



Neuaufstellung Klima- schutzkonzept

**für die Wissenschaftsstadt
Darmstadt**

Anlage 3

Wissenschaftsstadt
Darmstadt



Auftraggeberin

Wissenschaftsstadt Darmstadt
Amt für Klimaschutz und Klimaanpassung
Bessunger Str. 125
64295 Darmstadt
AnsprechpartnerIn:
Dr. Patrick Voos, Julia Vogelsang

Auftragnehmer

energielenker projects GmbH
Airport Center II
Hüttruper Heide 90
48268 Greven
Ansprechpartner:
Thomas Pöhlker

Wissenschaftsstadt
Darmstadt



INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	9
1.1	Strukturelle Rahmendaten der Wissenschaftsstadt Darmstadt.....	10
1.2	Hintergrund und Motivation zur Neuaufstellung des Klimaschutzkonzeptes	10
1.3	Ablauf und Projektzeitenplan.....	12
2	Zielsetzung der Wissenschaftsstadt Darmstadt	14
3	Energie- und Treibhausgasbilanz	17
3.1	Grundlagen der Bilanzierung nach BSKO	17
3.1.1	Bilanzierungsprinzip im stationären Bereich	18
3.1.2	Bilanzierungsprinzip im Sektor Verkehr	20
3.2	Gesamtenergiebedarf und THG-Emissionen auf dem Stadtgebiet der Wissenschaftsstadt Darmstadt.....	21
3.2.1	Gesamtenergiebedarf auf dem Stadtgebiet der Wissenschaftsstadt Darmstadt	21
3.2.1.1	Gesamtenergiebedarf nach Sektoren und Energieträgern.....	22
3.2.1.2	Gesamtenergiebedarf nach Energieträgern der Gebäude und Infrastruktur	25
3.2.2	THG-Emissionen auf dem Stadtgebiet der Wissenschaftsstadt Darmstadt	25
3.2.2.1	THG-Emissionen nach Sektoren und Energieträgern	26
3.2.2.2	THG-Emissionen nach Energieträgern der Gebäude und Infrastruktur	29
3.2.2.3	THG-Emissionen pro Einwohner*in.....	29
3.2.3	Regenerative Energien auf dem Stadtgebiet der Wissenschaftsstadt Darmstadt.....	30
3.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	31
4	Potenzial- und Szenarienanalyse für den direkten Handlungsbereich	33
4.1	Transformationspfade und Energieeffizienz im direkten Handlungsbereich	33
4.1.1	Kommunale Gebäude und Liegenschaften	35
4.1.2	Kommunaler Fuhrpark.....	39
4.1.3	Beschaffungswesen	41

4.2	Entwicklung und Szenarien der Energieeinsparung im direkten Handlungsbereich	42
4.2.1	Gebäude im direkten Handlungsbereich	42
4.2.2	Kommunaler Fuhrpark	45
4.2.3	Zusammenfassung und Handlungserfordernisse für den direkten Handlungsbereich	47
5	Potenzial- und Szenarienanalyse für die Gesamtstadt	49
5.1	Transformationspfade in der Gesamtstadt (indirekter Einflussbereich des Magistrats)	49
5.1.1	Private Haushalte	49
5.1.1.1	Gebäudesanierung	50
5.1.1.2	Strombedarf	53
5.1.1.3	Einfluss des Nutzerverhaltens	53
5.1.2	Wirtschaft	54
5.1.3	Verkehrssektor	58
5.1.3.1	Randbedingungen „Klimaschutzszenario 95“	60
5.1.3.2	Entwicklung der Fahrleistungen und des Endenergiebedarfs	60
5.2	Erneuerbare Energien	62
5.2.1	Windenergie	64
5.2.2	Sonnenenergie	64
5.2.2.1	Dachflächenphotovoltaik	65
5.2.2.2	Freiflächenphotovoltaik	65
5.2.2.3	Solarthermie	66
5.2.3	Biomasse	67
5.2.4	Geothermie	68
5.2.5	Fern- und Nahwärme	68
5.2.6	Ökogas als temporäre Brückentechnologie	69
5.3	Entwicklung der Energieeinsparung in der Gesamtstadt	69
5.3.1	Mögliche Szenarien für die Gesamtstadt	69
5.3.2	Annahmen im Klimaschutzszenario Darmstadt (Szenario 5)	73
5.3.3	Szenarien: Brennstoffbedarf	73
5.3.4	Szenarien: Kraftstoffbedarf	74
5.3.5	Szenarien: Strombedarf und erneuerbare Energien	75
5.3.6	End-Szenarien: Endenergiebedarf in der Gesamtstadt	77
5.3.7	End-Szenarien: THG-Emissionen in der Gesamtstadt	79

5.3.8	Zusammenfassung und Handlungserfordernisse für die Gesamtstadt.....	81
6	Abschließende Erläuterungen zur Treibhausgasneutralität	84
7	Umsetzungsstrategie.....	85
7.1	Controlling	85
7.2	Gesamtcontrolling	87
8	Verstetigungsstrategie	91
8.1	Netzwerkmanagement.....	92
8.2	Öffentlichkeitsarbeit und zielgruppenspezifische Ansprache	93
8.3	Vorbildfunktion der Stadtverwaltung	96
9	Ansprechpartner*innen in der Wissenschaftsstadt Darmstadt	97

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Abbildung 1-1: Übersicht über die Arbeitsgruppen im Rahmen der Neuaufstellung</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 3-1: Endenergiebedarf der Gesamtstadt Darmstadt nach Sektoren.....</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 3-2: Prozentualer Anteil der Sektoren am Endenergiebedarf der Gesamtstadt Darmstadt</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 3-3: Endenergiebedarf der Gesamtstadt Darmstadt nach Energieträgern</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 3-4: THG-Emissionen der Gesamtstadt Darmstadt nach Sektoren</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 3-5: Prozentualer Anteil der Sektoren an den THG-Emissionen der Gesamtstadt Darmstadt</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 3-6: THG-Emissionen der Gesamtstadt Darmstadt nach Energieträgern.....</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 3-7: Strom-Einspeisemengen aus Erneuerbare-Energien-Anlagen der Gesamtstadt Darmstadt</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 3-8: Prozentuale Anteile der Erneuerbaren-Energien in der Gesamtstadt Darmstadt</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 4-1: Veränderte THG-Bilanzierung nach Einbezug von Ökostrom und Ökogas..</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 4-2: Kommunale Gebäude in der Verwaltung der IDA mit Abweichung gegenüber VDI.....</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 4-3: Szenarien für Energiebedarfe und THG-Emissionen im Bereich des kommunalen Gebäudesektors</i>	<i>43</i>
<i>Abbildung 4-4: Absenkpfad der Endenergiebedarfe und THG-Emissionen für die kommunalen Liegenschaften nach Energieträgern im Szenario Energieträgerwechsel bis 2035 inklusive Zwischenziele für die Jahre 2025 und 2030</i>	<i>44</i>
<i>Abbildung 5-1: Schematische Verteilung des flächenbezogenen Endenergiebedarfs heute und des Einsparpotenzials 2050 (eigene Darstellung nach (BMW, 2014)).....</i>	<i>51</i>
<i>Abbildung 5-2: Einsparpotenziale der Wohngebäude im Klimaschutzszenario bis 2035 (EH 40-Standard)</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 5-3: Dach-PV und Dach-Begrünung in Kombination (Städtebauliche Klimafibel, 2022).....</i>	<i>55</i>
<i>Abbildung 5-4: Energieeinsparpotenziale in der Wirtschaft nach Querschnittstechnologien (dena, 2014)</i>	<i>56</i>
<i>Abbildung 5-5: Entwicklung der Fahrleistungen bei Verbrennern und alternativen Antrieben in der Wissenschaftsstadt Darmstadt bis 2035 im Klimaschutzszenario.....</i>	<i>61</i>
<i>Abbildung 5-6: Entwicklung des Endenergiebedarfs für den Sektor Verkehr im Klimaschutz- und Trendszenario bis 2035</i>	<i>62</i>
<i>Abbildung 5-7: Entwicklung der THG-Emissionen der verschiedenen Szenarien</i>	<i>72</i>
<i>Abbildung 5-8: Zukünftiger Brennstoffbedarf im Klimaschutzszenario 2035</i>	<i>74</i>
<i>Abbildung 5-9: Zukünftiger Kraftstoffbedarf im Klimaschutzszenario</i>	<i>75</i>
<i>Abbildung 5-10: Entwicklung des Strombedarfs im Klimaschutzszenario</i>	<i>76</i>

<i>Abbildung 5-11: Entwicklung der erneuerbaren Energien in der Wissenschaftsstadt Darmstadt unter Berücksichtigung des Maximalpotenzials</i>	<i>77</i>
<i>Abbildung 5-12: Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Anwendungsart im Klimaschutzscenario</i>	<i>78</i>
<i>Abbildung 5-13: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Klimaschutzscenario.....</i>	<i>80</i>
<i>Abbildung 8-1: Akteursnetzwerk im Stadtgebiet (Quelle: Verändert nach DifU, 2011)</i>	<i>92</i>
<i>Abbildung 8-2: Medienlandschaft.....</i>	<i>94</i>
<i>Abbildung 8-3: Einbindungsintensität in der Öffentlichkeitsarbeit (DifU, 2011)</i>	<i>95</i>

TABELLENVERZEICHNIS

<i>Tabelle 3-1: Emissionsfaktoren</i>	20
<i>Tabelle 3-2: Zeitreihe Endenergiebedarf gesamt sowie bezogen auf die Erwerbstätigen und die Einwohnenden</i>	22
<i>Tabelle 3-3: Zeitreihe THG-Emissionen gesamt sowie bezogen auf die Erwerbstätigen und die Einwohnenden</i>	26
<i>Tabelle 3-4: THG-Emissionen pro Einwohner*in der Gesamtstadt Darmstadt</i>	29
<i>Tabelle 4-1: Berechnungsgrundlage für Sanierungen</i>	38
<i>Tabelle 4-2: Entwicklung der THG-Emissionen des kommunalen Fuhrparks</i>	47
<i>Tabelle 4-3: Zusammenfassung und Handlungserfordernisse für den direkten Handlungsbereich</i>	48
<i>Tabelle 5-1: Grundlagendaten für das Klimaschutzszenario</i>	57
<i>Tabelle 5-2: Zusammenfassung der wichtigsten Annahmen für die verschiedenen Szenarien</i>	71
<i>Tabelle 5-3: Sektorenziele witterungskorrigierter Endenergiebedarfe</i>	79
<i>Tabelle 5-4: Sektorenziele THG-Emissionen</i>	80
<i>Tabelle 5-5: Zusammenfassung und Handlungserfordernisse für die Gesamtstadt</i>	83

1 EINLEITUNG

Die Herausforderungen des Klimawandels sind bereits mess-, spür- und sichtbar. Temperaturanstieg, schmelzende Gletscher und Pole, ein steigender Meeresspiegel, Wüstenbildung und Bevölkerungswanderungen – viele der vom Ausmaß der Erwärmung abhängigen Szenarien sind zum jetzigen Zeitpunkt bekannt, wenn auch die Intensität der Wechselwirkungen und Kaskadeneffekte oftmals in ihren konkreten Auswirkungen noch unklar bleiben. Hauptverursacher der globalen Erderwärmung sind die Emissionen von Treibhausgasen (THG) wie Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (Lachgas: N₂O), Schwefelhexafluorid (SF₆) und Fluorkohlenwasserstoffe.

Wichtig ist es im Zuge des Klimawandels auch die sogenannte Klimagerechtigkeit zu beachten. Industriestaaten sind für einen immensen Teil des THG-Ausstoßes verantwortlich. Die in den G20 zusammengeschlossenen Länder sind insgesamt für mehr als 75 % des weltweiten Ausstoßes von THG verantwortlich (Deutschlandfunk, 2017). Die Folgen, wie bspw. Überschwemmungen und Erdbeben, treffen dann aber vor allem ärmere Länder. Mit Klimagerechtigkeit ist die Notwendigkeit einer gerechten Verteilung von Verantwortung für die Klimakrise und Betroffenheit durch die Folgen der Klimakrise gemeint (Stichwort: Verursacherprinzip). Momentan existiert hier eine große Diskrepanz zwischen dem Globalen Norden (Verantwortung/Verursachung) und dem Globalen Süden (Betroffenheit durch die Folgen). Gerade den Ländern im globalen Süden, fehlt es aber oft an Mitteln, um sich an die Veränderungen anzupassen und die schlimmsten Folgen zu mindern. Dies führt wiederum zu verstärkter Armut, Ungleichheit und Migrationsbewegungen. Mit Klimagerechtigkeit soll also ein ethischer und politischer Aspekt zur momentan teilweise lediglich auf technischer Ebene diskutierten Problem des Klimawandels hinzukommen.

In diesem Zusammenhang muss auch die somit notwendige fundamentale Umstrukturierung unserer Gesellschaft und Volkswirtschaft genannt werden. Die sozio-ökonomische Transformation stößt dabei immer wieder auf Zielkonflikte. Noch immer machen Arbeitsplätze in Industriezweigen auf Basis fossiler Ressourcen ca. 38 % aller Jobs aus (DGB Bildungswerk, 2019). Beim Strukturwandel zu einer emissionsärmeren Ökonomie gilt es also, die sozialen und beschäftigungspolitischen Folgen zu berücksichtigen und zu minimieren. Dabei müssen die Herausforderungen der Transformation als Chance verstanden werden. Bei einer Änderung von Wirtschaft und Gesellschaft im Sinne der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen, muss neue und nachhaltige Beschäftigung mit attraktiven Arbeitsplätzen entstehen (in der Landwirtschaft, Lebensmittelerzeugung, im Bereich der erneuerbaren Energien und nachhaltigen Werkstoffe, im Rahmen von Mobilität sowie im Bildungs-, Gesundheits- und Sozialwesen). Das gilt für den globalen Norden und den globalen Süden gleichermaßen. Deshalb ist die sozial-ökologische Transformation zudem als ein wichtiger Teil der Entwicklungszusammenarbeit zu sehen. (DGB Bildungswerk, 2019)

Auch Darmstadt ist bereits vom Klimawandel betroffen. Zukünftig ist mit trockeneren Sommern, feuchteren Wintern, häufigeren Extremwetter-Ereignissen (z. B. Starkregen, Hochwasser, Hitzeperioden) und generell höheren Temperaturen sowie längeren Vegetationsperioden zu rechnen (Statistische Berichte Darmstadt, 2020).

Aktiver Klimaschutz und die Reduktion von Treibhausgasen spielen in diesem Zusammenhang wichtige und dringliche Rollen und haben daher in Anbetracht der damit einhergehenden, enormen Herausforderungen bereits höchste Priorität in politischen

Entscheidungen sowie im alltäglichen Leben in Darmstadt bekommen. Mit der Neuaufstellung des Klimaschutzkonzeptes stellt sich die Wissenschaftsstadt Darmstadt dieser Herausforderung weiter und setzt sich die Verstetigung und Weiterentwicklung der laufenden Anstrengungen zum Ziel.

1.1 Strukturelle Rahmendaten der Wissenschaftsstadt Darmstadt

Die kreisfreie Stadt Darmstadt mit rund 162.000 Einwohner*innen (2019) ist südliches Oberzentrum der Metropolregion Rhein-Main. Als wichtiges Oberzentrum und der damit einhergehenden hohen Anzahl an Einpendler*innen steigt die sog. Tagbevölkerung sogar auf über 200.000. Bis auf den Norden, wo Darmstadt auch an den Landkreis Offenbach grenzt, wird die Stadt vom Landkreis Darmstadt-Dieburg umschlossen. Die Stadt gehört zum Klimaraum Oberrheingraben, der von milden Wintern, warmen Sommern und geringen Niederschlagsmengen geprägt ist.

Knapp 96.000 Menschen wohnen in den Innenstadtbezirken Darmstadts. Mit den Eingemeindungen der einst unabhängigen Städte Arheiligen und Eberstadt (1937), Kranichstein in den sechziger Jahren und mit Wixhausen (1977) dehnte sich das Stadtgebiet räumlich aus. Seit den 2000er-Jahren weist Darmstadt, die seit 1997 den Titel Wissenschaftsstadt trägt, ein konstantes Bevölkerungswachstum auf und hat in diesem Zeitraum einen Anstieg von rund 25.000 Einwohner*innen zu verzeichnen. Mit einem Durchschnittsalter von 40,8 Jahren (2019) laut Statista kann Darmstadt als sehr junge Stadt verstanden werden. In Statistiken tauchen nur Städte wie Freiburg im Breisgau oder Heidelberg als noch jüngere Städte vor Darmstadt auf.

1.2 Hintergrund und Motivation zur Neuaufstellung des Klimaschutzkonzeptes

Mit dem Antrag "Höchste Priorität für Klimaschutz – Weltklima in Not – Darmstadt handelt" (SV 2019/0043) hat die Stadtverordnetenversammlung am 19.09.2019 die Neuaufstellung des Klimaschutzkonzeptes beschlossen. Weiterhin haben sich Stadtverordnetenversammlung und Magistrat klar zu den Zielen des Pariser Klimaschutzabkommens bekannt. Mit diesem Beschluss ging auch die Zielstellung einher, dass in den Bereichen, in denen der Magistrat Handlungsoptionen und Einfluss hat, die CO₂-Emissionen bis 2035 auf Netto-Null gesenkt werden sollen. Im Rahmen der Erarbeitung des vorliegenden Klimaschutzkonzeptes wurde diese Zielsetzung im Sinne des Pariser Klimaschutzabkommens für das Klimaschutzkonzept (KSK) auf alle Treibhausgase ausgeweitet – die Treibhausgas-Neutralität ist die Zielsetzung.

Darüber hinaus ist klar, dass für die Einhaltung der Pariser Klimaschutzziele nicht nur die Wissenschaftsstadt Darmstadt bzw. der Magistrat eine Vorbildfunktion einnehmen will und die THG-Neutralität im direkten Einflussbereich anstrebt, sondern dass auch im Rahmen der rechtlichen und kommunalen Möglichkeiten die Weichen für eine Treibhausgasneutralität der Gesamtstadt angestrebt werden muss.

Die Ziele des integrierten Klimaschutzkonzeptes aus dem Jahr 2013 (CO₂-Emissionsminderung bis zum Jahr 2030 bezogen auf 1990 um 35-40 %) wurden erreicht. Allerdings hat die Evaluation ebenfalls ergeben, dass die Ziele des 2013er Konzeptes nicht konform mit dem Pariser Klimaschutzabkommen sind.

Um Vorarbeit zu leisten, beschlossen der Magistrat und die Stadtverordnetenversammlung das „Sofortprogramm Klimaschutz“. Das Sofortprogramm ist ein relevanter Baustein, um die Netto-CO₂-Emissionen, da wo der Magistrat Handlungsoptionen

und Einfluss hat, bis 2035 auf null zu senken. Ziel des Sofortprogrammes ist es, Maßnahmen zu ergreifen, die parallel zur Neuaufstellung des Klimaschutzkonzeptes, in den nächsten ein bis drei Jahren Wirkung entfalten. Es ist vorgesehen die Maßnahmen im Abgleich mit dem zu erstellenden Klimaschutzkonzept zu evaluieren und ggf. anzupassen. (MagV 2020/0194, 2020)

In Darmstadt gibt es darüber hinaus weitere Meilensteine für eine klimafreundliche Stadtentwicklung. Dazu gehören der KlimaEntscheid, die Radstrategie und der Klimavorbehalt.

Das Bürgerbegehren KlimaEntscheid Darmstadt musste zwar wegen schwerwiegenden Mängeln beim Kostendeckungsvorschlag materiell als unzulässig abgelehnt werden (MagV 2020/0235, 2020), zahlreiche inhaltliche Forderungen des Begehrens wurden jedoch in die Klimaschutz-Aktivitäten der Wissenschaftsstadt übernommen bzw. sind bereits beschlossen worden.

Die Radstrategie hat zum Ziel, den Anteil des Radverkehrs am städtischen Gesamtverkehr ("Modal Split") bis zum Jahre 2030 auf 30 % durch die Schaffung eines durchgehend attraktiven Radnetzes gemäß definierter Qualitätskriterien zu erreichen.

Der Klimavorbehalt (noch nicht umgesetzt) hat zum Ziel, dass alle klimarelevanten städtischen Maßnahmen und Beschlussvorlagen sowie alle Bebauungspläne der Wissenschaftsstadt Darmstadt einer Klimarelevanzbeurteilung unterzogen werden (MagV 2020/0252, 2020). Hierdurch soll gewährleistet werden, dass stets die klimaverträglichste/klimaoptimale Lösung in Hinblick auf die THG-Bilanz und das Stadtklima umgesetzt wird.

Mit der Neuaufstellung des Klimaschutzkonzeptes sollen nun die Aktivitäten weiter gebündelt und in einen Maßnahmenplan mit Transformationspfaden überführt werden. Mit dem vorliegenden integrierten Klimaschutzkonzept wird eine neue Grundlage für eine kommunale Klimaschutzarbeit von hoher Qualität geschaffen, die die Gestaltung einer nachhaltigen Zukunft ermöglicht. Wesentlicher Grundgedanke ist es, kommunales Handeln mit den Aktivitäten und Interessen aller weiteren Akteure in der Stadt zu verbinden, da für die Erreichung der ambitionierten und gleichzeitig zwingend notwendigen Klimaschutzziele die Mitwirkung der Gesamten Zivilgesellschaft, der Unternehmen und Gewerbetreibenden sowie aller weiteren Teile der Stadtgesellschaft notwendig sind.

Das Klimaschutzkonzept soll der Wissenschaftsstadt Darmstadt ermöglichen, die vorhandenen Einzelaktivitäten und Potenziale sowie die bereits durchgeführten Projekte zu bündeln und Multiplikatoren- und Synergieeffekte zu schaffen und zu nutzen. Energieeinsparpotenziale und Effizienzsteigerungspotenziale in den verschiedenen relevanten Sektoren (Haushalte, Verkehr, Wirtschaft und Verwaltung) sollen aufgedeckt werden und in ein langfristig umsetzbares Handlungskonzept zur Reduzierung der THG-Emissionen münden.

Mit dem Klimaschutzkonzept erhält die Wissenschaftsstadt Darmstadt ein tiefgreifendes, maßnahmenbasiertes Konzept für eine nachhaltige Gestaltung der Klimaschutzarbeit sowie der zukünftigen Klimaschutzstrategie. Gleichzeitig soll das Klimaschutzkonzept Motivation für die Einwohner*innen der Stadt sein, selbst tätig zu werden und weitere Akteurinnen und Akteure zur Teilnahme zu gewinnen. Nur über die Zusammenarbeit aller kann es gelingen, die gesteckten Ziele zu erreichen. Darmstadt als wichtiges Oberzentrum in Südhessen kann darüber hinaus Vorbildcharakter in den

Zielsetzungen, der Maßnahmenausarbeitung und der Umsetzung werden und über die Vernetzung mit dem Umland weitere Potenziale heben.

1.3 Ablauf und Projektzeitenplan

Der Prozess der Neuaufstellung wurde durch die energielenker projects GmbH begleitet. Der Erarbeitungsprozess erfolgte im engen Austausch vor allem mit der Stadt Darmstadt, aber auch mit Stadtwirtschaft und dem fachlich breit aufgestellten Klimaschutzbeirat (KSB). Der Klimaschutzbeirat als den Magistrat beratendes Gremium wurde bereits während der Erarbeitung des Leistungsverzeichnisses in 2020 beteiligt. Die Zielsetzungen des KSK wurden gemeinsam mit dem KSB erarbeitet. Der KSB tagte als Gesamt-Plenum mit seinen Mitgliedern an vier Terminen während der Neuaufstellung. Weiterhin erfolgte ein Sondertermin, in dem es um die Analyse sektorspezifischer und zukunftsbezogener Potenziale ging (Potenzialanalyse).

Weiterhin erfolgt in dem vorliegenden Konzept eine Unterscheidung zwischen dem direkten Handlungsbereich der Stadtverwaltung und der Gesamtstadt Darmstadt. Zum direkten Handlungsbereich gehören sämtliche kommunale Liegenschaften (Verwaltungsgebäude, Schulen, Sportanlagen, etc.), die städtischen Bäder, der Eigenbetrieb für kommunale Aufgaben und Dienstleistungen (EAD) und der Eigenbetrieb Darmstädter Werkstätten und Wohneinrichtungen (EDW) sowie alle GmbHs der Stadtwirtschaft (wie DSE, DSG), da der Magistrat gegenüber Geschäftsführern von städtischen GmbHs weisungsbefugt ist. Bei Aktiengesellschaften ist dies aufgrund der Rechtsform nicht möglich. Entsprechend können Aktiengesellschaften, wie HEAG Holding AG, Bauverein AG, ENTEGA AG, nicht zum direkten Handlungsbereich gezählt werden. Dieser Umstand wurde durch das Rechtsamt der Wissenschaftsstadt Darmstadt geprüft und festgestellt. Derartige Einrichtungen werden daher im indirekten Handlungsbereich (Gesamtstadt) unter dem Sektor Wirtschaft betrachtet.

Des Weiteren wurden in insgesamt acht Arbeitsgruppen, die jeweils zwischen ein und zwei Mal tagten, gemeinsam mit dem Klimaschutzbeirat Maßnahmen ausgearbeitet, die in einem weiteren Arbeitsgruppentreffen konkretisiert und feinjustiert wurden. Sieben Arbeitsgruppen waren dabei thematisch strukturiert, wohingegen die achte Arbeitsgruppe als „AG-Querschnitt“ fungierte. In dieser übergeordneten Querschnittsgruppe kamen die gewählten Sprecher*innen der thematischen AGs zusammen und erarbeiteten Synergieeffekte und berieten zu festgestellten Dopplungen, Überschneidungen und fehlende Punkte im Bereich der Maßnahmenbündel. Die Treffen der Arbeitsgruppe „Klimaneutrale Stadtverwaltung“ fanden verwaltungsintern statt.

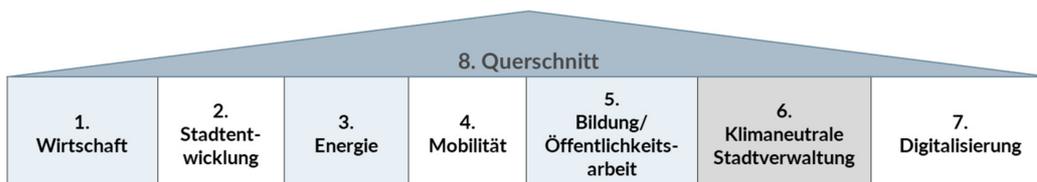


Abbildung 1-1: Übersicht über die Arbeitsgruppen im Rahmen der Neuaufstellung

Die Bausteine zur Erstellung des integrierten Klimaschutzkonzeptes für die Wissenschaftsstadt Darmstadt bestanden aus verschiedenen Arbeitsphasen. Diese sind jedoch nicht abgekoppelt voneinander zu verstehen, es erfolgte vielmehr eine inhaltlich und zeitlich überlagerte Bearbeitung.

1. Baustein: Projektinstitutionalisierung

- ⇒ Identifizierung Akteure
- ⇒ Datenermittlung und -analyse

2. Baustein: Akteursbeteiligung

- ⇒ Sitzungen des Klimabeirates
- ⇒ Workshops zwecks Ermittlung von Maßnahmen
- ⇒ Expert*innengespräche mit der Stadtwirtschaft
- ⇒ Interne Arbeitsgruppe

3. Baustein: Potenzialanalyse

- ⇒ Ergebnisinterpretation Energie- und THG Bilanz
- ⇒ Potenzialermittlung
- ⇒ Szenarien und Ziele
- ⇒ Rücksprache und Rückkopplungsschleifen mit Stadt, Stadtwirtschaft, Klimaschutzbeirat

4. Baustein: Erstellung Maßnahmenkatalog

- ⇒ Feststellung Maßnahmenbereiche
- ⇒ Handlungsbeschreibung / Projektierung
- ⇒ Zieldefinition
- ⇒ Rückkopplung mit Stadt und AG Querschnitt
- ⇒ Erstellung Maßnahmenblätter

5. Baustein: Zusammenstellung und Berichtserstellung

- ⇒ Verstetigungsstrategie
- ⇒ Controllings-Konzept
- ⇒ Öffentlichkeitsveranstaltung
- ⇒ Erstellung und Abstimmung Endbericht

2 ZIELSETZUNG DER WISSENSCHAFTSSTADT DARMSTADT

Mit dem Beschluss SV 2019/0043 hat Darmstadt eine Anpassung des Klimaschutzkonzeptes an die Ziele des Übereinkommens von Paris (Pariser Klimaabkommen – Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf möglichst 1,5 °C, Reduktion der CO₂-Emissionen bis 2050 bis zur Nullemission) beschlossen. Die Wissenschaftsstadt Darmstadt verfolgt darüber hinaus ab sofort das Ziel, da wo der Magistrat Handlungsoptionen und Einfluss hat, bis 2035 die Netto-CO₂-Emissionen auf null zu senken. Bei neuen Baugebieten (Gewerbe- wie Wohngebieten) wird möglichst das Ziel der CO₂-Neutralität vorgegeben (mindestens bilanziell). Zusammenfassend wird für Darmstadt das ehrgeizige Ziel der Klimaneutralität bis 2035 verfolgt. (SV 2019/0043, 2019)

Das vorliegende Klimaschutzkonzept orientiert sich am Ziel der Netto-CO₂-Neutralität bis 2035. Dieses Ziel wird dabei auf eine Netto-Treibhausgas-Neutralität ausgeweitet. Es werden also auch andere Treibhausgase berücksichtigt (bspw. Methan und Lachgas). Für die beiden Bereiche „direkter Handlungsbereich“ und „Gesamtstadt“ werden Wege aufgezeigt, um die angestrebte Treibhausgasneutralität bis 2035 zu erreichen bzw. die Weichen hierfür zu stellen. Dabei liegt diesem Konzept ein im Folgenden erläutertes Verständnis der Treibhausgasneutralität zugrunde.

Unter Treibhausgasneutralität wird in der Literatur „ein Gleichgewicht zwischen Treibhausgas-Emissionen und deren Abbau“ verstanden (dena.de, 2021) (UBA, 2021). Gleichgewicht oder auch Netto-Null-Emissionen bedeuten daher nicht, dass keine THG-Emissionen mehr emittiert werden, sondern, dass sämtliche Emissionen, die unumgänglich und nicht zu vermeiden sind, ausgeglichen oder kompensiert werden. Dies impliziert zunächst, dass der Handlungsschwerpunkt vor allem auf der Vermeidung von Treibhausgasemissionen zu richten ist, um die auszugleichende Menge möglichst gering und damit überhaupt kompensierbar zu halten. Als Zielgröße können, als grober Richtwert, THG-Emissionen von weniger als einer Tonne pro Einwohner*in (EW) und Jahr herangezogen werden (UBA, 2013). Dieser Wert errechnet sich auf Basis einer Einsparung von THG-Emissionen in Höhe von 95 % im Vergleich zum Basisjahr 1990. Die restlichen 5 % entsprechen, umverteilt auf die Einwohner*innen Deutschlands, ca. 1 t CO₂e/(EW a) (UBA, 2013). Wichtig ist, diesen Zahlenwert nicht als exakten Zielwert anzusehen, sondern als Orientierungswert zu verstehen. Die tatsächlich noch als THG-neutral anzusehenden Restemissionen hängen von vielen Faktoren ab, nicht zuletzt von den gewählten Bilanzgrenzen und sonstigen Bilanzierungssystematiken (bspw. bei der Kompensation).

Was den Ausgleich oder die Kompensation anbelangt, bestehen verschiedene Optionen. Eine entscheidende Rolle werden dabei verfügbare Senken (bspw.: Land- und Forstwirtschaftliche Flächen je nach Nutzungsart) spielen und wie diese angerechnet werden können. Unter einer „schwachen“ Treibhausgasneutralität kann in diesem Zusammenhang verstanden werden, wenn Restemissionen über Emissionsgutschriften oder Zertifikate ausgeglichen werden. Dieser „gekaufte“ Ausgleich erfolgt dabei meist überregional oder sogar global und wird vor dem Hintergrund von Wirksamkeit und Langfristigkeit (zum Beispiel im Bereich Aufforstungsmaßnahmen im globalen Süden) durchaus kritisch diskutiert. Eine nachhaltige Stabilisierung des Klimasystems steht mit diesen Kompensationsmaßnahmen zur Disposition und bleibt ungewiss. Diese „schwache Treibhausgasneutralität“ wird ausdrücklich nicht für die Wissenschaftsstadt Darmstadt angestrebt.

Eine „starke“ Treibhausgasneutralität beinhaltet den Ausgleich bestehender Emissionen über natürliche Senken oder Landnutzungsänderungen. Bestenfalls finden diese Ausgleichsmaßnahmen auch vor Ort oder regional statt und werden nicht in andere Räume verlagert. Das heißt, dass THG-Emissionen und (örtliche) Bindungsleistungen sich gegenseitig ausgleichen. Sollten lokale Senken (bspw. durch Aufforstung oder Humusaufbau in der Landwirtschaft) und deren potenzielle Kapazitäten nicht ausreichen, muss geprüft werden, inwiefern verbleibende Emissionen beispielsweise über die Produktion von Erneuerbaren Energien (EE) oder anderen klimaschutzbezogene Maßnahmen vor Ort rechnerisch kompensiert werden können. Eine exakte und verbindliche Bilanzierungsmethodik ist momentan noch ausstehend.

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass Treibhausgasneutralität und Klimaneutralität auch auf europäischer- oder Bundesebene oftmals synonym verwendet werden, die beiden Begriffe aber fachlich unterschieden werden müssen.

Im Gegensatz zur THG-Neutralität bedeutet Klimaneutralität im engeren Sinne, dass keine menschlichen Auswirkungen auf das Klima stattfinden. Dies bedeutet, dass sämtliche anthropogene Einflüsse auf das Klima zu vermeiden bzw. auszugleichen sind. Dazu gehören auch Bereiche wie Albedo-Effekte (bspw. Erwärmung von Straßen durch solare Einstrahlung), Wolkenbildung, Kondensstreifen oder Flächenversiegelungen. Klimaneutralität geht also deutlich über eine herzustellende Emissionsneutralität hinaus. Dies ist im kommunalen Kontext – auch vor dem Hintergrund der verwendeten Bilanzierungs-Systematik Kommunal (BISKO) weder umsetzbar noch mess- oder evaluierbar.

Daher wurde für das vorliegende Klimaschutzkonzept eine zielführende Definition erarbeitet. Diese orientiert sich an Aspekten der Klimaneutralität, berücksichtigt aber auch kommunale Handlungsoptionen und die Bilanzierungssystematik in diesem Zusammenhang. Daher kann von einem Neutralitätsverständnis gesprochen werden, welches fortan als „Treibhausgasneutralität plus“ zu verstehen ist.

Unter Treibhausgasneutralität plus wird die Herstellung eines Gleichgewichts zwischen Treibhausgasen und der Aufnahme dieser aus der Atmosphäre in natürlichen Senken, bestenfalls vor Ort, verstanden. Handlungsschwerpunkte stellen sich dabei wie folgt dar:

- Handlungspriorität ist eine umfassende Reduktion der durch den Menschen erzeugten CO₂e-Emissionen (vermeidbare Emissionen).
- Reaktivierung und Stabilisierung von natürlichen CO₂-Senken sowie Systemen (z. B. Erhalt und Schutz von Wäldern, Humusaufbau auf landwirtschaftlichen Flächen, etc.).
- In zukünftigen städtischen Entscheidungen werden gemäß der Beschlusslage "Klimavorbehalt" im Rahmen der Vorlagenerstellung zukünftig die Auswirkungen auf das Stadtklima und/oder die CO₂-Bilanz unter Verwendung eines noch zu erstellenden Merkblatts verwaltungsintern geprüft. Bei Vorliegen einer Klimarelevanz ist das zuständige Fachamt zu beteiligen, bei relevanten negativen Auswirkungen auf das Stadtklima und/oder die CO₂-Bilanz werden Alternativen bzw. Kompensationsmaßnahmen unter Beteiligung aller betroffenen Ämter, Verwaltungsstellen und/oder Eigenbetrieben erarbeitet. (MagV 2020/0252, 2020)

- Der Magistrat der Wissenschaftsstadt Darmstadt wirkt im Rahmen seiner Einflussmöglichkeiten weiterhin auf übergeordneten Politik- und Planungsebenen (Land/Bund) ein und trägt Hemmnisse und Herausforderungen der kommunalen Klimaschutzarbeit vor, um Handlungsspielräume für einen effektiveren kommunalen Klimaschutz zu ermöglichen.

Innerhalb dieser Definition ist es möglich, auf lokaler Ebene die Treibhausgasneutralität anzustreben und gleichzeitig eine Feinsteuerung von klimabeeinflussenden nicht-emissionsbedingten Faktoren zu ermöglichen. Die THG-Neutralität im Sinne der Definition muss mit Maßnahmen des Konzepts erreichbar und evaluierbar sein. Hierbei ist stets die Systemgrenze der kommunalen Bilanzierungsmethodik BSKO zu kommunizieren, bei der bestimmte Bereiche, wie beispielsweise Landnutzung oder spezifische Konsum- und Ernährungsmuster sowie graue Energie¹, nach aktuellem Stand nicht mitbilanziert werden (können).

Die nach BSKO nicht berücksichtigten Bereiche sind dennoch wichtig und relevant und sollten daher in Zukunft mitbetrachtet werden. Gerade der Landnutzung kommt eine entscheidende Rolle zu. Dabei ist es wichtig zukünftige Flächenversiegelungen so gering wie möglich zu halten, um die lokal verfügbaren Senken zu maximieren. Hier entsteht ein Spannungsfeld bei der Stadtentwicklung und der damit einhergehenden Flächeninanspruchnahme. Ziel sollte demnach immer die Priorisierung von Nachverdichtung gegenüber Neufächenerschließung sein. Dabei sollte der doppelten Innenentwicklung² eine hohe Bedeutung eingeräumt werden.

Schlussendlich ist zu betonen, dass das Ziel der Klimaneutralität, wie es in der engen Definition vorgegeben wird, dennoch als übergeordnete Zielstellung fungiert, um das 1,5 °C-Ziel des Pariser Klimaschutzabkommens zu realisieren. Grenzen kommunalen Handelns sind dabei jedoch stets zu berücksichtigen.

¹ Unter grauer Energie eines Produktes versteht man die benötigte Energie für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf und Entsorgung. Dabei wird die gesamte Produktionskette bis zur Rohstoffgewinnung, als auch der Energieeinsatz aller angewandten Produktionsprozesse berücksichtigt.

² Unter doppelter Innenentwicklung versteht man die Entwicklung von Städten in ihrem Bestand nicht nur im Sinne einer baulichen Verdichtung zu betreiben, sondern das Augenmerk parallel auf die Erhaltung und die Weiterentwicklung des urbanen Grüns zu richten. Beides muss konzeptionell zusammengeführt werden und ganzheitlich betrachtet werden.

3 ENERGIE- UND TREIBHAUSGASBILANZ

Wie bereits kurz in Kapitel 1.2 angesprochen zeigen die Evaluation des integrierten Klimaschutzkonzeptes aus dem Jahr 2013 und die Rückrechnung auf das Basisjahr 1990 (s. *Magistratsvorlage 2020/0197*), dass die Ziele des bisherigen Klimaschutzkonzeptes (Emissionsminderung CO₂ bis zum Jahr 2030 um 35 bis 40 %) bereits erreicht wurden (Minderung bis 2018: 37,7 %) bzw. bei einer aktuell jährlichen Minderung um 1,8 % in naher Zukunft und damit deutlich vor 2030 erreicht werden (40 % Minderungsziel). Allerdings hat die Evaluation auch ergeben, dass die Zielsetzungen des bisherigen Klimaschutzkonzeptes sowohl auf internationaler, nationaler und auch auf lokaler Ebene nicht ambitioniert genug waren und sind, um die Pariser Klimaziele und somit die Begrenzung der menschengemachten globalen Erwärmung auf deutlich unter 2 °C gegenüber vorindustriellen Werten zu erreichen. Weiterhin hat die Evaluation ergeben, dass die Maßnahmen stringenter gebündelt und verschnitten werden müssen, um die ambitionierten Klimaschutzziele zu erreichen.

Zur Bilanzierung für das hier vorliegende Klimaschutzkonzept wurde die internetbasierte Plattform „ECOSPEED Region“ (ECOSPEED, 2022) verwendet, die speziell zur Anwendung in Kommunen entwickelt wurde. Bei dieser Plattform handelt es sich um ein Instrument zur Bilanzierung des Energiebedarfs und der Treibhausgas (THG)-Emissionen.

3.1 Grundlagen der Bilanzierung nach BSKO

Im Rahmen der Bilanzierung der Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen der Wissenschaftsstadt Darmstadt wird die vom Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu) entwickelte „Bilanzierungs-Systematik Kommunal“ (BSKO; <https://www.ifeu.de/publikation/bisko-bilanzierungs-systematik-kommunal/>) angewandt (ifeu, BSKO, 2019). Leitgedanke des vom BMU geförderten Vorhabens war die Entwicklung einer standardisierten Methodik, welche die einheitliche Berechnung kommunaler THG-Emissionen ermöglicht und somit eine Vergleichbarkeit der Bilanzergebnisse zwischen den Kommunen erlaubt (ifeu, BSKO, 2019). Weitere Kriterien waren unter anderem die Schaffung einer Konsistenz innerhalb der Methodik, um insbesondere Doppelbilanzierungen zu vermeiden sowie einen weitestgehenden Bestand zu anderen Bilanzierungsebenen zu erhalten (regional, national).

Zusammengefasst ist das Ziel des Systems die Erhöhung der Transparenz energiepolitischer Maßnahmen und durch eine einheitliche Bilanzierungsmethodik einen hohen Grad an Vergleichbarkeit zu schaffen. Zudem ermöglicht die Software, durch die Nutzung von hinterlegten Datenbanken (mit deutschen Durchschnittswerten), eine einfachere Handhabung der Datenerhebung (ifeu, BSKO, 2019).

Es wird im Bereich der Emissionsfaktoren auf national ermittelte Kennwerte verwiesen, um deren Vergleichbarkeit zu gewährleisten (TREMODO, Bundesstrommix). Hierbei werden, neben Kohlenstoffdioxid (CO₂), weitere Treibhausgase in die Berechnung der Emissionsfaktoren miteinbezogen und betrachtet. Dazu zählen beispielsweise Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxide (Lachgas oder N₂O). Zudem findet eine Bewertung der Datengüte in Abhängigkeit der jeweiligen Datenquelle statt. So wird zwischen Datengüte A/1,0 (Regionale Primärdaten), B/0,5 (Hochrechnung regionaler Primärdaten), C/0,25 (Regionale Kennwerte und Statistiken) und D/0,0 (Bundesweite Kennzahlen) unterschieden (ifeu, BSKO, 2019). Es ist also zu beachten, dass die Bi-

lanzdaten nicht exakt den Gegebenheiten vor Ort entsprechen. Die Datengüte ist dabei lediglich als Information zu verstehen. Sie wird nicht verrechnet.

3.1.1 Bilanzierungsprinzip im stationären Bereich

Unter BSKO wird bei der Bilanzierung das sogenannte Territorialprinzip verfolgt. Diese, auch als endenergiebasierte Territorialbilanz bezeichnete, Vorgehensweise betrachtet alle im Untersuchungsgebiet anfallenden Verbräuche auf der Ebene der Endenergie, welche anschließend den einzelnen Sektoren zugeordnet werden. Dabei wird empfohlen, von witterungskorrigierten Daten Abstand zu nehmen und die tatsächlichen Verbräuche für die Berechnung zu nutzen, damit die tatsächlich entstandenen Emissionen dargestellt werden können. Standardmäßig wird eine Unterteilung in die Bereiche Private Haushalte, Gewerbe-Handel-Dienstleistungen (GHD), Industrie/Verarbeitendes Gewerbe, Kommunale Einrichtungen³ und den Verkehrsbereich angestrebt (ifeu, BSKO, 2019). Zum stationären Bereich gehören die Sektoren Private Haushalte, GHD, Industrie/Verarbeitendes Gewerbe und Kommunale Einrichtungen. Für weitere Informationen zu den Sektoren und deren Aufteilung wird auf die Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland verwiesen (ifeu, BSKO Langfassung, 2014).

Anhand der ermittelten Verbräuche und energieträgerspezifischer Emissionsfaktoren (siehe hierzu Tabelle 3-1) werden anschließend die THG-Emissionen berechnet. Die THG-Emissionsfaktoren beziehen neben den reinen CO₂-Emissionen weitere Treibhausgase (bspw. N₂O und CH₄) in Form von CO₂-Äquivalenten (CO₂e), inklusive energiebezogener Vorketten, in die Berechnung mit ein (Life Cycle Analysis (LCA)-Parameter). Das bedeutet, dass nur die Vorketten energetischer Produkte, wie etwa der Abbau und Transport von Energieträgern oder die Bereitstellung von Energieumwandlungsanlagen, in die Bilanzierung einfließen. Sogenannte graue Energie, beispielsweise der Energieaufwand von konsumierten Produkten sowie Emissionen, die von den Bürgerinnen und Bürger der Wissenschaftsstadt Darmstadt außerhalb der Stadtgrenzen emittiert werden, finden im Rahmen der Bilanzierung keine Berücksichtigung (ifeu, BSKO, 2019). Bilanzieren allerdings, das ist die Zielstellung von BSKO, alle Kommunen nach der BSKO-Methodik, bleiben diese Verbräuche und die daraus einhergehenden Emissionen nicht unberücksichtigt, sondern schlagen sich in der kommunalen Bilanz am „Ursprungsort“ nieder.

Die empfohlenen Emissionsfaktoren beruhen auf Annahmen und Berechnungen des ifeu, des GEMIS (Globale Emissions-Modell integrierter Systeme), welches vom Öko-Institut entwickelt wurde, sowie auf Richtwerten des Umweltbundesamtes. Allgemein wird vom Ifeu empfohlen, den Emissionsfaktor des Bundesstrommixes heranzuziehen und auf die Berechnung eines lokalen bzw. regionalen Strommixes zu verzichten. Dies liegt darin begründet, dass der leitungsgebundene erfasste Strom, der in die Bilanz eingeht, als Graustrom bezogen wird und nicht zwingend sichergestellt werden kann, dass dieser beispielsweise zu bestimmten Anteilen aus lokalen, erneuerbaren Quellen

³ Kommunale Einrichtungen: Hier definiert als die Summe der Energieverbräuche kommunaler Einrichtungen. Dazu gehören Verwaltungsgebäude, kommunale Schulen und Kindertagesstätten, die Straßenbeleuchtung, der Energieverbrauch von kommunalen Infrastrukturanlagen wie u. a. aus den Bereichen Wasser/Abwasser, Straßen und Abfall. (ifeu, BSKO, 2019), (ifeu, BSKO Langfassung, 2014)

kommt. Gleichzeitig wird beispielsweise Ökostrom aus anderen Kommunen bezogen, der in einem lokalen Mix nicht abgebildet werden würde (v. a. in Bezug auf Wasserkraft, die in den Ökostrommixen der verschiedenen Anbieter meist eine zentrale Rolle spielt). Der Bundesstrommix bietet sich somit als Standard an, da dieser die o. g. Rahmenbedingungen als ermittelter Durchschnittswert berücksichtigt.

Während bei der Bilanzierung in diesem Kapitel der Bundesstrommix verwendet wird, wird in der weiterführenden Potenzialanalyse und im direkten Einflussbereich des Magistrats zur Versorgung kommunaler Einrichtungen mit elektrischer Energie der Bezug von Ökostrom (und anderen alternativen Versorgungsformen) berücksichtigt. Dies stellt zwar eine Abweichung zur BSKO-Methodik dar, erscheint aber sinnvoll, da hier die Wissenschaftsstadt Darmstadt selbständig entschieden hat nachhaltigen Ökostrom zu beziehen. Damit hat die Stadt von ihrem direkten Handlungseinfluss Gebrauch gemacht und bezieht nachweislich keinen Strom nach Bundesmix. Die hierfür unternommenen Anstrengungen werden damit bilanziell berücksichtigt. Hierfür wurde ein spezifischer Faktor errechnet, der einheitlich angewendet wurde.

Die folgenden Emissionsfaktoren sind nicht standardgemäß Teil der BSKO-Bilanzierung und stellen damit keine offiziellen Faktoren da. Sie wurden auf Basis von Mittelwerten und fachlichen Zusammenhängen errechnet.

So wurde beispielsweise für Ökostrom ein Durchschnittswert auf Basis der Zusammensetzung des vertriebenen Ökostroms verschiedener Ökostromanbieter errechnet. Verriebener Ökostrom ist dabei ausdrücklich nicht mit dem deutschen Energiemix an Erneuerbaren (EEG-Strom) gleichzusetzen, denn der größte Teil des Ökostroms der meisten Anbieter besteht aus Wasserkraft (zumeist aus Skandinavien). Wasserkraft verfügt mit $3 \text{ gCO}_2\text{e/kWh}$ über einen sehr geringen Emissionsfaktor (v. a. gegenüber Photovoltaik (PV) mit $40 \text{ gCO}_2\text{e/kWh}$; (ifeu, BSKO, 2019)). Der hier bilanzierte Ökostrom geht von folgender Zusammensetzung aus: 55 % Wasserkraft, 10 % Solar, 30 % Wind und 5 % Bioenergie. Dieser Ökostrommix ergibt mit den Emissionsfaktoren von BSKO/GEMIS einen Faktor von $10 \text{ gCO}_2\text{e/kWh}$.

Die dekarbonisierte Fernwärme wird hier eigenen Annahmen zufolge mit Umweltwärme erzeugt. Dafür verwendet werden Wärmepumpen mit einer Jahres-Arbeits-Zahl von 3,2 (ifeu, BSKO, 2019), der aus dem vorherigen Abschnitt erläuterte Ökostrom mit einem Emissionsfaktor von $10 \text{ gCO}_2\text{e/kWh}$ sowie Leitungsverluste der Fernwärme von 15 % (ifeu, BSKO, 2019). Es ergibt sich ein Emissionsfaktor von $3,7 \text{ gCO}_2\text{e/kWh}$.

Für die mit Ökostrom betriebenen Wärmepumpen ergibt sich ein Emissionsfaktor von $3,1 \text{ gCO}_2\text{e/kWh}$. Dieser resultiert aus der Verrechnung der Jahres-Arbeits-Zahl von 3,2 (ifeu, BSKO, 2019) mit dem Wert von $10 \text{ gCO}_2\text{e/kWh}$ für Ökostrom aus den vorangegangenen Abschnitten.

Für Ökogas erfolgt eine Berechnung über die laut Energieversorger durchschnittlich kompensierten THG-Emissionen (ca. 450.000 tCO₂e/a) für die vertriebenen Mengen an klimaneutralem Erdgas (ca. 2,1 TWh/a) und die dafür theoretisch anfallenden Emissionen bei der Nutzung des Emissionsfaktors für Erdgas ($247 \text{ gCO}_2\text{e/kWh}$). Mit diesen durchschnittlichen Zahlen ergibt sich ein Emissionsfaktor von ca. $30 \text{ gCO}_2\text{e/kWh}$. (ENTEGA Nachhaltigkeitsbericht 2017, 2017)

Tabelle 3-1: Emissionsfaktoren

Emissionsfaktoren je Energieträger - LCA-Energie für das Jahr 2018 (ifeu, BSKO, 2019)			
Energieträger	gCO₂e/kWh	Energieträger	gCO₂e/kWh
Strom	544	Flüssiggas	276
Heizöl	318	Braunkohle	411
Erdgas	247	Steinkohle	438
Fernwärme	262	Heizstrom	544
Holz	22	Nahwärme	260
Umweltwärme	170	Sonstige Erneuerbare	25
Sonnenkollektoren	25	Sonstige Konventionelle ⁴	330
Biogase	110	Benzin	314
Abfall	27	Diesel	325
Kerosin	322	Biodiesel	149
Weitere Emissionsfaktoren, die zusätzlich hinzugezogen wurden (eigene Berechnung)			
Ökostrom	10	Ökogas	30
Fernwärme – dekarbonisiert	3,7	Wärmepumpe Ökostrom	3,1

3.1.2 Bilanzierungsprinzip im Sektor Verkehr

Zur Bilanzierung des Sektors Verkehr findet ebenfalls das Prinzip der endenergiebasierten Territorialbilanz Anwendung. Diese umfasst sämtliche motorisierten Verkehrsmittel im Personen- und Güterverkehr (ifeu, BSKO, 2019). Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass durch diese Verfahrensweise dementsprechend der gesamte Ein- und Auspendlerverkehr des Oberzentrums Darmstadt (ca. 140.000 Pendelbewegungen; s. a. Kapitel 1.1, S.10 und 5.1.3, S.58) sowie der durch die Bundesautobahnen entstehende (Durchgangs-)Verkehr mitbilanziert wird.

Generell kann der Verkehr in die Bereiche „bedingt kommunal beeinflussbar“ und „kaum kommunal beeinflussbar“ unterteilt werden. Als bedingt kommunal beeinflussbar werden Binnen-, Quell- und Zielverkehr im Straßenverkehr (motorisierter Individualverkehr (MIV), LKW, LNF) sowie der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) einge-

⁴ Sonstige Konventionelle: Hierunter sind im verwendeten Bilanzierungstool ECOSPEED Region alle Energieträger, die nicht zugeordnet werden konnten, jedoch offensichtlich angefallen sind und nicht auf Erneuerbare entfallen, gemeint. Es erfolgt eine automatische Zuordnung im Tool. Die aufgeführten Werte entstammen der durch ECOSPEED berechneten Startbilanz.

stuft. Emissionen aus dem Straßendurchgangsverkehr (inklusive der über das Stadtgebiet verlaufenden Bundesautobahnen), öffentlichen Personenfernverkehr (ÖPFV, Bahn, Reisebus, Flug) sowie aus dem Schienengüterverkehr werden als nicht kommunal beeinflussbar eingestuft (ifeu, BSKO, 2019).

Durch eine Einteilung in Straßenkategorien (innerorts, außerorts, Autobahn) kann der Verkehr differenzierter betrachtet werden. So ist anzuraten, die weniger beeinflussbaren Verkehrs- bzw. Straßenkategorien aus der Potenzialanalyse auszuklammern (s. Kapitel 5.1.3, S.58), um realistische Handlungsempfehlungen für den Verkehrsbereich zu definieren (ifeu, BSKO, 2019).

Um die tatsächlichen Verbräuche auf Stadtgebiet darzustellen, inkludiert die nachfolgend dargestellte Bilanz alle Verkehrs- bzw. Straßenkategorien. Erst in der Potenzialanalyse wird der Autobahnanteil aus der Berechnung ausgeschlossen, da die Stadt auf diesen Bereich keinen Einfluss nehmen kann.

Harmonisierte und aktualisierte Emissionsfaktoren für den Verkehrsbereich stehen in Deutschland durch das TREMOD-Modell zur Verfügung. Diese Faktoren werden in Form von nationalen Kennwerten differenziert nach Verkehrsmittel, Energieträger und Straßenkategorie bereitgestellt und kommen hier bei der Bilanzierung des Verkehrssektors zum Einsatz. Wie bei den Emissionsfaktoren für den stationären Bereich, werden diese in Form von CO₂e inklusive Vorkette berechnet (ifeu, BSKO, 2019).

3.2 Gesamtenergiebedarf und THG-Emissionen auf dem Stadtgebiet der Wissenschaftsstadt Darmstadt

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Energie- und Treibhausgasbilanz der Wissenschaftsstadt Darmstadt dargestellt. Dabei werden jeweils die Bilanzjahre 1990, 2000, 2010 und 2018 dargestellt. Es erfolgt eine Betrachtung des gesamten Stadtgebiets sowie der einzelnen Sektoren.

Die Energiebedarfe werden auf Basis der Endenergie und die THG-Emissionen auf Basis der Primärenergie anhand von LCA-Parametern beschrieben. Es ist zu beachten, dass die Bilanz vor allem als Controlling-Werkzeug zu sehen ist. Die Entwicklung auf dem eigenen Stadtgebiet lässt sich damit gut nachzeichnen. Ein interkommunaler Vergleich ist häufig nicht zielführend, da regionale und strukturelle Unterschiede hohen Einfluss auf die Energiebedarfe und THG-Emissionen von Landkreisen und Kommunen haben. **Da im Laufe des Jahres 2021 die prozentuale Aufteilung des Bundesstrommix nochmals angepasst wurde, sind die folgenden Werte alle vor dem Hintergrund dieser Änderungen zu verstehen. Damit kann es auch zu geringen Abweichungen zu bisherigen THG-Bilanzierungen kommen.**

3.2.1 Gesamtenergiebedarf auf dem Stadtgebiet der Wissenschaftsstadt Darmstadt

Im Jahr 1990 betrug der Endenergiebedarf (EEB) auf dem Stadtgebiet der Wissenschaftsstadt Darmstadt insgesamt 5.382.581 MWh/a. Im Jahr 2018 betrug der Wert 4.456.695 MWh/a und ist damit der geringste Endenergiebedarf der betrachteten Zeitreihe (Minderung um 17 %).

Bezogen auf die Erwerbstätigen (ET) sowie die Einwohnenden (EW) der Wissenschaftsstadt Darmstadt sanken die Emissionen noch stärker. Hier ergab sich bei einem Bezug auf die Erwerbstätigen eine Minderung von 30 % und bei einem Bezug auf

die Einwohnenden ist eine Absenkung von 23 % zu erkennen. Die Tabelle 3-2 (S.22) fasst den zeitlichen Verlauf zusammen.

Tabelle 3-2: Zeitreihe Endenergiebedarf gesamt sowie bezogen auf die Erwerbstätigen und die Einwohnenden

Jahr	1990	2000	2010	2018	Änderung [%]
EEB gesamt [MWh]	5.382.581	5.293.844	5.002.038	4.456.695	-17 %
Erwerbstätige	116.747	123.038	122.097	137.160	+17 %
Einwohner*innen	152.133	146.513	149.076	163.160	+7 %
EEB pro Erwerbstätigen [MWh/ET]	46,1	43,0	41,0	32,5	-30 %
EEB pro Einwohner*in [MWh/EW]	35,4	36,1	33,6	27,3	-23 %

3.2.1.1 Gesamtenergiebedarf nach Sektoren und Energieträgern

In der nachfolgenden Abbildung 3-1 (S.20) werden die Endenergiebedarfe für die Bilanzjahre 1990, 2000, 2010 und 2018 für die unterschiedlichen Sektoren Haushalte, Industrie, GHD, Verkehr und für die kommunalen Einrichtungen dargestellt. Dabei weisen die Sektoren Industrie und GHD in Summe (Gesamtwirtschaft) den höchsten Energiebedarf auf. Dieser sinkt von 1990 bis 2018 bereits um rund 35 % (bezogen auf die Beschäftigten bzw. die Einwohner sogar um 45 % bzw. 40 %). Auch der Endenergiebedarf der kommunalen Einrichtungen sinkt im gleichen Betrachtungszeitraum um ca. 16 %, während im Sektor Verkehr/Mobilität ein steigender Endenergiebedarf zu verzeichnen ist (+10 %; +3 % auf die Einwohner bezogen). Eine Umrechnung auf die Anzahl an Beschäftigten ergibt eine Minderung um 6 %. Dies ist auch im Zusammenhang mit der in Kapitel 1.1 (S.9) angesprochenen hohen Pendlerrate zu sehen.

Der Endenergiebedarf der Haushalte schwankt im betrachteten Zeitraum, ein eindeutiger Trend ist nicht erkennbar: Während der Energiebedarf von 1990 bis zum Jahr 2000 leicht sinkt, ist von Jahr 2000 auf 2010 ein deutlicher Anstieg zu erkennen. Bis zum Jahr 2018 sinkt der Endenergiebedarf für die Haushalte jedoch wieder und beträgt rund 1 % mehr als im Ausgangsjahr 1990.

Diese Daten sind vor dem Hintergrund der spezifischen Methode (BISKO) zu verstehen. So können wärmere oder kältere Jahre aufgrund der fehlenden Witterungskorrektur (s. Methodik) zu Verschiebungen aufgrund eines spezifischen Heizverhaltens von bis zu über 10 % führen. Auch ist zu berücksichtigen, dass die Stadtbevölkerung auf der Gemarkung Darmstadt von 1990 bis 2018 um 12.000 Einwohner*innen gestiegen ist. Des Weiteren ist die Anzahl an Erwerbstätigen im Zeitraum von 1990 bis 2018 um mehr als 9.000 gestiegen. So ist auch der auf die Beschäftigten bzw. die Einwohner bezogene starke Rückgang im Bereich der Wirtschaft zu erklären (s. Tabelle 3-2, S.22).

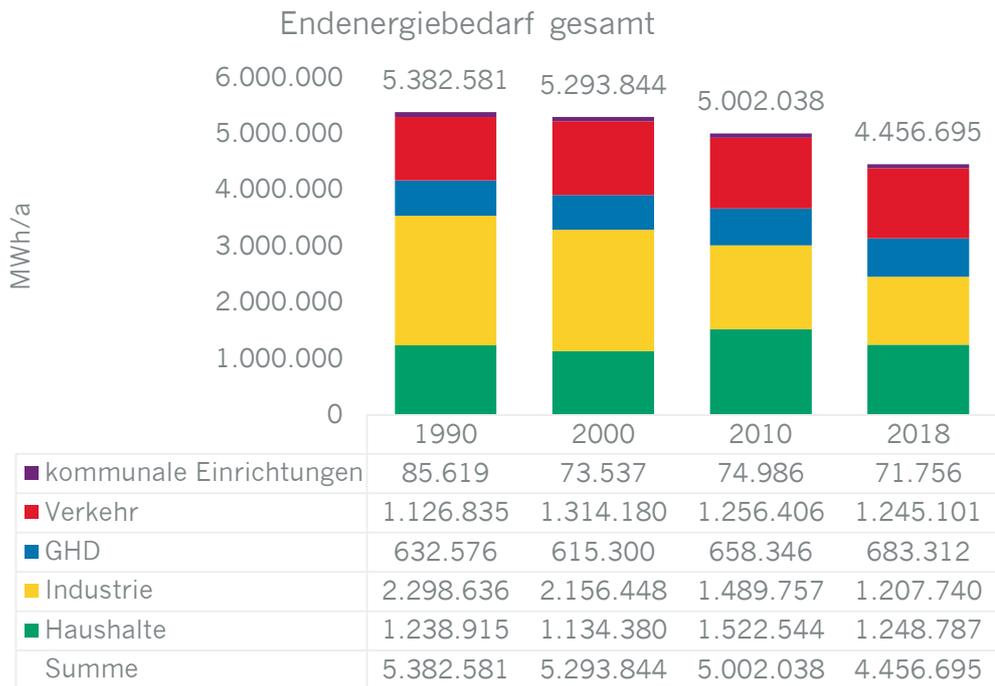


Abbildung 3-1: Endenergiebedarf der Gesamtstadt Darmstadt nach Sektoren

Die nachfolgende Abbildung 3-2 (S.23) zeigt, dass die Sektoren Industrie und GHD im Bilanzjahr 2018 zusammen mit 42 % den größten Anteil am Endenergiebedarf ausmacht. Direkt dahinter liegen die Sektoren Haushalte und Verkehr, welchen jeweils 28 % des Gesamtbedarfs zuzuschreiben sind. Der Endenergiebedarf der kommunalen Einrichtungen macht lediglich 2 % aus und bildet damit den mit großem Abstand geringsten Anteil aus.

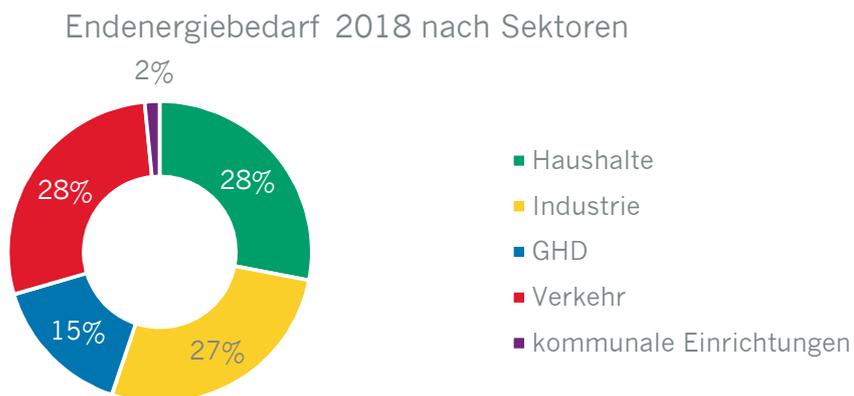


Abbildung 3-2: Prozentualer Anteil der Sektoren am Endenergiebedarf der Gesamtstadt Darmstadt

Neben einer Aufteilung nach Sektoren ist die Auswertung des Gesamt-Endenergiebedarfes ebenso auf Basis der Aufschlüsselung der genutzten Energieträger möglich. Die nachfolgende Abbildung 3-3 (S.24) zeigt den Gesamtenergiebedarf über alle Sektoren aufgeschlüsselt nach den verschiedenen Energieträgern. Dabei zeigt sich, dass im Jahr 2018 die Energieträger Erdgas (31 %), Strom (20 %), Diesel (16 %), Benzin (10 %) und Fernwärme (10 %) dominieren.

Endenergiebedarf gesamt nach Energieträgern

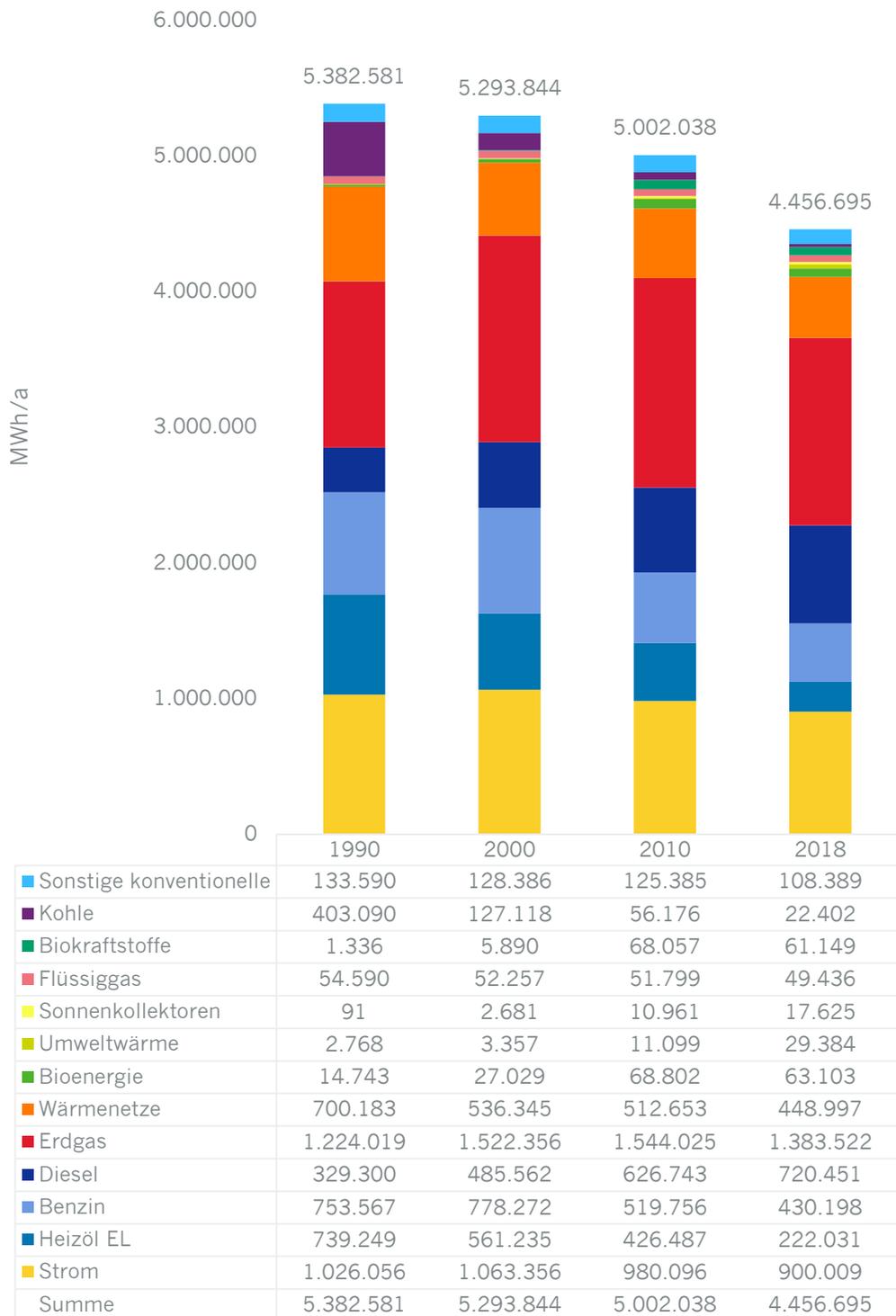


Abbildung 3-3: Endenergiebedarf der Gesamtstadt Darmstadt nach Energieträgern

3.2.1.2 Gesamtenergiebedarf nach Energieträgern der Gebäude und Infrastruktur

Der Energieträgereinsatz zur Strom- und Wärmeversorgung von Gebäuden und Infrastruktur wird nachfolgend detaillierter dargestellt. Die Gebäude und Infrastruktur umfassen die Energiebedarfe der Sektoren Wirtschaft, Haushalte und kommunale Liegenschaften. Unter Infrastruktur werden dabei bspw. Bedarfe durch Straßenbeleuchtung, Ampelsysteme, Wasser- und Abwasserversorgung, Telekommunikation zusammengefasst. Energiebedarfe bei der Herstellung von Produkten vor Ort im Bereich der Wirtschaft sind hier ebenfalls inkludiert.

Auf dem Stadtgebiet der Wissenschaftsstadt Darmstadt summiert sich der Endenergiebedarf der Gebäude und Infrastruktur im Jahr 2018 auf 3.203.079 MWh. Im Unterschied zur vorherigen Darstellungsweise werden hier nicht mehr die Energiebedarfe aus dem Verkehrssektor betrachtet, sodass sich die prozentualen Anteile der übrigen Energieträger gegenüber dem Gesamtenergiebedarf verschieben. Der Energieträger Strom hat nach dieser Aufstellung im Jahr 2018 einen Anteil von ca. 26 % am Endenergiebedarf. Als Brennstoff kommt, mit einem Anteil von 43 %, vorrangig Erdgas zum Einsatz. Weitere eingesetzte Energieträger sind etwa Fernwärme (14 %) und Heizöl (7 %). Die restlichen 10 % entfallen auf Biomasse, Umweltwärme, Sonnenkollektoren, Flüssiggas, Braun- und Steinkohle, Heizstrom, Nahwärme und sonstige konventionelle Energieträger.

3.2.2 THG-Emissionen auf dem Stadtgebiet der Wissenschaftsstadt Darmstadt

Im Jahr 1990 sind in der Wissenschaftsstadt Darmstadt 2.251.262 tCO₂e ausgestoßen worden. Analog zum Endenergiebedarf, der in der Wissenschaftsstadt Darmstadt im zeitlichen Verlauf von 1990 bis 2018 um rund 17 % gesunken ist, sanken auch die THG-Emissionen der Stadt kontinuierlich und betragen im Bilanzjahr 2018 rund 1.464.424 tCO₂e. Dabei ist der starke Rückgang von insgesamt ca. 35 % einerseits auf die sich über den Zeitverlauf verbessernden Emissionsfaktoren der verschiedenen Energieträger, andererseits auf einen sinkenden Endenergiebedarf trotz steigender Einwohner- und Beschäftigtenzahlen zurückzuführen.

Die auf Einwohner- und Beschäftigtenzahlen bezogenen Werte sanken dementsprechend stärker. Während im Jahr 1990 die THG-Emissionen pro sozialversicherungspflichtig Beschäftigten noch 19,3 tCO₂e betragen, sind diese bis zum Jahr 2018 auf 10,7 tCO₂e gesunken, was eine Minderung von 45 % darstellt. Bezogen auf die Einwohnenden der Wissenschaftsstadt Darmstadt konnte eine Reduzierung von 39 % erreicht werden. Hier betragen die Emissionen 14,8 tCO₂e im Jahr 1990 und 9,0 t CO₂e im Jahr 2018. Die Tabelle 3-3 (S.26) zeigt den zeitlichen Verlauf.

Tabelle 3-3: Zeitreihe THG-Emissionen gesamt sowie bezogen auf die Erwerbstätigen und die Einwohnenden

Jahr	1990	2000	2010	2018	Änderung [%]
THG-Emissionen gesamt [tCO₂e]	2.251.262	2.004.790	1.723.945	1.464.424	-35 %
Erwerbstätige	116.747	123.038	122.097	137.160	+17 %
Einwohner*innen	152.133	146.513	149.076	163.160	+7 %
THG-Emissionen pro ET [tCO₂e/ET]	19,3	16,3	14,1	10,7	-45 %
THG-Emissionen pro EW [tCO₂e/EW]	14,8	13,7	11,6	9,0	-39 %

3.2.2.1 THG-Emissionen nach Sektoren und Energieträgern

In der nachfolgenden Abbildung 3-4 (S.27) werden die Emissionen in CO₂-Äquivalenten, nach Sektoren aufgeteilt, dargestellt. Der Abbildung 3-5 (S.27) ist die prozentuale Verteilung der THG-Emissionen auf die Sektoren für das Jahr 2018 zu entnehmen.

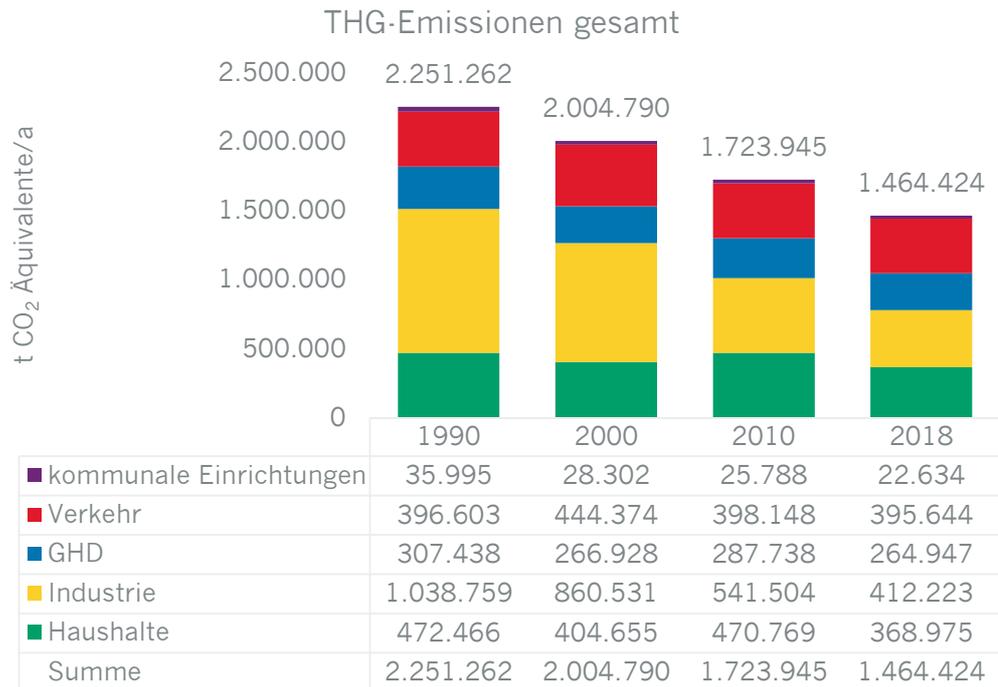


Abbildung 3-4: THG-Emissionen der Gesamtstadt Darmstadt nach Sektoren

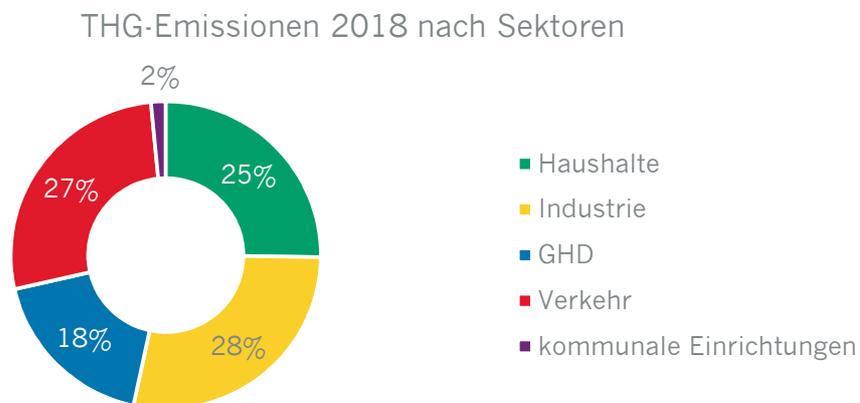


Abbildung 3-5: Prozentualer Anteil der Sektoren an den THG-Emissionen der Gesamtstadt Darmstadt

Im Bilanzjahr 2018 entfällt mit 46 % der größte Anteil der THG-Emissionen auf die Sektoren Industrie und GHD. Es folgen die Sektoren Verkehr und Haushalte, die mit 27 % (Verkehr) und 25 % (Haushalte) nahezu gleichauf liegen. Die kommunalen Einrichtungen (inkl. der kommunalen Flotte) machen mit 2 % an den THG-Emissionen der Wissenschaftsstadt Darmstadt den mit Abstand geringsten Anteil aus.

Die Abbildung 3-6 (S.28) zeigt die THG-Emissionen der Wissenschaftsstadt Darmstadt aufgeschlüsselt nach Energieträgern. Es zeigt sich, dass Strom (33 %) und Erdgas (23 %) im Jahr 2018 den größten Anteil an den Emissionen ausmachen, gefolgt von Diesel (16 %) und Benzin (9 %).

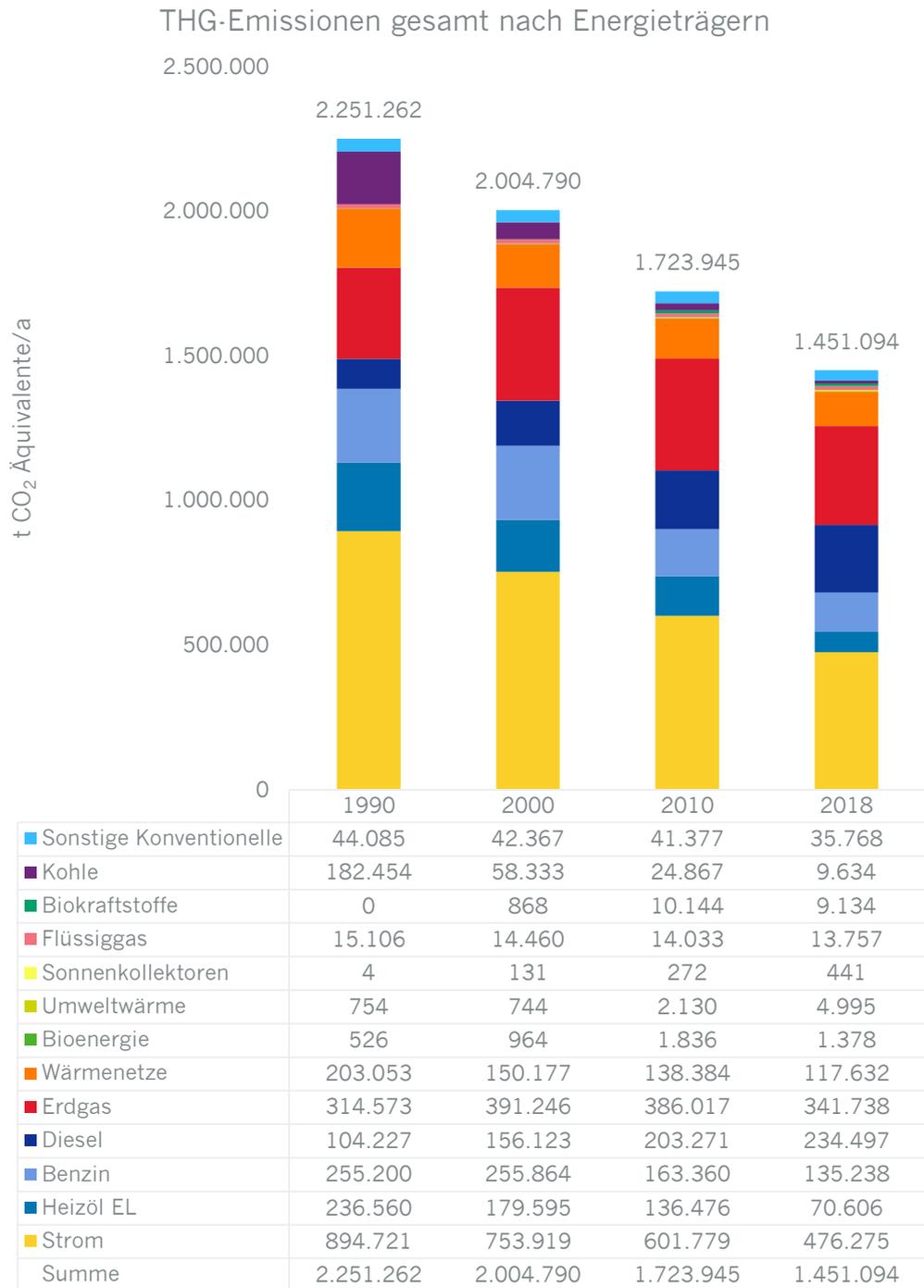


Abbildung 3-6: THG-Emissionen der Gesamtstadt Darmstadt nach Energieträgern

3.2.2.2 THG-Emissionen nach Energieträgern der Gebäude und Infrastruktur

Die THG-Emissionen der Gebäude und Infrastruktur betragen im Bilanzjahr 2018 rund 1.066.011 t CO₂e. Das bedeutet eine Absenkung von 42,5 % gegenüber dem Jahr 1990.

In der Auswertung wird die Relevanz des Energieträgers Strom sehr deutlich: Während der Stromanteil am Endenergiebedarf der Gebäude und Infrastruktur 26 % beträgt, beträgt er an den THG-Emissionen im Jahr 2018 rund 43 %. Ein bundesweit klimafreundlicherer Strommix mit einem höheren Anteil an erneuerbaren Energien und einem somit insgesamt geringeren Emissionsfaktor würde sich reduzierend auf die Höhe der THG-Emissionen aus dem Strombedarf der Wissenschaftsstadt Darmstadt (Gesamtstadt) auswirken.

3.2.2.3 THG-Emissionen pro Einwohner*in

Gegenüber den absoluten Werten in der vorangegangenen Abbildung 3-4 (S.27) werden die sektorspezifischen THG-Emissionen in der Tabelle 3-4 (S.29) auf die Einwohner*innen der Wissenschaftsstadt Darmstadt bezogen.

Tabelle 3-4: THG-Emissionen pro Einwohner*in der Gesamtstadt Darmstadt

THG-Emissionen pro Einwohner*in in [tCO₂e] nach Sektoren	1990	2000	2010	2018
Haushalte	3,11	2,76	3,16	2,26
Industrie	6,83	5,87	3,63	2,53
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)	2,02	1,82	1,93	1,62
Verkehr	2,61	3,03	2,67	2,42
Kommune	0,24	0,19	0,17	0,14
Summe	14,80	13,68	11,56	8,98
Bevölkerungsstand	152.133	146.513	149.076	163.160

Der Bevölkerungsstand ist im zeitlichen Verlauf von 1990 bis 2018 angestiegen. Im Jahr 2018 waren 163.160 Einwohner*innen in der Wissenschaftsstadt Darmstadt gemeldet. Bezogen auf die Einwohner*innen der Stadt betragen die THG-Emissionen pro Person demnach rund 8,98 t im Bilanzjahr 2018. Gegenüber 1990 (THG-Emissionen in Höhe von 14,80 t pro Einwohner*in) sind die THG-Emissionen je Einwohner*in demnach um rund 39 % gesunken. Damit liegt die Wissenschaftsstadt Darmstadt nur knapp unter dem vom Umweltbundesamt angegebenen bundesweiten Durchschnitt von 9,86 im Jahr 2017 (UBA, 2022). Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass die BSKO-Methodik keine graue Energie und sonstige Energieverbräuche (z. B. aus Konsum) berücksichtigt, sondern vor allem auf territorialen und leitungsgebundenen Energiebedarfen basiert. Die mit BSKO ermittelten Pro-Kopf-Emissionen sind damit tendenziell geringer als die tatsächlichen Gesamtemissionen pro Einwohner.

3.2.3 Regenerative Energien auf dem Stadtgebiet der Wissenschaftsstadt Darmstadt

Im Folgenden wird auf den regenerativ erzeugten Strom der Wissenschaftsstadt Darmstadt eingegangen. Zur Ermittlung der Strommenge, die aus erneuerbaren Energien hervorgeht, wurden die Einspeisedaten nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) genutzt. Die nachfolgende Abbildung 3-7 (S.30) zeigt die EEG-Einspeisemengen nach Energieträgern für das Bilanzjahr 2018.

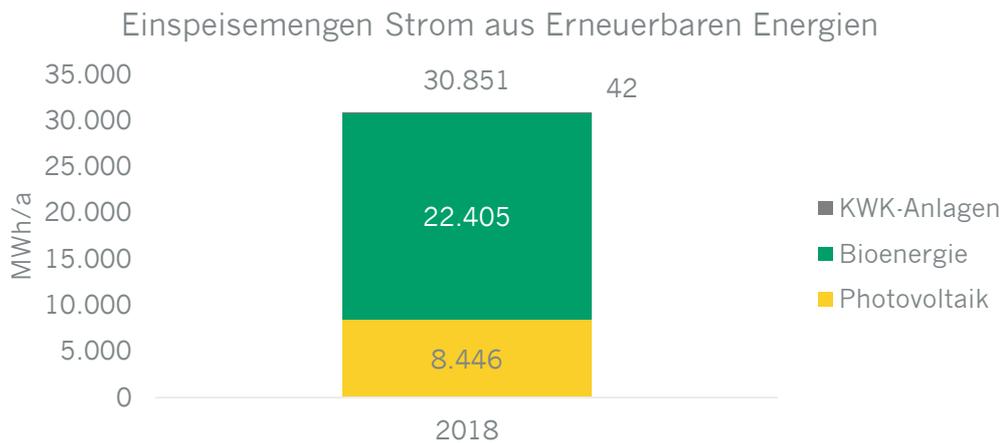


Abbildung 3-7: Strom-Einspeisemengen aus Erneuerbare-Energien-Anlagen der Gesamtstadt Darmstadt

Im Jahr 2018 waren in der Wissenschaftsstadt Darmstadt insgesamt 741 Photovoltaikanlagen mit einer Leistung von rund 10,5 MWp und einem Ertrag von 8.446 MWh installiert. Zudem existierten im Bilanzjahr insgesamt sechs Biomasse- bzw. Biogas-Anlagen mit einer Leistung von 7,2 MW und einem jährlichen Ertrag von 22.405 MWh sowie 135 KWK-Anlagen mit einer Leistung von 26,5 MW und einem Stromertrag von 42,2 MWh/a. (ENTEKA AG, 2021)

Insgesamt beläuft sich die Einspeisemenge an regenerativer elektrischer Energie im Jahr 2018 auf rund 30.851 MWh. Dies entspricht, bilanziell betrachtet, etwa 3,43 % des Strombedarfs sowie 0,69 % am Gesamtenergiebedarf der Wissenschaftsstadt Darmstadt im selben Jahr.

Wie der Abbildung 3-8 (S.31) entnommen werden kann, gründet sich die Erzeugungsstruktur im Jahr 2018 damit mit einem Anteil von 72,52 % im Wesentlichen auf die Bioenergie. Die Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen macht 27,34 % aus, während die KWK-Anlagen mit einem Anteil von 0,14 % zu vernachlässigen sind.

Prozentuale Verteilung Erneuerbare Energien 2018

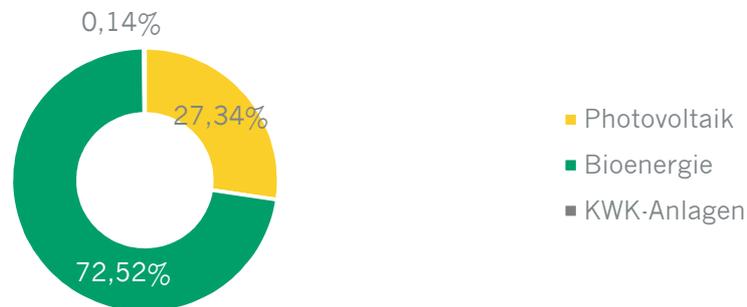


Abbildung 3-8: Prozentuale Anteile der Erneuerbaren-Energien in der Gesamtstadt Darmstadt

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Endenergiebedarf der Wissenschaftsstadt Darmstadt beträgt im Bilanzjahr 2018 rund 4.456.695 MWh. Der Wirtschaftssektor (Zusammenfassung der Bereiche GHD und Industrie) macht mit 42 % den größten Anteil am Endenergiebedarf aus. Direkt dahinter liegen die Sektoren Haushalte und Verkehr, welchen jeweils 28 % des Gesamtbedarfs zuzuschreiben sind. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass Darmstadt eine hohe Einpendelrate und damit über eine hohe Tagbevölkerung sowie eine stetig gewachsene Wirtschaft verfügt, erscheinen diese Daten logisch. Mit knapp 135.000 Erwerbstätigen im Jahr 2018 bei einer Bevölkerung von 163.000 Einwohner*innen sollten die Energiebedarfe vor dem Hintergrund der ortsspezifischen Rahmenbedingungen verstanden werden. Der Endenergiebedarf der kommunalen Einrichtungen macht lediglich 2 % aus und bildet damit den mit großem Abstand geringsten Anteil.

Die Aufschlüsselung des Energieträgereinsatzes für die Gebäude und Infrastruktur (umfasst die Sektoren Wirtschaft, Haushalte und kommunale Einrichtungen) hat gezeigt, dass der größte Anteil des Endenergiebedarfs im Jahr 2018 mit rund 43 % über Erdgas gedeckt wird. Der Anteil von Strom liegt bei 26 %, der Anteil von Fernwärme bei 14 %. Heizöl kommt zu einem Anteil von 7 % zum Einsatz. Die restlichen 10 % entfallen auf Biomasse, Umweltwärme, Sonnenkollektoren, Flüssiggas, Braun- und Steinkohle, Heizstrom, Nahwärme und sonstige konventionelle Energieträger.

Die aus dem Endenergiebedarf der Wissenschaftsstadt Darmstadt resultierenden Emissionen summieren sich im Bilanzjahr 2018 auf 1.464.424 t CO₂e. Die Anteile der Sektoren korrespondieren in etwa mit ihren Anteilen am Endenergiebedarf. Im Bilanzjahr 2018 entfällt der größte Anteil mit 46 % der THG-Emissionen auf den Sektor Wirtschaft (Zusammenfassung der Sektoren Industrie und GHD). Es folgen die Sektoren Verkehr und Haushalte, die mit 27 % (Verkehr) und 25 % (Haushalte) nahezu gleichauf liegen. Die kommunalen Einrichtungen machen mit 2 % an den THG-Emissionen der Wissenschaftsstadt Darmstadt den mit Abstand geringsten Anteil aus. Die Pro-Kopf-Emissionen betragen im Jahr 2018 rund 8,98 t, womit die Wissenschaftsstadt Darmstadt je nach Betrachtungsweise unter dem bundesweiten Durchschnitt liegt, der je nach Methodik und Quelle zwischen 7,9 t und 11 t pro Einwohner*in variiert.

Die Stromproduktion aus regenerativen Energien entspricht, verglichen mit dem Strombedarf der Wissenschaftsstadt Darmstadt, einem Anteil von 3,43 % im Jahr 2018, wobei Strom aus Bioenergie mit 72,52 % den größten Anteil ausmacht.

4 POTENZIAL- UND SZENARIENANALYSE FÜR DEN DIREKTEN HANDLUNGSBEREICH

Wie bereits in Kapitel 1 (S.9) erläutert, erfolgt in dem vorliegenden KSK einerseits eine Betrachtung des direkten Handlungsbereich der Stadtverwaltung und andererseits eine zusätzliche Betrachtung der Gesamtstadt. In den zwei Kapiteln 4 und 5, werden die Potenzialanalyse und die Szenarien für diese beiden Bereiche getrennt dargestellt. Kapitel 4 behandelt den direkten Handlungsbereich und Kapitel 5 (S.49) die Gesamtstadt. In den Daten der Gesamtstadt sind die kommunalen Daten unter GHD enthalten.

Innerhalb der Potenzialanalyse werden Effizienz- und Einsparpotenziale in den Sektoren private Haushalte, Wirtschaft und Verkehr betrachtet sowie Potenziale im Ausbau von erneuerbaren Energien dargestellt. Beide Potenzialanalysen wurden unter Berücksichtigung der Zielstellung der Treibhausgasneutralität bis 2035 angefertigt. Dabei werden grundlegende Potenzialpfade sowie Möglichkeitsräume aufgezeigt, die in den folgenden Kapiteln in spezifischen Szenarien vor dem Hintergrund der Zielstellung weiter konkretisiert und ausgearbeitet werden. Im Wirtschaftssektor werden dabei Szenarien mit Wirtschaftswachstum dargestellt. Abschließend münden diese Analysen in einer Gesamtbetrachtung in möglichen Reduktionspfaden des Energiebedarfs und der daraus resultierenden Treibhausgasemissionen bis 2035.

Für die Potenzialanalysen und Szenarien wurden unterschiedliche Quellen und Studien herangezogen, welche an der jeweiligen Stelle in den Unterkapiteln aufgeführt werden.

Wie der Energie- und THG-Bilanz der Wissenschaftsstadt Darmstadt entnommen werden kann, entfallen im Jahr 2018 jeweils rund 2 % der Endenergie (vgl. Kapitel 3.2.1.1, S.22) sowie der THG-Emissionen (vgl. Kapitel 3.2.2.1, S.26) auf die kommunalen Einrichtungen. Ein erhebliches THG-Einsparpotenzial der kommunalen Einrichtungen liegt im Bereich der Gebäude und einer dekarbonisierten Energieversorgung.

4.1 Transformationspfade und Energieeffizienz im direkten Handlungsbereich

Für den direkten Handlungsbereich ergeben sich insgesamt folgende Bereiche für die in den kommenden Kapiteln spezifische Potenziale eruiert werden:

- Kommunale Gebäude und Liegenschaften,
- Kommunaler Fuhrpark und
- Beschaffungswesen.

Insgesamt weisen die kommunalen Einrichtungen im Bilanzjahr 2018 ohne Witterungskorrektur einen Endenergiebedarf von 71.756 MWh/a auf, wobei rund 8.500 MWh/a auf die kommunale Verkehrsflotte und 63.200 MWh/a auf die kommunalen Gebäude zurückzuführen sind. Umgerechnet in THG-Emissionen, ergeben sich dabei ohne Witterungskorrektur Emissionen von 22.634 tCO₂e/a, worunter knapp 2.800 tCO₂e/a von der kommunalen Verkehrsflotte verursacht werden. In dieser Berechnung der Emissionen ist der kommunale Bezug von Ökostrom und Ökogas bilanziell (noch) nicht berücksichtigt, sondern es wurde gemäß der BSKO-Methodik mit dem Bundesstrommix und nicht kompensiertem Erdgas bilanziert.

Bereits seit 01.01.2008 wird jedoch für alle städtischen Gebäude im Bereich des Immobilienmanagements Darmstadt (IDA)⁵ Ökostrom bezogen, wodurch jährlich 1.800 tCO₂e vermieden werden konnten. Seit dem 01.01.2014 wurde zudem auf Ökogas (ein Kompensationsprodukt auf Erdgasbasis) umgestellt. Da die Wissenschaftsstadt Darmstadt also seit geraumer Zeit Maßnahmen und Anstrengungen im Bereich der nachhaltigen Energieversorgung unternommen hat (MagV 2020/0235, 2020), wird in der Potenzialanalyse von der Bilanzierungssystematik BSKO in diesem Punkt begründet abgewichen und der kommunale Gebäudebestand mit spezifischen Emissionsfaktoren bilanziert, die den Bezug von Ökostrom und Ökogas Rechnung tragen (s. Kapitel 3.1.1, S.18 und Tabelle 3-1, S.17). Es ist allerdings anzumerken, dass die Nutzung von Ökogas langfristig keine perfekte Lösung ist (insbesondere durch die geografisch weit entfernt liegenden Kompensationsmaßnahmen) und daher lediglich als Brückentechnologie zum Einsatz kommen soll (s. a. Kapitel 5.2.6).

Damit weisen die kommunalen Gebäude zwar selbstverständlich weiterhin einen Energiebedarf von 63.200 MWh auf, diese verursachen aber unter Berücksichtigung anderer Emissionsfaktoren nur noch Emissionen in Höhe von 8.422 tCO₂e/a. Damit ergibt sich eine Reduktion von knapp 11.500 tCO₂e im Vergleich zur herkömmlichen Bilanzierung mit BSKO und der Nutzung der LCA-Faktoren für den Bundesstrommix und für Erdgas. Um die eigentlich gesetzten Bilanzwerte für 2018 aber nicht zu überschreiben, wurden diese Anpassungen für das Jahr 2020 angenommen. Die kommunalen Energieverbräuche für das Jahr 2020 weisen damit den gleichen Energiebedarf von 2018 auf, allerdings werden die daraus resultierenden THG-Emissionen mit den Faktoren von Ökostrom und Ökogas berechnet. Die folgende Abbildung visualisiert diese Umrechnung.

⁵ Nicht alle kommunalen Liegenschaften werden durch den IDA verwaltet. Zu den nicht von dem IDA verwalteten Gebäuden gehören bspw. die Gebäude des Eigenbetriebs für kommunale Aufgaben und Dienstleistungen (EAD) und des Eigenbetriebs Darmstädter Werkstätten und Wohneinrichtungen (EDW) sowie das Jugendstilbad und das Bezirksbad Bessungen.

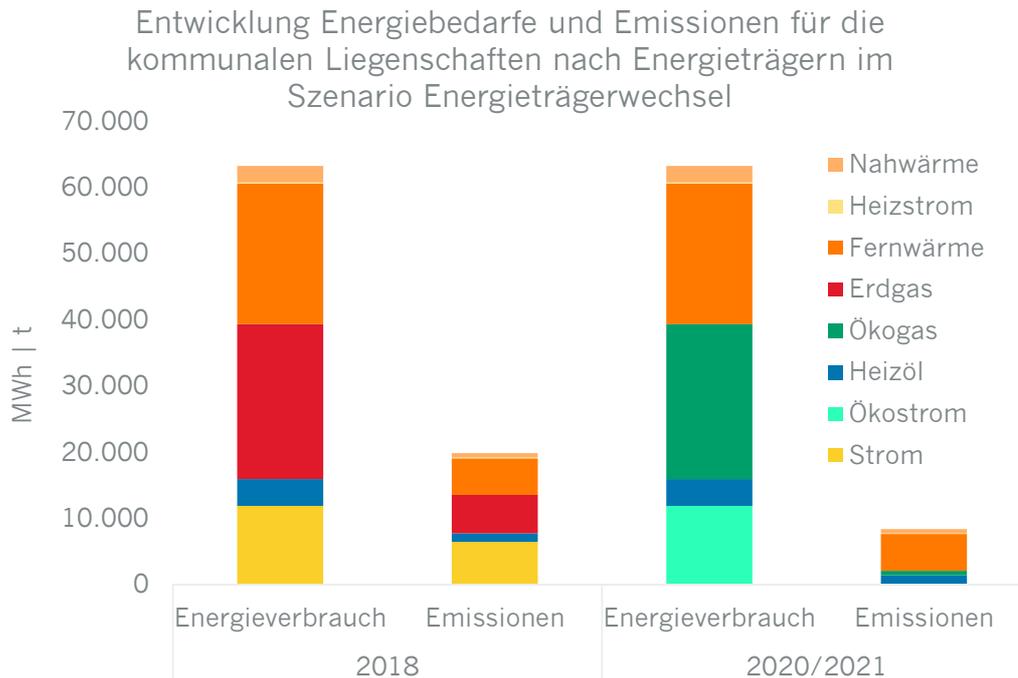


Abbildung 4-1: Veränderte THG-Bilanzierung nach Einbezug von Ökostrom und Ökogas

4.1.1 Kommunale Gebäude und Liegenschaften

Bei einem Energiebedarf der kommunalen Liegenschaften nach BSKO (ohne Einbezug des Fuhrparks) von 63.244 MWh entfallen rund 51.300 MWh laut Bilanz auf die Wärmeversorgung der kommunalen Gebäude. Im Bereich der Wärme liegen damit die größten Verbräuche vor, womit dieser Bereich einen entscheidenden Handlungsschwerpunkt zum Erlangen einer Treibhausgasneutralität darstellt. Entsprechend sind hierfür Einsparpotenziale zu ermitteln. Die besondere Herausforderung liegt dabei in der Heterogenität des kommunalen Gebäudeportfolios: Von Friedhöfen, Werkstätten, Feuerwachen, Schulen, Kindergärten und Bädern über Sportanlagen und Verwaltungsgebäude liegen sehr unterschiedliche Nutzungen vor, die spezifische Energieverbräuche verursachen. Um eindeutige Aussagen über Einsparpotenziale treffen zu können, sind somit gebäudespezifische Einzelfallbetrachtungen von Nöten. Dazu gehören auch konkrete Gebäudebegehungen. Diese Tätigkeiten sind bereits in der Durchführung und durch das IDA in Bearbeitung.

Um vorläufig ohne diesen Aufwand, der den Komplexitätsgrad eines Klimaschutzkonzeptes übersteigen würde, eine Annäherung zu schaffen, wurden für diesen Rahmen vor allem statistische Auswertungen vorgenommen. Dabei wurde sich an den Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) orientiert (VDI 3807, 2014). Diese Richtlinie enthält Kenn- und Zielwerte für verschiedene Gebäudenutzungen. Nach Auswertung von kommunalen Daten zu den spezifischen, flächenbezogenen Energieverbräuchen (also kWh/(m² a)) einzelner Gebäude und den kommunalen Energieberichten, können die Gebäude im direkten Einflussbereich der Wissenschaftsstadt Darmstadt mit den VDI-Werten und der Zielvorgabe gemäß KlimaEntscheid Darmstadt (MagV 2020/0235, 2020) verglichen werden. Dabei können Abweichungen der kommunalen Gebäude von den Richt- und Zielwerten des VDIs errechnet werden. Daraus resultiert eine Liste an Gebäuden, die aufgrund hoher Abweichungen von den Strom- und Wär-

meverbrauchsdaten prioritär zu sanieren und somit energetisch zu optimieren sind. Gleichzeitig ergeben sich daraus Potenziale der Einsparung.

Zu berücksichtigen ist, dass es sich bei dieser Auswertung zunächst um eine rein statistische Annäherung handelt. Inwiefern die Gebäude, die sich aus dem Vergleich mit den VDI-Werten als prioritär anzugehende Gebäude ergeben haben, auch wirklich zu sanieren sind, müssen weitere Untersuchungen, bestenfalls in Form von Sanierungsfahrplänen, klären. Die getroffenen Aussagen sind also vor dem Hintergrund der verwendeten statistischen Methode zu verstehen und benötigen eine genauere Prüfung auf Machbarkeit und Realisierbarkeit, welche auf den aktuellen Anstrengungen des IDA aufbauen können.

Bei der Gebäudeanalyse in diesem Rahmen wurden wegweisende Beschlusslagen der Wissenschaftsstadt Darmstadt berücksichtigt und mit in die Auswertung einbezogen. So wurde im Rahmen der Forderungen des KlimaEntscheids (MagV 2020/0235, 2020) festgelegt, dass im kommunalen Gebäudebestand bis 2035 ein Heizwärmebedarf im Durchschnitt von unter 70 kWh/(m² a) als Zielwert erreicht werden soll. Dies soll, im Hinblick auf die Heterogenität des Gebäudebestands, auch durch ein Anstreben von 35 kWh/m²a im Einzelfall, bei geeigneten Liegenschaften, erreicht werden.

Im aktuellen Koalitionsvertrag wurde eine Sanierungsrate städtischer Liegenschaften von mindestens 6 % festgeschrieben. Ein zentraler Punkt ist dabei, eine möglichst tiefgehende, energetisch hochwertige Sanierung zu erreichen, da dies Voraussetzung für einen Umstieg auf die Versorgung über erneuerbare Energien ist.

Die statistische Analyse des kommunalen Liegenschaftsportfolios mit den Vergleichswerten des VDIs hat folgende Ergebnisse geliefert: Wird das gesamte Liegenschaftsportfolio betrachtet, so zeigt sich, dass einige Gebäude eine negative Abweichung zu den VDI-Werten aufweisen und damit den Vergleichskennwert bereits übertreffen. Allerdings zeigt die Auswertung ebenso, dass viele Gebäude über positive Abweichungen und damit über Einsparpotenziale verfügen. Diese häufen sich vor allem in Abweichungsgrößenordnungen von bis zu ca. 100 %. Größere Abweichungen von deutlich über 100 % sind zumindest auf Basis der übermittelten Werte nicht ersichtlich.

Die größten Abweichungen bestehen bei den sieben Gebäude des EAD und EDW sowie dem Eigenbetrieb der Bäder. Die Abweichungen sind jedoch so groß, dass diese zum einen in Abbildung 4-2 (S.37) nicht darstellbar sind, ohne die restlichen Werte unkenntlich zu machen, zum anderen ist zu beachten, dass die Verbrauchsdaten keinem exakt passenden Kennwert zugeordnet werden konnten. Diese Teilergebnisse sind daher nicht ohne Weiteres verwertbar und deshalb nicht aufgeführt. Abbildung 4-2 (S.37) zeigt die Ergebnisse für den Bestand des IDA und damit den überwiegenden Teil des Gebäudebestands. Die Blasengröße definiert sich über die absolute Höhe des Endenergiebedarfs im Jahr 2018 in Bezug auf Strom und Wärme pro Quadratmeter. Im weiteren Verlauf werden dennoch alle kommunalen Liegenschaften, die dem direkten Handlungseinfluss unterliegen, einbezogen (inkl. Bäder, Sportstätten, EAD, EDW).

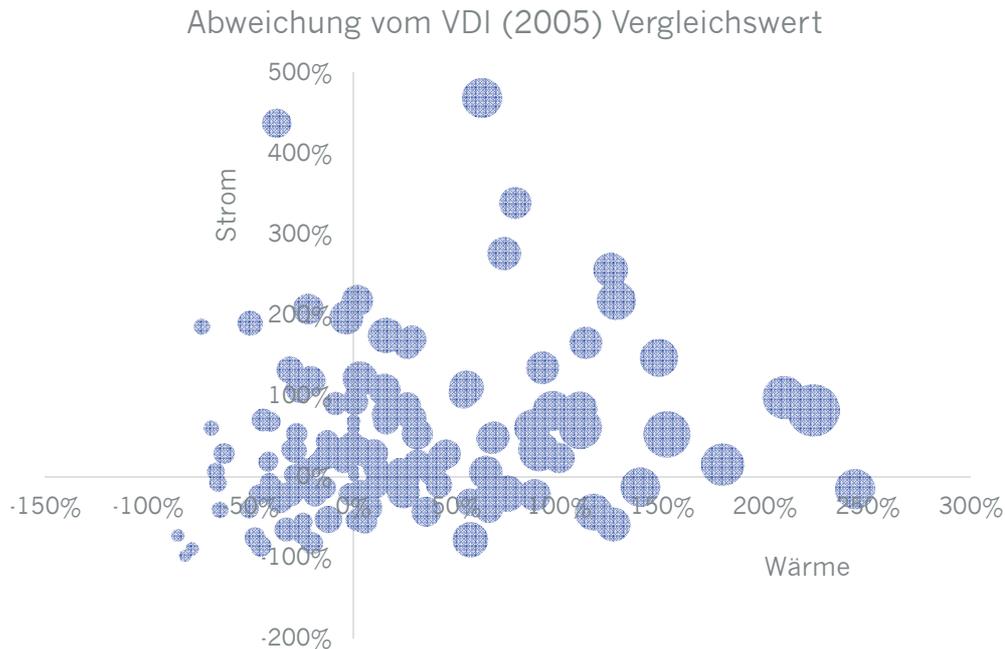


Abbildung 4-2: Kommunale Gebäude in der Verwaltung der IDA mit Abweichung gegenüber VDI

Werden die Liegenschaften mit den größten Abweichungen auch als diejenigen mit den höchsten Einsparpotenzialen verstanden, ergeben sich aus dieser Analyse eine Liste prioritär anzugehende Liegenschaften. Diese Liste mit den größten Einsparereffekten pro Quadratmeter beheizbarer Bruttogrundfläche (BGF) gilt es prioritär bis zum Zieljahr energetisch zu optimieren. Die Ergebnisse dieser Analyse sollten aber mit den kommunalen Sanierungsfahrplänen, die zur Zeit der Erstellung des KSK noch in Erarbeitung waren, rückgekoppelt werden. Die Ergebnisse auf Basis der VDI-Werte sind vor dem Hintergrund der spezifischen Methode sowie der übermittelten Datengüte zu verstehen und sollten dementsprechend auch eingeordnet werden. Wie hoch tatsächliche Einsparpotenziale sind, werden die Sanierungspläne und hierfür zugrunde liegende spezifische Gebäudebegehungen klären. Reine statistische Datenauswertungen können an dieser Stelle nur eine grobe Annäherung schaffen.

Insgesamt sind Liegenschaften von rund 465.600 m² bei einer Sanierungsrate von 6 % bis 2035 (entspricht ca. 4-5 Gebäude(-komplexe) pro Jahr) zu sanieren. Diese Fläche verfügt derzeit über einen durchschnittlichen Heizwärmebedarf von rund 100 kWh/m². Nach Sanierung und Realisierung der errechneten Einsparpotenziale würde sich im Jahr 2035 ein durchschnittlicher Heizwärmebedarf von rund 54 kWh/m² ergeben. Die Erzielung eines niedrigeren durchschnittlichen Heizwärmebedarfs erscheint vor dem Hintergrund der bereits großen erforderlichen Anstrengungen unwahrscheinlich.

Tabelle 4-1: Berechnungsgrundlage für Sanierungen

Liegenschaften im kommunalen Einflussbereich (Anzahl: ca. 123 mit ausreichender, vorliegender Datengrundlage)	Sanierungsrate 6 %/a bis 2035		Sanierung aller Gebäude bis 2035
Fläche gesamt (BGF) [m²]	465.566		
Wärmebedarf [kWh]	46.667.331		
Wärmebedarf nach Sanierung [kWh]	25.167.484	24.667.157	
Durchschnitt aktuell [kWh/m²]	100,2		
Durchschnitt nach Sanierung [kWh/m²]	54,1	53,0	

In Summe erfolgte die Auswertung von 160 Liegenschaften, die teilweise aus mehreren Einzelgebäuden bestehen, davon konnten letztlich 123 in der Potenzialanalyse berücksichtigt werden, da bei diesen Gebäuden bzw. Liegenschaften die Datengrundlagen ausreichend waren. Insgesamt ist zu berücksichtigen, dass sich das Liegenschaftsportfolio der Wissenschaftsstadt Darmstadt aktuell dynamisch entwickelt: Gebäude werden aus der Nutzung genommen, andere Gebäude werden vermietet oder zur eigenen Nutzung angemietet, neue Gebäude werden gebaut, andere Gebäude saniert, erweitert oder umgebaut. Daher ist diese Auswertung auch vor dem Hintergrund des Erhebungszeitpunkts (der Großteil der Daten stammt aus den Jahren 2015-2019) zu verstehen und sollte fortlaufend an die lokalen Gegebenheiten und Liegenschaftsportfolios angepasst werden. Das kommunale Energiemanagement wird sich im Rahmen der in diesem KSK aufgenommenen Maßnahme I – 1.10 (S. 38) damit beschaffen.

So wurden in der u. s. Betrachtung beispielsweise nach Rücksprache mit den zuständigen Einrichtungen die Heinrich-Hoffmann-Schule (wird aktuell neugebaut), das Berufsschulzentrum Nord (gerade in Sanierung), das Technische Rathaus (wird zeitnah verkauft), Feuerwehr Arheiligen (Gebäude verkauft) oder temporäre Nutzungen (bspw. Unterkünfte für Geflüchtete) nicht in der Datenanalyse mitberücksichtigt. Eine besondere Herausforderung bestand bei den städtischen Bädern, bei denen nur das Jugendstilbad und das Bezirksbad Bessungen sinnvollerweise berücksichtigt werden konnten. So konnte das Nordbad, welches 2019 abgerissen und im Jahr 2021 neu eröffnet wurde, nicht mit einbezogen werden, da noch keine Energiedaten vorliegen. Hier ist allerdings anzumerken, dass das Nordbad über eine PV-Anlage und einen Fernwärme Anschluss (womit auch das Freibad beheizt wird) verfügt und somit dort bereits sinnvolle Maßnahmen umgesetzt wurden. Für das DSW-Freibad konnten keine sinnvollen Verbrauchswerte übermittelt werden, weil das Freibad von 2018 bis 2021 als Ersatz-Schwimmstätte für das Nordbad diente und das Bad in den Wintermonaten mit einer Traglufthalle über dem Schwimmbecken betrieben wurde. Das Eberstädter Mühlthalbad wird voraussichtlich 2022 grundsaniert. Ab 2024 soll es nach Möglichkeit

und Planung treibhausgasneutral betrieben werden. Insofern sind die Vorjahreswerte für diese Auswertung nicht aussagekräftig. Bei den Naturbädern handelt es sich um Naturbadeseen. Diese werden nicht geheizt und sind lediglich von Mitte Mai bis Mitte September geöffnet. Die Verbrauchszahlen der Vorjahre konnten nicht geliefert werden, da eine Ablesung des Stromverbrauchs aufgrund einer personellen Vakanz in den Vorjahren nicht periodengerecht vollzogen wurde. Wie zukünftig mit diesen Dynamiken im Portfolio umgegangen werden soll, muss für eine zielführende Evaluation und zwecks Erfüllung der Beschlusslage eruiert werden.

Im Sofortprogramm (MagV 2020/0194, 2020) ist die Solarenergienutzung (Photovoltaik und/oder Solarthermie) auf allen städtischen Gebäuden bereits verankert. Zusätzlich ist im Sofortprogramm für Neubauten bereits festgelegt, dass diese mindestens den Standard eines KfW Effizienzhaus 40 erfüllen müssen. Weiterhin gilt laut Beschlusslage zum KlimaEntscheid (MagV 2020/0235, 2020): „Das Potential zur Erzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien wird bei allen städtischen Gebäuden, den Gebäuden stadt-eigener Betriebe, öffentlichen Gebäuden im Eigentum oder Besitz der kommunalen Hand und Gebäuden von kommunalen wirtschaftlichen Unternehmen analysiert. Diese Potentiale werden bis 2030 vollumfänglich genutzt. Dazu erschließt die Stadt Darmstadt jährlich 9 % des heute bestehenden Potentials durch den Einbau von Anlagen zur Erzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbarer Energie; und ermöglicht Energiegenossenschaften oder Unternehmen vor Ort die Nutzung dieses Potentials.“

Die Wissenschaftsstadt Darmstadt hat damit wegweisende Entscheidungen bereits getroffen, um Treibhausgasneutralität im direkten Handlungsbereich zu ermöglichen. Diese Transformationspfade gilt es fortwährend zu beschreiten und in die Handlungsebene zu übertragen. Die treibhausgasneutrale Stadtverwaltung verfügt damit im Zieljahr 2035 über einen sanierten Gebäudebestand, der, wo technisch und wirtschaftlich sinnvoll, mit Photovoltaik und/oder Begrünung der Dächer und Fassaden ausgestattet ist.

4.1.2 Kommunaler Fuhrpark

Wesentliche Potenziale im Bereich des kommunalen Fuhrparks liegen neben der prioritär zu berücksichtigen Vermeidung von Fahrten in der Nutzung alternativer Antriebe. Für das Bilanzjahr 2018 entfallen 8.114 MWh auf Diesel, 398 MWh auf Benzin und nur knapp 4 MWh auf Strom. An den THG-Emissionen des kommunalen Fuhrparks von 2.768 tCO₂e haben damit Dieselverbräuche mit 2.641 tCO₂e einen hohen Anteil von über 95 %, wohingegen die Benzinverbräuche mit 125 tCO₂e auf 4,5 % kommen. Die THG-Emissionen aus dem Stromverbrauch sind damit, vor allem unter Berücksichtigung der Nutzung von Ökostrom, zu vernachlässigen, denn sie liegen mit knapp 40 kg deutlich unter einer Tonne (s. a. Kapitel 3.1, S.17). Bei konventioneller Stromversorgung würden die Emissionen der Strombedarfe im Bereich Verkehr allerdings bei knapp über zwei Tonnen liegen.

Mit der Mobilitätsordnung (MobO), die im April 2018 beschlossen wurde (MagV: 2018/0132) wurde eine Grundlage für einen nachhaltigen Ausbau der städtischen Mobilität gesetzt. Sie beinhaltet Fuhrparkanalysen, die Umrüstung dieses und die Verstetigung des betrieblichen Mobilitätsmanagements. Vor diesem Hintergrund ist der kommunale Fuhrpark, sofern in der Zwischenzeit nicht bereits geschehen, weiter und unter verstärkter Berücksichtigung alternativer Antriebe, zu optimieren. Gerade

im Bereich großer Fahrzeuge (Baumaschinen, etc.) ist der Einsatz von alternativen Technologien zu überprüfen und es sind Fahrten auf Basis fossiler Kraftstoffe zu vermeiden oder effizient(er) abzuwickeln. Im Maßnahmenkatalog wurde dies berücksichtigt. Eine detaillierte kommunale Fuhrparkanalyse war nicht Teil des Klimaschutzkonzeptes. Der Ausbau und die Verstärkung des Fuhrparkmanagements könnte die Rahmenbedingungen kommunaler Fahrten zielführender steuern und auch zukünftig sicherstellen, dass Fahrten so umwelt- und klimafreundlich wie möglich gestaltet werden. Weiterhin kann auf diese Weise die Auslastung einzelner Fahrzeuge erhöht werden. Die MobO Darmstadt beinhaltet hier bereits wichtige Handlungsschritte, unter anderem werden die Fahrzeugflotten verschiedener Fachbereiche zentralisiert und in ein einheitliches Flottenmanagement überführt.

Neben der Fuhrparkumstellung auf alternative Antriebstechnologien kann ebenfalls geprüft werden, ob spezifische Dienstfahrten gänzlich auf andere Verkehrsträger zu verlagern sind. Vor allem kurze Wege innerhalb des Stadtgebietes eignen sich für eine Abwicklung mittels des Umweltverbundes. Dabei können u. a. die Dienstfahrräder zum Einsatz kommen, die als Lösung für den Bereich der Nahmobilität in den betriebseigenen Fuhrpark verstärkt mit aufgenommen werden. Darüber hinaus können auch Angebote aus dem Bereich des ÖPNVs weiter integriert werden. Positiv hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass bereits allen Beschäftigten der öffentlichen Verwaltung ein kostenloses Jobticket für den gesamten RMV-Bereich durch die Wissenschaftsstadt Darmstadt angeboten wird. Basierend auf der Fahrtzeit ist in Einzelfällen der geeignete Verkehrsträger zu wählen. In diesen Bereichen ist die Wissenschaftsstadt Darmstadt bereits aktiv und bietet beispielsweise bereits ein kostenloses Jobticket an, was im Sinne der Zielerreichung der Treibhausgasneutralität und im Rahmen der kommunalen Vorbildfunktion unbedingt beibehalten werden sollte. Weitere Maßnahmen zur Abwicklung kommunaler Fahrten über den Umweltverbund sind zu prüfen und weiter zu vertiefen. Dafür müsste aber auch sichergestellt sein, dass Gebäude im direkten Handlungsbereich entsprechend an das ÖPNV-Netz angeschlossen und fußläufige Erreichbarkeiten von Haltepunkten gegeben sind, damit Fahrten über den ÖPNV abgewickelt werden können. Dies ist in der Regel für Stadthäuser bereits der Fall, für Liegenschaften des EAD, allerdings nur bedingt.

Einen weiteren Beitrag zur besseren Auslastung vorhandener Fahrzeuge kann die verstärkte Nutzung von Car-Sharing Fahrzeugen beisteuern, dies erfolgt ebenfalls teilweise bereits. Neben einer Reduktion des Fuhrparks führt Car-Sharing durch die kilometergenaue Abrechnung häufig zu einem bewussteren Umgang mit motorisierter Mobilität und so zu einer Reduktion der Personenkilometer. Durch eine Ankermiete können die Car-Sharing-Fahrzeuge häufig auch außerhalb der Dienstzeiten durch Mitarbeiter genutzt werden und bieten so zudem das Potenzial, Privatfahrzeuge der Angestellten zu ersetzen.

Der Eigenbetrieb für kommunale Aufgaben und Dienstleistungen Darmstadt (EAD) ist hier bereits aktiv. Zur Weiterentwicklung der Elektromobilität hat der EAD Rahmenverträge mit mehreren Lieferanten aus der Automobilindustrie zur Beschaffung von Elektrofahrzeugen als Ersatz für Dieselfahrzeuge für sämtliche Bedarfsstellen der Wissenschaftsstadt Darmstadt ausgeschrieben. Es werden bereits seit ca. vier Jahren Elektrofahrzeuge aus den Rahmenverträgen abgerufen. In 2021 wurden Rahmenverträge neu ausgeschrieben, um auch die Beschaffung von Elektrofahrzeugen mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 3,5 t zu regeln. Zudem wurde ein Rahmenvertrag zum Umbau von bestehenden Verbrenner-Fahrzeugen auf Elektroantrieb ausgeschrieben,

um einigen Fahrzeugen dadurch ein zweites, umweltfreundliches Leben (Second Life) zu geben, wodurch ein hohes Potenzial für den Klimaschutz und dem Ressourcenmanagement bereits Rechnung getragen wird. Dieser Umbau erfolgt derzeit für zwei Müllfahrzeuge, ein Abrollkipperfahrzeug und vier PKW.

Insgesamt kann für den Bereich des kommunalen Fuhrparks von einer Einsparung von mindestens 25 % ausgegangen werden, sodass die THG-Emissionen um mindestens 700 tCO₂e gegenüber 2018 in diesem Bereich gesenkt werden könnten. Weitere Senkungen werden auch von den zukünftigen Förderkulissen und Technologie-Entwicklungen im Bereich der alternativen Antriebe abhängen. Wird davon ausgegangen, dass bis 2035 eine nahezu vollständige Dekarbonisierung (ca. 90 %) des Fuhrparks erreichbar ist, so könnten bis 2035 ca. 87 % der THG-Emissionen gegenüber 2018 eingespart werden. Das entspräche knapp 2.400 t.

Klimafreundliche kommunale Mobilität setzt also prioritär auf Verkehrsvermeidung und -reduzierung, versucht die Fahrten, die notwendig sind, möglichst über den Umweltverbund (Radverkehr/Jobticket bzw. ÖPNV) abzuwickeln und setzt in den Bereichen, in denen motorisierte Fahrten auch zukünftig unabdingbar sind, auf alternative Antriebe, sofern technisch sinnvoll und möglich. Dennoch ist bis 2035 davon auszugehen, dass auch noch vereinzelt fossile Energieträger zum Einsatz kommen (v.a. im Bereich Schwerlast).

4.1.3 Beschaffungswesen

Einflüsse des kommunalen Beschaffungswesens werden wegen der BSKO Systematik nicht unmittelbar ermittelt, da im Rahmen dieser Systematik vor allem leitungsgelungsbundene Energieträger bilanziert werden, die über die Netzbetreiber oder über das kommunale Energiemanagement erfasst und messbar gemacht werden können. In der Bilanz sichtbar wird damit beispielsweise der Einsatz energiesparender Geräte, der sich auf kommunale Energieverbräuche auswirkt. Andere Punkte, wie klimafreundliche Ernährung, der Einsatz von umweltfreundlichem Druckpapier oder das Verwenden bestimmter Reinigungsmittel können bilanziell nicht berücksichtigt werden.

Um möglichst alle anthropogenen Einflüsse auf das Klima bestmöglich zu mindern, wird sich das kommunale Beschaffungswesen ebenfalls einer klimaschutzbezogenen Prüfung unterziehen. Ziel sollte es dabei sein, dass das komplette Beschaffungswesen auf klimabezogene Auswirkungen evaluiert wird und auf Basis dessen Anpassungen vorgenommen werden. Im Rahmen der Projektarbeit zur Neuaufstellung hat sich herausgestellt, dass das Beschaffungswesen an vielen Stellen noch nicht standardisiert oder überhaupt datentechnisch erfasst wird. Damit lag auch keine quantitative Datengrundlage zur Ermittlung spezifischer Potenziale für diesen Bereich vor, sodass dieser im weiteren Verlauf des Klimaschutzkonzeptes vernachlässigt werden muss.

Aus dieser Sachlage ergibt sich damit bereits die Maßnahme, dass kommunale Beschaffungswesen datentechnisch zu operationalisieren und einheitliche, klimaschutzbezogene Standards für dieses auf Grundlage der Erhebungen zu etablieren. Dies wurde im Bereich des Maßnahmenkataloges für den direkten Handlungsbereich berücksichtigt und bezieht sich, neben dem klassischen Beschaffungswesen, auch auf Vergabeverfahren sowie Wettbewerbe, die von der Wissenschaftsstadt Darmstadt durchgeführt werden. Möglichkeiten in diesen Zusammenhängen klimaschonender zu agieren, sind daran anknüpfend zu prüfen. (s. Maßnahme I – 1.7, S.

42).

Anzudenken ist, dass elektronische Geräte und Leuchtmittel ausschließlich in den höchsten Effizienzstandards gekauft werden und bei sämtlichen Beschaffungen auf klima- bzw. umweltschutzzertifizierte Produkte zurückgegriffen wird, sofern dies nicht bereits erfolgt. Gleichzeitig sollte auf die Regionalität der Produkte geachtet werden, um entlang der Herstellungskette Umwelteinflüsse zu minimieren.

4.2 Entwicklung und Szenarien der Energieeinsparung im direkten Handlungsbereich

Da über die Einsparungen im Beschaffungswesen aufgrund mangelnder Datenlage bilanziell nur bedingt Aussagen getroffen werden können und diese einen vergleichsweise geringen Anteil an den Gesamtemissionen im direkten Einflussbereich des Magistrats haben, können vor allem für die Gebäude und Liegenschaften, Szenarien aufgezeigt werden. Die Szenarien zur Energieeinsparung ergeben sich vor allem auf Grundlage bisheriger Beschlüsse, der VDI-Analyse sowie der anvisierten Zielerreichung von Treibhausgasneutralität im direkten Handlungsbereich des Magistrats bis 2035. Für den kommunalen Fuhrpark wird ebenfalls ein Szenario zur Energieeinsparung aufgezeigt.

Dabei werden die Daten der aktuellsten Bilanz von 2018 als Grundlage und Ausgangspunkt genommen, da sie über die höchste Datengüte verfügen und im Rahmen der Bilanzfortschreibung entsprechend ausführlich erhoben wurden.⁶

4.2.1 Gebäude im direkten Handlungsbereich

Zentrale Aufgabe wird es sein, den Gebäudebestand im direkten Handlungsbereich nach bestmöglichen Effizienzstandards zu sanieren und gleichzeitig die Energieversorgung bis spätestens 2035 auf dekarbonisierte Fernwärme bzw. Nahwärme oder Umweltwärmenutzung umzustellen. Allerdings sind auch im Strombereich Einsparungen anzustreben. Dazu beitragen können bspw. niedrigschwellige Maßnahmen wie das Reduzieren und Vermeiden von Standbybetrieb elektrischer Geräte (ungenutzte Geräte können entweder komplett ausgeschaltet oder sogar vom Stromnetz getrennt werden). Für die Zeit bis 2035 sind alternative Brennstoffe einzusetzen. Viele kommunale Liegenschaften beziehen in diesem Zusammenhang bereits ein kompensiertes Gasprodukt (Ökogas). Aufgrund der kritischen Diskussion zum Thema Kompensation von THG-Emissionen mit Hilfe geografisch weit entfernten Ausgleichsmaßnahmen sind alternative Produkte wie beispielsweise Biogas oder sog. „Windgas“ zu prüfen, die direkt vor Ort weniger Emissionen zur Folge haben. Zentrale Aufgabe wird es sein, fossile Energieträger (wie konventionelles Gas oder Heizöl) zu substituieren. Aufgrund der Heterogenität des Gebäudebestands und der räumlichen Lage derer, obliegt eine genaue Analyse der Einzelfallbetrachtung.

⁶ Diese Daten aus der Bilanz 2018 weichen von den Daten der VDI-Analyse ab, da Gebäude, die seit 2018 nicht mehr in Nutzung sind, nicht mehr in der VDI-Analyse berücksichtigt wurden. Gleichzeitig kamen neue Gebäudenutzungen hinzu oder Energiebedarfe haben sich (z. B. durch Bautätigkeiten oder Sanierung) geändert. Welche Gebäude in die Bilanz eingingen, ist nicht überliefert. Auch wurden bei der VDI-Analyse, sofern sinnvoll, neuere Daten verwendet; vor allem dann, wenn für 2018 keine brauchbaren Daten vorlagen und ersichtlich war, dass dort Erhebungsfehler vorliegen. Die Daten lassen allerdings einen Überblick zu.

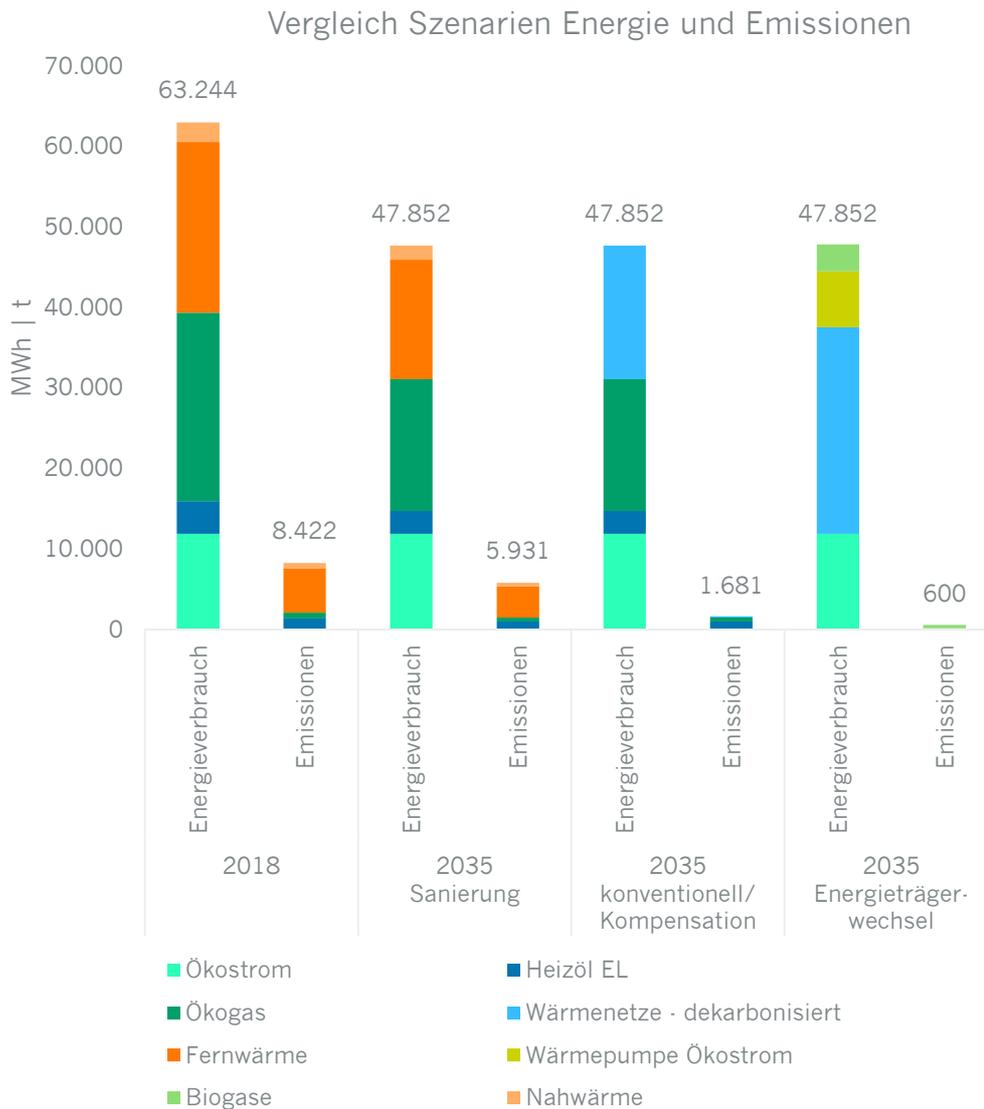


Abbildung 4-3: Szenarien für Energiebedarfe und THG-Emissionen im Bereich des kommunalen Gebäudesektors

Die Abbildung 4-3 (S.43) zeigt, dass die größten THG-Emissionsminderungen durch Sanieren und einen Energieträgerwechsel erzielt werden können. Es wird von der unter Kapitel 4.1.1 (S.35) genannten Sanierungsrate von 6 % ausgegangen (entspricht ca. 4-5 Gebäude(-komplexe) im Jahr). Insgesamt können so 91 % der THG-Emissionen eingespart werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Stromversorgung auch weiterhin aus Ökostrom besteht.

Würde lediglich die Sanierung durchgeführt und statt des Energieträgerwechsels, kompensierte Energieprodukte eingesetzt werden, könnten rechnerisch ca. 81 % der THG-Emissionen eingespart werden. Dies zeigt, dass im Sinne der Definition von Treibhausgasneutralität als erstrebenswerter Pfad bis 2035 die Kombination aus Sanieren und Umstellung der genutzten Energieträger zu favorisieren ist. Ein möglicher Umsetzungspfad bis 2035, der dieser Erkenntnis (Sanierung und Energieträgerwechsel) Rechnung trägt, könnte wie folgt aussehen.

Entwicklung Energiebedarfe und Emissionen für die kommunalen Liegenschaften nach Energieträgern im Szenario Energieträgerwechsel

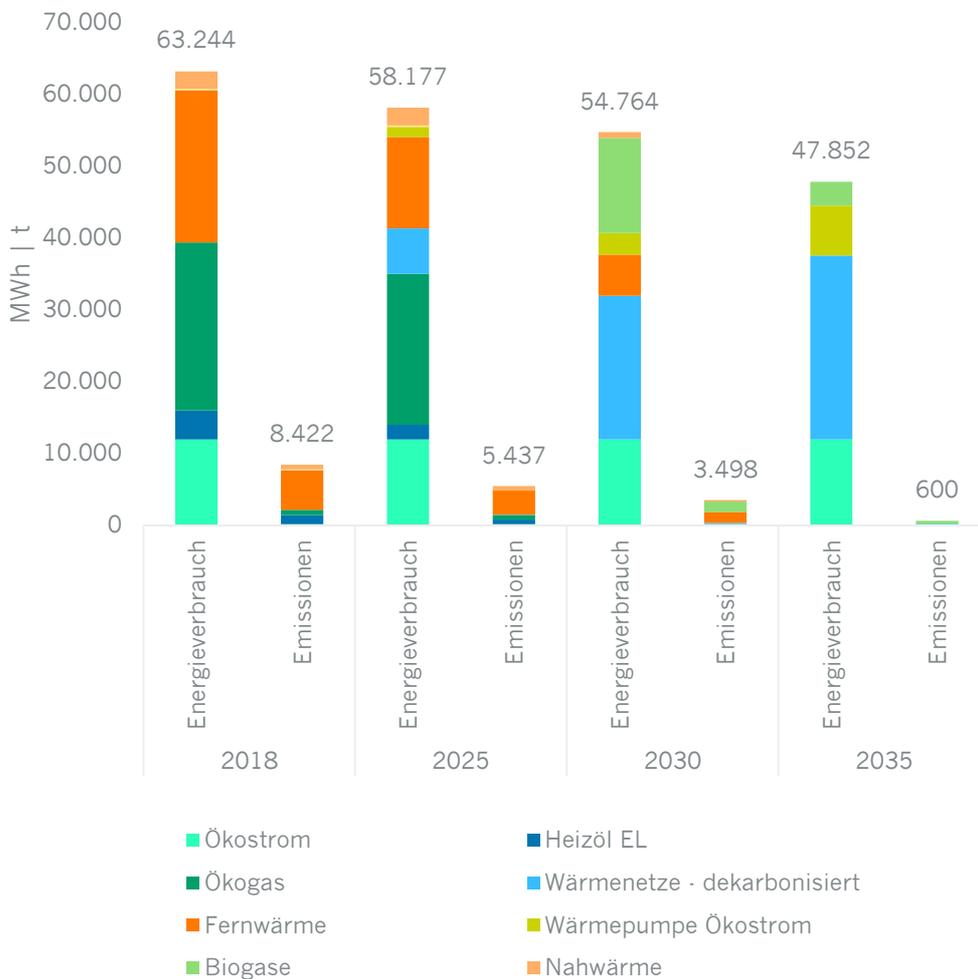


Abbildung 4-4: Absenkpfad der Endenergiebedarfe und THG-Emissionen für die kommunalen Liegenschaften nach Energieträgern im Szenario Energieträgerwechsel bis 2035 inklusive Zwischenziele für die Jahre 2025 und 2030

Das dargestellte Szenario (Abbildung 4-4, S.44) geht davon aus, dass die Wissenschaftsstadt bis 2030 weiterhin Ökogas als Brückenprodukt bezieht. Der Anteil von Ökogas sollte stetig bis 2030 durch regenerative Energieträger substituiert werden. Gleiches gilt für Heizöl, welches ebenfalls bis 2030 vollständig im Wärmemix substituiert werden muss. Dafür wird in großen Teilen dekarbonisierte Fernwärme vorgesehen (26.000 MWh). In Bereichen, wo kein Anschluss an die dekarbonisierte Fernwärme möglich oder sinnvoll ist, sind Alternativen zu schaffen (z. B. durch Umweltwärme/Wärmepumpen; hier: 7.000 MWh). Auch der Anteil an Biogas wird gemäß Szenario zwischen 2030 und 2035 reduziert, im Jahr 2035 in diesem Szenario aber noch einen Anteil von rund 3.300 MWh haben. Der Rückgang im Bereich Biogas erfolgt über Einsparungen durch Sanierungen und durch den Anschluss an das dekarbonisierte Fernwärmenetz und/oder über die Nutzung von Umweltwärme, die prioritär für den Wärmemix zu integrieren sind. Gleiches gilt für die Verbräuche konventioneller Fernwärme, die bis 2035 ebenfalls durch Sanierungen reduziert und in ihren verbleibenden Bedarfen v.a. durch dekarbonisierte Fernwärme ersetzt werden. Der notwen-

dige und in diesen Szenarien anvisierte Energieträgerwechsel setzt allerdings voraus, dass der Wissenschaftsstadt Darmstadt bis 2035 entsprechende Produkte zur Wärmeversorgung zur Verfügung gestellt werden. Andernfalls wird die maximal mögliche Einsparung an THG-Emissionen nicht erreicht. Die Stromverbräuche bleiben im Betrachtungszeitraum konstant (Effizienzgewinne und Einsparungen werden durch verstärkte und breitere Nutzung ausgeglichen), tragen im Bereich der THG-Emissionen aufgrund des Bezugs von Ökostrom mit 119 t aber nur bedingt zu den Gesamtemissionen bei.

An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass durch die Bilanzierung von Ökostrom und Ökogas, die Bilanzierungsmethodik BSKO verlassen wird. Diese sieht eine Bilanzierung nach Bundesenergieträgermix vor. Nach dieser Bilanzierungssystematik (und v. a. den dort zugrundeliegenden Emissionsfaktoren; s. Tabelle 3-1, Seite 20) ist eine Treibhausgasneutralität bis 2035 aber nicht realistisch darstellbar. Dies liegt primär am voraussichtlich zu langsamen Ausbau der Erneuerbaren Energien im Strombereich und dem damit verbundenen ungünstigen prognostizierten Bundesstrommix.

Im Zieljahr 2035 sollten die kommunalen Gebäude nur noch 47.852 MWh/a benötigen. Dies stellt gegenüber 2018 eine Minderung von 24 % und gegenüber 1990 eine Minderung von 43 % dar.

Übersetzt in THG-Emissionen würde dies bedeuten, dass bis zum Zieljahr 2035 rund 93 % der THG-Emissionen gegenüber 2018 und 98 % gegenüber 1990 im Bereich der Gebäude eingespart werden können. Im Zieljahr 2035 würden die Gebäude damit noch über THG-Emissionen von 600 tCO_{2e}/a verfügen. Diese resultieren aus den zum Einsatz kommenden Energieträgern Ökostrom, Umweltwärme (mit Ökostrom), Biogas und dekarbonisierte Fernwärme. Zwar sind die Emissionsfaktoren dieser Energieträger sehr gering, aber nicht Null (s. Tabelle 3-1, S.20). Um eine Neutralität zu erlangen, müsste diskutiert werden, wie diese verbleibenden Emissionen ausgeglichen bzw. möglichst auf dem Stadtgebiet kompensiert werden könnten (vgl. Maßnahme I – 1.9 aus Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**: Workshops: Kompensation verbleibender THG-Emissionen im direkten Einflussbereich).

4.2.2 Kommunalen Fuhrpark

Die Abfrage der kommunalen Fahrzeuge für das Jahr 2020 hat ergeben, dass von den 112 PKW der Wissenschaftsstadt Darmstadt im Bereich des EAD bisher 43 % mit Strom betrieben werden. Die restlichen verursachen mit einem Dieserverbrauch von rund 4.700 Litern zwar nur knapp 15 t Treibhausgase inkl. Vorkette, diese Verbräuche könnten dennoch durch Elektrifizierung gesenkt werden. Eine Elektrifizierungsrate von mindestens 90 % im Bereich PKW ist bis 2035 anzustreben.

Den größten Beitrag an den THG-Emissionen liefern die LKW über 7,5 t wie Müllfahrzeuge usw. mit einem Verbrauch von mehr als 500.000 Liter Diesel. Dieser Verbrauch entspricht rund 1.600 t THG-Emissionen. Auch die 24 Kehrmaschinen weisen mit rund 155.000 Litern Diesel einen hohen Verbrauch auf. Das entspricht 500 t an Treibhausgasen. Der Elektrifizierungsgrad bei den Kehrmaschinen (derzeit 4 %) sollte gesteigert werden. Auch die 15 Schulbusse des EAD weisen mit knapp unter 46.000 Litern Diesel im Fahrzeugpool recht hohe Verbräuche auf. Auch hier sollte die Elektrifizierungsrate weiter vorangetrieben werden.

Dass der EAD bereits Anstrengungen zur umweltfreundlichen Abwicklung kommunaler Fahrten unternimmt, wurde bereits weiter oben kenntlich gemacht. Auch sind die Dieserverbräuche insgesamt im Jahr 2020 gegenüber 2018 rückläufig und weisen in einigen Bereichen sogar deutliche Rückgänge auf (v. a. PKW, Busse, LKW < 3,5 t). Aller-

dings sind die Dieserverbräuche in 2020 im Bereich der Kehrmaschinen und Zugmaschinen durch zusätzliche Aufträge gegenüber 2018 gestiegen.

Eine besondere Rolle spielen in diesem Zusammenhang die freiwillige und die Berufsfeuerwehr. Zusammen verfügen sie über 6 PKW, 14 Transporter/Busse, 27 LKW und einen Kran. Einige Fahrzeuge und dementsprechend Verbräuche sind dem Katastrophenschutz zugeordnet bzw. im Eigentum des Bundes/Landes und somit nicht im Einflussbereich des Magistrats. Mit unter 200 t an Treibhausgasen sind die Verbräuche dennoch überschaubar. Hier gilt es vor allem dort, wo es sinnvoll ist, alternative Antriebe einzusetzen. Dennoch wird für flexible Notfalleinsätze eine Dekarbonisierung und der Einsatz alternativer Antriebe bis 2035 wenig realistisch sein. Die Potenziale liegen hier vor allem im Bereich der PKW. Sollten schwerlastige Feuerwehrfahrzeuge ausgetauscht oder neugekauft werden, sind alternative Antriebe – sofern möglich – zu bevorzugen. Im Bereich der Feuerwehr ist also damit zu rechnen, dass auch zukünftig noch fossile Antriebstechnologien Verwendung finden, wenngleich diese möglichst auf ein Minimum zu begrenzen sind und geprüft werden kann ob alternative Kraftstoffe für diese spezielle „Nische“ eingesetzt werden können.

Insgesamt kann für den Bereich des kommunalen Fuhrparks von einer Einsparung von mindestens 25 % ausgegangen werden, sodass die THG-Emissionen um mindestens 700 Tonnen gegenüber 2018 in diesem Bereich gesenkt werden könnten. Weitere Senkungen werden auch von den zukünftigen Förderkulissen und Technologieschüben abhängen. Gerade für größere Fahrzeuge (Baumaschinen, LKW, etc.) besteht die Aufgabe darin, stetig umweltfreundliche und wirtschaftliche Technologien zu berücksichtigen und einzusetzen (z.B. Erkenntnisse aus dem Pilotvorhaben zur Produktion von Wasserstoff über das Müllheizkraftwerk Darmstadt). Auch wird die zukünftige Entwicklung der Energiebedarfe und THG-Emissionen im Wesentlichen von den Fahrbedarfen abhängig sein. Daher wird ein wesentlicher Handlungsauftrag auch darin bestehen, zu prüfen, inwiefern Fahrten reduziert werden können. Dieser Handlungsauftrag steht im Zusammenhang mit der Einrichtung eines kommunalen Fuhrparkmanagements, um sicherzustellen, dass Fahrten so umwelt- und klimafreundlich wie möglich gestaltet werden und die bestmögliche Auslastung der Fahrzeuge gegeben ist.

Zu berücksichtigen ist allerdings auch, dass sich aufgrund der bundesweiten Dringlichkeit und Notwendigkeit der Dekarbonisierung von sämtlichen Fuhrparks Lieferengpässe ergeben können, die zu erheblichen zeitlichen Verzögerungen bei der Umsetzung führen können. An dieser Stelle sind übergeordnete Ebenen gefordert, entsprechende Rahmenbedingungen zu schaffen, sodass der breitenwirksame Umbau von Fahrzeugflotten erfolgen kann.

Ein positives Vorzeigebispiel ist der Umbau von alten Fahrzeugen des EAD zu Elektrofahrzeugen. Der Darmstädter Kommunalbetrieb EAD hat die kommunale Flotte von Darmstadt von 450 Fahrzeugen bereits zu einem Fünftel auf E-Antriebe umgestellt, bei PKW und Kleintransporter liegt die Quote schon nahe 50 % (electrive.net, 2021). Der Fuhrpark gestaltet sich dabei äußerst divers, von Lastenrädern über Kehrfahrzeuge bis hin zu LKW. Neben der Neuanschaffung und Umrüstung auf Elektroantrieb werden die notwendige Ladeinfrastruktur mithilfe von Fördermitteln ausgebaut und eine interne Buchungsplattform aufgebaut.

Sollten die benötigten übergeordneten Rahmenbedingungen gegeben sein, alternative Technologien vollumfänglich ausgeschöpft und maximale Anstrengungen unternommen werden können, kann davon ausgegangen werden, dass bis 2035 rund 87 Prozent der THG-Emissionen eingespart werden. Das entspräche einer THG-Einsparung von rund 2.400 t und würde bedeuten, dass mindestens 90 Prozent der Fahrten mit

der kommunalen Flotte über alternative Antriebe abgebildet wird. Entsprechend würde sich folgender der in Tabelle 4-2 (S.47) aufgezeigte Reduktionspfad ergeben.

Tabelle 4-2: Entwicklung der THG-Emissionen des kommunalen Fuhrparks

Sektor	Stand 1990	Stand 2018	Stand 2018 (nach Anrechnung Ökostrom)	Ziel 2025	Ziel 2030	Ziel 2035	Minderung 2018-2035	Minderung 1990-2035
	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[%]	[%]
Kommunaler Fuhrpark	Keine Daten	2.768	2.766	2.211	1.286	360	87 %	-

4.2.3 Zusammenfassung und Handlungserfordernisse für den direkten Handlungsbereich

Für den direkten Einflussbereich des Magistrats werden folgende Belange bis 2035 für die Erlangung von Treibhausgasneutralität zentral sein.

- 1. Gebäude und Liegenschaften:** Zentrale Aufgabe wird es sein, den Gebäudebestand im direkten Handlungsbereich nach bestmöglichen Effizienzstandards zu sanieren und gleichzeitig die Energieversorgung bis spätestens 2035 schwerpunktmäßig auf dekarbonisierte Fernwärme umzustellen. Die Sanierungsrate soll mindestens 6 %/a betragen, es ist damit angestrebt ca. 4-5 Gebäude(-Komplexe) oder Liegenschaften pro Jahr energetisch zu erneuern. Für die Zeit bis 2035 sind alternative Brennstoffe einzusetzen (Ökogas oder Biogas). Beschlüsse des Magistrats, dass im kommunalen Gebäudebestand bis 2035 ein Heizwärmebedarf im Durchschnitt von unter 70 kWh/(m² a) als Zielwert erreicht wird und darüber hinaus im Einzelfall, bei geeigneten Liegenschaften (im Hinblick auf die Heterogenität des Gebäudebestandes), sogar nur 35 kWh/(m² a) angestrebt wird, sind zu berücksichtigen. Der Bezug von Ökostrom ist ein wichtiger Baustein, der bereits seit 2008 sukzessiv erfolgt.
- 2. Kommunaler Fuhrpark:** Der kommunale Fuhrpark sollte unter verstärkter Berücksichtigung alternativer Antriebe, sofern möglich, optimiert werden. Gerade im Bereich großer Fahrzeuge (Baumaschinen, etc.) ist der Einsatz alternative Technologien zu prüfen. Die bisherigen Anstrengungen zur Umrüstung bestehender Fahrzeuge sind hier besonders positiv hervorzuheben. Der Umbau von alten Fahrzeugen des EAD zu Elektrofahrzeugen hat wichtige Vorbildwirkung. Das bereits vorhandene Fuhrparkmanagement gilt es weiter auszubauen und zu optimieren um die Rahmenbedingungen kommunaler Fahrten noch zielführender zu steuern. Priorität hat allen voran aber die Vermeidung von Fahrten bzw. die umweltfreundliche Abwicklung von Fahrten (z. B. über den Umweltverbund).

- 3. Beschaffungswesen:** Aufgrund der Datenlage konnten für das Beschaffungswesen keine quantitativen Potenziale ermittelt werden. Aus dieser Sachlage ergab sich damit bereits die Maßnahme, dass kommunale Beschaffungswesen datentechnisch zu operationalisieren und einheitliche, Klimaschutzbezogene Standards für dieses auf Grundlage der Erhebungen zu etablieren. Ziel wird es sein, dass Beschaffungswesen so klimafreundlich und auch unter sozialen Gesichtspunkten nachhaltig und klimagerecht wie möglich auszurichten und die Klima- sowie Umwelteinflüsse auf ein Minimum zu reduzieren.

Tabelle 4-3: Zusammenfassung und Handlungserfordernisse für den direkten Handlungsbereich

Direkter Handlungsbereich	
Beschaffungswesen	
Beschaffungswesen	Datenerfassung und Erarbeitung von Standards für ein umwelt- und klimafreundliches Beschaffungswesen
Kommunaler Fuhrpark	
Minderung Fahrleistung	Minderung und effizientere Abwicklung der Fahrkilometer mit fossilen Antrieben. Stetige Überführung in alternative Antriebe.
Anteil alternativer Antriebe an der Fahrleistung	Alternative Antriebe sind zu berücksichtigen, sofern möglich. Für kommunale PKW sollte eine Elektrifizierungsrate von über 90 % angestrebt werden (derzeit 43 %).
Liegenschaften	
Sanierung	Sanierungsrate von 6 % Bestmögliche Sanierungstiefe 4-5 Gebäude(-komplexe) im Jahr; mögliche prioritäre Rangfolge nach VDI-Analyse und Sanierungsfahrplänen IDA
Stromversorgung	Ausschließlich Ökostrom
Wärmeversorgung	Ausstieg aus Heizöl bis 2030 Bezug von Ökogas als Brücke bis 2030 Substitution konv. Wärmeversorgung bis 2035 durch: Dekarbonisierte Fernwärme, Umweltwärme, Biogas

5 POTENZIAL- UND SZENARIENANALYSE FÜR DIE GESAMTSTADT

5.1 Transformationspfade in der Gesamtstadt (indirekter Einflussbereich des Magistrats)

Folgend werden die Einsparpotenziale der Wissenschaftsstadt Darmstadt im indirekten Einflussbereich des Magistrats – also private Haushalte, Wirtschaft und Verkehr – betrachtet und analysiert. Dabei werden zunächst grundlegende Transformationspfade und Handlungsräume dargestellt, hier werden zum Teil bereits Szenarien genannt: Zum einen das „Trend“-Szenario, welches keine bzw. geringe Veränderungen in der Klimaschutzarbeit vorsieht und zum anderen das „Klimaschutz“-Szenario, welches starke Veränderungen in Richtung Klimaschutz prognostiziert. In den darauffolgenden Kapiteln werden, vor dem Hintergrund der Zielstellung der Treibhausgasneutralität bis 2035, die Szenarien weiter ausgebaut und spezifiziert.

Entscheidend ist, dass zur Zielerreichung die Bürgerschaft, Gewerbetreibende, Unternehmen und alle weiteren Akteure im Stadtgebiet die in ihrem Handlungsbereich liegenden Möglichkeiten ausschöpfen und sich ergebende Einspar- und Effizienzsteigerungspotenziale nutzen. Der Einfluss der Stadtverwaltung ist in diesem Bereich gering und ein Gelingen der Klimaschutzarbeit ist in hohem Maße vom Mitwirken und von der Eigeninitiative aller vor Ort beteiligten Akteure abhängig.

5.1.1 Private Haushalte

Gemäß der Energie- und THG-Bilanz der Wissenschaftsstadt Darmstadt entfallen im Jahr 2018 rund 28 % des Endenergiebedarfs (vgl. Kapitel 3.2.1.1, S.22) sowie 25 % der THG-Emissionen (vgl. Kapitel 3.2.2.1, S.26) auf den Sektor der privaten Haushalte. Diese Bedarfe und Emissionen gilt es so weit wie möglich zu reduzieren. Ein erhebliches THG-Einsparpotenzial der privaten Haushalte liegt in den Bereichen Gebäudeeffizienz sowie -sanierung (im Besonderen durch einen Wechsel des Energieträgers für die Wärmeversorgung) und Einsparungen beim Strombedarf.

Sanierungsarbeiten sind die mit Abstand wichtigste Maßnahme, um den Endenergiebedarf signifikant zu senken. Wichtig ist dabei nicht nur die Anzahl an sanierten Gebäuden, sondern auch der dabei zum Einsatz kommende energetische Standard.

Themen wie flächensparendes Wohnen oder verschiedene Formen von Wohngemeinschaften beispielsweise würden ebenfalls Einsparungen zuträglich sein, sind aber individuelle Entscheidungen, die von einer Kommune nur bedingt zu beeinflussen sind.

Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass Mieter*innen, gerade in urbanen Ballungsgebieten mit hoher Wohnraumnachfrage, von den Entscheidungen, gesetzten Rahmenbedingungen sowie Renovierungs- und Sanierungstätigkeiten der Vermietenden abhängig sind. Effizienzpotenziale ergeben sich in diesen Kontexten vor allem im Bereich eigener Konsummuster (z. B. Nutzen energiesparender Geräte und angepasstes Heizverhalten). Entsprechend können zwar Maßnahmen zur Sensibilisierung im Bereich Energiesparen hilfreich sein, die konkrete Umsetzung obliegt aber dennoch jeder und jedem selbst. Gleichzeitig ergeben sich Konstellationen, die zu negativen Nebeneffekten führen können (z. B. Verzicht auf Heizen und Schimmelbildung aufgrund dauerhaft zu niedriger Raumtemperatur). Eine automatisierte Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung könnte hier zwar teilweise Abhilfe schaffen, bei generell

deutlich zu niedrigen Raumtemperaturen ist aber auch mit einer solchen Anlage mit zu hohen Raumluftheuchtheiten zu rechnen.

Die größten Hebel einer Kommune im Bereich der privaten Haushalte liegen somit darin, größtmögliche Anstrengungen zu unternehmen, um Gebäudeeigentümer*innen von energetischen Sanierungen zu überzeugen, sie zu beraten und zu unterstützen. So werden negative Nebeneffekte, wie oben erwähnt, minimiert und zur Energieeffizienz beigetragen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Modernisierungstätigkeiten nicht zu deutlichen Mietpreissteigerungen (Warmmiete), Verdrängungs- und Segregationsprozessen führen. Finanzielle Unterstützungen der Gebäudeeigentümer*innen könnten hierfür Abhilfe leisten und dazu führen, dass die Modernisierungskosten nicht an die Mietenden weitergeben werden. Bundesweite Fördermöglichkeiten existieren bereits und könnten durch die Stadt beworben oder ergänzt und unterstützt werden. Des Weiteren könnte die Schaffung einer Anlaufstelle auf Stadtebene für Fragen rund um die Auswahl geeigneter Förderprogramme hilfreich sein.

Wichtig ist es, bei den Sanierungsmaßnahmen auf eine ganzheitliche Gebäudebeurteilung mit Berücksichtigung klimafreundlicher Heizungstechnik zu achten. Dies ist besonders wichtig, da Gebäudemodernisierungen oftmals nicht zeitlich unmittelbar nacheinander erfolgen, obwohl viele Maßnahmen effizient zusammen abgewickelt werden könnten. Auch sollten nach Möglichkeit nachhaltige bzw. wiederverwertbare oder idealerweise wiederverwendbare Baustoffe eingesetzt werden.

Weiterhin sind Möglichkeiten dezentraler und erneuerbarer Energieerzeugung aufzuzeigen. Konflikte mit dem Denkmalschutz sind mit Weitblick und Beteiligung wichtiger Akteur*innen transparent auszuhandeln und zu lösen. Der Modernisierungskonvoi der Wissenschaftsstadt Darmstadt sowie die zu erstellenden Quartierskonzepte mit Sanierungsmanagement sind hier wertvolle Angebote, die in die breite Öffentlichkeit getragen werden müssen. Mit diesen Maßnahmen könnte auch dem Fachkräftemangel, der erforderliche Sanierungsraten begrenzen könnte, entgegengewirkt werden, weil hiermit Synergieeffekte und Arbeitsbündelungen über räumliche Konzentration und Planbarkeit der Aufträge ermöglicht werden. Gleichzeitig gilt es Anreize und Informationen zum Energiesparen zu liefern, die niederschwellig, alltagstauglich und neben der Klimawirkung weitere Vorteile (z. B. monetäre Einsparungen) aufzeigen.

5.1.1.1 Gebäudesanierung

Das größte Potenzial im Sektor der privaten Haushalte liegt im Wärmebedarf der Gebäude. Durch die energetische Sanierung des Gebäudebestands können der Endenergiebedarf und damit der THG-Ausstoß erheblich reduziert werden. Die nachfolgende Abbildung 5-1 (S.51) stellt dabei die grundsätzlichen Einsparpotenziale von Gebäuden nach Baualtersklassen bis zum Jahr 2050 schematisch (und damit nicht spezifisch für Darmstadt) dar (BMW, 2014). Es ist zu erkennen, dass im Durchschnitt bei älteren Häusern der verbleibende Energiebedarf höher ist. Die Einsparpotenziale aufgrund der generell energetisch schlechteren Gebäudehülle (auch nach der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen) sind signifikant niedriger⁷.

⁷ In diesem Zusammenhang gilt es auch die Anforderungen durch den Denkmalschutz zu beachten.

Mit dem Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2035 müssten die im Diagramm aufgezeigten Potenziale zudem entsprechend vorzeitig gehoben werden. Dies verdeutlicht nochmals die notwendigen Anstrengungen.

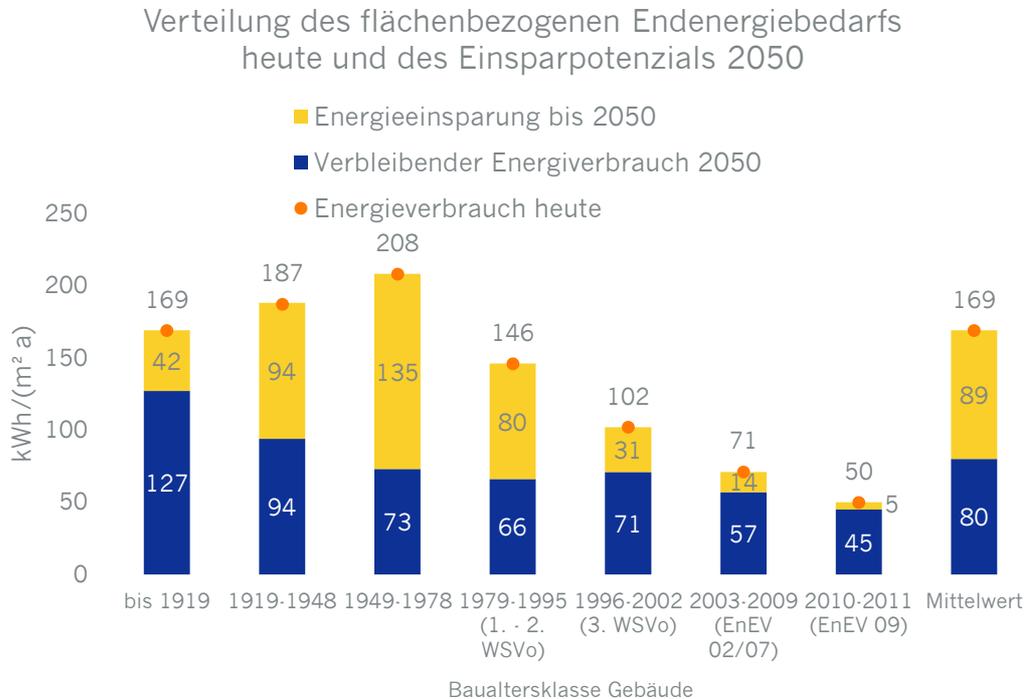


Abbildung 5-1: Schematische Verteilung des flächenbezogenen Endenergiebedarfs heute und des Einsparpotenzials 2050 (eigene Darstellung nach (BMWi, 2014))

Der zukünftige Heizwärmebedarf der Wohngebäude in der Wissenschaftsstadt Darmstadt wird auf Grundlage des berechneten Ist-Heizwärmebedarfs dargestellt und wurde mittels Zensus-Daten (2011) zu den Gebäudetypen und Gebäudegrößen sowie Heizwärmebedarfen aus der Gebäudetypologie Deutschland (IWU, 2015) hochgerechnet.

Für die Berechnung des zukünftigen Heizwärmebedarfs werden zunächst grundlegend drei Korridore als Entwicklungspfade bis zum Jahr 2035 angegeben. Die drei Korridore definieren sich über folgende unterschiedliche Sanierungsraten:

1. Variante „Sanierungsrate linear bis 100 %“: Beschreibt das Ziel der Vollsaniierung von 100 % der Gebäude bis zum Jahr 2035 und nimmt eine lineare Sanierungstätigkeit an. Die Sanierungsquote beträgt hier somit rund 5,9 % pro Jahr.
2. Variante „Sanierungsrate linear 0,8 %“: Legt die Annahme einer Sanierungsrate von 0,8 % pro Jahr zu Grunde (B.&S.U.; DV; HFT Stuttgart, 2019), (dena-Gebäudereport, 2019). Damit wären im Jahr 2035 12,8 % des Gebäudebestands saniert. Diese Variante, die als kontinuierliche Fortsetzung des aktuellen Trends zu verstehen ist, weist damit die geringsten Einsparpotenziale auf, wäre aber der anzunehmende Pfad, wenn im Bereich Gebäudesanierungen keine weitreichenden Anstrengungen unternommen werden, um die Sanierungsrate und -tiefe zu erhöhen.

3. Variante „Sanierungsrate variabel“: Beschreibt das Ziel einer möglichst hohen Sanierungsrate bis zum Jahr 2035, nimmt aber eine gestaffelt steigende Sanierungstätigkeit an, sodass die Sanierungsquoten von 0,8 % pro Jahr bis zu 4,5 % pro Jahr reichen. Damit würden 48,4 % der Gebäude bis zum Jahr 2035 saniert. Diese Entwicklung ist realistischer als die erste Variante, die lediglich zur Darstellung einer Vollsanierung herangezogen wird.

Im Klimaschutzszenario wird dabei bei allen Sanierungs-Varianten angenommen, dass die Sanierungen nach dem energetischen Standard „EH 40“ (früher „kFw 40“) durchgeführt werden. EH steht hier für Effizienzhaus und EH 40 ist ein qualitativ relativ hoher Standard, der einen um ca. 60 % niedrigeren Primärenergiebedarf als ein nach Gebäudeenergiegesetz (GEG)-Standard ausgeführtes Gebäude ermöglicht.

Für den Wohngebäudebestand in der Wissenschaftsstadt Darmstadt ergeben sich daraus im Klimaschutzszenario die in der nachfolgenden Abbildung 5-2 (S.52) dargestellten Einsparpotenziale in Höhe von 10 % bis 76 %, je nach Sanierungsrate. Die variable Sanierungsrate erreicht bis 2035 Einsparungen von 37 %.

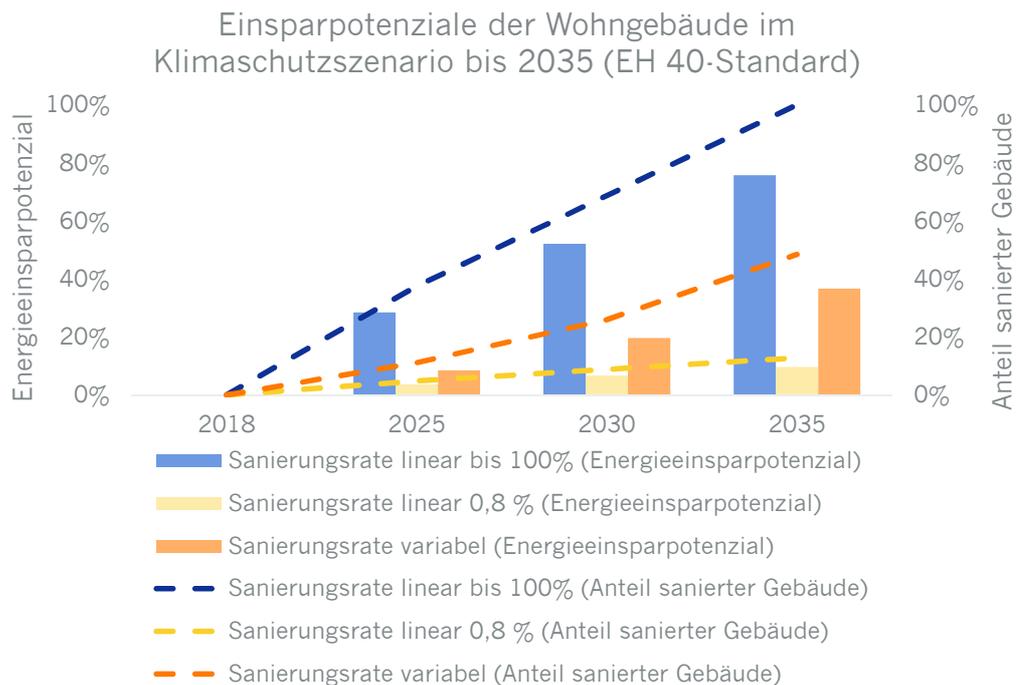


Abbildung 5-2: Einsparpotenziale der Wohngebäude im Klimaschutzszenario bis 2035 (EH 40-Standard)

Um die Potenziale zu heben, ist es in jedem Fall von zentraler Bedeutung die Sanierungsquote stark zu steigern. Da aus rechtlichen Gründen kein direkter Zugriff durch die Wissenschaftsstadt Darmstadt möglich ist, bleibt die Option, die Eigentümerinnen und Eigentümer zur Sanierung zu motivieren. Dies geht vor allem über Öffentlichkeits- und Netzwerkarbeit sowie über die Ansprache von Akteuren (Handwerker*innen, Berater*innen, Wohnungsgesellschaften). Einen weiteren möglichen Ansatzpunkt stellt eine von der Stadt selbst getragene (zusätzliche) finanzielle Förderung oder weiter ver-

stärkte Öffentlichkeitsarbeit und kostenlose Beratungsangebote zu privaten Sanierungsvorhaben dar (Verweis Maßnahme I – 1.3; S.

53). In diesem Bereich sind Land oder Bund (über die KfW) tätig und zur Absenkung bürokratischer Hürden bei Antragstellung und Förderung gefordert. Herausforderungen bei Sanierungstätigkeit bestehen darin, energetische Vorketten und Graue Energie nicht aus dem Blick zu verlieren. Für den Einsatz nachhaltiger und wiederverwertbarer Baustoffe sollte sensibilisiert werden. Gleichzeitig sollten Synergieeffekte Berücksichtigung finden (Dacherneuerungen mit PV-Anlagen, etc.).

5.1.1.2 Strombedarf

Zukünftig wird sich durch die steigende Energieeffizienz der Geräte und durch sich stetig änderndes Nutzerverhalten der Strombedarf in den Haushalten verändern.

Die hier angewandte Methodik zur Berechnung des Gerätebestandes basiert auf der „Bottom-Up-Methodik“. Dabei wird aus der Zusammensetzung des durchschnittlichen Gerätebestandes eines Haushaltes die Anzahl für die gesamte Wissenschaftsstadt Darmstadt hochgerechnet. Als Grundlage der Haushaltsgrößen wurden kommunale Daten aus dem Jahr 2011 zugrunde gelegt (Statistisches Bundesamt, 2011). Demnach beläuft sich die Anzahl der Haushalte für die Wissenschaftsstadt Darmstadt auf 72.340. Es wird dabei angenommen, dass die Haushaltsgeräte stetig durch neuere Geräte mit höherer Effizienz ersetzt werden. Durch die jeweilige Anpassung des Effizienzsteigerungsfaktors kann so der jeweilige spezifische Strombedarf für die kommenden Jahre errechnet werden.

Für den spezifischen, durchschnittlichen Haushaltsstrombedarf in der Wissenschaftsstadt Darmstadt ergibt sich bis zum Zieljahr 2035 eine stetige Abnahme. Für das Jahr 2035 ergibt sich ein spezifischer Haushaltsstrombedarf von rund 1.872 kWh pro Haushalt. Dies entspricht einer Einsparung von über 737 kWh gegenüber dem Ausgangsjahr 2018. Die größten Einsparungen sind in den Bereichen Waschen/ Trocknen/ Spülen, Kühlen/ Gefrieren und TV zu erwarten.

Der Gesamtstrombedarf der privaten Haushalte in der Wissenschaftsstadt Darmstadt ergibt sich aus dem spezifischem Haushaltsstrombedarf und der Anzahl der Haushalte. Dabei wurde das für Darmstadt prognostizierte Bevölkerungswachstum und lokal-spezifische Haushaltsgrößen bei der Ermittlung der zukünftigen Bedarfe berücksichtigt. Während der Strombedarf der privaten Haushalte im Jahr 2018 noch 188.765 MWh betrug, ist im Zieljahr 2035 mit einem Strombedarf in Höhe von 135.410 MWh zu rechnen. Dies entspricht einer Einsparung in Höhe von 53.355 MWh bzw. von insgesamt rund 28 %.

5.1.1.3 Einfluss des Nutzerverhaltens

Das Endenergieeinsparpotenzial durch die Effizienzsteigerung der Geräte kann jedoch durch die Ausstattungsraten und das Verhalten von Nutzer*innen (Stichwort Suffizienz⁸) begrenzt werden. Eine rein technische Betrachtung führt stets zu einer starken Verminderung des Haushaltsstrombedarfs.

⁸ Suffizienz steht für das „richtige Maß“ im Verbrauchsverhalten der Nutzerinnen und Nutzer und kann auf alle Lebensbereiche übertragen werden.

In der Realität zeigt sich, dass es bei der Nutzung von besonders effizienten Geräten zu sogenannten Rebound-Effekten kommen kann. Das bedeutet, dass mögliche Stromeinsparungen durch neue Geräte, beispielsweise durch die stärkere Nutzung dieser oder durch die Anschaffung von Zweitgeräten (Beispiel: der alte Kühlschrank wird als Vorratsschrank bspw. im Keller weiterhin genutzt), begrenzt oder sogar vermindert werden (Sonnberger, 2014). Andererseits kann auch das Gegenteil eintreten, sodass energieintensive Geräte weniger genutzt werden, was im Bereich Ressourceneffizienz Vorteile haben kann (durch verlängerte Lebenszyklen von Produkten). Des Weiteren ist es bei einigen Geräten auch schlichtweg nicht möglich, große Effizienzsteigerungen zu erzielen. Deshalb ist der Strombedarf in der Zielvision für 2035 nicht um ein Vielfaches geringer als in der Ausgangslage. Dennoch ist es zwecks Zielerreichung unabdingbar, dass der sich Umgang mit Energie so effizient und sparsam wie möglich vollzieht. Mit Öffentlichkeitsarbeit und Kampagnen ist auf Suffizienz hinzuwirken, was bei den Maßnahmen berücksichtigt wurde. In diesem Zusammenhang bedeutet „Weniger“ nicht zwangsweise eine Minderung an Lebensqualität, sondern kann gleichzeitig zur Entschleunigung und Entrümpelung des Alltags sowie zu monetären Einsparungen führen (s. dazu Ausführungen von Niko Paech).

5.1.2 Wirtschaft

Die privaten Unternehmen in Darmstadt unterliegen nicht dem direkten Einfluss des Magistrates. Geschäftsmodelle, Energieversorgung und Mobilitätsverhalten dieser Unternehmen sind damit nicht beeinflussbar.

Dabei stellen Unternehmen eine wichtige Schnittstelle des Klimaschutzes dar: Sie sind nicht nur zentral für die Sektorenkopplung (Energieversorgung, Mobilität/Pendelverhalten, Konsumverhalten, etc.), sondern in den Unternehmen kommen auch unterschiedliche Menschen zusammen; sei es von den Berufsständen oder räumlich betrachtet aus der Kernstadt und der weiteren Region. Klimaschutzwirksame Maßnahmen verfügen damit an diesen Schnittstellen über ein besonderes Potenzial der Multiplikation in weitere Gesellschaftsbereiche und über den lokalen Kontext hinaus. Dabei spielt Nachhaltigkeit in Unternehmen eine immer bedeutendere Rolle, sichert Legitimität und kann einen Beitrag zur Mitarbeitendenbindung leisten.

Um die Maßnahmen weiter voranzutreiben, sind zusätzliche Beratungs- und Förderprogramme notwendig, die die Unternehmen unterstützen. Vor allem die kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) sollten hierbei unterstützt werden. Dafür bietet sich eine dauerhafte und strategisch agierende Koordinierungsstelle bei der Stadt an, auf die die Unternehmen zurückgreifen können und über die sie sich Informationen gebündelt und passend für ihren jeweiligen Anwendungsfall einholen können. Die Stadt Darmstadt verfügt als Wissenschaftsstandort über beste Voraussetzungen, um Transformationsprozesse zielführend und strategisch angehen zu können. Das Darmstädter Energie-Labor für Technologien in der Anwendung (DELTA) (DELTA, 2022), kann an dieser Stelle exemplarisch dafür genannt werden. Es ist ein Projekt der Initiative „Reallabore der Energiewende“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie und agiert als Schaufenster für die urbane Energiewende zur Demonstration interagierender energieoptimierter Quartiere. Detaillierte Projektinfos gibt es für Interessierte unter: Reallabor der Energiewende - DELTA (delta-darmstadt.de).

Austauschprozesse und Lerneffekte zwischen Wirtschaft und Wissenschaft werden für ein treibhausgasneutrales Darmstadt von zentraler Bedeutung sein. Darüber hinaus

können raumbezogene Zusammenschlüsse (z. B. innerhalb einzelner Gewerbegebiete) für Synergieeffekte und niederschwellige, aber wirksame Transformationsprozesse sorgen: Gemeinsame Fuhrparks, Mitfahrgelegenheiten, nachhaltige Kantinen oder gebündelte Ver- und Entsorgungskonzepte sind hierfür nur einige Beispiele.

Im Bereich der Energieversorgung gilt es effizienter zu werden. Neben der Nutzung neuer Technologien in verschiedenen Bereichen (Großwärmepumpen, Abwärme, Abwasserwärme, evtl. Wasserstoff, sofern sinnvoll) bieten sich vor allem große Gewerbehallen für die Erzeugung erneuerbarer Energien an, sofern diese statisch dafür geeignet sind. Diese Flächen werden für die Hebung der PV-Potenziale eine zentrale Rolle spielen und sind als bereits beanspruchte Flächen dafür prädestiniert.

Begrünungen von Dächern und Fassaden sind zu prüfen, diese können in den zumeist hochverdichteten Gewerbegebieten einen Beitrag zur Klimaanpassung und zum Erhalt der Biodiversität liefern. Dabei müssen sich eine Flachdachbegrünung und eine PV-Anlage nicht ausschließen (Abbildung 5-3, S.55). Die sich ergebenden Synergien durch doppelte Flächennutzungen sind anzustreben. Im treibhausgasneutralen Darmstadt werden Gewerbeflächen nicht mehr monoton und grau sein, sondern mit aufgelockerter Bebauung durch urbanes Grün und dezentralen Energieversorgungsanlagen gekennzeichnet sein.



Abbildung 5-3: Dach-PV und Dach-Begrünung in Kombination (Städtebauliche Klimafibel, 2022)

Nicht zu vergessen ist im Bereich der Wirtschaft die Landwirtschaft. Für eine nachhaltige und klimafreundliche Landwirtschaft sind Zusammenschlüsse aus Vertreter*innen der Landwirtschaft, den Umweltverbänden, der Wissenschaft und weiteren Akteur*innen zu initiieren. Dabei geht es darum, gemeinsame und realistische Visionen vor dem Hintergrund (übergeordneter) politischer Rahmenbedingungen zu entwickeln und in gemeinsamen Pilotprojekten die Weichen für die Zukunft zu stellen. Kooperative Pilotprojekte könnten hierbei alternative Landwirtschaftsformen von Ökolandbau, Permakultur bis hin zur Prüfung neuer Kultivierungs- und Verwertungsformen (Pyrogener Kohlenstoff, Futterkohle, Terra Preta, Humusakkumulation, Agro-Forst) sein. Auch Machbarkeiten, Potenziale und Strategien im Bereich neuer Technologien (Agri-PV, Precision Farming) sollten auf einen Beitrag zur Begegnung des Klimawandels geprüft werden. Eine besondere Rolle sollte aber auch eine kooperativ anzugehende

Strategiebildung zum Erhalt von Biodiversität, zur Reaktivierung natürlicher Senken und zur Stabilisierung einer klimaresilienten Landwirtschaft einnehmen. Im treibhausgasneutralen Darmstadt sollten zukünftig Umweltverbände mit der Landwirtschaft zusammenarbeiten und einen wirkungsvollen Beitrag zu einer klimaangepassten und nachhaltigen Kulturlandschaft liefern, bei der Landnutzung, Erhalt der Biodiversität und Senkenfunktion im Einklang sind.

Im industriellen Bereich liegen die Einsparpotenziale vor allem im effizienteren Umgang mit Prozesswärme (Brennstoffe) und mechanischer Energie (Strom). Im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) wird dagegen ein großer Teil der Energie zur Bereitstellung von Raumwärme sowie zur Beleuchtung und Kommunikation eingesetzt. Abbildung 5-4 (S.56) zeigt die unterschiedlichen Einsparpotenziale nach Querschnittstechnologien.

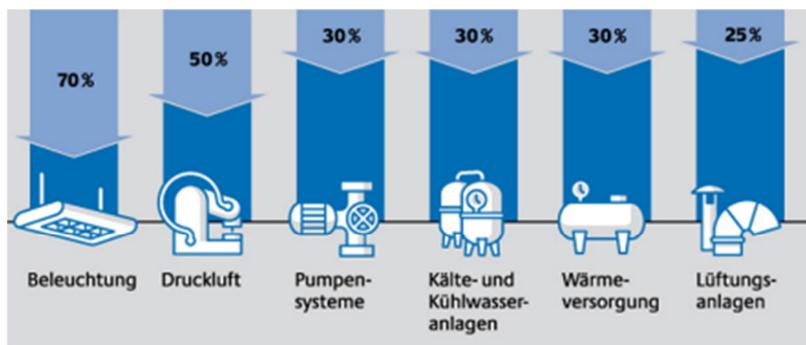


Abbildung 5-4: Energieeinsparpotenziale in der Wirtschaft nach Querschnittstechnologien (dena, 2014)

Für die Ermittlung der Einsparpotenziale von Industrie und GHD wird auf eine Studie des Institutes für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES, 2015) zurückgegriffen. Diese weist Potenziale für die Entwicklung des Energiebedarfs in Industrie sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistung aus. Für die Berechnung werden folgende Größen verwendet:

- Spezifischer Effizienzindex: Entwicklung der Energieeffizienz der entsprechenden Technologie bzw. der Effizienzpotenziale im spezifischen Einsatzbereich.
- Nutzungsintensitätsindex: Intensität des Einsatzes einer bestimmten Technologie, bzw. eines bestimmten Einsatzbereiches. Hier spiegelt sich in starkem Maße auch das Nutzerverhalten oder die technische Entwicklung hin zu bestimmten Anwendungen wider.
- Resultierender Energiebedarfsindex: Aus der Multiplikation von spezifischem Effizienzindex und Nutzungsintensitätsindex ergibt sich der Energiebedarfsindex. Mit Hilfe dieses Wertes lassen sich nun Energiebedarfe für zukünftige Anwendungen berechnen. Dies geschieht, indem der heutige Energiebedarf mit dem resultierenden Energiebedarfsindex multipliziert wird.

Die Werte der genutzten Studie beziehen sich ursprünglich auf das Jahr 2050. Da die Szenarien für die Wissenschaftsstadt Darmstadt auf das Jahr 2035 zielen und für die Erreichung der Zielsetzungen überdurchschnittliche Anstrengungen notwendig sind, werden die Einsparpotenziale auf das Zieljahr 2035 bezogen.

Nachfolgend werden die der Entwicklung der Bedarfe zugrundeliegenden Werte in der Tabelle 5-1 (S.57) dargestellt. Zudem wird von einem jährlichen Wirtschaftswachstum

von 1,3 % ausgegangen. Durch das Wirtschaftswachstum werden die Einsparpotenziale zu einem Großteil kompensiert, in einigen Bereichen kommt es trotz Einsparungen sogar zu Anstiegen der Verbräuche.

Tabelle 5-1: Grundlagendaten für das Klimaschutzszenario

Grundlagendaten Klimaschutzszenario					
	Energiebedarfsindex 2010	Spezifischer Effizienzindex 2035	Nutzungsintensitätsindex 2035	Resultierender Energiebedarfsindex 2035	Resultierender Energiebedarfsindex 2035 (inkl. Wirtschaftswachstum)
Prozesswärme	100 %	95 %	90 %	86 %	129 %
Mechanische Energie	100 %	67 %	90 %	60 %	91 %
IKT	100 %	67 %	151 %	101 %	153 %
Kälte-erzeuger	100 %	67 %	100 %	67 %	101 %
Klimakälte	100 %	67 %	100 %	67 %	101 %
Beleuchtung	100 %	55 %	100 %	55 %	83 %
Warmwasser	100 %	95 %	90 %	86 %	129 %
Raumwärme	100 %	45 %	100 %	45 %	68 %

Wie in der vorangegangenen Tabelle 5-1 (S.57) zu erkennen ist, werden, außer bei Prozesswärme und Warmwasser, in sämtlichen Bereichen hohe Effizienzgewinne angesetzt. Im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) wird zudem eine stark steigende Nutzungsintensität prognostiziert. Die übrigen Bereiche werden in der Nutzung gleichbleiben oder leicht abnehmen.

Die oben dargestellten Parameter werden auf die Jahre 2018 bis 2035 in Dekadenschritten hochgerechnet. Dabei wird erkenntlich, dass im Klimaschutzszenario ohne angesetztes Wirtschaftswachstum bis zu 13 % Endenergie bis zum Zieljahr 2035 eingespart werden können. Wenn dagegen ein Wirtschaftswachstum von 1,3 % pro Jahr einkalkuliert wird, so steigt der Endenergiebedarf bis zum Jahr 2030 leicht an, sinkt aufgrund des laut Studie (IREES, 2015) in der letzten Dekade angenommenen Technologiesprungs (bspw. verstärkte Nutzung von Power to Gas) bis zum Jahr 2035 wieder und erreicht in etwa das Ausgangsniveau. Zu berücksichtigen ist für die Klimabilanz bei diesen potenziellen Entwicklungsverläufen die Wahl der Energieträger. So könnten energetische Bedarfssteigerungen über einen stärkeren Einsatz Erneuerbarer Energien hinsichtlich der resultierenden THG-Emissionen wieder ausgeglichen werden. Der Fokus sollte nichtsdestotrotz auf Energieeinsparung und -effizienz liegen, um den generellen Bedarf so gering wie möglich zu halten.

Die Potenziale können auch nach Anwendungsbereichen und Energieträgern (Strom oder Brennstoff) aufgeteilt dargestellt werden. Dabei wird ersichtlich, dass in der Wissenschaftsstadt Darmstadt, auch im Wirtschaftssektor, vor allem Einsparpotenziale im Bereich der Raumwärme liegen. Um dieses Potenzial zu heben, sollte die Sanierungsquote gesteigert und Maßnahmen zur Energieeffizienz ergriffen werden.

Da auch hier kein direkter Zugriff durch die Verwaltung der Wissenschaftsstadt Darmstadt möglich ist, müssen die Unternehmen zur Sanierung motiviert werden. Dies geht vor allem über Öffentlichkeits- und Netzwerkarbeit sowie Ansprache von Akteuren. Ein weiterer Ansatzpunkt wäre die finanzielle Förderung von Sanierungsvorhaben. In diesem Bereich sind jedoch bereits das Land Hessen bzw. der Bund (insbesondere über die KfW) tätig. Die Absenkung bürokratischer Hürden bei Antragstellung und Förderung bleibt auch im Bereich Wirtschaft, genau wie bei den privaten Haushalten, hier ein wichtiger Punkt. Über gesetzgeberische Aktivitäten ließen sich zudem Standards für Energieeffizienz anheben. Auch hier sind Land, Bund oder EU aufgefordert, aktiv zu werden.

Ein zusätzlicher Anreiz zu energieeffizienter Technologie und rationellem Energieeinsatz können künftige Preissteigerungen im Energiesektor sein. Dies wird jedoch entweder über die Erhebung zusätzlicher bzw. Anhebung von bestehenden Energiesteuern erreicht und liegt damit im Aufgabengebiet des Bundes oder über Angebot und Nachfrage bestimmt.

5.1.3 Verkehrssektor

Elektrifizierung, Digitalisierung, Sharing und Multimodalität sind nur einige Schlagworte, die die Debatten um zukünftige Mobilität prägen. Die Senkung verkehrsbezogener Emissionen ist prioritär durch den Umstieg vom MIV auf Verkehrsmittel des Umweltverbundes zu erreichen. Daher ist es notwendig bereits bestehende Konzepte zum Ausbau des Umweltverbundes umzusetzen und ggf. zu erweitern. Die Nutzung des Umweltverbundes muss attraktiver als der MIV werden. Zwecks der Erreichung einer Treibhausgasneutralität besteht Einigkeit darüber, dass ein Transformationspfad zu beschreiten ist, der prioritär auf Verkehrsvermeidung und auf Stärkung des Umweltverbundes setzt. Fahrten, die dennoch stattfinden müssen und nicht anders abgewickelt werden können, sollten möglichst über alternative Antriebe abgebildet werden.

Wie bereits kurz in Kapitel 1.1 (S.9) angesprochen, verfügt Darmstadt über ein hohes, positives Pendelsaldo (laut Pendleratlas ca. 40.000 Personen). Bei 73.000 Ein- und 31.000 Auspendler*innen sowie mit rund 33.000 Binnenbewegungen weist Darmstadt insgesamt fast 140.000 Pendelbewegungen am Tag auf. Über 30.000 und damit fast die Hälfte der Einpendler*innen kommen dabei aus dem Landkreis Darmstadt-Dieburg, wohingegen rund 7.000 Personen aus Darmstadt wiederum in diesen Landkreis auspendeln. Mit 8.000 Pendelbewegungen bewegen sich die meisten Personen aus Darmstadt aber in Richtung Frankfurt heraus. Diese Fahrten gilt es möglichst klimafreundlich zu ermöglichen.

Dies stellt den kommunalen Klimaschutz vor große Herausforderungen. Zu den notwendigen Maßnahmen gehören u. a. (s. a. Maßnahmensteckbriefe Handlungsfeld 1: Mobilität Gesamtstadt):

- Ausbau des Öffentlichen Personennahverkehrs (bestenfalls Wechsel von einer nachfrage- zu einer angebotsorientierten Planung, d. h. von einem reagierenden zu einem agierenden, nutzerzentrierten Angebot) und Erweiterung sowie Verdichtung des Netzes unter Einsatz alternativer Antriebe und einem strategisch sinnvollen Tarifsystems
- Ausbau des Radwegenetzes bzw. konsequente und zügige Umsetzung der Radstrategie mit Lückenschluss (s. a. Maßnahme II – 1.1; S. 58)

- Ausbau von Sharing-Angeboten nach novellierter Gesetzesgrundlage in Hessen und Schaffen von Mobilitätsstationen
- Ausbau von Ladeinfrastruktur für E-Mobilität (dort, wo sinnvoll und entsprechende Standzeiten vorhanden sind)
- Umgestaltung und Umbau der Logistik (Verlagerung auf den Umweltverbund und Nutzen von Digitalisierung, wenn sinnvoll; Ausbildung von Micro-Hubs)

Weiterhin ist durch eine flächendeckende Parkraumbewirtschaftung (inkl. Überwachung und Kontrolle) sicherzustellen, dass sich der Umweltverbund sicher entfalten kann (z.B. indem Gehwegparken kontrolliert und geahndet wird) und gleichzeitig Anreize bestehen auf den Umweltverbund umzusteigen. Der Umstieg kann auch durch städtebauliche Maßnahmen begünstigt werden. Leitbilder, wie die Stadt der kurzen Wege, Funktionsmischung, Dezentralisierung, autoarme Quartiere mit Quartiersgaragen, sind zu verfolgen und umzusetzen (s. Anhaltspunkte im Masterplan Darmstadt 2030+). Über diese planerischen Maßnahmen kann nicht nur ein nachhaltiges Mobilitätsverhalten initiiert werden, es führt auch dazu, dass städtische Quartiere sicherer, ruhiger und sauberer (bezüglich Luftqualität) werden können und damit mehr Lebensqualität sowie Entfaltungsräume bereitstellen (beispielsweise für Frei- und Grünräume mit Aufenthaltsqualitäten).

Die Herausforderung besteht dabei darin, dass der Magistrat zwar durch das Schaffen von Angeboten, der Stadtgesellschaft klimafreundliche Mobilitätsformen anbieten kann, jedoch keinen direkten Einfluss auf die Änderung von Mobilitätsverhalten hat. Die konkrete Entscheidung hinsichtlich der Mobilitätsformen trifft jede Person für sich selbst.

An dieser Stelle wird ersichtlich, dass Treibhausgasneutralität gesamtstädtisch nur Hand-in-Hand mit der gesamten Stadtbevölkerung gelingen kann und die Stadt auch auf ein breites Umdenken angewiesen ist.

Insgesamt bietet der Verkehrssektor langfristig hohe Einsparpotenziale. Das liegt vor allem an den noch großen Möglichkeiten zur Energieeinsparung und Emissionsminderung über die Nutzung von alternativen Antrieben, aber auch in den noch ungenutzten Potenzialen im Bereich Verlagerung MIV auf den Umweltverbund. Bis zum Zieljahr 2035 ist davon auszugehen, dass ein Technologiewechsel auf alternative Antriebskonzepte (z. B. E-Motoren, Brennstoffzellen) stattfinden wird. In Verbindung mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien im Stromsektor kann dadurch langfristig von einem hohen Einsparpotenzial ausgegangen werden.

Die Wissenschaftsstadt Darmstadt kann neben der Öffentlichkeitsarbeit zur Nutzung des ÖPNV und eine höhere Auslastung von Pendlerfahrzeugen sowie der Schaffung planerischer und struktureller Rahmenbedingungen zur Umgestaltung des inner- und außerörtlichen Verkehrs, kaum direkten Einfluss auf die Entwicklungen in diesem Sektor nehmen. Im Rahmen dieser Analyse wird daher im Sektor Verkehr lediglich der Verkehr der Straße ohne den Autobahnanteil betrachtet, um dem begrenzten Einfluss der Stadt Rechnung zu tragen. D. h. der Autobahnverkehr kann durch die Stadt nahezu nicht beeinflusst werden und wird daher bei der Potenzialanalyse und den Szenarien nicht berücksichtigt. In der Bilanzierung ist dieser Anteil jedoch berücksichtigt, da dort strikt nach BSKO, territorialbasiert bilanziert wird (s. a. Kapitel 3.1.2, S.20).

Aufbauend auf der Mobilitätsstudie „Klimaschutzszenario 2050“ (Öko-Institut / Fraunhofer ISI, 2015) wurden die Entwicklungen der Fahrleistung sowie die Entwick-

lungen der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte hochgerechnet. Des Weiteren werden für die Verkehrsmengenentwicklung und die Effizienzsteigerungen je Verkehrsmittel, ebenfalls Faktoren herangezogen. Dabei stellen die genutzten Werte jeweils die *maximale* Potenzialausschöpfung aus der genannten Studie dar und sind dem dort aufgeführten, sogenannten „Klimaschutzszenario 95“ entnommen.

5.1.3.1 Randbedingungen „Klimaschutzszenario 95“

Das „Klimaschutzszenario 95“ aus der genannten Mobilitätsstudie (Öko-Institut / Fraunhofer ISI, 2015) beschreibt eine umfassendere Änderung des Mobilitätsverhaltens jüngerer Menschen, die immer weniger einen eigenen Pkw besitzen und stattdessen vermehrt CarSharing-Angebote nutzen. Damit ist auch die Erhöhung des intermodalen Verkehrsanteils verbunden, bei dem das Fahrrad als Verkehrsmittel eine zentrale Rolle spielt. Es wird davon ausgegangen, dass dieses Mobilitätsverhalten bei dieser Personengruppe auch im Verlauf ihres Lebens beibehalten wird (Öko-Institut / Fraunhofer ISI, 2015).

Des Weiteren wurden für dieses Szenario veränderte Geschwindigkeiten, eine erhöhte Auslastung der Pkw (erhöhte Besetzungsgrade) und die Verteuerung des motorisierten Individualverkehrs angenommen. Dadurch geht die Personenverkehrsnachfrage zurück. Dabei bedeutet die abnehmende Personenverkehrsnachfrage nicht gleichzeitig eine Mobilitätseinschränkung, denn es findet eine Verkehrsverlagerung zum Fuß- und Radverkehr statt (Öko-Institut / Fraunhofer ISI, 2015).

Analog zum Wirtschaftssektor erfolgte auch hier ein teilweises Vorziehen der Annahmen aus der Studie. Die Verkehrsleistung und die Effizienzsteigerung wurde aus der Studie übernommen und lediglich auf Basis der Studienergebnisse von 2030 und 2040 auf den Zwischenschritt 2035 umgerechnet. Die Annahmen zum Anteil der alternativen Antriebe im Bereich des MIV wurden jedoch von 2050 auf 2035 vorgezogen. Die Begründung hierfür ist die Notwendigkeit immenser Anstrengungen, auch im Verkehrssektor, um die Zielstellung der THG-Neutralität 2035 erreichen zu können. Das heißt, dass unter der Annahme dieser Anstrengungen davon ausgegangen wird, dass durch entsprechende Anreize der Anteil der alternativen Antriebe bereits deutlich früher signifikant gesteigert werden kann.

5.1.3.2 Entwicklung der Fahrleistungen und des Endenergiebedarfs

Basierend auf den Daten des Öko-Instituts ist eine Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2035 für die Wissenschaftsstadt Darmstadt nicht zu erzielen. Daher werden im Folgenden höhere Einsparpotenziale angesetzt. Dabei läuft die Entwicklung der Fahrleistungen der einzelnen Verkehrsträger parallel zu den Daten des Öko-Instituts, die Elektrifizierungsrate ist jedoch wesentlich höher als in vorgenannter Quelle. Nur so kann der Verkehrssektor bis zum Jahr 2035 zum Ziel der Treibhausgasneutralität beitragen. Damit sind auch in der Wissenschaftsstadt Darmstadt, genau wie im gesamten Bundesgebiet, überdurchschnittliche Anstrengungen von Nöten, damit der Bereich zur Zielerreichung beiträgt.

Die Entwicklung der Fahrleistungen nimmt eine deutliche Abnahme der Fahrleistungen im MIV sowie eine leichte Abnahme bei den LKW und leichten Nutzfahrzeugen und eine minimale Zunahme der Fahrleistung bei den Bussen an.

Wie der nachfolgenden Abbildung 5-5 (S.61) zu entnehmen, verschiebt sich (neben der Veränderung der Gesamtfahrleistung im Verkehrssektor) auch der Anteil der Fahr-

zeuge mit Verbrennungsmotor zugunsten von Fahrzeugen mit alternativem Antrieb. Es ist zu erkennen, dass im Klimaschutzszenario ab 2030 die Fahrleistung der Fahrzeuge mit alternativen Antrieben die Fahrleistung der Verbrenner übertrifft. Im Zieljahr 2035 beträgt der Anteil der Fahrleistungen mit alternativen Antrieben rund 86,5 %.

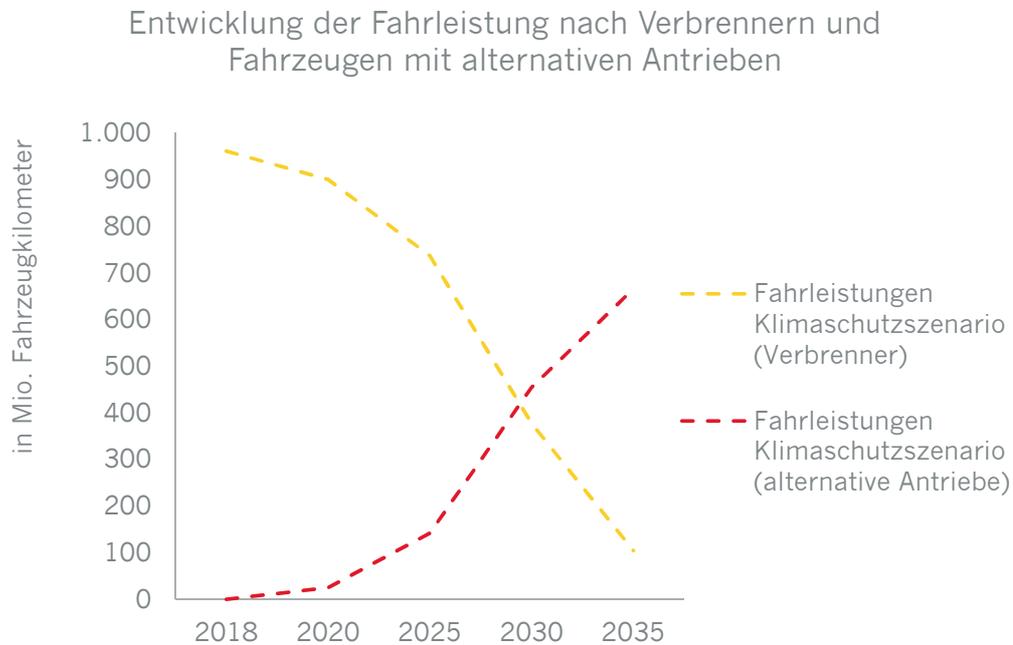


Abbildung 5-5: Entwicklung der Fahrleistungen bei Verbrennern und alternativen Antrieben in der Wissenschaftsstadt Darmstadt bis 2035 im Klimaschutzszenario

Auf Grundlage der dargestellten Fahrleistungen werden in der nachfolgenden Abbildung 5-6 (S.62) die jeweiligen Entwicklungen der Endenergiebedarfe dargestellt. Hieraus lassen sich des Weiteren die Endenergieeinsparpotenziale berechnen.

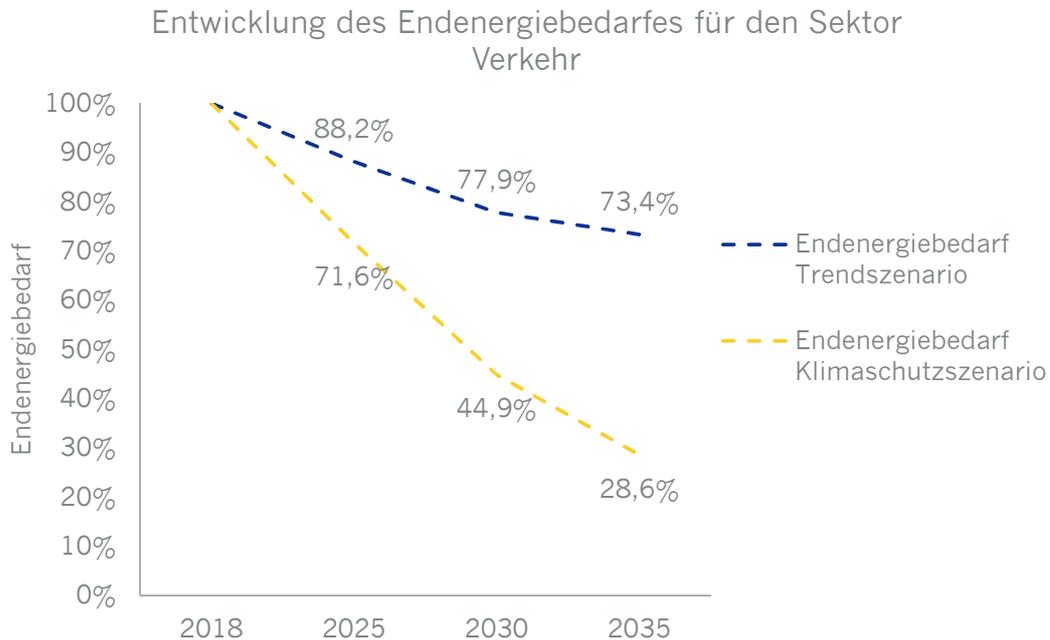


Abbildung 5-6: Entwicklung des Endenergiebedarfs für den Sektor Verkehr im Klimaschutz- und Trendszenario bis 2035

Im Klimaschutzszenario sinkt der Endenergiebedarf im Sektor Verkehr im Jahr 2035 auf 28,6 %. Das liegt zum einen an dem deutlich erhöhten Anteil an alternativen Antrieben und den bei Elektroautos höheren Wirkungsgrad, sowie der generell abnehmenden Fahrleistung im Bereich MIV. Im als Referenz dargestellten Trendszenario dagegen sinkt der Endenergiebedarf bis zum Zieljahr 2035 lediglich auf 73,4 %. Hier können somit bloß 26,6 % der Endenergie eingespart werden.

5.2 Erneuerbare Energien

Nachfolgend werden die Potenziale für regenerative Energien tiefergehend dargestellt. Dabei stellen die bezifferten Potenziale in der Regel theoretische Maximalwerte dar, deren Umsetzbarkeit im Einzelfall zu prüfen ist. Um die Potenziale für die Errichtung von erneuerbare Energien-Anlagen zu ermitteln, wurde die Stadtverwaltung mit einbezogen. Ebenfalls wurden verschiedene andere Quellen verwendet, welche in den jeweiligen Kapiteln genannt werden.

Erneuerbare Energien spielen eine wichtige Rolle in der zukünftigen Energieversorgung der Wissenschaftsstadt Darmstadt. Die Energiebedarfe, die nicht durch Effizienz- und Einsparmaßnahmen vermieden werden können, sollten möglichst durch erneuerbare Energiequellen gedeckt werden. Der Ausbau der regenerativen Energien ist zudem Grundvoraussetzung und Türöffner für weitere Maßnahmen zwecks Erreichung von Treibhausgasneutralität: Er bildet beispielsweise das Fundament zur klimafreundlichen Elektrifizierung der Wärmeversorgung (z. B. über Wärmepumpen) oder zur Elektrifizierung des Verkehrs. Ohne erneuerbare Energien wären diese Pfade nicht sinnvoll und klimafreundlich zu beschreiten. Durch eine dezentrale Energieversorgung würde zudem das Stromnetz entlastet.

Für die kreisfreie Wissenschaftsstadt Darmstadt stellt sich aber vor allem vor dem Hintergrund der urbanen Dichte (und der damit einhergehenden Flächenkonkurrenz) die Herausforderung, dass bis auf Photovoltaik kaum Potenziale zur Hebung erneuerbarer Energien (keine Potenziale für Wind- und Wasserkraft) vorhanden sind. Transformationspfade wie ein „All Electric-Szenario“, welches die Elektrifizierung sämtlicher Versorgungseinheiten beinhaltet, bietet sich somit für die Wissenschaftsstadt Darmstadt auf Basis einer Eigenversorgung mit auf dem Stadtgebiet erzeugten erneuerbaren Strom nicht an. Lediglich ein Import der benötigten Mengen an regenerativem Strom würden solch ein Szenario ermöglichen.

Dennoch ist es unter Berücksichtigung dieser Tatsache umso wichtiger, dass die Potenziale im Bereich PV möglichst ausgeschöpft werden. Die Stadt Darmstadt hat daher mit dem Sofortprogramm Klimaschutz kurzfristig bereits erste Maßnahmen u. a. in Bezug auf die Solarenergienutzung verabschiedet (MagV 2020/0194, 2020). Dazu gehören explizit die Förderung privater Photovoltaik-Anlagen inkl. Kampagne (Balkonmodule und Aufdachanlagen), die Solarenergienutzung (Photovoltaik und/oder Solarthermie) auf allen städtischen Gebäuden und eine Solarenergieinstallationspflicht (v. a. Photovoltaik) in neu aufzustellenden Bebauungsplänen, sofern rechtlich möglich (MagV 2020/0194, 2020).

Die Stadt Darmstadt geht hier im direkten Einflussbereich des Magistrats als Vorbild voran und wird bis 2030 alle Potenziale auf städtischen Gebäuden heben. Vor allem große Dachflächen, wie Gewerbehallen, sind für die PV-Nutzung vorzusehen. Dabei sind sich ergebende Synergien durch doppelte Flächennutzungen mittels gleichzeitiger Begrünung und PV-Nutzung anzustreben. Dies gilt zudem ebenfalls für geeignete Fassadenflächen.

Im treibhausgasneutralen Darmstadt werden Gewerbeflächen nicht mehr monoton und grau sein, sondern mit aufgelockerter Bebauung durch urbanes Grün und dezentralen Energieversorgungsanlagen gekennzeichnet sein. Ein klimafreundliches Darmstadt zeichnet sich damit durch angepasste Gebäude aus, die überall wo es möglich ist mit einer Kombination aus Solaranlagen und Dach- oder Fassadenbegrünungen ausgestattet sind oder zumindest entweder eine Begrünung oder eine Solaranlage aufweisen. Zusätzliche Informations- und Beratungskampagnen sowie zusätzliche Förderprogramme könnten den notwendigen Ausbau ermöglichen und beschleunigen. Vor allem finanzschwache Haushalte könnten hiermit unterstützt werden. Die Wissenschaftsstadt Darmstadt gewährt nach Maßgabe der Verwaltungsvorschrift „Förderprogramm Photovoltaik“ bereits Fördermittel für die Neuanschaffung von Anlagen zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien (Näheres gibt es für Interessierte unter: <https://www.darmstadt.de/leben-in-darmstadt/klimaschutz/foerderprogramme>).

Im Bereich der Wärmeversorgung wird die Dekarbonisierung eine zentrale Rolle spielen. Konventionelles Erdgas und Heizöl sollten so weit wie möglich reduziert und möglichst durch klimafreundliche Alternativen substituiert werden. Wie eine zukunftsfähige und nachhaltige Wärmeversorgung im Einzelnen aussehen kann, soll eine kommunale Wärmeleitplanung klären, die in den Maßnahmen berücksichtigt wurde. Bei dieser sind verschiedene Akteure (Energieversorgung, Fachexpert*innen, etc.) einzubinden. Auf Basis der Wärmeplanung müssen die jeweilig sinnvollsten Alternativen ausgewählt und umgesetzt werden. Dazu gehören vor allem die Nutzung von Umweltwärme und der Aus- und Umbau der Wärmenetze. Gerade in hochverdichteten Gebieten mit hohem Wärmebedarf kann durch den Rückgriff auf die bestehende Infrastruktur und den

Austausch der Energieträger eine schnelle Reduktion der Emissionen ermöglicht werden. In Gebieten, in denen ein Netzausbau nicht möglich oder sinnvoll ist, sind Alternativen zu prüfen und umzusetzen (z. B. Wärmepumpen). Der Ausbau der Wärmenetze wird weitreichende Bautätigkeiten nach sich ziehen, dabei ist es wichtig soziale Aspekte jederzeit mitzubetrachten. Gleichzeitig ist die Wissenschaftsstadt Darmstadt hierbei von den Energieversorgungsunternehmen, deren Aus- und Umbaupläne im Bereich der Wärmeversorgung, sowie dem angebotenen Wärmemix abhängig. Der Einfluss der Stadt auf die Bereitstellung eines dekarbonisierten Wärmemixes ist begrenzt, die Wissenschaftsstadt ist jedoch bereits dauerhaft in engem Austausch mit den lokalen Energieversorgern. Dies gilt es in der Zukunft beizubehalten oder sogar, wenn möglich, noch zu verstärken.

Auch sollten Pfade realistisch eingeschätzt werden: So beinhaltet der Einsatz von Wärmepumpen mit Versorgung durch Ökostrom zwar die größten THG-Einsparungen, allerdings erscheint der flächendeckende Einsatz dieser Technologie (als Einzellösung) für stark verdichtete Ballungsgebiete mit hohem Anteil an Mehrfamilienhäusern wenig wahrscheinlich und realistisch, sodass die flächendeckende Versorgung über eine dekarbonisierte Fernwärme und die Nutzung bereits vorhandener Infrastrukturen hierfür sinnvoller erscheint. In diesem Kontext könnte aber beispielsweise über den Einsatz von Großwärmepumpen unter Versorgung von Ökostrom Abhilfe geleistet werden, um einen nachhaltigen Nah- oder Fernwärmemix bereitzustellen. Die kommunale Wärmeleitplanung wird an diesen Überlegungen und Abwägungen anknüpfen.

5.2.1 Windenergie

Die Windenergie ist bundesweit eine wichtige Säule im Bereich der Produktion Erneuerbarer Energien. Aufgrund des dichten Besiedlungsgrades und den damit verbundenen geringen Flächenpotenzialen spielt die Windenergie in der Gemarkung Darmstadts aber keine wesentliche Rolle. Entsprechend gibt es auf dem Stadtgebiet derzeit kein ausgewiesenes Vorranggebiet für Windenergieanlagen. Auch zukünftig ist nach derzeitigem Stand nicht davon auszugehen, dass auf der Gemarkung Darmstadt relevante Flächen zur Nutzung der Windkraft bereitgestellt werden können. Dies ist aber auch an die geltenden Genehmigungsaufgaben (u. a. nach Bundes-Immissionsschutzgesetz) gekoppelt und ist damit durch den Magistrat nur bedingt steuer- und beeinflussbar.

Potenziale für Kleinwindanlagen werden im Rahmen dieses Konzepts vernachlässigt, da diese eher als Nischenlösung verstanden werden, die keinen größeren, substanziellen Beitrag zur Zielerreichung beitragen können, insbesondere im städtischen Umfeld (hohe Rauigkeit der Oberfläche durch Bebauung).

5.2.2 Sonnenenergie

Die Stromerzeugung durch Sonnenenergie spielt in der Wissenschaftsstadt Darmstadt, anteilig an der regenerativen Energieerzeugung, im Bilanzjahr 2018 die zweitgrößte Rolle (nach Biomasse, s. Kapitel 3.2.3, S.30). Im Bilanzjahr 2018 wurden 8.446 MWh Strom durch Photovoltaikanlagen gewonnen. Dabei sind auf Stadtgebiet insgesamt 741 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 10,5 MWp installiert. Nachfolgend wird das Potenzial der Sonnenenergie unterteilt in Dachflächen- und Freiflächenphotovoltaik sowie Solarthermie.

5.2.2.1 Dachflächenphotovoltaik

Die Potenziale im Bereich Dachflächenphotovoltaik orientieren sich an den im Solarkataster ausgewiesenen Potenzialen der LEA Hessen. Die Auswertung der Datenbank des Solarkatasters erfolgte durch das LEA Hessen. Deren Annahmen sind ein Modulwirkungsgrad von 15 % und eine Hochrechnung des Jahresertrages auf Basis der Ausnutzung aller prinzipiell geeigneten Dachflächen. Als geeignete Dachflächen gelten dabei alle Dachflächen mit einem spezifischen Ertrag ab 900 kWh/(m² a). So wird von einem **Maximalpotenzial** von rund **384 MWp** ausgegangen (also grob dem 37-fachen der in 2018 installierten Leistung). Dies würde einen möglichen Stromertrag von **323.354 MWh/a** liefern⁹.

Da angenommen wurde, dass die vollständige Ausschöpfung dieses Potenzials nicht realistisch und umsetzbar ist, wurden Szenarien (s. Kapitel 5.3, S.69) erarbeitet, die bis zum Zieljahr 2035 dieses Gesamtpotenzial entweder zu **30 % (115 MWp; 97.000 MWh/a)** oder zu **75 % (288 MWp; 242.516 MWh/a)** ausschöpfen. Die momentan installierten 10,5 MWp entsprechen einer Ausnutzung von ca. 2,7 %. Die Nutzung von 30 % dieses Potenzials wäre im Sinne der Zielerreichung als Mindestgröße zu verstehen. Dies würde bereits einer Verzehnfachung des PV-Stromertrags im Vergleich zum Ausgangsjahr 2018 (8.446 MWh) entsprechen. Selbst dieses Mindestziel kann daher bereits als ambitioniert eingestuft werden und erfordert intensive und zielführende Anstrengungen. Hier leistet das bereits aufgelegte Förderprogramm einen wichtigen Beitrag (s. Kapitel 5.2, S.62). Dies wurde bei den Maßnahmen berücksichtigt.

5.2.2.2 Freiflächenphotovoltaik

In der Vergangenheit standen Freiflächenphotovoltaikanlagen häufig in Konkurrenz zu landwirtschaftlich genutzten Flächen. Doch auch die Randstreifen entlang der Autobahnen und Schienenwege bieten hohe Potenziale für Freiflächenphotovoltaik. Zudem sind diese im EEG 2021 vom Gesetzgeber als förderungswürdige Standorte für PV-Freiflächenanlagen festgelegt. Am 06.04.2022 gab es eine Kabinettsvorlage zur Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), in der die Flächenkulisse für Photovoltaik ausgeweitet wurde. Agri-PV ist nun auf allen landwirtschaftlichen Flächen förderfähig und Moorböden kommen als neue Flächenkategorie hinzu. Weiterführende Informationen zum aktuellen Stand bzgl. Agri-PV und Freiflächen-Anlagen gibt es unter (Fraunhofer ISE, 2022).

Die Flächen entlang der Autobahnen und Schienenwege eignen sich vor allem deshalb, da es kaum Nutzungskonkurrenz gibt und die Flächen häufig geböscht sind, so dass die Module in einem günstigen Neigungswinkel stehen und daher mit weniger Abstand zueinander aufgestellt werden können als auf ebenen Flächen.

⁹ Der von der LEA Hessen angenommene Modulwirkungsgrad von 15 % erscheint aus heutiger Sicht niedrig. Bei einer Hochrechnung mit dem aktuellen, durchschnittlichen Wirkungsgrad von 20 % (ISE, 2022) könnte mit ca. **512 MWp** und ca. **431 GWh/a** gerechnet werden. Für die Zukunft ist sogar mit weiteren Wirkungsgradsteigerungen durch wissenschaftlichen bzw. technischen Fortschritt bei der PV-Modultechnik zu rechnen.

Prinzipiell sind folgende Flächen vergleichsweise unproblematisch¹⁰ als Potenzialflächen für Solarfreiflächenanlagen geeignet:

- 200 m Randstreifen von Bundesautobahnen / Bundesstraßen (beidseitig, gemessen vom äußeren Rand der Fahrbahn), welche als Acker- oder Grünland ausgewiesen sind.
- 200 m Randstreifen von Bahntrassen (beidseitig), welche als Acker- oder Grünland ausgewiesen sind.
- Landwirtschaftliche Flächen in Abstimmung mit Landwirten, insbesondere bei einer Doppelnutzung durch Agri-PV (bspw. beim Anbau von Sonderkulturen können sich hier flächensparend wertvolle Synergien ergeben)

Siedlungs- und Waldflächen sowie folgende Schutzgebiete werden als ungeeignet für die Solarfreiflächen bewertet:

- Naturschutzgebiete
- Biotope
- Naturdenkmale
- FFH-Gebiete
- Wasserschutzgebiete (Zone I + II)
- Überschwemmungsgebiete
- Vogelschutzgebiete

Wie bereits angesprochen sind hier in Zukunft evtl. (wiedervernässte) Moorböden als geeignete Flächen zu nennen. Der Flächendruck und die hohe Siedlungsdichte in Darmstadt erschwert die Installation von wirtschaftlichen Freiflächenanlagen. Doppelnutzungen (Überdachung von Parkplätzen, Agri-PV, PV an Brücken) sind entsprechend zu prüfen und sollten strategisch und konzeptionell mit hoher Wichtigkeit eruiert werden. Insbesondere die Kombination von Landwirtschaft und Freiflächen-PV-Anlagen gilt es zu überprüfen und zumindest auf Teilflächen umzusetzen (s. Maßnahme: 2.3 Pilotprojekt Umsetzung Agri-PV).

Sollten hierfür Flächen in der Zukunft erschließbar sein, sollten diese möglichst genutzt werden und könnten Abhilfe leisten, um bestimmte Größenordnungen im Bereich der Stromerzeugung durch erneuerbare Energien zu erreichen.

5.2.2.3 Solarthermie

Neben der Stromerzeugung ist die Sonnenenergie auch für die Warmwasserbereitung durch Solarthermie geeignet. Ein 4-Personen-Haushalt benötigt etwa 4-6 m² Kollektorfläche zur Deckung des Warmwasserbedarfes außerhalb der Heizperiode (Mai bis September). Insgesamt können so über das Jahr gesehen rund 60 % des Warmwasserbedarfes durch Solaranlagen abgedeckt werden.

¹⁰ Jedoch sind auch hier verschiedene planerische und rechtliche Schritte einzuhalten und durchzuführen. Dazu gehören bspw. Überprüfungen des Regional- und Flächennutzungsplans und die Aufstellung eines Bebauungsplans.

In sogenannten Kombi-Solaranlagen kann darüber hinaus, neben der Warmwasserbereitung, auch Energie zum Heizen der Wohnfläche genutzt werden. Voraussetzung hierfür ist ein Pufferspeicher und eine ausreichend große Dachfläche, da die Kollektorfläche ungefähr doppelt so groß sein muss, wie bei reinen Solaranlagen für die Warmwasserbereitung. Dies führt zu einer Flächenkonkurrenz mit Photovoltaikanlagen. Eine Möglichkeit wäre hier mit sog. PVT-Kollektoren (Photovoltaik-Thermal-Kollektoren; Hybridkollektoren, also einer Kombination aus Solarthermie und PV in einem Modul) zu arbeiten. Der Nachteil liegt im niedrigeren Wirkungsgrad im Vergleich zur jeweils einzelnen Anwendung von Solarthermie- bzw. PV-Kollektoren. Es ist daher dann meist zielführender die Dachfläche in einen (kleineren) Teil Solarthermie für die Warmwasserbereitstellung und einen (größeren) Anteil PV aufzuteilen.

Für die Wissenschaftsstadt Darmstadt wurde die Annahme getroffen, dass jedes Wohngebäude im Schnitt mit 5 m² Solarthermieanlagen ausgestattet wird. Insgesamt könnten damit 120.000 m² Solarthermie installiert werden. Allerdings ist in diesem Zusammenhang auf die Flächenkonkurrenz zur PV-Stromerzeugung hinzuweisen, verbunden mit der Frage, ob beide Technologien auf den Dächern von Gebäuden auf Akzeptanz und Nachfrage stoßen. Das Potenzial ist damit als theoretisches Maximalpotenzial zu verstehen.

5.2.3 Biomasse

Unter den erneuerbaren Energien ist die Nutzung von Biomasse am flexibelsten einsetzbar. Im Gegensatz zu Wind und Sonne kann die Biomasse „gelagert“ bzw. gespeichert werden und folglich als Puffer eingesetzt werden, wenn Sonne und Wind zu wenig Energie liefern. Dabei kann Biomasse sowohl bei der Strom- als auch bei der Wärmeerzeugung zum Einsatz kommen.

Biomasse ist allerdings mit Abstand die flächenintensivste unter den erneuerbaren Energien. Die Energieerträge aus verschiedenen Substraten variieren dabei zum Teil stark, z. B.:

- 5 MWh/(ha a) aus extensivem Grünland,
- 20 MWh/(ha a) aus Zuckerrüben,
- 60 MWh/(ha a) aus Silomais.

Um den Flächenbedarf zu minimieren und aus sozialen, ökologischen und ethischen Gründen, sollten vor allem Reststoffe genutzt werden, die in der Land- und Forstwirtschaft ohnehin anfallen, z. B. Waldrestholz, Landschaftspflegeholz, organische Abfälle und Gülle.

In der Wissenschaftsstadt Darmstadt existieren bereits sechs Biomasse- bzw. Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von 7,2 MW und einem Stromertrag von 22.405 MWh im Jahr 2018.

Im Rahmen dieses Konzeptes wird davon ausgegangen, dass diese Kapazitäten bis zum Jahr 2035 erhalten bleiben. Dafür muss in einigen Fällen ein Folgenutzungskonzept für die Zeit nach dem Auslaufen der 20-jährigen EEG-Vergütung gefunden werden. Ein weiterer Ausbau bzw. die erweiterte Nutzung von Biomasse wird aufgrund kontroverser Debatten (Teller-Tank-Debatte, stoffliche Nutzung für Kunststoffe, Rehabilitation heimischer Wälder) nicht empfohlen.

5.2.4 Geothermie

Die in der Erde gespeicherte Wärme kann zur Wärmeversorgung der Gebäude in der Wissenschaftsstadt Darmstadt genutzt werden. Grundsätzlich wird zwischen oberflächennaher Geothermie und Tiefengeothermie unterschieden:

- Erdwärmennutzung / Umweltwärme über Flächenkollektoren (bis 1,5 m Tiefe)
- Oberflächennahe Geothermie (bis 400 m Tiefe) kommt zur Anwendung, um einzelne Gebäude oder Gebäudekomplexe mit Wärme zu versorgen.
- Tiefengeothermische Kraftwerke mit Bohrungen bis in 5.000 m Tiefe liefern sowohl Strom als auch Wärme.

Der große Vorteil von Geothermie gegenüber Wind- und Sonnenenergie ist die meteorologische Unabhängigkeit. Die Wärme in der Erde ist konstant vorhanden, ab 5 m Tiefe gibt es keine witterungsbedingten Temperaturveränderungen mehr. Jahreszeitenunabhängig können 24 Stunden am Tag Strom und/oder Wärme produziert werden.

Die Nutzung oberflächennaher Geothermie ist besonders für die partikulare, gebäudebezogene Wärmeversorgung (Niedertemperatur-Heizsysteme) oder kleinere Nahwärmenetze geeignet. Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden in Zusammenhang mit Wärmepumpen werden vor allem im Rahmen von Neubau und Gebäudesanierung installiert.

Neben Erdwärmesonden besteht die Möglichkeit, Erdwärmekollektoren zur Nutzung von Erdwärme einzusetzen. Erdwärmekollektoren zeichnen sich durch einen höheren Flächenbedarf als Erdwärmesonden aus, da sie horizontal im Boden unterhalb der Frostgrenze bis zu einer Einbautiefe von 1,5 m verlegt werden. Da sie das Grundwasser nicht gefährden, können Erdwärmekollektoren eine Alternative zu möglicherweise nicht genehmigungsfähigen Erdwärmesonden darstellen. Da Erdwärmeflächenkollektoren jedoch einen hohen Flächenbedarf aufweisen, ist nicht davon auszugehen, dass diese im stark verdichteten Innenbereich eine große Rolle spielen werden. Dies gilt vor allem auch unter Berücksichtigung des für die Nutzung von Erdwärme nötigen energetischen Standards hinsichtlich Gebäudedämmung und Heizungssystem (Flächenheizungen für Niedertemperaturwärme), der für die Nutzung gegeben sein muss. Es ist stattdessen davon auszugehen, dass insbesondere ein größeres Ausbaupotenzial bei der oberflächennahen Geothermie durch den Einsatz von Erdwärmesonden (bspw. auch unter Neubauten) oder Grundwasserwärmepumpen besteht.

Das Regierungspräsidium Darmstadt sieht Tiefengeothermie-Potenziale vor allem in dem südlichen Teilen Hessens im Bereich des Oberrheingrabens, auf dessen Grenze bzw. Bruchkante Darmstadt liegt. Im Rahmen dieses Klimaschutzkonzeptes wird jedoch davon ausgegangen, dass keine größeren Tiefengeothermieprojekte aufgrund der urbanen Dichte umgesetzt werden können.

Die Nutzung von Umweltwärme in Form von Erdwärme wird in diesem Konzept generell favorisiert, da sie eine Elektrifizierung der Wärmeversorgung ermöglicht und gleichzeitig hohe Effizienzzraten in der Umwandlung bietet.

5.2.5 Fern- und Nahwärme

Leitungsgebundene Wärme ist besonders in Gebieten mit hohem Wärmebedarf (verdichteter Innenbereich, Gewerbegebiete) eine wirtschaftliche Alternative zu Einzelfeu-

erstätten. Zudem bietet diese zentralisierte Form der Wärmeversorgung die Möglichkeit, durch Wechsel der Energieerzeugungsanlagen oder vor allem des genutzten Energieträgers zu schnellen THG-Einsparungen beizutragen.

In Darmstadt trägt Fernwärme aktuell mit 19 % zum Wärmemix bei. Dieser Anteil soll, je nach betrachtetem Szenario (s. Kapitel 5.3, S.69) bis 2035 auf 30 % gesteigert und gleichzeitig eine Dekarbonisierung der Fernwärme eingeleitet werden. Der Betreiber des Fernwärmeversorgers ENTEGA AG arbeitet bereits an einem Konzept zur Dekarbonisierung des bestehenden Fernwärmenetzes. Damit würde diese Form der Fernwärme zu einer hohen THG-Einsparung im Stadtgebiet beitragen.

5.2.6 Ökogas als temporäre Brückentechnologie

Als Ökogas wird ein Erdgasprodukt bezeichnet, dessen THG-Emissionen durch den Versorger kompensiert werden. Damit werden zwar nicht direkt THG-Emissionen eingespart, die durch den Einsatz dieses Gases entstehen, sie werden allerdings an anderer Stelle kompensiert. Ein solches Produkt wird im Stadtgebiet Darmstadt unter anderem durch die Vertriebsgesellschaft der ENTEGA AG angeboten. Die ENTEGA AG gleicht die entstandenen Emissionen durch Förderung, Transport und Nutzung zum Heizen in mindestens derselben Höhe durch Waldschutzprojekte wieder aus. Dies wird regelmäßig vom TÜV-Rheinland überprüft und mit Ökogas-Zertifikaten bestätigt.

Auch wenn bzgl. Langfristigkeit und Wirksamkeit von Kompensationsmaßnahmen kontroverser Diskussionsbedarf besteht, wird im Rahmen dieses Konzeptes und der hier vorgenommenen Berechnungen Ökogas als annähernd THG-neutral bilanziert und mit einem Emissionsfaktor von 30 g/kWh betrachtet (Tabelle 3-1, S.20). **Dennoch soll Ökogas explizit nur als temporäre Brückentechnologie verstanden werden, die während des Ausbaus dekarbonisierter Wärmenetze und dem Ausbau von alternativen Formen der Wärmeversorgung (z. B. Wärmepumpe) zum Einsatz kommt.** Langfristig sollten die Ökogasanteile auf das notwendige Mindestmaß im gesamtstädtischen Wärmemix begrenzt werden und für kommunale Liegenschaften ab 2030 durch alternative Energieträger (z. B. dekarbonisierte Fernwärme, Umweltwärme) ersetzt werden.

5.3 Entwicklung der Energieeinsparung in der Gesamtstadt

Nachfolgend werden zu verschiedenen Schwerpunkten die in Kapitel 4 angesprochenen Szenarien dargestellt. Die Szenarien beziehen dabei die in Kapitel 5.1 (S.49) aufgezeigten Einspar- und Effizienzsteigerungspotenziale für die Sektoren private Haushalte, Verkehr, Industrie und GHD sowie die in Kapitel 5.2 (S.62) berechneten Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energien mit ein. Im Wirtschaftssektor erfolgt die Berücksichtigung eines Wirtschaftswachstums von 1,3 %/a.

5.3.1 Mögliche Szenarien für die Gesamtstadt

In der nachfolgenden Analyse wird schwerpunktmäßig auf ein Szenario eingegangen, welches im Rahmen der Szenarientwicklung „Szenario 5“ genannt wurde. Insgesamt wurden sieben verschiedene Szenarien entwickelt, die unterschiedliche Schwerpunkte und Voraussetzungen beinhalten. Dabei überschneiden sich einige Annahmen, in anderen Bereichen weichen die verschiedenen Szenarien stark voneinander ab. Ziel der verschiedenen Szenarien war es, das Konzept mit einer gewissen Flexibilität und Anpassbarkeit zu erstellen. Somit kann auf evtl. Änderungen von Rahmenbedingungen reagiert werden und die Klimaschutzarbeit frühzeitig angepasst werden.

Tabelle 5-2 (S.71) fasst die Szenarien und die darin getroffenen Annahmen zusammen. Die Szenarien sind nach den Unterscheidungskriterien benannt. Die Entwicklungen der THG-Emissionen in den unterschiedlichen Szenarien sind in Abbildung 5-7 (S.72) dargestellt.

Tabelle 5-2: Zusammenfassung der wichtigsten Annahmen für die verschiedenen Szenarien

Szenario	Sanierungs- rate [%]	Fokus des Energie- trägermix	Fernwärme- mix	PV-Ausbau (des Maximal- potenzials) [%]	Ökostrom- anteil vor Ort [%]	Mobilität ¹¹	Ökogas- anteil vor Ort [%]
1. Trend	1	Fernwärme	KWK konventionell	30	Bundesmix	Trend	25
2. Trend_Substitution	0,8 bis 4,5	Fernwärme	KWK konventionell	30	80	Trend	80
3. Trend_Substitution_Mob	0,8 bis 4,5	Fernwärme	KWK konventionell	30	80	20 % / 88 %	80
4. KS_08_45_WP_KWK_konv_ PV_30	0,8 bis 4,5	Wärme- pumpe	KWK konventionell	30	80	20 % / 88 %	80
5. KS_08_45_FW_Strombasiert_ PV_75 (Klimaschutzszenario Darmstadt)	0,8 bis 4,5	Fernwärme	Strombasiert	75	80	20 % / 88 %	80
6. KS_06_WP_Strombasiert_ PV_75	6	Wärme- pumpe	Strombasiert	75	80	20 % / 88 %	80
7. KS_06_WP_Strombasiert_ PV_75_Wirtschaft	6	Wärme- pumpe	Strombasiert	75	80	20 % / 88 %	80

¹¹ Trend: Fortführung des bundesweiten Trends.

20 % / 88 %: Reduzierung der Fahrleistung des MIV um 20 % und gleichzeitiger Anstieg der alternativen Antriebe auf 88 %.

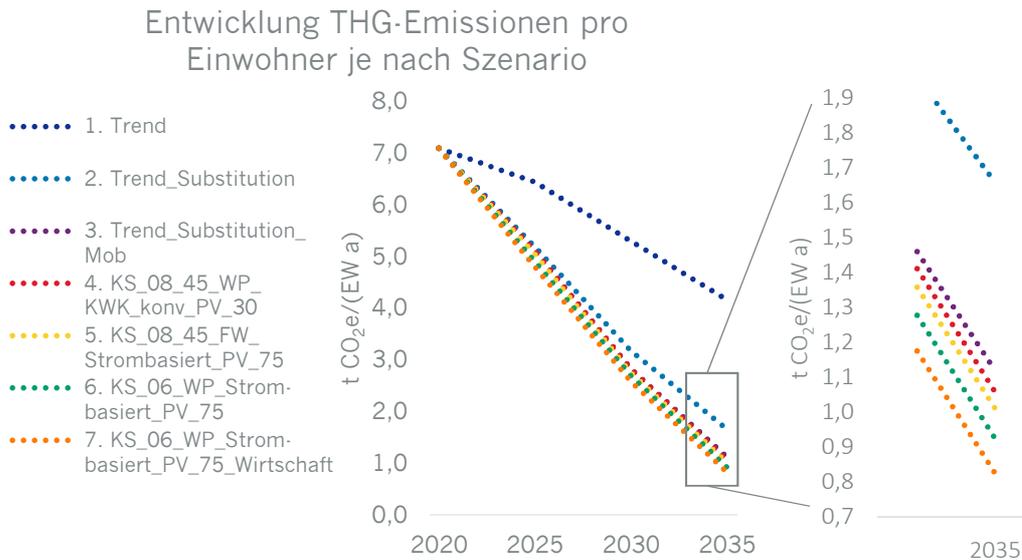


Abbildung 5-7: Entwicklung der THG-Emissionen der verschiedenen Szenarien

Das Trendszenario (dunkelrote Linie in Abbildung 5-7, S.72) führt die aktuellen Entwicklungen fort. Die Sanierungsquote bleibt bei 0,8 % pro Jahr, im Bereich der Wärmeversorgung wird in großen Teilen weiter auf den bisherigen Wärmemix gesetzt und im Bereich der Mobilität nimmt die Fahrleistung des motorisierten Individualverkehrs zu, wobei sich auf Grundlage aktueller Marktdynamiken durchaus moderate Steigerungsraten im Bereich E-Mobilität ergeben. Der Strombezug in der Gesamtstadt verhält sich in diesem Szenario analog zum Bundesstrommix. Bei diesen Entwicklungen lägen die pro Kopf Emissionen in der Wissenschaftsstadt Darmstadt im Jahr 2035 noch bei knapp über 4 t CO₂e/(EW a). Das Ziel der Klima- und Treibhausgasneutralität bis 2035 würde damit nicht erreicht, weshalb erhebliche zusätzliche Anstrengungen im Bereich Klimaschutz von Nöten sind um die Pariser Klimaschutzziele zu erreichen.

Die übrigen Szenarien verfolgen verschiedene Pfade, bei denen Anstrengungen im Bereich Klimaschutz verstärkt Wirkung entfalten: Von der Anhebung der Sanierungsrate auf bis zu 6 %, über den prioritären Einsatz von Wärmepumpen oder Fernwärme ((öko-)strombasiert¹²) im Wärmemix, die Ausschöpfung der PV-Potenziale in bestimmten Anteilen bis zur Minderung der Fahrleistung im Bereich des MIVs um 20 % und einer Elektrifizierung der verbleibenden Fahrleistung zu 88 %. Um Emissionseinsparungen im Sinne der Zielstellung erreichen zu können, wird der Bezug von Ökostrom und Ökogas in der breiten Stadtgesellschaft und in den Sektoren Industrie und GHD angenommen bzw. als Ziel formuliert. Der Bezug von Ökostrom und Ökogas resultiert ganzheitlich betrachtet in niedrigeren THG-Emissionen (aufgrund der niedrigeren Emissionsfaktoren der umweltfreundlicheren Energieträger) und ermöglicht daher ein schnelleres Erreichen der bilanziellen Treibhausgasneutralität.

Die in enger Abstimmung mit der Stadt Darmstadt durchgeführte Analyse sämtlicher Kombinationsmöglichkeiten hat ergeben, dass das Szenario 5 (KS_08_45_FW_

¹² Mit „strombasierter“ Fernwärme ist hier ein Wärmemix der Wärmenetze auf Basis des Energieträgers Strom gemeint. D. h. es kommt ein Mix aus Power to Gas und Umweltwärme zum Einsatz.

Strombasiert_PV_75) die auf Basis aktueller Datenlage heraus beste Strategie zur Zielerreichung darstellt. Szenario 5 stellt eine Kombination aus erfolgreicher Zielerreichung und vergleichsweise realistischer Umsetzungsmöglichkeiten der notwendigen Änderungen dar. Es ergeben sich mit knapp 1 tCO₂e/(EW a) im Jahr 2035 Restemissionen in Höhe des in Kapitel 2 genannten und erläuterten Zieles. Auf Basis dieser Annahmen kann von einer Netto-Treibhausgasneutralität im Jahr 2035 gesprochen werden.

Die noch ambitionierteren Szenarien würden in vielen Bereichen eine sofortige Transformation sämtlicher Gesellschaftsbereiche, Konsummuster und Wirtschaftsmodelle sowie einen sofortigen Umbau sämtlicher städtischer Infrastrukturen beinhalten. Für die höchstmöglichen THG-Einsparungen wäre beispielsweise ein sofortiger Anstieg der Sanierungsrate auf 6 % notwendig. Dies ist auf Basis der Ausgangssituation weder realistisch noch vor dem Hintergrund von bspw. Fachkräftemangel oder Lieferengpässen bei Baumaterialien als erreichbar einzuordnen. Somit wird sich im Folgenden vor allem auf das Szenario 5 bezogen, welches im weiteren Verlauf als „Klimaschutzszenario Darmstadt“ bezeichnet wird.

5.3.2 Annahmen im Klimaschutzszenario Darmstadt (Szenario 5)

Im Klimaschutzszenario Darmstadt werden vermehrt klimaschutzfördernde Maßnahmen mit einbezogen. Es wird davon ausgegangen, dass Maßnahmen der Beratung bezüglich Sanierung, Effizienztechnologien und Nutzerverhalten erfolgreich umgesetzt werden und eine hohe Wirkung zeigen. Effizienzpotenziale können, aufgrund der guten Wirtschaftlichkeit verstärkt umgesetzt werden. Die Effizienzpotenziale in den Sektoren Wirtschaft und private Haushalte werden in hohem Umfang gehoben.

Im Verkehrssektor greifen die Marktanzreizprogramme für alternative Antriebe (bspw. Elektrofahrzeuge) und damit sinkt der Endenergiebedarf in diesem Sektor stark ab. Zusätzlich wird das Nutzerverhalten positiv beeinflusst, wodurch die Fahrleistung des motorisierten Individualverkehrs sinkt und der Anteil der Nahmobilität am Verkehrssektor steigt.

Erneuerbare Energien-Anlagen, vor allem Photovoltaik, werden mit hohen Zubauraten errichtet. Die Annahmen des Klimaschutzszenarios setzen zum Teil Technologiesprünge, rechtliche Änderungen sowie Preissenkungen und wirksame Öffentlichkeitskampagnen voraus, die gesteigerte Zubauraten, den Weg ebnen.

5.3.3 Szenarien: Brennstoffbedarf

Die Verwendungskonzepte für die zukünftig verfügbaren Brennstoffe sind sektorenübergreifend und umfassen die Brennstoffbedarfe der Sektoren Private Haushalte, GHD und Industrie.

In der nachfolgenden Abbildung 5-8 (S.74) ist die Entwicklung des Brennstoffbedarfs nach Energieträgern bis 2035 dargestellt. Bei den verwendeten Zahlen handelt es sich um witterungskorrigierte Werte. Diese können nicht eins zu eins mit den Werten aus der THG-Bilanz verglichen werden, da dort, konform zur BSKO-Systematik, alle Werte ohne Witterungskorrektur angegeben sind. Die Witterungskorrektur findet im Bereich der Szenarientwicklung Anwendung, da so die witterungsabhängigen Besonderheiten des Bilanzjahres herausgerechnet werden können und ein allgemein gültiger Entwicklungspfad prognostiziert werden kann.

Durch Effizienzgewinne in allen Sektoren sinkt im Klimaschutzszenario Darmstadt (s. Kapitel 5.3.2, S.73) der Energiebedarf im Bereich Wärme um rund 16 % auf einen Wert von 2.160.213 MWh im Zieljahr 2035. Dabei werden die Energieträger Flüssiggas sowie Braun- und Steinkohle bis zum Jahr 2030 durch andere Energieträger – etwa Ökogas, Umweltwärme und Heizstrom – substituiert, während Heizöl erst bis zum Jahr 2035 vollständig wegfällt. Erdgas sowie die sonstigen konventionellen Energieträger entfallen bis 2035 zwar nicht vollständig, werden aber auf ein Minimum reduziert und ebenfalls durch Ökogas, Umweltwärme und Heizstrom sowie Biogase und den weiteren Ausbau des bereits bestehenden Fernwärmenetzes ersetzt. Insgesamt machen im Jahr 2035 die Energieträger Fernwärme (30 %), Ökogas (23 %), Umweltwärme (16 %) und Heizstrom (11 %) die größten Anteile am Wärmemix aus (in Summe 80 %).

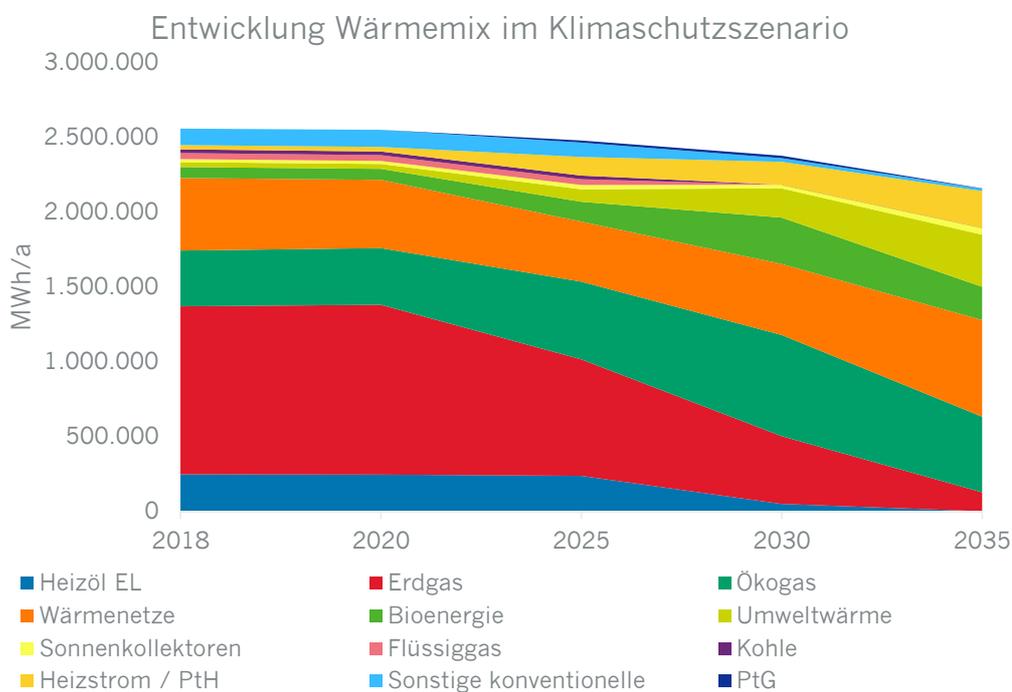


Abbildung 5-8: Zukünftiger Brennstoffbedarf im Klimaschutzszenario 2035

5.3.4 Szenarien: Kraftstoffbedarf

Aufbauend auf der Potenzialanalyse des Verkehrssektors in Kapitel 5.1.3 (S.58) wird nachfolgend die Entwicklung des Kraftstoffbedarfs nach Energieträgern bis 2035 für das Klimaschutzszenario Darmstadt dargestellt. Die Darstellung basiert auf den Potenzialberechnungen des Straßenverkehrs ohne Autobahn und den damit verbundenen Annahmen und Studien, da der Magistrat auf diese keinen Einfluss hat. Der Endenergiebedarf für 2018 unterscheidet sich somit von dem in der Bilanz (s. Kapitel 3, S.17) ausgewiesenen Wert, da die Fahrleistungen der Autobahnen hier rausgerechnet wurden.

Die nachfolgende Abbildung 5-9 (S.75) zeigt den zukünftigen Kraftstoffbedarf im Klimaschutzszenario Darmstadt. Es wird ersichtlich, dass der Endenergiebedarf im Verkehrssektor bis zum Jahr 2035 um ca. 68 % abnimmt. Dies liegt etwa in zu erwartenden Effizienzsteigerungen sowie im Umstieg auf die deutlich effizienteren alternativen Antriebe. Die alternativen Antriebe spielen im Jahr 2035 mit einem Anteil von 70 % am Energiebedarf im Sektor Verkehr die größte Rolle. Jedoch verbleiben auch bis zum Zieljahr 2035 die restlichen 30 % des Energiebedarfs bei den konventionellen Antrieben und damit bei Diesel und Benzin, was auf einen bestehenden Bestand an Altfahrzeugen zurückzuführen ist. Diese Verteilung der Endenergiebedarfe wird auf Basis eines 88 % hohen Anteils an alternativen Antrieben erreicht. Es wird davon ausgegangen, dass die THG-Minderungen im Sektor Verkehr über ein Zusammenspiel aus Effizienzgewinnen, Minderung der Fahrleistungen, ein verändertes Nutzerverhalten sowie einem Energieträgerwechsel hin zu erneuerbaren Antrieben erfolgen.

Klimaschutzszenario: Entwicklung Endenergiebedarf Verkehr bis 2035

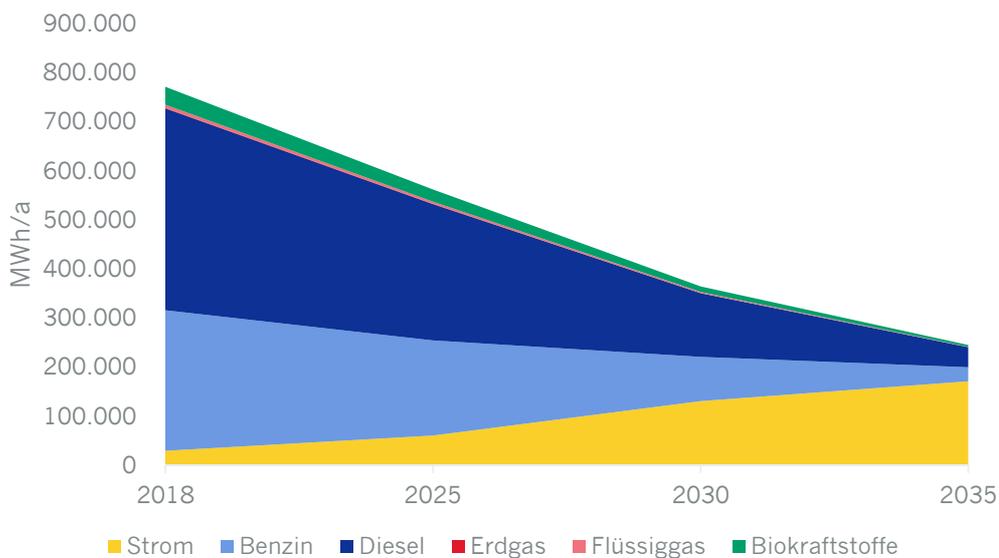


Abbildung 5-9: Zukünftiger Kraftstoffbedarf im Klimaschutzszenario

5.3.5 Szenarien: Strombedarf und erneuerbare Energien

Nachfolgend wird zunächst der Strombedarf der Wissenschaftsstadt Darmstadt im Klimaschutzszenario betrachtet und daraufhin die ermittelten EE-Potenziale dargestellt. Abbildung 5-10 (S.76) zeigt die Entwicklung des Strombedarfs inklusive der für den Wärmesektor notwendigen Strombedarfe.

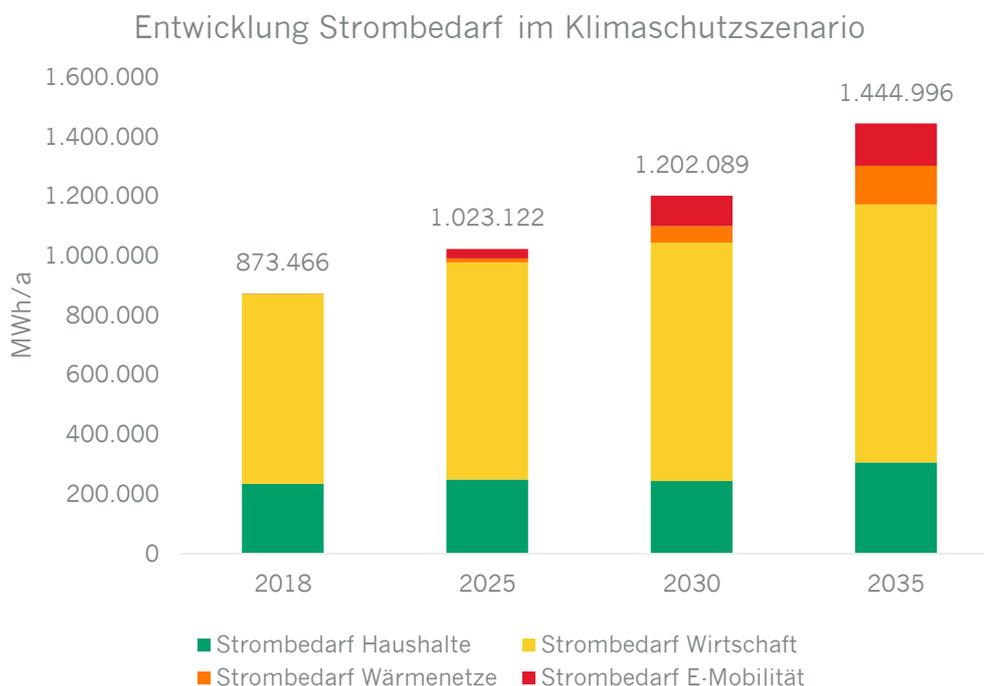


Abbildung 5-10: Entwicklung des Strombedarfs im Klimaschutzszenario

Wie Abbildung 5-10 (S.76) zu entnehmen, steigt der Strombedarf im Klimaschutzszenario Darmstadt bis zum Jahr 2035 gegenüber dem heutigen Niveau um rund 65 % an. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass das Stromsystem in Zukunft nicht nur den klassischen Strombedarf, sondern auch den zukünftig anzunehmenden Anteil am Bedarf für die Sektoren Wärme und Verkehr ausgleichen muss (da die konventionellen Energieträger in diesem Bereich substituiert werden müssen). Des Weiteren steigt der Strombedarf im Wirtschaftssektor aufgrund des angenommenen Wirtschaftswachstums generell etwas an.

Insgesamt sind rund 60 % des Strombedarfs im Jahr 2035 auf den Sektor Wirtschaft zurückzuführen. Rund 21 % des Strombedarfs entfallen auf die privaten Haushalte. Im Bilanzjahr 2018 lag der Anteil der Wirtschaft bei 73 %, der Anteil der priv. Haushalte bei 27 %. Dies zeigt, dass im Zieljahr größere Bedarfe durch die Wärmenetze und den Sektor Verkehr vorhanden sind.

Die ermittelten EE-Potenziale beruhen auf den in Kapitel 5.2 (S.62) dargestellten Inhalten. Insgesamt besitzt die Wissenschaftsstadt Darmstadt vor allem im Bereich Photovoltaik über ein signifikantes Potenzial. In den Bereichen Bioenergie und erneuerbare KWK sind dagegen nur vergleichsweise geringe Potenziale vorhanden (Abbildung 5-11, S.77).

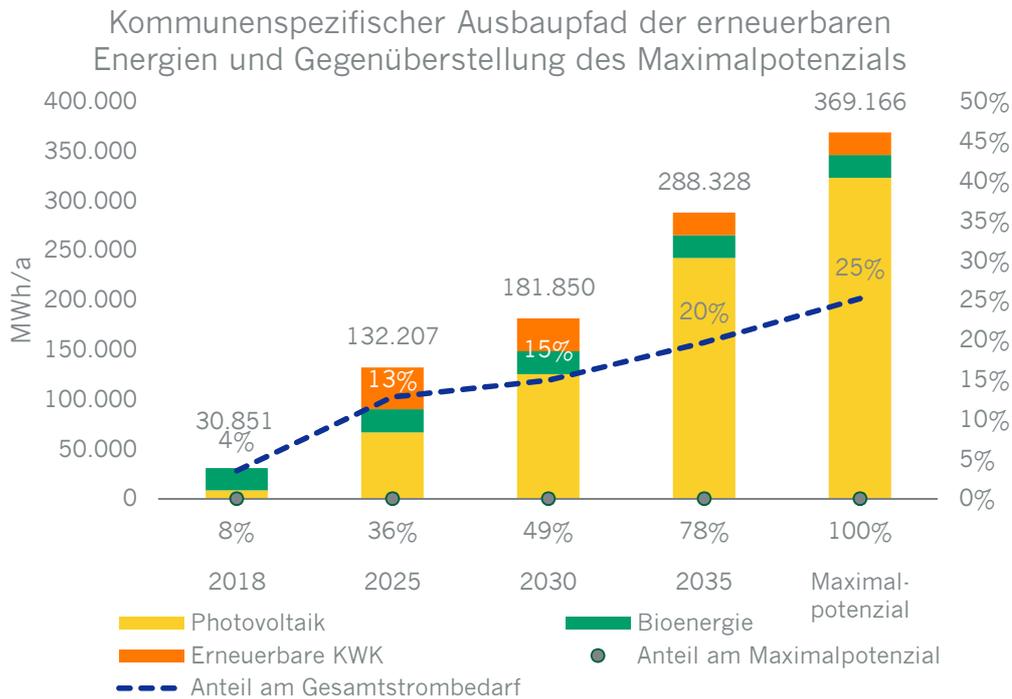


Abbildung 5-11: Entwicklung der erneuerbaren Energien in der Wissenschaftsstadt Darmstadt unter Berücksichtigung des Maximalpotenzials

Selbst das maximale Gesamtpotenzial reicht nicht aus, um den Strombedarf der Stadt bilanziell, vollständig zu decken. Wie beschrieben, muss in Zukunft das Stromsystem nicht nur die Fluktuationen durch den klassischen Strombedarf, sondern auch den zukünftig anzunehmenden Strombedarf für die Sektoren Wärme und Verkehr ausgleichen, um die benötigte Energie für beispielsweise E-Mobilität und Umweltwärme bereitzustellen.

Wie Abbildung 5-11 (S.77) zu entnehmen ist, können im Zieljahr maximal rund 369.166 MWh/a Strom aus erneuerbaren Energien gewonnen werden. Damit könnte bilanziell ein Anteil von 25 % am Gesamtstrombedarf im Klimaschutzszenario Darmstadt gedeckt werden. Dafür müssten 100 % des Dach-PV Potenzials laut Solarkataster Hessen ausgenutzt werden. Da diese Ausnutzung als unrealistisch anzusehen ist, erfolgt im Klimaschutzszenario Darmstadt die Annahme, dass das im Solarkataster Hessen ausgewiesene Dach-Potenzial zu 75 % ausgeschöpft wird. Damit ergibt sich ein bilanzieller Deckungsgrad von 20 % (installierte Leistung: 288 MWp; Ertrag: 242.516 MWh/a). Dies ist eine sehr ambitionierte Zielstellung, die realistisch betrachtet nahezu als eine „maximale Ausnutzung“ angesehen werden kann.

5.3.6 End-Szenarien: Endenergiebedarf in der Gesamtstadt

Folgend werden die aufgestellten „Teil-Klimaschutzszenarien Darmstadt“ der vorangehenden Kapitel zusammengefasst als „End-Szenarien“ dargestellt. Dabei werden die zukünftigen Entwicklungen des Endenergiebedarfs sowie der THG-Emissionen bis zum Jahr 2035 differenziert betrachtet.

Für die zukünftige Entwicklung des Endenergiebedarfs bis 2035 in der Gesamtstadt Darmstadt wird die Entwicklung des Endenergiebedarfs nach den Verwendungszwecken Strom, Wärme, Prozesswärme und Mobilität in 5-Jahres-Schritten bis 2035 dargestellt. Stromverbräuche, die beispielsweise im Bereich Wärme oder Mobilität anfallen, werden auch diesen Bereichen in der folgenden Abbildung zugeordnet.

In der nachfolgenden Abbildung 5-12 (S.78) ist die Entwicklung des Endenergiebedarfs, ausgehend vom Basisjahr 2018, nach Anwendungsart dargestellt. Die Daten wurden, wie vom ifeu für Potenzialanalysen vorgesehen, witterungskorrigiert. Die Einsparpotenziale stammen dabei aus den vorangegangenen Potenzialanalysen. Es zeigt sich, dass bis 2035 (bezogen auf das Bilanzjahr 2018) 23 % des Endenergiebedarfs eingespart werden kann. Dabei sind die größten Einsparungen in den Bereichen Mobilität (ohne Autobahn) sowie Wärme und Warmwasser zu erzielen. Es ist zu beachten, dass hier aufgrund der Aufteilung nach Anwendungsarten unter „Strom“ tatsächlich nur direkte Stromnutzung aufgeführt ist und die für Wärmeanwendungen verwandten Strommengen unter „Wärme + Warmwasser“ bzw. „Prozesswärme“ verrechnet sind. Dort sind also Strombedarfe für Umweltwärme, Wärmenetze, Heizstrom oder PtG inkludiert.

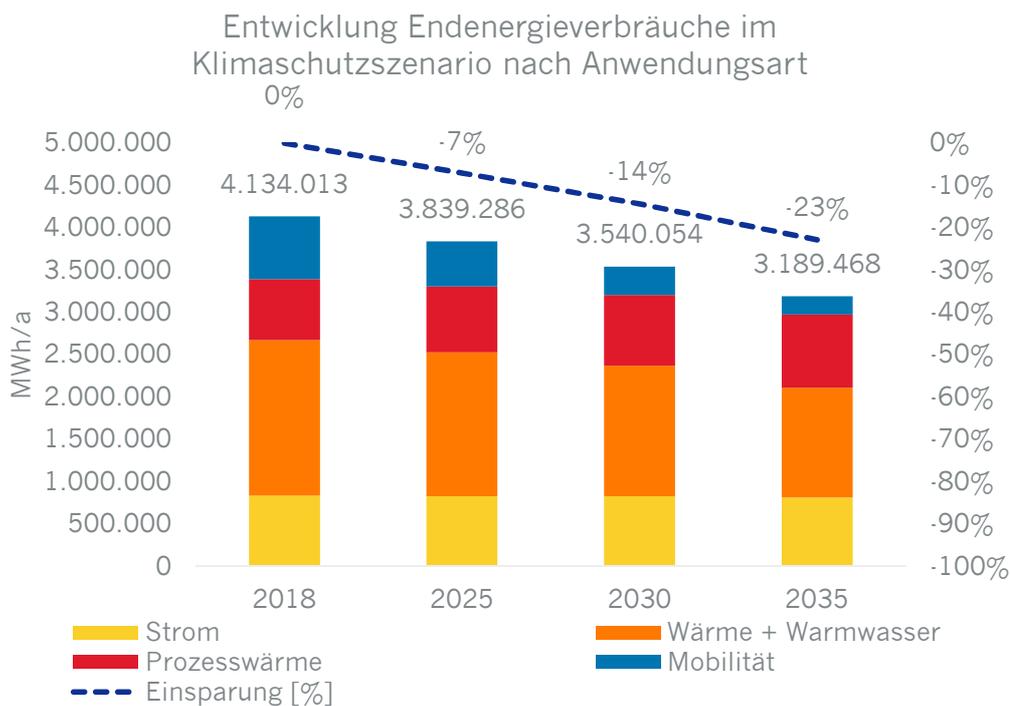


Abbildung 5-12: Entwicklung des Endenergiebedarfs nach Anwendungsart im Klimaschutzszenario

Auf Basis dieser Analyse ergeben sich spezifische Sektorenziele für die Bereiche Wirtschaft (GHD und Industrie), Verkehr und für die privaten Haushalte.

Tabelle 5-3: Sektorenziele witterungskorrigierter Endenergiebedarfe

Sektor	Stand 1990 [MWh/a]	Stand 2018 [MWh/a]	Ziel 2025 [MWh/a]	Ziel 2030 [MWh/a]	Ziel 2035 [MWh/a]	Veränderung 2018-2035 [%]	Veränderung 1990-2035 [%]
GHD	632.576	757.212	731.783	715.196	670.001	-12 %	+6 %
Industrie	2.298.636	1.225.618	1.271.142	1.315.590	1.321.106	+8 %	-43 %
Haushalte	1.238.915	1.420.817	1.303.878	1.173.926	982.642	-31 %	-21 %
Verkehr	1.126.835	771.967	532.484	335.342	215.718	-72 %	-81 %
Gesamt	5.296.962	4.175.614	3.839.287	3.540.054	3.189.467	-23 %	-40 %

Bei Erreichung der diesem KSK zugrundeliegenden Ziele im Zieljahr 2035 beträgt der Endenergiebedarf des Sektors GHD rund 670.000 MWh/a. Das entspricht im Vergleich zu 2018 einer Reduzierung um 12 %, und einer Steigerung um 6 % gegenüber dem Jahr 1990. Im Bereich der Industrie ergibt sich eine Steigerung des Endenergiebedarfs um 8 % im Vergleich zu 2018 und eine Reduzierung von 43 % gegenüber 1990. Bei der Industrie fällt der deutliche Rückgang der Bedarfe zwischen 1990 und 2018 auf, welcher sich vor allem aus dem Zeitraum zwischen 2005 und 2010 ergibt. Im Bereich der privaten Haushalte ergibt sich eine Minderung des Endenergiebedarfes sowohl gegenüber 2018 (31 %) als auch 1990 (21 %). Im Verkehr ergibt sich durch Reduzierung des MIVs und der Nutzung alternativer Antriebe der höchste prozentuale Rückgang des Endenergiebedarfes in der Gesamtstadt. So reduziert sich der Energiebedarf gegenüber 2018 um 72 % und 1990 um 81 %. Insgesamt haben sich die Energiebedarfe im Jahr 2035 gegenüber 2018 um 24 % und 1990 um 40 % reduziert.

5.3.7 End-Szenarien: THG-Emissionen in der Gesamtstadt

Für die zukünftige Entwicklung der THG-Emissionen bis 2035 in der Gesamtstadt wird die Entwicklung der THG-Emissionen nach den Energieformen Strom, Brennstoff und Verkehr in 5-Jahresschritten bis 2035 aufgezeigt. Für die Berechnung der durch importierten Strom verursachten Emissionen innerhalb des Klimaschutzszenarios wird im Jahr 2035 ein LCA-Faktor (Emissionsfaktor inkl. energetischer Vorketten, s. a. Kapitel 3.1, S.17) von 59 gCO₂e/kWh angenommen (beruhend auf Angaben des *ifeu 2016*). Dieser Faktor beinhaltet einen Bundesstrommix mit knapp 80 % Ökostrom.

In der nachfolgenden Abbildung 5-13 (S.80) ist die witterungsbereinigte Entwicklung der THG-Emissionen, ausgehend vom Basisjahr 2018, dargestellt. Die Einsparpotenziale stammen dabei aus den vorangegangenen Potenzialanalysen. Die THG-Emissionen sinken im Klimaschutzszenario Darmstadt um 85,1 % bis 2035. Dies entspricht einem **Endergebnis von 1,0 tCO₂e/(EW a)**.

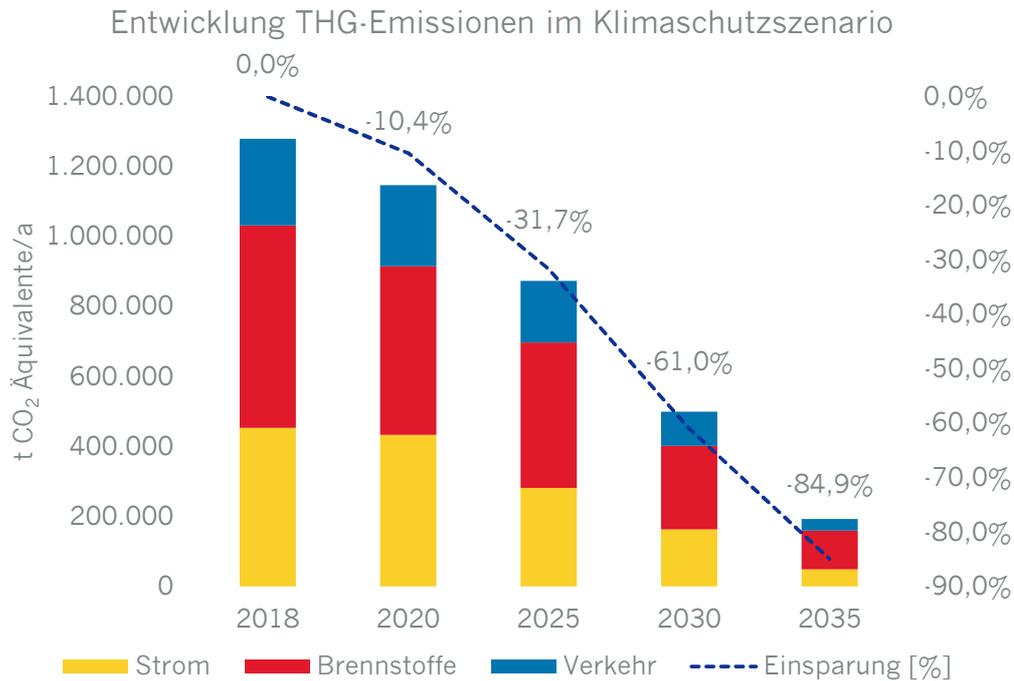


Abbildung 5-13: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Klimaschutzszenario

Auf Basis dieser Analyse ergeben sich spezifische Sektorenziele bezüglich der THG-Emissionen für die Bereiche Wirtschaft (GHD und Industrie), Verkehr und private Haushalte.

Tabelle 5-4: Sektorenziele THG-Emissionen

Sektor	Stand 1990 [t]	Stand 2018 [t]	Ziel 2025 [t]	Ziel 2030 [t]	Ziel 2035 [t]	Minderung 2018-2035 [%]	Minderung 1990-2035 [%]
GHD	307.438	268.332	185.026	99.518	37.956	-14 %	-12 %
Industrie	1.038.759	388.660	271.260	176.225	82.452	-21 %	-8 %
Haushalte	472.466	375.745	238.083	123.065	37.341	-10 %	-8 %
Verkehr	396.603	247.370	176.616	98.259	33.045	-13 %	-8 %
Gesamt	2.215.266	1.280.107	870.985	497.067	190.794	-15 %	-9 %

In der Tabelle 5-3 (S.79) wird deutlich, dass in der Gesamtstadt Darmstadt die Reduzierung der Energiebedarfe, bis auf den Sektor Verkehr, überschaubar bleiben. Dies gilt nicht für die THG-Emissionen (Tabelle 5-4, S.80), denn diese weisen aufgrund der weitestgehend dekarbonisierten Energieversorgung und den Einsatz alternativer Technologien signifikante Rückgänge auf. So reduzieren sich die THG-Emissionen im Bereich GHD gegenüber 2018 um 86 % und gegenüber 1990 um 88 %. Die Emissionen

der Industrie sinken bis zum Jahr 2035 um 79 % gegenüber 2018 und um 92 % gegenüber 1990. Auch die privaten Haushalte können bis 2035 ihre Emissionen gegenüber 1990 um 92 % reduzieren. Gleiches gilt für den Verkehr. Insgesamt haben sich die THG-Emissionen damit in der Gesamtstadt bis 2035 um 91 % gegenüber 1990 und um 85 % gegenüber 2018 reduziert. Im Jahr 2035 werden in der Wissenschaftsstadt Darmstadt damit weniger als 200.000 Tonnen ausgestoßen. Die kommunalen Emissionen sind in diesen Szenarien im Bereich GHD enthalten und machen insgesamt ca. 2 % aus. **Allerdings ist an dieser Stelle zu berücksichtigen, dass witterungsbereinigte Daten, wie vom ifeu im Rahmen der Potenzialanalyse gefordert, verwendet wurden. Es werden sich also andere Reduktionshöhen ergeben, wenn Daten ohne Witterungskorrektur (wie in der THG-Bilanz) hinzugezogen werden.**

5.3.8 Zusammenfassung und Handlungserfordernisse für die Gesamtstadt

Die nachfolgende Tabelle stellt für die Wissenschaftsstadt Darmstadt eine Zusammenfassung der Instruktionen aus den aufgezeigten Potenzialen und Szenarien dar. Dabei werden die Instruktionen nach den folgenden Handlungsfeldern bzw. Sektoren aufgeteilt:

- 1. Sanierung und Entwicklung Wärmemix:** Bei der Sanierungsrate wird von einer variablen, aber stetig steigenden Sanierungsrate ausgegangen, die 4,5 % bis 2035 erreichen muss. Damit könnte eine Energieeinsparung im Bereich der Wohngebäude von 37 % erzielt werden. Neben der Sanierung des Gebäudebestands bedarf zudem der Wärmemix einer entsprechenden Veränderung: Im zentralen Klimaschutzszenario Darmstadt sind die fossilen Energieträger Steinkohle und Heizöl jeweils bis zum Jahr 2035 durch andere Energieträger zu substituieren, wobei Steinkohle bereits bis 2030 bestenfalls aus dem Wärmemix verdrängt wird. Für die Substitution wird vor allem auf (dekarbonisierte) Fernwärme, Ökogas, Umweltwärme und Heizstrom/PtH gesetzt. Kleinere Mengen werden durch Bioenergie, Sonnenkollektoren und Power-to-gas gedeckt. Das Müllheizkraftwerk wird weiterhin genutzt und steuert vor allem Anteile im Bereich der Fernwärme bei.
- 2. Mobilität und Verkehr:** Im Bereich Mobilität und Verkehr wird die notwendige Minderung der Fahrleistung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) sowie der notwendige Anteil alternativer Antriebe an der Fahrleistung dargestellt. Der MIV muss um rund 20 % gesenkt werden (etwa durch Stärkung des Umweltverbunds und weitere entsprechende Maßnahmen). Der Anteil der alternativen Antriebe an der verbleibenden Fahrleistung muss rund 88 % betragen (auch hier sind entsprechende Maßnahmen umzusetzen). Für die bereits im Rahmen dieses KSK entwickelten Maßnahmen s. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** (S.**Fehler! Textmarke nicht definiert.**).
- 3. Erneuerbare Energien:** Aufgrund der Flächenkonkurrenzen liegt das größte Potenzial der EE im Bereich PV auf Dachflächen. Im Rahmen des Klimaschutzszenarios Darmstadt wird mit einer Ausschöpfung des laut Solarkataster Hessen vorliegenden Potenzials von 75 % gerechnet. Damit ergibt sich unter Berücksichtigung veränderter Strombedarfe durch die Wärmenetze und die Elektrifizierung des Verkehrs ein bilanzieller Deckungsgrad von 20 %. Das im Solarkataster Hessen für die Wissenschaftsstadt Darmstadt ausgewiesene Maximalpotenzial beträgt auf Dachflächen ca. 384 MWp, womit ein Ertrag von rund 323 GWh möglich wäre. Der prognostizierte Strombedarf unter

Berücksichtigung der anzugehenden Maßnahmen würde rund 1.445 GWh im Jahr 2035 betragen.

Die Bioenergie hat im erneuerbaren Strommix im Jahr 2035 einen Anteil von knapp über 23.000 MWh, was knapp 7 % im erneuerbaren Strommix darstellt.

Wichtig ist an dieser Stelle nochmal zu betonen, dass die Handlungsmöglichkeiten der Stadt in diesem Bereich eingeschränkt sind. Die Stadt kann streng genommen lediglich durch Informationen, Anreize, Förderungen und in Teilen durch Regulierung Veränderungen anstoßen. Tabelle 5-5 (S.83) fasst die Handlungserfordernisse zusammen.

Tabelle 5-5: Zusammenfassung und Handlungserfordernisse für die Gesamtstadt

Klimaschutzszenario Darmstadt – Gesamtstadt	
Sanierung und Entwicklung Wärmemix	
Sanierungsrate	0,8 % - 4,5 % pro Jahr (steigend bis 2035); Energieeinsparung von 37 Prozent im Bereich der Wohngebäude
Rolle fossiler Energieträger	Heizöl: Reduktion von 80 Prozent der Verbräuche bis 2030, Ausstieg bis 2035 Erdgas: mehr als Halbierung der Verbräuche bis 2030, Reduktion um 89 Prozent bis 2035 Steinkohle: Ausstieg bis 2035, bestenfalls 2030
Alternative zu den fossilen Energieträgern	Substitution durch: (dekarbonisierte) Fernwärme, Ökogas, Umweltwärme, Heizstrom/PtH, Biogas
Mobilität und Verkehr	
Minderung Fahrleistung MIV	-20 % bis zum Zieljahr 2035 (Basisjahr 2018)
Anteil alternativer Antriebe an der Fahrleistung	88 % bis zum Zieljahr 2035 (Basisjahr 2018)
Erneuerbare Energien	
Maximaler, bilanzieller Deckungsgrad am Strombedarf (unter Berücksichtigung der gesteigerten Strombedarfe für Wärmenetze und Mobilität)	20 % Deckung bei 75 % Ausschöpfung des Maximalpotenzials an Dach-PV (bei 100 % Nutzung des PV Potenzials: 24 % Deckungsgrad; bei 30 % Nutzung des PV Potenzials: 8 % Deckungsgrad)
Wesentliche Erneuerbare Energien	Dachflächen-PV, Bioenergie, in Teilen Freiflächen-PV und Erneuerbare KWK

6 ABSCHLIEBENDE ERLÄUTERUNGEN ZUR TREIBHAUSGAS-NEUTRALITÄT

Wie den Kapiteln 4 (S.33) und 5 (S.49) zu entnehmen, werden auch im ambitionierten Klimaschutzszenario Darmstadt nicht null Emissionen (tatsächlich null Tonnen THG-Emissionen pro Einwohner*in) erreicht. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass nicht in allen Sektoren bis 2035 realistischerweise komplett auf fossile Energieträger verzichtet werden kann (z. B. Verkehr), aber auch darauf, dass selbst für erneuerbare Energieträger Emissionen zu berücksichtigen sind (bspw. Photovoltaik verfügt über einen Emissionsfaktor von 40 gCO₂e/kWh). Dies ist auf die aus der Bilanz bekannte BSKO-Systematik zurückzuführen, welche nicht nur die direkten Emissionen, sondern korrekterweise auch die durch die Vorkette entstandenen Emissionen mit einbezieht (s. a. Kapitel 3.1, S.17). Eine Treibhausgasneutralität, im Sinne von null Emissionen, ist mit dieser Systematik also tatsächlich nicht möglich.

Dies ist aber auch nicht notwendig, denn eine Treibhausgasneutralität im Zieljahr wird erreicht, wenn „ein Gleichgewicht zwischen Treibhausgas-Emissionen und deren Abbau herrscht“ (dena.de, 2021). Verbleibende (energetische) Emissionen müssen also über die Senkenfunktion natürlicher Kohlenstoffspeicher wieder der Atmosphäre entzogen werden.

Wie in Kapitel 2 (S.14) erläutert können als Orientierungswert THG-Emissionen von weniger als einer Tonne pro Einwohner*in und Jahr herangezogen werden (UBA, 2013). Dieser Wert errechnet sich auf Basis einer Einsparung von THG-Emissionen in Höhe von 95 % im Vergleich zum Basisjahr 1990 (UBA, 2013). Wichtig ist, diesen Zahlenwert nicht als konkrete, explizite Zielstellung zu benennen. Die tatsächlich noch als THG-neutral anzusehenden Restemissionen hängen von vielen Faktoren ab, bspw. von den gewählten Bilanzgrenzen und sonstigen Bilanzierungssystematiken (bspw. bei der Kompensation).

Umsetzungsmöglichkeiten für die Kompensation sind zum einen die Vernässung von Mooren und Feuchtgebieten, aber auch eine Aufforstung und Renaturierung von Waldgebieten, bestenfalls im lokalen Handlungsbereich der Wissenschaftsstadt Darmstadt. Weiterhin besteht die Möglichkeit von Humusaufbau in der Landwirtschaft. Um verbleibende Treibhausgasemissionen abzubauen, müssen also natürliche Senken genutzt, reaktiviert und stabilisiert werden. Weitere Kompensationsmöglichkeiten (beispielsweise über Zertifikate) müssen kommunal diskutiert werden. Im Maßnahmenkatalog wurde dies berücksichtigt. Um eine Netto-Null Treibhausgasneutralität für die Gesamtstadt zu erreichen, müssen gemäß des Klimaschutzszenarios Darmstadt in 2035 190.794 Tonnen kompensiert werden. Davon liegen 1.124 Tonnen im direkten Handlungsbereich des Magistrats.

7 UMSETZUNGSSTRATEGIE

Damit Maßnahmen im Bereich Klimaschutz die gewünschte Wirkung entfalten, können einige organisatorische Maßnahmen ergriffen werden, die die themenbezogenen Aktivitäten unterstützen und sicherstellen, dass die Arbeiten zielführend sind. Dazu gehört ein Controlling, die Fokussierung der Netzwerk- und Öffentlichkeitsarbeit sowie eine Verstetigungsstrategie, damit sich angestoßene Prozesse institutionalisieren sowie langfristig Wirkung entfalten.

Die Ansprache von zentralen Akteuren und die Bündelung von Handlungskompetenzen sowie Zuständigkeiten und Synergieeffekten kann aber als ein wesentlicher Auftakt in die Umsetzungsphase verstanden werden. Dies beginnt bereits damit, dass Kenntnis vom Klimaschutzkonzept und den darin enthaltenen Maßnahmen in den Verwaltungen vorhanden sein sollte. Die interne Multiplikation des Konzeptes stellt also einen wesentlichen ersten Schritt dar. Dazu gehört auch, dass Investitionen entsprechend im Haushalt berücksichtigt werden sollten, damit Investitions- und Planungssicherheit auf allen Ebenen besteht.

7.1 Controlling

Im Rahmen der Neuaufstellung des Klimaschutzkonzeptes wurden Maßnahmen ausgearbeitet, die in der anschließenden Umsetzung in Darmstadt ein hohes Maß an Energieeffizienzsteigerung und THG-Emissionsreduzierung bewirken sollen.

Das Controlling umfasst die Ergebniskontrolle der durchgeführten Maßnahmen unter Berücksichtigung der festgestellten Potenziale und Klimaschutzziele. Neben der Feststellung des Fortschritts in den Projekten und Maßnahmen ist eine Anpassung an die aktuellen Gegebenheiten in der Wissenschaftsstadt sowie vor dem Hintergrund sich wandelnder politischer und struktureller Rahmenbedingungen sinnvoll. Dies bedeutet, dass realisierte Projekte bewertet und analysiert werden (Evaluation) und gegebenenfalls erneut aufgelegt, verlängert oder um weitere Projekte ergänzt werden. Dabei wird es auch immer wieder darum gehen, dass durch das Klimaschutzmanagement der Kommunikation und Zusammenarbeit der Projektbeteiligten neue Impulse gegeben werden. Um den Gesamtfortschritt beurteilen zu können, empfiehlt es sich, in regelmäßigen Abständen (ca. alle zwei Jahre) eine Prozessevaluierung durchzuführen. Dabei sollten nachstehende Fragen gestellt werden, die den Prozessfortschritt im Klimaschutz qualitativ bewerten:

Netzwerke: Sind neue Partnerschaften zwischen Akteuren entstanden? Welche Intensität und Qualität haben diese? Wie kann die Zusammenarbeit weiter verbessert werden?

Ergebnis umgesetzter Projekte: Ergaben sich Win-Win-Situationen, d. h. haben verschiedene Partner von dem Projekt profitiert? Was war ausschlaggebend für den Erfolg oder Misserfolg von Projekten? Gab es Schwierigkeiten und wie wurden sie gemeistert?

Auswirkungen umgesetzter Projekte: Wurden Nachfolgeinvestitionen ausgelöst? In welcher Höhe? Wurden Arbeitsplätze geschaffen? Haben sich sonstige Effekte regionaler Wertschöpfung ergeben? Stoßen die Projekte auf Nachfrage und Abnahme?

Umstratung und Entscheidungsprozesse: Ist der Umstratungsprozess effizient und transparent? Können die Arbeitsstrukturen verbessert werden? Wo besteht ein höherer Beratungsbedarf?

Beteiligung und Einbindung regionaler Akteure: Sind alle relevanten Akteure in ausreichendem Maße eingebunden? Besteht eine breite Beteiligung der Bevölkerung? Erfolgte eine ausreichende Aktivierung und Motivierung der Bevölkerung? Konnten weitere (ehrenamtliche) Akteure hinzugewonnen werden?

Zielerreichung: Wie sind die Fortschritte bei der Erreichung der Klimaschutzziele (z. B. Zulassungszahlen von Autos mit alternativen Antrieben; Entwicklung der THG-Emissionen)? Befinden sich Projekte aus verschiedenen Handlungsfeldern bzw. Zielbereichen in der Umstratung? Wo besteht Nachholbedarf?

Konzept-/Maßnahmenanpassung: Gibt es Trends, die eine Veränderung der Klimaschutzstrategie der Stadt erfordern (z. B. sich wandelnde Lebensstile oder Konsummuster)? Haben sich Rahmenbedingungen geändert, so dass Anpassungen vorgenommen werden müssen? Gibt es neue Technologien? Erweisen sich getätigte Annahmen als nicht realitätskonform?

Evaluationen auf Rebound- und Verlagerungseffekte: Projekte im Klimaschutz bergen vereinzelt die Gefahr zu negative Klimawirkungen beizutragen, indem Einsparungen bewusst und unbewusst an anderer Stelle wieder ausgeglichen werden. Sind derartige Effekte erkennbar? Wenn ja, welche Gründe werden hierfür gesehen? Im Bereich Digitalisierung werden derartige Effekte aktuell besonders kontrovers diskutiert. Da sich Darmstadt diesbezüglich als Vorreiter versteht, sind vor allem Digitalisierungsmaßnahmen und -projekte, die von der Stadt durchgeführt oder gefördert werden, auf ihren Klima-Impact zu evaluieren und bei negativer Klimabilanz entsprechend anzupassen.

Generell sollte das Controlling in einem Umfang gestaltet werden, dass es mit den knappen personellen Ressourcen umzusetzen ist. Daher ist es sinnvoll darauf zu achten, dass die durchgeführten Schritte prioritär der Maßnahmenverbesserung dienen, damit ein Mehrwert für die Klimaschutzaktivitäten aus dem Controlling erwächst.

Insgesamt wurden die vorgeschlagenen Maßnahmen dementsprechend ausgerichtet, dass notwendig werdende Anpassungen, Erweiterungen oder Korrekturen in der Umstratungsstrategie möglich sind. Viele Maßnahmen sind damit nach Umstratung zu prüfen. Stellen sich beispielsweise die zu erstellenden Quartierkonzepte mit Sanierungsmanagement als Erfolg heraus, können weitere Konzepte folgen. Sollten sich diese als Misserfolg herausstellen, sind Alternativen zu prüfen, die dennoch ein deutliches Anheben der Sanierungsrate und -tiefe ermöglichen. Gleiches gilt beispielsweise für die Errichtung von öffentlichen oder halböffentlichen Ladesäulen. Sollte sich zukünftig, auch vor dem Hintergrund längerer Akkulaufzeiten, bspw. aufgrund höherer Energiedichten, ein bestimmtes Ladeverhalten einstellen, sind Anpassungen vorzunehmen und die Maßnahme auf Effektivität und Effizienz zu prüfen.

Dennoch gilt die Devise, dass die Maßnahmen die Zielstellung der Wissenschaftsstadt Darmstadt erreichen. Um bei der Maßnahme der bereitzustellenden Ladesäulen zu bleiben, ist es daher aktuell unabdingbar, Lademöglichkeiten in einer gewissen Größenordnung im öffentlichen oder halböffentlichen Raum bereitzustellen. Mit dem praktischen Nutzen geht damit natürlich auch die Sichtbarkeit von alternativen Mobilitätsformen mit dieser Maßnahme einher sowie, dass bestimmte Nutzer*innengruppen

(z.B. Pendler*innen, Mietende, etc.) auf diese Lademöglichkeiten angewiesen sein werden. Wird dennoch ersichtlich, dass sich das Ladeverhalten zunehmend in den privaten Raum verlagert, ist zu prüfen, inwiefern ein weiterer Ausbau öffentlicher oder halböffentlicher Ladeinfrastruktur notwendig ist. Diese Erkenntnis ist an die Erfahrungswerte der nächsten Jahre gekoppelt und aktuell (noch) nicht eindeutig vor dem Hintergrund dynamischer Innovationszyklen und komplexer Nutzungsmuster abzuschätzen.

7.2 Gesamtcontrolling

Das Gesamtcontrolling stellt eine Erfolgskontrolle der Klimaschutzarbeit der Wissenschaftsstadt Darmstadt dar. Ein zentrales Instrument, um die Erfolge im Klimaschutz aufzuzeigen, ist dabei die Energie- und THG-Bilanz. Über diese sollte, ebenso wie über die Ergebnisse des Maßnahmen- und Projektcontrollings, in den politischen Gremien regelmäßig Bericht erstattet werden. Ganz grundlegend sollte auch eine weitere Fortschreibung des Konzepts in Betracht gezogen werden.

Fortschreibung des Klimaschutzkonzeptes

Das Klimaschutzkonzept ist mit diesem Bericht nicht als abgeschlossen, sondern als fortlaufender, stets zu optimierender Prozess zu verstehen. Die aufgestellten Szenarien sind von bestimmten Randbedingungen und Annahmen abhängig und die Umsetzung liegt nur in geringem Maße im direkten Einflussbereich der Stadtverwaltung. Die Mitwirkung der Stadtgesellschaft ist von essenzieller Bedeutung. Maßnahmen können sich als nicht wirkungsvoll oder umsetzbar erweisen, neue wissenschaftliche Erkenntnisse kommen hinzu und politische Rahmenbedingungen ändern sich. Vor diesem Hintergrund ist eine Fortschreibung des Konzeptes anzustreben. Da es zum jetzigen Zeitpunkt nicht zielführend ist, ein Zieljahr hierfür bereits zu definieren, können andere Controllinginstrumente, die im Folgenden in diesem Unterkapitel dargestellt werden, hinzugezogen werden, um eine Erfolgskontrolle sicherzustellen. Diese sollen auch Aufschluss darüber geben, wann eine Fortschreibung sinnvoll und erforderlich sein könnte.

Energie- und THG-Bilanz

Eine Fortschreibung der Energie- und THG-Bilanz kann als quantitative Bewertung angesehen werden, in der die langfristigen Energie- und THG-Reduktionen erfasst und bewertet werden. Eine Fortschreibung der Bilanz für Darmstadt für den direkten Handlungsbereich könnte jährlich oder alle zwei Jahre erfolgen und wird für den indirekten Handlungsbereich (Gesamtstadt) zweijährig empfohlen.

Die Energie- und THG-Bilanz lässt nicht zwingend Rückschlüsse auf die genauen Gründe der Veränderungen zu, auch ist sie zum Zeitpunkt der Aufstellung im Normalfall ca. 2-3 Jahre alt, dennoch können mit ihrer Hilfe Entwicklungstrends für die Gesamtstadt oder einzelne Sektoren wiedergegeben werden, die auf andere Weise nicht erfasst werden können. Anpassungen und Verbesserungen in den Zielstellungen und in der generellen Ausgestaltung der Maßnahmen können auf Basis dieser Bilanzen vorgenommen werden. Sollten beispielsweise trotz Energiesparkampagnen und Sanierungsoffensiven keine Einspareffekte im Energiebedarf der privaten Haushalte ersichtlich werden, sollten die Maßnahmen hinsichtlich Wirksamkeit und Langfristigkeit evaluiert werden.

Überschaubarer in der Datenerfassung ist die Bilanzierung für den direkten Handlungsbereich. Allerdings setzt diese ein sorgfältiges und aktuelles Datenmanagement voraus, welches vor dem Hintergrund des Zielmonitorings evaluiert und ggf. optimiert werden müsste. Beschaffungswesen, Fuhrpark und Liegenschaften sind damit bezüglich der datentechnischen Erfassung auf den Prüfstand zu stellen. In den Maßnahmen wurde dies berücksichtigt.

Des Weiteren wurde aus dem Klimaschutzbeirat angemerkt, dass weiterhin auch Klimaschutzthemen Berücksichtigung finden sollten, die aufgrund der BSKO-Methodik bilanziell nicht erfasst werden, wie Ernährungsfragen oder graue Energie. Diese sind aber von elementarer Bedeutung im Kontext globaler Verantwortung. Aktivitäten und Maßnahmen im Bereich des Klimaschutzes sollten also nicht ausschließlich darauf ausgelegt sein positive Bilanzeffekte zu erzielen, sondern sollten auch gesamtgesellschaftliche Belange und Zusammenhänge berücksichtigen (z. B. knappe Ressourcen, Erzeugung von Sondermüll etc.). Trotz wichtiger Bedeutung der Bilanz sollten die Klimaschutzbemühungen eine weiter gefasste Evaluation und Monitoring erfahren. Mit dem Beschluss der Stadtverordnetenversammlung vom 01.10.2020 (*MagV 2020/0252*) sollen zukünftig alle Magistratsvorlagen auf ihre Auswirkung auf das Stadtklima und die CO₂-Bilanz geprüft werden, Darmstadt ist hier also bereits tätig geworden.

Gebäudesanierung und Wärmeversorgung sowie öffentliche Einsicht in Sanierungsfortschritte kommunaler Gebäude

Befragungen der Wohnungsbauunternehmen können erste Erkenntnisse zu Sanierungen liefern. Darüber hinaus ist eine regelmäßige Erhebung von Sanierungsförderungen durch die KfW anzustreben.

Auch der Eigenbetrieb Immobilienmanagement der Wissenschaftsstadt Darmstadt (IDA) und die übrigen Verantwortungsbereiche (EAD, EDW, Sportamt) sollten in regelmäßigen Abständen Sanierungsbilanzen und -fortschritte publizieren und öffentlich transparent machen. Dafür sind geeignete Formate und Medien zu finden, die Informationen zu den Sanierungsständen liefern (bestenfalls mit Energieverbräuchen und THG-Emissionen). Es ist laufend zu prüfen, ob weiteres Personal über das im Rahmen der Maßnahmenausarbeitung bereits für notwendig erachtete Personal (bspw. für Überwachung, Evaluierung, Kontrolle, Datenerfassung) erforderlich ist (s. Maßnahme I – 1.3; S.

88).

Mit Hilfe von regelmäßig erhobenen Schornsteinfegerdaten kann zudem über eine Zeitspanne die Entwicklung der Altersklassen der Feuerungsanlagen und damit die Sanierung von Heizungsanlagen nachverfolgt werden. Da im Sinne der Zielerreichung bestmöglich auf fossile Energieträger verzichtet werden muss, können aus diesen Daten weitere Feinjustierungen an den Maßnahmen vorgenommen werden. Die räumliche Identifizierung besonders alter Heizkessel kann zudem über einen Wettbewerb („Ältester Heizkessel gesucht“ mit Bezuschussung der Modernisierung der entsprechenden Heizungsanlage mit Energieträgerwechsel) vereinfacht werden.

Berichterstattung in den Politischen Gremien

In den politischen Gremien wird neben der Energie- und THG-Bilanz auch über das maßnahmen- und projektbezogene Klimaschutzcontrolling Bericht erstattet. So wird

sichergestellt, dass die Politik weiterhin regelmäßig über bereits umgesetzte und abgeschlossene Maßnahmen/Projekte sowie derzeit laufende Aktivitäten seitens der Stadtverwaltung informiert wird. Zudem werden zukünftig ebenfalls weiterhin geplante Maßnahmen/Projekte vorgestellt sowie die Zielerreichung hinsichtlich angestrebter Energie- und THG-Minderungen thematisiert. Die Berichterstattung dient der Information der Politik, der Öffentlichkeit und der an den Maßnahmen beteiligten Akteure. Dies ist bereits gut in den Strukturen in Darmstadt verankert und muss weiter gepflegt werden.

Ausbau Erneuerbarer Energien und Veränderung der Nutzungsmuster (Eigenversorgung)

Über die Netzbetreiber sowie das Anlagenregister der Bundesnetzagentur sind jährlich einerseits die installierten Anlagen je Anlagengröße und Energieträger zu erheben (z. B. <10 kWp / >10 kWp) und andererseits die jährlichen Einspeisemengen. Da jedoch zukünftig weniger Energie in das Netz eingespeist und stattdessen als Eigenbedarf vor Ort genutzt wird (z. B. mit einer Wärmepumpe oder mit einem E-Auto), werden die Angaben des Netzbetreibers, die zentral für die zukünftigen Bilanzen sind, im Laufe der Jahre weniger die tatsächliche Energieerzeugung abbilden können. Daher bieten sich zwei Möglichkeiten an:

1. Berechnung der erzeugten Energiemenge anhand von installierter Leistung und durchschnittlichen jährlichen Volllaststunden.
2. Befragung der Anlagenbetreiber*innen. Diese Möglichkeit ist sehr zeitaufwändig und gleichzeitig besteht die Gefahr, dass keine Daten eingeholt werden können, weil die Anlagenbetreiber nicht kooperieren oder keine Daten zur Verfügung stehen.

E-Mobilität

Die E-Mobilität ist derweil nach aktuellem Technologie- und Wissensstand zentraler Bestandteil der Mobilitätswende, die wiederum unabdingbar zur Erreichung von Treibhausgasneutralität ist. Die Verbreitung von E-Autos, sofern diese sich in der Wissenschaftsstadt Darmstadt schneller vollziehen sollte als im Bundesschnitt, ist allerdings nur bedingt in zukünftigen Energie- und Treibhausgasbilanzen einsehbar, da nach BSKO mit dem Bundestreibstoffmix bilanziert wird. Daher sollten regelmäßig Zulassungszahlen für alternative Antriebe im Stadtgebiet geprüft werden, um einen Eindruck über die Entwicklungen zu bekommen. Weiterhin könnte es sein, dass bei einer verstärkten Installation privater Ladeinfrastrukturen die Stromverbräuche der privaten Haushalte steigen werden und Klimaschutz-, Einspar- und Effizienzmaßnahmen durch diese zusätzlichen Verbräuche überdeckt und damit nicht mehr sofort sichtbar werden, da sie in diesem Falle im Sektor Verkehr auftreten würden. Zukünftige Bilanzen sind daher immer vor dem Hintergrund der spezifischen Methodik zu verstehen und gegebenenfalls durch weitere Erhebungen zu konkretisieren.

Klimaschutzbeirat

Der Klimaschutzbeirat sollte während der Umsetzungsphase und auch darüber hinaus als Gremium bestehen bleiben. Regelmäßige Austausche, Projekterfahrungen und das Teilen von Lernprozessen werden das Erzielen von Synergieeffekten bestärken und insgesamt zu einer zielführenden Umsetzung beitragen.

Auch im Rahmen der Sitzung des KSB im Oktober 2021 bestand Einigkeit darüber, dass der Beirat als beratendes Gremium weiter aktiv bleiben sollte. Es bestand der Wunsch die Beteiligungsmöglichkeiten des KSB auszuweiten (mehr Freiraum für Kreativität und offenere Beteiligung). Dazu boten Mitglieder des KSB an, die Stadt bei Projektumsetzungen zukünftig zu unterstützen und auch beratend in der Realisierung tätig zu werden. Des Weiteren wurde der Wunsch geäußert, zukünftig mehr in die inhaltliche Tiefe als in die Breite zu gehen. So könnten beispielsweise konkrete Maßnahmen wie die von Teilen des KSB vorgeschlagene „Klimabahn“ besprochen und reflektiert werden. Auch regelmäßige Berichterstattungen (v. a. über Umsetzungsstände) sollten beibehalten werden. Weiterhin sind die Einrichtung themenbezogener Task-Forces innerhalb des KSB anzudenken. Insgesamt seien, sofern es die Rahmenbedingungen der Pandemie zulassen, Präsenzveranstaltungen wieder auf Durchführbarkeit zu prüfen, da besser zusammengearbeitet und eine engere Bindung entstehen könnte.

Inhaltlich sollte der Klimaschutzbeirat sich mit grundlegenden Belangen und Dynamiken im Zusammenhang von Transformation(en) und Stadtentwicklung auseinandersetzen. Dabei könnte es um Themen von Aufenthaltsqualitäten, Erreichbarkeiten, sozialer Teilhabe bis hin zum grundlegenden Verständnis von Öffentlichkeit und städtischen Miteinander gehen. Das Darmstädter Energie-Labor für Technologien in der Anwendung (DELTA, 2022) könnte dabei wesentliche Impulse liefern und Basis für Visionen und Perspektiven eines nachhaltigen und klimafreundlichen städtischen Zusammenlebens bieten.

Darmstädter Energie-Labor für Technologien in der Anwendung (DELTA)

Das vom BMWi geförderte DELTA-Projekt trat im Rahmen des Prozesses der Neuaufstellung des Klimaschutzkonzeptes immer wieder als wichtiger Meilenstein in Erscheinung. Als interdisziplinäres Projekt mit Schnittstellenbezug zu vielen Maßnahmen wird es die klimaschutzbezogenen Aktivitäten in der Wissenschaftsstadt Darmstadt zukünftig prägen. Daher wird empfohlen, einen engen Austausch mit den Projektkoordinator*innen zu pflegen und sie zu spezifischen Beratungen und Pfadabwägungen miteinzubeziehen. Detaillierte Projektinfos gibt es für Interessierte unter: *Reallabor der Energiewende - DELTA (delta-darmstadt.de)*.

Online-Portal für Bürger*innenprojekte

Aus dem Klimaschutzbeirat kam zudem der Vorschlag, ein einfaches Online-Tool zur Verfügung zu stellen, bei dem private Haushalte ihre Klimaschutzaktivitäten und -maßnahmen eintragen können. Damit werden nicht nur Maßnahmen sichtbar gemacht, die vielleicht sonst gar nicht aufgefallen wären, sondern es wird auch ein Orientierungsrahmen für andere Bürger*innen geboten, die sich mit klimaschutzbezogenen Maßnahmen auseinandersetzen. Über die Verlosung von Preisen für besonders vielversprechende Projekte können zudem Anreize geschaffen werden, dass Projekte umgesetzt werden und diese auch über die Plattform sichtbar gemacht werden. Solche Aktionen und Angebote existieren bereits (MagV 2020/0198, 2020) bzw. sind im Maßnahmenkatalog vorgesehen (s. Maßnahme 3.5; S.

90) und sind in der Zukunft weiterzuführen und auszubauen.

8 VERSTETIGUNGSSTRATEGIE

Für einen langfristig erfolgreichen Klimaschutzprozess in Darmstadt sollten unterschiedliche Aspekte beachtet werden. Zunächst muss mittel- und langfristig die Bereitstellung ausreichender Personalressourcen zur Umsetzung von Maßnahmen und Projekten in allen relevanten Verwaltungsbereichen gesichert sein. Zudem müssen auch die notwendigen Finanzmittel zur Umsetzung von Maßnahmen und Projekten bereitgestellt werden. Sinnvoll, um auch längerfristig planen zu können, wäre in diesem Zusammenhang auch die Bereitstellung eines festen, jährlichen Budgets für Klimaschutzmaßnahmen, wie dies in Darmstadt im Koalitionsvertrag von 2021 bereits vorgesehen ist.

Klimaschutz ist rechtlich betrachtet (noch) eine freiwillige, fachbereichsübergreifende, kommunale Aufgabe und bedarf daher der Unterstützung durch die Verantwortlichen der Stadtverwaltung und der Politik. Den Rahmen für einen effektiven Klimaschutz bilden u. a. die politische Verankerung des Themas sowie die Festlegung von Klimazielen und Maßnahmen. Für ein zielführendes und dauerhaftes Engagement für den Klimaschutz sind auch organisatorische Maßnahmen in der Kommune wichtig. Denn innerhalb der Verwaltung kann es, aufgrund von unterschiedlichen Fachbereichszuständigkeiten und Verfahrensabläufen, zu parallelen Planungen oder zu Zielkonflikten in der Umsetzung kommen. Ein genereller Austausch und eine verstärkte Kommunikation innerhalb der Verwaltung zum Thema Klimaschutz sind daher von hoher Bedeutung. Die Stadt Darmstadt hat neben dem klaren Bekenntnis zu den Pariser Klimazielen mit der Neugründung des Amtes für Klimaschutz und Klimaanpassung einen wichtigen Schritt in diese Richtung bereits unternommen.

Netzwerkmanagement bedarf zudem einer umfassenden und zugleich effektiven Öffentlichkeitsarbeit auf lokaler und regionaler Ebene, um die Anliegen im Bereich des Klimaschutzes zu verdeutlichen und mit gezielten Aktivitäten weiter zu gestalten. Um die bestehenden Akteursgruppen, bereits laufende Projekte sowie Projektplanungen auf Basis des vorliegenden Maßnahmenprogramms einzubinden oder zusammenzuführen, sollte ihr Zusammenspiel in einem effektiven Klimaschutz- und Netzwerkmanagementprozess weiter koordiniert werden. Dabei ist es von großer Bedeutung, dass die Politik diese Ziele aktiv unterstützt, kommuniziert und damit vorantreibt – nach dem Motto „Tue Gutes und rede darüber“. Hierbei muss auch der bereits bestehende Vorbildcharakter der Stadt deutlich gemacht werden.

8.1 Netzwerkmanagement

Ob im Bereich Energieeffizienz, Ressourcenschutz, nachhaltige Mobilität oder Klimaschutz: Die Möglichkeit voneinander zu lernen und Wissen und Erfahrungen zu teilen ist das Kernstück der Netzwerkarbeit. In der Praxis hat sich gezeigt, dass durch den unterschiedlichen Beratungsbedarf das Zusammenfassen von Akteuren zu Gruppen sinnvoll und zielführend ist.

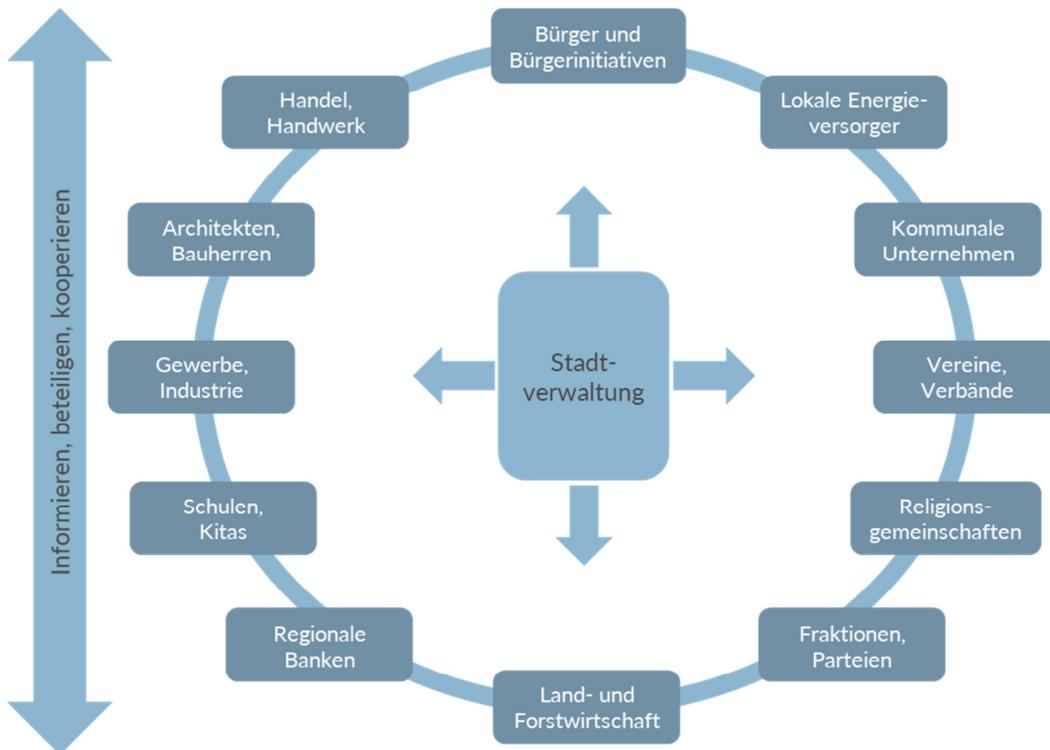


Abbildung 8-1: Akteursnetzwerk im Stadtgebiet (Quelle: Verändert nach DifU, 2011)

Gemeinsam mit dem Klimaschutzmanagement als zentrale vernetzende Kraft ist es auf diese Weise möglich, die bestehenden Strukturen zu einem systematischen Netzwerk unter breiter Beteiligung der lokalen Akteure zu bündeln und zu optimieren, die alle relevanten Themenfelder des Klimaschutzes sowie vor allem die standortspezifischen Aspekte der Wissenschaftsstadt Darmstadt berücksichtigen. Das gesamte Klimanetzwerk besteht aus einer sehr dynamischen Zusammensetzung. Beim Klimaschutzmanagement als beständigen Akteur vor Ort laufen so die entsprechenden Fäden zusammen.

Die Vernetzung der Akteure untereinander ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für Maßnahmen im Bereich des Klimaschutzes. Durch die Transparenz zwischen allen Mitwirkenden können Innovationen angeregt und gegenseitiges Verständnis bei Umsetzungsproblemen geweckt werden. Die Akteure des bestehenden Akteursnetzwerks dienen ebenso als Multiplikator*innen und Ideengeber*innen. In dieser Funktion sollen sie das Thema Klimaschutz in ihre Netzwerke tragen und über diese bereits bestehenden Netzwerkstrukturen eine jeweils zielgruppenspezifische Ansprache ihrer Netzwerkmitglieder ermöglichen. Die Herausforderung besteht dabei vor allem auf intelligente Weise die Schnittstellen zwischen Netzwerken zu stärken, sodass direkte und zügige Informationsflüsse ermöglicht werden. In diesem Bereich können Kammern,

Verbände und Vereine eine zentrale Rolle spielen und sollten daher als strategische Multiplikator*innen berücksichtigt werden.

Neben der Netzwerkarbeit nach außen spielt die Netzwerkarbeit nach innen (s. oben), also in der Verwaltung, eine zentrale Rolle. Regelmäßiger Austausch unter den Ämtern kommt im Arbeitsalltag häufig zu kurz, ist aber für die Bewältigung von Klimaschutz als Querschnittsaufgabe unabdingbar und sollte daher intensiviert werden.

Mit dem Klimaschutzbeirat ist bereits ein Netzwerk vorhanden, welches auch im Rahmen der Umsetzung weiter aktiv bleiben sollte. Ein regelmäßiges Austauschen von Erfahrungswerten fördert die lokale Kooperation und kann auch zu Multiplikatoreffekten führen. Durch kooperativen Klimaschutz werden weiterhin Synergieeffekte geschärft und raumbedeutsame Planungsprozesse institutionalisiert.

8.2 Öffentlichkeitsarbeit und zielgruppenspezifische Ansprache

Medien- und Öffentlichkeitsarbeit ist letztendlich die kostengünstigste Klimaschutzmaßnahme. Mit einer kontinuierlichen Kommunikation von Klimaschutzthemen kann viel erreicht werden. Medien sind zu einem ständigen Begleiter geworden und aus dem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Also: „Tu Gutes und rede darüber“ - nach diesem Motto veröffentlicht die Wissenschaftsstadt Darmstadt bereits ihre Bemühungen für einen besseren Klimaschutz. Diese Tätigkeiten müssen fortgeführt werden. Um die Bevölkerung und Unternehmen für sinnvolle Klimaschutzmaßnahmen zu gewinnen und ihnen die Bemühungen der Stadt für besseren Klimaschutz verständlich zu machen, sollten weiterhin gezielte Maßnahmen in der Öffentlichkeitsarbeit ergriffen werden. Damit wird auch der Tatsache Rechnung getragen, dass Klimaschutz als Gemeinschaftsaufgabe zu verstehen ist.

Eine zentrale Aufgabe der lokalen Öffentlichkeitsarbeit stellt das Zusammentragen und die Veröffentlichung aller relevanten Informationen zu laufenden und geplanten Aktivitäten dar. So kann sichergestellt werden, dass alle Akteure über die Vielfalt derzeitiger und geplanter Maßnahmen informiert sind. Hierfür können Pressemitteilungen, soziale Netzwerke (u.a. Facebook oder Instagram), Homepages und das Intranet genutzt werden (s. Abbildung 9-2, S.94). Nur so können Informationen lokal und regional weitergegeben und eine parallele Bearbeitung des entsprechenden Themengebietes vermieden werden. Gleichzeitig besteht mit der öffentlichkeitswirksamen Spiegelung der Themen die Möglichkeit, ehrenamtliches Engagement zu wecken und zu aktivieren.

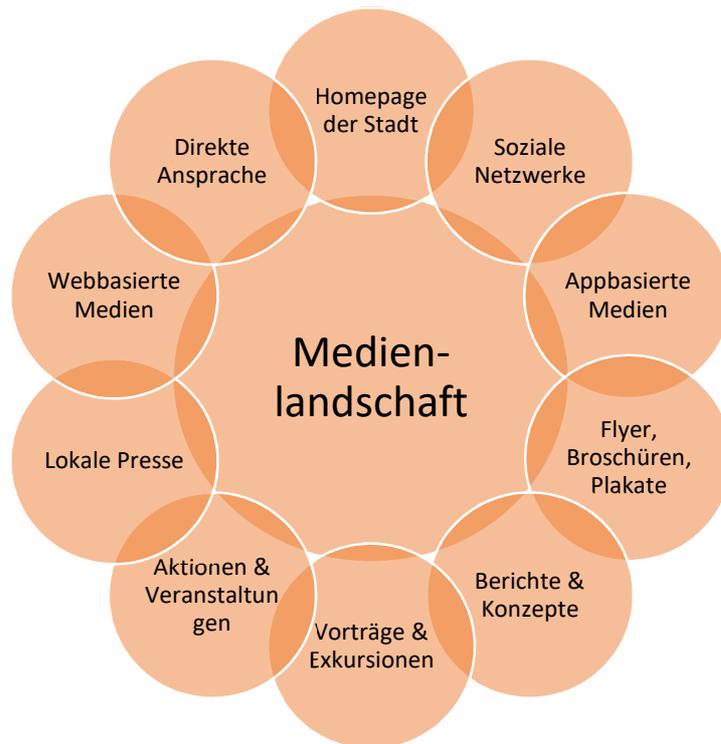


Abbildung 8-2: Medienlandschaft

Mit Hilfe eines Kommunikationskonzepts - mit Festlegung der Zielgruppen und der Instrumente – werden die Grundlagen der Öffentlichkeitsarbeit geschaffen. Diese haben die Information und vor allem auch Motivation von relevanten Zielgruppen mittels Kampagnen und Aktionen zum Ziel. Es empfiehlt sich, die Erstellung eines Zeitplans für Aktionen und Kampagnen der Öffentlichkeitsarbeit vorzunehmen, um diese gleichmäßig über das Jahr zu verteilen sowie eine vorausschauende, mehrjährige Planung ins Auge zu fassen, die die Themenschwerpunkte und die Ansprache unterschiedlicher Zielgruppen definiert. Eine dynamische Öffentlichkeitsarbeit lebt dabei von der Vielseitigkeit der Themen und gleichzeitig von thematischen Wiederholungen in bestimmten Zeitabständen (beispielsweise, um über technologische Erneuerungen oder über veränderte politische Rahmenbedingungen zu informieren).

Über die Homepage der Wissenschaftsstadt Darmstadt kann dann eine breitere Bevölkerung erreicht werden. Hierbei sollte auf die bereits bestehenden Strukturen aufgebaut und das Themenfeld des kommunalen Klimaschutzes gegebenenfalls noch prominenter herausgestellt werden. Die Entscheidungen pro/kontra für einen spezifischen Kommunikationskanal sollten je nach Maßnahme, Zielgruppe und Fragestellung differenziert werden und können – auf Grund der Fülle an Kombinationsmöglichkeiten – nur bedingt im Vorfeld angegeben werden.

Als wichtige Schnittstellen können Schulen und Bildungseinrichtungen sowie die Wirtschaft identifiziert werden. Sie sind wichtige Knotenpunkte, an denen verschiedene Zielgruppen zusammenkommen. Ziel sollte es sein, dass klimarelevante Themen über diese Schnittstellen weiter in die breite Stadtgesellschaft getragen werden (z. B. von den Schulen in die Familien und Vereine oder von den Unternehmen über die pendelnden Mitarbeiter*innen in die Region). Die Bedeutung dieser Schnittstellen wurde

bei der Ausdifferenzierung der Maßnahmen berücksichtigt, soll an dieser Stelle zwecks Vollständigkeit und Wichtigkeit nochmals Erwähnung finden.

Entscheidend für eine erfolgreiche Öffentlichkeitsarbeit ist gerade in Zeiten einer inflationären Zunahme an Beteiligungsmöglichkeiten, dass Erwartungshaltungen und Verbindlichkeiten von Anfang an klar kommuniziert werden. Im Planungsalltag sollte daher terminologisch bereits zwischen Information (überwiegend einseitige Kommunikation), Beteiligung (Austausch und Aufnahme von Anmerkungen) und Kooperation (im Sinne einer gleichwertigen Mitbestimmung) unterschieden werden. Dazu gehört auch, dass die Rolle der Öffentlichkeit klar dargelegt und kommuniziert wird. Eine transparente Kommunikation in jeglicher Hinsicht und beginnend beim Rollenverständnis beteiligter Akteure hilft, Vertrauen aufzubauen und zu halten. Auf Basis der unterschiedlichen Einbindungsintensität bieten sich entsprechend auch verschiedene Formate an, wie die folgende Abbildung abschließend darstellt.

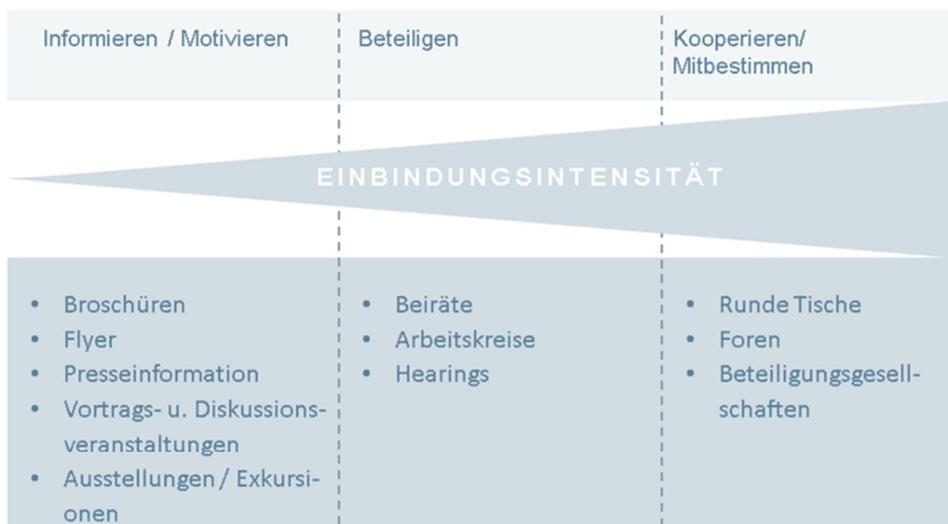


Abbildung 8-3: Einbindungsintensität in der Öffentlichkeitsarbeit (DifU, 2011)

Weiterhin gilt es zu berücksichtigen, dass zwar die Vielfalt an Kanälen und Medien zielführend genutzt werden, gleichzeitig aber eine Kanalisierung und Bündelung der Öffentlichkeitsarbeit nicht vernachlässigt wird. Herausforderung ist es, die breite Bevölkerung zu erreichen und gleichzeitig dafür zu sorgen, dass diese den Überblick an Informationen, Veranstaltungen, Projekten und Maßnahmen nicht verlieren. Auch niederschwellige Maßnahmen können in diesem Zusammenhang von Bedeutung sein (z.B. Future-Slam als Veranstaltungsformat).

Mit der Klimarunde sind beispielsweise Öffentlichkeitsveranstaltungen in Darmstadt in regelmäßigen Abständen terminiert und institutionalisiert. Im Rahmen der Sitzungen der Arbeitsgruppe Öffentlichkeitsarbeit wurden zudem räumliche Komponenten der Öffentlichkeitsarbeit thematisiert. So könnten beispielsweise bestehende Orte, die bereits einen inhaltlichen Klimaschutzbezug haben (z. B. Trinkbrunnen), weiter mit Bedeutung aufgeladen werden, indem beispielsweise eine Infotafel an den entsprechenden Orten befestigt wird. Dies steigert nicht nur die Sichtbarkeit des Themas im öffentlichen Raum, sondern kann auch zur Sensibilisierung und Multiplikation beitragen. Weiterhin bzw. ergänzend könnte diskutiert werden, ob zentrale und bedeutende (und/oder auch dezentralere) Orte mit klimarelevanten Themen aufgeladen werden.

Mit dem Mobilen Grünen Zimmer gibt es bereits eine Aktion, die sehr gut in diesen Themenkomplex passt. Durch die Mobilität des Ortes könnten zudem verschiedene Zielgruppen angesprochen und verschiedene, dezentrale Orte miteingebunden werden.

Da die Klimaschutzbezogene Öffentlichkeitsarbeit vor allem für den indirekten Handlungsbereich des Magistrats ein zentrales Instrument ist, um für Maßnahmen zu sensibilisieren, wird im Rahmen dieses KSK für eine städtische Stelle plädiert, die sich ausschließlich diesem Thema widmen kann. Dabei geht es darum die PR-Arbeit zielgruppenorientiert zu organisieren, zu koordinieren und zu bündeln. Weitere personelle Ressourcen müssten bei Bedarf bereitgestellt werden.

8.3 Vorbildfunktion der Stadtverwaltung

Bei der Realisierung einer erfolgreichen Klimaschutzpolitik kommt der kommunalen Ebene eine besondere Bedeutung zu. So verfügt die Stadtverwaltung und die Politik – allen voran der hauptamtliche Magistrat – über eine Vorbildfunktion im Bereich Klimaschutz und Energieeffizienz für die Bevölkerung, Unternehmen sowie für die diversen Institutionen in der Stadt.

Daher wird die Stadtverwaltung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit weiterhin regelmäßig über die eigenen Ziele und Klimaschutzaktivitäten sowie Entscheidungsfindungsprozesse informieren. Hierbei ist es sinnvoll, die bestehenden Informationskanäle für ein Kommunikationsgeflecht des Klimaschutzes zu optimieren und effektiv zu nutzen, um eine realitätsnahe Erwartungshaltung an kommunale Klimaschutzaktivitäten bzw. kommunale Einfluss- und Handlungsbereiche im Klimaschutz zu unterstützen.

Neben der klassischen zielgruppenorientierten Ansprache der Akteure ist es wichtig, dass die Verwaltung als Gesamtkoordinator und Vermittler auch innerhalb der eigenen Strukturen gut vernetzt ist. Die verschiedenen Fachbereiche und politischen Gremien müssen untereinander in stärkerem Maße im Austausch stehen und sich über aktuelle Projekte, Herausforderungen und Grenzen kommunalen Handelns verstärkt verständigen. Dabei gilt es auch bürokratische Hürden, sofern im eigenen Einfluss- und Kompetenzbereich, bestmöglich abzubauen und einfache Zugänge zu ermöglichen.

An dieser Stelle sollte auch erwähnt werden, dass kommunaler Klimaschutz von Rahmenbedingungen auf den übergeordneten Planungs- und Politikebenen (Land, BRD, EU) abhängig ist. Spielraum ist damit vor allem innerhalb der rechtlichen Zuständigkeit und des örtlichen Gestaltungsspielraums gegeben. Auch haben Kommunen keinen direkten Einfluss auf individuelle Konsummuster und Verhaltensweisen oder auf Unternehmen und deren Geschäftsmodelle. Umso mehr verdeutlichen diese Grenzen die Vorbildrolle der kommunalen Verwaltungen und die Rolle von Öffentlichkeitsarbeit zur Sensibilisierung und Aktivierung der örtlichen Akteure. Breitenwirksame Authentizität im Appell für mehr Klimaschutz erreichen Kommunen aber nur, wenn sie selbst sichtbar aktiv werden und vorangehen. Informieren – sensibilisieren – zum Handeln motivieren und dabei selbst vorangehen und Vorbild sein, das muss der grundsätzliche Leitsatz kommunalen Klimaschutzes sein. Mit dem Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2035 im direkten Einflussbereich des Magistrats wurde sich auf ein ambitioniertes Ziel verständigt. Die zugeschriebene Vorbildrolle der Stadt wird fortan vor allem mit dieser Zielerreichung gekoppelt und verbunden sein.

9 ANSPRECHPARTNER*INNEN IN DER WISSENSCHAFTSSTADT DARMSTADT

Wissenschaftsstadt Darmstadt

Amt für Klimaschutz und Klimaanpassung

Bessunger Str. 125 / Block A

64295 Darmstadt

Tel.: 06151-13 4900

Fax: 06151-13 4930

LITERATURVERZEICHNIS

- (2017). Abgerufen am 2022 von <https://www.deutschlandfunk.de/sommerserie-gerechtigkeit-gibt-es-klimagerechtigkeit-100.html>
- B.&S.U.; DV; HFT Stuttgart. (2019). Abgerufen am 2022 von https://www.deutscher-verband.org/fileadmin/user_upload/documents/Brosch%C3%BCren/3_plus-Broschuere_gesamt_FINAL.pdf
- BMWi. (2014). *Sanierungsbedarf im Gebäudebestand - Ein Beitrag zur Energieeffizienzstrategie Gebäude*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin.
- Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. (2021). *Wie viel CO2 binden landwirtschaftlich genutzte Böden?* Abgerufen am 30. März 2022 von "Bundesinformationszentrum Landwirtschaft": <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/wie-viel-co2-binden-landwirtschaftliche-boeden#:~:text=W%C3%A4hrend%20Ackerb%C3%B6den%20im%20Schnitt%20etwa,Tonnen%20Kohlenstoff%20pro%20Hektar%20enthalten.>
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). (2021). *Wie umweltfreundlich sind Elektroautos? Eine ganzheitliche Bilanz*. Frankfurt am Main: Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG.
- Bundesregierung.de. (2021). Abgerufen am 2022 von <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>
- DELTA. (2022). Von <https://delta-darmstadt.de/> abgerufen
- dena. (Juni 2014). *Initiative Energieeffizienz, Deutsche Energie-Agentur, Mediathek, Infografiken*. (Deutsche Energie-Agentur GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 27. Juli 2021 von <https://www.dena.de/en/newsroom/infographics/>
- dena.de. (2021). Abgerufen am 2022 von <https://www.dena.de/newsroom/die-neue-null-linie/>
- dena-Gebäudereport. (2019). Abgerufen am 2022 von https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-GEBAEUDEREPORT_KOMPAKT_2019.pdf
- DGB Bildungswerk. (2019). Abgerufen am 2022 von *Sozio-ökologische Transformation*: <https://www.dgb-bildungswerk.de/gute-arbeit/sozio-oekologische-transformation>
- DStGB. (2021). *Kommunen gestalten Ernährung*. Abgerufen am 24. März 2022 von "Deutscher Städte und Gemeindebund".
- ECOSPEED Region. (2022). Von <https://region.ecospeed.ch/reco/index.html?actn=10181&lnnr=0&appv=2> abgerufen
- electrive.net. (2021). Abgerufen am 2022 von <https://www.electrive.net/2021/10/21/ead-elektrifiziert-alles-was-zwei-bis-sechs-raeder-hat/>

- (2017). *Energiespartipps für Haushaltsgeräte*. Berlin: Deutsche Energie Agentur.
- ENTEKA AG. (2021). Darmstadt.
- (2017). *ENTEKA Nachhaltigkeitsbericht 2017*. Darmstadt: ENTEKA AG. Von https://www.entega.ag/fileadmin/downloads/nachhaltigkeitsbericht/ENTEKA_Nachhaltigkeitsbericht_2018.pdf abgerufen
- fiBL. (2010). *Warum Bio dem Klima gut tut*. Frick: Forschungsinstitut für biologischen Landbau.
- Fraunhofer ISE. (2017). *Kurzstudie - Potenziale der Digitalisierung für den Klimaschutz*. Karlsruhe: Fraunhofer ISE.
- Fraunhofer ISE. (2022). *Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende*. Freiburg: Fraunhofer ISE.
- IASP. (2012). *CO₂-Bindungsvermögen der für die Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen*. Berlin: Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte.
- ifeu. (2014). *Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland*. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu).
- ifeu. (2016). *Kurzinformation Potenziale / Szenarien für MPK-Kommunen (Emissionsfaktoren und Verkehr)*. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu).
- ifeu. (2019). *BISKO - Bilanzierungs-Systematik Kommunal - Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland*. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu).
- IREES. (2015). *Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013*. Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien, Karlsruhe, München, Nürnberg.
- ISE, F.-I. f. (2022). *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.
- IWU. (2015). „TABULA“ – *Entwicklung von Gebäudetypologien zur energetischen Bewertung des Wohngebäudebestands in 13 europäischen Ländern*. (IWU - Institut Wohnen und Umwelt, Herausgeber) Abgerufen am 27. Juli 2021 von <http://www.iwu.de/forschung/energie/abgeschlossen/tabula/>
- Klimaanpassung im Landkreis Darmstadt-Dieburg*. (2017). Abgerufen am 2022 von <https://docplayer.org/59374287-Klimaanpassung-im-landkreis-darmstadt-dieburg.html>
- LLUR. (2011). *Leitfaden zur geothermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes, Erdwärmekollektoren - Erdwärmesonden, Empfehlungen für Planer, Ingenieure und Bauherren*. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes, Flintbek.
- MagV 2020/0194 „Sofortprogramm Klimaschutz“. (2020). Darmstadt.
- MagV 2020/0198 "Ausschreibung Handreichung zum Klimaschutz". (2020). Darmstadt.

- MagV 2020/0235 "Prüfung der Zulässigkeit des Bürgerbegehrens KlimaEntscheid Darmstadt". (2020). Darmstadt.
- MagV 2020/0252 "Prüfungen zu Auswirkungen von Magistratsvorlagen auf das Stadtklima/CO₂-Bilanz". (2020). Darmstadt.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2018). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, Recent Monthly Average Mauna Loa CO₂*. Abgerufen am 24. August 2021 von <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html>
- Öko-Institut / Fraunhofer ISI. (2015). *Klimaschutzszenario 2050, 2. Endbericht, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*. Öko-Institut e.V. und Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Berlin und Karlsruhe.
- Öko-Institut e.V. & International Council on Clean Transportation. (2018). *Klimaschutz im Verkehr: Maßnahmen zur Erreichung des Sektorziels 2030*. Berlin.
- Plant for the planet. (2020). *Stop Talking Start Planting*. Berlin: Plant for the planet.
- prognos. (2019). *Evaluierung des Förderprogramms „Energetische Stadtsanierung - Zuschuss“*. Basel: BMI & KfW.
- Rück, F., Averdiek, A., Große-Heckmann, G., Kroek, S., Wittstok, P., Trautz, D., & von Dressler, H. (2015). *Bodenbezogene Emissionsminderung von Treibhausgasen (THG) in der Kulturlandschaft am Beispiel des Materplans Klimaschutz des Landkreises Osnabrück*. Bielefeld: Erich Schmidt Verlag.
- Sonnberger, M. (2014). *Weniger provoziert Mehr. Energieeffizienz bei Gebäuden und der Rebound-Effekt*. Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau, Stuttgart.
- Städtebauliche Klimafibel*. (2022). Abgerufen am 2022 von <https://www.staedtebauliche-klimafibel.de/sh2.php?f=abb-6-7.jpg>
- Statistisches Bundesamt. (2011). *Ergebnisse des Zensus 2011*. Abgerufen am 10. September 2021 von <https://ergebnisse2011.zensus2022.de/datenbank/online>
- (2020). *Statistische Berichte 1. Halbjahr 2020 - Wissenschaftsstadt Darmstadt*. Darmstadt. Von https://www.darmstadt.de/fileadmin/Bilder-Rubriken/Statistische_Berichte_1_2020_Internet.pdf abgerufen
- SV 2019/0043 "Höchste Priorität für Klimaschutz – Weltklima in Not – Darmstadt handelt". (2019). Darmstadt.
- Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050*. (10 2013). Abgerufen am 2022 von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/treibhausgasneutrales_deutschland_im_jahr_2050_langfassung.pdf
- UBA. (2021). Abgerufen am 2022 von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2021-03-24_factsheet_treibhausgasneutralitaet_in_kommunen.pdf
- UBA. (15. 03 2022). Abgerufen am 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-emission-von-treibhausgasen#die-wichtigsten-fakten>

- Umweltbundesamt. (2010). *CO₂-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland. Mögliche Maßnahmen und ihre Minderungspotenziale. Ein Sachstandsbericht des Umweltbundesamtes*. Dessau-Roßlau.
- Verbrauchskennwerte für Gebäude - Verbrauchskennwerte für Heizenergie, Strom und Wasser. (11 2014). *VDI 3807 Blatt 2*.
- Wietscheld, M., Kühnbach, M., & Rüdiger, D. (2019). *Die aktuelle Treibhausgas-emissionsbilanz von Elektrofahrzeugen in Deutschland*. o. A.: Fraunhofer ISE.