Stadt Essen zwischen dem Referenzsystem 2010 und dem Null-System 2020 (siehe Abbildung 4-3). Es zeigte sich, dass der KEA in Essen zwischen 2010 und 2020 um ca. 4,5 % und das GWP um 8,8 % zurückgeht. Weiterhin steigt in der Stadt Essen das Versauerungspotenzial um 5,2 %, während das TOPP um 1,8 % absinkt. Das Versauerungspotenzial weist hier einen erhöhten Wert aufgrund des steigenden Anteils der Dieselmobilität (Diesel-Pkw und Dieselbusse) an der Gesamtmobilität auf. Hier wäre Substituierung durch Hybridbusse besonders im Stadtverkehr sinnvoll. Bei Staubemissionen sind die größten Rückgänge zu verzeichnen. Diese reduzieren sich in Essen um 23,6 %, was im Wesentlichen durch die leicht steigenden Anteile der Kfz ohne Benzinmotor, die allesamt niedrigere spezifische Staubemissionen je Personenkilometer aufweisen als Benzin-Kfz sowie die verstärkte Verlagerung im Modal Split zugunsten umweltfreundlicher Mobilitätsarten erklärt werden, kann.

In Abbildung 4-4 ist ein Vergleich der direkt durch die Maßnahmen erzielten Einsparungen im Jahr 2020 dargestellt. Gegenübergestellt werden hier die Werte des Null-Systems 2020 und des Systems EnEff-Stadt 2020. Im Vergleich der beiden Systeme aus dem Jahr 2020 lassen sich die durch die Maßnahmen erzielbaren Reduktionen darstellen. Hier liegen die Einsparungen zwischen 2,7 % und 3,9 %.

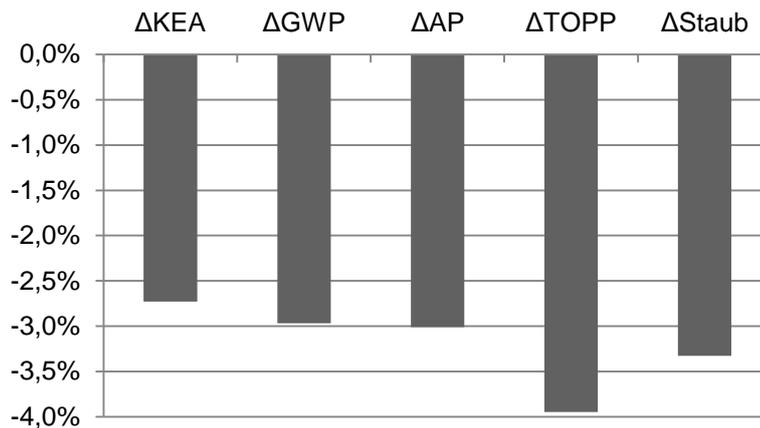


Abbildung 4-4: Einsparungen der Stadt Essen in den betrachteten Wirkungskategorien im Jahr 2020 bezogen auf das Null-System 2020 [FLA2015]

5 Zusammenfassung und Fazit

Im Arbeitspaket 5.1 wurde das Einsparpotenzial der im Rahmen des Projektes „Wettbewerb Energieeffiziente Stadt“ erarbeiteten Mobilitätsmaßnahmen der Stadt Essen mit einer ökobilanziellen Betrachtung bestimmt und bewertet. Dazu wurden die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Verkehrssysteme der Stadt im Jahr 2020 quantifiziert und anschließend mit ausgewählten Wirkungsindikatoren aus der Ökobilanzdatenbank GEMIS 4.93 verrechnet [IIN2014]. Zunächst wurde dazu das für das Jahr 2010 erstellte Referenzsystem der Stadt Essen dargestellt. Es folgt eine Beschreibung der in dieser Arbeit betrachteten Mobilitätsmaßnahmen, wobei acht Maßnahmen der Stadt Essen für die weitere Betrachtung ausgewählt werden. Auswahlkriterium ist ein direkter Einfluss auf den Modal Split oder auf die Effizienz der Fahrzeugflotte. Im nächsten Schritt wird zunächst das Referenzsystem aus dem Jahr 2010 in das Jahr 2020 vorausberechnet, um die zukünftigen Auswirkungen der Maßnahmen bestimmen zu können. Anschließend erfolgt eine Wirkungsabschätzung der einzelnen Maßnahmen, die auf Literaturwerten sowie auf eigenen Annahmen basiert. Es folgte eine Einführung in die Thematik der Ökobilanzierung sowie die Darstellung der verwendeten Datensätze und ihrer Grenzen. Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung wurden anschließend mit den zuvor ausgewählten Wirkungsindikatoren kumulierter Energieaufwand (KEA), Treibhauspotenzial (GWP), Versauerungspotenzial (AP), Ozonbildungspotenzial (TOPP) sowie Staubemissionen verrechnet. Durch die betrachteten Maßnahmen der Stadt Essen lassen sich in 2020 unter anderem 20.000 t CO₂- äquivalenter Emissionen (GWP), 32 t SO₂-äquivalenter Emissionen (AP), 94 t TOPP-äquivalenter Emissionen (TOPP), 1,33 t Staubemissionen sowie ca. 81 GWh des KEA vermeiden. Nach der Auswertung der Ergebnisse erfolgen abschließend eine Auswahl von Best-Practice Maßnahmen sowie ein Vergleich der erzielten Ergebnisse mit den im Rahmen des Wettbewerbs formulierten Zielen sowie mit im Vorfeld durchgeführten Bilanzierungen.

Bei der durchgeführten Betrachtung stellte sich heraus, dass die wirkungsvollsten umsetzbaren Maßnahmen – unter Berücksichtigung der hier getroffenen Annahmen und Vereinfachungen –

nicht-infrastrukturelle und leicht übertragbare Maßnahmen wie das Firmenticket oder eine Neubürgeransprache sind. Dies ist sowohl für die betrachtete Stadt Essen als auch für andere Städte interessant, da mit diesen Maßnahmen mit relativ geringem Aufwand große Wirkungen erzielt werden können. Aus den Ergebnissen geht weiterhin hervor, dass nicht immer Maßnahmen, denen im Klimakonzept eine positive Wirkung zugeschrieben wird, sich auch positiv auf das Verkehrssystem auswirken. So stellte sich durch die Beaufschlagung mit Ökobilanzwerten heraus, dass der Austausch einer Pkw-Flotte durch Erdgasfahrzeuge keineswegs einen positiven Effekt hat. Zwar weisen Erdgas-Pkw die geringeren direkten Emissionen auf, doch die Vorketten verursachen die im Vergleich zu anderen Pkw größten spezifischen Werte beim KEA und GWP. In einem nächsten Schritt müssten zum einen die hier ermittelten Auswirkungen der auf Verhaltensänderungen basierenden Maßnahmen durch Umfragen oder Erhebungen überprüft und zum anderen die wirtschaftliche Komponente mit in die Betrachtung einbezogen werden. Außerdem wäre eine retrospektive Analyse der Auswirkungen der Maßnahmen nach der vollständigen Umsetzung sinnvoll, um die tatsächlichen Auswirkungen zu ermitteln und mit den hier getroffenen Prognosen vergleichen zu können. Bei dieser Betrachtung wäre zudem eine Verrechnung mit den durch den Bau von Infrastrukturmaßnahmen verursachten Umweltauswirkungen aufgrund einer besseren Datengrundlage möglich.

6 Literaturverzeichnis

- [AAC2010] AACHEN: *Umsetzungskonzept der Stadt Aachen. Energieeinsparung * Energieeffizienz * Erneuerbare Energie - E³*. STADT AACHEN (HRSG.). Aachen, 2010.
- [ADF2012] ALLGEMEINER DEUTSCHER FAHRRAD-CLUB (ADFC) (Hrsg.): *Radverkehr im Ballungsraum Ruhr*. Düsseldorf, 2012.
- [BAF2016] BAFA - BUNDESAMT FÜR WIRTSCHAFT UND AUSFUHRKONTROLLE: *Elektromobilität (Umweltbonus). Zwischenbilanz zum Antragstand vom 01. September 2016*. BAFA (HRSG.), 2016. http://www.bafa.de/bafa/de/wirtschaftsfoerderung/elektromobilitaet/publikationen/emob_zwischenbilanz.pdf, zuletzt aktualisiert am 01.09.2016. Abruf: 07.09.2016.
- [BAM2009] BAMBERG, S.: *Evaluation von Dialogmarketing für Neubürger - Abschlussbericht*. Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr RWTH Aachen. Aachen, 2009.
- [BUN2014] BUNDESUMWELTMINISTERIUM: *Nationale Klimapolitik*. BMUB (HRSG.), 2014. <http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/>, zuletzt aktualisiert am 09.04.2014. Abruf: 25.11.2015.
- [DIN2006] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): *Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen DIN EN ISO 14044*. Beuth Verlag, 2006.
- [DIN2009] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (HRSG.): *Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen DIN EN ISO 14040*. Beuth Verlag, 2009.
- [DOB2014] DOBRICK, T.: *Mobilität in Essen*. Essen. mündlich an Wilhelm Wall, 2014., 12.12.2014.
- [Düs2010] DÜSSELDORF: *Umsetzungskonzept der Landeshauptstadt Düsseldorf*. Hg. v. Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf, 2010.
- [ESS2010] ESSEN: *Klima-Initiative Essen: Handeln in einer neuen Klimakultur. Von der Industriekultur zur Dienstleistungskultur - Mit der Dienstleistungskultur zur Klimakultur: Umsetzungskonzept der Stadt Essen im Projekt Wettbewerb Energieeffiziente Stadt*. Essen, 2010.
- [ESS2014A] STADT ESSEN (Hrsg.): *Bewerbung der Stadt Essen um den Titel der Grünen Hauptstadt Europas 2017*. Essen, 2014.
- [ESS2014B] UMWELTAMT ESSEN (Hrsg.): *Auszüge aus Projektdatenbank*. Essen, 2014.
- [EVA2013] ESSENER VERKEHRS-AKTIENGESELLSCHAFT (Hrsg.): *Geschäftsbericht 2012*. Essen, 2013. Abruf: 22.06.2015.
- [EVA2014] HOFFMANN, N.: *Information zur Mobilität in Essen*. Essen. schriftlich an Wall, W. und Zugic, N., 2014., 01.08.2014.
- [FLA2015] FLAMME, S.: *Erstellung einer Ökobilanz für die Mobilitätskonzepte der Städte Essen und Stuttgart auf Basis eines bestehenden Referenzsystems*. Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Maschinenbau, Lehrstuhl Energiesysteme und Energiewirtschaft, Masterarbeit. 2015.
- [IIN2014] INTERNATIONALES INSTITUT FÜR NACHHALTIGKEITSANALYSEN UND -STRATEGIEN GMBH (IINAS): *GEMIS 3.93*. Darmstadt, 2014.
- [INF2004] FOLLMER, R.; INFAS - INSTITUT FÜR ANGEWANDTE SOZIALWISSENSCHAFT GMBH; DEUTSCHES INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG (DIW BERLIN): *Mobilität in Deutschland: Ergebnisbericht*. Bonn, 2004.
- [JAN2014] JANßEN, U.: *Information Seniorenbussschule*. Essen. mündlich an S. Flamme, 2014., 17.12.2014.
- [KBA2015] KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (KBA) (HRSG.): *Bestand an Personenkraftwagen nach Kraftstoffarten und Zulassungsbezirken für die Städte Essen und Stuttgart*. Flensburg, 2015.
- [KFZ2015] KFZ-STEUER-INFO (HRSG.): *Die KFZ-Steuer 2015 mit KFZ-Steuerrechner für PKW & LKW*, 2015. <http://www.kfz-steuer-info.de/>. Abruf: 03.07.2015.
- [KLÖ2009] KLÖPFER, W.; GRAHL, B.: *Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf*. Weinheim: WILEY-VCH, 2009. - ISBN: 978-3-527-32043-1.
- [KNO2009] KNOFLACHER, H.: *Erzeugen Straßen Verkehr: Einwände gegen meine Kritiker*. In: *Wissenschaft und Umwelt INTERDISZIPLINÄR (12/2009)*, S. 76 – 81.
- [LKA2012] JANßEN, A.; BÄNFER, D. ET AL.: *Haushaltsbefragung zur Mobilität Essen 2011*. LK Argus Kassel GmbH (Hrsg.). Kassel, 2012.
- [MAG2010] MAGDEBURG: *„EnergieEffiziente Stadt und Modellstadt für Erneuerbare Energien (MD-E⁴)“*. *Umsetzungskonzept der Landeshauptstadt Magdeburg*. Magdeburg, 2010.

- [MÜN2010] MÜNCHEN: *Umsetzungskonzept OFFIES 2020+. Offene Innovationsprozesse für die energieeffiziente Stadt 2020+*. Hg. v. Stadt München, 2010.
- [OLD2010] OLDENBURG: *Umsetzungskonzept - E²SOL - Energieeffizientes Oldenburg - Gemeinsam fit für die Stadt von Übermorgen*. Hg. v. Stadt Oldenburg, 2010.
- [RIC2015] RICHTER, K.; POENICKE, O.: *Dienstleistungen für die City-Logistik. Wechselbehälter als kombinierter Frachtraum und Energiespeicher für kleinvolumige Wirtschaftsverkehre*. Berliner Energietage. 29.04.2015, Abruf: 01.07.2015.
- [SCH2010] SCHWÄBISCH-GMÜND: *Umsetzungskonzept der Stadt Schwäbisch-Gmünd*. Hg. v. Schwäbisch-Gmünd. Schwäbisch-Gmünd, 2010.
- [SCH2015] SCHMAUS, M.: *Ausgewählte, in SEE untersuchte Maßnahmen aus dem Verkehrsbereich..* INSTITUT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN, LEHRSTUHL FÜR VERKEHRSPLANUNG UND VERKEHRSLITECHNIK (HRSG.). Stuttgart, 2015.
- [SPR2015] SPRINGER GABLER VERLAG (Hrsg.): *Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Dialogmarketing*. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/5516/dialogmarketing-v8.html.html>. Abruf: 25.06.2015.
- [STA2010] STADTWERKE ESSEN: *Klimabericht der Stadtwerke Essen AG*. Essen, 2010.
- [STU2010] STUTTGART: *Stadt mit Energie-Effizienz - SEE Stuttgart. Umsetzungskonzept der Landeshauptstadt Stuttgart*. Stuttgart, 2010.
- [UBA2012] UMWELTBUNDESAMT (UBA) (Hrsg.): *Daten zum Verkehr. Ausgabe 2012*. Dessau-Roßlau, 2012.
- [UBA2014] UMWELTBUNDESAMT (UBA) (Hrsg.): *Treibhausgas-Emissionen in Deutschland*. 2014. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/treibhausgas-emissionen-in-deutschland>. Abruf: 25.02.2015.
- [VIA2014] VIA VERKEHRSGESELLSCHAFT GMBH: *Zwischenbericht flexibel mobil*. Unter Mitarbeit von Jansen und Ute. Essen, 2014. Abruf: 08.09.2016.
- [WAG2015] WAGENER, C.: *Information zum Ausbau der Radwege in Essen*. Essen. schriftlich an Wall, W. und Flamme, S., 2015., 09.01.2015.
- [WAL2009] WALDHÖR, A. ; DIETRICH, K. ; BRÖG, W. ET AL.: *Dialog- und Direktmarketing: Marketingvarianten im Vergleich. Ein Projekt der LINZ AG Linien*. In: DER NAHVERKEHR (10/2009), S. 55 - 66.
- [WAL2012] WALL, W.: *Aufbau eines Modells zur Ökobilanzierung eines 5l-Versuchsreaktors zur Gewinnung von photobiologischem Wasserstoff innerhalb der Open-Source-Software OpenLCA*. Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Maschinenbau, Lehrstuhl Energiesysteme und Energiewirtschaft, Bachelorarbeit, 2012.
- [WEH2014] WEHMEIER, T.: *Fahrradverleihsysteme und ÖPNV-Integration - Ergebnisse der Evaluationsphase II*. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Hrsg.). Bonn, 2014.
- [WIK2015] WIKIPEDIA (Hrsg.): *Essener Verkehrs-AG*, 2015. <https://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=143193424>, zuletzt aktualisiert am 21.06.2015. Abruf: 22.06.2015.
- [WOL2010] WOLFHAGEN: *Wolfhagen 100% EE – Entwicklung einer nachhaltigen Energieversorgung für die Stadt Wolfhagen. Umsetzungskonzept der Stadt Wolfhagen*. Wolfhagen, 2010.
- [ZUG2014] ZUGCIC, N.: *Erstellung eines Referenzsystems für die Untersuchung veränderter innerstädtischer Verkehrskonzepte*. Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Maschinenbau, Lehrstuhl Energiesysteme und Energiewirtschaft, Masterarbeit. 2014.