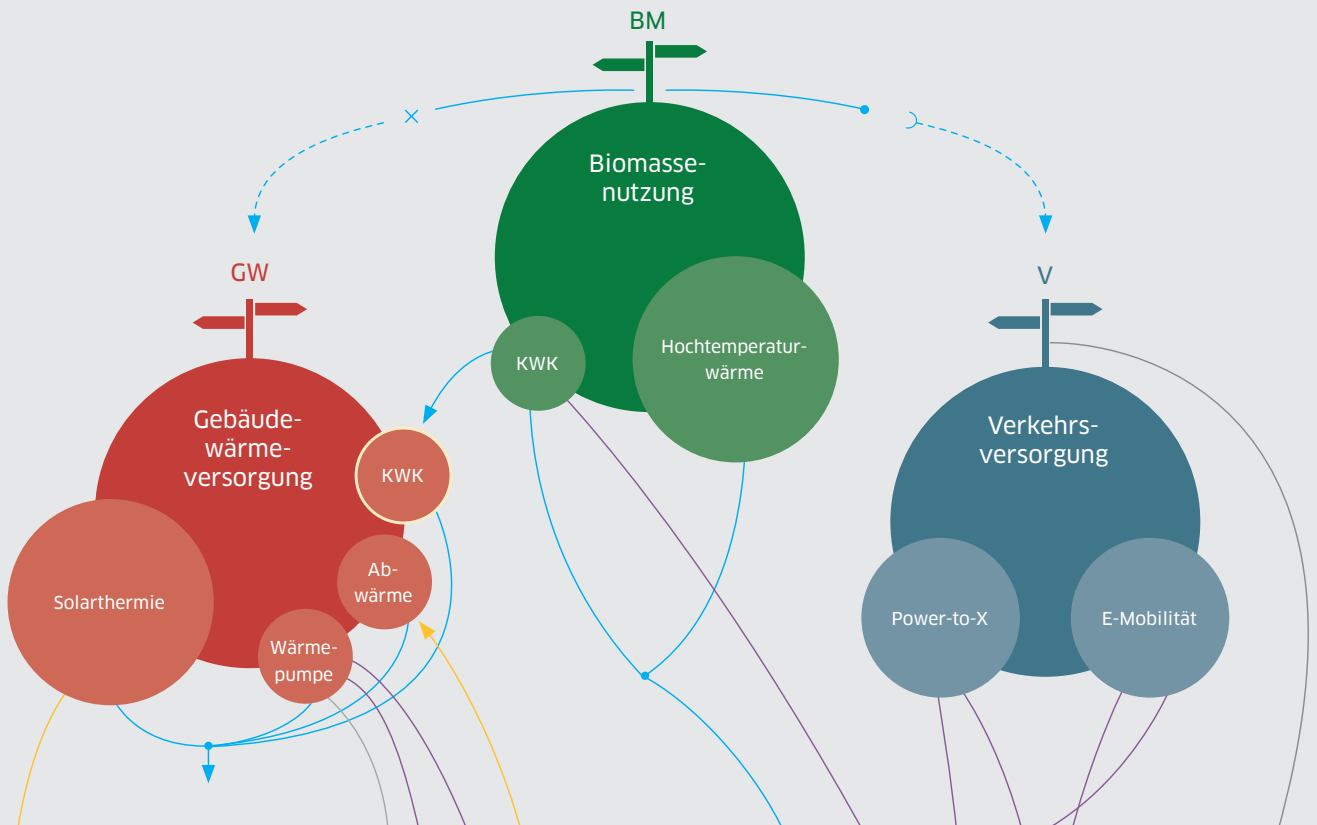


Handbuch methodischer Grundfragen zur Masterplan-Erstellung

Kommunale Masterpläne für 100 % Klimaschutz



Impressum

Herausgeber FH Aachen, Körperschaft des öffentlichen Rechts, ausführende Stelle Solar-Institut Jülich der FH Aachen (SIJ) in Kooperation mit Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (WI) und Deutschem Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

Fachliche Unterstützung Umweltbundesamt (UBA) und Projektträger Jülich, GB Klima (PtJ)

Projektleitung Dipl.-Ing. Anette Anthrakidis, M.Eng. (SIJ)

Autorinnen und Autoren

SIJ: Dipl.-Ing. Barbara Fricke, M.Sc.; Mirjam Schöttler, M.Sc.; Sebastian Steininger, M.Eng.; Sven Kluczka, M.Sc.

WI: Dr. Johannes Venjakob; Dipl.-Geogr. Marie-Christine Gröne M.A.; Dipl.-Geogr. Ulrich Jansen; Dipl.-Geogr. Caroline Schäfer-Sparenberg; Dipl.-Ing. Dietmar Schüwer; Dipl.-Inf. Thomas Hanke; Mathis Buddeke, M.Eng.; Dipl.-Phys. Frank Merten

DLR: Dr. Tobias Naegler; Dr. Sonja Simon; Dipl.-Geogr. Steffen Stöckler; Dipl.-Wirtsch.-Ing. Evelyn Sperber

Für wertvolle Anregungen, Hinweise und Korrekturen während der Erarbeitung des Handbuchs bedanken wir uns bei Hans Hertle, Frank Dünnebeil, Lars Brischke (ifeu), Stefan Franke (Masterplan-Manager 100% Klimaschutz, Landkreis Marburg-Biedenkopf) und Michael Wolters (Leitstelle Klimaschutz, Rheine).

Redaktion Dipl.-Ing. Barbara Fricke, M.Sc. (SIJ); Dr. Tobias Naegler (DLR);
Dr. Johannes Venjakob (WI)

Gestaltung und Satz Eva Müller, Wuppertal

Grafiken Eva Müller, Wuppertal

Lektorat Antje Utermann-Funke, Dortmund

© 2016 Solar-Institut Jülich der FH Aachen, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

sowie bei den Autorinnen und Autoren

Das diesem Handbuch zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 03KSE043A - C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Die Verantwortung für die unter Verwendung des Handbuchs entwickelten Konzepte, Strategien und Maßnahmen sowie möglicherweise dazu getroffener Planungs- und Investitionsentscheidungen liegt im vollen Umfang bei den Nutzern des *Handbuchs methodischer Grundfragen*. Sie liegt nicht bei den Autoren dieses Handbuchs.

Inhalt

1	Vorwort	5
2	Einführung: Nahezu CO₂-freie kommunale Versorgungskonzepte bis 2050	6
2.1	Methodische Grundfragen für die Entwicklung kommunaler Zukunftssysteme	6
2.2	Hintergrundprojekt KomRev	8
2.3	Exergie-Exkurs	12
3	Suffizienz	14
3.1	Wo tritt Suffizienz in den Kommunen besonders in Erscheinung?	15
3.2	Suffizienz in zentralen Handlungsfeldern des Leitfadens	16
4	Akzeptanz	18
4.1	Akzeptanz für regenerative Energieerzeugung und -nutzung	19
4.2	Akzeptanz für die Mobilitätswende	21
4.3	Akzeptanzprobleme auf Ebene der kommunalen Verwaltung	21
5	Energie- und CO₂-Bilanzierung	23
5.1	Zusammenspiel Klimaschutz-Planer und Handbuch	23
5.2	Methodische Aspekte der Energie- und THG-Bilanzierung	23
5.3	Bilanzierung von Endenergie	26
5.4	Bilanzierung von Treibhausgasen	28
6	Arbeitsschritte der Masterplan-Entwicklung (Übersicht)	30
7	Masterplan-Schritt 1: Erfassung der Infrastruktur	34
7.1	Infrastruktur Strom	34
7.2	Infrastruktur Gas	35
7.3	Infrastruktur Wärme	35
7.4	Infrastruktur Verkehr	36
8	Masterplan-Schritt 2: Demografische Randbedingungen	38
9	Masterplan-Schritt 3: Erfassung kommunaler Potenziale erneuerbarer Energien	40
9.1	Solarenergie: PV und Solarthermie	40
9.2	Windkraft	41
9.3	Geothermie	42
9.4	Wasserkraft	43
9.5	Biomasse	44
10	Masterplan-Schritte 4 und 5: Heutige und zukünftige Energiebedarfe von Haushalten	48
10.1	Masterplan-Schritt 4: Strombedarf privater Haushalte	48
10.2	Masterplan-Schritt 5: Wärmebedarf privater Haushalte	52
11	Masterplan-Schritte 6, 7 und 8: Industrie und GHD	63
11.1	Masterplan-Schritt 6: Heutiger und zukünftiger Energiebedarf von Industrie und GHD	63
11.2	Masterplan-Schritt 7: Zukünftige Versorgungsoptionen heute brennstoffbasierter Prozesswärmebedarfe	69
11.3	Masterplan-Schritt 8: Abwärmenutzung als interne und externe Versorgungsmöglichkeit	74

12	Masterplan-Schritt 9: Heutige und zukünftige Mobilitätsversorgung	80
12.1	Erfassung der Ist-Situation Mobilität	81
12.2	Zukünftige Versorgungsoptionen Mobilität	83
13	Masterplan-Schritt 10: Entwicklung sektorübergreifender Verwendungskonzepte für CO₂-arme Brenn- und Kraftstoffe (Brennstoffwende)	90
13.1	Zukünftige Einsatzbereiche von Brenn- und Kraftstoffen	90
13.2	Welche Brenn- und Kraftstoffe können aus Biomasse bereitgestellt werden?	91
13.3	Zuordnung von Biomassepotenzialen zu den Sektoren	93
13.4	Versorgungsmöglichkeiten durch EE-Gas	96
13.5	Methodische Aspekte der Endenergie-Bilanzierung	96
14	Masterplan-Schritt 11: Entwicklung sektorübergreifender Versorgungskonzepte für CO₂-arme Raumwärme und Warmwasser (Wärmewende)	99
14.1	Wärmeversorgungssystem heute	99
14.2	Bedeutung des Wärmesektors in einem postfossilen Versorgungssystem	99
14.3	Versorgungsoptionen einer postfossilen Wärmeversorgung	102
14.4	Solarthermische Wärme mit Wärmenetzen und saisonaler Wärmespeicherung	102
14.5	Zuordnungsansätze der Wärmenetzzeignung von Besiedelungsgebieten	103
14.6	Zusätzliche Nutzungsoptionen saisonaler Speicher in Verbindung mit Wärmepumpen	103
14.7	Weitere Nutzungsoptionen für Wärmenetze	104
14.8	Strombasierte Einzelgebäudeversorgung	104
14.9	Methodische Aspekte der Endenergie-Bilanzierung	104
15	Masterplan-Schritt 12: Entwicklung sektorübergreifender Ausgleichsoptionen erneuerbarer Stromversorgung (Stromwende)	106
15.1	Bedeutung des Stromsektors in einem postfossilen Versorgungssystem	107
15.2	Fluktuationsausgleich im zukünftigen Energieversorgungssystem	107
15.3	Methodische Aspekte der Endenergie-Bilanzierung	111
16	Anwendbarkeit in Kommunen mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen	112
16.1	Übertragbarkeit der Methodik	112
16.2	Systemgrenzen und interkommunaler Austausch	113
17	Literaturverzeichnis	116

1 Vorwort

Kommunen spielen für die Erreichung der nationalen Klimaschutzziele eine zentrale Rolle. Das Bundesumweltministerium unterstützt deshalb Landkreise, Städte und Gemeinden in ihren Klimaschutzaktivitäten. Bereits im Jahr 2008 wurde mit der Kommunalrichtlinie ein breites Förderprogramm innerhalb der Nationalen Klimaschutzinitiative aufgelegt.

Einige Kommunen, die sich das Ziel gesetzt haben, bis zum Jahr 2050 ihre Treibhausgas-Emissionen um 95 Prozent und ihren Energieverbrauch um 50 Prozent im Vergleich zu 1990 zu reduzieren, werden mit einem speziellen Förderprogramm, der sogenannten Masterplan-Richtlinie, unterstützt. Erstmals wurde im Jahr 2012 mit der Förderung von 19 Masterplan-Kommunen begonnen. Masterplan-Kommunen haben sich das sehr ambitionierte Ziel gesteckt, bis zum Jahr 2050 einen Strukturwandel zu schaffen, der sowohl die Energieversorgung und die Wirtschaft als auch Bürgerinnen und Bürger vor Ort vor große Veränderungen stellen wird. Mit der Veröffentlichung der Masterplan-Richtlinie im Jahr 2015 wurde eine neue Auswahlrunde eingeleitet.

Um diese Veränderungen nachhaltig zu planen und zu managen, die Akzeptanz in der Bevölkerung für diese Veränderungen zu schaffen und die Chancen, die sich aus den Veränderungen ergeben, zu nutzen, erstellen Masterplan-Kommunen in einem ersten Schritt den Masterplan, der als Grundlage für die Umsetzung bis 2050 dient. Mit dem vorliegenden Handbuch können Masterplan-Kommunen die Erstellung des Masterplans strukturiert, methodisch und einheitlich angehen. Es soll sowohl die Masterplan-Managerinnen und -Manager bei ihrer Arbeit als auch die den Masterplan erstellenden externen Dienstleister unterstützen. Das Handbuch erleichtert es den Kommunen, den Masterplan innerhalb eines Jahres zu beschließen, da sie nach einem einheitlichen Schema arbeiten können und alle wichtigen Aspekte, die sie bei der Masterplan-Erstellung berücksichtigen müssen, im Handbuch ausführlich beschrieben werden.

Masterplan-Kommunen sind die Vorreiter unter den Klimaschutzkommunen und müssen über das bisher in der Breite bereits Begonnene hinausgehen. Sie stehen vor großen strukturellen und finanziellen Herausforderungen, aber auch vor großen Chancen. Die Chancen ergeben sich insbesondere für ein verbessertes und lebenswerteres Umfeld in der Kommune und damit auch für eine gesteigerte Lebensqualität. Die Einbindung aller Akteure in der Kommune, innerhalb und außerhalb der Verwaltung, ist ein wichtiger Baustein auf dem Weg zum Ziel „Null Emissionen“. Vor allem die Einbindung der Wirtschaft vor Ort und der Bürgerinnen und Bürger ist essenziell, wenn eine Transformation angestoßen und umgesetzt werden soll. Das Handbuch unterstützt die Masterplan-Kommunen mit der vorliegenden methodischen Herangehensweise auf ihrem Weg.



Staatssekretär Jochen Flasbarth

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

2 Einführung: Nahezu CO₂-freie kommunale Versorgungskonzepte bis 2050

2.1 Methodische Grundfragen für die Entwicklung kommunaler Zukunftssysteme

Vollständig erneuerbare (= postfossile) und damit nahezu CO₂-freie Versorgungskonzepte der Zukunft benötigen Entwicklungen auf allen Ebenen – Kommunen, Länder, Bund und EU – und in allen Bereichen – Technik, Politik, Gesellschaft und Wirtschaft. Die Förderung *Masterplan 100 % Klimaschutz* ermöglicht es den ausgewählten Masterplan-Kommunen, ein zu ihren lokalen Bedingungen passendes kommunales Energieversorgungskonzept zu entwerfen, um die Masterplan-Ziele zu erreichen. Ein solches ambitioniertes postfossiles Versorgungskonzept stellt bereits während der Erarbeitung die Diskussions- und Orientierungsgrundlage für die notwendigen politischen und gesellschaftlichen Entscheidungen dar, die von der Kommune und den Bürgern kurz- bis langfristig getroffen werden müssen. Gleichzeitig werden bei der Entwicklung des Masterplans auch Voraussetzungen auf überkommunaler Ebene deutlich, die für ein postfossiles kommunales Energiesystem erforderlich sind.

Die Masterplan-Kommunen sehen sich bei der Entwicklung der postfossilen Versorgungskonzepte mit verknüpften gesellschaftlichen und technischen Herausforderungen konfrontiert. Die Aufgabe der Masterplan-Managerin/des Masterplan-Managers ist es, als Schnittstelle zu agieren. Hier laufen alle Informationen zusammen, sie/er vernetzt alle Akteure innerhalb und außerhalb der Kommune, koordiniert den Masterplan-Beirat sowie die Erstellung des Masterplans und achtet darauf, dass alle bereits vorhandenen Informationen, Pläne und Konzepte als Grundlage genutzt

werden. Dabei sorgt sie/er vor allem dafür, dass die Entwicklung des Masterplans ein Gemeinschaftswerk aller Beteiligten wird – vom Entwurf bis zur Beschlussfassung –, damit die Identifikation mit den beschlossenen Umsetzungsmaßnahmen in der Kommune gegeben ist.

S Ein postfossiles Energieversorgungskonzept ist aufgrund der begrenzten Ressourcen nicht allein durch **A** technische Veränderungen umsetzbar, **U** Suffizienz-herausforderungen und **K** Akzeptanzfragen spielen **F** eine wichtige Rolle. Der Zusammenhang zwischen **Z** technischen Effizienzsteigerungen, **E** Versorgungsmöglichkeiten mit erneuerbarer Energie und den **P** Themen **I** Suffizienz und **T** Akzeptanz ist in den Kapiteln 3 und 4 im Überblick dargestellt. In allen weiteren Kapiteln werden die mit **A** Suffizienz und **N** Akzeptanz zusammenhängenden technischen Ansätze durch farbige **Z** Markierungen hervorgehoben, wie sie am Rand dieses Abschnitts zu sehen sind.

Die technische Masterplan-Entwicklung birgt besondere Herausforderungen durch die Umstellung auf vollständig erneuerbare Energie mit ihren wetterbedingten Schwankungen und knappen Ressourcen. Detailliert werden Herausforderungen und Lösungsansätze in den Einzelkapiteln zur Weiterentwicklung im Bedarfs- und Versorgungsbereich (Kapitel 7 bis 15) beschrieben. Im Folgenden sind drei Kernbereiche der technischen Herausforderungen bei der Masterplan-Erstellung kurz zusammengefasst. Die weiteren Kernbereiche Suffizienz und Akzeptanz werden in eigenen Kapiteln dargestellt.

Drei wesentliche technische Herausforderungen vorab ...

..., die bei allen konzeptionellen Entscheidungen im Masterplan-Prozess mit zu bedenken sind:

Wechsel des zentralen Energieträgers

In einem postfossilen Energieversorgungssystem sind Brennstoffe nur aus Biomasse oder aus Strom erzeugbar. Die jährliche Brennstoffmenge aus nachhaltig nutzbarer Biomasse ist dabei u. a. aufgrund von Boden- und Ressourcenschutz sowie Nutzungskonkurrenzen sehr beschränkt. Die Produktion von Brennstoffen aus erneuerbarem Strom ist energie- und infrastrukturentwickelnd. Strom ist eine Energieform, die durch erneuerbare Energien mit verhältnismäßig geringem Aufwand bereitgestellt werden kann.

Dadurch löst Strom im Zukunftssystem die (heute noch fossilen) Brennstoffe als zentrale Energieträger ab und trägt im Vergleich zu heute in deutlich höherem Umfang zur Gesamtenergieversorgung aller Sektoren bei.

Sektorale Vernetzung (intersektorale Kopplung)

Zwischen dem gegenwärtigen Energieversorgungssystem und einem zukünftig sektoral stärker miteinander vernetzten System ist ein struktureller Paradigmenwechsel zu bewältigen. Jede sektorale Versorgungsentscheidung beeinflusst im Zukunftssystem unmittelbar oder mittelbar Versorgungs- und Infrastrukturoptionen der anderen Sektoren. Verbindungsglieder sind die begrenzten Erzeugungspotenziale und Anforderungen an den Ausgleich von EE-Strom- und Wärmefluktuationen (s. auch Abb. 2-1).

Ein beispielhafter Ausschnitt verdeutlicht die komplexen intersektoralen Zusammenhänge:

Die Entscheidung für einen 50 %igen Anteil nicht fossiler kraftstoffbasierter Mobilität anstelle einer 100 %igen Elektromobilität innerhalb der Kommune mindert (u. a.) die Brennstoffverfügbarkeit für KWK-Anlagen mit Konsequenzen im Strom- und Wärmesystem, wie z. B.

- geringere Fluktuationsausgleichsoptionen im Stromsystem
- zusätzliche Infrastrukturanforderung Stromspeicherung und/oder Netzausbau
- fehlende Wärmeauskopplung aus KWK-Anlagen, die ersetzt werden muss durch
 - » höhere Wärmepumpen-Versorgungsanteile (Einfluss auf Mengen und Leistungen Stromsystem) und/oder
 - » zusätzliche solarthermisch-netzgebundene Versorgung (Ausbau Wärmenetz, saisonaler Speicher, Kollektorfläche)

Speicher und Last-/Erzeugungsmanagement

Eine zentrale Herausforderung für die Integration hoher Anteile nicht regelbarer erneuerbarer Energiequellen wie Sonne und Wind in ein postfossiles Energieversorgungssystem liegt darin, die zeitlich schwankende Stromerzeugung aus Sonnenenergie und Wind der ebenfalls schwankenden Nachfrage jederzeit anzupassen. Dies ist durch den Einsatz von Speichern oder von Last- und Erzeugungsmanagement zu bewältigen. Darüber hinaus wird Wind- oder Solarstrom oft an Standorten erzeugt, die nur einen geringen Stromverbrauch und ein schwach ausgebautes Stromnetz aufweisen. Hier muss ein verstärktes Stromnetz dafür Sorge tragen, dass der EE-Strom zu den Verbrauchern transportiert werden kann. Durch dezentrale Kurzzeit-Speicherkapazitäten können ergänzend hohe Erzeugungsspitzen zeitlich verteilt in das Netz eingespeist werden. Dadurch wird der erforderliche Netzausbau verringert. Ähnliche Herausforderungen gelten für die Nutzung von solarer Wärme, die überwiegend im Sommer anfällt, aber im Winter genutzt werden soll. Auch hier können (Wärme-) Speicher das Dargebot an Sonnenwärme zeitlich der Nachfrage anpassen. Für die räumliche Verteilung von zentral erzeugter Wärme bieten sich Wärmenetze an.

Bei der technischen Masterplan-Entwicklung stellen sich in jeder Masterplan-Kommune Fragen in Bezug auf

- Energiebedarfe in der gegenwärtigen Struktur
- Bedarfsminderungen durch Effizienz und Suffizienz
- kommunale Energiebereitstellungs-Potenziale
- sektorüberschreitende Versorgungsmöglichkeiten (Haushalte, Industrie, Gewerbe, Verkehr) und
- Kopplungsmöglichkeiten verschiedener Endenergie-Versorgungsbereiche (Strom, Wärme, Brennstoffe, Kraftstoffe)

Für eine systematische Bearbeitung dieser Fragen und eine klar strukturierte Dokumentation der Lösungen durch die Masterplan-Kommunen stellt dieses Handbuch in den Kapiteln 7 bis 15 methodische Ansätze für die Konzeptentwicklung vor (Übersicht s. Kapitel 6). Die Methodik basiert auf dem Forschungsprojekt KomRev.

2.2 Hintergrundprojekt KomRev¹

Im Forschungsprojekt KomRev² entwickelten die Autoren anhand der für die Stadt Rheine erarbeiteten **postfossilen Versorgungskonzepte (= Zielvisionen)** die methodischen Ansätze, die für die Masterplan-Kommunen in diesem Handbuch als Hilfestellung beschrieben werden.

Im Projekt KomRev wurden von 2012 bis 2014 zwei weitgehend CO₂-freie Energienutzungs- und Versorgungskonzepte mit hohen kommunalen Energieerzeugungsanteilen **beispielhaft für die Stadt Rheine** entwickelt. Das zukünftige Energiesystem wurde unter Berücksichtigung von Kopplungsoptionen zwischen den Versorgungsbereichen Strom, Wärme und Brennstoffe betrachtet. Aus der Vielzahl von Versorgungs- und Vernetzungsmöglichkeiten ergibt sich eine hohe Zahl an Umsetzungsmöglichkeiten. Die beiden in KomRev entwickelten postfossilen Konzepte „Maximal Dezentral“ und „Moderat Dezentral“ stellen damit nur zwei mögliche Zielpunkte aus einer sehr großen Bandbreite möglicher Versorgungskonzepte dar.

Die Abbildung am Ende dieses Kapitels (Abb. 2-1) zeigt die hohe Zahl wechselseitiger Abhängigkeiten bei der Entwicklung sektorübergreifend verbundener postfossiler Versorgungskonzepte und macht deutlich, welche vielfältigen Wirkungen mit jeder konzeptionellen Entscheidung verbunden und abzuwägen sind. Übersichtliche Detailausschnitte dieser Zusammenhänge sind grafisch jeweils in den Kapiteln 12 bis 15 für die Versorgungsbereiche Mobilität, Brennstoffe, Gebäudewärme und Strom zu finden.

Die in Tabelle 2-1 dargestellten konzeptionellen Entscheidungen für die speziell für Rheine entwickelten Versorgungskonzepte „Maximal Dezentral“ und „Moderat Dezentral“ illustrieren Rheine-spezifische Lösungen grundlegender Fragen, die bei der Erstellung **aller** Masterpläne durchdacht und getroffen werden müssen. Die hier präsentierten Entscheidungen für die beiden Zielvisionen in Rheine können ggf. in ähnlicher Form, u. U. auch kombiniert, in anderen Kommunen zur Entwicklung von Masterplänen eingesetzt werden, wenn in den betreffenden Kommunen für einzelne Sektoren ähnliche Ausgangssituationen vorliegen. Masterplan-Kommunen sollten jedoch vor

allem zur individuellen kommunalen Situation passende Konzepte entwickeln, die auch deutlich anders aussehen können als die hier beispielhaft für Rheine dargestellten.

Einige Prämissen waren beiden Zielvisionen in Rheine gemeinsam

- kein Einsatz fossiler Energieträger
- hoher Versorgungsanteil durch erneuerbare Energieträger, Reststoffpotenziale und Abwärmemengen³ aus dem Gebiet der Kommune
- hohe Effizienz bei Energienutzung und energetischer Umwandlung
- kein Einsatz hochwertiger Brennstoffe für Wärmeerzeugung auf niedrigem Temperaturniveau (<100 °C); Einsatz von Strom für Niedertemperaturwärme nur in Wärmepumpen
- Biomasse-Einsatz nur aus dem Potenzial der Kommune

Durch die Nutzung von Geografischen-Informationssystem-Modellen (GIS-Modellen) und zeitlich aufgelöste Simulationen wurden im Projekt KomRev Energiebedarf und Energieversorgung im Jahresverlauf für alle Versorgungsbereiche als Stundenwerte und als Jahressumme berechnet. Modellierung und Simulation der beiden Zielvisionen ermöglichten damit die Ermittlung wichtiger Kennwerte für die mit den KomRev-Konzepten verbundenen infrastrukturellen Anforderungen (Netze, Speicher, Erdwärmesonden, Kollektorflächen, ÖPNV-Netzverdichtung etc.). Ausgewählte Kennwerte werden in einigen Kapiteln des Handbuchs als Orientierungswerte für einzelne Möglichkeiten bei der Masterplan-Entwicklung angegeben.

Bei weitergehendem Interesse sind Details zu den Ergebnissen online unter <https://www.fh-aachen.de/forschung/solar-institut-juelich/systemanalyse-und-ressourcenproduktivitaet/> zu finden.

¹ Die kommunale Effizienzrevolution für den Klimaschutz in den deutschen Städten - Voraussetzungen, Transformationspfade, Wirkungen „KomRev“, FKZ 03KSE043A, BMUB, Laufzeit: Nov. 2012 bis Aug. 2016

² Projektwebseite: KomRev-Link unter <https://www.fh-aachen.de/forschung/solar-institut-juelich/systemanalyse-und-ressourcenproduktivitaet/>

³ Die Potenziale für Windenergie, Solarenergie und Wasserkraft wurden in beiden Zielvisionen unter Berücksichtigung von Nutzungskonkurrenzen und Akzeptanzfaktoren vollständig genutzt, Tiefengeothermie-Potenziale liegen in Rheine nicht vor.

Tabelle 2-1: Konzeptionelle Entscheidungen der beiden Zielvisionen für Rheine

VERSORGUNGSOPTIONEN	MAXIMAL DEZENTRAL	MODERAT DEZENTRAL
Energieaustausch mit dem übergeordneten System	<ul style="list-style-type: none"> • Vorgelagertes Stromnetz: Strombezug und -einspeisung möglich • Kein Bezug von Brennstoffen möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorgelagertes Stromnetz: Strombezug und -einspeisung möglich • Vorgelagertes Gasnetz: Bezug von synthetischem Methan (Power-to-Gas)⁴ möglich • Kraftstoffe: Bezug synthetischer Kraftstoffe aus erneuerbaren Quellen⁵ möglich
Biomasse-Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> • Höchste Priorität: Bereitstellung von (Hochtemperatur-) Prozesswärme • Verbleibende Potenziale: KWK-Nutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Höchste Priorität: Kraftstofferzeugung (Mobilität) • Verbleibende Potenziale: KWK-Nutzung
Kommunale Mobilität⁶	<ul style="list-style-type: none"> • Ausschließlich strombasiert 	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung von Strom und erneuerbaren Kraftstoffen möglich
(Hochtemperatur-) Prozesswärme	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht durch Strom ersetzbar Brennstoffe ausschließlich aus kommunaler Biomasse bereitgestellt 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht durch Strom ersetzbar Brennstoffe durch synthetisches Gas bereitgestellt
Heizung- und Warmwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Höchste Priorität: Solarthermische Wärme, Nahwärmenetze, saisonale Speicher (85 % solare Deckung) • Geringer Restbedarf: Wärmepumpen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausschließlich Einzelgebäudeversorgung mit Erdwärme + Wärmepumpen
BEDARFSMINDERUNGSOPTIONEN	MAXIMAL DEZENTRAL	MODERAT DEZENTRAL
Heizung und Warmwasser	Gesamter Gebäudebestand energetisch saniert, verminderte Warmwasser-Energiebedarfe	
Strombedarf Haushalte	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung der jeweils besten Effizienztechnologie bei Fortschreibung des Bestandes • Änderung des Nutzerverhaltens durch Senkung der Ausstattungsraten energieintensiver Anwendungen berücksichtigt 	<ul style="list-style-type: none"> • Verwendung der jeweils marktüblichen Technologie bei Fortschreibung des Bestandes • Keine Änderung des Nutzerverhaltens berücksichtigt
Strombedarf Industrie	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Änderung der Produktionsmengen angenommen • Effizienzsteigerungen in Prozessen und Querschnittsanwendungen durch Verbesserungen und Ersatz von Anlagen, möglichst unter Berücksichtigung der derzeitigen Prozesseffizienzen • Zusätzlicher Strombedarf durch Elektrifizierung thermischer Anwendungen 	
Prozesswärmebedarf Industrie	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Änderung der Produktionsmengen angenommen • Effizienzsteigerungen in Prozessen und Querschnittsanwendungen durch Verbesserungen und Ersatz von Anlagen, möglichst unter Berücksichtigung der derzeitigen Prozesseffizienzen • Wenn technisch möglich: Elektrifizierung thermischer Anwendungen 	
Mobilität	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsvermeidung insbesondere durch Verkürzung der durchschnittlichen Wegelängen (verkehrssparende Siedlungsentwicklung, Verbesserung der Nahversorgung u. ä.) • Verkehrsverlagerung vom MIV zum Umweltverbund, differenziert nach Wegelängen • Verbesserungen der technischen Effizienz von Fahrzeugen 	

4 Erneuerbarer Strom => Elektrolyse => Wasserstoffproduktion => Kohlenstoffanreicherung => Methan

5 Mögliche Herstellungspfade z. B. <http://www.sunfire.de/kreislauf/power-to-liquids> oder http://www.audi.com/corporate/de/corporate-responsibility/wir-leben-verantwortung/produkt/synthetische-kraftstoffe-audi-e-fuels.html#fullwidthpar__ah_3#

6 Im Verkehrssektor wurden die territorial gut abgrenzbaren Sparten motorisierter Individualverkehr (MIV), leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV), jedoch nicht sonstiger Güterverkehr und Luftverkehr betrachtet.

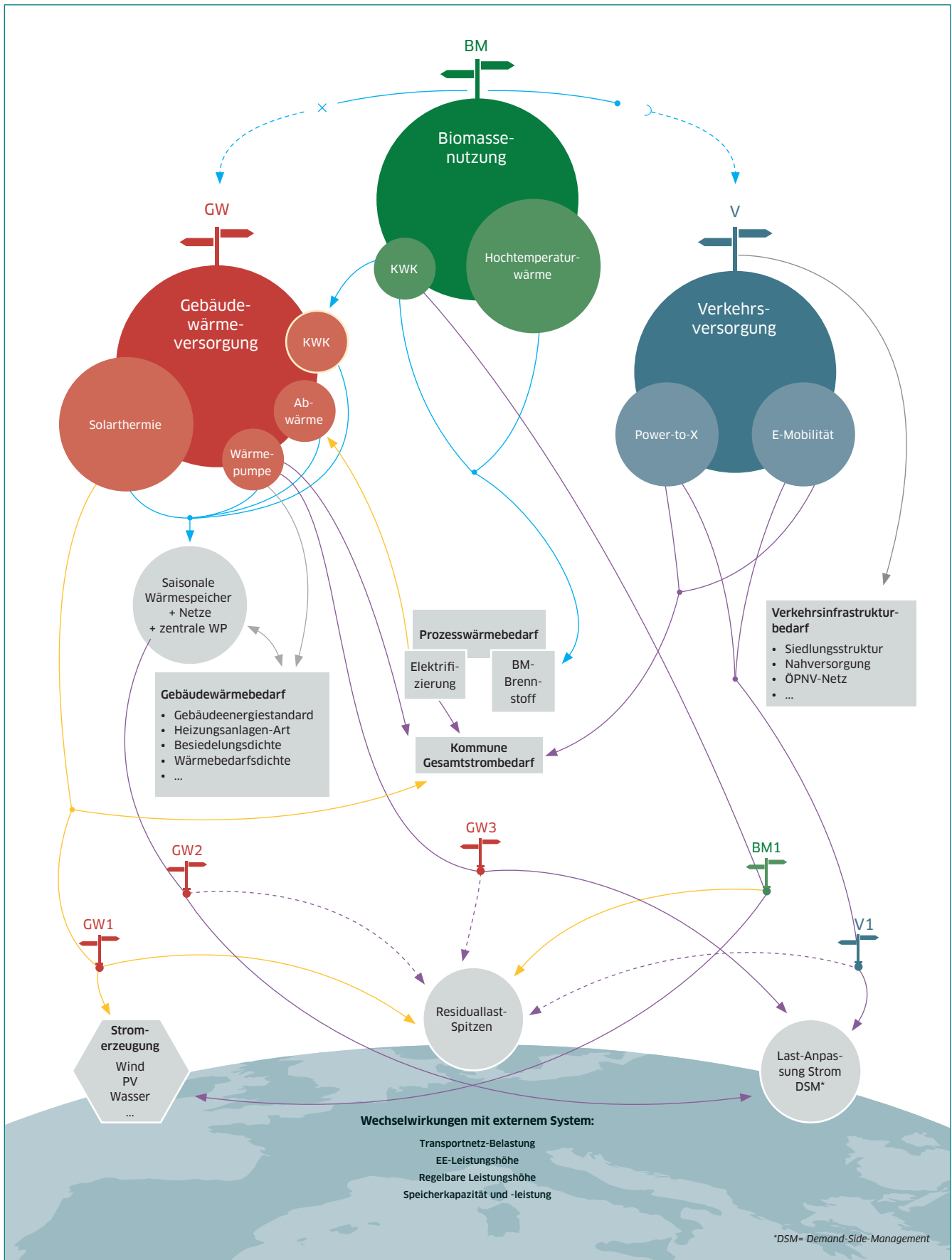








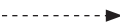










Abbildung 2-1: Wechselseitige Einflüsse von Bedarfs-, Versorgungs- und Infrastrukturentscheidungen in einem sektorübergreifend verbundenen erneuerbaren Energiesystem

SYMBOL	BEZEICHNUNG	BEDEUTUNG
	Zentrale Entscheidungs- bereiche	Entscheidungen für die Potenzialnutzung oder Versorgung in diesen Bereichen bewirken vielfältige Wechsel- wirkungen im System.
	Kreis	Kopplungspunkte der Sektoren
	Sechseck	Energieerzeugungsbereich
	Rechteck	Energiebedarfsbereich
----- x -----	Entscheidung nicht zulässig	Biomassepotenzial sollte aus exergetischen Gründen auch in anderen Zielvisionen nicht für Niedertemperatur- wärme eingesetzt werden (s. Abschnitt 2.3).
----- • -----	Entscheidungsoption, hier nicht gewählt	Biomassepotenzial wird hier grundsätzlich nicht für die Kraftstofferzeugung eingesetzt, könnte jedoch in anderen Zielvisionen dafür verwendet werden (s. Kapitel 13.2).
	Durchgezogener Pfeil	Violett: steigende Wirkung
	Durchgezogener Pfeil	Gelb: mindernde Wirkung
	Durchgezogener Pfeil	Cyan-Blau: Energieabgabe an
	Durchgezogener Pfeil	Grau: Anforderung an
	Gestrichelter Pfeil	Diese Auswirkung wird vermieden.
	Zentrale Entscheidungs- / Entwicklungsoption	Option HIER: Biomassenutzung primär für Hochtemperaturwärme, verbleibendes Potenzial für KWK (s. Kapitel 11.2.1 und 13.1) <i>Nicht dargestellte Option: Biomassenutzung primär für KWK und Verkehr</i>
	Zentrale Entscheidungs- / Entwicklungsoption	Option HIER: Netzgebundene Gebäudewärmeversorgung mit hohem Anteil Solarthermie (keine Biomasse) und Saisonalspeichern (s. Kapitel 14.4) <i>Nicht dargestellte Option: Einzelgebäude-Wärmeversorgung mit Wärmepumpen und PV</i>
	Zentrale Entscheidungs- / Entwicklungsoption	Option HIER: Verkehrsversorgung ohne Biomasse (Biokraftstoffe), nur Einsatz von E-Mobilität und EE-Synthese- Kraftstoffen (s. Kapitel 13.4) <i>Nicht dargestellte Option: Einsatz von Biokraftstoffen</i>
	Nachgeordnete Entscheidung	Option HIER: Stromgeführte Betriebsweise biomassebasierter KWK-Anlagen (s. Kapitel 15.2.1) <i>Nicht dargestellte Option: Wärmegeführte Betriebsweise biomassebasierter KWK-Anlagen</i>
	Nachgeordnete Entscheidung	Option HIER: Nutzung solarer Flächen primär für Solarthermie, nachrangig für PV (s. Kapitel 14.4 und Abb. 15-1) <i>Nicht dargestellte Option: Nutzung solarer Flächen primär für PV</i>
	Nachgeordnete Entscheidung	Option HIER: Systemdienliche Steuerung der Wärmepumpen in Saisonalspeichern (s. Kapitel 15.2.1) <i>Nicht dargestellte Option: Wärmegeführter Einsatz der Wärmepumpen in Saisonalspeichern</i>
	Nachgeordnete Entscheidung	Option HIER: Systemdienliche Steuerung der Wärmepumpen mit Pufferspeichern (s. Kapitel 15.2.1) <i>Nicht dargestellte Option: Wärmegeführter Einsatz der Wärmepumpen mit Pufferspeichern</i>
	Nachgeordnete Entscheidung	Option HIER: Systemdienliche Steuerung Kraftstofferzeugung und Be-/Entladung der E-KfZ-Batterien (s. Kapitel 15.2.1) <i>Nicht dargestellte Option: Ungeregelte Kraftstofferzeugung und Be-/Entladung der E-KfZ-Batterien</i>

Grafik 2-1 fasst anhand eines Beispiels die schwer zu überblickende Vielfalt der Wechselwirkungen von Entscheidungen in den Bedarfs- und Versorgungssektoren vereinfacht zusammen. In Anlehnung an die in KomRev entwickelten Konzepte wurden in drei zentralen Bereichen einige Entscheidungsoptionen zur Nutzung von Energieträgern zusammengestellt. Das Bild verdeutlicht die aus diesem Entscheidungsset resultierenden wesentlichen Wechselwirkungen im gekoppelten System.

Ebenso gut sind bei der Entwicklung der Zielvisionen natürlich die Wahl und Kombination anderer Versorgungsoptionen oder -schwerpunkte denkbar.

Durch die hohe Anzahl möglicher Entscheidungen und damit verbundener Wechselwirkungen können die kausalen Zusammenhänge aller Sektoren in einer Gesamtgrafik nicht verständlich abgebildet werden. Daher werden in den Kapiteln 12 bis 15 Ausschnitte der komplexen Zusammenhänge in drei Detailgrafiken beispielhaft aus Sicht der Versorgungsbereiche Verkehr, Gebäudewärme und Strom dargestellt (s. Kapitel 12, 13 und 14).

2.3 Exergie-Exkurs

Exkurs zur Qualität von Energie: Bedeutung der Exergie in den Zielvisionen

Analysen zu den Potenzialen zukünftiger treibhausgasarmer Versorgungsoptionen zeigen, dass die Wertigkeit der Energie in Zukunft eine viel stärkere Rolle spielen muss als bisher. In der Thermodynamik wird für diese Wertigkeit der Begriff des „Exergiegehalts“ verwendet, der Werte zwischen Null (0 %) und Eins (100 %) annehmen kann. Exergie ist definiert als derjenige (von den Umgebungsbedingungen abhängige) Anteil der Energie, der zur Abgabe von Arbeit in der Lage ist. Der Exergiegehalt der besonders hochwertigen Energieform „Elektrische Energie“ liegt beispielsweise bei 100 %, das heißt, Strom lässt sich – zumindest theoretisch in einem idealisierten Prozess – zu 100 % in Arbeit umwandeln. Im Gegensatz dazu beträgt der Exergiegehalt von Wärme auf Umgebungstemperatur-Niveau 0 %. Die exergetisch benötigte Qualität der Wärme im Gebäude liegt bei ca. 7 % für die Bereitstellung von Raumwärme*, bei ca. 15 % zur Erwärmung von Trinkwarmwasser (55 °C) und ca. 28 % beim Kochen (BMW/IBP 2009, S. 113). Aus thermodynamischer Sicht ist es in hohem Maße ineffizient, zu Heizzwecken fossile Brennstoffe bei mehreren hundert bis über tausend Grad Celsius zu verbrennen, um letztendlich eine Raumtemperatur von nur ca. 20 °C zu erzielen. Solche Umwandlungsprozesse gehen mit hohen Exergieverlusten einher. Um die begrenzt vorhandenen Energieressourcen optimal nutzen zu können, ist es in Zukunft unabdingbar, Energieträger mit hohem Exergiegehalt („High-Ex“) wie Brennstoffe oder elektrische Energie nur für hochwertige Anwendungen einzusetzen: Hochtemperatur-Prozesswärme, Antriebe oder Stromerzeugung. Um den Raumwärmebedarf von gut gedämmten Gebäuden zu decken, reichen im Prinzip „Low-Ex“-Niedertemperaturquellen, wie sie beispielsweise solar, geothermisch, aus der Umgebung (über Wärmepumpen) oder aus industrieller bzw. KWK-Abwärme gewonnen werden können.

Daher muss bei den nachgefragten Wärmeanwendungen unbedingt zwischen den Temperaturniveaus unterschieden werden, um Versorgungslösungen darauf optimal abstimmen zu können.

**bezogen auf eine Außentemperatur von 0 °C*

3 Suffizienz

Suffizienz steht für die absolute Reduzierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs bei der Herstellung und Nutzung von energie- und ressourcenintensiven Gütern und Dienstleistungen durch Veränderung der Nachfrage. Diese wird durch Änderung von Konsumententscheidungen, Alltagsroutinen, sozialen und kulturellen Praktiken, durch ein verändertes Angebot und Marketing von Produkten, Gütern und Dienstleistungen sowie – bei weitreichenden Suffizienzstrategien – durch andere Lebensstile und Wirtschaftsweisen realisiert.

Das Ziel von Suffizienzstrategien ist es, persönliche Bedarfe und Wünsche mit persönlichen, gesellschaftlichen und ökologischen Grenzen in Einklang zu bringen. Diese Grenzen lassen sich anhand der Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung formulieren, die durch Ziel-Leitbilder wie die klimaneutrale Kommune konkretisiert werden. Suffizienz basiert somit auf individuellen Entscheidungen, die, um gesellschaftlich anschlussfähig zu sein, einen entsprechenden politischen Rahmen brauchen, d.h. eine Suffizienzpolitik, die individuelle Entscheidungen zu suffizienten Praktiken und Lebensstilen ermöglicht, erleichtert und bestärkt.

Suffizienz, Energieeffizienz und die Nutzung erneuerbarer Energien (Konsistenz) sind die drei zentralen Nachhaltigkeitsstrategien im Energiebereich, die sich ergänzen, um ein nachhaltiges und nahezu CO₂-freies Energiesystem langfristig etablieren zu können. Suffizienzpolitik setzt den Rahmen für Angebot und Nachfrage so, dass die Nachfrage nach energie- und ressourcenintensiven Gütern und Dienstleistungen auf ein nachhaltiges Maß begrenzt wird. Masterplan-Kommunen müssen dieses komplementäre Spiel von Suffizienz, Effizienz und Konsistenz in den Masterplan und ihre Umsetzungsmaßnahmen integrieren, da ansonsten das ambitionierte Ziel der Klimaneutralität in der Regel nicht erreichbar ist.

Kommunen haben, entsprechend den Push- und Pull-Maßnahmenstrategien, zwei Ansatzpunkte für die Förderung und Umsetzung von Suffizienz, die jeweils flankiert werden sollten durch Sensibilisierung, Information, Aufklärung und Beratung der Bürgerinnen und Bürger:

1. Schaffung und Unterstützung von **Angeboten und Infrastrukturen**, die energiesparende,

ressourcenleichte Konsumententscheidungen, Praktiken, Lebensstile und Wirtschaftsweisen ermöglichen oder erleichtern (Pull-Maßnahmen), z. B. komfortable Fahrrad- und Fußgängerinfrastruktur, Stadtplanung unter der Prämisse von kurzen Wegen, attraktive, klimafreundliche Quartiersgestaltung und Freizeitangebote, Wohnraumlentkung, Förderung saisonaler und regionaler Nahrungsmittel, Reparaturmöglichkeiten für Produkte, strukturelle Erleichterung der gemeinschaftlichen Nutzung von Räumen, Flächen, Gütern und Dienstleistungen.

2. Schaffung von Rahmenbedingungen und Gestaltung von Infrastrukturen, die die **Nachfrage nach energie- und ressourcenintensiven Gütern und Dienstleistungen erschweren oder begrenzen** (Push-Maßnahmen), z. B. Parkraumverknappung, Geschwindigkeitsbegrenzung, Umweltzonen, autofreie Zeiten, Beschränkung der Werbung, Besteuerung oder Verbot energieintensiver oder klimaschädlicher Produkte (z. B. Heizpilze).

Grundsätzlich lassen sich zwei Phasen für die Förderung von suffizientem Verhalten im Alltag der Bürgerinnen und Bürger unterscheiden:

- **Phase der Anschaffung von Gütern:** Zum einen sind suffiziente Entscheidungen beim Kaufen, Mieten oder Investieren z. B. von Elektrogeräten, Wohnungen, Autos, Nahrung oder verpackungsarmen Produkten notwendig. Suffizienz verringert die Anzahl und/oder die Größe der benötigten Güter. Dieses Suffizienzziel ist auch über gemeinsame Nutzung anstelle von individuellem Besitz erreichbar (Share Economy, z. B. private gemeinsame Anschaffung und Nutzung eines Autos mit mehreren Parteien oder kommerzielles Carsharing, das Teilen von Wäschetrocknern in Mehrfamilienhäusern etc.). Darüber hinaus zählt auch die Reparatur von gebrauchten Gütern dazu, um Neuanschaffungen zu vermeiden.
- **Phase der Nutzung von Gütern:** Zum anderen sind suffiziente Entscheidungen bei der Nutzung insbesondere von energieintensiven Gütern und Dienstleistungen erforderlich, z. B. bei der täglichen Anzahl und Länge der Fahrten mit motorisierten Verkehrsmitteln, Nutzungszeit

des Fernsehers oder der Beleuchtung, Wahl der Raumtemperatur, beim Kochen etc.

Kommunen haben die Möglichkeit, suffizientes Verhalten durch die Verringerung der Nachfrage nach klimaschädlichen oder energieintensiven Produkten und Dienstleistungen zu unterstützen:

- Suffizienz stellt sich ein, wenn die suffizienten Verhaltensoptionen, d.h. die Entscheidung zum Kauf und die Nutzung klimafreundlicher Produkte und Dienstleistungen, freiwillig gewählt werden. Ein verändertes kulturelles Verständnis von nachhaltigem Wohlstand und gutem Leben geht damit einher. Es muss sich langfristig entwickeln und durchsetzen. Nachhaltige Lebensstile und ein Hinterfragen des eigenen Konsums ist ein langfristiges Unterfangen, bei dem die Kommune ihre Bürger begleiten kann. Eine direkte politische Förderung der Veränderung von Konsumentscheidungen (Präferenzstruktur) muss bedacht angegangen werden und kann zunächst durch Informationskampagnen und Aufklärungsarbeit in Schulen oder auch durch Anreize bzw. eine Veränderung auf der Angebotsseite (z. B. bei der Mobilitätsinfrastruktur) erreicht werden. Gerade Schulen und Kitas bilden für Kommunen eine gute Plattform, um suffizientes Verhalten zu fördern und darüber zu informieren, beispielsweise bei der Gestaltung eines klimafreundlichen Essensangebotes.
- Die Kommune hat in ihrem Zuständigkeitsbereich auch die Möglichkeit, durch restriktive politische Maßnahmen eine Nachfragereduktion nach energieintensiven Gütern und Dienstleistungen aktiv einzufordern. Inwieweit diese Maßnahmen aber gesellschaftlich anerkannt werden, ist im Einzelfall zu prüfen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine gesellschaftliche Inakzeptanz von restriktiven Maßnahmen sich auch langfristig ins Positive wandeln kann. Fußgängerzonen waren zur Zeit der autofreundlichen Stadtplanung in den 1960er- und 70er-Jahren umstritten, während das Fahrverbot mit motorisierten Verkehrsmitteln heute in bestimmten Einkaufsstraßen in fast allen Größenklassen von Städten anerkannt wird. Außerdem kommt es auch bei Verboten auf die Verhältnismäßigkeit an: Die Kommune muss abwägen, ob z. B. der motorisierte Individualverkehr im Innenstadtbereich komplett verboten werden, das Verbot sich nur auf einzelne Straßen beschränken soll oder ob die Nutzung von Fahrspuren für den Autoverkehr verringert und gleichzeitig auf die Nutzung für den Umweltverbund ausgeweitet werden soll.

- Eine weitere Option für die Förderung von Suffizienz ist die Erhöhung der Kosten für bestimmte klimaschädliche Verhaltensweisen auf kommunalem Gebiet. Hier wird das Verhalten nicht grundsätzlich verboten, sondern durch erhöhte Kosten weniger attraktiv. Als Beispiele sind eine City-Maut für bestimmte Verkehrsträger, z. B. Pkws, und die Erhöhung der Parkgebühren zu nennen.

Kommunale Suffizienzpolitik kann sehr vielseitig sein: von der Bereitstellung von Infrastruktur für suffizientes Verhalten (z. B. Repair Cafés) über die attraktive Gestaltung des öffentlichen Raumes (Bürger wollen in der Stadt bleiben), Mehrgenerationenhäuser und flexibles Wohnen bis hin zur Schaffung von autofreien Quartieren mit allen benötigten Geschäften.

3.1 Wo tritt Suffizienz in den Kommunen besonders in Erscheinung?

Suffizienz muss zur Erreichung der Klimaschutzziele auf allen Ebenen und über alle Sektoren hinweg in die Klimaschutzbemühungen einbezogen werden. Die lokale Ebene bietet viele Anknüpfungspunkte für die Förderung von Suffizienz, da hier die Alltagswelt der Bürgerinnen und Bürger gestaltet wird. So bestimmt die (Standort-) Wahl der Wohnung viele wichtige Parameter suffizienten Verhaltens wie beispielsweise die Wegelänge zur Arbeit, zur Schule, zu Einzelhandelsläden etc., die Möglichkeiten der Nutzung verschiedener Verkehrsmittel, die Größe der (beheizten) Wohnfläche. Während die (Standort-) Wahl an sich eine Entscheidung der einzelnen Haushalte ist, können dennoch politische Entscheidungen auf kommunaler Ebene die (Standort-) Wahl von Wohnungen so beeinflussen, dass ein suffizientes Verhalten erleichtert wird (bspw. Auflage und/oder Nutzung vorhandener Programme zur Quartiersaufwertung, Maßnahmen im kommunalen Wohnungsbau). Hier existieren sehr unterschiedliche Rahmenbedingungen und daraus resultierende sehr unterschiedliche Herangehensweisen bei wachsenden städtischen oder zurückgehenden ländlichen Wohnquartieren.

Ein weiterer Faktor, der auf die Auswahl einer passenden Wohnungsgröße Einfluss nimmt, sind organisatorische Maßnahmen. Praktische Hilfe bei der Auswahl, beim Umzug und schließlich beim Einrichten einer neuen Wohnung kann die Entscheidung für einen Umzug erleichtern. Wohnungstauschbörsen helfen dabei, die passende Wohnung im Quartier oder der Stadt zu finden. Wer auf kommunaler

Ebene diese Maßnahmen anbieten und umsetzen kann, ist lokal zu entscheiden. Das Angebot reicht von kommunalen Einrichtungen über private Vereine bis hin zu kirchlichen Trägern. Zudem kann durch bereitgestellte Gemeinschaftsräume und Gästeappartements der individuelle Platzbedarf der Haushalte verkleinert werden, wenn dies mit dem kommunalen Recht vereinbar ist. Wohnungsgenossenschaften und Wohnungsbaugesellschaften sind hier die zentralen Akteure.

Das Thema „Nahversorgung“ spielt auch für die Suffizienz und die gesellschaftliche Entwicklung eine große Rolle. Neben gemeinschaftlichen Fahrangeboten zu Versorgungseinrichtungen und Ärzten wie Bürgerbussen können zukünftig z. B. auch wieder der gute alte rollende Tante-Emma-Laden, der fahrende Bäcker oder die temporäre Arztsprechstunde im Bürgerhaus einen sinnvollen Mehrfachnutzen generieren. Gerade hier können Kommunalverwaltungen mit einfachen Mitteln viel bewirken (z. B. Ansprache/öffentliche Räume oder Verkaufswagenstellplätze).

Darüber hinaus fallen soziale und technische Infrastrukturen in die Zuständigkeit der kommunalen Verwaltung, beispielsweise Lage und Anzahl der Schulen und Kindergärten, Nahverkehrspläne und ggf. die lokalen Nahverkehrsbetriebe, Verlauf und Ausbau kommunaler Straßen, Parkraumbewirtschaftung. Durch diese Strukturen können Voraussetzungen geschaffen werden, die das suffiziente Mobilitätsverhalten der Bürgerinnen und Bürger erleichtern.

Ein weiterer Vorteil der Suffizienzförderung auf lokaler Ebene ist die Nähe der Verantwortlichen zu den Bürgerinnen und Bürgern. Direkte Ansprache und Bürgerbeteiligung können die Akzeptanz von Suffizienzmaßnahmen verbessern. Außerdem kann das Verhalten der Nachbarn und Freunde die Auseinandersetzung mit neuen suffizienteren Verhaltensweisen entscheidend beeinflussen, beispielsweise die Entscheidung für Carsharing oder die Umsetzung von gemeinschaftlichen Wohnprojekten. Die Kommunen können hier die entscheidenden Weichen stellen.

Die Wiederentdeckung des Lokalen sowie die Entschleunigung der Lebensstile unterstützen die Suffizienz. Sie tragen zur regionalen Wertschöpfung bei, indem lokale Produkte und Dienstleistungen vermehrt nachgefragt werden. Der Einzelhandel (z. B. Bekleidungsgeschäfte, Haushaltswaren) und die Anbieter von vor Ort produzierten Erzeugnissen (z. B. Gemüse, Obst) profitieren davon, dass Einkäufe

häufiger zu Fuß oder mit dem Rad erledigt werden und weniger Shopping-Ausflüge mit dem Pkw in die Oberzentren unternommen werden. Auch die regionale Wertschöpfung wird durch dieses Thema positiv beeinflusst.

3.2 Suffizienz in zentralen Handlungsfeldern des Leitfadens

Stromnachfrage:

Wie bereits ausgeführt, trägt die Verringerung der Anzahl und/oder Größe von Ausstattungsgegenständen zu einer sinkenden Stromnachfrage bei. Neue/zusätzliche wachsende elektrische Nutzungsfelder wie ITK-Technik sollten auch mit einbezogen bzw. durch andere Energievermeidung kompensiert werden. Darüber hinaus führt die Umsetzung von Suffizienz auch dazu, dass die Nachfrage nach nicht zwangsläufig zu elektrifizierenden Gütern (von Rolltreppen bis zum elektrischen Dosenöffner) reduziert wird. Energiesuffizientes Verhalten hilft, dass die für die Zielvisionen angenommenen Effizienzsteigerungen der Geräte auch tatsächlich zu einem absolut geringeren Stromverbrauch beitragen. Ein an Energiesuffizienz orientiertes Verhalten vermeidet eine erhöhte Nutzungsintensität infolge von effizienzbedingt sinkenden Energieverbrauchskosten von Produkten und Dienstleistungen. Andernfalls würde die technisch erzielbare Energieeinsparung verloren gehen. Die aus der Effizienzsteigerung tatsächlich resultierende Einsparung von Strom hängt letztendlich auch vom Nutzerverhalten ab, wenn ein Rebound-Effekt vermieden werden soll. Suffizienz kann daher positiv auf die Effizienzstrategie wirken.

Raumwärmenachfrage:

Der Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser wird nicht nur vom energetischen Zustand des Gebäudes und des Heizsystems bestimmt, sondern auch von den Menschen, die dort leben. Die Nutzer beeinflussen den Energieverbrauch für Raumwärme durch die Wahl der Raumtemperatur und zum anderen durch die Fläche bzw. das Volumen des zu beheizenden Raumes.

Bislang wurden Effizienzverbesserungen durch den stetigen Anstieg der Wohnfläche pro Person teilweise wieder ausgeglichen. Während die Wohnfläche pro Person in Deutschland Mitte der 1970er-Jahre noch

bei 30 m² lag, ist sie bis 2014 auf 46,5 m² angestiegen. Langfristig wird weiterhin von einer Steigerung ausgegangen (Venjakob et. al., 2006/2015). Eine Suffizienzorientierung bedeutet, dass die individuelle Wohnfläche reduziert wird, insbesondere bei sinkender Haushaltsgröße (z. B. Umzug in eine kleinere Wohnung, neue Wohnkonzepte wie Mehrgenerationenwohnen oder Senioren-WGs).

Eine Heizenergiereduktion ist in jedem Gebäude durch suffizientes Lüftungsverhalten und die Wahl moderater Raumtemperaturen möglich. Selbst wenn der Heizenergiebedarf aufgrund der Sanierung/des Neubaus gering ist, kann durch die Wahl einer hohen Raumtemperatur oder durch falsches Lüftungsverhalten (z. B. Kipplüften) der tatsächliche Verbrauch höher liegen als die errechneten Bedarfswerte. Eine verringerte Nachfrage nach Raumwärme kann außerdem durch differenziertes Heizverhalten entstehen. Z.B. werden unterschiedliche Raumtemperaturen je nach Raumnutzung gewählt: Schlafzimmer 17–19° C; Wohnzimmer 20–21° C. Gerade bei einzelraumbefeuerten Wohnungen kann dadurch unter Umständen für einen Teil der Wohnfläche die Beheizung vermieden werden. Damit die Wärmebedarfsverringerungen der Zielvisionen, wie sie nach Kapitel 10.2 berechnet werden können, im tatsächlichen Verbrauch erreicht werden, sind moderate Raumtemperaturen in der Heizperiode Voraussetzung.

Verkehr:

Auch im Verkehrsbereich mehrten sich die Anzeichen, dass technische Effizienzsteigerungen und der Wechsel zu alternativen Antriebstechnologien jedenfalls kurz- bis mittelfristig allein nicht ausreichen, um die angestrebten Ziele zu erreichen. Daher liegt die Förderung von Suffizienz auch hier im Interesse der Kommunen. Allerdings ist im Verkehr die Definition und Abgrenzung von Effizienz und Suffizienz nicht immer eindeutig. Da es das vorrangige Ziel der Masterplan-Kommunen ist, Energie einzusparen und Treibhausgas-Emissionen zu mindern, sollten nur die Wege eingespart oder verkürzt werden, die energieintensiv sind. Zu Fuß oder per Rad zurückgelegte Wege müssen also nicht reduziert werden. Sie haben zudem noch positive Nebeneffekte wie Gesundheitsförderung, Freizeitgestaltung etc. Bei einer weiten Definition von Suffizienz, wie sie im Handbuch zugrunde gelegt wird, zählt auch die Förderung des öffentlichen Personenverkehrs zur Suffizienzstrategie, da im Vergleich mit dem

motorisierten Individualverkehr weniger Energie benötigt wird.

Um die Suffizienz im Verkehrsbereich zu steigern, sollte die Kommune möglichst viele Mobilitätsoptionen für ihre Bürgerinnen und Bürger aufrechterhalten. Ein klassischer Suffizienzansatz im Verkehrsbereich sind kürzere Wege durch eine veränderte Wahl an Zielen. So wird nicht der Supermarkt auf der grünen Wiese mit dem Pkw angefahren, sondern der Lebensmittelladen um die Ecke. Hier können auf kommunaler Ebene durch siedlungsstrukturelle und organisatorische Maßnahmen die notwendigen Voraussetzungen geschaffen werden (z. B. Sicherstellung einer flächendeckenden Nahraumversorgung, Innen- vor Außenentwicklung, Umzugsmanagement). Weitere Mobilitätsoptionen sind die Verringerung der Wegzahl durch Wegekettenbildung oder der Wegfall von Wegen durch virtuelle Mobilität mithilfe von Informations- und Telekommunikationstechniken (z. B. E-Banking, Teleworking). Gerade die Verwaltungen können durch die Einrichtung von bürgernahen Anlaufstellen (z. B. zeitweise besetzte Bürgerbüros nahe bei den Bürgern oder ein mobiles Bürgerbüro) und durch Angebote von E-Government viele Wege vermeiden helfen. Das gilt auch für nachgelagerte öffentliche Verwaltungen, wenn sie das Thema „Wegevermeidung“ bewusst im Blick haben. So können z. B. Schulleistungsuntersuchungen standortnah durchgeführt werden, damit nicht alle Eltern einzeln mit ihren Kindern zum Amtsarzt in die oftmals weit entfernte Kreisstadt fahren müssen. Auch die Ausstattungsrate und Nutzungsintensität von energieintensiven Verkehrsmitteln spielen im Suffizienzbereich eine Rolle. Als Beispiel ist das Carsharing zu nennen, wenn dadurch auf ein eigenes Auto verzichtet wird. Auch hier können die Kommunen eine Vorbildfunktion ausüben, wenn sie privates Carsharing der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für Dienstreisen zulassen oder Dienstfahrzeuge für Fahrgemeinschaften zur Verfügung stellen. Nicht zuletzt kann die Kommune durch eine erhöhte Attraktivität des öffentlichen Personenverkehrs (Streckennetz, Taktfrequenz, Busspuren, Fahrpreise, Komfort usw.) Anreize zum Verzicht auf ein eigenes Auto schaffen.

Suffizienz ist vielfach möglich, erfordert aber auch ein flexibles Verhalten von allen Beteiligten, was für Verwaltungen oft eine größere, aber sinnvolle Herausforderung ist.

4 Akzeptanz

Die Entwicklung eines Masterplans nach den Leitlinien dieses Handbuches stellt eine große Herausforderung insbesondere für die Masterplan-Manager dar. Sie müssen – vor allem zu Beginn ihrer Arbeit – Unsicherheiten und Vorbehalte ausräumen. Auch wenn dabei so manche Hürde zu überwinden ist: Der Masterplan ist eine große Chance für Kommunen (Kosten langfristig senken, Arbeitsplätze schaffen, Innovation fördern, ...) und ein sehr wichtiger Beitrag zum Klimaschutz in Deutschland und weltweit.

In schwierigen Diskussionen und Situationen können die folgenden grundlegenden Zusammenhänge Motivation und Überzeugungskraft stärken:

- Die Energiewende ist historisch beispiellos: Die Energieversorgung soll bis 2050 weitgehend auf erneuerbare Energien umgestellt und gleichzeitig der Primärenergieverbrauch halbiert werden.
- Die Energiewende ist ein Generationenvertrag: Die (Mehr-) Kosten von heute senken Kosten und Risiken von morgen.
- Eine erfolgreiche deutsche Energiewende ist ein wichtiges nationales Lernfeld für die „große gesellschaftliche Transformation“ im Hinblick auf Dezentralisierung, Demokratie und Partizipation.
- Ressourceneffizienz trägt zu Klima- und Ressourcenschutz sowie zur ökologischen Modernisierung bei. Die Ressourceneffizienz bringt hohe makroökonomische Vorteile.
- Der ökologische Um- und Aufbau von Energiesystemen in Deutschland wird weltweit beachtet, dient anderen Ländern als Ermutigung und vereinfacht deren eigene Klimaschutzanstrengung durch Nachahmung deutscher Lösungsansätze.

Auf kommunaler Ebene ist es auch wichtig zu vermitteln, dass die Energiewende ein notwendiger Schritt ist, um den Klimawandel in Grenzen zu halten. Das Thema ist jedoch sehr abstrakt und für Laien in seiner Komplexität nicht leicht zu verstehen. In der Gesellschaft werden vor allem die negativen Folgen wahrgenommen (z. B. höhere Energiekosten, steigende ÖPNV-Preise, individuelle Investitionskosten, steigende Steuern zur Finanzierung von Energiewendemaßnahmen etc.). Die unmittelbaren positiven Aspekte einer gesellschaftlichen Transformation, die mit der Energiewende einhergehen, kommen in der Kommunikation oft zu kurz. So kann beispielsweise die Stärkung des Umweltverbundes und die Reduzierung

des motorisierten Individualverkehrs in einer Kommune zu einer höheren Lebensqualität gerade durch den nachhaltigeren Lebensstil der Bürgerinnen und Bürger beitragen und die Kommune aufwerten. Für ländliche Kommunen kann dieses ein wichtiger Aspekt sein, die Attraktivität und die Lebensqualität der Kommune für Bürgerinnen und Bürger zu erhalten bzw. zu steigern und die Abwanderung in die Ballungsgebiete zu reduzieren. Darüber hinaus kann ein gutes Nahverkehrssystem im ländlichen Raum auch eine positive Auswirkung auf den Tourismus haben. Deshalb ist es wichtig, Akzeptanz für die jetzt zu treffenden Entscheidungen herbeizuführen.

Die Energiewende und der klimagerechte Siedlungsbau sind Transformationsprozesse, die in einem ersten Schritt meist als technologische bzw. infrastrukturelle Großprojekte angegangen werden. Sie können jedoch nur dann nachhaltig gestaltet werden, wenn sie im sozial-räumlichen Zusammenhang gesehen und mit den betroffenen Menschen gemeinsam entwickelt werden. Ob die Klimaschutzziele in Deutschland erreicht werden können und inwiefern die Masterpläne oder ambitionierte Klimaschutzkonzepte kommunale Wirklichkeit werden, ist demnach in starkem Maß davon abhängig, ob die Bevölkerung und Wirtschaftsakteure diesen Transformationsprozess akzeptieren und in den Kommunen mitgestalten.

Viele der notwendigen Entscheidungen für (technologische) Maßnahmen und Strategien im Zuge der Energiewende werden auf übergeordneten politischen Ebenen getroffen. Hierzu zählt z.B. der grundsätzliche Ausbau der regenerativen Energieerzeugung. Dennoch betreffen diese Entscheidungen die Lebenswirklichkeit vieler Menschen – z.B. wenn Flächen für Windparks ausgewiesen werden. Bei entsprechender Ablehnung in der Bevölkerung sind konkrete Vorhaben gefährdet. Wirtschaftsunternehmen sind beispielsweise durch politische Entscheidungen zur Kraftwerksinfrastruktur unmittelbar betroffen, wenn sich diese auf die Energieverfügbarkeit an einem Standort unmittelbar auswirkt.

Gleichzeitig bieten sich für Kommunen im Klimaschutz zahlreiche Möglichkeiten an, um auch auf privater Ebene bzw. auf Ebene der Einzelunternehmen sehr konkrete Beiträge zur Umgestaltung des Energiesystems in den Kommunen zu leisten. Die

energetische Gebäudesanierung ist hierfür ein Beispiel ebenso wie die Förderung des Umweltverbundes.

Aktuell ist in Teilen der Bevölkerung ein hohes (und in den letzten Jahren tendenziell wachsendes) Maß an Akzeptanz für die Energiewende vorhanden. Allerdings können bestimmte Entwicklungen (z. B. steigende Energiepreise) oder Ereignisse (z. B. Aufbau neuer Windparks) jederzeit dazu führen, dass die Akzeptanz für die notwendigen Maßnahmen und Strategien zurückgeht. Dieses bezieht sich sowohl auf politische Bestimmungen und Vorgaben als auch auf Investitionsentscheidungen im privaten oder unternehmerischen Bereich. Auch Informationsdefizite zum Thema Klimaschutz und zu den Möglichkeiten von Klimaschutzmaßnahmen sind Teil des Problems, insbesondere bei Unternehmen.

Die politischen Entscheidungsträger in der Masterplan-Kommune haben daher bereits bei der Erstellung des Masterplans und bei der Planung von Maßnahmen zur Umsetzung der Energiewende die entscheidende Aufgabe, die relevanten Akteure frühzeitig über ernstgemeinte und geeignete Formate in die Entscheidungsprozesse zu involvieren, um die Akzeptanz zu fördern. Im Folgenden sind ausgewählte Themenbereiche beschrieben, bei deren Ausarbeitung in den Masterplänen das Thema Akzeptanz eine wichtige Rolle spielt.

4.1 Akzeptanz für regenerative Energieerzeugung und -nutzung

Zentrale Elemente bei der Transformation der Strom- und Wärmeerzeugung sind der Ausbau erneuerbarer Energien und eine verstärkte Dezentralisierung. Beide Aspekte bergen ein hohes Konfliktpotenzial, da sie dazu führen, dass das Energiesystem näher an die Lebenswirklichkeit der Menschen heranrückt und im Alltag sichtbar wird. Wichtig ist ein frühzeitiger, offener und sachbezogener Dialog zu dem Thema „Erneuerbare Energien“ mit allen Vor- und Nachteilen, um einen Konsens für die Umsetzung der Energiewende zu finden.

Im Folgenden sind für die einzelnen Energiequellen mögliche Akzeptanzprobleme aufgeführt.

Windkraft

- Schall-Immissionen
- Schattenwurf
- Naturschutzrechtliche Belange
- Beeinträchtigung des Landschaftsbildes

- Angst vor Wertverlust von Gebäuden
- Angst vor wirtschaftlichen Risiken für Kommunen/Bürger

Landwirtschaftliche Biomasseproduktion

- Flächenkonkurrenz mit Nahrungsmittelproduktion (Futtermittel, stoffliche Nutzung)
- Naturschutzkonflikte durch einseitigen Anbau von Energiepflanzen (Mais), verstärkte Intensivierung (statt des extensiveren, aber flächeneffizienteren Ökolandbaus) – negative Auswirkungen auf Biodiversität
- Beeinträchtigung des Landschaftsbildes
- Feinstaubbelastung durch Holzfeuerungen
- Treibhausgas- und Schadstoff-Emissionen im Energiepflanzenanbau (CH₄, N₂O etc.)

Solarenergie

- Freiflächennutzung nur mit Umweltverträglichkeitsprüfungen möglich
- Bei Freiflächen: Flächenkonkurrenz mit Nahrungsmittelproduktion und Beeinträchtigung des Landschaftsbildes
- Sicherheit (Brandgefahr)
- Unsicherheit bezüglich Wirtschaftlichkeit

Geothermie

- Seismische Aktivitäten; Untergrundprobleme für Wohnbebauung (z. B. durch Absenkungen)
- Bei Tiefengeothermie: hohe Erschließungskosten und damit relativ hohes Risiko für die Kommunen bzw. Investoren
- Grundwasserschutz

Wasserkraft

- Naturschutzbedenken, da Eingriff in das Ökosystem

Erfolgreich sind Beteiligungsprozesse dann, wenn die Beteiligten nicht vor vollendete Tatsachen gestellt werden. Es sollten Alternativen aufgezeigt sowie Vor- und Nachteile einzelner (Technologie-) Strategien offen angesprochen werden.

Im Themenkomplex „Erneuerbare Energien“ ist es wichtig, neben der Bevölkerung auch Wirtschaftsakteure für die kommunale Klimaschutzstrategie zu gewinnen. Ihr Anteil am kommunalen Energieverbrauch ist häufig erheblich. Gleichzeitig ist eine solide Vertrauensbasis notwendig, um gemeinsam mit Unternehmen Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz in den Produktionsprozessen und zum Einsatz erneuerbarer Energien zu entwickeln. Diese Strategieentwicklung erfordert die

Offenlegung einiger grundlegender Daten zum Energieeinsatz in den Prozessen und ist daher sehr sensibel. Hier ist es bereits in der Unternehmensansprache wesentlich, den Akteuren die Vorteile und etwaige Synergieeffekte mit anderen lokalen Unternehmen zu verdeutlichen.

Grundsätzlich bieten sich zur Steigerung der Akzeptanz für erneuerbare Energien einige inhaltliche Ansatzpunkte an, die auch im Einflussbereich kommunaler Entscheidungsträger liegen.

- Lokale Wertschöpfungseffekte durch den Einsatz erneuerbarer Energien sollten verdeutlicht werden (s. Beispielrechnung Kreis Steinfurt – vgl. Kap. 9).
- Barrieren zur Teilnahme von kleinen, lokalen Akteuren am Strommarkt sollten abgebaut, neue nicht errichtet werden. Kommunen sollten Informationen zu den Möglichkeiten bereitstellen, über Dienstleister am Strommarkt (im Pool) teilzunehmen (z. B. Nextkraftwerke in Köln). Für kommunale Stadtwerke ist auch denkbar, dass sie selbst entsprechende Geschäftsfelder entwickeln.
- Planungsprozesse – etwa für Anlagen zur Energieerzeugung – sind so transparent zu gestalten, dass Bürgerinnen und Bürger frühzeitig beteiligt werden und ihre Vorschläge wirksam einbringen können.
- Die lokalen Akteure, insbesondere Bürgerinnen und Bürger, aber auch Unternehmen, sollten potenziell an der Energiewende finanziell beteiligt werden können (z. B. in Form von genossenschaftlich organisierten Nahwärmenetzen oder anderen Gesellschaftsformen). Die Kommune sollte hierfür ein wesentlicher Informations- und Vernetzungspunkt sein.
- Das Konsumentenverhalten bei der Ausstattung der Haushalte mit Gebrauchsgütern können kommunale Stakeholder und weitere Akteure insbesondere durch das Technologieangebot (energieeffiziente Geräte) sowie durch Integration in Demand-Side-Management-Systeme und -Geschäftsmodelle (DSM/Smart Grid-Technologien) beeinflussen.

Auch bei den notwendigen Veränderungen im Bereich der Wärmebereitstellung und der Wärmenachfrage müssen mögliche Konfliktfelder bereits in der Strategieentwicklung berücksichtigt werden, um die Akzeptanz für die Maßnahmen zu erhöhen. Mit Blick auf einzelne Technologien lassen sich spezifische Aspekte identifizieren, die zu Akzeptanzproblemen führen können.

- Für die effiziente Verwendung von Wärmepumpen im Gebäudebestand ist unter Umständen der Einbau von Flächenheizungen erforderlich. Ist die Nutzung von Erdwärmepumpen nicht möglich, erfordert die Nutzung von Raumluftabwärme mittels Wärmepumpen den Einbau von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Beide Optionen bringen daher technische Eingriffe mit sich, die aufgrund der Kosten, des Aufwandes und damit verbundenen Einschränkungen (z. B. bei der Wahl des Fußbodenbelags und schlechten Erfahrungen mit Lüftungsanlagen) zu Akzeptanzproblemen führen können.
- Vorbehalte bestehen bei Hausbesitzern z. T. auch gegen den Bau von Erdwärmennutzungsanlagen. Bohrungen werden als riskant empfunden, im Bestand kann der Bau von Erdkollektoren mit dem Wunsch kollidieren, bestehende Gartenanlagen zu erhalten.

Auch die wärmenetzbasierte Versorgung bringt aus verschiedenen Gründen Akzeptanzherausforderungen mit sich.

Akzeptanzprobleme der Wärmeverbraucher

- Bereitschaft, die Verantwortung für die Wärmeversorgung aus den eigenen Händen an einen externen Versorger abzugeben
- Bestehende Heizungsanlage funktioniert noch oder ist noch nicht „abgeschrieben“
- Angst vor steigenden Wärmepreisen ohne Ausweichmöglichkeit/Monopolstellung des Wärmeversorgers
- Vertrauen zu bürgerorganisierten/genossenschaftlichen Versorgungsgesellschaften oft gering
- Unvermögen, zwischen den Wärmepreisen einer netzbasierten Versorgung (i. e. Vollkosten) und einer individuellen Versorgung (i. d. R. Brennstoffpreise) zu differenzieren

Akzeptanzprobleme potenzieller Wärmeversorger

- Hohe Anfangsinvestitionen für Netz und Speicher
- Fehlende Erfahrung mit Geschäftsmodellen zur Refinanzierung von Nahwärmesystemen mit großen (Saisonal-) Speichern; hoher Koordinationsaufwand
- Regulatorische Hemmnisse und Renditedruck
- Unsicherheit einer ausreichenden Anschlussdichte
- Stadtwerke haben oft keine oder ungenügende Erfahrung mit Nahwärmeversorgung
- Für den erfolgreichen Aufbau einer netzbasierten Wärmeversorgung mit hohen Anschlussgraden bedarf es eines kollektiven Konsenses in dem geplanten Versorgungsgebiet. Auch hier sind das

Engagement sowie die koordinierende Funktion der Kommune (z. B. in Bezug auf die Vernetzung der beteiligten Akteure, die optimale Abstimmung zwischen Gebäudesanierung und effizienter Restwärmeversorgung etc.) besonders hilfreich

Auf Verbrauchsseite kommt der energetischen Gebäudesanierung eine hohe Bedeutung zu. Im Rahmen der erfolgreichen Umsetzung der Energiewende müssen Sanierungsrate und -tiefe in Deutschland deutlich erhöht werden. Fehlende Transparenz bei den damit verbundenen Kosten und Unklarheit über die Amortisationszeiträume sowie Informationsdefizite zum Stand der Technik tragen dazu bei, dass Gebäudeeigentümer zurückhaltend bei der Umsetzung der notwendigen Sanierungsmaßnahmen sind. Auch hier kann über verbesserte Informations- und Beratungsangebote die Akzeptanz erhöht werden. Als erfolgreich erweisen sich Angebote, die sich sehr detailliert mit dem gegebenen Gebäudezustand und der jeweiligen Lebenssituation der Eigentümer auseinandersetzen.

Sanierungen und Neubauten mit Niedrigstenergie- oder Passivhausstandard finden höhere Akzeptanz und schöpfen ihr Energie-Einsparpotenzial besser aus, wenn bei den Nutzern auf anschauliche Weise das notwendige Verständnis für die entsprechenden Verhaltensänderungen (z. B. beim Heizen und Lüften) geweckt wird.

Auch im Themenkomplex „Wärme“ sind auf Unternehmen zugeschnittene Strategien notwendig, die eine angemessene Ansprache erfordern, um die Akzeptanz für die Offenlegung relevanter Verbrauchsdaten und innerbetrieblicher Prozessabläufe zu erhöhen. Erfahrungen aus Projekten in Deutschland und anderen Ländern, insbesondere aus dem skandinavischen Raum, zeigen, dass die Kommune ein zentraler Akteur bei der Entwicklung von betriebsübergreifenden Versorgungslösungen wie z. B. Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung oder industrieller Abwärme sein kann, wenn ein entsprechendes Vertrauensverhältnis aufgebaut ist.

4.2 Akzeptanz für die Mobilitätswende

Die Umsetzung der beschriebenen Ziele hin zu einer klimaneutralen Stadtentwicklung erfordert drastische Veränderungen auch im Verkehrsbereich respektive im Mobilitätsverhalten der Bevölkerung. Es wird vor allem notwendig werden, Verkehr insgesamt, besonders aber den motorisierten Individualverkehr

deutlich zu reduzieren. Hier besteht eine enge Schnittstelle zum Themenbereich „Suffizienz“, der in Kapitel 3 beschrieben wird. Durch die umzusetzenden Maßnahmen wird sehr unmittelbar in das Alltagsverhalten der Bevölkerung eingegriffen, wenn z. B. Parkraumflächen reduziert werden oder Zufahrtsbeschränkungen in Innenstädte über eine City-Maut verschärft werden – entsprechende Kontroversen sind unumgänglich. Eine deutliche qualitative und quantitative Stärkung umweltfreundlicher (öffentlicher) Verkehrsmittel trägt dazu bei, Konflikte zu vermeiden.

4.3 Akzeptanzprobleme auf Ebene der kommunalen Verwaltung

Neben den genannten inhaltlichen Aspekten, die möglicherweise zu Akzeptanzproblemen bei der Umsetzung der kommunalen Energiewende führen, erschweren die bestehenden starren Verwaltungs- und Entscheidungsstrukturen häufig zusätzlich die Implementierung ambitionierter Strategien und Maßnahmen. In vielen Städten und Gemeinden führt zudem eine präkäre Haushaltssituation dazu, dass die Handlungsspielräume sehr begrenzt sind. Es lassen sich einige Punkte herausstellen, die ein Hemmnis für den kommunalen Klimaschutz darstellen

- Fehlende regionale Vernetzung der Kommune
- Fehlende Priorisierung in Politik und Verwaltung
- Fehlende finanzielle und personelle Ressourcen
- Kommunikations- und Abstimmungsprobleme innerhalb der Verwaltung
- Entscheidungen, die zu vermeintlichen Freiheits Einschränkungen auf Seiten der Bevölkerung führen (z.B. Veränderungen des Mobilitätsverhaltens), werden ungern getroffen

Auch mit Blick auf diese Aspekte sollte die Kommune in ihrem Masterplan Maßnahmen festlegen, die helfen, diese Hemmnisse zu überwinden. Ansatzpunkte könnten sein

- Energiewende als Chance im Strukturwandel sehen, Wertschöpfungspotenziale erkennen und nutzen
- Energiewende als einen Generationenvertrag verstehen: Die (Mehr-) Kosten von heute senken Kosten und Risiken von morgen
- Klare Handlungspriorität durch Politik formulieren

- Engagierte Akteure auf allen Ebenen fördern
- In der Maßnahmenentwicklung auch die interkommunale Zusammenarbeit fördern
- Vertrauensvolle Zusammenarbeit mit Wirtschaft ansteuern

Ein großes Synergiepotenzial liegt in der interkommunalen Zusammenarbeit im Klimaschutz. Gerade kleinere Kommunen können finanzielle und personelle Hemmnisse überwinden, indem erneuerbare Energieressourcen gemeinsam erschlossen oder infrastrukturelle Veränderungen gemeinsam umgesetzt werden. So sind in der Region neue Wertschöpfungsketten mit lokalem Mehrwert und lokale Innovationen möglich.

5 Energie- und CO₂-Bilanzierung

Die Entwicklung von Zielvisionen durch die Masterplan-Kommunen wird wesentlich durch die notwendige starke Minderung der Treibhausgas-Emissionen vorangetrieben. Neben den Emissionen des Energiesystems müssen dazu auch die nichtenergiebedingten Emissionen z. B. aus der Landwirtschaft und den Industrie- und Gewerbeprozessen deutlich gesenkt werden. Die erforderlichen Umgestaltungsprozesse liegen außerhalb des Fokus dieses Handbuchs und werden daher in den hier beschriebenen methodischen Ansätzen nicht berücksichtigt.

5.1 Zusammenspiel Klimaschutz-Planer und Handbuch

Den neuen Masterplan-Kommunen stehen mit dem *Klimaschutz-Planer* und dem *Handbuch methodischer Grundfragen zur Masterplan-Erstellung* zwei sich ergänzende Instrumente für die Datenerhebung und Bilanzierung zur Verfügung. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Handbuch und Klimaschutz-Planer liegt im Bilanzierungsansatz der beiden Angebote.

Die Bilanzierung über den Klimaschutz-Planer geht für den Ist-Zustand von der tatsächlich verbrauchten Endenergie auf gesamtkommunaler Ebene aus. Dieser Endenergieverbrauch wird über kommunenspezifische Daten sowie über bundesweit gemittelte statistische Verbrauchsdaten und Kennwerte errechnet. Die Bilanzierung nach der Handbuch-Methodik geht sowohl für den Ist-Zustand wie für die Zielvision von einem Energiebedarf⁷ aus, der über die im Handbuch dokumentierten Berechnungsansätze ermittelt wird. Dieser muss für den Ist-Zustand mit gemessenen Verbrauchsdaten abgeglichen werden (s. u.).

Die Masterplan-Kommunen können für den Ist-Zustand Endenergiemengen und Treibhausgas-Emissionen nach Sektoren und Energieträgern zunächst über statistische Daten und Kennwerte direkt im Klimaschutz-Planer berechnen (Minimal-Bilanz, vgl. Abschnitt 5.3.1). Die nach dem Handbuch ermittelten Energiebedarfe und dazu eingesetzten Energieträger werden für den Ist-Zustand mit den Verbrauchsdaten

abgeglichen (vgl. Abschnitt 5.3.2) und in den Klimaschutz-Planer eingegeben. Die Bilanzqualität wird schrittweise durch die Eingabe dieser kommunenspezifischen Daten verbessert, bis die finale Ist-Bilanz vorliegt. Die Bilanz der Treibhausgas-Emissionen wird für den Ist-Zustand im Klimaschutz-Planer mit den dort hinterlegten Emissionsfaktoren der eingesetzten Energieträger berechnet.

Die Berechnung der sektoralen Energiebedarfe für die Zielvisionen erfolgt nach der im Handbuch beschriebenen Methodik (s. Kapitel 7 bis 15) zunächst ohne Nutzung des Klimaschutz-Planers. Die Ergebnisse werden in den Klimaschutz-Planer eingegeben (vgl. Abschnitt 5.3.4) und darin die Emissionsbilanzen ermittelt, soweit die im Masterplan unterstellten Energieträger im Klimaschutz-Planer berücksichtigt sind. Für die Zielvisionen werden im Handbuch eine Reihe von Energieträgeroptionen genannt, die im Klimaschutz-Planer nicht enthalten sind. Für alle in der Zielvision verwendeten Energieträger, die im Klimaschutz-Planer nicht enthalten sind, müssen daher die Emissionen händisch berechnet und den im Klimaschutz-Planer berechneten Emissionsergebnissen hinzuaddiert werden (vgl. Abschnitt 5.4).

5.2 Methodische Aspekte der Energie- und THG-Bilanzierung

Im Rahmen des Projektes *Klimaschutz-Planer* wurden einheitliche Bilanzierungsregeln u.a. für Masterplan-Kommunen entwickelt (Methodenberichte s. Hertle et al., 2014). Diese Methoden stehen im Klimaschutz-Planer allen Kommunen ab Mai 2016 zur Verfügung. Masterplan-Kommunen sollen den Klimaschutz-Planer nutzen. Damit können methodisch einheitlich Energie- und THG-Bilanzen auf kommunaler Ebene erstellt werden. Einige wichtige methodische Aspekte werden im Folgenden erläutert. Diese sind insbesondere bei der Bilanzierung von Energiemengen zu beachten, die nach der Handbuch-Methodik ermittelt wurden und händisch in den Klimaschutz-Planer eingetragen werden.

⁷ Mit Bedarf ist hier die Energiemenge gemeint, die anhand von Wohnfläche, Personenzahl, Ausstattungsrate etc. mit dem im Handbuch beschriebenen Ansatz für die Sektoren ermittelt wird. Mit Verbrauch wird hier die Energiemenge bezeichnet, deren Nutzung tatsächlich in der Gemeinde (insgesamt oder sektorbezogen) gemessen/erfasst wurde. Für die Zielvisionen kann der Bedarf nur rechnerisch ermittelt werden.

5.2.1 Bilanzgrenzen

Für die Energie- und Treibhausgas (THG)-Bilanz der Masterplan-Kommunen wird, entsprechend den entwickelten Bilanzierungsregeln, das Territorialprinzip angewendet. Dabei werden alle im betrachteten Territorium der Kommune anfallenden Verbräuche auf Ebene der Endenergie (z. B. Strom- und Gasverbrauch, der am Hauszähler oder der Übergabestation von Betrieben gemessen wird, Heizöllieferungen an Kunden in der Kommune etc.) berücksichtigt und den verschiedenen Verbrauchssektoren zugeordnet.

5.2.2 Zuordnung THG-Faktoren

Alle Verbräuche eines Energieträgers werden unabhängig von Sektor oder Anwendung mit denselben Emissionsfaktoren belegt. Lokale Strom- und Wärmeerzeugungsoptionen können separat betrachtet und mit den zugehörigen (ggf. extern ermittelten) Emissionsfaktoren berechnet werden (vgl. Abschnitt 5.4). Zur Berücksichtigung der THG-Emissionen aus der Stromerzeugung wird dabei der Stromverbrauch im Territorium der Kommune mit einem spezifischen Stromemissionsfaktor für den bundesweiten Strommix multipliziert. Der THG-Emissionsfaktor des Zukunftsstrommixes setzt dabei voraus, dass die

Stromerzeugung im Bundesgebiet nahezu emissionsfrei ist. In diesem Emissionsfaktor sind damit hohe Nutzungsgrade der auf kommunalem Territorium vorhandenen erneuerbaren Stromerzeugungspotenziale für die nationale Stromerzeugung mit enthalten. Daneben ist zusätzlich die Ermittlung eines territorialen Strommixes unter Berücksichtigung lokaler Anlagen möglich.

Bei Fernwärme werden für die Emissionsfaktoren Standardwerte vorgegeben, die analog zum territorialen Strommix durch Angaben zu den lokalen Anlagen entsprechend für die Versorgung vor Ort berechnet werden können.

5.2.3 Emissionsallokation bei KWK

Bei der Allokation von Koppelprodukten bei KWK-Prozessen wird im Klimaschutz-Planer die Exergiemethode (Carnot-Methode) verwendet. Bei der Exergiemethode wird neben der Quantität auch die Arbeitsfähigkeit der Energie betrachtet. Erfolgt die Emissionsberechnung händisch, so sind die bereitgestellten Energiemengen für die Allokation anhand von Exergiefaktoren in die entsprechenden Exergiemengen umzurechnen. Die Emissionen werden anhand der Exergiemengen den mit einer Anlage zeitgleich erzeugten Koppelprodukten zugeordnet.

Rechenbeispiel exergetische Allokation für BHKW, 1 MW, elektrischer Wirkungsgrad 40%

Technische Kennwerte des BHKWs

Stromkennzahl 1 (Nutzbare Wärmeleistung und elektrische Leistung gleich)

Laufzeit pro Jahr 4.000 Stunden, erzeugte Strommenge 4 GWh_{el}, erzeugte Wärmemenge 4 GWh_{th}

Gasverbrauch 10 GWh, spezifische Emissionen Erdgas: 0,28 kg/kWh

Emissionen pro Jahr 2.800 t CO₂eq.

Berechnung der Exergiemengen Strom und Nutzwärme

Exergiefaktor Strom = 1, Exergiegehalt erzeugte Strommenge = 4 GWh_{ex}

Exergiefaktor Nutzwärme (80 °C) = $1 - (T_u^*/T_o^*) = 1 - (273,15+20)K / (273,15+80)K = 0,17$

Exergiegehalt erzeugte Nutzwärme = 4 GWh_{th} * 0,17 = 0,68 GWh_{ex}

Exergie insgesamt: 4,00 GWh_{ex} + 0,68 GWh_{ex} = 4,68 GWh_{ex}

Exergetische Allokation der Emissionen

- Strom 2.800 t CO₂eq/a * 4 GWh_{ex} / 4,68 GWh_{ex} = 2,393 t CO₂eq (entspricht 0,598 kg CO₂/kWh_{el})
- Wärme 2.800 t CO₂eq/a * 0,68 GWh_{ex} / 4,68 GWh_{ex} = 0,407 t CO₂eq (entspricht 0,102 kg CO₂/kWh_{th})

Werden Nah- oder Fernwärmenetze genutzt, ist die exergetische Allokation anhand der Endenergie (z. B. Übergabestation Gebäude) zu berechnen.

*T_u: unteres Temperaturniveau = Umgebungstemperatur, T_o: oberes Temperaturniveau = Nutzwärmetemperatur

5.2.4 Bilanzierungsmethodik Verkehr im Klimaschutz-Planer

Der Sektor Verkehr wird im Klimaschutz-Planer ebenfalls nach dem territorialen Bilanzierungsprinzip behandelt.

Für die Bilanzierung wird der gesamte Verkehr im Territorium der Kommune unter Einbezug sämtlicher motorisierter Verkehrsmittel im Personen- und Güterverkehr erfasst. Die Fahrleistungen im Straßenverkehr werden nach Fahrzeugkategorien (motorisierte Zweiräder, Pkw, Lkw <3,5t, Lkw >3,5t, Bus) und nach Straßenkategorien (innerorts, außerorts, Autobahn) differenziert und in den Emissionsberechnungen mit den bundesmittleren Kfz-Flottenzusammensetzungen des jeweiligen Bezugsjahres verknüpft. Im öffentlichen Straßenpersonenverkehr und im Schienenverkehr erfolgt eine Differenzierung nach Energieträgern (Kraftstoffe, Strom). Falls sich auf dem Territorium der Kommune ein Flughafen mit relevantem Flugverkehr befindet, wird dieser über die Emissionen der Starts und Landungen auf dem Territorium (LTO-Zyklus) einbezogen.

Emissionsfaktoren werden für den Verkehr im Klimaschutz-Planer zentral für alle Kommunen als nationale Kennwerte und differenziert nach Verkehrsmitteln und Energieträgern sowie (im Straßenverkehr) nach Straßenkategorien bereitgestellt. Die Werte sind analog zu den stationären Sektoren in CO₂-Äquivalenten (CO₂, CH₄, N₂O) inkl. Vorketten der Energieträger-Bereitstellung anzugeben.

Bei entsprechender Verfügbarkeit zusätzlicher Informationen in der Kommune werden im Klimaschutz-Planer optional zusätzliche Differenzierungen empfohlen. Die Fahrleistungen im Straßenverkehr können nach ihrer Herkunft in Binnenverkehre, Quell-/Zielverkehre sowie Durchgangsverkehre (s. Abb. 5-1) differenziert werden. Davon ausgehend werden alle Verkehrsaktivitäten und damit verbundene Emissionen in der Bilanz entsprechend ihrer Verursachung durch die Kommune und Beeinflussbarkeit durch kommunale Maßnahmen differenziert.

- Als gut kommunal beeinflussbar werden Binnen- und Quell-/Zielverkehr im Straßenverkehr (motorisierter Individualverkehr MIV, Lkw, leichte Nutzfahrzeuge LNV) sowie öffentlicher Personennahverkehr ÖPNV eingestuft.
- Emissionen aus dem Straßen-Durchgangsverkehr, öffentlichen Personenfernverkehr ÖPFV (Bahn,

Reisebus, Flug) sowie aus dem Schienen- und Binnenschiffsgüterverkehr werden als kaum kommunal beeinflussbar eingestuft.

Je nach Datenverfügbarkeit in den Kommunen kann im motorisierten Individualverkehr optional eine zusätzliche Differenzierung nach Wegezwecken erfolgen, die zusätzliche Informationen zur Identifizierung wichtiger Handlungsfelder und zur Ableitung maßnahmenspezifischer Minderungspotenziale ermöglicht.

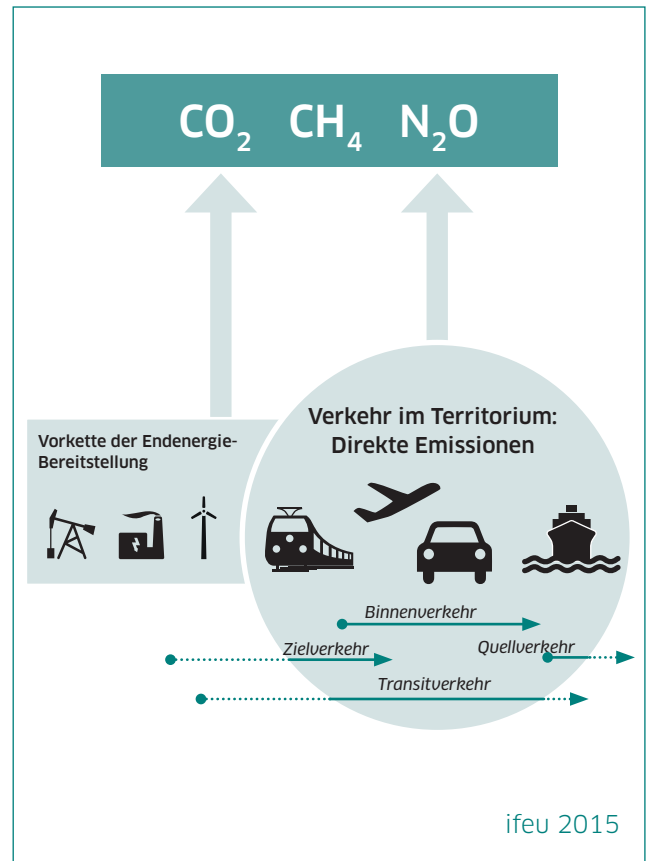


Abbildung 5-1: Bilanzierungsprinzip für den Verkehr im Klimaschutz-Planer

Abbildung 5-1 stellt das Bilanzierungsprinzip für den Verkehr im Klimaschutz-Planer grafisch dar.

Für eine Territorialbilanz sind grundsätzlich deutschlandweit lokalspezifische Daten für alle Verkehrsmittel verfügbar. Neben den kommunalen Verkehrsmodellen v.a. größerer Städte ermitteln z. B. einige Bundesländer jährlich gemeindefeine Fahrleistungsdaten im Straßenverkehr für alle Kommunen. Im Klimaschutz-Planer sollen voraussichtlich im ersten Quartal 2016 gemeindefeine Default-Werte für die Fahrleistungen in allen Kommunen zur Verfügung stehen, die ausgehend von einem

Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes (UBA 2015) zur Regionalisierung der Schadstoffemissionen in Deutschland abgeleitet werden. Gleichzeitig bleibt jedoch für die Kommunen die Option erhalten, eigene Daten (z. B. aus der kommunalen Verkehrsplanung) zu verwenden. Auch Daten zum Binnenschiff- und Flugverkehr werden direkt im Klimaschutz-Planer als Default-Werte bereitgestellt. Daten zum ÖPNV (Bus, Straßenbahn, Schienen-Personennahverkehr) müssen von den Kommunen selbst erhoben werden (z. B. beim lokalen ÖPNV-Anbieter, Verkehrsverbund). Zum Bahnverkehr existiert ein deutschlandweites streckenfeines Emissionskataster der Deutschen Bahn, das eine kommunenfeine Zurechnung von Bahnverkehr und Energieverbräuchen ermöglicht und aus dem auf Anfrage auch Daten für einzelne Kommunen bereitgestellt werden können.

Eine Ableitung von kommunalen Maßnahmen ist allein auf Basis der Gesamtbilanz für den Verkehr im Territorium nur eingeschränkt möglich. Mit den im Klimaschutz-Planer empfohlenen zusätzlichen Differenzierungen nach Herkunft und Ursachen des Verkehrs können jedoch zielsichere Handlungsansätze für wirksame kommunale Maßnahmen identifiziert werden. Dazu benötigen die Kommunen weitere lokalspezifische Informationen, bspw. Auswertungen der Verkehrsplanung oder von Mobilitätsbefragungen, die mit dem Klimaschutz-Planer derzeit nicht bereitgestellt werden können.

Hilfreiche Zusatzinformationen wären z. B. kommunalspezifische Daten zum Mobilitätsverhalten der Einwohner. Sollten in einer Masterplan-Kommune entsprechende Informationen vorliegen, kann für die Verkehrskonzeptentwicklung der Masterplan-Kommune ergänzend zur Territorialbilanz eine Einwohnerbilanz speziell für den Personen-Alltagsverkehr erstellt werden. Von dieser Grundlage können

Ansatzpunkte für geeignete einwohnerbezogene Maßnahmen zielsicher abgeleitet werden. Die konzeptionellen Möglichkeiten und die Methodik dieses Bilanzierungsansatzes werden in Kapitel 12 erläutert.

5.3 Bilanzierung von Endenergie

5.3.1 Die Minimal-Bilanz im Klimaschutz-Planer

Kommunale Energie- und CO₂-Bilanzen werden im Idealfall auf Grundlage lokal erhobener (primärstatistischer) kommunenspezifischer Daten berechnet. Leider sind belastbare Daten nicht immer erhältlich. Ihre Verfügbarkeit kann sich von Bundesland zu Bundesland und von Kommune zu Kommune erheblich unterscheiden.

Für die Berechnung der Ist-Bilanz benötigt der Klimaschutz-Planer unabdingbar bestimmte Daten (vgl. Tab. 5-1). Damit wird die sogenannte Minimal-Bilanz berechnet. Zusätzlich zu diesen Daten werden seitens der Software weitere benötigte statistische Daten (u.a. sozialversicherungspflichtig Beschäftigte, Einwohner, Wohnflächen) automatisch bereitgestellt und können durch die Nutzer bei Bedarf auch überschrieben werden.

Ausgehend von dieser ersten Berechnung der Minimal-Bilanz wird die Qualität der Ist-Bilanz durch die Eingabe der kommunenspezifischen Werte, wie sie nach den im Handbuch dargestellten Methoden ermittelt werden, schrittweise verbessert, sodass eine kommunale Basisbilanz für den Ist-Stand erstellt werden kann.

Tabelle 5-1: Übersicht der obligatorischen Dateneingaben für die Basisbilanz im Klimaschutz-Planer

BEREICH	DATEN
Energieversorger	Strom Durchleitungen / Stromverbrauch gesamtes Gemeindegebiet
Energieversorger	Erdgas Durchleitungen / Erdgasverbrauch gesamtes Gemeindegebiet
Verkehr	Beförderungsdaten zum Linienbussystem und zu Straßen, Stadt- und U-Bahnen (SSU). Z. B.: Endenergieverbrauch, angebotene Verkehrsleistung (Platz-km), erbrachte Verkehrsleistung (Personen-km) oder Betriebsleistungen (Wagen-km).
Faktor Erdgas/Heizöl	Verhältnis Erdgas- zu Heizölverbrauch in der Kommune

5.3.2 Abgleich Energiebedarf und Energieverbrauch für den Ist-Stand

Die Schnittstelle beider Instrumente ist die Energiebedarfs- bzw. Energieverbrauchsberechnung. Die nach der Handbuch-Methodik berechneten Energiebedarfe der Sektoren im Ist-Zustand sind an die tatsächlichen Energieverbräuche vor Ort anzugleichen. Das Vorgehen für Strom wird am Beispiel Haushaltsstrom in der folgenden Beispielbox verdeutlicht. Für Gebäudewärme und Warmwasser wird die Angleichung vom errechneten Bedarf an den tatsächlich erfassten Verbrauch im Kapitel 10.2.3 erläutert.

Beispiel Abgleich Energiebedarfs- und Energieverbrauchsberechnung Haushaltsstrom

Der Stromverbrauch privater Haushalte kann für den Ist-Zustand mit dem Klimaschutz-Planer ermittelt werden (Top-down-Berechnung). Um Zukunfts-Verbrauchsszenarien entwickeln zu können, muss dieser Stromverbrauch genauer aufgeschlüsselt werden. Dazu empfiehlt das Handbuch, den Strombedarf der Haushalte über die Anzahl der Haushalte, die Ausstattungsraten (mit stromverbrauchenden Geräten) von Durchschnittshaushalten und die jeweiligen spezifischen Energieverbräuche von Haushaltsgeräten zu berechnen (Bottom-up-Berechnung). Damit diese Bedarfsermittlungen belastbar sind, muss der mit dem Handbuch detailliert *berechnete* Haushaltsstrombedarf an den *tatsächlichen* Haushaltsstromverbrauch aus dem Klimaschutz-Planer angeglichen werden. Dies kann z.B. durch Hoch- oder Herunterskalieren der berechneten Bedarfe aller relevanten Haushaltsstrom-Teilbereiche entsprechend dem Verhältnis zwischen dem berechneten Gesamtstrombedarf und real erfasstem Gesamtstromverbrauch der Haushalte geschehen. Auf dieser Basis können dann detaillierte Einsparpotenziale für die Zukunft berechnet und Masterplan-Szenarien entwickelt werden.

Erst nach erfolgter Angleichung können weitere Effizienzpotenzial- und Szenarioberechnungen für die Zielvisionen erfolgen. Hinweise zur Berechnung der Endenergieverbräuche der einzelnen Sektoren geben die Abschnitte „Methodische Aspekte der Endenergie-Bilanzierung“ in den einzelnen Kapiteln.

5.3.3 Berechnung Energiebedarfe der Zielvisionen

Für die Zielvisionen erfolgt die Berechnung der sektoralen Energiebedarfe nach der im Handbuch beschriebenen Methodik (s. Kapitel 7 bis 15) zunächst ohne Nutzung des Klimaschutz-Planers. Die extern berechneten Ergebnisse werden zur Erstellung der Energie- und Emissionsbilanz in den Klimaschutz-Planer eingegeben.

5.3.4 Eingabe extern berechneter Ergebnisse in den Klimaschutz-Planer

Die Erfassung und Berechnung der Bilanzierung im Klimaschutz-Planer ist aufgeteilt nach Energieverbrauchern und Energieträgern in den jeweiligen Sektoren. Für den Ist-Zustand und die Zielvision (Masterplan) sind die Energiebedarfe für Strom, Wärme und Brennstoffe jeweils für die Sektoren

- Private Haushalte
- Verarbeitende Industrie / Verarbeitendes Gewerbe (Industrie)
- Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und sonstige (GHD)
- Kommunale Einrichtungen und
- Verkehr

zu berechnen.

Die Eingabe im Klimaschutz-Planer ist so angelegt, dass es für den Verbrauchswert eines Energieträgers eine direkte Eingabemöglichkeit gibt. Diese Eingabemöglichkeit ist für Primärdaten (s.o.) gedacht und bildet die höchste Datengüte ab. Da nicht für alle Eingaben Primärdaten vorliegen, werden „richtungsscharfe Hochrechnungen“ zur Ermittlung fehlender Werte notwendig. Dies wird im Klimaschutz-Planer durch das sogenannte „Optionen-Modell“ umgesetzt. Für die meisten Eingaben besteht die Möglichkeit, den Eingabewert je nach kommunal verfügbaren Daten über unterschiedliche Wege zu bestimmen (z. B. Option 1, Option 2, Option 3 usw.), die im Klimaschutz-Planer erläutert sind. Typischerweise erhalten nachrangigere Optionen eine geringere festgeschriebene Datengüte als die Direkteingabe.

Ergebnisse von Berechnungen außerhalb des Klimaschutz-Planers werden als Endenergieverbräuche der jeweiligen Sektoren in den Klimaschutz-Planer eingegeben. Im Klimaschutz-Planer können diese Werte unter Angabe der Datengüte als „manuelle Direkteingabe“ eingetragen werden. Diese Daten werden dann als „Option 1“ vom Programm automatisch zur Berechnung der THG-Emissionen ausgewählt.

5.3.5 Energiebilanz-Darstellung im Klimaschutz-Planer

Mit dem Klimaschutz-Planer wird die Energiebilanz für Ist-Zustand und Zielvision erstellt. Die grafische Darstellung der Ergebnisse nach Sektoren (einzeln oder gruppiert) oder nach Endenergieträgern kann über Multiselekt-Felder ausgewählt werden.

5.4 Bilanzierung von Treibhausgasen

Die Treibhausgas (THG)-Bilanzierung über den Klimaschutz-Planer wie über die weiter unten angegebenen THG-Faktoren bezieht die wichtigsten Treibhausgase (CO₂, N₂O, CH₄) und die Vorketten der Energieerzeugung (Anlagenherstellung, Betrieb, Rückbau, Vorketten von Brennstoffen) mit in die Berechnung ein. Sollten die Kommunen Endenergieträger einsetzen, für die weder im Handbuch noch im Klimaschutz-Planer Emissionsfaktoren vorliegen, so sollten sie bei der Suche nach verwendbaren Faktoren (Life-Cycle-Inventory (LCI)-Datenbanken, Literatur) darauf achten, dass in diesen die wichtigsten Treibhausgase und Vorketten ebenfalls berücksichtigt sind.

Für alle Endenergiemengen, für die im Klimaschutz-Planer THG-Faktoren hinterlegt sind, können die Treibhausgasbilanzen für die Gesamtkommune und die einzelnen Sektoren direkt im Klimaschutz-Planer berechnet werden. Werden für die Zielvisionen Endenergieformen eingesetzt, für die im Klimaschutz-Planer keine THG-Faktoren vorhanden sind, müssen die THG-Bilanzen händisch (Multiplikation der Endenergiemenge mit dem passenden THG-Faktor) berechnet und der Gesamt-THG-Bilanz des Sektors bzw. der Kommune hinzuaddiert werden.

In Tabelle 5-2 werden THG-Faktoren für die Bilanzierung von Energieträgern aufgelistet, die im Klimaschutz-Planer nicht enthalten sind. Die aufgeführten THG-Faktoren wurden bis auf eine Ausnahme auf Basis von Ökobilanzdaten (LCI-Daten) aus ecoinvent[®] und GEMIS erstellt, deren Datenbasis teilweise für die Verwendung in der THG-Bilanz der Zielvisionen angepasst wurde. In der vierten Spalte der Tabelle sind der jeweils verwendete LCI-Datensatz und ggf. die vorgenommene Datensatzanpassung genannt. Liegen dem Einsatz der Energieträger im Masterplan andere als die hier angenommenen Randbedingungen zugrunde, so sind ggf. andere THG-Faktoren oder die angegebenen Datensätze mit entsprechenden Anpassungen zu verwenden.

Für die Produktion von Biokohle sind weder belastbare Produktionsdaten noch LCI-Datensätze verfügbar. Wird dieser Energieträger eingesetzt, können die damit verbundenen THG-Emissionen daher nicht in der Emissionsbilanz berücksichtigt werden.

-
- 8 Berechnungsbasis Kraftwerkspark und Stromerzeugungsmengen des 95%-Szenarios der Leitstudie 2011 (Nitsch et al., 2012)
 - 9 Hu = unterer Heizwert, auch mit Hi = Heizwert bezeichnet, ist die bei einer Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge, bei der es nicht zu einer Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes kommt, bezogen auf die Masse des eingesetzten Brennstoffs.
 - 10 Eigenbedarf der Biogas- und Methan-Produktion hier nicht enthalten. Strombedarf muss separat bei Stromverbrauch mit bilanziert werden, Wärmebedarfsdeckung Fermentation kann aus Niedertemperatur-Abwärmequellen erfolgen. Bei abweichenden Randbedingungen ggf. Originaldatensätze aus GEMIS für dort entwickeltes Szenario 2030 verwenden.
 - 11 Ersatzweise Nutzung für alle Power-to-X-Energieträger, jedoch dadurch nur Minimalabschätzung möglich, da die Umwandlung in flüssige Kraftstoffe aufwendiger ist und damit vermutlich höhere Emissionen mit sich bringt. LCI-Daten dazu liegen nicht vor.

Tabelle 5-2: Ausgewählte THG-Faktoren zur Berechnung der THG-Bilanzen der Zielvisionen

ENERGIETRÄGER	TREIBHAUS-GAS-FAKTOR	EINHEIT CO ₂ eq/ ENERGIEMENGE	DATENGRUNDLAGE/ ANPASSUNG
Bundesweiter Strommix Zielvision	33,8	g/kWh _{el}	Eigene Berechnung auf Basis von Nitsch et al., 2012 ⁸
Klärgas-BHKW	1,1	g/kWh _{el}	GEMIS 4.93 Klärgas-BHKW-GM 200-OxKat-2030/brutto, Emissionen vollständig der Stromerzeugung zugerechnet
Strom Müllverbrennungs-KWK	1.018,5	g/kWh _{el}	GEMIS 4.93 Müll-EU-HKW-DT-2030, Anpassung: Entfernung Mülltransport 140 km, Emissionen vollständig der Stromerzeugung zugerechnet
Biomethan (Anbaubiomasse)	72,6	g/kWh _{HU} ⁹	GEMIS 4.93 Aufbereitung\Biogas-Einspeisung-Mais-OLUC-gross-DE-2030 ¹⁰
Biomethan (Gülle)	9,4	g/kWh _{HU}	GEMIS 4.93 Aufbereitung\Biogas-Einspeisung-Gülle-gross-DE-2030 ¹⁰
Biomethan (Biomüll)	8,9	g/kWh _{HU}	GEMIS 4.93 Fermenter\Biogas-Biomüll-DE-2030-inkl. Aufbereitung ¹⁰
Bioethanol (Anbaubiomasse)	151,3	g/kWh _{HU}	Kombi-Produktion Ethanol-Schlempe-Biogas, THG-Faktor nach Block et al., 2010, ohne Allokation zu Koppelprodukten
BtL Waldholz/Wallhecke	14,0	g/kWh _{HU}	GEMIS 4.93 Vergaser-FS+FT-Synthese\BtL-Holz-Wald-DE-2030 (Diesel)/brutto
Power-to-H2 Nur Anlagen-Emissionen ohne Stromverbrauch, Stromverbrauch für H2-Produktion muss separat bilanziert werden (Verwendung für H2-Produktion auf kommunalem Gebiet)	0,4	g/kWh _{HU}	GEMIS 4.93 Fabrik\H2-DE-2030 (P2G)-onshore
Power-to-CH ₄ ¹¹ Ausschließliche Nutzung Offshore-WKA-Strom inkl. Pipelinetransport (Faktor für Brennstoffbezüge von außerhalb der Kommune)	11,2	g/kWh _{HU}	GEMIS 4.93 Fabrik\H2-DE-2030 (P2G) + Zusätzlicher pauschaler Aufschlag von 10% für Verluste Methanisierung + GEMIS 4.93 Pipeline\Gas-DE-2030-DE
Solarthermische Wärme (Vakuum-Röhrenkollektoren bei Hausdach-Anlagen, Wärmeertrag bei saisonaler Wärmespeicherung und rund 85%iger solarer Wärmebedarfsdeckung)	18,7	g/kWh _{solarth.Wärme}	ecoinvent Solar system with evacuated tube collector, one-family house, combined system/CH/I U, Anpassung: Berechnung ohne Pufferspeicher. Berücksichtigt sind Anlagenaufwand, Produktion und Installation, Betriebsaufwand, Entsorgung. Jährlicher Wärmeertrag bei Kombination mit Saisonal-Speicher zugrunde gelegt, Saisonal-Speicher nicht enthalten.
Geothermische Wärme Erdwärmesonde zur Nutzung über Wärmepumpe	20,9	g/kWh _{geot.Wärme}	ecoinvent 2.1 Heat, borehole heat exchanger, at brine-water heat pump 10kW/RER U, Anpassung: Strombedarf Wärmepumpe nicht enthalten, da separat zu bilanzieren. Berücksichtigt sind Anlagenaufwand Produktion und Installation, Betriebsaufwand, Entsorgung.

6 Arbeitsschritte der Masterplan-Entwicklung (Übersicht)

MASTERPLAN-ENTWICKLUNG	WAS IST ZU TUN?	WAS LIEGT DANACH VOR?
Randbedingungen des Masterplans		
Schritt 1	Erfassung der Versorgungsinfrastruktur Strom, Gas, Wärme, Verkehr und Ableitung von Möglichkeiten und Hemmnissen zukünftiger Versorgungsmöglichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ist-Stand Versorgungsinfrastruktur <ol style="list-style-type: none"> 1. Stromnetz (Leistungskapazitäten je Spannungsebene und Koppelstelle, Leitungs- und Umspannverluste) 2. Gasnetz (Räumliche Struktur und vorhandene Gasspeicher) 3. Wärmenetze (Räumliche Struktur vorhandener Nah- und Fernwärmenetze/Wärmespeicher) 4. Verkehr (Netzgebundene Infrastruktur, ruhender Verkehr, Potenzialflächen) ✓ Aus dem Ist-Stand resultierende <ol style="list-style-type: none"> 1. Möglichkeiten 2. Hemmnisse für postfossile Energieversorgung
Schritt 2	Festlegung demografischer Randbedingungen und Ermittlung der kommunalen Entwicklung der Bevölkerungszahlen	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Entwicklungskorridor Einwohnerzahl in der Kommune (Bevölkerung, private Haushalte, Erwerbspersonen) ✓ Altersaufbau der Bevölkerung
Zukünftige Energieerzeugungsmöglichkeiten im Masterplan		
Schritt 3	Ermittlung der kommunalen Potenziale für erneuerbare Energie als Entscheidungs- und Berechnungsbasis für die Masterplan-Energieversorgungsmöglichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Überblick aktuelle Flächennutzung und Biomassenutzung ✓ Solarthermie und Photovoltaik <ol style="list-style-type: none"> 1. Geeignete Dachflächen 2. Optimale Neigungswinkel ✓ Windkraft <ol style="list-style-type: none"> 1. Windhöufigkeit des Standortes 2. Flächenpotenzial ✓ Geothermie <ol style="list-style-type: none"> 1. Zulässige Gebiete für Erdsonden 2. Erlaubte Wärmeentzugsleistung 3. Ggf. vorhandenes Tiefengeothermie-Potenzial ✓ Wasserkraft <ol style="list-style-type: none"> 1. Anlagenbestand und Ausbau-/Nachrüstungspotenzial 2. Standorte für Anlagenneubau ✓ Biomasse <ol style="list-style-type: none"> 1. Reststoffpotenziale 2. Landwirtschaftliche Nutzfläche 3. Energetisch nutzbares Waldholz
Zukünftige Energiebedarfe im Masterplan		
Schritt 4	Erfassung gegenwärtiger und Ermittlung zukünftiger Energiebedarfe privater Haushalte an Strom als Basisinformation für die im Masterplan festzulegenden zukünftigen Energieversorgungswege	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ist-Stand Strombedarf private Haushalte <ol style="list-style-type: none"> 1. Anzahl Haushalte und durchschnittliche Größe 2. Gebrauchsgüterstruktur 3. Resultierender Strombedarf (heute) ✓ Zukünftiger Strombedarf privater Haushalte <ol style="list-style-type: none"> 1. Anzahl der mittleren Neubeschaffungen 2. Spezifische Energieeinsparung je Effizienzsteigerung 3. Resultierender Strombedarf 2050

MASTERPLAN-ENTWICKLUNG	WAS IST ZU TUN?	WAS LIEGT DANACH VOR?
Schritt 5	Erfassung gegenwärtiger und Ermittlung zukünftiger Energiebedarfe privater Haushalte an Gebäudewärme und Warmwasser als Basisinformation für die im Masterplan festzulegenden zukünftigen Energieversorgungswege	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ist-Situation Heizwärmebedarf <ol style="list-style-type: none"> 1. Wohnfläche je Gebäudetyp und Gebäudealtersklasse 2. Resultierender Nutzenergiebedarf je Gebäudetyp und Gebäudealtersklasse 3. Räumliche Verteilung der Wärmenachfrage im Gemeindegebiet ✓ Zukünftiger Heizwärmebedarf <ol style="list-style-type: none"> 1. Witterungsbereinigung 2. Sanierungsrate 3. Resultierender zukünftiger Nutzenergiebedarf je Gebäudetyp und Gebäudealtersklasse 4. Räumliche Verteilung der zukünftigen Wärmenachfrage im Gemeindegebiet ✓ Ist-Situation und zukünftiger Warmwasserbedarf Spezifischer Warmwasserbedarf pro Kopf
Schritt 6	Erfassung gegenwärtiger und Ermittlung zukünftiger Energiebedarfe in Industrie und GHD als Basisinformation für die im Masterplan festzulegenden zukünftigen Energieversorgungswege	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ist-Situation Energiebedarf Industrie und GHD nach Anwendungen Strom und Wärme <ol style="list-style-type: none"> 1. Hot Spots 2. Übrige Unternehmen 3. Differenziert nach Prozesswärme, IKT, Raumwärme, Beleuchtung ✓ Zukünftiger Energiebedarf Industrie und GHD nach Anwendungen Strom und Wärme <ol style="list-style-type: none"> 1. Steigende Energieeffizienz 2. Geänderte Nutzungsintensitäten 3. Verbesserte Gebäudeisolation 4. Resultierender Strom-, Wärme- und Brennstoffbedarf, differenziert nach Prozesswärme, IKT, Raumwärme, Beleuchtung
Schritt 7	Analyse gegenwärtiger Brennstoffverwendung für Prozesswärmebedarfe zur Ermittlung zukünftiger alternativer Energieversorgungsoptionen	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Versorgungskonzepte und Kennwerte für Bedarfe an <ol style="list-style-type: none"> 1. Niedertemperatur-Prozesswärme 2. Mitteltemperatur-Prozesswärme 3. Hochtemperatur-Prozesswärme ✓ Elektrifizierungspotenzial und resultierender Strombedarf ✓ Resultierender Brennstoffbedarf und -güte (nicht durch alternative Versorgungsoptionen substituierbar)
Zwischenschritt	Berechnung der Energie- und THG-Bilanz für das Startjahr (z. B. 2015) und das Basisjahr 1990. Analyse von Bedarfs- und Versorgungsentwicklung sowie damit verbundene Emissionsentwicklung in dieser Zeit Ableitung von Ansatzpunkten für die Entwicklung der Energieversorgung im Masterplan	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bilanz der Nutz- und Endenergiebedarfe im Startjahr ✓ Bilanz der THG-Emissionen im Startjahr und im Basisjahr 1990 ✓ Ergebnis der vergleichenden Analyse der CO₂-Emissionsentwicklung zwischen 1990 und dem Startjahr ✓ Resultierende (strategische) Ansatzpunkte für die Energieversorgung im Masterplan

MASTERPLAN-ENTWICKLUNG	WAS IST ZU TUN?	WAS LIEGT DANACH VOR?
Zukünftige Energieversorgung im Masterplan		
Schritt 8	Erfassung gegenwärtiger und Ermittlung zukünftiger Nutzungspotenziale für Abwärme aus Industrie und GHD	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Identifikation kommunaler Abwärmequellen ✓ Abschätzung nutzbarer Abwärme <ol style="list-style-type: none"> 1. Menge pro Jahr 2. Charakteristik (Temperatur, Wärmeträgermedium, zeitlicher Verlauf) 3. Räumliche Zuordnung in der Kommune ✓ Konkretisierung betrieblicher und kommunaler Optionen zur Abwärmenutzung im Masterplan <ol style="list-style-type: none"> 1. Betriebsinterne Nutzung 2. Kälteerzeugung 3. Stromerzeugung 4. Externe Nutzung für Niedertemperatur-Wärmeversorgung
Schritt 9	Erfassung gegenwärtiger Mobilitätsbedarfe und -versorgung und Ableitung eines zukünftigen Mobilitätsbedarfs- und Versorgungskonzeptes im Masterplan	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bilanzierung des Verkehrs nach Territorialprinzip auf Basis des Klimaschutz-Planers (KSP) ✓ Optional Vertiefung nach Einwohnerprinzip <ol style="list-style-type: none"> 1. Bestandsaufnahme und -analyse des Verkehrsangebots sowie Status quo des Mobilitätsverhaltens der Bevölkerung <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Gesamtverkehrsleistung Pkw nach Antriebsart (Fahrzeugkilometer, Personenkilometer) und ÖPNV 1.2 Resultierende Energieverbräuche 1.3 Pkw-Bestand nach Antriebsart 1.4 Modal Split nach Wegelängen differenziert 1.5 Nach Verkehrsmitteln differenzierte Anzahl der Wege in den einzelnen Wegelängenkategorien 1.6 Die nach Verkehrsmitteln differenzierten Wegezwecke 1.7 Pkw-Verfügbarkeit 1.8 Quantität und Qualität des ÖPNV-, Rad- und Fußwegenetzes 1.9 Besetzungsgrad Pkw und ÖPNV 2. Zukünftiges Mobilitätsbedarfs- und Versorgungskonzept <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Zum KSP (Territorialprinzip) ergänzende Bilanz für den Verkehr in Bezug auf Energieverbräuche und CO₂-Emissionen 2.2 Bevölkerungsentwicklung 2.3 Wegezahl 2.4 Verkehrsleistung 2.5 Modal Shift 2.6 Flottenzusammensetzung 2.7 Effizienzentwicklung nach Antriebsarten
Schritt 10	Entwicklung eines sektorübergreifenden Verwendungskonzepts für die Zuordnung zukünftig verfügbarer Brenn- und Kraftstoffe Analyse verfügbarer Potenziale und Bedarfsbereiche zur Festlegung von Versorgungsprioritäten mit anschließender Zuordnung von Potenzialen zu Brennstoffproduktionspfaden und Bedarfsbereichen	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Prioritätenabfolge für Einsatz von Brenn- und Kraftstoffpotenzialen ✓ Nutzungskonzept Biomassepotenzial ✓ Sektorübergreifendes Nutzungskonzept zukünftig kommunal verfügbarer Brenn- und Kraftstoffe ✓ Strombedarf für synthetische Brenn- und Kraftstoffe ✓ Summe Importbedarf/Exportpotenzial an Brenn- und Kraftstoffen

MASTERPLAN-ENTWICKLUNG	WAS IST ZU TUN?	WAS LIEGT DANACH VOR?
Schritt 11	Entwicklung eines sektorübergreifenden Versorgungskonzeptes für die Raumwärmeversorgung aller Gebäude	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Entscheidung für netzgebundene Wärmeversorgung und ggf. räumliche Zuordnung zu Siedlungsgebieten ✓ Entscheidung für Einsatz saisonaler Wärmespeicher, ggf. Abschätzung Anzahl, Größe, Lage ✓ Entscheidung für Nutzung vorhandener baulicher Strukturen als Wärmespeicher ✓ Festlegung erforderlicher Wärmebereitstellungstechnik (z. B. Wärmepumpen, Solarthermie, KWK) ✓ Abschätzung Anzahl der Versorgungseinheiten, Leistung/ Fläche/Kapazität zur Bereitstellung der Wärmebedarfe
Schritt 12	Für mögliche Versorgungsoptionen der Sektoren Haushalte, Industrie/GHD und Verkehr werden die daraus resultierenden Residuallast-Extremwerte und Fluktuationsausgleichsoptionen für das zukünftige Stromversorgungssystem (qualitativ) untersucht.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ In der Zielvision zu berücksichtigende erneuerbare Stromerzeugungsleistung innerhalb der Kommune ✓ Gewählte stromsystemrelevante Versorgungsoptionen der Sektoren Haushalte, Industrie/GHD und Verkehr ✓ Abschätzung Residuallast-Auswirkungen (maximale positive und negative Leistungssummen) ✓ Abschätzungen Höhe Fluktuationsausgleichspotenzial der Bedarfssektoren (in Anlehnung an Literaturwerte und Forschungsergebnisse) ✓ Ggf. Darstellung kommunaler Möglichkeiten für Fluktuationsausgleich durch reversible (elektrische oder chemische) Speicherung elektrischer Energie
Schritt 13	Berechnung der Energie- und THG-Bilanz für die Zielvision	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bilanz der Nutz- und Endenergiebedarfe in der Zielvision ✓ Bilanz der THG-Emissionen in der Zielvision
Schritt 14	Sektorübergreifende Untersuchung der für den Masterplan gewählten Energiebedarfs- und Energieversorgungsoptionen auf Einflussmöglichkeiten der Masterplan-Kommune	<p>Zuordnung aller gewählten Optionen zu Handlungsfeldern im</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ direkten Einfluss der Kommune ✓ indirekten Einfluss der Kommune (Information/Motivation/strukturelle Unterstützung) ✓ Einfluss übergeordneter Ebenen (Landes-, Bundes-, EU-Entscheidungen) <p>Benennung von Einflussmöglichkeiten und Hemmnissen der Umsetzung</p>

7 Masterplan-Schritt 1: Erfassung der Infrastruktur

Was ist in Schritt 1 der Masterplan-Entwicklung zu tun?

Als Grundvoraussetzung der Masterplan-Entwicklung müssen Masterplan-Kommunen die heutige Energieversorgungs- und Verkehrsinfrastruktur erfassen. Für den Masterplan werden die Versorgungsinfrastruktur in der Kommune in den Sektoren Strom, Gas, Wärme und Verkehr und weitere für die zukünftige Energieversorgung bedeutsame infrastrukturelle Voraussetzungen ermittelt. In diesem Kapitel werden die erforderlichen Informationen, ihre Quellen und ihre Verwendung für die Masterplan-Entwicklung vorgestellt.

Die Masterplan-Kommunen leiten aus diesen Daten Möglichkeiten und Hemmnisse der zukünftigen Energieversorgung im Masterplan ab.

Die Bundesregierung strebt für 2050 einen EE-Anteil von 80 % an der Stromversorgung, eine Reduzierung des Primärenergiebedarfs für den Gebäudebestand um 80 % und einen Rückgang des Endenergieverbrauchs um 40 % im Verkehrssektor an (Bundesregierung, 2015). Diese Ziele sind nur mit einer umfangreichen Effizienzsteigerung und Neustrukturierung der Versorgung der Sektoren Industrie, GHD, private Haushalte und Verkehr erreichbar. Veränderte Versorgungsstrukturen bringen neue Anforderungen an die Infrastruktur – Strom- und Gasnetz, Wärmenetze und Verkehrsinfrastruktur – mit sich, sowohl bundesweit als auch in den Kommunen. Für die Erstellung des Masterplans ist es daher erforderlich, die vorhandene Infrastruktur zu erfassen und auszuwerten. In diesem Kapitel wird aufgezeigt, welche Infrastrukturdaten für die Masterplan-Entwicklung berücksichtigt werden sollten, welche Anforderungen sich zukünftig für Infrastrukturen ergeben und welche Bereiche im Handlungsfeld der Kommunen liegen bzw. von ihnen beeinflusst werden können.

Die Verzahnung verschiedener Versorgungsbereiche (s. „Drei wesentliche technische Herausforderungen vorab ...“ in Kapitel 2.1) eröffnet die Nutzung von Synergieeffekten und erhöht das Effizienzpotenzial des Gesamtsystems. Jede Entscheidung für eine Nutzungsmöglichkeit einer Energiequelle und die damit verbundene Energieverteil- bzw. Speicherinfrastruktur wirkt sich auf die Nutzungsoptionen in den anderen Sektoren und Bedarfsbereichen aus. Anforderungen an zukünftige Infrastrukturen sollten daher für das verknüpfte Gesamtsystem in den Blick genommen werden und nicht unterteilt nach Strom, Gas, Wärme und Mobilität.

Die Kenntnis der infrastrukturellen Rahmenbedingungen und Perspektiven im kommunalen und regionalen Kontext leistet darüber hinaus einen wichtigen Beitrag, um Umsetzungsrisiken sowie volkswirtschaftliche Kosten des nachhaltigen Umbaus der Energieversorgung zu begrenzen. Bereits vorhandene Strukturen wie z. B. Gasnetze können somit optimiert und an die entsprechenden Bedürfnisse angepasst werden, wodurch Kosten für den Bau neuer Strukturen reduziert werden können.

Grundsätzlich sind die Infrastrukturbereiche Wärme, Strom, Gas und Mobilitätsversorgung in die Betrachtung einzubeziehen. Um die notwendigen Daten zu erfassen und zu aktualisieren – Größe, Ausdehnung und Kompatibilität (Schnittstellen zwischen den Infrastrukturbereichen) der vorhandenen Netze sowie Art und Leistung vorhandener Betriebsmittel –, sollten Masterplan-Managerinnen und -Manager einen regelmäßigen Kontakt zu den lokalen Versorgungsunternehmen sowie allen relevanten Behörden der Stadtverwaltung aufbauen. Anhand der gewonnenen Daten können Chancen und Restriktionen für zukünftige alternative Versorgungskonzepte abgeschätzt werden und Anpassungsbedarfe der bestehenden Strukturen abgeleitet werden.

7.1 Infrastruktur Strom

Die heutige Stromnetzinfrastuktur basiert auf der Stromerzeugung in zentralen Großkraftwerken (Top-down). Der Strom wird von den Erzeugungszentren über die Übertragungs- und Verteilnetzebene in die Kommunen transportiert.

Im zukünftigen Energieversorgungssystem wird die Stromerzeugung geprägt sein von dezentraler Einspeisung aus (volatilen) erneuerbaren Energien mit einer vermehrten Bottom-up-Flussrichtung des Stroms und hohen sowie schnellen Schwankungen der Residuallast (d.h. der Differenz zwischen nachgefragter Last und Stromeinspeisung aus fluktuierenden erneuerbaren Quellen). Darüber hinaus wird der Konsument von Strom zum Prosumenten, wenn er einen Teil seines Strombedarfs selbst (z. B. mittels PV-Anlage) produziert, und damit zum Akteur in der Energiewende.

Um abschätzen zu können, ob und wo die verstärkte Einspeisung regenerativ erzeugten Stroms zu kritischen Situationen im kommunalen Netz führen könnte, sind Angaben (s. u.) zum lokalen Stromnetz sowie zu den Übergabepunkten zum vorgelagerten Netz notwendig. Anhand der räumlichen Zuordnung zukünftiger maximaler Einspeiseleistungen aus Erneuerbare-Energien-Anlagen und zukünftiger maximaler Lastbezüge (z. B. durch Elektrifizierung von Prozesswärmebedarfen) können für die Zielvision drohende Überlastungen kommunaler Netzareale identifiziert werden. Für solche kritischen Netzbereiche müssen langfristig Möglichkeiten zur Entlastung durch Netzausbau, sinnvolle Stromspeicherstandorte oder Demand-Side-Management entwickelt werden. Die kommunalen bzw. örtlichen Netzbetreiber geben in der Regel Auskunft über allgemeine Daten zum Stromnetz. Relevante Informationen sind dabei Angaben zu vorhandenen Spannungsebenen, Leistungskapazitäten je Spannungsebene, die Leistungskapazitäten der Koppelstellen zum vorgelagerten Netz sowie Leitungs- und Umspannverluste. Diese Informationen lassen sich in der Regel in Online-Veröffentlichungen der Netzbetreiber im Rahmen von § 27 Abs. 2 StromNEV (StromNEV, 2005) entnehmen.

Umstrukturierungen und Baumaßnahmen im Bereich des Verteilnetzes liegen dabei häufig (zumindest teilweise) im Einflussbereich der Kommunen, Maßnahmen auf der Übertragungsnetzebene dagegen nicht.

7.2 Infrastruktur Gas

Das bundesweite Erdgasnetz mit einer Gesamtlänge von 530.000 km versorgt heute Erdgaskraftwerke, Industrie, private Haushalte und Teile des Verkehrs. Seine Speicherkapazität entspricht etwa einem Viertel des aktuellen Jahresbedarfs (IWES, 2010).

In einem postfossilen Energieversorgungssystem werden Biomethan und EE-Gas (Methan oder H₂) nur noch in geringen Mengen vorwiegend in den Bereichen Prozesswärme-Bereitstellung, Verkehr sowie ggf. zur Langfristspeicherung von Strom und zur regelbaren Stromerzeugung genutzt werden.

Die Mindestauslastung des Gasnetzes ist somit in Zukunft ein wichtiges Prüfkriterium für die Aufrechterhaltung bestehender Gasinfrastrukturen (Gasverteilnetz). Ein Szenario, das nur sehr geringe Gasmengen räumlich diffus verteilt vorsieht, ist aus ökonomischen Gründen zu verwerfen. Möglich ist dagegen die räumlich konzentrierte Einspeisung und Entnahme von Gas an wenigen Punkten im Gemeindegebiet, die nur eine oder wenige Stickleitungen als Verbindung zum vorgelagerten Netz erfordert.

Derzeit ist durch das DVGW Regelwerk G 260 eine maximale Wasserstoff-Einspeisung von 5 Vol.% in das Erdgasnetz festgelegt (Kirchmayr, 2014). Untersuchungen haben ergeben, dass aus technischer und sicherheitstechnischer Sicht eine Beimischung von bis zu 20 Vol.% möglich ist (Hüttenrauch et. al., 2010). Je nach vorliegender Wasserstoffmenge kann somit das bestehende Erdgasnetz für den Transport genutzt werden.

Bezüglich allgemeiner Daten zu Gasnetzen geben die Netzbetreiber im Rahmen der Strukturmerkmale von § 20 Ab. 1 GasNZV (GasNZV, 2010) Auskunft zum Umfang der versorgten Flächen, Längen und Ausspeisepunkten nach Druckstufen, entnommener Jahresarbeit, Jahreshöchstlasten, Gasqualität, Brennwerten und Druckverhältnissen. Soll externer EE-Gas-Bezug oder eine lokale Erzeugung von EE-Gas für externe Verbraucher im technischen Masterplan integriert werden, sind Informationen über ein mögliches überregional vorhandenes Gasnetz notwendig. Auch diese Informationen sind über die Netzbetreiber zu beziehen.

7.3 Infrastruktur Wärme

Die heutige Wärmeversorgung ist von einem hohen Anteil an Einzelheizungsanlagen geprägt: In den deutschen Kommunen entfallen nur zwischen 9 und 16 % der Wärmeversorgung auf die Fern- und Nahwärme (BMW, 2015).

Die Wärmeversorgung postfossiler Zukunftskonzepte muss weitgehend ohne Brennstoffe erfolgen. Niedertemperaturwärme aus geothermischen, solaren

oder Abwärme-Energiepotenzialen ist zukünftig die zentrale Wärmeversorgungsquelle für Gebäude. Die Wärmeversorgung über Wärmenetze in Verbindung mit zentralen Wärmespeichern ist dabei eine wesentliche Option für den räumlichen und zeitlichen Ausgleich von Bedarfs- und Versorgungsfluktuationen im Wärme- und dem damit gekoppelten Stromsystem (vgl. Kapitel 15.2.1).

Für das Konzept einer postfossilen Wärmeversorgung sind Informationen zu vorhandenen Wärmenetzen und zentralen Wärmespeichern zu ermitteln

- Erfassung, Betriebsweise und Belegungsdichte vorhandener Nah- und Fernwärmenetze
- Erfassung vorhandener zentraler Wärmespeicher und deren Betriebsweise/technische Eigenschaften
- Ausbaupläne für Nah- und Fernwärmenetze sowie zentrale Wärmespeicher
- Erfassung vorhandener baulicher Infrastrukturen, die sich als Großwärmespeicher nutzen lassen (Sprinkler-Wasserspeicher, Schwimmbadbecken o. ä.)

Mögliche Anlaufstellen sind kommunale oder regionale Energieversorger (Stadtwerke), die Arbeitsgemeinschaft Fernwärme (AGFW), Planungs- und Genehmigungsämter der Gemeindeverwaltung oder lokale Bürgervereine (z. B. Ortsvereine, Umweltgruppen etc.).

Für die weitere Konzeptentwicklung sollte die vorhandene Infrastruktur untersucht werden auf

- Nachverdichtungs- und Effizienzsteigerungsmöglichkeiten vorhandener Netze (z. B. Temperaturabsenkung, Einbindung Abwärmequellen, effiziente Nacherwärmung)
- zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten vorhandener zentraler Wärmespeicher (s. u.)

In der Umgestaltungsphase zwischen dem heutigen und dem postfossilen Energieversorgungssystem können zentrale Wärmespeicher als Multifunktionspeicher verschiedene Wärmequellen einbinden und zusätzliche Nutzungsmöglichkeiten eröffnen (Ersatz Spitzenkessel, Bereitstellung negativer Regelenergie über elektrische Heizleistung, Einbindung KWK-Abwärme bei stromgeführter Betriebsweise, Einbindung Abwärmequellen Industrie/GHD u. a. m.).

Der Neuaufbau, die Erweiterung oder die Nachverdichtung einer netzgebundenen Wärmeversorgung

sind z. B. in einem geografischen Informationssystem (GIS) zu prüfen

- Untersuchung der kommunalen Siedlungsgebiete auf Eignung für Nahwärme-Netzversorgung
- Räumliche Möglichkeiten (technische Potenziale) für den Bau zentraler Großwärmespeicher/Saisonalspeicher

Methodische Hinweise zum Einsatz und zur Nutzung des GIS-Systems gibt Kapitel 10.2.1.

7.4 Infrastruktur Verkehr

Über die Verkehrsmittelwahl wird der Energie- und CO₂-Verbrauch einer Kommune maßgeblich mitbestimmt. Welche Verkehrsmittel vor Ort gewählt werden, hängt auch von den infrastrukturellen Rahmenbedingungen ab. Mittel- bis langfristig können infrastrukturelle Veränderungen dazu beitragen, bestimmte Verkehrsmittel attraktiver oder weniger attraktiv zu machen. Die Gestaltung der Infrastrukturen ist daher eine wichtige Aufgabe kommunaler Akteure.

Zur Erfassung der Verkehrsinfrastruktur auf kommunalem Gebiet ist zunächst zu definieren, welche Arten von Infrastrukturen in diesem Bereich von Bedeutung und beeinflussbar sind. Dazu zählen zum einen die netzgebundenen Systeme wie das Straßensystem, das Schienensystem (Stadtbahn, Regionalbahn), das Gehwegenetz und auch die Fahrradwege. Zum anderen spielen die Zugänglichkeit und Intermodalität (Ein-, Aus- und Umstiegsmöglichkeit) eine wichtige Rolle. Dabei steht insbesondere die Beschaffenheit der Haltestellen des ÖPNV im Vordergrund. Auch die Bedingungen für den ruhenden Verkehr sind von Bedeutung. Über das Angebot und die Gestaltung von Parkplätzen für Pkw, Fahrräder und Pedelecs und die Bewirtschaftung der Parkplätze insbesondere für Pkw können Kommunen die Verkehrsmittelwahl beeinflussen. Außerdem zählt zur Analyse der verkehrsinfrastrukturellen Voraussetzungen und Entwicklungspotenziale die Erhebung von Flächen zur Umnutzung (beispielsweise ehemalige Bahntrassen als Fahrradwege).

All diese Arten von Infrastrukturen weisen auf lange Sicht Ansatzpunkte zur Veränderung des kommunalen Mobilitätsverhaltens auf und liegen im Einflussbereich der kommunalen Akteure.

Was liegt am Ende dieses Arbeitsschrittes vor?

Infrastrukturelle Randbedingungen der rein erneuerbaren Masterplan-Energieversorgung

Strom

- ✓ Begrenzungen der verfügbaren Verteilleistungen im kommunalen Stromnetz
- ✓ Begrenzungen der verfügbaren Koppelstellen zum vorgelagerten Netz
- ✓ Vorhandene oder geplante Stromspeicher (Lage, technische Kennwerte)
- ✓ Erfassung vorhandener fossiler Kraftwerksstandorte

Gas

- ✓ Versorgungsgebiete Gasnetz in räumlicher Zuordnung
- ✓ Gasspeicher (Lage, technische Kennwerte)

Wärme

- ✓ Versorgungsgebiete Nah- und Fernwärmenetze (Gebiete, technische Kennwerte)
- ✓ Mit den Wärmenetzen gekoppelte Wärmespeicher (Lage, technische Kennwerte)
- ✓ Räumliche Möglichkeiten zum Bau (saisonaler) Großwärmespeicher
- ✓ Potenziell als Großwärmespeicher nutzbare Infrastrukturen

Verkehr

- ✓ Netzgebundene Verkehrsinfrastruktur
- ✓ Anlagen für den ruhenden Verkehr
- ✓ Verortung von Potenzialflächen zur Umnutzung

Analyseergebnis im Hinblick auf Chancen und Beschränkungen durch die vorhandenen infrastrukturellen Voraussetzungen

Dokumentation im Masterplan für Schritt 1

- ✓ Ist-Stand Versorgungsinfrastruktur Strom, Gas, Wärme, Verkehr
- ✓ Aus dem Ist-Stand resultierende Möglichkeiten und Hemmnisse für postfossile Energieversorgungsoptionen

Schritte in Richtung Implementierung

- ✓ Kontaktaufbau und -pflege zu den für den Bau und Betrieb zentraler Infrastruktur verantwortlichen Institutionen
- ✓ (Grafische) Aufbereitung der Infrastrukturdaten als Grundlage für die Erarbeitung von Entwicklungspfaden. Die Überlagerung der Infrastrukturbereiche in der Aufbereitung, z. B. mithilfe eines geografischen Informationssystems, hilft dabei, Synergien in der Strategieentwicklung zu erkennen
- ✓ Maßnahmen zur schrittweisen Ablösung zentraler fossiler Strom- und Wärmeerzeugung durch erneuerbare Anlagen
- ✓ Nachrüstung technischer Einrichtungen an vorhandenen potenziell als Großwärmespeicher nutzbaren Infrastrukturen z. B. für den Einsatz in Wärmenetzen

8 Masterplan-Schritt 2: Demografische Randbedingungen

Was ist in Schritt 2 der Masterplan-Entwicklung zu tun?

Ziele des zweiten Schrittes sind die Festlegung der **demografischen Randbedingungen** und die Ermittlung der kommunalen Bevölkerungszahlen bis 2050.

Demografische Faktoren wie die Entwicklung der Einwohnergröße und die Altersstruktur bestimmen sowohl direkt über die Anzahl der Einwohner als auch indirekt über unterschiedliches Nachfrageverhalten der Altersgruppen den Energieverbrauch der Kommunen. Sie stellen wichtige Rahmenbedingungen für die Annahmen in den einzelnen Nachfrage- und Angebotssektoren dar.

Auf Bundesebene gibt die 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung Auskunft über die Entwicklung der Bevölkerung Deutschlands bis zum Jahr 2060 (Statistisches Bundesamt, 2015a). Die Einwohnerzahl nimmt von 80,8 Mio. im Jahr 2013 auf 67,6 Mio. ab, wenn von einer kontinuierlichen Entwicklung der langfristigen demografischen Trends (Geburtenrate, Lebenserwartung, Wanderungssaldo) bei schwacher Zuwanderung ausgegangen wird (Variante 1). Eine Abnahme auf 73,1 Mio. tritt bei einer kontinuierlichen Entwicklung und stärkerer Zuwanderung im Jahr 2060 ein (Variante 2). Diese zwei Varianten bilden die Grenzen eines Korridors, in dem sich die Bevölkerungsgröße und der Altersaufbau bei gleichbleibenden Trends entwickeln. Inwieweit die Prognosen bei der im Jahr 2015 hohen Migrationsrate langfristig beeinflusst werden, kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden.

Das Altern der heute stark besetzten mittleren Jahrgänge („Babyboomer“) bewirkt eine gravierende Verschiebung in der Altersstruktur. Die Alterung der Bevölkerung schlägt sich insbesondere in den Zahlen der Hochbetagten (80 Jahre und älter) nieder. Ihre Zahl wird kontinuierlich steigen und mit fast 10 Mio. im Jahr 2050 den bis dahin höchsten Wert erreichen. Auch die Bevölkerung im Erwerbsalter wird

von Schrumpfung und Alterung betroffen sein. Als Erwerbsalter ist eine Spanne von 20 bis 64 Jahren definiert. 2060 werden dann etwa 38 Mio. Menschen im Erwerbsalter sein. Das bedeutet einen Rückgang um 23 % (Variante 2) bzw. um 30 % (Variante 1) gegenüber 2013.

Die Raumordnungsprognose 2035 aus dem Jahr 2015 analysiert die demografische Entwicklung räumlich differenziert auf Ebene der 402 Landkreise und kreisfreien Städte. Basismerkmale dieser Studie sind Bevölkerung, private Haushalte und Erwerbspersonen (BBSR, 2015) auf Grundlage des Zensus 2011. Im Jahr 2012 gab es in Deutschland 40,14 Mio. private Haushalte. Die durchschnittliche Haushaltsgröße betrug 2,01 Personen. Bis zum Jahr 2035 wird die Anzahl der Haushalte auf 40,94 Mio. ansteigen. Gleichzeitig wird die durchschnittliche Haushaltsgröße vor dem Hintergrund des Bevölkerungsrückgangs und veränderter familiärer Strukturen auf 1,91 Personen sinken (ebd.) – mit entsprechenden Folgen für die Pro-Kopf-Wohnfläche, Ausstattung der Bevölkerung mit Haushaltsgeräten etc. In 2050 wird die Zahl der Haushalte bei rund 39 Mio. liegen (DIW, 2007). Die Raumordnungsprognose weist nach, dass sich die für die Bundesrepublik beschriebenen Entwicklungen regional stark unterscheiden. Sie lässt erkennen, dass es zukünftig in Deutschland sowohl Landkreise und kreisfreie Städte mit rückläufigen Bevölkerungszahlen als auch wachsende Gebiete gibt. Auch die Veränderungen der Altersstruktur sind räumlich sehr unterschiedlich und müssen für jede Kommune gesondert betrachtet werden.

Auskunft über die demografische Entwicklung auf Kreisebene geben die Statistischen Landesämter.

Was liegt am Ende dieses Arbeitsschrittes vor?

Wichtige Kennzahlen im Zusammenhang mit der demografischen Entwicklung in der Kommune

- ✓ Einwohnerzahl
- ✓ Private Haushalte
- ✓ Erwerbspersonen
- ✓ Altersaufbau der Bevölkerung

Dokumentation im Masterplan für Schritt 2

- ✓ Ist-Situation Zahl der Einwohner, der privaten Haushalte, der Erwerbspersonen und des Altersaufbaus
- ✓ Vorausberechnung der Werte für das Jahr 2050

Schritt in Richtung Implementierung

- ✓ Aufbereitung des Datenmaterials als Grundlage für die Erarbeitung von Entwicklungspfaden

9 Masterplan-Schritt 3: Erfassung kommunaler Potenziale erneuerbarer Energien

Was ist in Schritt 3 der Masterplan-Entwicklung zu tun?

Erneuerbare Energien sind die Grundlage einer nahezu CO₂-freien Energieversorgung. Daher sind die kommunal vorhandenen Potenziale an Solar-, Wind- und Wasserenergie, Geothermie und Biomasse zu ermitteln. Die Potenziale dienen als Entscheidungs- und Berechnungsbasis für die künftigen Energieversorgungsmöglichkeiten der Masterplan-Kommune.

**A
K
Z
E
P
T
A
N
Z**

Der künftige Beitrag der erneuerbaren Energien zur Energieversorgung der Masterplan-Kommunen hängt neben ihrer Verfügbarkeit stark von der Entscheidung ab, in welchem Maße diese genutzt werden sollen. Darin gehen die geplanten Versorgungskonzepte (vgl. Kapitel 13–15) ein, die unterschiedlichen Anlagen auf begrenzten Flächen den Vorrang geben – z. B. Wind versus Biomasse oder PV versus Solarthermie auf Dachflächen. Die Möglichkeit, lokale Wertschöpfung zu erzeugen, wie z. B. der Kreis Steinfurt zeigt (Energieland, 2015), begünstigt die verstärkte Ausnutzung erneuerbarer Energien. Konfliktpotenziale mit Natur- und Umweltschutz und die Flächenkonkurrenz von Nahrungsproduktion, Rohstoffbereitstellung und Siedlungsflächen hemmen diese (s. auch Kapitel 4).

Ein fundierter Überblick über die aktuelle Flächen-nutzung in der Kommune ist Grundvoraussetzung der Potenzialabschätzung. Einerseits müssen für einen Ausbau von Erneuerbare-Energien-Anlagen wie PV oder Windanlagen geeignete Flächen verfügbar sein, andererseits stellen Landwirtschafts- und Forstflächen eine wesentliche Quelle an Biomassepotenzialen dar.

Relevante Informationen über die Flächennutzung sind den lokalen Flächennutzungsplänen entnehmbar, aber auch in Landwirtschaftsämtern, in digitalen Flurkarten oder durch die Regionalplanung verfügbar.

In vielen Kommunen bestehen bereits detaillierte Analysen zum vorhandenen Potenzial, etwa in Konzepten zu erneuerbaren Energien oder Klimaschutz im Rahmen der Kommunalrichtlinie (BMUB, 2015). Einen ersten Einstieg liefert auch der Klimaschutz-Planer. Weitere Informationen zu Potenzialen erneuerbarer Energien liefern Potenzialatlanten, die für Deutschland und auf Bundeslandebene häufig sogar räumlich aufgelöst im Internet verfügbar sind. Eine Übersicht findet sich in der *Externen Linkliste* (Externe Linkliste, 2015).

Bestandsregister Erneuerbarer-Energie-Anlagen zeigen, wie stark die Potenziale bisher genutzt werden. Sie sind ebenfalls häufig verfügbar (s. Externe Linkliste, 2015). Basisinformationen zu Wertschöpfungseffekten liefern in vereinfachter Form Wertschöpfungsrechner, wie sie die Agentur für Erneuerbare Energien (AEE, 2015) oder der Klimaschutz-Planer bereitstellen.

9.1 Solarenergie: PV und Solarthermie

**A
K
Z
E
P
T
A
N
Z**

Das vorliegende Handbuch legt den Fokus auf Potenziale der Photovoltaik (Erzeugung von Strom) und der Solarthermie (Erzeugung von Wärme durch Kollektoren) auf Dachflächen (oder Fassaden). Denn Freiflächenanlagen bergen ein vergleichsweise hohes Konfliktpotenzial, bedingt durch einen höheren Flächenverbrauch und damit verbundenen Naturschutzbelangen. Darüber hinaus müssen Freiflächenanlagen behördlich zugelassen werden, wodurch in der Planungsphase u. a. Umweltverträglichkeitsprüfungen durchzuführen sind. Bei Anlagen auf Dächern und Fassaden ist dagegen der Denkmalschutz zu berücksichtigen.

Methoden zur Potenzialbestimmung

Zahlreiche Städte, Gemeinden und Regionen bieten inzwischen frei einsehbare **Solarkataster** an, über die man für Solarthermie oder Photovoltaik geeignete Dachflächen ermitteln kann. Eine Übersicht der Solarkataster ist in der *Externen Linkliste* aufgelistet (Externe Linkliste, 2015). Die Jahressumme der Globalstrahlung schwankt regional in Deutschland zwischen etwa 950 kWh/m² und 1260 kWh/m² (vgl. Abb. 9-1) (DWD, 2015a).

Zwei **weitere Methoden** zur Abschätzung des Solarpotenzials unterschiedlicher Präzision werden im bayerischen *Leitfaden Energienutzungsplan* (Hausladen et al., 2011) beschrieben. Bei der weniger zeitaufwendigen Methode wird eine grobe **Annahme über die gesamte nutzbare Dachfläche** einer Gemeinde aufgestellt. Hierbei wird ein pauschaler Wert für die Solareinstrahlung pro m² Gebäudegrundfläche angenommen. Bei dieser Methode kann lediglich die Dachgesamtfläche einer Gemeinde betrachtet werden und keine Einzeldächer. Die **Methodik gebäudescharfer Abgrenzung**, basierend auf Luftbildern, Bebauungsplänen und statistischen Strahlungswerten, ist zeitaufwendiger, liefert jedoch genauere Resultate. In der *Externen Linkliste* finden sich zahlreiche Literaturhinweise auf bundesweite Solardaten sowie Atlanten auf Länderebene (Externe Linkliste, 2015).

Methodische Herausforderungen

Die solare Einstrahlung ist für jede Masterplan-Kommune sehr spezifisch, da

- sie räumlich und zeitlich stark variiert
- Verschattung durch topografische Hindernisse auftritt und
- sie von der Verfügbarkeit von Dachflächen und deren Neigungswinkel abhängt

Vor allem bei Flachdächern verringern Aufständigung und Verschattung die verfügbare Fläche. Ein steilerer oder weniger steiler Winkel der Kollektorflächen kann zur Optimierung des Ertrags der Solarthermie gewählt werden, abhängig davon, ob diese zur Heizunterstützung oder zur Trinkwassererwärmung eingesetzt wird (solaranlagen-portal, 2015).

Da Photovoltaik und solarthermische Kollektoren um dieselben Dachflächen konkurrieren, muss je nach Versorgungsoption die Priorisierung oder Zuteilung der Potenziale zu den beiden Technologien abgewägt werden.

Das linke Bild in Abb. 9-1 zeigt das 30-jährige Mittel der Jahressummen der Globalstrahlung in Deutschland. Hieraus wird ersichtlich, dass die Globalstrahlung vor allem südlich des Mains und im Osten Deutschlands Werte von über 1.000 kWh/m² erreicht, wogegen die Jahressummen Richtung Norden und Nordwesten geringer werden.

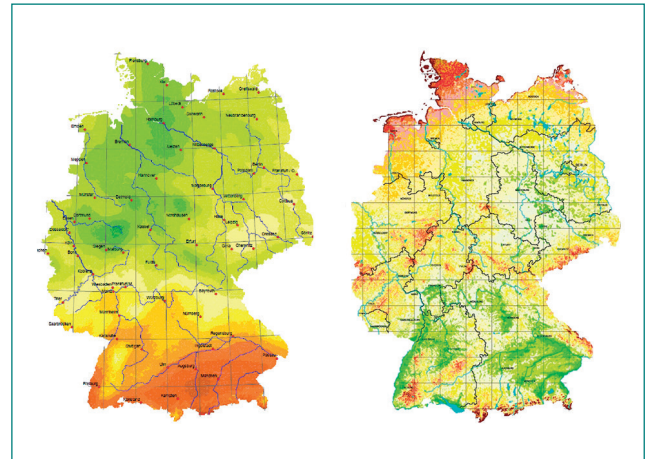


Abbildung 9-1: Vergleich der Potenziale für die Globalstrahlung (links) und für den Wind (rechts), hier das Jahresmittel 1981-2000 (80 m über Grund) (DWD, 2015a und 2015b)

Die beiden Karten verdeutlichen, dass sich die unterschiedlichen Potenziale von Wind und Solarstrahlung in Deutschland teilweise ergänzen. Für eine postfossile Energieversorgung ist eine hohe Ausnutzung der kommunalen Potenziale notwendig. Neben der direkten Deckung kommunaler Energiebedarfe ist auch ein überregionaler Ausgleich aufgrund der Unterschiede der verfügbaren Potenziale als auch der strukturell bedingt sehr unterschiedlichen Energiebedarfe erforderlich.

9.2 Windkraft

Die Windenergie (Windkraft) ist eine nachhaltige, erneuerbare Form von Energie, die nahezu weltweit verfügbar ist, wenn auch mit großen regionalen und zeitlichen Unterschieden (Emeis, 2013). Die Verfügbarkeit des Windes zur Stromerzeugung variiert häufig über kurze Distanzen und ist stark von der umgebenden Topografie und regionalklimatischen Gegebenheiten abhängig. In Deutschland steigt die mittlere Windgeschwindigkeit und somit das Potenzial mit Annäherung zu den Küsten sowie mit zunehmender Höhe wie z. B. auf den Mittelgebirgen (DWD, 2015b). Darüber hinaus spielen zeitliche Schwankungen eine wichtige Rolle. Vor der Errichtung der Windkraftanlagen sollte ermittelt werden, ob im Jahresverlauf eine starke Fluktuation des Windes vorherrscht oder ob man mit gleichmäßiger Auslastung der Windkraftanlagen rechnen kann. Sollte an einem Standort zwar schwacher, aber stetiger Wind vorherrschen, so kann man diesem Problem aus technischer Sicht mit einer Schwachwindanlage begegnen.

Windkraftanlagen sind in Deutschland eine weit verbreitete Technologie, sie bergen allerdings auch ein erhöhtes Konfliktpotenzial mit der Bevölkerung und dem Naturschutz (s. Infobox Konfliktpotenzial Windenergie).

Konfliktpotenzial Windenergie

Grundsätzlich sind Windkraftanlagen nach Bundes-Immissionsschutzgesetz im Außenbereich bevorrechtigt und müssen bei Einhaltung von Abstandsregelungen und naturschutzrechtlicher Belange behördlich genehmigt werden. Regionalplanungen der Bundesländer schränken dies unter Umständen ein.

Naturschutzrechtliche Belange: Vor allem der Schutz von Vögeln und Fledermäusen muss beachtet werden. Mindestentfernungen zu dauerhaften Brut-, Jagd- und Paarungsarealen geschützter Arten, wie z. B. von Rotmilan, Seeadler und Schwarzstorch, müssen eingehalten werden. Ebenso müssen Wanderrouten berücksichtigt werden.

Standort von Windkraftanlagen: Die Bewohner befürchten häufig einen Wertverlust ihrer Immobilien z. B. durch sogenannte Diskoeffekte bei flachstehender Sonne oder eine Gesundheitsgefährdung durch (Infra-)Schall.

Veränderung des Landschaftsbildes: Die Änderung des gewohnten Landschaftsbildes stellt häufig eine Hürde beim Bau von Windkraftanlagen dar. Hierdurch wird auch ein Rückgang des regionalen Tourismus befürchtet.

Methoden zur Potenzialbestimmung

Die Errichtung einzelner Windkraftanlagen oder Windparks ist jedoch von mehr Faktoren abhängig als von Windpotenzial bzw. Windhöflichkeit eines Standortes.

Das sogenannte Flächenpotenzial, welches anhand von bundeslandspezifischen Kriterienkatalogen ermittelt werden kann, zeigt auf, welche Flächen theoretisch zur Errichtung von Windkraftanlagen zur Verfügung stehen. Innerhalb des Kriterienkataloges tauchen beispielsweise Mindestabstände zu Wohnsiedlungen auf, welche nicht in allen

Bundesländern gleich geregelt sind, sondern in vielen Fällen nur als Abstandsempfehlungen mit einer Bandbreite von 500–1.000 m vorgeschlagen werden (Hausladen et al., 2011). Als Grundlage für das immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen gilt jedoch bundesweit das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchuG).

Zusätzlich sind Anschlussmöglichkeiten an bestehende Stromnetze und Anfahrtswege zu den Anlagestandorten wichtig. Eine allgemein valide Studie über das bundesweite Flächen- und Leistungspotenzial der Windenergienutzung an Land wurde 2013 vom Umweltbundesamt veröffentlicht (Lütthekus et al., 2013).

Zur Ermittlung der Windhöflichkeit bieten einige Bundesländer GIS-basierte Onlineplattformen mit räumlich hochaufgelösten Windkarten an. Ein Beispiel ist der *Potentialatlas Erneuerbare Energien* der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, der neben einer Potenzialanalyse auch eine Analyse der Flächeneignung der jeweiligen Region zulässt (Potentialatlas in LUBW, 2015). Während der Planungsphase müssen alle Faktoren sorgfältig (oft durch Gutachten) geprüft werden. Die Erträge von Windkraftanlagen unterscheiden sich regional sehr stark und sind, neben der Bauart der einzelnen Anlagen, vom Wind am jeweiligen Standort abhängig. Im Jahresmittel reicht die Bandbreite der Windgeschwindigkeit in 80 m über Grund innerhalb Deutschlands von unter 4 m/s in den Flussniederungen Süddeutschlands bis zu etwa 8 m/s an der Nordseeküste (DWD, 2015b). Weitere Quellen zu Flächen- und Ertragsermittlung, Windatlanten und Bestandsdaten auf Bundes- und Länderebene sind in der *Externen Linkliste* aufgeführt (Externe Linkliste, 2015).

9.3 Geothermie

Bei der Nutzung von Geothermie (Erdwärme) wird zwischen oberflächennaher (<100 m) und tiefer Geothermie unterschieden.

Tiefe Geothermie erzeugt Wärme auf höherem Temperaturniveau zur Nutzung als Nahwärmequelle oder zur Stromerzeugung, beide Nutzungsarten ermöglichen wertvolle nichtfluktuierende Energiebereitstellung. Nutzungsoptionen tiefer Geothermie sind in Deutschland auf drei geologische Potenzialgebiete beschränkt, zur Bestimmung von Potenzial und erreichbarem Temperaturniveau müssen Experten hinzugezogen werden. Kommunen in geologischen

Potenzialgebieten können die verfügbaren Potenziale mithilfe geologischer Expertise ermitteln und ggf. in den Masterplan einbinden. Erste Potenzialabschätzungen sind über das geothermische Informationssystem für Deutschland (Geotis, 2015) abrufbar.

Im vorliegenden Handbuch wird im Weiteren nur die Nutzung oberflächennaher Geothermie über Erdsonden in Verbindung mit Wärmepumpen berücksichtigt. Im Gegensatz zu Erdwärmekollektoren (horizontale Flachkollektoren, 1–2 m tief) und Geothermie, die Grundwasser (-brunnen) nutzt, ermöglichen Erdsonden (mit vertikalen Rohrsystemen) die Nutzung von Erdwärme für die Mehrzahl der Gebäude unabhängig von der pro Gebäude verfügbaren freien Fläche und besonderen hydrogeologischen Voraussetzungen. Die Potenziale von Erdwärme für die Konzeptentwicklung einer ganzen Kommune lassen sich daher für diese Nutzungsoption mit vergleichsweise geringen Unsicherheiten abschätzen. Im Einzelfall kann eine Wärmepumpe alternativ mit einem Erdwärmekollektor oder einem Grundwasserbrunnen gekoppelt werden.

**A
K
Z
E
P
T
A
N
Z** | Oberflächennahe Geothermie ist in Verbindung mit einer Wärmepumpe zur Versorgung von Heizung und Warmwasser für energetisch sanierte Gebäude (Eignung für Niedertemperatur-Heizsysteme) nutzbar. Die Erdsondenbohrungen erfolgen dazu in einer Tiefe von bis zu 100 m. Bis zu dieser Tiefe ist in der Regel nur eine Anzeige bei der zuständigen Wasserbehörde erforderlich, tiefere Bohrungen fallen dagegen unter das deutlich anspruchsvollere Bergrecht.

Methoden zur Potenzialbestimmung

Für die Abschätzung des Erdwärmepotenzials in einer Kommune sind die für Erdwärmesonden zulässigen Gebiete und Angaben zur dort möglichen Wärmeentzugsleistung zu ermitteln. Auf dieser Basis können Anzahl und Tiefe der notwendigen Erdsonden für die Bereitstellung der Heiz- und Warmwasserbedarfe überschlägig berechnet werden (Berechnungsansatz bei Schlabbach et al., 2012, S. 141; Faustzahlen für Wärmeerträge bei Hausladen et al., 2011).

Informationen zur Bandbreite möglicher Wärmeentzugsleistungen können geologischen oder hydrogeologischen Karten entnommen werden. Angaben zu den Grundwasserverhältnissen sind bei den zuständigen Wasserwirtschaftsämtern erhältlich.

Informationsquellen zu geothermischen Wärmeentzugsleistungen gibt es für 15 Bundesländer im Portal Geothermie der Staatlichen Geologischen Dienste (Geothermieportal, 2015). Für das Saarland gibt der *Leitfaden Erdwärme* (Naumann et al., 2008) in einer Karte übersichtsweise die unzulässigen, zulässigen und günstigen Gebiete an.

9.4 Wasserkraft

Wasserkraft ermöglicht erneuerbare Stromerzeugung mit hohen jährlichen Volllaststunden bei vergleichsweise geringen Fluktuationen. Die Wasserkraftpotenziale in Deutschland sind bereits weitgehend erschlossen. Für die Masterplan-Konzepte ist die Berücksichtigung bestehender Anlagen neben der Potenzialermittlung wesentlich.

Informationsbedarf über Bestandsanlagen besteht bei

- Anlagenleistung
- jährlich durchschnittlich erzeugter Strommenge
- Betriebscharakteristik (Laufwasserkraft, Speicherkraft, Pumpspeicher)
- ggf. Alter und Modernisierungsbedarf (Zubaupotenzial)

Informationsquellen für den aktuellen Anlagenbestand sind

- Verteilnetzbetreiber
- regionale Transportnetzbetreiber (bei Anschluss auf Mittelspannungsebene)
- Übertragungsnetzbetreiber für EEG-vergütete Anlagen¹²
- Literaturquellen und Online-Datenbanken der Bundesländer (Keuneke, 2015, S. 47 ff.)
- die Kraftwerksbetreiber; ggf. sind Informationen über beantragte Neu- oder Ausbautvorhaben/ Potenzialerhebungen bei den für Genehmigungspflicht zuständigen Landes- oder Kreisbehörden zu erfragen. Diese sind in BW, BB, HB, HH, HE, MV, NI, NRW, RP, SL, SN, ST, SH, TH Wasserbehörden, in BY Kreisverwaltungsbehörden/ Landratsamt, in BE¹³ Senatsverwaltungen

Zusätzliche Wasserkraftpotenziale sind grundsätzlich durch folgende Maßnahmen erschließbar (EON et al., 2009):

¹² TransnetBW, 2015; 50Hertz, 2015; Tennet, 2015; Amprion, 2015

¹³ BW Baden-Württemberg, BY Bayern, BE Berlin, BB Brandenburg, HB Bremen, HH Hamburg, HE Hessen, MV Mecklenburg-Vorpommern, NI Niedersachsen, NW Nordrhein-Westfalen, RP Rheinland-Pfalz, SL Saarland, SN Sachsen, ST Sachsen-Anhalt, SH Schleswig-Holstein, TH Thüringen

- Neubau an neuen Standorten
- Neubau an bestehenden Querbauwerken in Fließgewässern
- Ausbau an bestehenden Anlagen
- Modernisierung: Maßnahmen zur Erhöhung der Ausbauleistung/Jahresarbeit in Betrieb befindlicher Anlagen ohne Änderung des Nutzungsumfanges
- Nachrüstung: Erweiterung bestehender Anlagen zur Erhöhung der Ausbauleistung/Jahresarbeit durch Vergrößerung des Nutzungsumfanges
- Reaktivierung: Maßnahmen zur Wiederinbetriebnahme stillgelegter Anlagen

- Abfälle: Biomüll, Altholz, Klärschlamm, Landschaftspflegematerial
- Reststoffe aus Landwirtschaft (Exkremete, Erntereste), Industrie und Gewerbe
- Energieholz: Durchforstungsholz, Schlagabraum, Brennholz
- Energiepflanzen (Mais, Raps, Getreide, Zwischenfrüchte, Kurzumtriebsplantagen etc.)

Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe bietet weitreichende Informationen zur Nutzung von Bioenergie (FNR, 2014a), auch auf ihrem Bioenergieportal (FNR, 2015a).

Nutzungskonkurrenzen

Die Hauptnutzungen der Biomasse – Ernährung, Fütterung sowie stoffliche Nutzung (z. B. für Möbel, Industrierohstoffe und Fasern) – schränken die Verfügbarkeit der Bioenergie ein. Eine nachhaltige energetische Nutzung der Biomasse muss zudem Anforderungen aus Natur- und Umweltschutz erfüllen. Diese begrenzen die mögliche Biomassenutzung z. B. in Naturschutzgebieten oder zur Sicherung des Nährstoffkreislaufs durch einen Verbleib von Biomasse im Wald oder auf dem Feld.

Aus Gründen der Nachhaltigkeit ist eine Kaskadennutzung der Biomasse vorzuziehen: Holz kann zunächst als Baustoff genutzt, anschließend recycelt und erst abschließend als Altholz energetisch genutzt werden. Entlang der Nutzungskaskade aufsteigend sollten zunächst Abfälle vor Reststoffen, vor Energiepflanzen genutzt werden.

Die räumliche Zuordnung der Biomasse ist zwar flexibel, weswegen bei unzureichender Versorgung auch ein Import von Biomasse z. B. aus der Nachbarregion angebracht sein kann (z. B. Waldholz, Hackschnitzel oder Biotreibstoff). Umgekehrt stehen lokale Biomassepotenziale der Kommune nicht immer vollständig zur Verfügung. Allein bei Abfall- und Reststoffen (mit geringer Energiedichte und Transportwürdigkeit) ist eine lokale Nutzung zwingend, wenngleich technisch oft aufwendig.

Insgesamt stehen in Deutschland künftig etwa 1.500–1.800 PJ Primärenergie (10–20 % des Bedarfs) aus Biomasse zur Verfügung, davon 700–900 PJ aus Abfällen und Reststoffen (Nitsch et

Das bundesdeutsche Zubaupotenzial wird in einer Marktanalyse des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie mit 3–4 TWh (aktuelle durchschnittliche Jahresstromerzeugung rund 21 TWh) ermittelt. Über 50 % davon liegen im Erneuerungs- und Modernisierungspotenzial von Wasserkraftanlagen > 1 MW an großen Flüssen (Inn, Rhein, Donau, Isar, Lech, Mosel, Main, Neckar, Iller) (Keuneke, 2015). Neue Wasserkraftanlagen können vor allem an kleineren Fließgewässern zugebaut werden. In der Analyse von R. Keuneke wird das technisch-ökologisch-ökonomische Zubaupotenzial an diesen Gewässern mit 0,6 TWh angegeben (Keuneke, 2015). Ob der Ausbau von Kleinwasserkraftanlagen im Gesamtsystem als naturschutzförderlich oder naturbelastend zu sehen ist, ist umstritten, detaillierte Angaben zu den unterschiedlichen Positionen und Best-Practice-Beispiele als hilfreiche Unterstützung für Kleinwasserkraftwerks-Neubauten sind in *Lebendige Flüsse und Kleine Wasserkraft* (Grünert et al., 2006) nachzulesen.

Methoden zur Potenzialbestimmung

In der Analyse von R. Keuneke sind in Tabelle 21 Literaturquellen und Online-Datenbanken aller bundeslandspezifischen Potenzialuntersuchungen aufgeführt (Keuneke, 2015, S. 47 ff.). Mithilfe dieser Quellen können Kommunen in Erfahrung bringen, wo der Ausbau von Wasserkraftnutzung in ihrem Gebiet möglich ist.

9.5 Biomasse

Biomasse als speicher- und transportierbare erneuerbare Energieressource für Strom, Wärme und Verkehr ist eine flexible und damit wertvolle Stütze eines erneuerbaren Energiesystems. Die große Bandbreite der energetisch nutzbaren Biomassefraktionen wird gewöhnlich unterschieden in

al., 2012; Brosowski et al., 2015). Rund zwei Drittel werden heute bereits genutzt.

Methoden zur Potenzialbestimmung

Viele Bundesländer bieten räumlich aufgelöste Daten zu lokalen Biomassepotenzialen. Diese Biomassepotenzial-Atlanten sind in der *Externen Linkliste* aufgeführt (Externe Linkliste, 2015). Das Deutsche Biomasseforschungszentrum bereitet derzeit hochaufgelöste Biomassepotenziale für Bioenergieregionen auf (DBFZ, 2015). Zahlreiche land- und forstwirtschaftliche Informationen für die Potenzialermittlung, wie Erträge und Faustzahlen und aktuelle Biomassenutzung, finden sich im Bioenergieportal (FNR, 2015a), beim Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL, 2015) und in der regionalisierten Agrarstatistik (Agrarstatistik NRW, 2015). Einen Überblick über den möglichen Einsatz der Bioenergie gibt Kapitel 13. Die folgenden Faustzahlen stellen grobe Schätzwerte zur überschlägigen Einschätzung der Potenziale dar, da die Bandbreite möglicher Biomasseerträge sehr hoch ist (Tabelle 9-1).

Reststoffe

Das ungenutzte Reststoffpotenzial entfällt zu 95 % (Brosowski et al., 2015) auf

- Waldrestholz
- Getreidestroh
- tierische Exkrememente
- zusätzlich lokal Landschaftspflegeholz und -grünschnitt

Bei der Nutzung von **Energieholz** ist eine Kaskadennutzung bereits heute möglich und daher vorrangig. Als direktes energetisches Potenzial wurde z. B. für Bayern ein jährliches Aufkommen bis zu 1.500 kg/ha aus zwei Bereichen ermittelt (TFZ, 2015)

- Schlagabraum, abhängig von der jährlichen Stammholzernte Durchforstungsholz, abhängig von der kommunalen Forstfläche bzw. deren jährlichem Holzzuwachs

I Potenzialabschläge entstehen durch Naturschutzauflagen, die die Forstbewirtschaftung beschränken. Zudem muss die Besitzstruktur der Kommune berücksichtigt werden, da die Mobilisierung des Potenzials im Klein-Privatwald grundsätzlich

schwieriger ist. Die Kommune kann jedoch Privatwaldbesitzer z. B. zu einer verstärkten Durchforstung aktivieren.

Im Getreidebau entstehen **Strohpotenziale** von ca. 1 t Stroh pro t Getreide. Berücksichtigt man den Strohbedarf für Einstreu und Humusbildung, sind etwa 20–30 % des geernteten Strohs energetisch nutzbar (Fritsche et al., 2004).

Tierische Exkrememente wie Gülle und Mist können in Biogasanlagen vergoren werden. Positive Nebeneffekte sind die Vermeidung von Methanemissionen und eine Verbesserung des Düngewerts. Für das Biomassepotenzial entscheidend sind die lokalen Viehbestände, wobei jeweils Mindestgrößen des einzelnen Bestands erreicht werden müssen, damit eine Verwertung sinnvoll ist. Zu beachten ist, dass sich die landwirtschaftliche Produktionsstruktur künftig ändern kann und damit auch der Anfall von Reststoffen und Exkrementen.

Landschaftspflegematerial umfasst lokal sehr unterschiedliche Biomassen vom Baumschnitt über Landschaftspflegeheu bis zu Straßenbegleitgrün. Die Verfügbarkeit dieser Reste hängt stark von lokalen zu pflegenden Flächen und Naturschutzzielen ab. Da die Kommune für die Landschaftspflege zuständig ist, kann sie diese unmittelbar für die Umsetzung des Masterplans nutzen. Hier ist zu prüfen, ob eine energetische Verwertung durch Vergären oder Verbrennen die bisherige Verwertung, z. B. Kompostierung, ersetzen kann.

Energiepflanzenanbau

Nahrungs- und Futtermittelanbau begrenzen die Flächen für Energiepflanzenanbau auf 12–20 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche (Nitsch et al., 2012). Auf diesen Flächen werden derzeit vorwiegend Mais (zur Erzeugung von Biogas) und Raps (zur Biokraftstofferzeugung) angebaut. Im Mittel kann eine Kommune über einen ähnlichen Anteil ihrer Acker- und Grünlandflächen zum Energiepflanzenanbau verfügen. Aktuelle (Energie-) Kulturen können künftig durch energetisch oder ökologisch attraktivere ersetzt werden.

Bei Energiekulturen wie Getreide und Raps mit hoher Energiedichte und Transportwürdigkeit sind Im- und Exporte aus der Region zu berücksichtigen. Diese werden weitgehend durch die landwirtschaftlichen Märkte bzw. Preise bestimmt, auf welche die Kommune kaum Einfluss hat.

Tabelle 9-1: Überblick über wichtige Faustzahlen der oben beschriebenen Potenziale (Fritsch et al., 2004; DESTATIS, 2015; FNR, 2014a; TFZ, 2015)

	JÄHRLICHE DURCHSCHNITTS-ERTRÄGE	EINHEIT
Energiepflanzen		
Raps	3,5-4,5	t/ha
Silomais	13,5-16,5	t/ha TS*
Getreide	7,0-8,0	t/ha
Kurzumtriebsplantagen	10,0-15,0	t/ha
Tierische Exkrememente		
Rindergülle	17	m ³ /Tierplatz
Schweinegülle	1,6	m ³ /Tierplatz
Hühnermist	0,02	m ³ /Tierplatz
Reststoffe		
Getreidestroh	1,2-2	t/ha
Durchforstungsholz	0,5-0,8	t/ha lutro*
Schlagabraum	0,4-0,8	t/ha lutro*

*Trockensubstanz (TS)

*lufttrocken (lutro)

Bereits genutzte Potenziale können für die kommunalen Masterpläne langfristig in andere Nutzungen umgeleitet werden, insbesondere wenn die Potenziale in kommunaler Hand liegen, etwa bei Landschaftspflege oder Abfallverwertung. Zu ermitteln ist daher parallel die aktuelle lokale Biomassenutzung in und der Anlagenbestand von

- Biogasanlagen
- Hackschnitzel- (Heiz-) Kraftwerken
- Müll-/Klärschlammverbrennungs- und Vergärungsanlagen
- Anlagen, die Pflanzenöl nutzen<<<<<<<y

Für die langfristigen Masterpläne ist eine optimierte Nutzung bereits erschlossener Reststoff- und Abfallpotenziale entlang der Nutzungskaskade anzustreben (Dehoust et al., 2014), etwa von der Kompostierung hin zur Vergärung (s. auch Kapitel 13). Hier kann die Masterplan-Kommune bei eigenen Anlagen unmittelbar ansetzen, etwa bei gering ausgelasteten Faultürmen in Kläranlagen zur zusätzlichen Biogaserzeugung.

Darüber hinaus ist ein Überblick über Ex- und Importe der Region wichtig, der sich mittel- bis langfristig ändern kann.

- Festbrennstoffe
- Biogassubstrate und
- Energiepflanzen

S U F F I Z I E N Z
müssen langfristig überregional optimiert eingesetzt werden, um ein gemeinsames Klimaschutzziel zu erreichen. Potenziale lokal gebundener erneuerbarer Energien sind dann vorrangig auszuschöpfen, um Exporte in Regionen mit geringem Biomassepotenzial zu ermöglichen. Ein Abgleich der kommunalen Pro-Kopf-Potenziale mit dem Bundesdurchschnitt von 18–22 GJ/(Kopf×a) liefert einen Hinweis, ob künftig Biomasse in andere Regionen abfließen sollte.

Was liegt am Ende dieses Arbeitsschrittes vor?

Überblick über die aktuelle Flächennutzung

Abschätzung der künftigen Potenziale folgender erneuerbarer Energien

- ✓ Solarthermie und Photovoltaik: geeignete Dachflächen, optimale Neigungswinkel
- ✓ Windkraft: Windhöffigkeit des Standortes, Flächenpotenzial
- ✓ Geothermie: zulässige Gebiete für Erdsonden, erlaubte Wärmeentzugsleistung, ggf. vorhandenes Tiefengeothermie-Potenzial
- ✓ Wasserkraft: Anlagenbestand, Ausbau-/Nachrüstungspotenzial, Standorte für Anlagenneubau
- ✓ Biomasse: aktuelle Biomassenutzung mit Anlagenbestand, Abfall- und Reststoffpotenziale, landwirtschaftliche Nutzfläche, energetisch nutzbares Waldholz

Dokumentation im Masterplan für Schritt 3:

- ✓ Ermittlung künftiger Potenziale erneuerbarer Energien nach Technologien
- ✓ Bestimmung des Anlagenbestands mit aktueller Potenzialauslastung

10 Masterplan-Schritte 4 und 5: Heutige und zukünftige Energiebedarfe von Haushalten

10.1 Masterplan-Schritt 4: Strombedarf privater Haushalte

Was ist in Schritt 4 der Masterplan-Entwicklung zu tun?

Ziel dieses Schrittes ist die Erfassung gegenwärtiger und Ermittlung zukünftiger Energiebedarfe **privater Haushalte** an **Strom** als Basisinformation für die im Masterplan festzulegenden zukünftigen Energieversorgungswege.

Der Haushaltsstrombedarf ist für die Untersuchungen in Masterplan-Kommunen nicht nur wegen seines großen Anteils von durchschnittlich ca. 25 %¹⁴ am gesamten Stromverbrauch wichtig. Insbesondere bei Haushaltsgeräten vollzieht sich durch zunehmende Digitalisierung, Bündelung von Funktionen in einzelnen Geräten sowie durch steigendes Energieeffizienzbewusstsein der Bewohner ein Wandel, der einen beträchtlichen Einfluss auf das zukünftige Energiesystem haben kann. In den beispielhaft für Rheine entwickelten Zielvisionen wurden erhebliche technische Einsparpotenziale ermittelt. Zu berücksichtigen ist jedoch auch, dass technische Einsparungen in der Realität durch Rebound-Effekte z. T. wieder kompensiert oder überkompensiert werden können.

Maßgeblich für zukünftige Energieeinsparungen ist sowohl die demografische Entwicklung als auch das Konsumentenverhalten bei der Ausstattung mit Haushaltsgeräten (vgl. Tab. 10-1) und das Energieeinsparverhalten in der täglichen Stromnutzung. Einfluss auf den Bedarf und dessen Flexibilisierungspotenzial können kommunale Stakeholder und weitere Akteure insbesondere durch das Technologieangebot (energieeffiziente Geräte) sowie durch Integration in Demand-Side-Management-Systeme und -Geschäftsmodelle (DSM/Smart Grid-Technologien) ausüben.

Neben der Senkung des Energiebedarfs durch hoch-effiziente Geräte spielt auch die Flexibilisierung, also die zeitliche Verschiebung der Nachfrage, eine immer größere Rolle. Zur Erfassung der Einspar- und Flexibilisierungspotenziale ist eine genaue Kenntnis der Verbraucherstruktur wichtig.

Im Folgenden wird einerseits dargelegt, wie der

derzeitige Strombedarf einzelner Gebrauchsgüter auf kommunaler Ebene berechnet werden kann, andererseits werden Methoden zur Fortschreibung der Energieverbräuche unter Annahme von technologischen und demografischen Entwicklungen sowie in Abhängigkeit von zukünftigem Konsumentenverhalten aufgezeigt.

10.1.1 Bestimmung des Ist-Zustandes

Methodik: Bottom-up-Berechnung des Bestandes an Gebrauchsgütern sowie dessen Strombedarf unter Zuhilfenahme demografischer Daten des Untersuchungsgebietes.

Um den Strombedarf von Haushalten in einem Untersuchungsgebiet zu ermitteln, können Daten über die Anzahl der Haushalte sowie deren durchschnittliche Größe herangezogen werden (vgl. Kapitel 8). Sollten keine Daten auf Ebene der Masterplan-Kommune verfügbar sein, kann auf regionenübergreifende Daten zurückgegriffen werden (für Nordrhein Westfalen z. B. Chicolos et al., 2012). Optional sind auf regionaler Basis auch georeferenzierte Daten (Basis DLM, ein für viele Regionen abrufbarer Datensatz mit Informationen z. B. zum Gebäudebestand, LGV, 2015) verfügbar, aus denen ein Teil der Daten gewonnen werden kann.

Der Strombedarf der Durchschnittshaushalte kann durch folgende Bottom-up-Methode ermittelt werden: Unter Zuhilfenahme von Daten zu Ausstattungsraten von Haushalten mit Gebrauchsgütern (NRW – IT.NRW, 2009; Deutschland – Destatis, 2015) kann die Anzahl unterschiedlicher Haushaltsgeräte im Untersuchungsgebiet abgeschätzt werden.

¹⁴ In Deutschland (AGEB, 2014)

Spezifische Energieverbräuche von Haushaltsgeräten und deren Einsparpotenzial sind in zahlreichen Studien untersucht worden (Michael, 2012; Küster, 2011; Bürger, 2009). Insbesondere Informationen zum spezifischen jährlichen Verbrauch energieeffizienter Geräte können sehr aktuell auf speziellen Online-Plattformen (ETT, 2015) eingeholt werden. Zur Bestimmung des Ist-Zustandes muss eine Verteilung von Geräten unterschiedlicher Altersklassen mit den entsprechenden Energieverbräuchen zugrunde gelegt werden. Der Gesamtbestand einer Gerätegruppe wird also auf diese zuvor definierten Altersklassen (z. B. 50 % Neugeräte und 50 % Altgeräte) mit den jeweils gewählten Anteilen aufgeteilt, um den aktuellen Bestand abzubilden. Je feiner die Verteilung auf unterschiedliche Altersklassen vorgenommen wird, desto höher kann die Auflösung in der Entwicklung der zeitlichen Fortschreibung ausfallen. Sollen die zu entwickelnden Szenarienpfade etwa in fünf oder zehn Jahresschritten abgebildet werden, sollte eine Verteilung auf mindestens zwei bis drei Altersklassen durchgeführt werden.

Eine beispielhafte Rechnung: Für eine bestimmte Gerätegruppe (z. B. Kühlgeräte) in einer spezifischen

Altersklasse (z. B. 5 bis 10 Jahre) wird über den Anteil, den diese Geräte am Gesamtbestand haben, der jährliche Strombedarf (in kWh/a) berechnet. Als Einflussgrößen werden hinzugezogen: der spezifische Energieverbrauch, die Ausstattungsrate und die Anzahl der Haushalte in der Kommune. Der Gesamtstrombedarf kann anschließend durch die Summe der Verbräuche aller Gerätegruppen und Altersklassen berechnet werden.

Die gerätescharfe Abbildung ist aufgrund der unterschiedlichen Datenlage in verfügbaren Studien schwierig. Eine Zusammenfassung zu Gerätegruppen ist daher ratsam. Generell gilt, dass zur weiteren Verarbeitung eine möglichst hohe Auflösung beibehalten werden sollte. In Tabelle 10-1 ist beispielhaft eine Kategorisierung von Haushaltsgeräten dargestellt. Der Stromverbrauch zum Betrieb von Heizungs- und Klimaanlage (Steuerung, Pumpen) ist dem Sektor der Wärmeversorgung als Hilfsenergie zuzurechnen und hier nicht mit aufgeführt. Ebenso ist der Strombedarf von Elektroheizungen und Wärmepumpen im Wärmebereich abgebildet.

Tabelle 10-1: Beispiel Kategorisierung von Haushaltsgeräten

GERÄTEKATEGORISIERUNG		
A	Kühlen und Gefrieren	Kühlgeräte, Kühl- Gefrier- Kombination, Gefriergeräte
B	Waschen Spülen Trocknen	Waschmaschine, Spülmaschine, Trockner, Waschtrockner
C	Kochen und Backen	Elektroherd, Backofen
D	IKT Nutzgeräte	Computer, Desktop, Monitor LCD, Monitor CRT, Computer mobil (inkl. Tablet), Mobiltelefon/Smartphones, Schnurlos-Telefon
E	IKT Homeserver	Homeserver (inkl. PC), VHS Player/Recorder, DVD-/BluRay-/HDD-Player bzw. -Recorder, Game-Konsolen, Router
F	IKT Peripheriegeräte	Inkjet-Drucker/Multifunktionsdrucker/Scanner, Fax
G	Kleingeräte	Digitalkamera, Camcorder, Dunstabzugshaube, Mikrowelle, Toaster, Kaffeemaschine, Bügeleisen, Staubsauger, Fön, HiFi/Audioausgabe/Boxen/Verstärker, Radio/Tape/CD
H	TV	TV S (19" -26"), M (27"- 39"), L (40"- 49"), XL (50"-65"), Beamer
I	Beleuchtung	Leuchtmittel unterschiedlicher Art
K	Wasserversorgung	Trinkwasser-Zirkulationspumpe
L	Sonstige	Weitere sonst. Verbraucher (Aufzüge, Jalousien, Alarmanlagen ...)

10.1.2 Entwicklung der zeitlichen Fortschreibung

S
U
F
F
I
Z
I
E
N
Z

Methodik: Grundsätzlich beruht die Entwicklung der Szenariopfade auf der zeitlichen Fortschreibung des Gerätebestandes in die Zukunft unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Lebensdauer und der Effizienzsteigerungen je Erneuerung für jede der Geräteklassen. Darüber hinaus gehen technologische Trends, insbesondere bei elektronischen Gütern, in Form von dynamischen Ausstattungsraten in die Fortschreibung ein. Eine rein technische Analyse führt stets zu Effizienzsteigerungen der betrachteten Geräte durch deren Weiterentwicklung. In der Realität zeigt sich jedoch oft, dass der Einsatz besonders sparsamer Technologien zu sogenannten Rebound-Effekten führen kann, welche in einer stärkeren Nutzung der Gebrauchsgüter resultieren und dadurch die Energieeinsparungen kompensieren oder sogar überkompensieren können (Sonnberger, 2014). Andererseits kann suffizientes Verhalten zu einer verminderten Anwendung energieintensiver Geräte führen. Dies kann nicht durch die Berechnung technischer Effizienzsteigerungen abgebildet werden, sondern schlägt sich in den Ausstattungsdaten bzw. im spezifischen Strombedarf nieder.

Für viele Haushaltsgeräte sind typische Erneuerungszyklen bekannt (Schmalwasser et al., 2011). Je nach Datenverfügbarkeit muss für jede der Gerätegruppen eine mittlere Lebensdauer berechnet werden. Bei Geräten mit unterschiedlicher Lebensdauer innerhalb einer Gerätegruppe sollte z. B. ein mit dem jeweiligen Energieverbrauch der Einzelgeräte gewichteter Mittelwert verwendet werden.

Die Effizienzsteigerungen bei einer Erneuerung der Geräte hängen stark von dem Effizienzpotenzial der jeweiligen Geräte ab. Für Kleingeräte sowie Haushaltselektronik ist das Potenzial begrenzt und kann z. B. durch Expertenschätzungen quantifiziert werden. Großgeräte (Weißware, Staubsauger, TV) hingegen sind bereits heute mit Energielabeln ausgestattet. Aus den zugehörigen Verordnungen ist zu entnehmen, welche Einsparung notwendig ist, um die jeweils nächsthöhere Energieeffizienzklasse zu erreichen.

Unter der Annahme, dass die durchschnittliche am Markt befindliche Technologie pro Lebenszyklus z. B. um eine Effizienzklasse verbessert wird, kann der Energieverbrauch zur Entwicklung der Szenariopfade fortgeschrieben werden.

S
A
U
K
F
E
P
I
T
A
I
E
N
Z

Um das Konsumverhalten der Verbraucher entsprechend den Zielvisionen zu berücksichtigen, muss definiert werden, welcher Anteil an Neuanschaffungen auf Effizienztechnologie (die sogenannten best available technologies, BAT, also Technologien mit dem bestmöglichen Effizienzstandard) entfällt und welcher Anteil an durchschnittlicher, zum jeweiligen Stützjahr marktüblicher Technologie angeschafft wird. Das Konsumverhalten hat auf die Effizienzsteigerung entscheidenden Einfluss und sollte daher unbedingt Bestandteil der Entwicklung und Definition der Masterplan-Leitplanken sein (vgl. Kapitel 2.1).

Nicht nur der Anteil an Effizienzgeräten unter den Neuanschaffungen kann sich in Abhängigkeit des Konsumverhaltens ändern. Auch die vorhandene Anzahl und Nutzungsintensität insbesondere energieintensiver Gebrauchsgüter hängt stark vom unterstellten Bewusstsein für Energieeffizienz der Verbraucher ab. So ist z. B. anzunehmen, dass die Ausstattungsrate von elektrischen Wäschetrocknern in einem Zielszenario niedriger wird, je mehr den Konsumenten ein suffizientes Verhalten zugesprochen wird. In *Politikszenerarien für den Klimaschutz* ist beispielhaft eine Fortschreibung dieser Ausstattungsdaten bis in das Jahr 2030 vorgenommen worden (Matthes et al., 2009).

Sind die Annahmen für Effizienzsteigerungen der Gerätegruppen sowie zu den Entwicklungen einzelner Ausstattungsdaten getroffen, kann die Fortschreibung des Gesamtstrombedarfs in einem Zieljahr berechnet werden.

Zunächst wird für jede Gerätegruppe und Altersklasse die Anzahl der mittleren Neubeschaffungen innerhalb eines bestimmten Zeitraums ermittelt. Hierfür wird die spezifische Lebensdauer hinzugezogen. Die spezifische Energieeinsparung je Effizienzsteigerung, welche aus der Untersuchung der Energieeffizienzlabels ermittelt wurde, wird dann zur Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs im Zieljahr genutzt.

Analog zur Vorgehensweise beim Energiebedarf kann der Gesamtstrombedarf durch Addition aller Gerätegruppen im Zieljahr berechnet werden (s. Abb. 10-1).

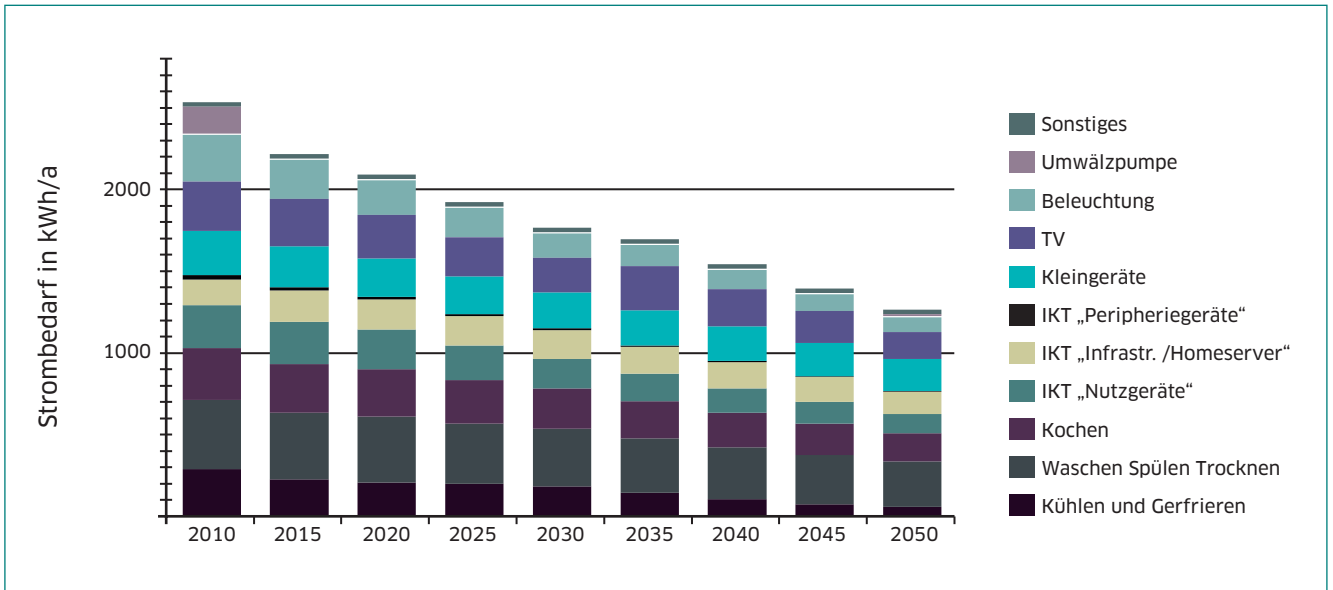


Abbildung 10-1: Fortschreibung des Haushaltsstrombedarfs am Beispiel des KomRev-Projektes (Zielvision Moderat Dezentral)

10.1.3 Methodische Aspekte der Endenergie-Bilanzierung

Im Bereich des Strombedarfs sind die bilanzierten Energiemengen stets Endenergie. Für die Energiebilanzen des Startjahres wie der Zielvision sind daher jeweils die Summen aller Strombedarfe als Basis der Treibhausgas-Bilanzierung zu verwenden, diese müssen für die gegenwärtige Situation mit den

tatsächlichen Verbräuchen abgeglichen werden.

Der Strombedarf der Haushalte wird als Endenergie bilanziert. Die Berechnung der resultierenden Treibhausgas-Emissionen erfolgt über den Klimaschutz-Planer und die in Kapitel 5 angegebenen THG-Emissionsfaktoren. Details dazu sind in Kapitel 5 erläutert.

Was liegt am Ende dieses Arbeitsschrittes vor?

Ist-Stand Strombedarf privater Haushalte

- ✓ Anzahl Haushalte und durchschnittliche Größe
- ✓ Gebrauchsgüterstruktur
- ✓ Resultierender Strombedarf (heute)

Zukünftiger Strombedarf privater Haushalte

- ✓ Anzahl der mittleren Neubeschaffungen
- ✓ Spezifische Energieeinsparung je Effizienzsteigerung
- ✓ Resultierender Strombedarf 2050

Dokumentation im Masterplan für Schritt 4

- ✓ Ist-Situation Strombedarf privater Haushalte
- ✓ Zukünftiger Strombedarf privater Haushalte

Schritte in Richtung Implementierung

- ✓ Kontaktaufnahme zu örtlichem EVU, Netzbetreiber
- ✓ Entwicklung von Energie-Einsparprogrammen für private Haushalte (Bonusprogramme etc.)

10.2 Masterplan-Schritt 5: Wärmebedarf privater Haushalte

Was ist in Schritt 5 der Masterplan-Entwicklung zu tun?

Als Basisinformation für die im Masterplan festzulegenden zukünftigen Energieversorgungswege werden in **privaten Haushalten** die gegenwärtigen Energiebedarfe an **Gebäudewärme und Warmwasser** erfasst. Darüber hinaus werden die zukünftigen Bedarfe in diesem Bereich ermittelt.

SUFFIZIENZ

Neben dem Energieaufwand für nutzungsspezifische Prozesse wie Kochen, Waschen, Kühlen usw. wird der größte Anteil der benötigten Energie im Haushaltsbereich für das Heizen bzw. für die Deckung der Energiedienstleistung *Warmer Wohnraum* benötigt (78 % – AGEb, 2013b). Dem Energiedienstleistungs-Ansatz liegt zu Grunde, dass man nicht eine bestimmte Form der Energie nachfragt, sondern diese zur Deckung einer Dienstleistung einsetzt. Dieser Ansatz fördert die Sichtweise für die differenzierte Untersuchung der am Raumklima beteiligten Prozesse (Mensch, Gebäude, Heizsystem), welche unterschiedliche Ansätze und Methoden zur Beeinflussung der Effizienzsteigerung (bis hin zu Suffizienz-Maßnahmen) ermöglicht.

Die nachfolgend beschriebene Vorgehensweise fokussiert auf den Systemausschnitt Gebäude und schildert dabei die Alternativen der Datenaufnahme, Bewertung der Gebäudebestände sowie die Herleitung von Effizienzmaßnahmen.

Die dargelegten Verfahren beschreiben die Berechnung der *Wärmebedarfsseite* (Nutzenergie) eines Gebäudes, das heißt, im Kern der Betrachtung stehen bauliche und wärmetechnische Zustände eines Gebäudes. Sie sind Grundbedingung für die thermodynamischen Wechselwirkungen zwischen der angestrebten Innentemperatur und den realen Temperaturbedingungen, die durch das Außenklima beeinflusst sind.¹⁵

10.2.1 Erfassung Ist-Situation Wärmebedarf privater Haushalte

Grundsätzlich können zwei unterschiedliche Methoden zur Berechnung des Raumwärmebedarfs herangezogen werden. Die folgende Tabelle stellt Unterschiede der beiden Methoden gegenüber und kann so als Entscheidungshilfe gelesen werden.

Tabelle 10-2: Vergleich Raumordnungs-Methode und Gebäudetyp-Methode

RAUMORDNUNGS-METHODE	GEBÄUDETYP-METHODE
Gemeindestruktur/ -größe	
Vorteil: <ul style="list-style-type: none"> • Überschaubarer Kosten- und Zeitaufwand • Übertragbar auf andere Nutzungsformen (GHD) Datenanforderung: <ul style="list-style-type: none"> • Gebäudetypen und Nutzungstypen • Gebäudeanordnung (Dichte ...) 	Vorteil: <ul style="list-style-type: none"> • Sanierungen können sehr detailliert betrachtet werden. • Auch nachträgliche Sanierungen können mit einem Abschlag einfließen. Datenanforderung: <ul style="list-style-type: none"> • Gebäudedaten (Typ, Alter)
Art der vorhandenen Datenquelle	
<ul style="list-style-type: none"> • Flurkarte • Luftbildauswertung • Vor-Ort-Begehung (Befragung) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bauämter • Literatur (Kennwerte) • Vor-Ort-Begehung (Befragung) • Statistisches Bundes- und/oder Landesamt
Zeit- und Kostenaufwand	
<ul style="list-style-type: none"> • Geringeres Budget – vereinfachtes Verfahren – aggregierte Ergebnisse 	<ul style="list-style-type: none"> • Höheres Vorwissen notwendig – teilweise größerer Zeit-/Kostenaufwand

¹⁵ Die Seite der *Wärmeversorgung* (End- und Primärenergie) wird in Kapitel 14 behandelt.

Gebäudetyp-Methode

Die Gebäudetyp-Methode berechnet den Wärmebedarf über typisierte Gebäude, bei denen durch statistische Abgleiche ein hoher signifikanter Zusammenhang zwischen Nutzenergieverbrauch und Gebäudetyp (Gebäudealter und Gebäudegröße) ermittelt wurde. Je nach regionalem Zuschnitt lassen sich damit unterschiedliche Gebäudetypologien bilden und es lässt sich auf regionale Besonderheiten eingehen (z. B. Schiefer-Sichtfassade, denkmalgeschützte Gebäude usw.).

Die minimale Ausgangslage zur Berechnung der Nutzenergiebedarfe sind zum einen **Kennwerte**, die den wärmetechnischen Zustand der im Untersuchungsgebiet befindlichen Gebäude repräsentieren, und zum anderen die **Verteilung** des Gebäudebestandes auf die Rasterung der Typologie. Damit lässt sich die Summe der Nutzenergieverbräuche durch einfache Multiplikation ermitteln.

Schritt 1:

Formel-Nr. 10-1:

Wohnfläche in m² je Gebäudetyp * spezifischer Kennwert je Gebäudetyp in kWh/m²
= Nutzenergiebedarf je Gebäudetyp

Schritt 2:

Addition der Nutzenergiebedarfe aller Gebäudetypen aus Schritt 1 = Nutzenergiebedarf gesamt

Kennwerte:

Die bundesdeutsche Gebäudetypologie des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) hat sich in der Praxis als nützliche Grundlage zur Systematisierung des Gebäudebestandes erwiesen (IWU, 2015a). Sie kann auch für die Analyse der Gebäudebestände einzelner Kommunen angewendet werden. Wichtig ist bei dieser lokalspezifischen Betrachtung die Berücksichtigung regionaler klimatischer Besonderheiten (vgl. Abschnitt „Witterungsbereinigungen“).

Die wichtigsten Strukturmerkmale der Typologie sind das Gebäudealter und die Gebäudegröße. Je nach Alter und Größe der Gebäude können ihnen signifikante Nutzenergieverbräuche zugeordnet werden. Die Gebäudetypologie kann dabei als Ausgangsbasis verwendet werden, um den Energiebedarf (Nutzenergie) des Gebäudebestands zu bestimmen. Sie dient als Rasterung für die weitere Betrachtung und Berechnung der Nutzenergiebedarfe (s. Abb. 10-2).

Dabei wird die Wohnfläche der Kommune den Gebäudetypen nach der IWU-Typologie zugeordnet, mit den statistisch erhobenen, spezifischen Energiebedarfen (kWh/m²) multipliziert und über den jeweiligen Gebäudetyp addiert. Die Wohnflächendaten zu Gebäudetypen werden im Klimaschutz-Planer (s. Kapitel 5.1) in vereinfachter Form bereitgestellt. Die erforderlichen spezifischen Energiekennzahlen (EKZ) der Gebäudetypen in den verschiedenen Baualtersklassen und in Bezug auf die verschiedenen Sanierungs- und Neubaustandards sind in den Tabellen 10-3 und 10-4 angegeben. Sie können über das Statistische Bundesamt online bezogen werden (Statistisches Bundesamt, 2015b).

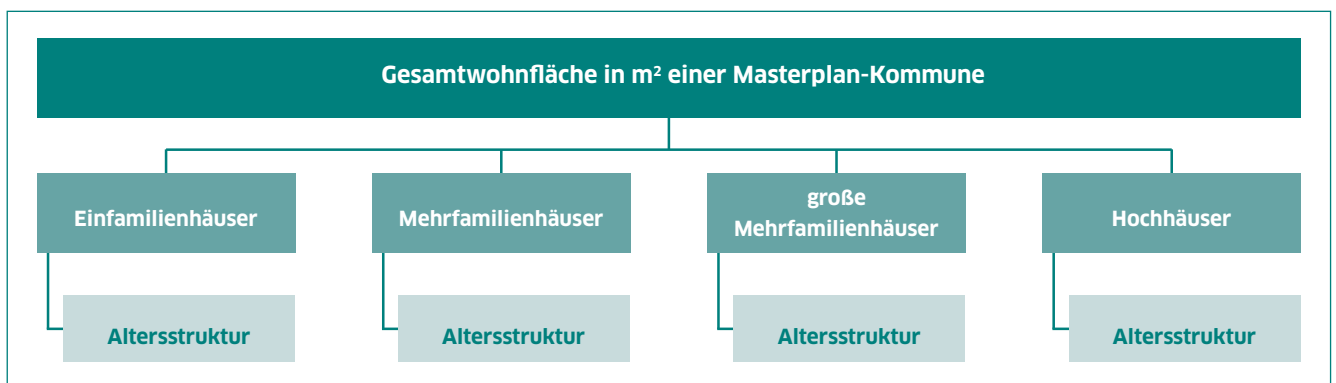


Abbildung 10-2: Strukturierung der Wohnfläche nach Gebäudegrößen und Altersklassen

Die Teilsommen geben den Nutzenergiebedarf je Gebäudetyp (EFH, MFH, ...) an. Die Addition der Teilsommen ergibt die Gesamtsumme der Nutzenergie, hier beispielhaft für das Bilanzjahr 2014. Für alle

weiteren Bilanzjahrgänge ab 2014 werden, analog zum obigen Vorgehen, die in den Tabellen enthaltenen spezifischen Kennwerte für Neubauten/energetisch sanierte Gebäude verwendet.

Tabelle 10-3: Nutzenergiebedarfs-Berechnung über Wohnflächen und spezifische Energiekennzahlen der Gebäudetypen (IWU, 2005)

FLÄCHE DER WOHN EINHEITEN IN GEBÄUDE TYPEN (GT) UNTERSCHIEDLICHEN BAUALTERS SOWIE SPEZIFISCHER NUTZENERGIEBEDARF JE m ² IM UN-/TEILSANIERTEN ZUSTAND (BASIS: 2014, GEBÄUDE TYPOLOGIE DEUTSCHLAND)												
	Baualtersklassen											Teil-Summe
	Vor	Vor	1919	1949	1958	1969	1979	1984	1995	2002	2007	
	1918	1918	-1948	-1957	-1968	-1978	-1983	-1994	-2001	-2006	-2014	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	EnEV07	
Einfamilienhaus (EFH)												
Wohnfläche je GT in m ²												Σ
EKZ kWh/m ²	169		158	155	132	130	125	86	73	66	54	EFH
Teilsomme (GT * EKZ)												
Kleines Mehrfamilienhaus (KMH)												
Wohnfläche je GT in m ²												Σ
EKZ kWh/m ²	151		168	206	188	145	123	98	75	53	50	MFH
Teilsomme (GT * EKZ)												
Großes Mehrfamilienhaus (GMH)												
Wohnfläche je GT in m ²												Σ
EKZ kWh/m ²	99		219	163	172	158						GMH
Teilsomme (GT * EKZ)												
Hochhaus (HH)												
Wohnfläche je GT in m ²												Σ
EKZ kWh/m ²					114	137						HH
Teilsomme (GT * EKZ)												
Nutzenergiebedarf kWh												
Summe EFH (m ² * kWh/m ²) + KMH (m ² * kWh/m ²) + GMH (m ² * kWh/m ²) + HH (m ² * kWh/m ²)												
EKZ: Energiekennzahl (spezifischer Nutzenergiebedarf in kWh/(m² * a))												

Tabelle 10-4: Nutzenergiebedarfs-Berechnung über Wohnflächen, Neubautypen, Sanierungsklassen und spezifische Energiekennzahlen

FLÄCHE DER WOHNHEINHEITEN IN GEBÄUDE TypEN (GT) IM NEUBAUBEREICH, DER ZUKÜNFTIGEN SANIERUNGSKLASSEN SOWIE SPEZIFISCHER NUTZENERGIEBEDARF JE m² (BASIS: 2014; GEBÄUDE TypOLOGIE DEUTSCHLAND)					
	Neubau/Sanierungsklassen				
	KfW 100	KfW 70	KfW 55	Passivhaus	Teil-Summe
Einfamilienhaus (EFH)					
Wohnfläche je GT in m ²					Σ
EKZ kWh/m ²	169	158	155	15	EFH
Teilsomme (GT * EKZ)					
Kleines Mehrfamilienhaus (KMH)					
Wohnfläche je GT in m ²					Σ
EKZ kWh/m ²	151	168	206	15	MFH
Teilsomme (GT * EKZ)					
Großes Mehrfamilienhaus (GMH)					
Wohnfläche je GT in m ²					Σ
EKZ kWh/m ²	99	219	163	15	GMH
Teilsomme (GT * EKZ)					
Nutzenergiebedarf kWh Summe EFH (m ² * kWh/m ²) + KMH (m ² * kWh/m ²) + GMH (m ² * kWh/m ²) + HH (m ² * kWh/m ²)					
EKZ: Energiekennzahl (spezifischer Nutzenergiebedarf in kWh/(m² * a))					
67 kWh/(m ² * a) entspricht ca. KfW-Effizienzhaus 100 nach EnEV2009					
47 kWh/(m ² * a) entspricht ca. KfW-Effizienzhaus 70 nach EnEV2009 (KfW 100 minus 30%)					
37 kWh/(m ² * a) entspricht ca. KfW-Effizienzhaus 55 nach EnEV2009 (KfW 100 minus 45%)					
15 kWh/(m ² * a) entspricht Passivhaus-Standard KfW 100 minus 78%)					

Zeitliche Fortschreibung: Klimabereinigung und Sanierungsraten

Die oben dargestellten spezifischen Kennwerte für den Altbaubestand (hier bis 2014) und Neubauten (hier ab 2014) eignen sich bereits für die Näherungsrechnung einer Raumwärme-Nutzenergiebilanz in einer Gemeinde. Die Anpassung an die jeweiligen kommunalen Gegebenheiten erfolgt über die Witterungsbereinigung.

Witterungsbereinigungen

Die dargelegten Energiekennwerte in Tabelle 10-3 für den Altbaubestand repräsentieren Gebäudecharakteristika eines konkreten Jahres für Gesamtdeutschland unter den bundesdeutschen klimatologischen Voraussetzungen. Für kommunenspezifische Analysen müssen Kennwerte herangezogen werden, die die jeweiligen regionalen Klimabedingungen widerspiegeln. Aus dem Zusammenspiel von Außentemperatur, Gebäudespezifika und Innentemperatur ergeben sich die zu berücksichtigenden Transmissionsbedingungen (Gebäudewärmeverlust aufgrund der drei genannten Größen) für einen konkreten Ort. In die kommunenspezifischen Kennwerte fließen also immer die jeweiligen regionalen Temperaturbedingungen eines Kalenderjahres ein (ausgedrückt in der sogenannten Gradtagzahl, GTZ, hier für das Stichjahr 2014 – DWD, 2015c). Für die Berechnung der zukünftigen Folgejahre müssen die spezifischen Kennwerte mit der langjährigen statistischen Mitteltemperatur bereinigt, d.h. dividiert werden. Dieser Faktor ist ablesbar an dem Quotienten von

Formel-Nr. 10-2:

$$GTZ_{\text{Referenzjahr}} / GTZ_{\text{Mitteltemperatur des langjährigen Mittels}}$$

Ist die Gradtagzahl für die Kommune nicht bekannt, können auch überregionale Werte herangezogen werden (DWD, 2015c). Z.B. wird die GTZ der Wetterstation Düsseldorf für Masterplan-Kommunen in Nordrhein-Westfalen ($GTZ_{\text{Düsseldorf}} = 3262$) verwendet. Der Quotient der Witterungsbereinigung beträgt in Folge der warmen Heizperiode 2014

Formel-Nr. 10-3:

$$2711_{\text{Düsseldorf 2014}} / 3262 = 0,83 \text{ (Bereinigungsfaktor)}$$

Dieser Faktor wird nun für alle Folgejahre (ab Bilanzjahr, hier ab 2015) verwendet, um die spezifischen Kennzahlen der Gebäudetypen für die langjährige Mitteltemperatur zu errechnen. Dieser Wert dient als Berechnungsbasis für Fortschreibungen in die Zukunft.

Formel-Nr. 10-4:

$$EKZ_{2014} / \text{Bereinigungsfaktor} = \text{spezifischer Nutzenergiebedarf je Gebäudetyp im langjährigen Mittel}$$

Beispiel Einfamilienhaus 1949-1957:

$$155 \text{ kWh}_{2014}/\text{m}^2 / 0,83 = 186 \text{ kWh}_{\text{Zukunft}}/\text{m}^2$$

Die regionalen Gradtagzahlen eines Kalenderjahres lassen sich auch aus einem jährlich aktualisierten Tool des IWU herauslesen (IWU, 2015b). Für die Toolnutzung wird die Postleitzahl der Masterplan-Gemeinde benötigt.

Sanierungsraten und deren Fortschreibung

Innerhalb des Masterplan-Prozesses gilt für die Kommunen das Ziel der Vollsanierung des Gebäudebestandes. Daher sind die jeweiligen jährlichen Sanierungsraten auf den Zeitraum bis zum Zieljahr 2050 zu verteilen. Geht man von einem Sanierungsbeginn im Jahr 2014 aus, müssten daher im Schnitt 2,7 % p.a. der Wohnfläche saniert werden. Die Sanierungsrate ist von dem tatsächlichen Gebäudebestand vor Ort abhängig (z. B. Baualter und Sanierungsstand). Gibt es z. B. große Areale mit 60er- und 70er-Jahre-Bauten, die noch nicht rundum saniert wurden, können die Sanierungsraten zeitweilig auch höher sein, da hier Nachholbedarf besteht. Über die Verteilung der Sanierungsstandards auf die verschiedenen Effizienzklassen des Neubaus können, je Sanierungsstrategie, mit den spezifischen Kennwerten aus Tabelle 10-4 die gewünschten Endbedingungen eines vollständig sanierten Gebäudebestandes gebildet werden. Maximales Masterplan-Ziel könnte dabei eine 100 %-ige Sanierung des Gebäudebestandes auf Passivhaus-Standard sein. Die Festlegung der Sanierungsziele im Masterplan sollte mit Augenmaß und in guter Abstimmung mit den Entscheidungen über die Masterplan-Wärmeversorgungskonzepte erfolgen (vgl. Kapitel 14).

Räumliche Zuordnung der Wärmebedarfe bei Verwendung der Gebäude-Methodik

Mit der Gebäudetyp-Methode lässt sich der zukünftige Gesamtbedarf an Raumwärme für eine Kommune ermitteln. Zusätzlich ist die räumliche Zuordnung der zukünftigen Wärmebedarfe notwendig. Über diese kann z.B. geprüft werden, in welchen Gebieten die Wärmebedarfsdichte für eine netzgebundene Wärmeversorgung ausreichend ist und wie groß ein zusammenhängendes Wärmenetz für die Nutzung eines (ausreichend großen) Saisonspeichers sein müsste (vgl. Kapitel 14). In kleineren Kommunen lässt sich diese Analyse auch händisch ohne Geografisches Informationssystem (GIS) durchführen (Hausladen et al., 2011). In größeren Gemeinden ist jedoch eine GIS-gestützte Vorgehensweise praktikabel.

Die räumliche Zuordnung der nach der Gebäude-Methode ermittelten zukünftigen Wärmebedarfe (und EKZ) erfolgt über ein Bearbeitungsraaster im GIS.

In diesem Bearbeitungsraaster werden zusammenhängend bebaute Siedlungsgebiete homogener Struktur abgegrenzt (Siedlungsareale). Allen Siedlungsarealen

werden entsprechend ihrer Bebauungsdichte und dem vorherrschenden Gebäudetyp passende Siedlungstypen zugeordnet (Blesl, 2002).

Die Erstellung des notwendigen Bearbeitungsrasters für die Ermittlung von Wärmebedarfsdichten, die verwendbaren Quellen und die Zuordnung von Siedlungstypen zu diesen Siedlungsarealen sind in dem *Leitfaden Energienutzungsplan* detailliert beschrieben (Hausladen et al., 2011). Ebenso ist dort die Berechnung der beheizten Wohnflächen anhand der Gebäudegrundflächen und der Geschossanzahl erläutert.

Die räumliche Zuordnung des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs ist GIS-gestützt auch für die Fortschreibung in die Zukunft möglich.

Die folgende Abbildung (Abb. 10-3) zeigt schematisch und beispielhaft das Vorgehen der Stadt Rheine zur Verteilung des zuvor (entlang der Gebäudetypen-Methodik) ermittelten Gesamtwärmebedarfs auf alle kommunalen Siedlungsareale.

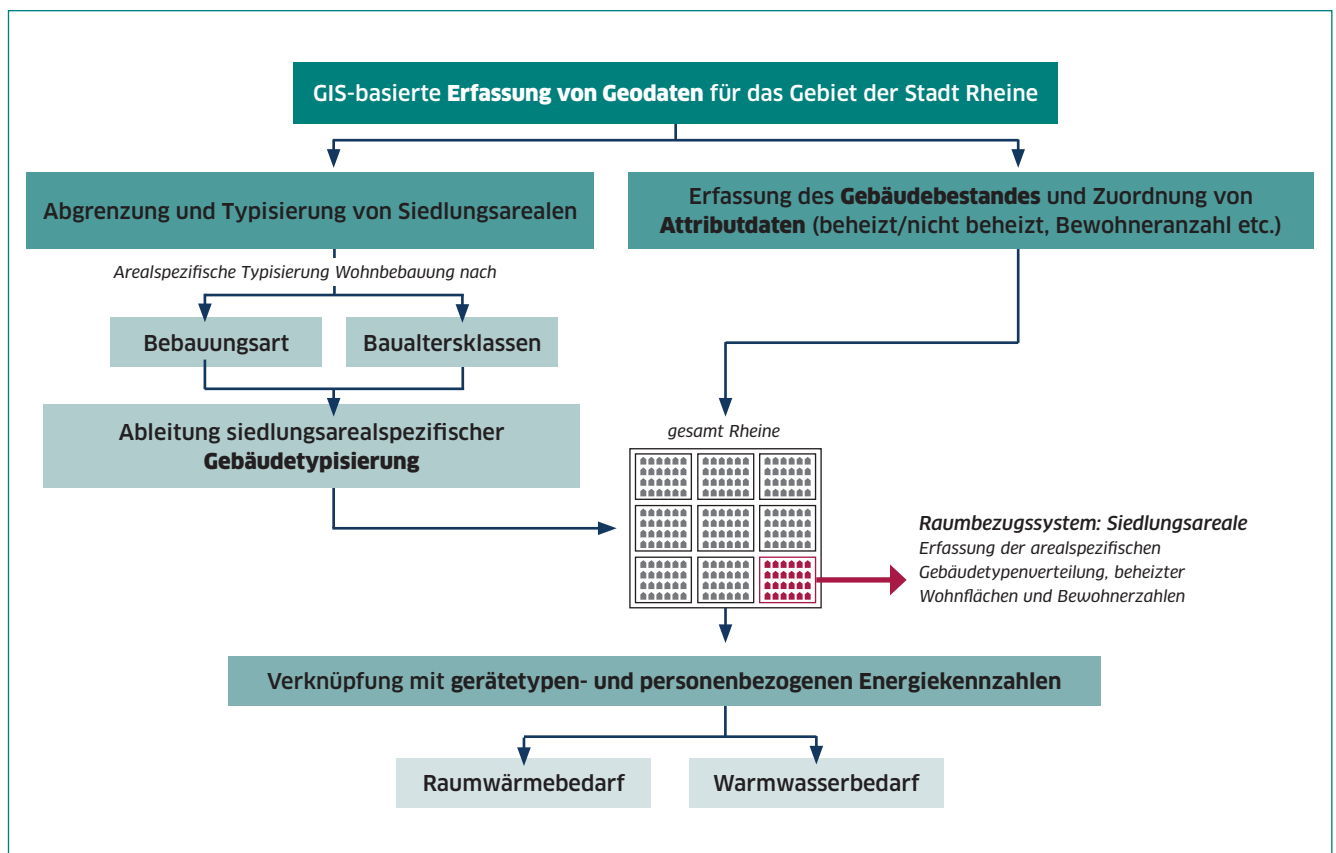


Abbildung 10-3: GIS-basierte Abbildung von Raumwärmebedarf und Warmwasserbedarf in der Stadt Rheine

Folgende Arbeitsschritte sind dabei notwendig:

Mithilfe des GIS werden z. B. auf Basis der digitalen kommunalen Flurkarten bebaute Grundstücke nach infrastrukturellen Gegebenheiten und Gebäude-/ Nutzungsgruppen zu möglichst homogenen Siedlungsarealen zusammengefasst. Die notwendigen Informationen werden orthografischen Luftbildern der Kommune, alternativ oder zusätzlich den Luftbild- und Satelliten-Bilddiensten von Google und Microsoft Bing entnommen.

Die Siedlungsareale sind durch den vorherrschenden Gebäudetyp gekennzeichnet. Einzelne, abweichende Gebäudetypen innerhalb der Siedlungsareale werden zur Vereinfachung pauschal miterfasst. Allen Siedlungsarealen wird entsprechend dem dort vorherrschenden Gebäudetyp ein Siedlungstyp (Blesl, 2002) zugeordnet. Auf Basis der mittleren Geschossfläche im Siedlungsareal lässt sich die Bruttogeschossfläche (und daraus abgeleitet die beheizte Wohnfläche) für das Siedlungsareal bestimmen (Hausladen et al., 2011). Diese Informationen werden mit den spezifischen Energiekennwerten für die verschiedenen Baualtersklassen verrechnet (der IWU-Typologie folgend).

Die Fortschreibung der Wärmebedarfe der einzelnen Siedlungsareale erfolgt analog zur Projektion der Energieverbräuche, wie sie für die einzelnen Gebäudetypen ermittelt wurden (vgl. Abschnitt „Zeitliche Fortschreibung: Klimabereinigung und Sanierungsraten“). Über die Veränderung der Gebäudewerte ändert sich der Energieverbrauch der Siedlungstypen, darüber wiederum lässt sich der Wärmebedarf einzelner Siedlungsareale projizieren.

Für diese Vorgehensweise muss vereinfachend

angenommen werden, dass die Struktur und Quantität der Besiedelung innerhalb einer Kommune gleich bleibt.

Abbildung 10-4 zeigt beispielhaft die verschiedenen Informationsstufen in einem GIS-Kartenausschnitt aus dem Projekt KomRev für Rheine. Links sind die anhand der Flurstückkarte rot dargestellten Gebäudegrundflächen zu sehen, aus dem dahinterliegenden Satellitenfoto lassen sich Gebäudeart und Geschosshöhe zuordnen, rechts der gleiche Kartenausschnitt mit den nach homogenen Besiedelungsgebieten definierten Siedlungsarealen.

Die für die Sektoren GHD und Industrie ermittelten Wärmebedarfsmengen können anhand der beheizten Flächen in Industrie- und Gewerbegebieten, landwirtschaftlichen Arealen und kommunalen Liegenschaften den jeweiligen Siedlungsarealen zugeordnet werden. Informationen zu Datengrundlagen und Vorgehensweise können ebenfalls dem Leitfaden *Energienutzungsplan* (Hausladen et al., 2011) entnommen werden.

Die vorgestellte Methode ist sehr zeitintensiv und erfordert kleinteilige Bearbeitung der Siedlungsstruktur in GIS-Analysen. Eine vereinfachte, überschlägige Möglichkeit zur räumlichen Zuordnung der Wärmebedarfe bietet die Raumordnungs-Methode.

Raumordnungs-Methode (Quartier, Stadtteil, Siedlungstyp)

Mit der Raumordnungs-Methode kann der Wärmebedarf über die Siedlungstypen den definierten Siedlungsarealen direkt zugeordnet und darüber in

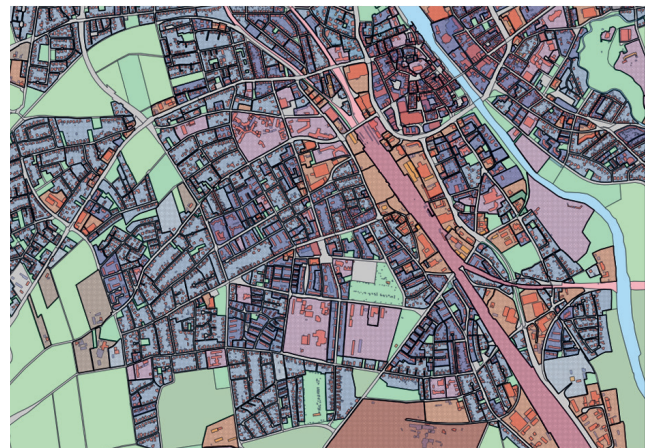


Abbildung 10-4: GIS-Kartenausschnitt mit Gebäudegrundflächen und hinterlegtem Google-Foto links, der gleiche Kartenausschnitt mit definierten Siedlungsarealen rechts (z. B. hellblau EFH/DHS)

Summe für jedes Siedlungsareal (Siedlung, Quartier, Stadtteil) ermittelt werden. Die Siedlungsareale werden – wie im vorhergehenden Abschnitt zur räumlichen Zuordnung der Wärmebedarfe bei Verwendung der Gebäude-Methodik beschrieben – in einem GIS-System festgelegt und darin wird die Gesamtfläche jedes Areals berechnet.

Die Berechnung der Nutzenergie-/Raumwärmebilanz für die Gegenwart erfolgt dann in zwei Schritten:

1. Zuordnung der Siedlungsareale zu den Siedlungstyp-Klassen nach Blesl entsprechend der vorherrschenden Gebäudeart und Bebauungsdichte (Blesl, 2002)
2. Zuordnung der mittleren Wärmeverbrauchs-dichte-Werte ($\text{GWh/m}^2_{\text{Arealfläche}}$) der jeweiligen Siedlungstypen nach Blesl (Blesl, 2002) und Berechnung der Raumwärme-Nutzenergiebilanz durch Multiplikation mit der Gesamtfläche des Siedlungsareals

Die Vorgehensweise ist im Leitfaden *Ener-gienutzungsplan* detailliert beschrieben (Hausladen et al., 2011).

Ist der Einsatz eines GIS-Systems nicht möglich, lässt sich hilfsweise die Grundfläche jedes Areals über die zugehörigen Flurstückflächen ermitteln. Diese händische Alternative ist jedoch nur in kleinen Kommunen anwendbar.

Vorteilhaft gegenüber der gebäudetypbezogenen Wärmebedarfserhebung ist die Erfassung und räumliche Zuordnung der Wärmebedarfe in einem Arbeitsgang. Nachteilig ist die Streuung der tatsächlichen Wärmeverbrauchs-dichte-Werte je Siedlungstyp und damit die hohe Unsicherheit dieser Methode. Die Unsicherheit lässt sich auffangen, indem in einer Konsistenzprüfung die raumbezogenen Teilsummen für einzelne Siedlungsareale aufsummiert und mit der Summe des Raumwärmebedarfs nach der Gebäude-Methode abgeglichen wird. Die Relation der Wärmeverteilung auf die einzelnen Siedlungsareale kann beibehalten werden, die Summe sollte jedoch auf die Wärmenachfrage nach der Gebäude-Methode skaliert werden.

Für die Fortschreibung der raumbezogenen Wärmebedarfsermittlung nach der Raumordnungs-Methode gibt es keine spezifischen Wärmeverbrauchs-dichte-Werte der jeweiligen

Siedlungstypen. Die im *Leitfaden Energienutzungsplan* empfohlene Schätzung (Hausladen et al., 2011) kann nach folgendem Ansatz erfolgen.

Ermittlung zukünftiger spezifischer Wärmeverbrauchs-dichte-Werte der Siedlungstypen auf Basis der Ergebnisse nach der Gebäudetyp-Methode:

1. Gesamtwärmemengen je Gebäudetyp (EFH, MFH usw.) als Summe über alle Baualtersklassen jeweils für die Gegenwart und für die Zielvision
2. Gesamtwohnflächen je Gebäudetyp (EFH, MFH usw.) als Summe über alle Baualtersklassen
3. Durchschnittliche EKZ je Gebäudetyp für Gegenwart und Zukunft als Quotient aus Gesamtwärmemenge pro Gesamtwohnfläche

Abschätzung zukünftiger Wärmeverbrauchs-dichte-Werte je Siedlungstyp:

4. Zuordnung des bestmöglich passenden Gebäudetyps zu jedem Siedlungstyp (z. B. Siedlungstyp 2 Einfamilienhäuser/Doppelhäuser wird zugeordnet Gebäudetyp Einfamilienhaus)
5. Berechnung des Verhältnisses zwischen gegenwärtiger und zukünftiger durchschnittlicher EKZ (Ergebnis Schritt 3) für diese bestmöglich passenden Gebäudetypen
6. Umrechnung der gegenwärtigen mittleren Wärmeverbrauchs-dichten je Siedlungstyp in die zukünftige mittlere Wärmeverbrauchs-dichte anhand des EKZ-Verhältnisses (Ergebnis Schritt 5) des bestmöglich dazu passenden Gebäudetyps

Berechnung zukünftiger Wärmebedarfe je Siedlungsareal:

7. Zuordnung der zukünftigen mittleren Wärmeverbrauchs-dichte-Werte (Ergebnis Schritt 6) zu den Siedlungsarealen anhand der Siedlungstypologie
8. Berechnung der zukünftigen Raumwärme-Nutzenergiebilanz durch Multiplikation der Wärmeverbrauchs-dichte-Werte mit der Gesamtfläche des Siedlungsareals

Tabelle 10-5: Nutzenergiebedarfe von Siedlungsarealen für Raumwärme und Warmwasser bei durchgängig energetisch saniertem Gebäudebestand (Bedarfskennzahlen s. Fußnote 16) Quelle: eigene Berechnungsergebnisse für Rheine aus GIS-Daten im Projekt KomRev

BAUDICHTEWERTE	WÄRMEBEDARFSWERTE
m ² Gebäudegrundfläche / m ² Arealfläche	kWh/ (m ² Arealfläche*a)
ST 1 Lockere, offene Bebauung (n=353)	
>0,001 bis 0,01	0,2
>0,01 bis 0,1	2,3
>0,1 bis 0,2	6,5
>0,2 bis 0,4	12,8
ST 2 Einfamilien- und Doppelhäuser (n=1290)	
>0 bis 0,1	4,2
>0,1 bis 0,2	9,2
>0,2 bis 0,4	15,0
>0,4 bis 0,6	27,0
ST 3a Ehem./Städt. Dorfkern (n=15)	
>0,2 bis 0,3	17,8
>0,3 bis 0,4	22,6
>0,4 bis 0,5	30,7
ST 4 Reihenhäuser (n=77)	
>0,1 bis 0,2	13,7
>0,2 bis 0,3	20,0
>0,3 bis 0,42	26,9
ST 5a Siedlung kleine Mehrfam.häuser (n=238)	
>0,01 bis 0,3	19,6
>0,3 bis 0,6	32,7
>0,6 bis 1	81,1
ST 5b Zeile kleine Mehrfamilienhäuser (n=116)	
>0,1 bis 0,2	19,9
>0,2 bis 0,3	26,1
>0,3 bis 0,4	30,8
>0,4 bis 0,8	50,4

BAUDICHTEWERTE	WÄRMEBEDARFSWERTE
m ² Gebäudegrundfläche / m ² Arealfläche	kWh/ (m ² Arealfläche*a)
ST6 Zeile große Mehrfamilienhäuser (n=10)	
>0 bis 0,05	7,3
>0,05 bis 0,2	38,7
>0,2 bis 0,4	47,4
ST 7a Blockbebauung niedrige Dichte (n=31)	
>0 bis 0,3	18,1
>0,3 bis 0,35	24,1
>0,35 bis 0,5	27,5
ST 7b Blockbebauung hohe Dichte (n=5)	
>0,5 bis 0,6	41,4
>0,6 bis 0,75	65,0
ST 8 City-Bebauung (n=40)	
>0,29 bis 0,4	26,4
>0,4 bis 0,6	46,2
>0,65 bis 0,8	60,2
>0,8 bis 1	82,0
ST 12 Gewerbegebiet (n=311)	
>0,003 bis 0,1	3,1
>0,1 bis 0,3	12,9
>0,3 bis 0,5	21,4
>0,45 bis 0,6	35,1
>0,6 bis 0,8	47,5
>0,75 bis 1	123,3

Über das beschriebene Verfahren ist die räumliche Zuordnung mit verhältnismäßig geringem Aufwand, jedoch auch mit erhöhter Unsicherheit, im Vergleich zur räumlichen Zuordnung der Wärmebedarfe bei Verwendung der Gebäude-Methodik möglich (vgl. Abschnitt „Räumliche Zuordnung der Wärmebedarfe bei Verwendung der Gebäude-Methodik“). Tabelle 10-5 zeigt die für Rheine ermittelten Wärmebedarfskennwerte der verschiedenen Siedlungstypen bei durchgängig energetisch saniertem Gebäudebestand der Zielvisionen¹⁶. Diese wurden nach der Gebäude-Methode ermittelt und wie oben beschrieben detailliert räumlich zugeordnet. In der Tabelle sind die Ergebnisse innerhalb der Siedlungstypen nach Baudichten (hier: Verhältnis Gebäudegrundflächen zur Gesamtfläche des Siedlungsareals) klassifiziert dargestellt, um für Masterplan-Kommunen einen differenzierten Abgleich mit ihren eigenen Ergebnissen zu ermöglichen. Die Daten können bei Annahme ähnlicher zukünftiger EKZ zur Plausibilitätsprüfung herangezogen werden, wenn in Masterplan-Kommunen zukünftige Wärmebedarfe wie oben beschrieben nur näherungsweise ermittelt werden.

10.2.2 Warmwasserbedarf

Für die Ermittlung des nutzenergetischen Warmwasserbedarfs im Ausgangsjahr und im Zieljahr werden personenbezogene spezifische Energiekennzahlen verwendet. Tabelle 10-6 zeigt, dass sich der spezifische Energiebedarf für Warmwasser zwischen den Jahren 2010 und 2050 mehr als halbieren lässt. Die Ursache hierfür sind im Wesentlichen wassertechnische Annahmen (wassersparende Armaturen).

Tabelle 10-6: Energiekennzahlen Warmwasserbedarf in den Jahren 2010 und 2050 (kWh/Person*a) Quelle: Eigene Modelldaten Wuppertal Institut

JAHR	SPEZIFISCHER WARMWASSERBEDARF (KWH/PERSON*A)
2010	1.198
2050	586

¹⁶ Raumwärmebedarfe zwischen 34 und 60 kWh/(m²a), Warmwasser-Wärmebedarfe 586 kWh/(a*cap), beides Nutzenergie, n = Anzahl der Siedlungsareale dieses Siedlungstyps im GIS-System für Rheine

10.2.3 Methodische Aspekte der Endenergie-Bilanzierung

Die endenergetische Bewertung des oben dargestellten Nutzenergiebedarfs (Energie, die zur Deckung der Energiedienstleistungen Raumwärme und Warmwasser benötigt wird) ist maßgeblich von zwei Faktoren abhängig: der Wahl des Energieträgers (Öl, Gas, Strom, Kohle usw.) sowie der Wahl des jeweiligen Heizungs- und/oder Warmwassersystems.

Berechnungsansätze für den Endenergiebedarf des Startjahres oder vergangener Jahre

Die Hochrechnung von Nutzenergie auf Endenergie kann zum einen mithilfe eines überschlägigen Gesamtsystem-Nutzungsgrades erfolgen. Eine andere Möglichkeit ist die Bildung eines Umrechnungsfaktors durch den Abgleich ermittelter theoretischer Nutzenergie und tatsächlich gemessener Endenergie.

S U F F I Z I E N Z
Auf den Gesamtsystem-Nutzungsgrad wirken unterschiedliche Faktoren. Zum einen die Wirkungsgrade des Heizungsanlagen-Mixes selbst, zum anderen der auch von der Art des Heizungssystems abhängige Umfang der tatsächlich beheizten Wohnfläche. Bei letzterem geht man davon aus, dass bei Einzelraum-befeuerten Wohnungen im Gegensatz zu Wohnungen mit Zentralheizungen nicht die gesamte Wohnfläche beheizt wird. Das heißt, auf der Gesamtsystem-Ebene kann es zu einer Kompensation von Wirkungsgrad der Heizungsanlage <1 und der zu beheizenden Wohnfläche bzw. dem zu deckenden Nutzenergiebedarf kommen.

Daher errechnet sich der Gesamtsystem-Nutzungsgrad nach dem Anteil der Einzelraumheizung mit einem Faktor Nutzenergie zu Endenergie von 1 sowie einem Faktor von 1,25 für Zentralheizungen, was einem mittleren Heizungswirkungsgrad von 80 % entspricht.

Der Gesamtsystem-Nutzungsgrad ermittelt sich exemplarisch wie folgt:

Formel-Nr. 10-5:

(Anteil-Einzelraumheizung * 1) + (Anteil-Zentralheizungen * 1,25) = Gewichteter Gesamtsystem-Nutzungsgrad

Oder bei einem exemplarischen Anteil von 20 % Einzelraumheizungen:

Formel-Nr. 10-6:

$(20 \% \text{ Einzelraumheizungen} * 1) + (80 \% \text{ Zentralheizungen} * 1,25) = 0,84$

Liegt in der Masterplan-Kommune eine kommunale Energiebilanz vor, wird für die Abschätzung des Ist-Zustandes empfohlen, den nach der oben beschriebenen Methodik errechneten Nutzenergiebedarf für Heizung und Warmwasser mit der kommunalen Energiebilanz zu vergleichen. Der Quotient zwischen Endenergieverbrauch und Nutzenergiebedarf ist der theoretische Nutzungsgrad und eine Maßzahl für die Verluste der Gebäudehülle.

Beispiel: Der über die Gebäudetyp-Methode ermittelte Nutzenergiebedarf für Deutschland, geteilt durch die Summe des gemessenen Endenergieverbrauchs der privaten Haushalte im Jahr 2012 (abzüglich Haushaltsstrom), ergibt den mittleren Systemnutzungsgrad der Gebäude ($1.627 \text{ MJ}_{\text{Nutzenergie}} / 2.034 \text{ MJ}_{\text{Endenergie}} = 0,8$ Systemnutzungsgrad)

Wenn der Systemnutzungsgrad deutlich von 80 % abweicht oder sogar 100 % übersteigt, müssen die Energiekennzahlen der Gebäude korrigiert werden, da die IWU-Typologie nicht-kommunalspezifische Nutzenergiebedarfe liefert, bei denen stärkere Abweichungen durch Witterung und Nutzerverhalten auftreten können.

Bei der Betrachtung der Verluste innerhalb des Gebäudesystems wird für die Zukunft davon ausgegangen, dass durch stark reduzierte Wärmebedarfe in Niedrigenergie-Gebäuden, technologisch optimierte Verwendung von bzw. Verzicht auf Heizungs- und Zirkulationspumpen sowie verändertes Nutzerverhalten im Warmwasserverbrauch der Endenergiebedarf überschlägig mit einem Faktor von 1 anzusetzen ist, d.h. Wärmetransportverluste innerhalb der thermischen Gebäudehülle vereinfachend zu vernachlässigen sind (Endenergie = Nutzenergie). Die erforderlichen Ansätze für die Umrechnung von Nutzenergie in Endenergie für zukünftige Versorgungskonzepte sind in Kapitel 14 erläutert.

Was liegt am Ende dieses Arbeitsschrittes vor?

Ist-Situation Heizwärmebedarf

- ✓ Wohnfläche je Gebäudetyp und Gebäudealtersklasse
- ✓ Resultierender Nutzenergiebedarf je Gebäudetyp und Gebäudealtersklasse
- ✓ Räumliche Verteilung der Wärmenachfrage im Gemeindegebiet

Zukünftiger Heizwärmebedarf

- ✓ Witterungsbereinigung
- ✓ Sanierungsrate
- ✓ Resultierender zukünftiger Nutzenergiebedarf je Gebäudetyp und Gebäudealtersklasse
- ✓ Räumliche Verteilung der zukünftigen Wärmenachfrage im Gemeindegebiet

Ist-Situation und zukünftiger Warmwasserbedarf

Spezifischer Warmwasserbedarf pro Kopf

Dokumentation im Masterplan für Schritt 5

- ✓ Ist-Situation Heizwärme- und Warmwasserbedarf
- ✓ Zukünftige Situation Heizwärme- und Warmwasserbedarf

Schritte in Richtung Implementierung

- ✓ Priorisierung der Quartiere hinsichtlich energetischem Handlungsbedarf z.B. über ein Wärmekataster
- ✓ Identifikation geeigneter quartiersspezifischer Maßnahmen zur Förderung klimafreundlicher Heizenergie (z. B. Nachverdichtung in Wärmenetzen)

11 Masterplan-Schritte 6, 7 und 8: Industrie und GHD

11.1 Masterplan-Schritt 6: Heutiger und zukünftiger Energiebedarf von Industrie und GHD

Was ist in Schritt 6 der Masterplan-Entwicklung zu tun?

Im Zentrum dieses Schrittes steht die Erfassung gegenwärtiger und die Ermittlung zukünftiger Energiebedarfe in **Industrie und GHD** als Basisinformation für die im Masterplan festzulegenden zukünftigen Energieversorgungswege.

Die Relevanz der Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) für eine klimaneutrale Kommunalentwicklung hängt in hohem Maße von der Wirtschaftsstruktur vor Ort ab. Der durchschnittliche Anteil von Industrie und GHD am Endenergieverbrauch in Deutschland beträgt für den Zeitraum 2005 bis 2014 für den Industriesektor 28 % und für den GHD-Sektor 16 %¹⁷. Es liegt jedoch insgesamt eine räumlich weniger homogene Verteilung vor als beispielsweise im Haushaltssektor. In industriellen Ballungsgebieten wie z. B. dem Ruhrgebiet können auf kommunaler Ebene die industriellen Energieverbräuche diejenigen des Haushaltssektors deutlich dominieren.

Wenngleich es per Definition eine Abgrenzung zwischen den beiden Sektoren Industrie und GHD gibt (AGEB, 2010), sind die Übergänge fließend und die Methoden zur Ermittlung der Energiebedarfe ähnlich. Daher werden in diesem Leitfadens beide Sektoren zusammenfassend behandelt.

Hinsichtlich der Entwicklungsperspektiven können bei den industriellen bzw. gewerblichen Unternehmen vereinfachend zwei Kategorien charakterisiert werden:

Zur ersten Gruppe zählen die energieintensiven Betriebe. Sie zeichnen sich einerseits durch hohe Energieverbräuche aus. Andererseits sind personelle Ressourcen (z. B. Energiemanager), die Sensitivität für Energiekosten und das Wissen um Optimierungspotenziale in der Regel vorhanden. Oftmals verhindern günstige Energiebezugskosten, die diesen Unternehmen als Großabnehmer zur Verfügung stehen, steuerliche Ausnahmeregelungen und hohe Erwartungen an kurzfristige Renditen und

Amortisationszeiten ein Ausschöpfen der noch vorhandenen Energiesparpotenziale.

Bei der zweiten Gruppe sind die absoluten Energieverbräuche zwar geringer, allerdings geht damit häufig auch eine geringere Wahrnehmung der Bedeutung von Energieverbrauch und -kosten einher. Der Umgang mit Energie gehört nicht zur Kernkompetenz und häufig fehlt ein „Kümmerer“, sodass selbst finanzielle und strukturelle Förder- und Beratungsprogramme die Energiesparpotenziale oft nicht heben können. Dementsprechend sind die relativen Energiesparpotenziale in vielen Fällen hoch und aufgrund der höheren Energiebezugspreise viele Einsparmaßnahmen auch prinzipiell wirtschaftlich umsetzbar.

Entsprechend den skizzierten Charakteristika müssen die Betriebe auf unterschiedliche Art und Weise von den Kommunen angesprochen und unterstützt werden. Viele für die betrachteten Sektoren wichtige energiepolitische Rahmenbedingungen (z. B. Steuerpolitik und Förderprogramme, Ausnahmetatbestände für energieintensive Branchen, Emissionshandel, Ökodesignrichtlinie ...) werden auf nationaler oder europäischer Ebene festgelegt und sind daher kaum von der Kommune beeinflussbar. Der Kommune kommt jedoch eine Schlüsselstellung zu bei der Ansprache der Unternehmen, da sie die Unternehmen in den Masterplan-Prozess einbezieht und vernetzt. Häufig besteht ein belastbares Vertrauensverhältnis und die Standortsicherung ist gemeinsames Ziel von Kommune und Unternehmen. Erfahrungen aus Projekten in Deutschland und auch aus anderen Ländern, insbesondere aus dem skandinavischen Raum, zeigen, dass die Kommune ein zentraler Akteur bei der Entwicklung von betriebsübergreifenden Versorgungslösungen wie z. B. der Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung oder industrieller Abwärme (vgl. Abschnitt 11.3) sein kann (Schüwer et. al., 2007).

¹⁷ S. Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2014 (AGEB, 2013b)

Dazu ist es wichtig, die Energiequellen und Bedarfe (Senken) vor Ort gut zu kennen und als Kümmerer und Vermittler zur Verfügung zu stehen.

Wie im Kapitel 2.3 dargestellt, ist bei Wärmeanwendungen auf der Nachfrageseite eine Unterscheidung der Temperaturniveaus zwingend erforderlich, um Versorgungslösungen (vgl. Abschnitt 11.2) darauf optimal abstimmen zu können.

Aufgrund der zukünftig begrenzten Brennstoffpotenziale ist des Weiteren eine Analyse notwendig, inwieweit bisherige brennstoffbasierte Bedarfe – insbesondere für Prozesswärme – durch Stromanwendungen aus regenerativen Energiequellen substituiert werden können (vgl. Abschnitt 11.2).

11.1.1 Erfassung der Ist-Situation Industrie und GHD

Um die Daten mit vertretbarem Aufwand erfassen zu können, aber trotzdem eine aussagekräftige Basis – auch hinsichtlich der räumlichen Verteilung der nachgefragten Energiemengen – zu erhalten, wird folgende zweiteilige Vorgehensweise vorgeschlagen:

A) Standortscharfe Identifikation von Hot Spots (Industrie- und Gewerbeunternehmen mit hohem Energiebedarf)

Alle Unternehmen auf dem Territorium der Kommune mit einem hohen Bedarf an Strom, Brennstoffen und Fern- bzw. Nahwärme werden identifiziert und differenziert betrachtet (Bottom-up-Ansatz). Dazu werden Schwellenwerte gesetzt (z. B. mind. x Mio. kWh Strom/Wärme pro Jahr), sodass ein großer Anteil (z. B. mind. 50 %) des industriell-gewerblichen Gesamtenergiebedarfs innerhalb der Kommune erfasst wird. Soweit möglich, sollte auf vorhandenes Datenmaterial (einzelbetriebliche Untersuchungen, Stadtwerke-Datenbanken, Projekte, Audits, Beratungsbüros, Energiedienstleister...) zurückgegriffen werden.

B) Verteilung der Energiebedarfe der übrigen Unternehmen

Der Energiebedarf der übrigen Unternehmen (unterhalb der Schwellenwerte) wird anhand von durchschnittlichen gewerblichen Energiebedarfen kumuliert betrachtet. Diese Durchschnittsbedarfe werden

gleichmäßig über die verbleibenden Gewerbeflächen in der Kommune verteilt.

Zu A: Hot Spots

Die Ermittlung bzw. Abschätzung der Ist-Jahressummen an Strom- und Brennstoffbedarfen kann über einzelbetriebliche Daten (von den Unternehmen, von Energieversorgern etc.) oder mithilfe von Branchenkennzahlen (z. B. Energiebedarf pro Beschäftigte innerhalb einer Branche, Energiebedarf pro Produktionsvolumen, s. ISI, 2011; ISI, 2015) geschehen. Um von den aggregierten Werten auf bestimmte Anwendungen mit unterschiedlichen Temperaturniveaus, Einsatzzeiten, Lastkurven etc. schließen zu können, werden branchenspezifische Anwendungsbilanzen zur Hilfe genommen:

a) GHD

Im Sektor GHD können die Anwendungsbilanzen nach ISI, 2015, verwendet werden. Sie differenzieren nach Beleuchtung, mechanischer Energie, Warmwasser, sonstiger Prozesswärme, Prozesskälte, Klimakälte, Informations- und Kommunikationstechnologien sowie Raumheizung (vgl. Abb. 11-1).

b) Industrie

In der Industrie ermöglicht die Anwendungsbilanz nach Rohde, 2011, eine Differenzierung nach Prozesswärme, Warmwasser, Raumwärme, Klima- und Prozesskälte, Druckluft, Pumpen, sonstiger mechanischer Energie, Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) sowie Beleuchtung.

Die Verteilung auf einzelne Energieanwendungen kann dadurch verfeinert werden, dass öffentlich verfügbare Daten (z. B. aus Nachhaltigkeitsberichten) sowie zusätzlich erhobene Daten (über Fragebögen und/oder Telefoninterviews bzw. persönliche Gespräche) mit in die Berechnungen einfließen.

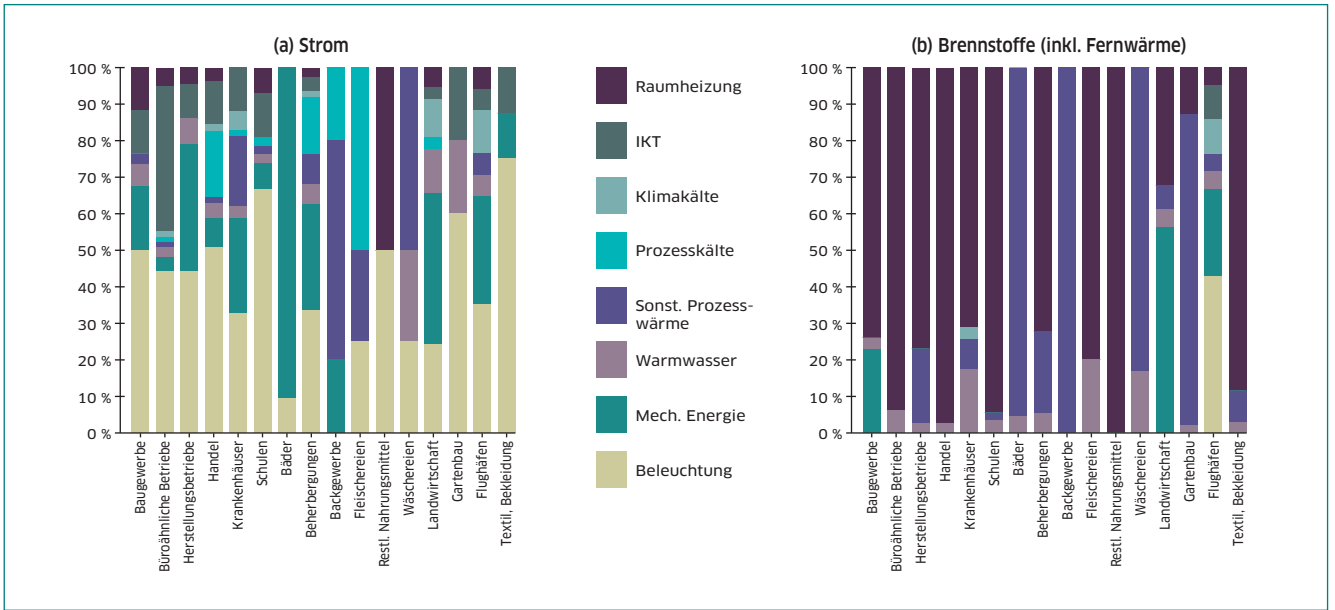


Abbildung 11-1: Anwendungsbilanzen für den Sektor GHG nach ISI, 2015

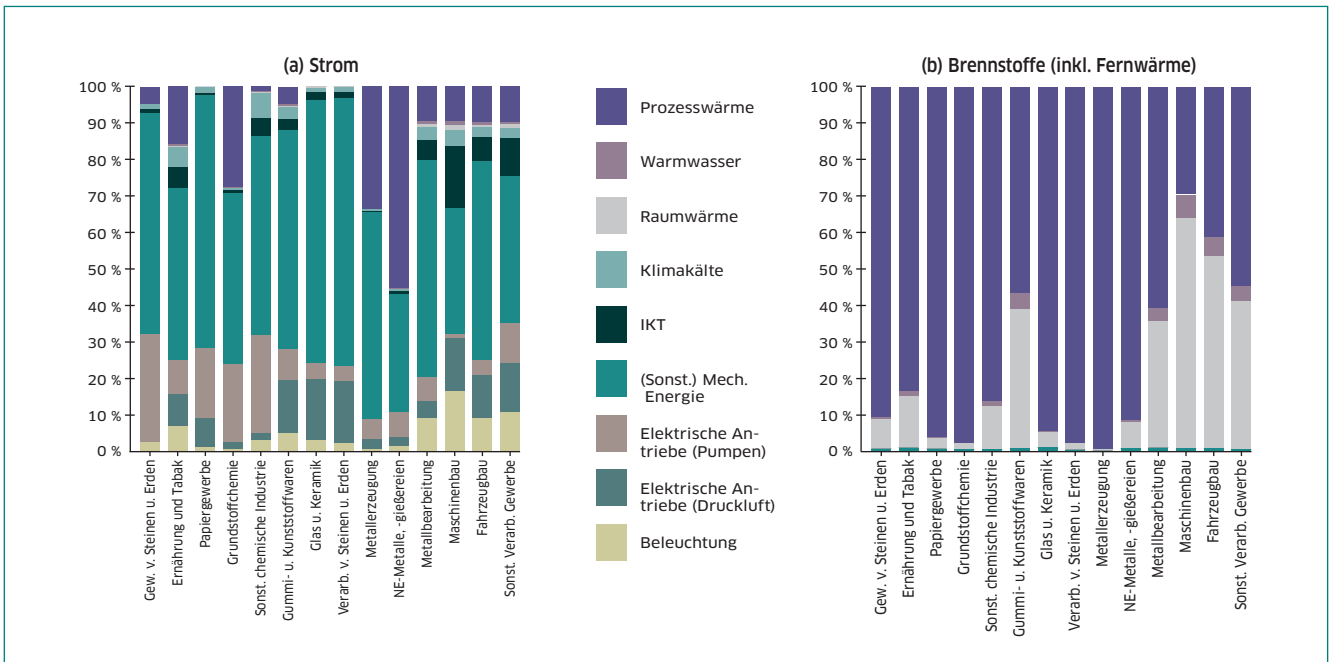


Abbildung 11-2: Anwendungsbilanzen für die Industrie nach Rohde, 2011

Zu B: Kumuliert betrachtete Betriebe

Für die Betriebe, die im Basisjahr einen Energiebedarf unterhalb eines festgesetzten Schwellenwertes haben, werden keine betriebspezifischen Untersuchungen durchgeführt. Zur Ermittlung des Energiebedarfs dieser Unternehmen wird – anders als für die Hot Spots – kein Bottom-up-Ansatz, sondern ein Top-down-Ansatz verfolgt. Zunächst werden die Gesamtsummen der betrieblichen Strom- und Brennstoffbedarfe innerhalb der Kommune ermittelt (Angaben der lokalen Netzbetreiber, andere

Erhebungen, soweit verfügbar, oder abgeleitet aus der Branchenstruktur und branchenspezifischen Energiebedarfen, s. dazu unten). Dieser gewerbliche Energiebedarf wird anschließend um die Bedarfe derjenigen Unternehmen reduziert, die als Hot Spots differenziert betrachtet werden. Außerdem wird analysiert, auf welche Branchen sich die kumuliert betrachteten Betriebe verteilen, indem die Branchenstruktur der Kommune ermittelt und ebenfalls um die bereits differenziert betrachteten Betriebe korrigiert wird. Hilfreich können hier die Daten der Statistischen Landesämter zum Energieverbrauch nach

Wirtschaftszweigen (Ebene Landkreise/kreisfreie Städte) sein. Für dieses verbleibende Gewerbe wird eine aus den verschiedenen Branchenprofilen gewichtet zusammengesetzte Anwendungsbilanz erstellt. Diese Anwendungsbilanz wird – wie im folgenden Kapitel beschrieben – bis 2050 fortgeschrieben, sodass als Ergebnis die Strom- und Brennstoffbedarfe aller kumuliert betrachteten Betriebe vorliegen. Um diese Betriebe im Wärmeversorgungskonzept räumlich zu berücksichtigen, werden die Energiebedarfe für Raum- und Prozesswärme anteilig den bekannten gewerblich genutzten Flächen zugeordnet.

Die Ermittlung des kommunalen Energiebedarfs nach Branchen und Anwendungen bildet auch die Grundlage zur Bestimmung von kommunalen Nutzungspotenzialen für Abwärme (vgl. Abschnitt 11.3).

Ergebnisse / Beispiel:

In Tabelle 11-1 ist ein Beispiel für eine Kommune wiedergegeben, bei der 21 Betriebe (Hot Spots) aus unterschiedlichen Branchen differenziert analysiert wurden und weitere Kleinverbraucher wie kommunale Liegenschaften, Landwirtschaft, industrielle Kleinbetriebe und restliche GHD kumuliert betrachtet wurden.

Abbildung 11-3 zeigt das Ergebnis der Energiebedarfsanalyse differenziert nach Strom, Raumwärme &

Warmwasser sowie Brennstoffe für die beiden Gruppen Große Betriebe (Hot Spots) und Übrige Betriebe.

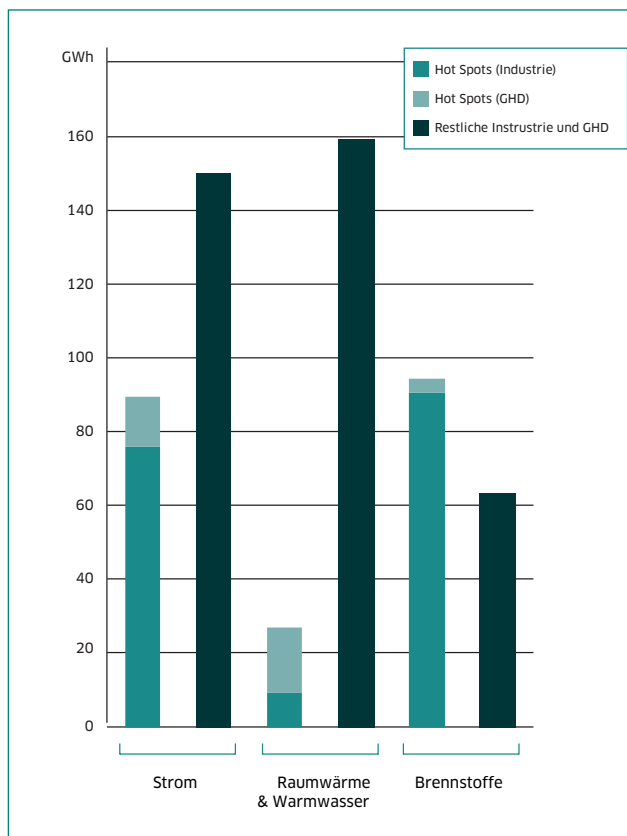


Abbildung 11-3: Strom-, Wärme- und Brennstoffbedarfe in den Sektoren Industrie und GHD 2010 (Beispielkommune)

Tabelle 11-1: Zusammensetzung der Branchen aus Industrie und GHD in einer Beispielkommune

SPEZIFISCH BETRACHTETE BETRIEBE		KUMULIERT BETRACHTETE BETRIEBE	
	Anzahl Betriebe		Anteil*
Nahrungsmittel	3	Kommunale Liegenschaften	
Gewinnung von Steinen und Erden	2	Landwirtschaft	
Maschinenbau	2	Industrielle Kleinbetriebe und restliche GHD	
Textil	2	- davon	
Handel	3	- Verarbeitendes Gewerbe	43 %
Gummi- und Kunststoffwaren	2	- Büroähnliche Betriebe	19 %
Metallbearbeitung	2	- Handel	18 %
Krankenhäuser	2	- Baugewerbe	16 %
Sonstige	3	- Beherbergung, Gaststätten, Heime	3 %
		- Schulen	1 %

* Geschätzter Anteil der Branchen am Energiebedarf, basierend auf Beschäftigtenzahlen und Energieintensität

11.1.2 Fortschreibung für das Zieljahr 2050

Nachfolgend wird das Vorgehen für die Herleitung der Energiebedarfe im Zieljahr 2050 beschrieben (vgl. Abb. 11-4).

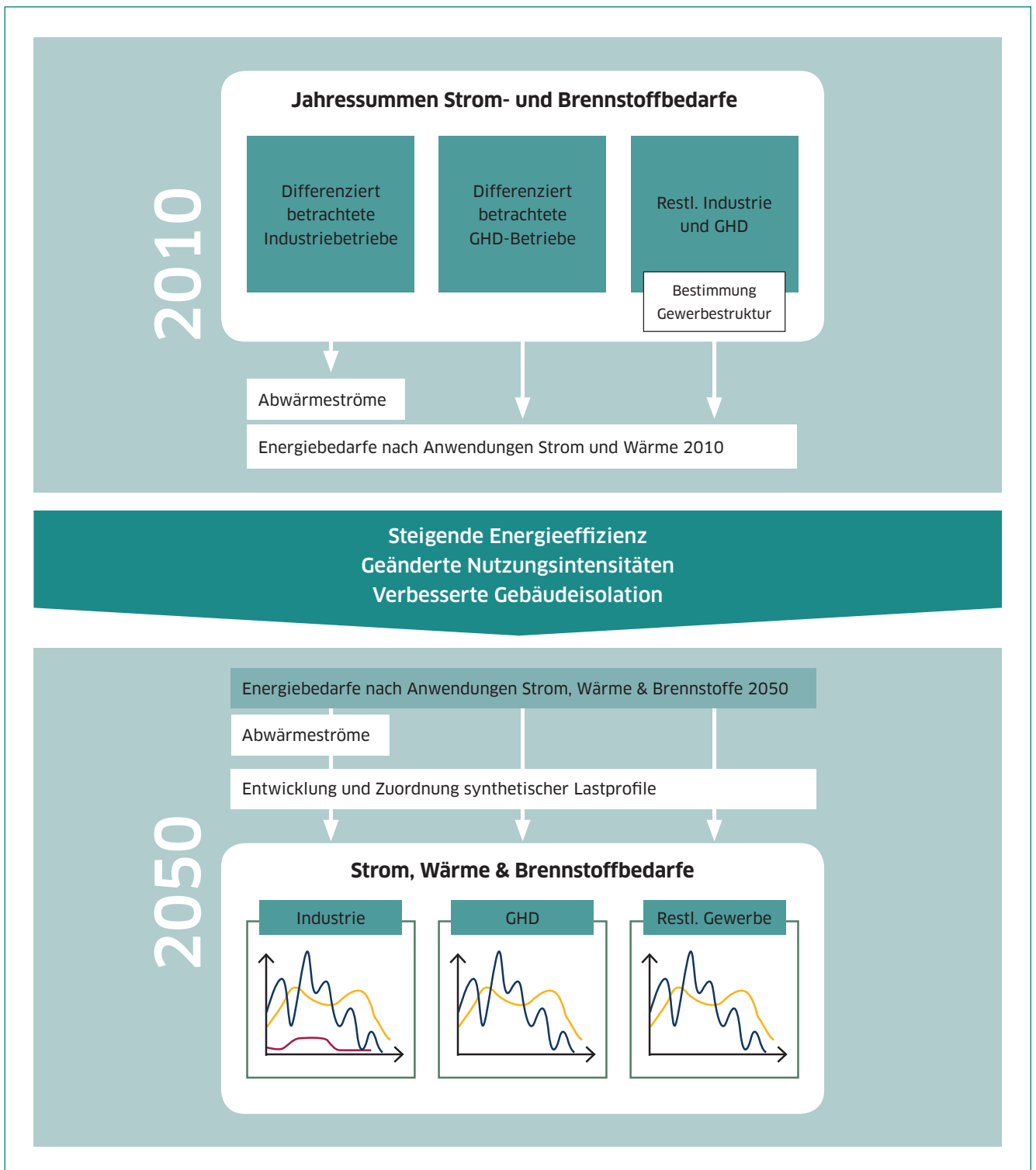


Abbildung 11-4: Vorgehen bei der Abschätzung des Energiebedarfs von Industrie und GHD im Jahr 2050¹⁸

¹⁸ Für genaue Simulationen ist die Entwicklung und Zuordnung von Lastverläufen erforderlich. Dies ist in der Abbildung berücksichtigt, jedoch nicht Teil der Masterpläne bzw. dieses Handbuchs.

Basierend auf den Energiedaten aus dem Basisjahr kann über eine Abschätzung der Änderungen bei der Energieeffizienz (Index f_{Eff} , in %) und bei der Nutzungsintensität (Index f_{Int} , in %) der Anwendungen eine Fortschreibung für den zukünftigen Endenergiebedarf $Q_{\text{EndE}, 2050}$ im Zieljahr vorgenommen werden.¹⁹

Formel-Nr. 11-1:

$$Q_{\text{EndE}, 2050} = Q_{\text{EE, Basisjahr}} * f_{\text{Eff}} * f_{\text{Int}}$$

Am Beispiel der Prozesswärme ergäbe sich mit dieser Formel und den Werten aus der ersten Zeile von Tabelle 11-2 ein Endenergiebedarf im Zieljahr 2050 von rund 85 %, bezogen auf das Ausgangsjahr (hier: 2010).

Relevante Einflussfaktoren für die Entwicklung der Energieeffizienz sind z. B.

- Fortschritte bei der Geräte- und Anlagentechnik (LED, Hocheffizienzmotoren, Wasserspararmaturen ...) oder
- eine verbesserte Prozessführung

Einflussfaktoren für die Entwicklung der Nutzungsintensität sind beispielsweise

- die Verbesserung der Gebäudeenergieeffizienz durch energetische Sanierung (Einfluss auf Laufzeiten von Heizungen und Klimaanlage)
- veränderte Nutzungs- bzw. Produktionsbedingungen (z. B. verstärkte Digitalisierung und IKT-Nutzung bei Industrie 4.0) und
- der Klimawandel (steigender Kühlungsbedarf)

Die Effizienzindizes für die jeweiligen Anwendungen f_{Eff} können für eine bestimmte Anzahl an Jahren y bis zum Zieljahr nach folgender Formel berechnet werden:

Formel-Nr. 11-2

$$f_{\text{Eff}} = (1 - \Delta\eta_{\text{p.a.}})^y$$

Für die Effizienzgewinne pro Jahr $\Delta\eta_{\text{p.a.}}$ können – je nach Anwendung (Wärmeerzeuger, Antriebe, Kälteerzeuger, Beleuchtung ...) – geeignete Werte in Prozent pro Jahr angenommen werden. Diese Werte können nach eigenem Expertenwissen abgeschätzt werden (Beispiele s. u. in Tabelle 11-2). Ein bereits überdurchschnittliches Ausgangsniveau an Energieeffizienz im Basisjahr (z. B. hoher Ausstattungsgrad mit LED-Beleuchtung) führt beispielsweise zu einer geringeren Absenkung des Energiebedarfs im Zieljahr.

Tabelle 11-2: Beispieltabelle für Annahmen zur Entwicklung des Endenergiebedarfs von Gewerbebetrieben (nach Deesy-Modell)

ANWENDUNG	ENDENERGIE-BEDARFS-INDEX IN 2010	SPEZIFISCHER EFFIZIENZ-INDEX f_{Eff} IN 2050	NUTZUNGS-INTENSITÄTS-INDEX f_{Int} IN 2050	RESULTIERENDER ENDENERGIE-BEDARFS-INDEX IN 2050
Prozesswärme	100 %	95 %	90 %	85 %
Mech. Energie	100 %	67 %	90 %	60 %
IKT	100 %	67 %	151 %	101 %
Kälteerzeuger	100 %	67 %	100 %	67 %
Klimakälte	100 %	67 %*	100 %*	67 %
Beleuchtung	100 %	55 %	100 %	55 %
Warmwasser	100 %	95 %	90 %	85 %
Raumwärme	100 %	45 %*	100 %*	45 %

* Bei Raumwärme und Klimakälte ist der verringerte Bedarf durch verbesserte Gebäudeisolation als Effizienzsteigerung berücksichtigt.

Zugrunde liegende Annahmen für die Effizienzgewinne pro Jahr $\Delta\eta_{\text{p.a.}}$:

- Wärmeerzeuger: 0,1 % p.a.
- Krafterzeuger (Maschinen) und IKT: 1 % p.a.
- Kälteerzeuger und Klimaanlage: 1 % p.a.
- (Annahme unter Einbeziehung verbesserter Gebäudeisolation)
- Beleuchtung: 1,5 % p.a.

¹⁹ Die Indices f_{Eff} und f_{Int} sind auf das Basisjahr mit dem Wert 100 % normiert. Zukünftige Abwärmennutzungen sind im spezifischen Effizienzfaktor f_{Eff} nicht berücksichtigt.

Was liegt am Ende dieses Arbeitsschrittes vor?

Ist-Situation Energiebedarf von Industrie und GHD nach Anwendungen Strom und Wärme

- ✓ Hot Spots
- ✓ Übrige Unternehmen
- ✓ Differenziert nach Prozesswärme, IKT, Raumwärme, Beleuchtung

Zukünftiger Energiebedarf von Industrie und GHD nach Anwendungen Strom und Wärme

- ✓ Steigende Energieeffizienz
- ✓ Geänderte Nutzungsintensitäten
- ✓ Verbesserte Gebäudeisolation
- ✓ Resultierender Strom-, Wärme- & Brennstoffbedarf, differenziert nach Prozesswärme, IKT, Raumwärme, Beleuchtung

Dokumentation im Masterplan für Schritt 6

- ✓ Ist-Situation Energiebedarf an Prozesswärme, IKT, Raumwärme, Beleuchtung, unterteilt in Hot Spots und übrige Unternehmen
- ✓ Zukünftiger Energiebedarf in Form von Strom und Wärme

Schritt in Richtung Implementierung

- ✓ Etablierung eines Austauschformats für lokale Unternehmen zur Entwicklung geeigneter Effizienzstrategien (z. B. Energieeffizienz-Netzwerke)

11.2 Masterplan-Schritt 7: Zukünftige Versorgungsoptionen heute brennstoffbasierter Prozesswärmebedarfe

Was ist in Schritt 7 der Masterplan-Entwicklung zu tun?

Dieses Kapitel beschreibt die Entwicklung eines postfossilen Versorgungskonzepts für Prozesswärme. Masterplan-Kommunen müssen dafür untersuchen, welche prozessspezifischen Informationen die Prozesswärmeversorgung beeinflussen, den gegenwärtigen Brennstoffeinsatz für Prozesswärme analysieren und alternative Versorgungsoptionen für Niedertemperatur-, Mitteltemperatur- und Hochtemperatur-Prozesswärme entwickeln.

Unter Prozesswärme wird im Zusammenhang mit diesem Kapitel die Bereitstellung von Wärme für Produktions- und Fertigungsverfahren aus Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistung verstanden.

Die Versorgung mit Prozesswärme ist eine der entscheidenden Stellschrauben eines zukünftigen Energieversorgungssystems. Die auf den ersten Blick große Zahl von Versorgungsoptionen wird bei näherer Betrachtung durch Prozessvorgaben und Potenzialbegrenzungen stark eingeschränkt. Rund 20 %

des bundesweiten Endenergieverbrauchs entfallen heute auf Prozesswärmebedarfe. Insbesondere in der Industrie spielt Prozesswärme mit einem durchschnittlichen Anteil von 65 % des Bedarfs eine wichtige Rolle (AGEB, 2013a; Gruber et al., 2015).

Derzeit werden in der Industrie etwa 80 % der Prozesswärmebedarfe über Brennstoffe gedeckt (Gruber et al., 2015). Brennstoffe können in einem postfossilen Energieversorgungssystem nur über (knappe) Biomassepotenziale oder synthetische

Verfahren (Kapitel 13) bereitgestellt werden. Brennstoffe auf Basis von Biomasse stehen darüber hinaus in direkter Konkurrenz zu anderen Biomasseanwendungen, wie z.B. der Kraftstoffbereitstellung für den Verkehr. Entscheidungen über Prozesswärme haben somit direkte Auswirkungen auf Biomasseverfügbarkeit für Kraftstoffbedarfe oder Verstromungsoptionen von Biomasse, auch wenn diese Entscheidungen nicht notwendigerweise auf kommunaler Ebene getroffen werden.

Zwingende Brennstoffbedarfe zur Prozesswärmebereitstellung hängen stark von der Wirtschaftsstruktur ab und werden bei Kommunen mit industriellen Ballungsgebieten Importe aus extrakommunalen Quellen unumgänglich machen. Die Importoption sollte allerdings stets sehr kritisch betrachtet und erst nach Ausschluss aller Alternativen gewählt werden. Die vorrangige Bedarfsdeckung aus lokalen Potenzialen ist auch im Hinblick auf eine konsistente Einbettung in das zukünftige bundes- und europaweite Gesamtsystem essenziell (Kapitel 9.5 und Kapitel 16). Eine wichtige Möglichkeit zur Bedarfsdeckung bietet daher der Ansatz, Brennstoffe durch Strom zu ersetzen.

Vor allem aus wirtschaftlichen Gründen werden aktuell nur etwa 9% der Prozesswärmebedarfe der Industrie durch Strom gedeckt. Strom wird in einem System ohne fossile Energieträger aus regenerativen Quellen mit geringerem Aufwand und preiswerter als Brennstoffe bereitstellbar sein und somit zum zentralen Energieträger werden (Kapitel 2.1). Strom sollte Brennstoffe dort ersetzen, wo

- Brennstoffe aus prozesstechnischer Sicht nicht erforderlich sind
- das hohe Temperaturniveau des Prozesswärmebedarfs eine Versorgung über Strom aus exergetischer Sicht rechtfertigt (Kapitel 2.3)

Die Identifikation möglicher Bereiche für die strombasierte Prozesswärme-Bereitstellung ist ein wichtiger Ansatzpunkt für alternative Versorgungsoptionen.

11.2.1 Entscheidungsprobleme und -optionen

Im zukünftigen Energieversorgungssystem ist die alternative Versorgung von heute brennstoffbasierten Prozesswärmebedarfen von besonderem Interesse. Bereiche, die bereits über Strom oder Abwärme versorgt werden, sind daher nicht Teil der hier gestellten methodischen Fragen.

Prozesswärmebedarfe erstrecken sich über ein breites Temperaturspektrum, das von Anwendungen zur Warmwasserbereitung (z. B. in der Lebensmittelbranche) bis hin zu Schmelzprozessen mit über 1.500 °C (z. B. Metallerzeugung) reicht. Die zum Einsatz kommenden Thermoprozessanlagen sind dabei i. d. R. auf die individuellen Prozessanforderungen zugeschnitten (Blesl et al., 2013). Entsprechend sind z. B. bei der Bestimmung des Elektrifizierungspotenzials die Verfahrensanforderungen mit einzubeziehen.

Versorgungsoptionen für Prozesswärme sollten daher insbesondere für jedes als Hot Spot identifizierte Unternehmen (s.o.) separat im Detail untersucht werden. Der zuvor erhobene Energiebedarf muss dazu durch Informationen zu den Prozessen ergänzt werden. Um das Umsetzungspotenzial zu erhöhen, geschieht dies vorzugsweise in direktem Austausch mit dem Unternehmen. Sollte dies nicht möglich sein, können Verfahrensinformationen von Branchenverbänden, aus Branchenleitfäden oder der Fachliteratur zur Verfahrenstechnik herangezogen werden.

Prozesswärmebedarf: Unterscheidung nach Temperaturniveau

Für Hot Spots ist es hilfreich, zunächst die Prozesswärmebedarfe in drei Temperaturbereiche einzuteilen: Niedertemperatur (NT)-, Mitteltemperatur (MT)- und Hochtemperatur-Prozesswärme (HT-Prozesswärme) (Frisch et al., 2010).

Unter Niedertemperatur-Prozesswärme wird ein Temperaturniveau von bis zu 100 °C verstanden. Etwa 10% der industriellen Prozesswärme entfallen auf diesen Temperaturbereich. Typische Prozesse sind dabei die Warmwasserbereitung zum Waschen oder zur Nahrungsmittelproduktion. Aufgrund des niedrigen Exergiegehalts von Niedertemperatur-Prozesswärme sollten Strom oder Brennstoffe nicht für die Versorgung dieser Bedarfe eingesetzt werden. Gut geeignet für die Versorgung ist Abwärme aus industriellen Prozessen (Abschnitt 11.3) oder aus KWK-Anlagen. Für den Einsatz in KWK-Anlagen ist Biomasse geringer Qualität, wie Abfälle oder Reststoffe, zu bevorzugen (Kapitel 13). Die KWK-Anlage wird dabei entweder lokal am Ort des Verbrauchs betrieben oder entsprechend den im Kapitel 14 dargestellten Möglichkeiten in die Wärmeversorgung integriert. Die Wärmeverläufe von Prozesswärmebedarf und Abwärmeangebot müssen zeitlich übereinstimmen. Dies kann entweder durch eine

wärmegeführte Fahrweise der KWK-Anlage oder durch einen Wärmespeicher gewährleistet werden. Eine systemdienlich stromgeführte KWK-Anlage stellt im Gegensatz zur wärmegeführten KWK-Anlage Ausgleichsenergie zur Verfügung. Diese Möglichkeit ist für ein Zukunftssystem von hoher Bedeutung (Kapitel 15).

Auch solarthermische Anlagen und Wärmepumpen eignen sich zur Niedertemperatur-Prozesswärmeversorgung. Diese kann häufig in Verbindung mit der Warmwasserversorgungs-Technik des Gebäudes erfolgen. Methodische Ansätze für diese Option können anhand von Fachliteratur wie z.B. der Veröffentlichung *Prozesswärme im Marktanreizprogramm* (Frisch et al., 2010) oder des *Leitfadens zur Vorplanung solarer Prozesswärme* (Schmitt et al., 2015) entwickelt werden.

Ein wichtiger Teilbereich der Niedertemperatur-Prozesswärme ist das Vorwärmen von Prozesswärmemedien. Dabei wird über NT-Versorgungsoptionen das Prozesswärmemedium auf Temperaturen bis zu 100 °C vorgewärmt und im Anschluss über MT- oder HT-Versorgungsoptionen auf das geforderte Temperaturniveau gebracht. Dadurch können Brennstoffe und Strom bei der Versorgung von Mittel- und Hochtemperatur-Prozesswärme eingespart werden.

Unter Mitteltemperatur-Prozesswärme wird ein Temperaturniveau zwischen 100 °C und 500 °C verstanden. Rund 15 % der industriellen Prozesswärmebedarfe entfallen auf dieses Temperatursegment. Typische Prozesse sind die Bereitstellung von Dampf durch örtlich installierte Dampferzeuger. Elektrische Prozesswärme-Bereitstellung ist von den Prozess- und Temperaturanforderungen her in vielen Fällen möglich. Neben Strom eignet sich zur nicht brennstoffbasierten Versorgung Abwärme auf einem hohen Temperaturniveau, wie sie z. B. in einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle anfällt.

Unter Hochtemperatur-Prozesswärme wird ein Temperaturniveau über 500 °C verstanden. Etwa 75 % der Prozesswärmebedarfe aus der Industrie entfallen auf diesen Temperaturbereich. Typische Verfahren sind Herstellungsprozesse in der Metallindustrie, die den Einsatz von Brennstoffen zum Teil zwingend erfordern. Die nicht brennstoffbasierte Deckung der Bedarfe kann aufgrund der sehr hohen Temperaturen nur über Strom erfolgen. Ein Elektrifizierungspotenzial liegt bei vielen HT-Prozesswärmebedarfen vor und sollte sorgfältig geprüft werden.

Substitution von Brennstoffbedarf durch elektrische Wärmebereitstellung

Insgesamt besteht branchenübergreifend ein hohes Elektrifizierungspotenzial für Prozesswärme. Die elektrische Wärmebereitstellung bietet dabei häufig eine höhere Prozesseffizienz und schnellere Steuerungsmöglichkeiten als die brennstoffbasierte Wärmebereitstellung (Gruber et al., 2015). Die Planung von elektrischen Thermoprozessanlagen sollte immer in Zusammenarbeit mit dem Stromanbieter erfolgen, da eine Elektrifizierung der Prozesswärme-Bereitstellung meist hohe Anforderungen an das Stromnetz mit sich bringt.

Die Verfahrenstechnik bietet ein breites Spektrum an Thermoprozesstechnologien. Die gängigsten Anlagen werden an dieser Stelle kurz benannt

- Direkte elektrothermische Widerstandserwärmung (z. B. Nachbehandlung metallischer Werkstücke, Glasschmelzen)
- Infrarotstrahler, Strahlungs- und Umluftöfen (z. B. Trocknungsprozesse, Kunststoff-Spritzguss)
- Elektrokessel (Dampferzeugung)
- Induktive Erwärmung (z. B. Schweißen, Löten, Schmelzen in Induktionstiegelöfen)
- Lichtbogen-Technik (z. B. Elektrostahlproduktion)

Jedes gegenwärtig brennstoffbasierte Verfahren zur Prozesswärmeversorgung kann prinzipiell aus technischer Sicht elektrifiziert werden (Gruber et al., 2015).

Bei einigen Prozessen wird allerdings der Brennstoff gleichzeitig als Rohstoff genutzt, was sich auf das Elektrifizierungspotenzial mindernd auswirkt. Im Labormaßstab konnte für viele dieser Prozesse zwar die technische Machbarkeit einer Elektrifizierung nachgewiesen werden, dafür muss aber neben der elektrischen Wärmebereitstellung oftmals auch zusätzlich Strom für die synthetische Herstellung des Rohstoffbedarfs aufgewendet werden. Auf Grund des hohen Energieaufwands im Verhältnis zur geringen Wertschöpfung ist eine vollständige Elektrifizierung dieser Prozesse unwahrscheinlich. Als nicht elektrifizierbar sind daher Prozesse der Zementherstellung, Stahlerzeugung im Hochofen und einzelne Prozesse der Petrochemie einzuordnen (Gruber et al., 2015). Diese Prozesse bewirken einen „zwingend“ erforderlichen Brennstoffbedarf.

Qualitätsansprüche zwingend erforderlicher Brennstoffe

Zwingend erforderliche Brennstoffbedarfe entstehen meist bei Herstellungsprozessen mit Kohlenstoffbedarf. Dieser wird direkt aus dem Brennstoff aufgenommen. Heute wird in diesen Prozessen überwiegend Erdgas oder Kohle eingesetzt. Ein Ersatz der fossilen Brennstoffe erfordert einen analogen Kohlenstoffanteil der Ersatzbrennstoffe.

Des Weiteren liegen zwingende Bedarfe an gasförmigen Brennstoffen hoher Reinheit vor (z. B. Absengen von Fasern in der Textilindustrie).

Erdgasbedarfe lassen sich im zukünftigen Energieversorgungssystem durch Biomethan oder synthetisch hergestelltes EE-Methan ersetzen. Kohle kann in Form von Biokohle (Kapitel 13.2) substituiert werden.

Wie und welche Brennstoffe in einem zukünftigen Energieversorgungssystem bereitgestellt werden können, wird in Kapitel 13 beschrieben.

Zuweisung von Versorgungsoptionen für kumuliert betrachtete Unternehmen

Für Unternehmen/Branchen, die aufgrund ihrer geringen Größe und hohen Gesamtzahl nur kumuliert

betrachtet werden können, ist die detaillierte Beantwortung der zuvor erläuterten methodischen Fragen in der Regel nicht möglich.

Ein mögliches Vorgehen für kumuliert betrachtete Unternehmen aus Industrie und verarbeitendem GHD sind prozentuale Abschätzungen für Elektrifizierungspotenziale und sich daraus ergebende zwingend erforderliche Brennstoffbedarfe sowie Brennstoffarten. Branchenverbände, Expertenrunden und Daten zur aktuellen branchenbezogenen Brennstoffverteilung (AGEB, 2013a) können dabei Entscheidungshilfen geben.

Die separate Betrachtung von NT-Prozesswärmebedarfen und die damit verbundene Entwicklung von Versorgungskonzepten sind für kumuliert betrachtete Unternehmen/Branchen auf Grund ihres geringen Anteils zu vernachlässigen.

Im Sektor GHD fallen darüber hinaus nur nennenswerte Prozesswärmebedarfe im Segment Beherbergungen an. Für Beherbergungen kann davon ausgegangen werden, dass brennstoffbasierte Prozesswärme technisch vollständig durch Strom substituierbar ist und dass das Potenzial nur durch Fragen der Akzeptanz geschmälert wird.

Beispielbox Konzeptentwicklung Prozesswärmeversorgung Rheine

In Rheine wurden acht Hot Spots der Industrie sowie im Sektor GHD zwei Krankenhäuser und das Hallenbad hinsichtlich Prozesswärmeniveau, Elektrifizierbarkeit und geforderter Brennstoffqualität untersucht. Die restlichen industriellen Kleinbetriebe, restliche GHD und die Landwirtschaft wurden kumuliert betrachtet.

Für Hot Spots der Industrie konnten NT-Prozesswärmebedarfe vollständig durch interne Nutzung von Abwärme gedeckt werden. Das Hallenbad mit Bedarfen bis 70 °C wurde im Maximal Dezentralen Konzept durch ein mit Holzgas betriebenes BHKW, im Moderat Dezentralen Konzept über geothermienutzende Wärmepumpen versorgt. Das Holzgas wurde zu großen Anteilen aus Restholz aus der Landschaftspflege gewonnen. Für die beiden Krankenhäuser war eine unterbrechungsfreie Stromversorgung essenziell, sodass hier mit Biomethan betriebene Hochtemperatur-Brennstoffzellen zum Einsatz kamen, deren Abwärme die gesamten Prozesswärmebedarfe der Krankenhäuser deckten.

Im Bereich HT-Prozesswärme ergaben sich für sechs Industrieunternehmen Elektrifizierungspotenziale. Kalkherstellung, Metallerzeugung und Teilbereiche der Textilindustrie erbrachten zwingend erforderliche Brennstoffbedarfe. Weitere zwingende Brennstoffbedarfe kamen aus den kumuliert betrachteten Bereichen. Hier wurde für Beherbergungen und Landwirtschaft angenommen, dass alle Brennstoffbedarfe durch elektrische Wärme substituiert werden können. Für industrielle Kleinbetriebe und restliche GHD wurde pauschal angenommen, dass zwei Drittel der Bedarfe durch Strom ersetzbar sind und ein Drittel einen gasförmigen Brennstoff in Erdgasqualität erfordert.

11.2.2 Methodische Aspekte der Endenergie-Bilanzierung

Bei der Endenergiebilanz muss beachtet werden, dass in dem unter Abschnitt 11.1.2 beschriebenen Schritt noch kein Wechsel der Erzeugungstechnologie angenommen wird, die Fortschreibung der Endenergiebedarfe bis 2050 zunächst also rein auf einer gesteigerten Effizienz der bisherigen Technologie basiert. Die darin ermittelten Bedarfe sind somit an die jeweilige Erzeugungstechnologie geknüpft. Sind im zukünftigen Versorgungskonzept für Prozesswärme Technologiewechsel enthalten (z. B. Substitution von Brennstoffen

durch strombasierte Prozesswärmeversorgung), müssen die Endenergiebedarfe an die gewählte zukünftige Technologie angepasst werden.

Dafür wird der Endenergiebedarf über den Wirkungsgrad der bisherigen Technologie auf den Nutzenergiebedarf zurückgerechnet. Anschließend kann mit dem Wirkungsgrad der zukünftigen Versorgungstechnologie der ermittelte Nutzenergiebedarf auf den tatsächlichen Endenergiebedarf korrigiert werden.

Was liegt am Ende dieses Arbeitsschrittes vor?

- ✓ Versorgungskonzepte und zugehörige Kennwerte für Prozesswärmebedarfe
 - Niedertemperatur-Prozesswärme
 - Mitteltemperatur-Prozesswärme
 - Hochtemperatur-Prozesswärme
- ✓ Vorhandenes lokales Elektrifizierungspotenzial für Prozesswärme und resultierender Strombedarf zur Prozesswärmeversorgung
- ✓ Resultierender Brennstoffbedarf und -güte im zukünftigen Prozesswärme-Versorgungskonzept (nicht durch alternative Versorgungsoptionen substituierbar)

Dokumentation im Masterplan für Schritt 7

- ✓ Ist-Stand Prozesswärmeversorgung
- ✓ Aus dem Ist-Stand resultierende Möglichkeiten für alternative Versorgungsoptionen der Prozesswärme im postfossilen Energieversorgungssystem

Schritte in Richtung Implementierung

- ✓ Kontaktaufbau und -pflege zu ansässigen Industrie- und GHD-Unternehmen (insbesondere zu Energiemanagern, wenn vorhanden) sowie ggf. ansässigen Branchenverbänden o. ä.
- ✓ Etablierung eines Austauschformats für lokale Industrie- und GHD-Unternehmen zur Entwicklung geeigneter alternativer Versorgungsstrategien für Prozesswärme

11.3 Masterplan-Schritt 8: Abwärmenutzung als interne und externe Versorgungsmöglichkeit

Was ist in Schritt 8 der Masterplan-Entwicklung zu tun?

Die intelligente Nutzung von Abwärme kann signifikant dazu beitragen, den kommunalen Endenergieverbrauch für Wärme-, Kälte- und Stromerzeugung sowie die damit verbundenen CO₂-Emissionen zu reduzieren. Die Identifikation, Charakterisierung und Quantifizierung heutiger kommunaler Abwärmequellen aus Industrie- und Gewerbebetrieben sowie aus Abwasser ist der erste Schritt zur Abschätzung zukünftiger Potenziale für die Nutzung von Abwärme – betriebsintern oder -extern.

In diesem Kapitel wird ein zweistufiger Ansatz vorgestellt, mit dem Kommunen heutige Abwärmemengen bestimmen und die potenzielle Rolle von Abwärme für die Masterplan-Entwicklung abschätzen können.

Physikalisch gesehen wird gegenwärtig der größte Teil des Energieeinsatzes in Industrieprozessen und technischen Anlagen in Form von Abwärme in Abluft, Kühl- und Abwasser, Rauchgasen etc. wieder in die Umgebung freigesetzt. Das **theoretische Abwärmepotenzial** von Industrie und Gewerbe ist daher immens. Das **technische und wirtschaftliche Nutzungspotenzial für Abwärme** ist dagegen deutlich geringer, denn es hängt von einer Reihe von Eigenschaften sowohl der Abwärmequelle als auch der geplanten Abwärmenutzung sowie deren „Passgenauigkeit“ ab (und den energiepolitischen Rahmenbedingungen). Mittel- und langfristig müssen auch technische Weiterentwicklungen der Industrie

(u. a. Effizienz), energetische Gebäudesanierung sowie strukturelle Entwicklungen der Kommune berücksichtigt werden, um Nutzungspotenziale für Abwärme im Zeithorizont der Masterpläne zu identifizieren.

11.3.1 Abwärmequellen

Bei vielen Querschnittstechnologien fällt prinzipiell nutzbare Abwärme auf unterschiedlichem Temperaturniveau an. Einen ersten Eindruck vermittelt Tabelle 11-3 (für Details s. LfU, 2008; LfU, 2012; ISI, 2013a; ReWIn, 2014; SAENA, 2012, FiW, 2013).

Tabelle 11-3: Anteile zurückgewinnbarer Abwärme und Abwärmemetemperaturen von Querschnittstechnologien

QUERSCHNITTSTECHNOLOGIE	WÄRMERÜCKGEWINNUNGSGRAD	ABWÄRMETEMPERATUR
Druckluftanlagen	70-90 % (des Stromverbrauchs)	bis 80 °C
Raumlufttechnische Anlagen	35-90 % (der Wärme bzw. der Kälte)	<25 °C
Trocknungsanlagen	35-85 % der Abluftenergie (einschließlich Kondensationswärme)	30-250 °C
Kältemaschinen	35-95 % der am Kondensator entzogenen Wärme; 5-10 % Energieeinsatz Kompressor	Kondensator: bis 35 °C; Kompressor: 50-70 °C
Maschinenkühlung	Abhängig von Maschine und Prozess	bis 100 °C
Verbrennungsanlagen, Prozessabluft, Nachverbrennung belasteter Prozessabluft	bis 95 % des Wärmeinhalts (einschließlich Kondensationswärme)	Sehr unterschiedlich; von 40-50 °C (Brennwertkessel) bis > 1.000 °C (Glasöfen und Brennöfen in keramischer Industrie)
Kommunale Abwässer und Kläranlagen	Als „warmes“ Reservoir für Wärmepumpen geeignet	ca. 10-20 °C

11.3.2 Nutzungsoptionen für Abwärme

In aller Regel ist es wirtschaftlich sinnvoll, zunächst durch Effizienzmaßnahmen die Menge anfallender Abwärme zu reduzieren. Lässt sich Abwärme nicht vermeiden, bietet sich zuerst eine prozessinterne, dann eine betriebsinterne Nutzung zur Prozesswärme-, Raumwärme- oder Warmwasserbereitstellung an. Sind diese Möglichkeiten ausgeschöpft, können bei ausreichender Abwärmemenge und -temperatur Strom- oder Kälteerzeugung für den

meist internen Bedarf in Betracht gezogen werden. Abwärmennutzung ist also zunächst als Option einer *innerbetrieblichen Effizienzsteigerung* zu sehen. Erst wenn betriebsinterne Nutzungsoptionen erschöpft sind, sollte Abwärme extern zur Wärmeversorgung benachbarter Unternehmen oder zur Einspeisung in Wärmenetze genutzt werden (s. Abb. 11-5). (Für weitere Details s. SAENA, 2012; ISI, 2013a; IZES, 2015; LfU, 2012)



Abbildung 11-5: Rangfolge eines technisch und wirtschaftlich effektiven Umgangs mit Abwärme und entsprechende Nutzungstechnologien

11.3.3 Technisch-ökonomische Herausforderungen der Abwärmenutzung

Die technische und wirtschaftliche Nutzbarkeit einer Abwärmequelle für bestimmte Anwendungen hängt von einer Reihe von Faktoren ab: Primär ist dabei die Abwärmtemperatur, die über der erforderlichen Minimaltemperatur der Abwärmesenke liegen muss. Heißen Abwärmeströmen stehen somit mehr Nutzungsoptionen offen als kälteren (s. Tabelle 11-3 und Abb. 11-5). Mit konventionellen Wärmepumpen (bis ca. 65 °C) oder mit speziellen Hochtemperatur-Wärmepumpen (bis zu 100 °C) kann jedoch das Temperaturniveau angehoben werden. Dadurch könnten aus technischer Sicht zusätzlich sehr große Niedertemperatur-Potenziale erschlossen werden.

Für eine ökonomische Nutzung von Abwärme ist darüber hinaus ein ähnlicher zeitlicher Verlauf der Abwärmeerzeugung und des Wärmebedarfs von Vorteil. Kurze Distanzen zwischen Abwärmequelle und -senke reduzieren Infrastruktur- oder Transportbedarf und Wärmeverluste. Weitere Faktoren sind in Tab. 11-4 zusammengefasst (für Details s. z. B. LfU, 2012; ISI, 2013a).

11.3.4 Grobabschätzung von Abwärmemengen in der Kommune

Das breite Spektrum an Abwärmequellen sowie internen und externen Nutzungsmöglichkeiten unterschiedlichster Charakteristika und Anforderungen sowie die Notwendigkeit, räumliche Aspekte in die Planung einzubeziehen, erfordern prinzipiell eine **individuelle Untersuchung der Abwärme-Nutzungspotenziale** für jeden Betrieb und jede Kommune. Im Folgenden wird ein zweistufiger Ansatz zur Bestimmung *externer* Nutzungspotenziale vorgeschlagen. Eine stark vereinfachte Erstanalyse ermittelt grob, für welche kommunalen Betriebe oder Branchen eine detaillierte Untersuchung der externen Abwärme-Nutzungspotenziale im zweiten Schritt sinnvoll ist.

Ausgangspunkt einer **Grobabschätzung der Abwärmemenge** (s. Abb. 11-6) ist die Abschätzung des kommunalen Energiebedarfs in Industrie und GHD nach Anwendungsfeldern, wie in den Abschnitten 11.1.1 und 11.1.2 dargelegt ist. Die größten Abwärmepotenziale sind für die Anwendungsfelder Prozesswärme, mechanische Energie und Kühlung zu erwarten. Neben der Analyse der Hot Spots ist daher darüber hinaus die Identifikation von mittleren Unternehmen mit überdurchschnittlichem Bedarf an Kälte, Prozesswärme (Backen, Kochen, Waschen) und mechanischer Energie (Pumpen, Druckluft etc.) lohnenswert.

Tabelle 11-4: Für Abwärmenutzung relevante Eigenschaften von Abwärmequellen und -senken

EIGENSCHAFT	BEDEUTUNG FÜR ABWÄRMENUTZUNG
Temperatur Abwärmequelle und -senke	Bestimmt, ob Abwärme technisch für bestimmte Nutzungsoption geeignet ist
Zeitlicher Verlauf Abwärmeerzeugung und Wärmebedarf	Gute Übereinstimmung im Tages-, Wochen- und Jahresgang erhöht Auslastung der Abwärmenutzung; Wärmespeicher kann ggf. Erzeugung und Bedarf anpassen; zusätzliche Backup-Wärmeerzeugung als Spitzenlastkessel und zur Versorgungssicherheit bei niedriger Verfügbarkeit oder Ausfällen von Abwärmequellen
Räumliche Distanz Abwärmequelle und -senke	Bestimmt den Bedarf an Wärmetransport-Infrastruktur und die Verteilverluste
Zeitliche Auslastung	Hohe zeitliche Auslastung erhöht Wirtschaftlichkeit
Abwärmemenge	Hängt ab vom Massenstrom des Abwärmemediums, spezifischer Wärmekapazität und Temperatur; bestimmt Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung
Maximale Abwärmeleistung	Bestimmt Auslegung von Wärmetauschern, Generatoren, Kältemaschinen etc.
Art Abwärmemedium	Z. B. Wasser, Öl, Dampf, Luft, Rauchgas, ...; bestimmt u. a. die Art des Wärmetauschers
Eigenschaften Abwärmemedium	Z. B. korrosive Bestandteile, Staub- und Schadstoffbelastung; können technische Anforderungen an Abwärmenutzung erhöhen

Unter der Annahme, dass 60% des Energieeinsatzes für Prozesswärme als Abwärme wieder nutzbar gemacht werden können (IZES, 2015), ergibt sich eine erste Abschätzung nutzbarer Abwärme aus der Prozesswärmeerzeugung. In mehreren Publikationen finden sich Abschätzungen zum Temperaturniveau verschiedenster Prozesse, die eine grobe Orientierung über die erwartbare Abwärmtemperatur in den einzelnen Branchen erlauben (SAENA, 2012; IER, 2008; ISI, 2012; Wagner et al. 2002; Lauterbach et al., 2011).

Analog lässt sich die Abwärme aus Kälteanlagen (Klima- und Prozesskälte) sowie der Erzeugung mechanischer Energie abschätzen: Die Abwärme aus Kälteanlagen entspricht dem Drei- bis Vierfachen des Stromeinsatzes und erreicht Temperaturen bis 35 °C. Bei der Drucklufterzeugung können 70-90%, im Falle sonstiger mechanischer Energie ca. 10% des Energieverbrauchs als Abwärme (bis zu 90 °C) zurückgewonnen werden.

Ergibt die hier beschriebene grobe Abschätzung eine jährliche Abwärmemenge mindestens im zweistelligen MWh-Bereich, sollte die folgende detailliertere Abschätzung kommunaler Abwärme-Nutzungspotenziale vorgenommen werden, die auch die Verfügbarkeit von Abwärmesenken in einem räumlichen Kontext berücksichtigt.

11.3.5 Detaillierterer Ansatz zur Bestimmung von Abwärmepotenzialen in der Kommune

Der **detailliertere Ansatz zur Bestimmung von Abwärmepotenzialen** basiert weitgehend auf drei Publikationen (LfU, 2008; StMUG, 2012; IZES, 2015), die für die konkrete Potenzialermittlung hinzugezogen werden sollten. Die detailliertere Ermittlung

erfordert zunächst die Identifizierung von relevanten Betrieben im Untersuchungsgebiet, die mithilfe von Kartenmaterial (Katasterkarten, Stadtpläne etc.), der örtlichen Industrie- und Handelskammer sowie der Handwerkskammer erfolgen kann.

Am Anfang stehen Unternehmensbefragungen, die sinnvollerweise im Rahmen von Betriebsbegehungen durchgeführt werden. Dabei werden einzelne Produktionsprozesse analysiert und Abwärmequellen identifiziert. Bei der Begehung werden relevante Parameter der Abwärmequelle wie Abwärmemengen, Temperaturniveaus und zeitliche Verfügbarkeit bzw. zeitlicher Verlauf (s.o.) erfasst. Darüber hinaus wird ermittelt, inwiefern Abwärme schon betriebsintern genutzt wird. Fragebögen (wie z. B. StMUG, 2012) bieten bei der Datenerhebung Orientierung. Die Parameter der Abwärmequellen müssen nicht notwendigerweise durch aufwendige Messungen bestimmt werden, da sie oftmals in technischen Unterlagen, Emissionsberichten o. ä. dokumentiert sind oder auf Basis vorhandener Daten berechnet werden können. Beispielsweise lässt sich die Abwärme einer Konversionsanlage anhand ihres Strom- bzw. Brennstoffverbrauchs sowie ihres Nutzungsgrads abschätzen. Übersichtstabellen zu möglichen Daten für Abwärmequellen sowie Berechnungshilfen, anhand derer Abwärmeleistungen aus meist verfügbaren Daten ermittelt werden können, finden sich im *Leitfaden zur Abwärmennutzung in Kommunen* (LfU, 2008) und im *Leitfaden Wärmelandkarte* (StMUG, 2012). Darüber hinaus sollte geprüft werden, welche Maßnahmen mittel- und langfristige geplant sind, die zu einer Verminderung der Abwärmemenge führen könnten (s. Abschnitt 11.3.6)

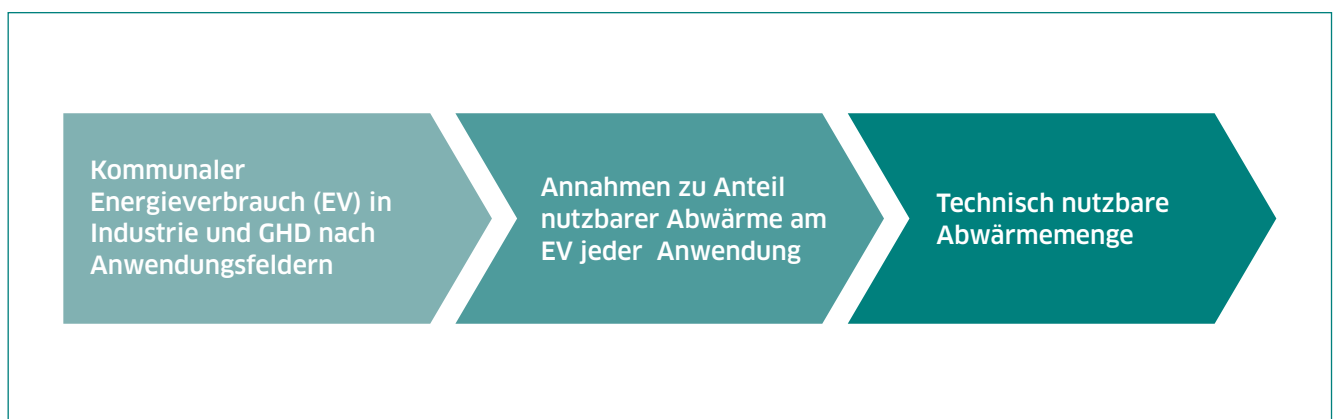


Abbildung 11-6: Flussdiagramm zur Grobabschätzung der anfallenden Abwärmemenge in der Kommune

Prinzipiell sollte bei Verfügbarkeit von Abwärme zunächst eine – verstärkte – betriebsinterne Nutzung geprüft werden (Wärme-, Strom- und Kälteerzeugung, s.o.). Dazu ist es erforderlich, Wärme- und Kältesenken innerhalb des Unternehmens zu identifizieren – sinnvollerweise ebenfalls während einer Betriebsbegehung – und anhand ihrer relevanten Eigenschaften (s.o.) zu charakterisieren. Hierbei sind Fragebögen hilfreich (StMUG, 2012), die auch Hinweise auf mögliche Datenquellen enthalten.

Erst wenn die verfügbare Abwärme die innerbetrieblichen Nutzungsmöglichkeiten übersteigt, sollten auch externe Wärme- und Kältesenken im Umfeld der Abwärmequelle ausfindig gemacht werden, die über existierende oder neu zu erschließende Wärmenetze oder mobile Wärmetransportsysteme zu versorgen wären. Größere, potenzielle „Schlüsselabnehmer“ wie benachbarte Gewerbe- oder Industriebetriebe sollten nach ihren technischen Anforderungen an eine Wärme- oder Kälteversorgung befragt werden. Ein entsprechender Fragebogen findet sich im *Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen* (LfU, 2008). Darüber hinaus kann eine Versorgung von Siedlungsgebieten in Betracht gezogen werden. Zur Ermittlung der Nutzenergiebedarfe von Siedlungsarealen für Raumwärme und Warmwasser sei auf Kapitel 10 verwiesen.

Die methodische Vorgehensweise zur Bestimmung kommunaler Nutzungspotenziale von Abwasserwärme ist in *Potenziale und technische Optimierung der Abwasserwärmenutzung* (FiW, 2013) detailliert dargestellt.

Die Auswertung von Good-Practice-Beispielen (z. B. GET.Min, 2015; Heatloop, 2015) zur betriebsübergreifenden Abwärmenutzung in Industrie- und Gewerbegebieten hat gezeigt, dass die Kommunen bei der Aufgabe des Source-Sink-Matching, also der Passung von Abwärmeangebot und -nachfrage, wichtige Schlüsselakteure sind. Von zentraler Bedeutung ist häufig, dass ein „Kümmerer“ (z. B. Masterplan-Manager, „Parkranger“), der regional verankert ist und das Vertrauen der unterschiedlichen Akteure genießt, als Ansprechpartner zur Verfügung steht.

Erste Hinweise auf sinnvolle Verknüpfungsoptionen von Wärmequellen und Wärme- bzw. Kältesenken bietet ein Abgleich ihrer energetischen Eigenschaften (Temperaturniveau, Leistung, Wärmemenge, zeitliches Profil etc.). Wesentlich ist zudem, die räumliche Entfernung zwischen Quelle und Senke zu beachten. Hier ist die Nutzung einer GIS-Software hilfreich, um Abwärmemengen und Wärmebedarf, deren Qualitäten

sowie ggf. vorhandene Wärmenetze in einem räumlichen Kontext darstellen und analysieren zu können (s. StMUG, 2012). Möglicherweise erschließt eine solche Analyse auch kaskadenförmige Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme.

Für die Bereitschaft von Betrieben, Abwärme für externe Nutzung bereitzustellen, ist eine Wirtschaftlichkeitsanalyse wichtig, wie sie überschlägig nach dem *Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen* (LfU, 2008) vorgenommen werden kann. Best-Practice-Beispiele zur Abwärmenutzung in Betrieben und Kommunen finden sich in verschiedenen Veröffentlichungen (u. a. in LfU, 2008; SAENA, 2012; IFEU, 2010; ReWIn, 2014; ISI, 2013a). Hemmnisse, fördernde Faktoren und Handlungsempfehlungen für Entscheidungsträger werden in zwei Abhandlungen (IFEU, 2010; ISI, 2013a) ausführlicher diskutiert, sind aber aufgrund der regulatorischen Zuständigkeiten nur teilweise für die Kommunen selbst relevant.

11.3.6 Langfristig-strategische Herausforderungen der Abwärmenutzung in Masterplänen

Bei der Erarbeitung der Masterpläne müssen insbesondere für die externe Abwärmenutzung die **langfristige strukturelle Entwicklung der Kommune** und **Wechselwirkungen mit notwendigen Masterplan-Maßnahmen** ausreichend berücksichtigt werden: Für die Abwärmequelle ist eine langfristige Versorgungssicherheit erforderlich, für die Abwärmesenke ein langfristig gesicherter Bedarf. Folgendes ist dabei zu beachten:

- Betriebliche Effizienz- und Energiemanagement-Maßnahmen einschließlich neuer Produktionsverfahren reduzieren i.d.R. auch nutzbare Abwärmemengen und -temperatur (und damit ggf. die Nutzbarkeit in Wärmenetzen oder zur Kälteerzeugung).
- Aus der Priorität betriebsinterner Abwärmenutzung folgt, dass Abwärme oft vorwiegend im Sommer an externe Verbraucher abgegeben werden kann. Dieser Effekt verstärkt sich mit zunehmender betrieblicher Effizienz.
- Eine Elektrifizierung der (Prozess-) Wärme-erzeugung (s. Abschnitt 11.2) reduziert verfügbare Abwärme aus Kesselabgasen.
- Ein Wandel der kommunalen Industrie- und Gewerbestruktur kann den Wegfall von Abwärmequellen bedeuten.
- Die notwendige energetische Gebäudesanierung

senkt die Wärmebedarfsdichte eines Quartiers ggf. unter das für den Betrieb eines Nahwärmenetzes erforderliche Niveau (s. Kapitel 14.5).

- Andererseits lässt eine umfassende Quartierssanierung eine Absenkung von Wärmenetztemperaturen (in Richtung Low-Ex-Netze) zu. Dies erweitert die Anwendungspotenziale für Abwärme erheblich, da dann auch für den bislang wenig erschlossenen Bereich der Niedertemperatur-Abwärme potenzielle Senken zur Verfügung stehen würden.
- Abwärmemengen, die heute aus technischen und ökonomischen Gründen noch nicht genutzt werden können, können ggf. zukünftig (teilweise) nutzbar gemacht werden.

Trotz dieser Herausforderungen gilt für den Umbau des Systems, dass sowohl kurz- als auch langfristig

Abwärmennutzung und KWK-Wärme – ggf. auch nur als Übergangslösung in einem flexibel speisbaren Nahwärmesystem – wichtige Möglichkeiten für die Emissionsminderung darstellen.

11.3.7 Methodische Aspekte der Endenergiebilanzierung

Die intelligente Nutzung von Abwärme trägt zur Deckung der Nutzenergiebedarfe (Wärme, Kälte, ggf. auch Strom) in der Kommune bei. Die genutzte Abwärme selbst fließt dabei nicht in die Endenergiebilanz ein, sondern ausschließlich der Endenergiebedarf derjenigen Prozesse, welche die Abwärme verursacht haben. Abwärmennutzung reduziert somit den kommunalen Endenergieverbrauch und damit verbundene CO₂-Emissionen.

Was liegt am Ende dieses Arbeitsschrittes vor?

- ✓ Identifikation von Abwärmequellen aus Industrie- und Gewerbebetrieben sowie Abwässern innerhalb der Kommune
- ✓ Abschätzung heutiger und zukünftiger nutzbarer Abwärme
 - Menge pro Jahr
 - Charakteristik (Temperatur, zeitlicher Verlauf, Wärmeträgermedium, ...)
 - Räumliche Zuordnung der Abwärmequellen innerhalb der Kommune
- ✓ Konkretisierung betrieblicher und kommunaler Optionen zur Abwärmennutzung im Masterplan
 - Betriebsinterne Nutzung (Reintegration in Ausgangsprozess, Integration in andere Prozesse)
 - Kälteerzeugung (intern oder für öffentliches Kältenetz)
 - Stromerzeugung
 - Externe Nutzung für Niedertemperatur-Wärmeversorgung

Dokumentation im Masterplan für Schritt 8

- ✓ Ist-Stand Abwärmemengen, -charakteristika und räumliche Verteilung (einschließlich Berechnungsmethodik und Zwischenergebnisse)
- ✓ Zukünftige Potenziale der Abwärmennutzung für postfossile Energieversorgungsoptionen, wie sie sich aus dem Ist-Stand und Annahmen zur zukünftigen Industrie- und Gewerbebestruktur der Kommune ergeben (einschließlich Berechnungsmethodik und Zwischenergebnisse)

12 Masterplan-Schritt 9: Heutige und zukünftige Mobilitätsversorgung

Was ist in Schritt 9 der Masterplan-Entwicklung zu tun?

Dieser Schritt dient der Erfassung gegenwärtiger Mobilitätsbedarfe und -versorgung. Dabei ist zunächst das Bilanzierungsmodell zu wählen. Hier stehen das Territorialprinzip und das Einwohnerprinzip zur Auswahl. Für die Bilanzierung nach dem Territorialprinzip wird der Klimaschutz-Planer angewendet. Sollen die Analysen vertieft und der lokale Modal Split hinzugezogen werden, kann eine Bilanzierung nach Einwohnerprinzip erfolgen, um den gegenwärtigen und zukünftigen Mobilitätsbedarf abzubilden.

In Deutschland verursacht der Verkehrssektor knapp 20 % der Treibhausgas-Emissionen, von denen fast 95 % durch den Straßenverkehr, d.h. Pkw und Lkw entstehen. Auch wenn Pkw und Lkw aufgrund technischer Verbesserungen bei den Fahrzeugen pro gefahrenen Kilometer heute im Durchschnitt weniger Treibhausgase und Luftschadstoffe emittieren als früher, sind die CO₂-Emissionen des Verkehrs nur leicht gesunken. Grund dafür ist, dass die Verkehrsleistung, also die zurückgelegten Kilometer, im Personen- und Güterverkehr in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen haben. Dieses Spannungsfeld macht deutlich, dass der Verkehrssektor vor besonderen Herausforderungen steht, um seinen Beitrag zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung zu leisten.

Es wird auch deutlich, dass technische Verbesserungen bei den Fahrzeugen alleine nicht ausreichen werden, um die Herausforderungen im Verkehrssektor zu lösen und die klima- und energiepolitischen Ziele der Bundesregierung zu erreichen. Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen und energieeffizienten Mobilität spielen insbesondere auch die Strategien und Maßnahmen eine zentrale Rolle, die Verkehr reduzieren und Verkehr auf umweltverträglichere und effizientere Verkehrsträger verlagern.

Es gibt unterschiedliche Vorgehensweisen, um den Energiebedarf und die resultierenden CO₂-Emissionen zu erheben und für die Zukunft fortzuschreiben. Das IFEU hat die Vor- und Nachteile der gängigen Methoden (Einwohnerbilanz, Territorialbilanz, Binnen-/Quell-/Zielbilanz und Energiebilanz) in seinen Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgas-Bilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland gegenübergestellt und erläutert.

Die Methoden unterscheiden sich wesentlich vor allem hinsichtlich der Eignung für die jeweiligen Bilanzierungsziele und der benötigten Daten. In der Gesamtbewertung empfiehlt das IFEU die Bilanzierung nach Territorialprinzip. Solch eine Territorialbilanz berücksichtigt die Emissionen des gesamten motorisierten Verkehrs innerhalb der administrativen Grenzen der Kommune, unabhängig davon, ob es sich um die Verkehre der Einwohner handelt oder die Verkehre von Besuchern oder Einpendlern. Ab 2016 stellt der Klimaschutz-Planer des IFEU jeder Kommune in Deutschland die erforderlichen Daten für eine solche Territorialbilanz zur Verfügung. Im Rahmen dieser Territorialbilanz sind Aussagen zur Verkehrsleistung differenziert nach Personen- und Güterverkehr sowie Verkehrsmitteln und den verkehrsbedingten CO₂-Emissionen möglich. Aufgrund der einheitlichen Daten im Klimaschutz-Planer wird den Masterplan-Kommunen empfohlen, den Verkehrssektor nach dem Territorialprinzip zu bilanzieren. Im KomRev-Projekt wurde hingegen eine Bilanz nach dem Einwohnerprinzip erstellt. Diese Bilanz berücksichtigt die Emissionen der Verkehre sämtlicher Einwohnerinnen und Einwohner des Untersuchungsgebietes unabhängig davon, ob die Verkehre im Stadtgebiet oder außerhalb des Stadtgebietes entstehen. Ausschlaggebend für diese Vorgehensweise war das Vorhandensein sehr spezifischer Daten zum Mobilitätsverhalten der Bevölkerung Rheines, die in einer umfassenden Befragung durch den Landkreis Steinfurt erhoben worden sind. Kommunalspezifische Mobilitätsdaten bieten die Möglichkeit, besondere Probleme zu identifizieren und geeignete Strategien und Maßnahmen für die Zukunft zu entwickeln. Sollten in einer Masterplan-Kommune vergleichbare Daten zum Mobilitätsverhalten der Bevölkerung vorliegen bzw. bei

der Entwicklung des Masterplans ein Schwerpunkt auf dem Bereich Verkehr liegen, so wird empfohlen, ergänzend zur Territorialbilanz wie im KomRev-Projekt eine Einwohnerbilanz zu erstellen. Daher wird nachfolgend das methodische Vorgehen am Beispiel KomRev erläutert.

Entgegen einer weit verbreiteten Ansicht kommunaler Akteure existieren für den Bereich des Personenverkehrs viele kommunale Handlungsansätze und Steuerungsinstrumente, die einen Beitrag zu einem klimafreundlichen Verkehr leisten können, während der Güterverkehr – insbesondere mit schweren Nutzfahrzeugen – kaum im Handlungsbereich der Kommunen liegt. Der Güterverkehr ist daher auch nicht Gegenstand der hier näher beschriebenen Betrachtung nach dem Einwohnerprinzip.²⁰ Ferner wird der Flugverkehr, d.h. in diesem Fall die Flüge, die von den Einwohnerinnen und Einwohnern der Masterplan-Kommune unternommen werden, nicht weiter betrachtet, da auch hier kein wesentlicher kommunaler Einflussbereich vorliegt.

Bei der Auswahl geeigneter Strategien und Maßnahmen sind die unterschiedlichen räumlichen und siedlungsstrukturellen Ausgangsbedingungen, demografischen Entwicklungen sowie infrastrukturellen Voraussetzungen zu berücksichtigen.

12.1 Erfassung der Ist-Situation Mobilität

Basis für die Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen zur Förderung einer klimaschonenden Mobilität in der Kommune sind die Analyse des Verkehrsangebotes und die Feststellung des Status quo des Mobilitätsverhaltens der Bevölkerung. Zu den Aufgaben der Kommune gehört es, außer Art und Umfang der von der Bevölkerung genutzten verschiedenen Verkehrsmittel (Pkw, Pkw-Mitfahrer, ÖPNV, Fahrrad, Fuß) auch die zurückgelegten Wegelängen, den vom motorisierten Verkehr verursachten Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen zu erheben. Ferner ist es Aufgabe der Kommune, eine Bestandsanalyse der Nutzungsbedingungen von Pkw, ÖPNV, Rad- und Fußverkehr durchzuführen.

²⁰ Nichtsdestotrotz kann der Güterverkehr je nach spezifischen Gegebenheiten für eine Kommune eine große Rolle spielen. Wenn dies in einer Masterplan-Kommune der Fall ist, sind bei der späteren Entwicklung von Maßnahmen durchaus auch güterverkehrsspezifische Maßnahmen denkbar, die beispielsweise eine interkommunale Zusammenarbeit und Abstimmung fördern. Da sich der Erhebungsaufwand der benötigten Daten jedoch noch einmal grundlegend von dem im Personenverkehr unterscheidet, kann hierauf an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden.

Hierbei ist auch eine Ortsbegehung zu empfehlen, in deren Rahmen eine Bestandsanalyse der Qualität und Quantität der Infrastruktur für MIV, ÖPNV, Rad- und Fußverkehr durchgeführt wird. Darüber hinaus sind Informationen zu derzeitigen siedlungsstrukturellen Rahmenbedingungen, der Nahraumversorgung in den verschiedenen Teilräumen der Stadt sowie ggf. zu möglichen kommunalen Besonderheiten, die einen signifikanten Einfluss auf das Verkehrsgeschehen haben, zu erheben. Auf diese Weise lassen sich die generellen Nutzungsbedingungen für die verschiedenen Verkehrsmittel feststellen sowie Hemmnisse identifizieren, die einer stärkeren Nutzung klimaschonender Verkehrsmittel wie dem ÖPNV, dem Fahrrad oder dem Zufußgehen derzeit noch entgegenwirken.

Insgesamt hat die Erfassung der Ist-Situation zum Ziel, in der Kommune Stärken und Schwächen des bestehenden Mobilitätsangebotes, Mobilitätsbedürfnisse sowie Handlungsbedarfe und -möglichkeiten für eine klimaschonendere Mobilität zu identifizieren.

Die Analyse des Mobilitätsverhaltens der Einwohnerinnen und Einwohner der Kommune liefert die Daten, um eine fortschreibbare Energiebilanz für den Verkehr zu erstellen. Diese Bilanz ist zentraler Baustein der Klimaschutzarbeit der Kommune und kann besonders relevante Handlungsfelder innerhalb des Verkehrs identifizieren. Die Bilanz ist darüber hinaus die Grundlage für die Erstellung von Szenarien zur möglichen zukünftigen Entwicklung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen des Verkehrs und liefert über ihre Fortschreibung Erkenntnisse über die Erfolge (und gegebenenfalls Misserfolge) der Klimaschutzaktivitäten der Kommune.

Auch wenn sich die Bilanzierung nach dem Einwohnerprinzip auf die zurückgelegten Wege konzentriert und infolgedessen die späteren Maßnahmen zunächst auf das Mobilitätsverhalten der Einwohnerinnen und Einwohner zielen, können sich die Maßnahmen auch auf die nicht bilanzierten Einpendler²¹ – und Besucherverkehre positiv auswirken. Ortsspezifische Daten über das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung für die Erstellung der Bilanz sind zudem von erheblichem Vorteil, wenn passende Strategien identifiziert und geeignete Maßnahmen ausgearbeitet werden. Das bei der Bilanzierung in vielen Kommunen praktizierte Ausweichen auf Bundesdurchschnittswerte, wenn die

²¹ Maßnahmen zur Beeinflussung der Pendlerströme liegen in erster Linie im Einflussbereich der Quellkommune. Insofern ist der Handlungsspielraum der Zielkommune begrenzt. Hilfreich könnte auch hier eine insgesamt verbesserte interkommunale Zusammenarbeit sein.

kommunenspezifischen Daten lückenhaft sind, kann Ergebnisse verzerren oder den Blick von wichtigen Handlungsfeldern ablenken und sollte daher möglichst vermieden werden.

Relevant für die Feststellung des Status quo und die Erstellung der Energiebilanz für den Personenverkehr sind

- die Gesamtverkehrsleistung Pkw, jeweils getrennt nach Antriebsart (Fahrzeugkilometer, Personenkilometer)
- die Verkehrsleistung Bus, Straßenbahn, Stadtbahn, Schienenpersonennahverkehr (SPNV) und ggf. Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) (Fahrzeugkilometer) und
- die jeweils resultierenden Energieverbräuche der verschiedenen Verkehrsmittel

Weitere insbesondere für die Entwicklung von Strategien und Maßnahmen und die Fortschreibung der Bilanz relevante Informationen sind

- der Pkw-Bestand im Untersuchungsgebiet, getrennt nach Antriebsart
- ein nach Wegelängen differenzierter Modal Split²²
- der Anteil der einzelnen Wegelängen an der Gesamtzahl der Wege
- die nach Verkehrsmittel differenzierten Wegezwecke
- die Pkw-Verfügbarkeit der Bürgerinnen und Bürger
- die Quantität und Qualität des ÖPNV-, Rad- und Fußwegenetzes sowie
- der Besetzungsgrad Pkw und ÖPNV

Zur Erhebung ortsspezifischer (Mobilitäts-) Kennzahlen ist eine Mobilitätsbefragung der Einwohnerinnen und Einwohner ein gut geeignetes Mittel. Der Masterplan-Manager sollte sich bei seiner Verwaltung erkundigen, ob eine solche Analyse in jüngerer Zeit bereits durchgeführt worden ist. Oftmals sind es die Kreisverwaltungen, die Befragungen dieser Art durchführen (lassen) und den kreisangehörigen Kommunen gemeindespezifische Auswertungen zur Verfügung stellen können. Ist auf Kreisebene bis dato keine Mobilitätsbefragung durchgeführt worden, wäre mittelfristig eine kreisweite anstelle einer kommunalen Befragung zu empfehlen. Es gilt jedoch zu beachten, dass solch eine Untersuchung mit einem nicht unerheblichen zeitlichen, personellen

und finanziellen Aufwand verbunden sein kann. Auch müsste sichergestellt sein, dass das Untersuchungsdesign kommunalspezifische Auswertungen der kreisweiten Befragung gewährleisten kann. Sollen externe Dienstleister mit der Durchführung der Befragung beauftragt werden, ist darauf zu achten, dass sie entsprechende Erfahrungen aufweisen können, insbesondere bei der Erstellung von Fragebögen, der Durchführung und Auswertung der Befragung sowie der Aufbereitung der Ergebnisse.

Sollte bisher keine Befragung durchgeführt worden sein, wird vor dem Hintergrund des engen Zeitfensters zur Erstellung der Masterpläne nicht empfohlen, dies noch im Vorfeld zu tun. Mittelfristig wäre sie für die Masterplan-Kommunen jedoch absolut empfehlenswert, da kommunalspezifische Mobilitätsdaten eine gute Grundlage bieten, um Handlungsbedarfe und Probleme zu identifizieren und für die Kommune besonders geeignete Maßnahmen zu entwickeln. Viele online dokumentierte Ergebnisse von Mobilitätsbefragungen geben Hinweise zur Erstellung von Fragebögen, der Abschätzung des notwendigen Stichprobenumfangs, zur Kommunikation der Befragung gegenüber der Bevölkerung, der Durchführung und Auswertung und vielem mehr. Es wird empfohlen, die Stichprobenhaushalte sowohl schriftlich als auch telefonisch zu befragen. Im Rahmen der Mobilitätsbefragung sollte beispielsweise ein individuelles Wegeprotokoll für den vorgegebenen Stichtag erstellt werden. Anhand des Wegeprotokolls werden die zurückgelegten Wege, Angaben zu Start- und Zielpunkt der Wege, die Wegezwecke und die jeweils genutzten Verkehrsmittel abgefragt.

Generell bietet solch eine Untersuchung neben einer quantitativen Datenabfrage auch die Möglichkeit, qualitative Aspekte zur Mobilität in der Kommune abzufragen, beispielsweise wie die Bevölkerung das derzeitige Mobilitätsangebot bewertet, wo sie Schwächen bei den verschiedenen Verkehrsmitteln sieht und wo Stärken. Dieser qualitative Baustein kann weitere wertvolle Hinweise auf mögliche Handlungsbedarfe, Handlungsschwerpunkte und potenzielle Maßnahmen liefern.

Kommunen stehen zur Ergänzung der für die Bilanz erforderlichen Datenerhebung mittels Befragung jedoch noch weitere Quellen zur Verfügung:

- Flottenzusammensetzung nach Antriebsart: Daten bietet hier die zuständige Kfz-Zulassungsstelle oder das Kraftfahrtbundesamt.

²² Modal Split = Verteilung des Verkehrsaufkommens (Anzahl der Wege) auf die Verkehrsmittel

- Bus, Straßenbahn, Stadtbahn, Schienenpersonennahverkehr (SPNV) und ggf. Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) (Fahrzeugkilometer): Datenquelle sind hier die bedienenden Verkehrsunternehmen.
- Der jeweils resultierende Energieverbrauch der verschiedenen Verkehrsmittel: Datenquelle sind auch hier die Verkehrsunternehmen.

Erstellung der Energiebilanz und Ableitung resultierender CO₂-Emissionen

Will eine Masterplan-Kommune ergänzend zur Territorialbilanz eine Bilanz nach dem Einwohnerprinzip erstellen, so ist die Jahresverkehrsleistung, die von der Bevölkerung der Kommune mit den verschiedenen Verkehrsmitteln erbracht wird, die maßgebliche Datenbasis. Für die bilanziell relevanten motorisierten Verkehrsmittel lassen sich über die Verknüpfung der jeweiligen Verkehrsleistungen mit den Emissionsfaktoren die spezifischen Energiebedarfe und die damit verbundenen CO₂-Emissionen ableiten. Die Emissionsfaktoren können den Energieszenarien der Bundesregierung (EWI, 2010) entnommen werden.

- Beispielhafter Berechnungsschritt zur Bestimmung der verkehrlichen Gesamtemissionen:
Verkehrsleistung des jeweiligen Verkehrsmittels × spez. Energieverbrauch (Fzkm, Pkm) × spez. Emissionsfaktor

Die Energie- und CO₂-Bilanz sowie die Ergebnisse einer bereits erfolgen oder noch durchzuführenden qualitativen Befragung liefern der Kommune wertvolle Hinweise, wie die Bedingungen für eine klimaschonende Mobilität verbessert werden können.

12.2 Zukünftige Versorgungsoptionen Mobilität

Um die Treibhausgas-Emissionen bis 2050 um 95 % zu senken und auch im Verkehrsbereich (nahezu) CO₂-Neutralität zu erreichen, sind Verbesserungen an den Fahrzeugen bzw. Änderungen bei den eingesetzten Kraftstoffen und Antriebstechnologien allein nicht ausreichend. Für eine umfassende Verkehrswende sind Strategien, Maßnahmen und Instrumente notwendig, die die Effizienz auf verschiedenen Ebenen innerhalb des Verkehrssektors erhöhen

- Erhöhung der Systemeffizienz, d.h. eine Reduzierung der zurückgelegten Kilometer durch kürzere

oder weniger Wege

- Erhöhung der Reiseeffizienz, d.h. die Verlagerung auf effizientere Verkehrsmittel
- Erhöhung der Fahrzeugeffizienz, d.h. technische Effizienzsteigerungen an den Fahrzeugen, Nutzung alternativer Kraftstoffe und Antriebstechnologien sowie
- Effizienzsteigerungen organisatorischer Art, d.h. Effizienzsteigerungen im Verkehrsfluss durch organisatorische Optimierungen, Erhöhung des Besetzungsgrades sowie Maßnahmen aus dem Bereich des Verkehrsmanagements

Dieses Spektrum unterschiedlicher Strategien beinhaltet auch eine grundlegende Veränderung des (individuellen) Mobilitätsverhaltens. So wird zukünftig den Verkehrsmitteln des Umweltverbundes²³ und hier insbesondere auch den nicht-motorisierten Verkehrsarten erheblich mehr Bedeutung zukommen müssen, während es bei den motorisierten Verkehrsmitteln auch um neue Nutzungsformen (z. B. Carsharing-Modelle) geht.

Zentrale Maßnahmenbereiche auf kommunaler Ebene, die das Verkehrsgeschehen prägen und beeinflussen können, sind

- die Siedlungsentwicklung (Nachverdichtung, Nutzungswandel im Bestand, Revitalisierung von innerstädtischen Brachflächen, ggf. Aufgabe peripherer Siedlungen)
- die Nahraumversorgung (Sicherstellung einer flächendeckenden Nahversorgung in fußläufiger oder Fahrraddistanz)
- Qualität und Umfang des öffentlichen Verkehrsangebotes sowie
- Qualität und Umfang der Radwege- und Fußwegeinfrastruktur

Zur klimaschonenden Gestaltung der Verkehre, die Kommunengrenzen überschreiten, sollten unbedingt die Nachbarkommunen sowie regionale Akteure wie beispielsweise der Landkreis, Planungsverbände oder Verkehrsverbände in die Planungen eingebunden werden.

²³ Der Umweltverbund setzt sich aus den Verkehrsmitteln des öffentlichen Verkehrs sowie dem Rad- und Fußverkehr zusammen.

Die folgende Grafik stellt einen Ausschnitt der vielfältigen Wechselwirkungen in der intersektoral gekoppelten Masterplan-Zielvision aus Sicht des Verkehrsversorgungssystems dar. Die Entscheidung, welche der denkbaren alternativen Antriebstechnologien besonders gefördert werden sollen, wird nicht zwingend auf kommunaler Ebene getroffen, sondern vielmehr auf Landes-, Bundes- oder europäischer Ebene. Dennoch fällt der Kommune die Aufgabe zu, die Verkehrsnachfrage anzupassen bzw. den Energiebedarf des Verkehrs zu mindern sowie die erforderliche Versorgungsinfrastruktur wie beispielsweise Ladesäulen

bereitzustellen. Diese Aktivitäten der Kommune wirken sich unmittelbar auf andere Sektoren, beispielsweise das Stromversorgungssystem, aus.

In der hier aufgezeigten Variante wurden Elektrofahrzeuge und die Herstellung synthetischer Kraftstoffe als Versorgungsoptionen zukünftiger Mobilität angenommen. Ebenso gut sind in der Masterplan-Entwicklung die Wahl und die Kombination anderer Versorgungsoptionen und präferierter Antriebssysteme möglich.

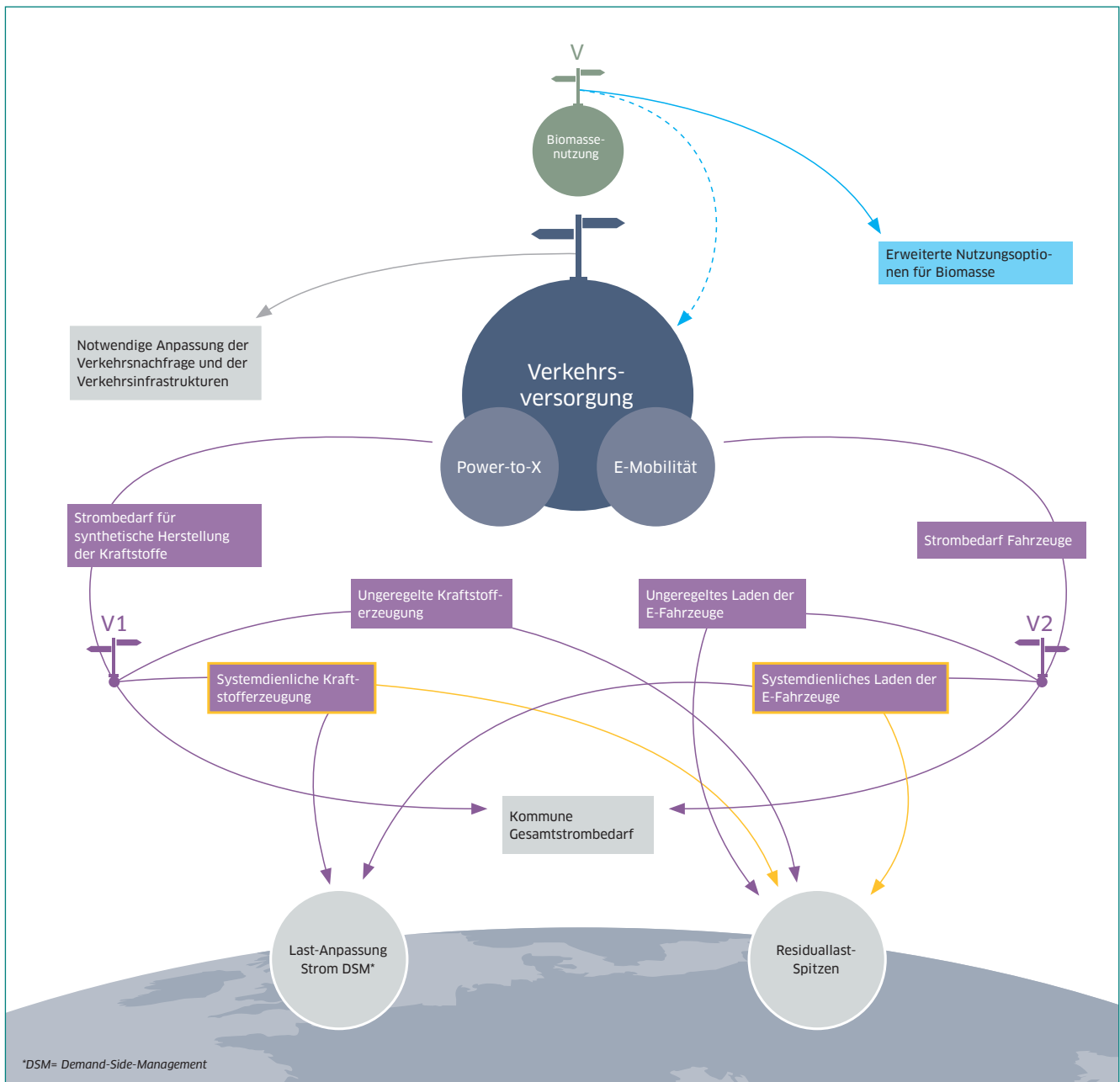













Abb. 12-1: Wechselwirkungen in einem intersektoral vernetzten Verkehrsversorgungssystem

SYMBOL	BEZEICHNUNG	BEDEUTUNG
	Zentrale Entscheidungs-bereiche	Entscheidungen für die Potenzialnutzung oder Versorgung in diesen Bereichen bewirken vielfältige Wechselwirkungen im System.
	Kreis	Kopplungspunkte der Sektoren
	Rechteck	Energiebedarfsbereich
	Gestrichelter Pfeil	Biomassepotenzial wird hier grundsätzlich nicht für die Kraftstoffherzeugung eingesetzt, könnte jedoch in anderen Zielvisionen dafür verwendet werden (s. Kapitel 13.2).
	Durchgezogener Pfeil	Cyan-Blau: Energieabgabe an
	Durchgezogener Pfeil	Violett: steigernde Wirkung
	Durchgezogener Pfeil	Gelb: mindernde Wirkung
	Durchgezogener Pfeil	Grau: Anforderung an
	Zentrale Entscheidungs-/Entwicklungsoption	Verkehrsversorgung ohne Biomasse (Biokraftstoffe), nur Einsatz von E-Mobilität und EE-Synthese-Kraftstoffen (s. Kapitel 13.4)
	Nachgeordnete Entscheidung	Systemdienliche Steuerung der Kraftstoffherzeugung (s. Kapitel 15.2.1)
	Nachgeordnete Entscheidung	Systemdienliches Be-/Entladen der E-Kfz-Batterien (s. Kapitel 15.2.1)

Vorgehensweise bei der Planung einer Zukunftsentwicklung Verkehr

Für die Szenarioentwicklung im Handlungsfeld Personenverkehr sind zunächst relevante Rahmendaten zu definieren: beispielsweise die prognostizierte Bevölkerungsentwicklung, die zukünftige Zahl der zurückgelegten Wege, der angestrebte Modal Shift, die Anzahl der in 2050 in der Kommune zugelassenen Pkw differenziert nach Antriebssystem, die Effizienzentwicklung der Antriebssysteme für Pkw und ÖPNV, die Entwicklung der mit dem Pkw, dem ÖPNV, dem Fahrrad oder zu Fuß zurückgelegten Wegelängen und die Entwicklung der Emissionsfaktoren für die verschiedenen im Jahr 2050 im motorisierten Personenverkehr voraussichtlich genutzten Energieträger. Im Folgenden werden die einzelnen, zur Fortschreibung erforderlichen Schritte aufgezeigt und Hinweise gegeben, an welcher Stelle eigene Annahmen und Abschätzungen getroffen werden müssen und an welcher Stelle auf andere Studien und Untersuchungen Bezug genommen werden kann.

Schritt 1: Abschätzung der Bevölkerungsentwicklung

Zur Abschätzung der Bevölkerungsentwicklung, die letztlich auch für die anderen Handlungsfelder eine wichtige Rolle spielt, können die Bevölkerungsprognosen der Landesstatistik genutzt werden (s. Kapitel 8). Die absolute Zahl der Bevölkerung wird im weiteren Verlauf zur Berechnung des Mobilitätsbedarfs bzw. des zukünftigen Verkehrsaufwandes benötigt.

Schritt 2: Annahmen und Rahmenbedingungen für die Mobilität in 2050 – Abschätzung der Entwicklung der Wegezanzahl

In der Regel wird dabei davon ausgegangen, dass sich die Mobilitätsrate, d.h. die durchschnittliche Wegezanzahl pro Tag und Person bis 2050 nicht wesentlich verändert, da diese in langen Zeitreihen relativ konstant geblieben ist. Im Bundesdurchschnitt liegt die Mobilitätsrate bei 3,4 Wegen pro Tag und Person bzw. bei 3,8 Wegen pro Tag und mobile Person (vgl. MID, 2008). Lediglich in Kommunen, die im Verhältnis zum Bundesdurchschnitt eine deutlich niedrigere Mobilitätsrate haben, ist zu überlegen, ob bei der Fortschreibung eine Angleichung stattfinden sollte.

Je nach Ausgangslage und Entwicklungsaussichten können sich hier die Herausforderungen

unterscheiden. Bei Kommunen mit sinkender Bevölkerungszahl nimmt das Verkehrsaufkommen (= Gesamtanzahl der Wege) voraussichtlich ab, sodass einerseits aufgrund der niedrigeren Bevölkerungszahl der verkehrliche Gesamtenergiebedarf und die CO₂-Emissionen zukünftig zunächst vermutlich sinken müssten. Andererseits stehen schrumpfende Kommunen jedoch der Herausforderung gegenüber, dass eine sinkende Nachfrage oftmals auch Angebotsreduzierungen nach sich ziehen, sodass es zu einem Zielkonflikt zwischen sinkender Nachfrage und einer notwendigen quantitativen und qualitativen Verbesserung von öffentlichen Mobilitätsangeboten kommt; Wege könnten länger werden, sodass sie nur noch schwer zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt werden können. Dies könnte eintreten, wenn sich beispielsweise Einrichtungen des täglichen Bedarfs aus der Fläche zurückziehen oder Schulen geschlossen bzw. zusammengelegt werden. Wachsende Kommunen stehen hingegen vor der Herausforderung, dass aufgrund einer steigenden Bevölkerungszahl zunächst auch das Verkehrsaufkommen, d.h. die Anzahl der Wege, und somit auch Energiebedarf und CO₂-Emissionen ansteigen.

Während die Mobilitätsrate in der Regel für 2050 konstant gehalten wird, wird jedoch davon ausgegangen, dass sich die durchschnittlichen Wegelängen in 2050 beispielsweise durch verkehrssparende Siedlungsentwicklung, Verbesserung der Nahversorgung u. ä. verkürzen lassen. Kürzere Wege haben dabei zwei positive Effekte hinsichtlich der Energie- und Klimabilanz: Erstens reduziert sich die Verkehrsleistung, wenn beispielsweise für den Einkauf nicht mehr ins nächste Zentrum gefahren werden muss, sondern eine Nahversorgung im Stadtteil möglich ist. Somit sinken der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen aufgrund der „eingesparten Strecke“. Zweitens und mindestens ebenso bedeutend ergeben sich neue Möglichkeiten, wie man an sein Ziel kommt. Indem sich Wege verkürzen lassen, stehen alternative Fortbewegungsarten zur Verfügung. Beispielsweise können Einkaufswege mit dem Rad oder zu Fuß zurückgelegt werden, statt das Auto zu nutzen. Durch diese Verlagerung auf nicht-motorisierte Verkehrsmittel lassen sich Energiebedarf und CO₂-Emissionen für diese Wege auf Null senken.

Um dieses Potenzial abzuschätzen, ist eine wegelängenspezifische Betrachtung des gegenwärtigen und zukünftigen Modal Splits erforderlich.

Schritt 3: Wegelängenspezifische Betrachtung der gegenwärtigen und zukünftigen Verkehrsleistung

Bei der Analyse der Ist-Situation ist bereits darauf hingewiesen worden, dass eine wegelängenspezifische Betrachtung des kommunalen Modal Splits eine wesentliche Voraussetzung ist, um bei der Szenarioentwicklung mögliche Verlagerungspotenziale auf Verkehrsmittel des Umweltverbunds zu identifizieren. Dabei ist es einerseits wichtig zu ermitteln, welchen Anteil die einzelnen Wegelängenkategorien an allen Wegen in der Kommune haben, beispielsweise wie viele Wege kürzer als 1 km oder zwischen 1 und 5 km lang sind, und andererseits, wie sich der spezifische Modal Split in den jeweiligen Wegelängenkategorien zusammensetzt, das heißt, wie viele Wege zu Fuß, mit dem Fahrrad, mit dem Auto oder mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegt werden.

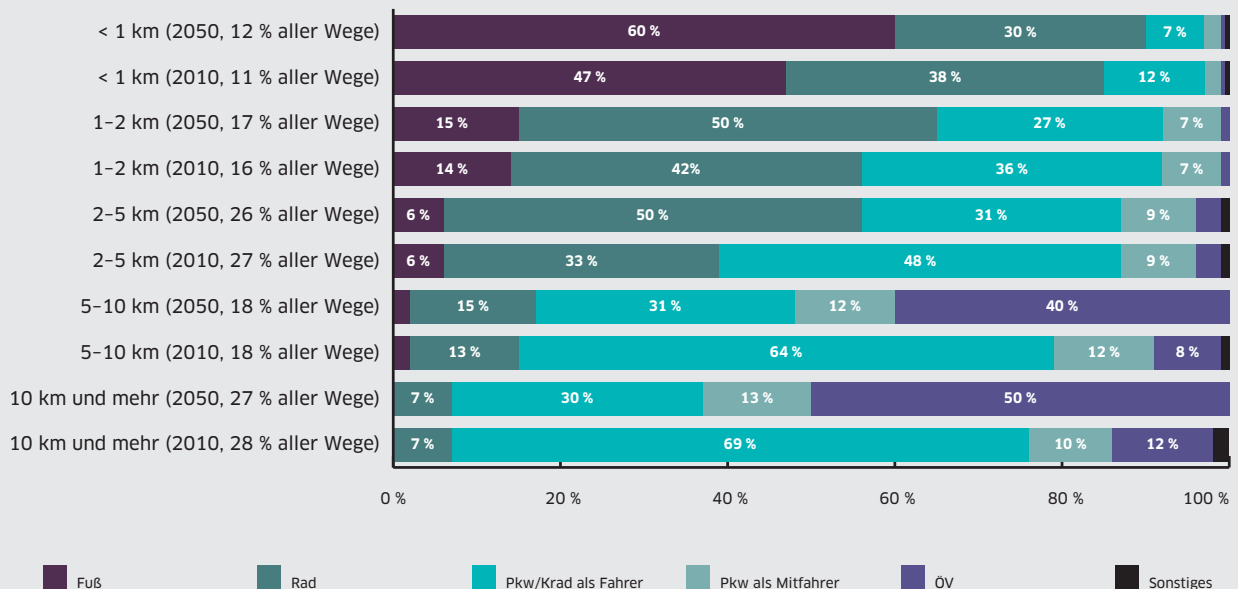
Schritt 4: Abschätzung der Entwicklung der Wegelängen und des Modal-Shift-Potenzials in den jeweiligen Wegelängensklassen

Die Entwicklung der Wegelängen wird bottom-up abgeschätzt: Welche Wege lassen sich zu welchem Anteil verkürzen und welche Wege(längen) werden zukünftig zu welchem Anteil zu Fuß, mit dem Rad, mit öffentlichen Verkehrsmitteln oder mit dem Auto zurückgelegt?

Wege unterhalb von 1 km weisen ein sehr hohes Fußgänger- und Radfahrerpotenzial auf. Diese sollten zukünftig nahezu ausschließlich nicht-motorisiert zurückgelegt werden. Nur ein geringer Anteil der Wege unter 1 km beim Transport größerer Waren und Güter wird mit dem Auto und ggf. dem ÖPNV zurückgelegt.

Beispielbox: Vergleich der Verkehrsmittelwahl nach Entfernungsklassen in Rheine in 2010 und 2050

In der Abbildung sind die Modal-Split-Verschiebungen zwischen 2010 und 2050 differenziert nach Entfernungsklassen²⁴ dargestellt. So wird beispielsweise für 2050 bei Wegen unter 1 km angenommen, dass der Anteil der Wege, die mit dem Auto zurückgelegt werden, von 14 % auf 9 % sinkt und entsprechend der Anteil nicht-motorisiert zurückgelegter Wege ansteigt. Gleichzeitig wird für 2050 auch ein leichter Anstieg der Wege unter 1 km an allen Wegen (12 % statt 11 % in 2010) angesetzt. In den mittleren Entfernungsklassen findet hingegen eine stärkere Verlagerung vom Pkw auf den ÖV statt: So werden beispielsweise Wege zwischen 5 und 10 km in 2050 zu 40 % mit dem ÖV und etwa in gleichem Umfang mit dem Auto (43 %) zurückgelegt, während in 2010 hier noch das Auto (76 %) die prägende Rolle spielte und der ÖV einen eher geringen Anteil ausmachte (8 %).



²⁴ Für die Analyse der Ist-Situation lagen keine differenzierten Angaben für Wege von 10 km oder länger vor, sodass bei diesem Beispiel nur bei der Fortschreibung eine Differenzierung vorgenommen werden konnte. Dennoch ist es sinnvoll, wenn dies möglich ist, eine entsprechend differenzierte Erhebung des Modal Splits nach Entfernungsklassen bereits bei der Bestandsanalyse vorzusehen.

Auch Wege zwischen 1 und 5 km weisen noch ein sehr hohes Potenzial für nicht-motorisierte Verkehrsmittel auf. Allerdings steigt hier im Vergleich zu den kürzeren Wegen auch der Anteil der motorisiert zurückgelegten Wege an.

A
K
Z.
Bei Wegen über 5 km nimmt das Potenzial für Rad und Fuß kontinuierlich ab und die motorisierten Verkehrsmittel gewinnen an Bedeutung. Im Gegensatz zur heutigen Situation wird im Szenario in 2050 jedoch eine deutliche Verschiebung zu öffentlichen Verkehrsmitteln im Nah- und Fernverkehr zu verzeichnen sein.

Überwiegend unabhängig von der Gemeindegröße ist das in den einzelnen Entfernungsklassen vorhandene Verlagerungspotenzial, d.h. unabhängig davon, ob es sich um eine ländliche oder städtische Gemeinde handelt, sind in 2050 Wege unterhalb 1 km nahezu ausschließlich zu Fuß oder mit dem Rad zurückzulegen. Aufgrund der Gemeindegröße kann jedoch die anteilige Verteilung der Wegelängen variieren. So werden die Wege tendenziell auf dem Land länger sein als in der Stadt. Ferner kann es Unterschiede geben, die in der derzeitigen Siedlungsentwicklung begründet liegen, weil Kommunen schon lange verkehrssparende Siedlungsentwicklung betreiben und andere eher nicht.

Schritt 5: Abschätzung der Entwicklung der Flottenzusammensetzung

Die Zahl der Pkw wird im Vergleich zu heute in 2050 im Szenario ganz erheblich zurückgehen. Um die Entwicklung des Umfangs der Flotte abzuschätzen, kann die Kommune auf die bestehenden Energieszenarien zurückgreifen und diese bei Bedarf modifizieren oder eigene Zielvorgaben zugrunde legen. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass konventionelle Benzin- und Dieselantriebe bei den Neuzulassungen sehr stark an Bedeutung verlieren werden und nur noch in kleinem Umfang im Bestand vorhanden sind und diese im Jahr 2050 ausschließlich mit Biokraftstoffen betrieben werden.

Mithilfe eines Flottenumschlagmodells wird dann in einem nächsten Schritt abgeschätzt, welchen Anteil die jeweiligen Antriebsarten am Pkw-Gesamtbestand im Jahr 2050 haben werden. Wie bei der Gesamtzahl der Pkw kann auch hier auf bestehende Energieszenarien zurückgegriffen werden oder es werden kommunalspezifische Zielvorgaben entwickelt. Um beispielsweise zu ermitteln, welche Rolle Carsharing zukünftig spielen wird, kann die Kommune abschätzen, ab welcher

Mindestjahresfahrleistung sich private Haushalte einen eigenen Pkw anschaffen oder Carsharing nutzen werden.²⁵

Schritt 6: Abschätzung der Effizienzentwicklung der jeweiligen Antriebsarten

Für sämtliche Antriebsarten von Pkws werden Effizienzgewinne angenommen, die in erster Linie auf die Weiterentwicklung der jeweiligen Antriebstechnologie sowie Leichtbauweisen zurückzuführen sind. Dies gilt sowohl für Fahrzeuge mit konventionellem Benzin- oder Dieselantrieb als auch für die Antriebstechnologien, die voraussichtlich in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden, wie beispielsweise Elektrofahrzeuge, Fahrzeuge mit Plug-in-Hybridantrieb oder Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeuge.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die angenommene Entwicklung der Effizienz beim Pkw-Bestand²⁶ zu verschiedenen Zeitpunkten bei der Szenarioberechnung für Rheine.

²⁵ In KomRev wurde eine Pkw-Jahresfahrleistung von 10.000 km je Haushalt als Grenze ausgewählt, bei deren Unterschreitung kein eigener Pkw angeschafft wird. Andere Quellen beziehen sich auf die Häufigkeit der Nutzung, z. B. einmal pro Woche etc., und berechnen die Grenzkosten Miete/Carsharing gegenüber Kauf und Unterhalt.

²⁶ Es handelt sich hierbei nicht um die Effizienzentwicklung bei Pkw-Neuzulassungen, sondern es wird ein Durchschnittswert für den Pkw-Bestand zu den jeweiligen Zeitpunkten angegeben.

²⁷ Datenquelle: Entspricht einem Flottenumschlagsmodell des Wuppertal Instituts auf Basis der Energieszenarien der Bundesregierung (EWI, GWS, Prognos, 2010).

Beispielbox: Entwicklung der Energieeffizienz von Pkws in der Bestandsflotte²⁷

		2010	2020	2030	2040	2050
Benzintrieb	MJ/km	2,6	2,1	1,6	1,4	1,3
Dieselantrieb	MJ/km	2,5	2,2	1,9	1,8	1,7
Plug-in-Hybridantrieb	MJ/km		0,9	0,8	0,7	0,7
Elektroantrieb	MJ/km		0,7	0,6	0,6	0,6
Gasantrieb	MJ/km	2,8	2,1	1,8	1,6	1,5
H2-Brennstoffzelle	MJ/km			1,5	1,3	1,2

Was liegt am Ende dieses Arbeitsschrittes vor?**Bilanzierung des Verkehrs nach Territorialprinzip auf Basis des Klimaschutz-Planers**

Erfolgt die Bestandsaufnahme und -analyse des Verkehrsangebots sowie des Mobilitätsverhaltens der Bevölkerung über das Einwohnerprinzip, liegen folgende Informationen vor

- ✓ Gesamtverkehrsleistung Pkw nach Antriebsart (Fahrzeugkilometer, Personenkilometer)
- ✓ Gesamtverkehrsleistung ÖPNV
- ✓ Resultierende Energieverbräuche
- ✓ Pkw-Bestand nach Antriebsart
- ✓ Modal Split nach Wegelängen differenziert
- ✓ Nach Verkehrsmitteln differenzierte Anzahl der Wege in den einzelnen Wegelängenkategorien
- ✓ Die nach Verkehrsmittel differenzierten Wegezwecke
- ✓ Pkw-Verfügbarkeit
- ✓ Quantität und Qualität des ÖPNV-, Rad- und Fußwegenetzes
- ✓ Besetzungsgrad Pkw und ÖPNV

Zukünftiges Mobilitätsbedarfs- und Versorgungskonzept

- ✓ Fortschreibbare Bilanz für den Verkehr in Bezug auf Energieverbräuche und CO₂-Emissionen
- ✓ Bevölkerungsentwicklung
- ✓ Wegezahl
- ✓ Verkehrsleistung
- ✓ Modal Shift
- ✓ Flottenzusammensetzung
- ✓ Effizienzentwicklung nach Antriebsarten

Dokumentation im Masterplan für Schritt 9

- ✓ Ist-Situation Verkehrsangebot und Mobilitätsverhalten
- ✓ Zukünftiger Energiebedarf im Mobilitätssektor

Schritt in Richtung Implementierung

Schaffung einer gemeinsamen Datengrundlage mit den örtlichen Verkehrsbetrieben

13 Masterplan-Schritt 10: Entwicklung sektorübergreifender Verwendungskonzepte für CO₂-arme Brenn- und Kraftstoffe (Brennstoffwende)

Was ist in Schritt 10 der Masterplan-Entwicklung zu tun?

In diesem Schritt wird ein sektorübergreifendes Verwendungskonzept für die Zuordnung zukünftig verfügbarer Brenn- und Kraftstoffe entwickelt. Versorgungsprioritäten werden gesetzt und anschließend die in Schritt 3 analysierten Potenziale zu Brennstoffproduktionspfaden und Bedarfsbereichen zugeordnet.

Im Vordergrund dieses Kapitels stehen zukünftige Bereitstellungsmöglichkeiten für Brenn- und Kraftstoffe. Dabei werden sowohl die biogene Brenn- und Kraftstoffherstellung und damit verbundene Zuordnungshierarchien für Biomasse als auch die synthetische Herstellung von Brenn- und Kraftstoffen über methodische Fragen erläutert. Der Wechsel von Brennstoffen zu Strom als zentralem Energieträger, wie er beispielsweise bei elektrischen Antrieben im Sektor Verkehr oder bei der Elektrifizierung von Prozesswärme auftritt, wird in den verschiedenen Kapiteln zu den Versorgungsbereichen thematisiert.

Unsere heutige Energieversorgung ist von fossilen Brenn- und Kraftstoffen geprägt. Rund 1.750 TWh (6,3 EJ) (AGEB, 2014) des Endenergieverbrauchs wird jährlich durch Mineralölprodukte, fossile Gase und Kohle bereitgestellt. Zwar kann zukünftig aus Biomasse und über den Einsatz von Strom in synthetischen Verfahren (EE-Gas) eine breite Palette an Brenn- und Kraftstoffen technisch hergestellt werden, die Potenziale sind aber begrenzt. Die Bereitstellung ausreichender Brenn- und Kraftstoffmengen wird somit zukünftig zu einer großen Herausforderung. Die Vermeidung von Brenn- und Kraftstoffbedarfen in den Sektoren Verkehr, Industrie, GHD und private Haushalte, wie sie in den einzelnen Kapiteln beschrieben wird, ist eine wichtige Voraussetzung eines postfossilen Energieversorgungssystems.

Wie in Kapitel 9 erläutert, reicht das deutschlandweite Biomassepotenzial bei weitem nicht aus, um die heutigen bundesweiten Brenn- und Kraftstoffbedarfe zu decken. Bei der Entscheidung über die Verwendung der kommunal vorhandenen Biomassepotenziale sollten Masterplan-Kommunen nationale Potenziale und eine angemessene Zuordnung dieser Potenziale

je nach Gemeindestruktur mit in ihre Überlegungen einbeziehen. Unter Berücksichtigung dieses Aspektes ist dann zu entscheiden, welcher Anteil der kommunalen Biomassepotenziale (nicht) innerhalb der Kommune verwendet werden sollte bzw. ob der Bezug von Biomasse aus externen Quellen unvermeidlich ist (z. B. Kommunen mit hohem Industriebedarfsanteil). Nähere Erläuterungen zu diesem Punkt sind in Kapitel 16 nachzulesen.

So genanntes EE (erneuerbare Energien) -Gas kann weitere Bedarfe decken. Allerdings ist das synthetische Produktionsverfahren energieintensiv, infrastrukturentwickelnd und derzeit noch teuer.

Bei der Zuordnung der insgesamt knappen Biomassepotenziale zu den einzelnen Anwendungen sollten die Bedarfe aller Sektoren sorgfältig gegeneinander abgewogen werden.

13.1 Zukünftige Einsatzbereiche von Brenn- und Kraftstoffen

Heute werden Brenn- und Kraftstoffe noch in allen Sektoren eingesetzt. Raumwärme- und Warmwasserbedarfe, Prozesswärmebedarfe, Stromerzeugung und Verkehr werden zu großen Teilen über fossile Brenn- und Kraftstoffe versorgt. Wie in den jeweiligen Kapiteln beschrieben, müssen durch geeignete Versorgungstechnologien und Umstrukturierungen zukünftig dringend Brenn- und Kraftstoffbedarfe vermieden oder verringert werden.

A
K
Z
E
P
T
A
N
Z

Aufgrund zu geringer Exergieeffizienz (Kapitel 2.3) sollten Brennstoffe daher zukünftig wenn möglich nicht mehr für Warmwasser und Raumwärme, sondern nur für zwingend erforderliche Brennstoffbedarfe der Prozesswärme (Kapitel 11.2), zur Kraftstoffbereitstellung und zur Stromerzeugung in KWK-Anlagen genutzt werden. Dies gilt auch für biomassereiche Regionen, die exportfähige Biomassepotenziale abzüglich zwingender Eigenbedarfe (z. B. für Prozesswärme) anderen Regionen mit Brennstoffdefizit zugänglich machen sollten. Kraftstoffe kommen im Verkehr überall dort zum Einsatz, wo Verbrennungsmotoren oder Brennstoffzellen-Fahrzeuge im Masterplan auch zukünftig noch eingesetzt werden.

13.2 Welche Brenn- und Kraftstoffe können aus Biomasse bereitgestellt werden?

Biomasse stellt in einem zukünftigen Energieversorgungssystem ohne fossile Energieträger ein EE-Potenzial hoher Qualität dar und ist von großer Systembedeutung. Biomasse bietet die Möglichkeit, gasförmige, flüssige und feste Brenn- und Kraftstoffe herzustellen, und unterliegt somit starker sektorübergreifender Nachfrage. Die Zuordnung von Biomasse ist daher eine zentrale Stellschraube bei der Entwicklung postfossiler Energieversorgungskonzepte.

Tabelle 13-1 weist die wichtigsten Brenn- und Kraftstoffe aus, die aus Biomasse bereitgestellt werden können.

Dasselbe Biomassepotenzial bzw. Flächenpotenzial bei Energiepflanzen kann für die Bereitstellung verschiedener Brenn- und Kraftstoffe eingesetzt werden, die wiederum in Konkurrenz zu einer zunehmenden stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe stehen. Daher wird im Anschluss kurz beschrieben, wie und aus welchen Biomassefraktionen die einzelnen Brenn- und Kraftstoffe gewonnen

Tabelle 13-1: Aus Biomasse bereitstellbare Brenn- und Kraftstoffe

BRENNSTOFFE	KRAFTSTOFFE
Biomethan	
Biogas	Pflanzenöl
Biokohle	Biodiesel
Holzgas	Bioethanol
Holz hackschnitzel	BtL-Kraftstoff

werden können und welche Zuordnungshierarchie bei der Verwendung von Biomasse sinnvoll ist.

Biogas und Biomethan:

Biogas basiert auf der Vergärung von organischen Reststoffen und Abfällen sowie Energiepflanzen und bietet insbesondere für Biomasse geringer Qualität (z. B. Gülle) zum Teil die einzige energetische Verwertungsmöglichkeit. Biogas hat je nach eingesetzter Biomassefraktion einen Methangehalt von 50–75 % bzw. einen Energiegehalt von 5,0–7,5 kWh/Nm³. Über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) und das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTLB) sind umfangreiche Daten zu Biomassesubstraten und Biogaserträgen erhältlich (z. B. FNR, 2014b). In Tabelle 13-2 wird daher nur ein kurzer Überblick zu den gängigsten Substraten gegeben.

Tabelle 13-2: (Biogas-) Erträge verschiedener Substrate (FNR, 2014b; FNR, 2015b; BMU, 2012)

SUBSTRAT	DURCHSCHNITTLICHER BIOGAS-ERTRAG	
Rindergülle	25	Nm ³ /t _{Substrat}
Schweinegülle	28	Nm ³ /t _{Substrat}
Geflügelmist	140	Nm ³ /t _{Substrat}
Maissilage	200	Nm ³ /t _{Substrat}
Getreide GPS*	190	Nm ³ /t _{Substrat}
Grassilage	180	Nm ³ /t _{Substrat}
Bioabfälle	80-140	Nm ³ /t _{Substrat}

*Ganzpflanzensilage (GPS)

Bei der Bilanzierung des Gesamtsystems sind die Eigenbedarfe an Wärme und Strom von Biogasanlagen zu beachten.

Ohne Aufbereitung eignet sich Biogas im zukünftigen Energieversorgungssystem zur Verstromung in BHKWs. Für die Erzeugung von Prozesswärme oder für den Einsatz im Verkehr kann es über verschiedene Aufbereitungsverfahren (Druckwasserwäsche, Membrantrennverfahren) zu Biomethan in Erdgasqualität veredelt werden. 1 kg Biomethan ersetzt dabei ca. 1,5 l Ottokraftstoff oder 1,3 l Diesel.

Biomethan kann darüber hinaus durch Einspeisung in das bestehende Erdgasnetz auch für Bedarfe außerhalb der Kommune eingesetzt werden. Kennwerte verschiedener Verfahren zur Biogasaufbereitung können z. B. Publikationen der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. entnommen werden (FNR, 2012; FNR, 2014c).

Biokohle:

Biokohle wird in einem Energieversorgungssystem ohne fossile Energieträger wichtiger Ersatz für zwingend erforderliche Kohlenstoffbedarfe für Prozesswärmeerzeugung. Biokohle kann über Pyrolyse oder Hydrothermale Carbonisierung (HTC) aus Biomasse gewonnen werden.

Pyrolyse wird vorwiegend zur Erzeugung von Synthesegas genutzt, die im Prozess entstehende Biokohle ist ein Nebenprodukt. Rund 30% des in der Biomasse enthaltenen Kohlenstoffs wird dabei in Kohle umgewandelt.

Bei der HTC findet die Umwandlung im wässrigen Milieu statt, sodass auch der Einsatz feuchter Biomassefraktionen möglich ist. Dabei wird der in der Biomasse enthaltene Kohlenstoff nahezu vollständig in Kohle umgewandelt.

Da Biokohle im zukünftigen Energieversorgungssystem vor allem als Kohlenstofflieferant für die Prozesswärme dient, ist der höhere Kohlenstoffumsatz bei der HTC vorteilhaft. Der Kohlenstoffgehalt der Biokohle ist darüber hinaus vom Kohlenstoffgehalt der eingesetzten Biomassefraktion abhängig (Röhrdanz et al., 2012). Erste Anlagen, beispielsweise zur Verwertung kommunaler Grünabfälle zu Biokohle, sind bereits am Markt erhältlich (für Details s. auch SunCoal, 2015). Je Tonne eingesetzter Biomasse kann rund ¼ t Biokohle bereitgestellt werden.

Biokraftstoffe:

Die wichtigsten aktuellen Biokraftstoffe Pflanzenöl, Biodiesel und Bioethanol stellt die FNR ausführlich vor (FNR, 2014d).

Pflanzenölkraftstoff wird meist aus Raps nach der Norm DIN 51605 hergestellt und vorwiegend in der Land- und Forstwirtschaft in angepassten Motoren eingesetzt. Bei einem durchschnittlichen jährlichen Flächenertrag von 3,5 t/ha Raps bzw. 1.580 l/ha Rapsöl ersetzt 1,0 l Rapsöl ca. 0,96 l Dieselkraftstoff. Als Nebenprodukt entstehen 2,0 t Futtermittel (FNR, 2014d).

Biodiesel nach der Norm DIN EN 14214 ist mit 1,8 Mio. t jährlichem Verbrauch in Deutschland der derzeit wichtigste auf dem Markt verfügbare Biokraftstoff, basiert auf Pflanzenöl oder Fetten und wird vor allem über die Beimischung zu normalem Diesel genutzt. Kommt Raps zum Einsatz, so können jährlich durchschnittlich rund 1.450 l/ha Biodiesel gewonnen werden. 1,0 l Biodiesel ersetzt etwa 0,91 l Diesel.

Als Nebenprodukt entstehen bei der Produktion 2,0 t Futtermittel und 130 kg Glycerin pro Hektar und Jahr (FNR, 2014d).

1,2 Mio. t Bioethanol werden in Deutschland gegenwärtig hauptsächlich nach DIN EN 228, DIN EN 15376 und DIN 51625 zu Ottokraftstoffen beigemischt. Bioethanol wird derzeit über die Vergärung und anschließende Destillation vor allem von Getreide, Zuckerrüben oder Mais gewonnen. Aus Weizen lassen sich ca. 2.800 l/ha Bioethanol erzeugen. 1,0 l Bioethanol ersetzt rund 0,66 l Ottokraftstoff.

Als Nebenprodukt entstehen bei der Herstellung 2,2 t Futtermittel pro Hektar und Jahr sowie Koppelprodukte und Reststoffe (z. B. Schlempe), die als Futtermittel oder Substrat für Biogasanlagen dienen können (FNR, 2014d).

Der Einsatz von Schlempe aus der Bioethanolproduktion in Biogasanlagen ermöglicht im Zukunftssystem eine effiziente Nutzung knapper Anbauflächen.

BtL-Kraftstoffe werden über das Prinzip Biomass to liquid (BtL) gewonnen, bei welchem zunächst durch thermochemische Vergasung Synthesegas gewonnen wird, das anschließend zu flüssigen Kohlenwasserstoffen synthetisiert wird. Die so gewonnenen Kohlenwasserstoffe können dann nach bekannten

Prozessen der Erdölraffination zu Kraftstoffen wie Diesel aufgearbeitet werden. Insbesondere holzartige Biomasse ist für die Gewinnung von BtL-Kraftstoffen gut geeignet.

BtL-Kraftstoffe sind technologisch bereits herstellbar, aber aufgrund mangelnder wirtschaftlicher Konkurrenzfähigkeit noch nicht am Markt verfügbar. Eine Pilotanlage, die aus Stroh und Restholz vollsynthetischen Diesel oder Ottokraftstoff produzieren kann, steht am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (KIT, 2015). Für postfossile Zukunftsszenarien wird diese Technologie aufgrund des dann stark veränderten Preisgefüges am Energiemarkt als verfügbar angenommen.

Ein großer Vorteil bei BtL-Kraftstoffen ist, dass die gesamte Pflanze verwendet werden kann und somit eine wesentlich höhere Flächenausnutzung erfolgt. Der Ertrag von einem Hektar Kurzumtriebsplantage (KUP) ergibt etwa 4.000 l BtL-Kraftstoff. 1,0 l BtL-Kraftstoff ersetzt ca. 0,94 l Diesel. Daher ist anzunehmen, dass BtL-Kraftstoffe die Biokraftstoffe der ersten Generation (Biodiesel etc.) langfristig verdrängen werden (FNR, 2014d).

Holzartige Biomasse:

Bei der Verwertung holzartiger Biomasse ist über die bereits beschriebenen Möglichkeiten (BtL, Biokohle) hinaus auch die Nutzung als Holzhackschnittel, Holzpellets und Holzgas möglich. Werden durch die Herstellung von Biokohle und BtL-Kraftstoffen die Potenziale holzartiger Biomasse im Zukunftssystem bereits in vollem Umfang genutzt, fällt die Option der Nutzung von holzartiger Biomasse für Niedertemperatur-Wärmeanwendungen weitgehend weg. Sollen diese Nutzungsmöglichkeiten dennoch im Masterplan integriert werden, liefert die FNR umfassende Informationen zu diesen alternativen Optionen (FNR, 2014e).

13.3 Zuordnung von Biomassepotenzialen zu den Sektoren

Für die Zuordnung der kommunal verfügbaren Biomasse zu verschiedenen Anwendungszwecken ist zunächst zu entscheiden, wie hoch der direkt innerhalb der Kommune verwendbare Anteil der Biomasse in der Zielvision anzusetzen ist (siehe zu dieser Frage auch die Erläuterung zu überkommunalen Aspekten

in der Einleitung dieses Kapitels und in Kapitel 16). Im zweiten Schritt müssen Masterplan-Kommunen die Prioritäten der Biomasseverwendung in den Versorgungsentscheidungen ihrer Masterplan-Zielvision festlegen. Die tatsächliche Umsetzbarkeit dieser Entscheidungen hängt auch stark von Entwicklungen auf nationaler und europäischer Ebene ab, die heute weder bekannt noch von den Kommunen direkt beeinflussbar sind. Die lokalen Lösungsansätze der verschiedenen Masterplan-Kommunen können in der Zusammenschau einen Beitrag zur Diskussion über die Entwicklung zukünftiger Fördermaßnahmen und politischer Leitlinien auf nationaler und EU-Ebene leisten.

Aus einer Vielzahl möglicher Allokationsentscheidungen sind die Zuordnungen der für Rheine ermittelten Biomassepotenziale innerhalb der für die beiden KomRev-Zukunftskonzepte getroffenen grundlegenden Entscheidungen (Leitplanken) im Folgenden dargestellt (s. Abb. 13-1 und 13-2). Die Summe aller auf dem kommunalen Gebiet in Rheine verbrauchten Endenergieträger liegt im Maximal Dezentralen Konzept bei rund 813 GWh/a, im Moderat Dezentralen Konzept bei rund 782 GWh/a. Im Maximal Dezentralen Konzept muss bilanziell betrachtet keine Energie aus Quellen außerhalb des kommunalen Gebietes importiert werden, es wird ein Stromüberschuss von 45 GWh/a erzeugt. Im Moderat Dezentralen Konzept müssen insgesamt 47 GWh/a an Brennstoffen und 3 GWh/a Strom von außerhalb importiert werden.

Maximal Dezentral Konzept

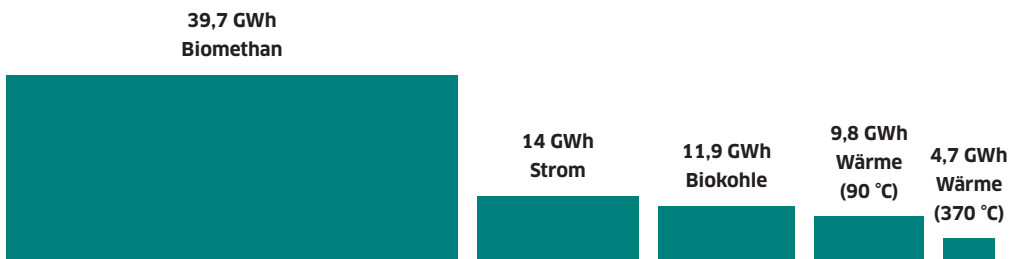
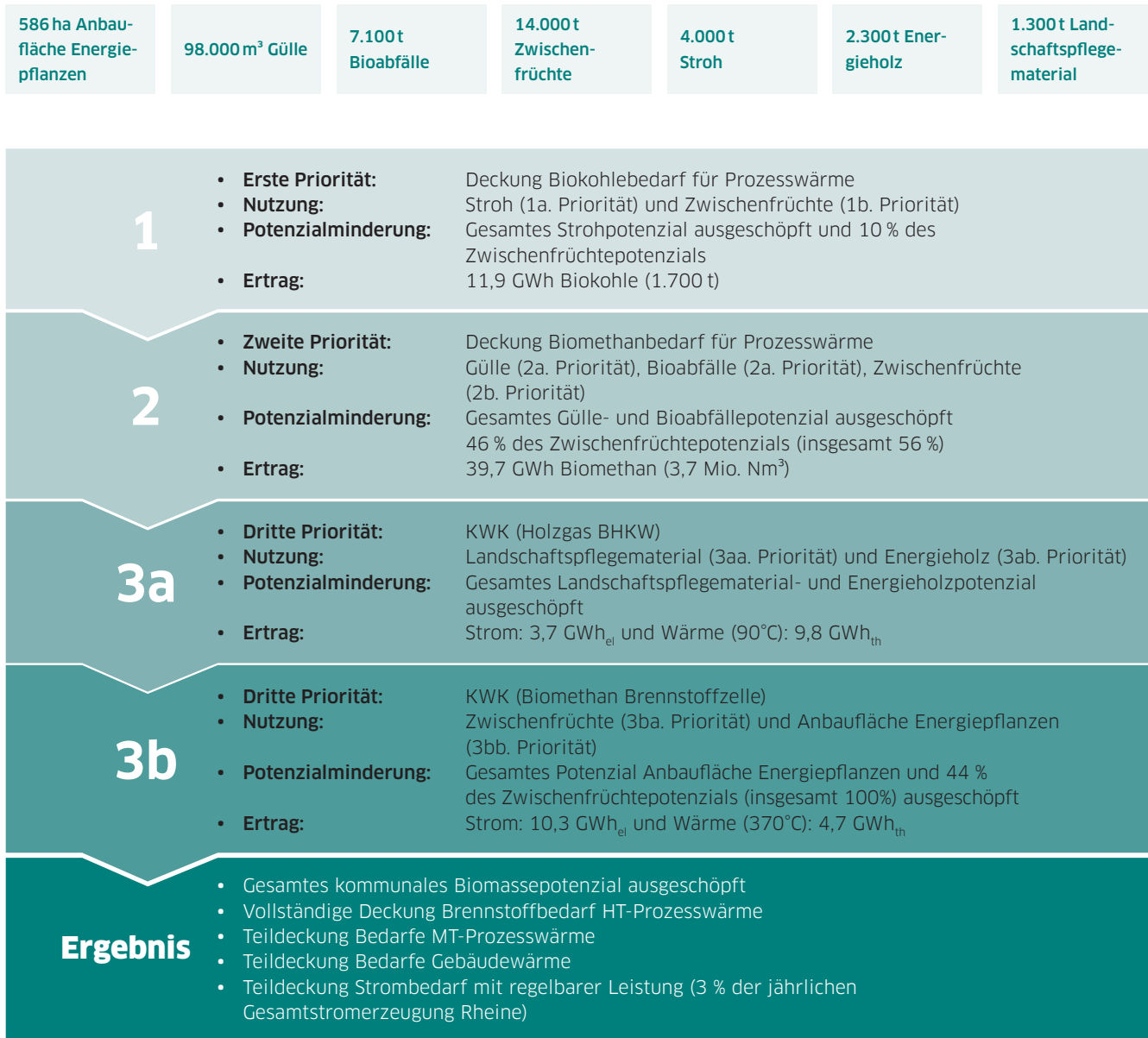


Abbildung 13-1: Allokationsentscheidung für die ermittelten Biomassepotenziale im Maximal Dezentralen Konzept auf Basis der getroffenen grundlegenden Entscheidungen

Moderat Dezentral Konzept

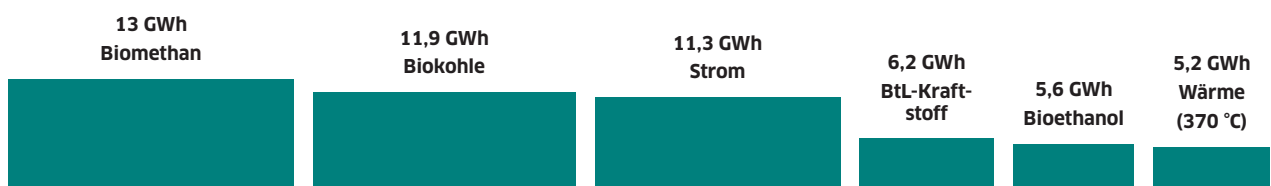


Abbildung 13-2: Allokationsentscheidung für die ermittelten Biomassepotenziale im Moderat Dezentralen Konzept auf Basis der getroffenen grundlegenden Entscheidungen

Wie die beiden Beispiele für Rheine zeigen, bedeutet jede Nutzungsentscheidung der Biomasse eine Einschränkung für konkurrierende Einsatzoptionen. Innerhalb der gesetzten Prioritätenreihenfolge ist in absteigender Rangfolge das verbleibende Biomassepotenzial der verschiedenen Fraktionen auf seine Verwendbarkeit für die jeweils nächste Einsatzpriorität zu prüfen.

Die beiden Beispiele verdeutlichen ebenfalls, dass je nach Prioritätensetzung die Nutzungseffizienz für Biomasse stark variiert.

Bevor eine Prioritätenreihenfolge zur energetischen Nutzung des Biomassepotenzials vorgenommen werden kann, muss dieses ermittelt werden und um eventuelle stoffliche Nutzungskonkurrenz korrigiert werden. Das Vorgehen ist beispielhaft anhand der folgenden Grafik dargestellt. Wie in den vorigen Beispielen aus Rheine dient Abbildung 13-3 nur der Verdeutlichung von Zusammenhängen, Masterplan-Kommunen müssen individuelle Entscheidungen zur Biomasseverwendung entsprechend der dort vorliegenden Situation treffen.

Der ggf. für Biokohleerzeugung zwingend erforderliche Biomassebedarf sollte mangels alternativer Bereitstellungsmöglichkeiten vor der Verteilung der ermittelten kommunalen Potenziale auf die verschiedenen sektoralen Bedarfe überschlägig berechnet und vom verfügbaren Potenzial abgezogen werden.

13.4 Versorgungsmöglichkeiten durch EE (erneuerbare Energien) -Gas

EE (erneuerbare Energien) -Gas ist auch unter dem Begriff Power to Gas bekannt. Bei der Herstellung von EE-Gas wird aus erneuerbaren Energien erzeugter Strom genutzt, um über Elektrolyse Wasserstoff bzw. ggf. in einem anschließenden Prozessschritt, der Methanisierung, Methan (auch EE-Methan genannt) herzustellen. Die dafür notwendige Prozesskette ist im Vergleich zu Batteriespeichern zwar mit verhältnismäßig hohen Verlusten verknüpft, bietet aber die Möglichkeit, auf das Gasnetz und die Gasspeicher als vorhandene (Langzeit-) Speichermöglichkeit zurückzugreifen. Darüber hinaus können so Stromüberschüsse – insbesondere aus fluktuierenden erneuerbaren Energien – als weitere Brenn- und Kraftstoffquellen nutzbar gemacht werden.

Die drei wichtigsten Verfahren der Elektrolyse sind gegenwärtig die alkalische Wasserelektrolyse, die saure bzw. Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse und die Hochtemperatur-Wasserdampfelektrolyse. Je nach Verfahren und Baugröße variieren die Wirkungsgrade derzeit zwischen 44 % und 86 % und weisen damit spezifische Energieverbräuche von 4,0 kWh/Nm³ H₂ bis 8,0 kWh/Nm³ H₂ auf.

Die direkte Einsatzmöglichkeit von Wasserstoff als Energieträger ist unter Beibehaltung der vorhandenen Infrastruktur (Gasnetz, gasbetriebene Geräte) stark eingeschränkt. Unter Nutzung von Kohlendioxid kann der erzeugte Wasserstoff in einer der Elektrolyse nachgeschalteten Methanisierung jedoch in Methan überführt und damit bei Bedarf in der vorhandenen Infrastruktur eingesetzt werden. Kombiniert man die Methanisierung mit der Aufbereitung von Biogas, kann das aus dem Biogas abgeschiedene Kohlendioxid als Kohlendioxidquelle für die Wasserstoff-Methanisierung herangezogen werden. Das so erzeugte EE-Methan weist mit derzeit verfügbarer Anlagentechnik bis zu 94 % Methan auf. Der Wirkungsgrad der Methanisierung liegt bei etwa 80 %. Der Gesamtwirkungsgrad der EE-Methan-Prozesskette liegt somit bei ca. 50-60 % (dena, 2013).

Über Elektrolyse erzeugter Wasserstoff kann über Brennstoffzellen-Fahrzeuge entweder direkt im Sektor Verkehr genutzt oder nach erfolgter Methanisierung zur Deckung von Erdgasbedarfen der Prozesswärme oder in Erdgas-Fahrzeugen eingesetzt werden. EE-Methan kann über das bestehende Erdgasnetz transportiert und damit auch zur Deckung außerkommunaler Bedarfe eingesetzt werden.

13.5 Methodische Aspekte der Endenergie-Bilanzierung

Entsprechend den innerhalb einer Masterplan-Zielvision getroffenen Entscheidungen zur Verwendung der Biomasse werden verschiedene biomassebasierte Endenergieträger erzeugt und verbraucht. Die bilanzierten Summen dieser Endenergiemengen je Energieträger sind als Basis der Treibhausgas-Bilanzierung zu verwenden. Die Berechnung der Treibhausgas-Emissionen, die durch die ermittelten Endenergiebedarfe für die jeweiligen Biomasseenergieträger verursacht werden, erfolgt über den Klimaschutz-Planer und die in Kapitel 5 angegebenen THG-Emissionsfaktoren.

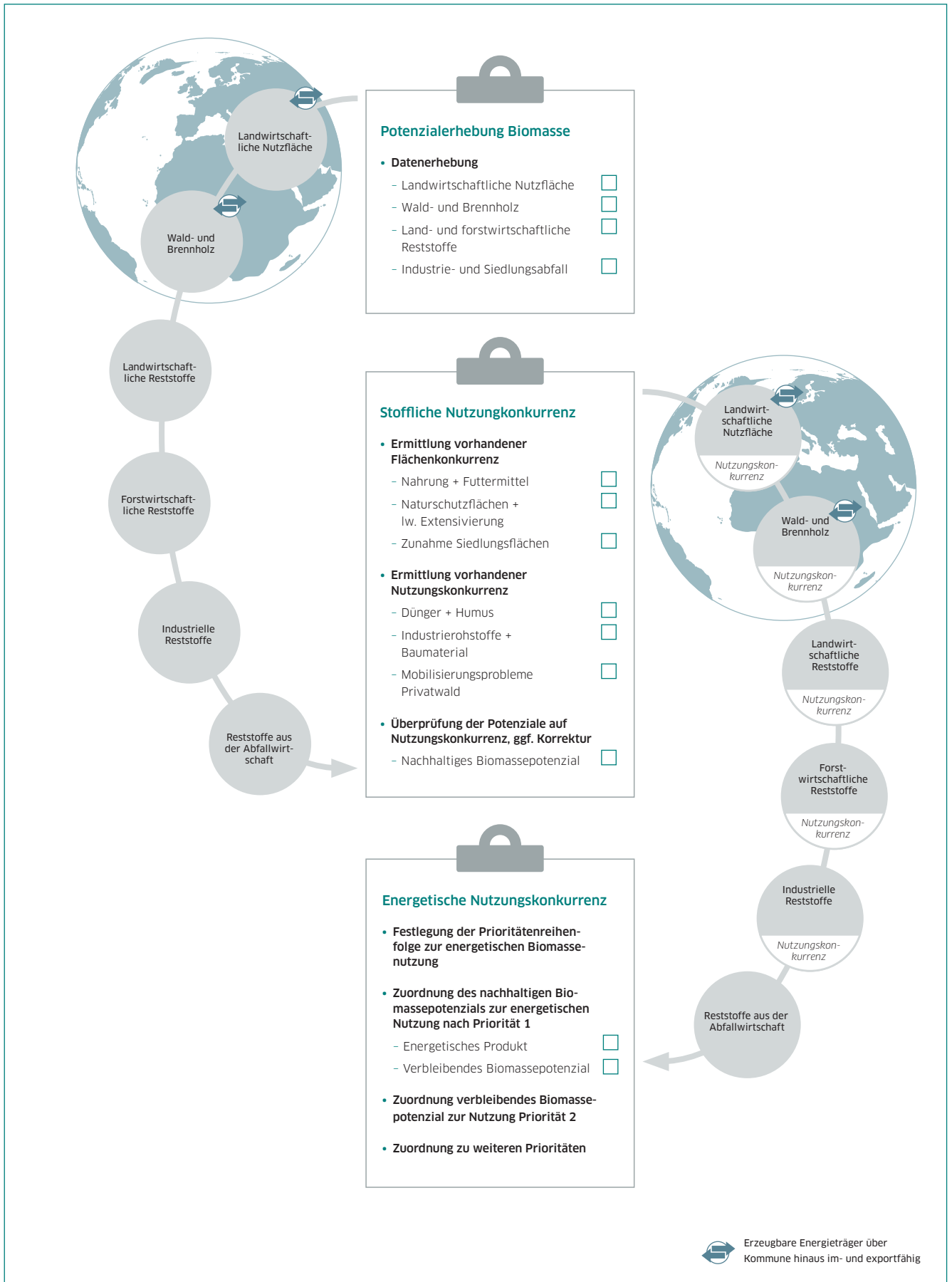


Abbildung 13-3: Verdeutlichung von Zusammenhängen für die Nutzung von Biomasse

Was liegt am Ende dieses Arbeitsschrittes vor?

- ✓ Prioritätenabfolge für Einsatz von Brenn- und Kraftstoffpotenzialen
- ✓ Nutzungskonzept Biomassepotenzial
- ✓ Sektorübergreifendes Nutzungskonzept zukünftig kommunal verfügbarer Brenn- und Kraftstoffe
- ✓ Strombedarf für synthetische Brenn- und Kraftstoffe
- ✓ Summe Importbedarf/Exportpotenzial an Brenn- und Kraftstoffen

Dokumentation im Masterplan für Schritt 10

- ✓ Zusammenstellung Brennstoff- und Kraftstoffbedarfe aller Sektoren in der Zielvision und Konzept zur Deckung über Biomasse und synthetische Brenn- und Kraftstoffe
- ✓ Darstellung Importbedarf/Exportverfügbarkeit an Brenn- und Kraftstoffen in der Zielvision

14 Masterplan-Schritt 11: Entwicklung sektorübergreifender Versorgungskonzepte für CO₂-arme Raumwärme und Warmwasser (Wärmewende)

Was ist in Schritt 11 der Masterplan-Entwicklung zu tun?

Ein sektorübergreifendes postfossiles Versorgungskonzept für die Raumwärme- und Warmwasserversorgung aller Gebäude wird für die Masterplan-Kommune entwickelt.

Dabei werden zunächst alle Möglichkeiten entsprechend den kommunalen Strukturen und Potenzialen erfasst. Bei der Konzeptentwicklung sind alle mit diesen Möglichkeiten verbundenen Vor- und Nachteile zu berücksichtigen. Vor- und Nachteile der Versorgungsoptionen werden sowohl für gebäude- und infrastrukturelle Anforderungen als auch in Bezug auf Wechselwirkungen mit anderen Sektoren (Potenzialnutzung, Fluktuationswirkung, Infrastruktur) bewertet.

Die Bereitstellung von Heizenergie und Warmwasser ist im Energieversorgungssystem von zentraler Bedeutung. 35 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland entfallen heute auf Heiz- und Warmwasserbedarf. In den Haushalten liegt der Anteil bezogen auf den Endenergiebedarf (ohne Energiebedarf Verkehr) bei 85 %. Die Heiz- und Warmwasserversorgung in Deutschland erfolgt dabei überwiegend durch Gas- und Öleinzelnheizungen. Im Folgenden sind einige wesentliche Daten zur gegenwärtigen Wärmeversorgung aufgeführt (BMWi, 2015).

14.1 Wärmeversorgungssystem heute

Den größten Anteil an der Heizwärmeversorgung haben Erdgas- und Erdölheizungen (Industrie, GHD²⁸, HH²⁹ 70 bis 82 %). Der Anteil an Einzelheizungen mit erneuerbaren Energien liegt zwischen 9 und 15 %. Die Daten der *Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland* (AGEEStat, 2015) zeigen von 2004 bis 2014 eine rund 40 %ige Zunahme der Wärmemenge aus erneuerbaren Energien, seit 2010 zeigt sich jedoch eine uneinheitliche, leicht rückläufige Tendenz. Der Anteil an Stromheizungen ist leicht rückläufig und liegt gegenwärtig bei rund 2 %. Bei der Entwicklung der Fernwärmeversorgung fällt eine deutliche Verlagerung von GHD zum Industriesektor auf, der Anteil an der Heizwärmeversorgung liegt zwischen 9 und 16 %.

Die genannten Zahlen machen deutlich, dass der notwendige Wandel mit hohem Engagement vorangetrieben werden muss.

14.2 Bedeutung des Wärmesektors in einem post-fossilen Versorgungssystem

Aus Gründen der Exergieeffizienz sollte in einem 100 % erneuerbaren (=postfossilen) Gesamtversorgungssystem Niedertemperaturwärme nicht mehr durch hochwertige Brennstoffe oder Strom-Direktheizungen bereitgestellt werden (s. Kapitel 2.3).

Die Versorgungsentscheidungen im Bereich Heizwärme und Warmwasser haben deutliche Rückwirkungen auf die Versorgungssituation Strom und Verkehr. Die Entwicklung einer nicht brennstoffbasierten Wärmeversorgung setzt Potenziale für zwingende Brennstoffbedarfe im Verkehr und bei den Prozessen frei (vgl. Kapitel 13.1). Der Anteil an Wärmepumpen hat zusammen mit der Wahl und der Betriebsweise unterschiedlicher Wärmespeichertypen Einfluss auf den Stromsektor (s. Kapitel 15.2).

Die folgende Grafik stellt einen Ausschnitt der vielfältigen Wechselwirkungen in der intersektoral gekoppelten Masterplan-Zielvision aus Sicht des Wärmeversorgungssystems dar. Hier wurden zwei Möglichkeiten zukünftiger Wärmeversorgung der Gebäude beispielhaft ausgewählt: Eine Variante setzt den Schwerpunkt auf eine Wärmeversorgung von Einzelgebäuden über Wärmepumpen, die andere auf eine zentrale Versorgung mit solarer Nahwärme. Ebenso gut sind in der Masterplan-Entwicklung die Wahl anderer und die Kombination verschiedener Versorgungsoptionen möglich.

28 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

29 Private Haushalte

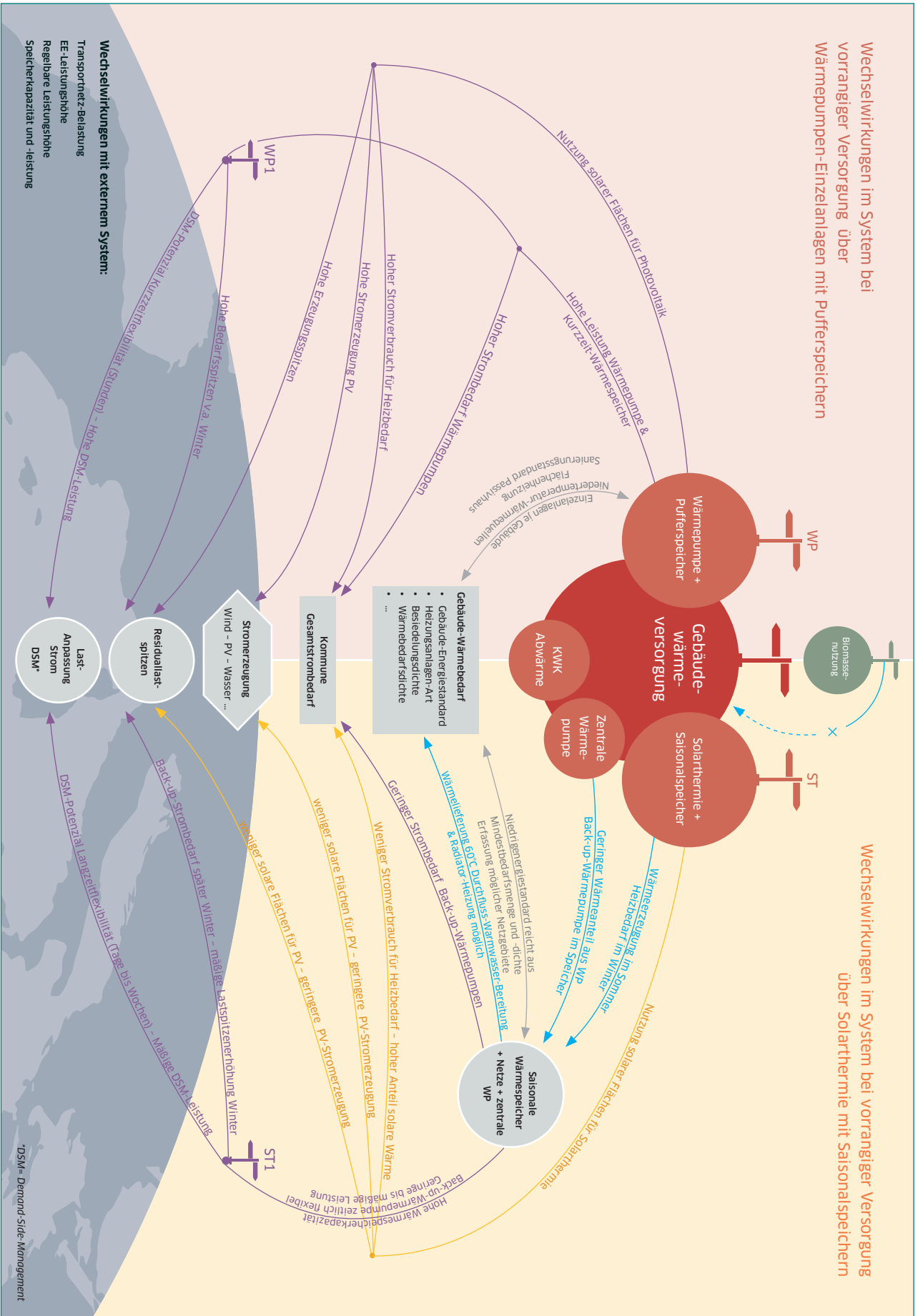















Abbildung 14-1: Beispiel für zwei Möglichkeiten zukünftiger Gebäudewärmeversorgung und ihrer Wechselwirkungen im kommunalen (und vorgelegten) System
 Versorgungsschwerpunkt links: Wärmepumpen-Einzelanlagen mit dezentralen Pufferspeichern, Versorgungsschwerpunkt rechts: Solarthermie mit zentralen Saisonspeichern und Wärmenetzen

SYMBOL	BEZEICHNUNG	BEDEUTUNG
	Zentrale Entscheidungsbereiche	Entscheidungen für die Potenzialnutzung oder Versorgung in diesen Bereichen bewirken vielfältige Wechselwirkungen im System.
	Entscheidung nicht zulässig	Biomassepotenzial sollte aus exergetischen Gründen auch in anderen Zielvisionen nicht für Niedertemperaturwärme eingesetzt werden (s. Kapitel 2.3).
	Kreis	Kopplungspunkte der Sektoren
	Sechseck	Energieerzeugungsbereich
	Rechteck	Energiebedarfsbereich
	Durchgezogener Pfeil	Violett: steigernde Wirkung
	Durchgezogener Pfeil	Gelb: mindernde Wirkung
	Durchgezogener Pfeil	Cyan-Blau: Energieabgabe an
	Durchgezogener Pfeil	Grau: Anforderung an
	Zentrale Entscheidungs-/ Entwicklungsoption	Entscheidung für Gebäudewärmeversorgung mit hohem Anteil Solarthermie und zentralen Saisonspeichern (s. Abschnitt 14.4)
	Zentrale Entscheidungs-/ Entwicklungsoption	Entscheidung für Gebäudewärmeversorgung mit hohem Anteil Wärmepumpen-Einzelanlagen (s. Abschnitt 14.8)
	Nachgeordnete Entscheidung	Entscheidung für systemdienliche Steuerung der Wärmepumpen in zentralen Saisonspeichern (s. Kapitel 15.2.1)
	Nachgeordnete Entscheidung	Entscheidung für systemdienliche Steuerung der Wärmepumpen in dezentralen Pufferspeichern (s. Kapitel 15.2.1)

14.3 Versorgungsoptionen einer postfossilen Wärmeversorgung

**A
K
Z
E
P
T
A
N
Z**

Wärmenetze ja oder nein: dies ist eine grundlegende Richtungsentscheidung für die Wärmeversorgung eines Zukunftssystems. Wenn kommunale Stadtwerke die netzgebundene Versorgung übernehmen, erhalten Kommunen großen Einfluss auf die Art der Wärmeerzeugung. Der Bau von Wärmenetzen mit oder ohne zentrale Wärmespeicher ermöglicht die Einbindung unterschiedlicher Wärmequellen z. B. aus Abwärme und Kraft-Wärme-Kopplung. Die Umstellung der Wärmeerzeugung auf die verschiedenen Möglichkeiten einer CO₂-freien Wärmetechnik sowie der notwendige Ausbau der erforderlichen Speicherkapazitäten können schrittweise erfolgen.

Die individuelle Gebäudeversorgung ist CO₂-arm und brennstofffrei über Wärmepumpen möglich. Diese können durch die Nutzung von Erdwärme oder in Verbindung mit Wärmerückgewinnung aus Lüftungsanlagen ganzjährig energetisch effizient betrieben werden.

Die Einflussmöglichkeit der Kommune auf die Wahl der Wärmeerzeugungstechnik ist bei der Einzelgebäudeversorgung gering. Hier hängt die Wahl der Heizungs- und Warmwassertechnik von der Weiterentwicklung der Gesetzgebung und der persönlichen Motivation der Gebäudebesitzer ab. Bei einem hohen Anteil von Wärmepumpen-Wärmeversorgung in Verbindung mit Kurzzeit-Wärmespeicherung ist mit zusätzlichem Ausbaubedarf von Netzen und Speichern im Stromversorgungssystem zu rechnen.

Methodische Hinweise zur Einbindung verschiedener Optionen in die Masterplan-Entwicklung geben die nächsten Abschnitte.

14.4 Solarthermische Wärme mit Wärmenetzen und saisonaler Wärmespeicherung

Heizwärme und Warmwasser können ohne Brennstoffbedarf und bei geringem Strombedarf unmittelbar aus der Sonnenwärme durch solarthermische Kollektoren bereitgestellt werden.

Solare Wärme auf einem geeigneten Temperaturniveau wird vorwiegend in den Sommermonaten, in geringerem Umfang in der Übergangszeit und kaum im Winter eingestrahlt. Daher erfordert die Nutzung solarthermischer Wärme zur ganzjährigen Raum- und Warmwasserversorgung

eine Langzeit-Wärmespeicherung durch saisonale Wärmespeicher.

Um die Versorgung mit Wärme auch in sehr langen Kälteperioden oder Jahren mit unterdurchschnittlicher solarer Einstrahlung sicherzustellen, ist als Back-up-Möglichkeit die Speicherbeladung über Wärmepumpen sinnvoll (Marx et al., 2011). In Jahren mit durchschnittlichen Witterungsbedingungen stellen diese Wärmepumpen nur geringe Anteile der Jahreswärmelast bereit. Durch die für hohe solarthermische Erzeugungsanteile notwendigen saisonalen Speicher kann die ergänzende Wärmepumpennutzung zeitlich sehr gut vom Wärmebedarf entkoppelt werden und ermöglicht Lastverschiebungspotenziale im Stromsektor.

Bei Verwendung dachinstallierter Anlagen kann eine Nutzungskonkurrenz um verfügbare Freiflächen vermieden werden (wenn auch auf Kosten einer Konkurrenz mit PV-Dachanlagen und zu höheren Kosten) (vgl. Kapitel 9.1). Masterplan-Kommunen sollten hier jedoch individuelle Entscheidungen anhand der lokal verfügbaren Flächen- und Dachflächenpotenziale treffen.

Netzgebundene Wärmeversorgung mit hohen Anteilen solarthermischer Wärme wurde in Rheine beispielhaft für 55 Versorgungsgebiete unter Berücksichtigung unterschiedlicher Besiedlungsstrukturen und solarer Dachflächenpotenziale modelliert und simuliert. In die Modellentwicklung flossen Ergebnisse aus deutschen Forschungsprojekten (Mangold et al., 2012) und der technische Stand von Erdbecken-Großwärmespeichern in Dänemark ein. Aus den Simulationsergebnissen lassen sich bei ähnlichen Rahmenbedingungen Orientierungswerte für spezifische Speichergrößen und Kollektorflächen sowie eine mittlere Wärmepumpen-Jahresarbeitszahl (JAZ, Verhältnis Gesamtwärmebereitstellung zu Stromeinsatz) für die Grobplanung von Kommunen ableiten.

Rahmenbedingungen Wärmeversorgungssystem

- Solarthermische Wärmeerzeugung in dachgebundenen Vakuumröhrenkollektor-Anlagen
- Vierleiter-Wärmenetz für Transport solarer Wärme zum Speicher und Wärmetransport vom Speicher zum Gebäude
- Wärmenetz-Vorlauftemperatur 60°C, Rücklauftemperatur 35°C (20 % Netzverluste bezogen auf den Nutzenergiebedarf)

- Erdbeckenwärmespeicher 24.000 bis 100.000 m³ Wasservolumen³⁰, rund 17% Speicherwärmeverluste bezogen auf den Nutzenergiebedarf (Erdbeckenspeicher rundum gedämmt)
- Zentral im Wärmespeicher angeordnete Wärmepumpen als Back-up-Heizmöglichkeit (untere kalte Schicht = kalte Wärmequelle der Wärmepumpe)
- Gebäudebeheizung über konventionelle Heizkörper möglich
- Warmwasserbereitstellung über Plattenwärmtauscher (Übergabestation, Durchflussverfahren)
- Wärmepumpeneinsatz nur bei zu geringer Restbeladung des saisonalen Speichers (ohne Nutzung der Demand-Side-Management-Potenziale)
- Maximaler Versorgungsanteil Wärmepumpen → Strombedarf für Wärmepumpen max. 5% des Wärmebedarfs (Endenergie inkl. Netzverluste)
- Globalstrahlung rund 960 kWh/(m²*a)

Orientierungswerte Kollektorflächen und Speichervolumina bei rund 85 %igem solaren Deckungsanteil

- Kollektorfläche pro MWh Nutzenergiebedarf 2,8 m²/(MWh*a)
- Speichervolumen pro MWh Nutzenergiebedarf 17,3 m³/(MWh*a)
- Kollektorfläche pro MWh solare Endenergie-Bereitstellung 2,3 m²/(MWh*a)

Die JAZ des Wärmepumpeneinsatzes als Back-up-System lag nach den Simulationsergebnissen im Mittel bei rund 3,4.

Bei erhöhten Anteilen der Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen im saisonalen Speicher aufgrund von zu geringen solaren Dachflächenpotenzialen kann das notwendige Speichervolumen proportional zur verminderten Kollektorfläche herabgesetzt werden, wenn die Wärmepumpen nur bei zu geringer Restbeladung des saisonalen Speichers eingesetzt werden (keine Langzeitspeicherung von Wärmepumpenwärme).

14.5 Zuordnungsansätze der Wärmenetzeignung von Besiedlungsgebieten

Wärmenetze und saisonale Speicher erfordern eine Mindestwärmebedarfsmenge pro Meter Netzlänge und eine Mindestspeichergröße, um die Speicher- und Transportverluste im Verhältnis zum Bedarf zu begrenzen.

Als Orientierungsgröße für die jährliche Mindestenergieärmemenge je Distanzmeter Wärmenetz (Wärmebelegung) im postfossilen Konzept sind 0,5 MWh/m eine realistische Größenordnung. Für die Berechnung wird der ermittelte Zukunftswärmebedarf zugrunde gelegt. Die Mindesttrassenlänge kann über die Länge der die Gebäude im Nahwärmeversorgungsgebiet verbindenden Straßen abgeschätzt werden.³¹

Ab 10.000 m³ ist die über die Speicheroberfläche abgegebene Verlustwärme im Verhältnis zum Wärmeinhalt des Speichers so gering, dass auch die langfristige saisonale Speicherung nur moderate Wärmeverluste von rund 15% der gespeicherten Wärme je Halbjahr mit sich bringt (Saisonalspeicher, 2015). Daher sollte diese Mindestgröße bei der Auslegung eines Wärmeversorgungsgebiets angesetzt werden. Ein durch Nahwärmenetze zu versorgendes Besiedlungsgebiet sollte zur Einhaltung dieser Mindestgröße bei durchgängig energetisch saniertem Gebäudebestand mindestens 580 MWh Nutzenergie-Wärmebedarf pro Jahr für Raumwärme und Warmwasser haben³².

Für die Siedlungsgebiete sind die zukünftig anzunehmenden Wärmebedarfe und deren räumliche Dichte zu ermitteln, um zu entscheiden, ob die Versorgung durch ein Wärmenetz-Saisonalspeicher-System möglich ist (vgl. Kapitel 10.2.1).

Für die Wärmebereitstellung mit hohem solaren Anteil sind ausreichende solare Flächen innerhalb der Nahwärmeversorgungsgebiete erforderlich. Methodische Ansätze zur Potenzialermittlung werden in Kapitel 9.1 beschrieben.

14.6 Zusätzliche Nutzungsoptionen saisonaler Speicher in Verbindung mit Wärmepumpen

Die schwerpunktmäßig im Sommer einfallende solare Strahlungsenergie kann auch über PV-Anlagen in Verbindung mit zentralen Wärmepumpen zur Beladung saisonaler Speicher genutzt werden.

30 Der bisher größte 2015 in Betrieb genommene Speicher hat 200.000m³ (Nordic Folkecenter, 2014).

31 0,5 MWh/m entsprechen den Förderbedingungen der „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie vom 11. März 2015; darin unter Nr. 4 Wärmenetze.

32 $10.000\text{m}^3 \frac{\text{Gesamt-Speichervolumen}}{\text{Spezifisches Speichervolumen}} / (17,3\text{m}^3 \frac{\text{Spezifisches Speichervolumen}}{\text{MWh}_{\text{Nutzenergie Raumwärme-Warmwasser/a}}}) = 579 \text{ MWh/a}$

14.7 Weitere Nutzungsoptionen für Wärmenetze

Wärmenetze können auch für zentrale Wärmequellen unter Nutzung nicht-saisonaler oder ganz ohne Wärmespeicher eingesetzt werden. Dazu muss die jährlich nutzbare Wärmemenge ausreichend hoch sein und der zeitliche Verlauf der Quelle zum Wärmebedarfsverlauf passen (tiefe Geothermie, kalte Nahwärmenetze z. B. für Niedertemperaturwärme aus Oberflächengewässern für die Nutzung über Wärmepumpen, Abwärme o. ä.). Bei der Nutzung in Verbindung mit Wärmepumpen ohne Langzeitspeicher sind damit ähnliche Anforderungen an das Stromsystem verbunden, wie sie auch bei der Einzelgebäudeversorgung auftreten (vgl. Kapitel 15.2).

14.8 Strombasierte Einzelgebäudeversorgung

Der Einsatz von Wärmepumpen als Heizungsanlage einzelner Gebäude ist eine energetisch effiziente, strombasierte Wärmeversorgungsmöglichkeit. Diese Option eignet sich u. a. als Ergänzung einer netzgebundenen Wärmeversorgung, z. B. zur Versorgung von peripher liegenden kleinen Siedlungsgebieten, kann aber auch durchgängig für alle Gebäude der Kommune eingesetzt werden.

Die Heiz- und Warmwasserversorgung kann beispielsweise über Wärmepumpen in Verbindung mit einer oberflächennahen Erdwärmequelle erfolgen. In diesem Fall wird für die notwendige Vereinfachung bei der Erstellung eines gesamtstädtischen Konzepts angenommen, dass die Erdwärme ausschließlich über vertikale Erdsonden bereitgestellt werden kann. Die Erdsonden-Verwendung ist relativ unabhängig von den Grundstücksgegebenheiten überall dort möglich, wo ausreichendes geothermisches Potenzial und kein Nutzungsausschluss ermittelt wird. Bei der realen Umsetzung kann die Wärmepumpe auch in Verbindung mit horizontalen Erdwärmekollektoren oder Wärmebrunnen eingesetzt werden. In Passivhäusern ist alternativ die Raumluftabwärme als Wärmequelle für die Wärmepumpe nutzbar. Die von der Masterplan-Kommune gewählten Optionen können im Hinblick auf die erreichbare Jahresarbeitszahl (JAZ) abhängig von realen Gegebenheiten und Nutzerverhalten deutliche Unterschiede aufweisen. Vereinfachend lassen sich für die Grobkonzept-Entwicklung einer Kommune die bei realen Messungen in ausreichend ähnlichen Systemen in Forschungsprojekten (Miara et al., 2011) ermittelten Jahresarbeitszahlen als Mittelwerte verwenden.

Auf der Gebäudeseite ist für eine hohe energetische Effizienz dieser Versorgungsoption bei der energetischen Sanierung der Einbau von Flächenheizungen notwendig. Die Warmwasserbereitung sollte über Plattenwärmetauscher erfolgen, um die Warmwasserspeicherung und damit die Aufheizung des Warmwassers auf mindestens 60 °C zur Legionellen-Prophylaxe zu vermeiden.

14.9 Methodische Aspekte der Endenergie-Bilanzierung

Der Wärmetransportverlust innerhalb der thermischen Gebäudehülle wird bei der Berechnung des endenergetischen Wärmebedarfs eines gesamtstädtischen Konzeptes vereinfachend vernachlässigt (s. Kapitel 10.2.3).

Bei der Nutzung von Wärmepumpen in der Einzelgebäudeversorgung wird über die ermittelte JAZ der nach den methodischen Hinweisen in Kapitel 10.2 ermittelte zukünftige Nutzwärmebedarf in den Endenergiebedarf an Strom umgerechnet.

Geothermische Endenergiemengen sind als Differenz zwischen dem Gesamtwärme-Output und dem Stromverbrauch der Wärmepumpe zu berechnen.

Bei der Versorgung über Wärmenetze ist der Transportverlust an Wärme sowie ggf. der Wärmespeicherverlust nach den Auslegungsparametern oder durch Abschätzung anhand von Erfahrungswerten zumindest grob überschlägig zu ermitteln. Grobe Faustwerte für die auf die Nutzenergiebedarfe aufzuschlagenden Wärmemengen (Ingenieurbüro Umweltschutz & Technik, 2009) zur Ermittlung des Endenergiebedarfs sind (Bezugsgröße Nutzwärmebedarf)

- Wärmenetzverlust 20 %
- Speicherungsverlust saisonaler Speicher (rundum gedämmt) 17 % (Simulationsergebnis)

Die so berechneten Endenergiebedarfe einer netzgebundenen Wärmeversorgung können ohne Simulationsrechnung von den Masterplan-Kommunen nur grob überschlägig den Wärmeversorgungstechnologien (z. B. solarthermische Wärmebereitstellung, Bereitstellung über Wärmepumpe) anteilig zugeordnet werden. Bei Verwendung der in diesem Kapitel angegebenen Faustwerte für die Kollektorflächen (Vakuümrohrenkollektor) und Saisonal-speichergrößen

je MWh Nutzenergiebedarf kann von einer rund 85%igen solaren Deckungsrate ausgegangen werden, die restlichen 15 % der Wärme sind der Wärmepumpenerzeugung zu zuschlagen.

Werden andere Kombinationen oder Technologien zur Wärmeerzeugung eingesetzt, muss die Abschätzung ggf. über eigene Berechnungstools oder anhand geeigneter Literaturwerte vorgenommen werden.

Für die Strombedarfe der Umwälzpumpen im Wärmenetz kann grob überschlägig 0,5 % der

jährlich transportierten Endenergiemenge angesetzt werden (Schäfer, 2013).

Die Berechnung der Treibhausgas-Emissionen, die durch die ermittelten Endenergiebedarfe des Wärmesektors verursacht werden, erfolgt über den Klimaschutz-Planer und die in Kapitel 5 angegebenen THG-Emissionsfaktoren. Details dazu sind in Kapitel 5 erläutert.

Was liegt am Ende dieses Arbeitsschrittes vor?

- ✓ Entscheidung für netzgebundene oder Einzelgebäude-Wärmeversorgung und ggf. Zuordnung zu Siedlungsgebieten; falls netzgebunden:
- ✓ Entscheidung für oder gegen Einsatz saisonaler Wärmespeicher, ggf. Abschätzung Anzahl, Größe, Lage anhand der gegebenen Faustgrößen in Anlehnung an den Nutzwärmebedarf
- ✓ Entscheidung für oder gegen Einsatz bereits vorhandener baulicher Strukturen als Wärmespeicher (s. Kapitel 7.3)
- ✓ Festlegung der Wärmebereitstellungstechnik (z. B. Wärmepumpen, Solarthermie, KWK)
- ✓ Belastbare Abschätzung Anzahl der Versorgungseinheiten, Leistung/Fläche/Kapazität/Anzahl Erdwärmesonden etc. zur Bereitstellung der Wärmebedarfe

Dokumentation im Masterplan für Schritt 11

- ✓ Alle erfassten Wärmeversorgungsoptionen mit ihren Vor- und Nachteilen (innerhalb des Sektors und sektorübergreifend)
- ✓ Darstellung des gewählten Wärmeversorgungskonzeptes mit räumlichem Bezug und Begründung („Welche Stadtbereiche werden wie warum versorgt?“)
- ✓ Qualitative Darstellung der Auswirkungen des gewählten Wärmeversorgungskonzeptes auf die anderen Sektoren (Potenzialnutzung, Fluktuationwirkung, Infrastruktur)
- ✓ Endenergiebedarfe aus der Gebäude- und Warmwasserversorgung pro Jahr
- ✓ Ermittelte Anzahl der Versorgungseinheiten, Leistung/Fläche/Kapazität zur Bereitstellung der Wärmebedarfe

Schritte in Richtung Implementierung

- ✓ Best-Practice-Beispiele zukünftiger Wärmeversorgungsmöglichkeiten in oder unter Einbezug kommunaler Liegenschaften
- ✓ Niederschwellige Vor-Ort-Bürgerinformation zu zukünftigen Wärmeversorgungsmöglichkeiten
- ✓ Verbindung von Kanal- und Straßenarbeiten mit Verlegung von Wärmeleitungen in zukünftig netzgebunden versorgten kommunalen Gebieten
- ✓ Abstimmung von energetischer Gebäudesanierung und Versorgungsplanung (z. B. alle regionalen Energieberater, Architekten und Ingenieure sowie gezielte Information von Verantwortlichen bei Bauanträgen und Sanierungen)

15 Masterplan-Schritt 12: Entwicklung sektorübergreifender Ausgleichsoptionen erneuerbarer Stromversorgung (Stromwende)

Was ist in Schritt 12 der Masterplan-Entwicklung zu tun?

Die erneuerbaren Stromerzeugungsleistungen der Zielvision innerhalb der Kommune werden festgelegt.

Für mögliche Versorgungsoptionen der Sektoren Haushalte, Industrie/GHD und Verkehr werden die daraus resultierenden Residuallast-Extremwerte und Fluktuationsausgleichsoptionen für das zukünftige Stromversorgungssystem (qualitativ) untersucht. Alle strukturellen Möglichkeiten zum Ausgleich der residualen Last (innerhalb des Stromsektors und in anderen Sektoren) werden entsprechend den kommunalen Strukturen und Potenzialen erfasst und die damit verbundenen Vor- und Nachteile für das Gesamtsystem bewertet.

Die gegenwärtige Stromversorgung basiert weitgehend auf der Nutzung fossiler Energieträger bei einem steigenden Anteil erneuerbaren Stroms (2014: 27% des Bruttostromverbrauchs, BMWi, 2015). In der gesamten Energieversorgung spielen heute chemische Speicher in Form von Kohle, Erdöl und Erdgas eine zentrale Rolle, die langfristig von fluktuierenden Energiequellen wie Sonne und Wind übernommen werden muss. Die zukünftig zunehmende Elektrifizierung des Wärme- und Mobilitätssektors hat darüber hinaus zur Folge, dass das postfossile Stromsystem nicht nur die Fluktuationen der „klassischen“ Stromverbraucher, sondern darüber hinaus auch die Variabilität des Strombedarfs für Wärme und Mobilität ausgleichen muss (vgl. Kapitel 2.1). Versorgung, Fluktuationsausgleich und Energiespeicherung sind in einem postfossilen System aufgrund limitierter nachhaltiger Brennstoffpotenziale jedoch nur noch in sehr geringem Maß durch Brennstoffe und andere regelbare erneuerbare Stromerzeuger möglich. Daher erfordert der Last- und Erzeugungsausgleich in einem zukünftigen Stromsystem den Einsatz neuartiger Flexibilitäts- und Ausgleichsoptionen.

Die Nutzung des Stromnetzes ist heute durch zentrale Stromerzeugung und Stromflussrichtung zu den Verbrauchszentren hin geprägt. Bedarfsschwankungen werden vorwiegend durch Anpassung der Stromerzeugungsleistung des fossilen Kraftwerksparks ausgeglichen.

Wichtig für Zukunftsentwicklungen der Stromversorgung in den Kommunen ist die Erfassung heutiger

Infrastrukturvoraussetzungen im Verteilnetz und an den Koppelstellen zum vorgelagerten Netz (s. Kapitel 7.1). Entscheidungsoptionen in allen Bedarfs- und Versorgungsbereichen müssen auch im Hinblick auf die damit verbundenen Infrastrukturanforderungen u. a. auf der Stromseite betrachtet werden.

Kommunaler Einflussbereich

Kommunale Entscheidungsträger haben die Möglichkeit, den Ausbau von erneuerbaren Energien innerhalb der Kommune selbst anzugehen und zu fördern. Über eigene Stadtwerke können Kommunen durch Speicherbau und Demand-Side-Management als Betreiber oder Koordinator (z. B. netzentlastende Nutzung von privaten Hausspeichern) innerhalb ihrer Energieversorgungs- und Bedarfsbereiche einen Beitrag zum kommunalen, aber ggf. auch überregionalen Fluktuationsausgleich leisten. Damit kann der Anteil des innerhalb der Kommune erzeugten und direkt dort verbrauchten Stroms erhöht werden. Auf den Erzeugungsmix des außerhalb der Kommune erzeugten Stroms hat die Kommune nur über Investitionen Einfluss. Sind keine eigenen Stadtwerke vorhanden, so kann mit den Netzbetreibern und Energieversorgern in der Kommune ein Plan zur Stabilisierung der Stromversorgung erstellt werden. Grundsätzlich sollten die Masterplan-Kommunen vorab diskutieren, in welchem Maße langfristig technische Ausgleichsoptionen im Gebiet der Kommune eingesetzt werden sollen, um das lokale Netz, aber auch vorgelagerte Netzebenen zu entlasten.

15.1 Bedeutung des Stromsektors in einem post-fossilen Versorgungssystem

Die kommunale Stromversorgung der Zukunft basiert auf erneuerbaren Energien. Dabei bleibt der Strom-austausch mit extrakommunalen Versorgungsgebieten über national und international verknüpfte Strom-netze erhalten. Für die deutlich dezentralere Stromer-zeugung muss das Stromnetz zukünftig in die dezent-rale wie die zentrale Flussrichtung nutzbar sein.

Die Ausnutzung lokaler Erzeugungspotenziale ermög-licht hohe kommunale Erzeugungsanteile in der Jahresbilanz und ist zur Bereitstellung ausreichender Stromerzeugungsmengen in Deutschland und Europa unverzichtbar. Wenn Kommunen einen maßgeblichen Teil³³ des dezentral erzeugten Stroms lokal nut-zen und durch intelligente Flexibilitätsmaßnahmen Spitzen beim Lastausgleich durch das vorgelagerte Netz möglichst gering halten, können übergeordnete Netz- und Speicherstrukturen entlastet und der Aus-baubedarf verringert werden. Die Nutzung der Erzeu-gungs- und Ausgleichspotenziale in Kommunen trägt damit zur stabilen Entwicklung des übergeordneten Stromversorgungssystems bei.

15.2 Fluktuationsausgleich im zukünftigen Energieversorgungssystem

Der zukünftige Strombedarf der verschiedenen Berei-che zeigt sehr unterschiedliche charakteristische Fluktuationen im zeitlichen Verlauf (Tag, Jahr) und zusätzliche stochastische Variabilität in Form von Prognose-Ungenauigkeiten. Die Stromerzeugung im Zukunftssystem fluktuiert hingegen weitgehend wetterabhängig. Werden in den Bedarfsbereichen die Elektrifizierungspotenziale ohne Nutzung der damit verbundenen Möglichkeiten zum Fluktuationsaus-gleich umgesetzt, erhöhen sich die Spitzen der kom-munalen residualen Last deutlich.

Der Fluktuationsausgleich wird sowohl durch Versor-gungsentscheidungen (z. B. netzgebundene Wärme-versorgung und zentrale saisonale Wärmespeicher vs. Einzelgebäudeversorgung mit PV und Wärme-pumpe) und Ausgleichsoptionen in den Bereichen Wärme, Mobilität, KWK als auch durch Stromspeicher (mobil und stationär) bestimmt.

15.2.1 Fluktuationsausgleich in den Bereichen Gebäudewärme, Mobilität, KWK

Gebäudewärme

Der Heizenergiebedarf der Gebäude fällt zum über-wiegenden Teil in den Übergangszeiten und Winter-monaten an. Da die zukünftige Wärmeversorgung zumindest teilweise durch Strom (Wärmepumpen) sichergestellt werden wird (vgl. Kapitel 14), ist es für die Belastung des Stromsystems von hoher Bedeu-tung, ob und in welchem Maß diese saisonale Fluk-tuation innerhalb des Wärmeversorgungssystems ausgeglichen werden kann. Der Großteil der solaren Energie wird in den Übergangszeiten und im Sommer, also saisonal versetzt zum Heizwärmebedarf ein-gestrahlt. In dieser Zeit ist neben dem Heizwärme-bedarf auch der Gesamtstrombedarf geringer als im Winter.³⁴ Daher bietet die Einspeicherung fluktuie-render Energie in saisonale Wärmespeicher sehr gute Möglichkeiten für eine Entlastung des Stromversor-gungssystems. Solare Strahlung kann entsprechend der Entscheidung zur Wärmeversorgung im Gebäude-bereich über solarthermische Kollektoren oder über in Wärmepumpen genutzten Solarstrom in Wärme umgewandelt und saisonal gespeichert werden (vgl. Kapitel 14).

Eine vorwiegende Heiz- und Warmwassererzeugung über solarthermische Kollektoren in Verbindung mit saisonalen Speichern ermöglicht bereits eine deutli-che Verringerung der Spitzen der Residuallast gegen-über einer strombasierten Wärmeversorgung von Einzelgebäuden: Durch den geringen Strombedarf der Back-up-Wärmepumpen im Wärmespeicher sinken die winterlichen Strombedarfsspitzen, die verringerte PV-Stromerzeugung aufgrund hoher Nutzungsanteile verfügbarer Flächenpotenziale für Solarthermie bewirkt eine deutliche Senkung der sommerlichen Stromerzeugungsspitzen (vgl. Abb. 15-1).

Eine Kombination von solarthermischer Wärmebe-reitstellung und einem höheren Anteil an Wärme-pumpen-Wärmeeinspeisung direkt in die saisonalen Wärmespeicher ist ebenfalls möglich. Die Speicher-ung von elektrischer Energie als Wärme über Wärmepumpen in saisonalen Speichern ermöglicht gute Ausgleichsoptionen im Gesamtsystem, wenn der Betrieb des saisonalen Speichers über ein gutes

³³ In den beiden für Rheine entwickelten Zielvisionen (Kapitel 2.2) konnten rund 60% des vor Ort erzeugten Stroms direkt genutzt werden.

³⁴ Bei klimaangepasster Bauweise/Sanierung mit passivem sommerlichem Wärmeschutz zur Vermeidung stark steigender Klimatisierungsbedarfe

Energiemanagementsystem erfolgt. Anhand der saisonal und wetterabhängig prognostizierbaren Wärmebedarfsmengen und Erzeugungspotenziale sowie des Speicherfüllstandes könnten damit die Speicher ganzjährig gezielt zur Reduzierung von Einspeisespitzen von Wind- und PV-Strom ins vorgelagerte Netz genutzt werden.

Bei der Einzelversorgung von Gebäuden ist die zeitliche Verschiebung des Wärmebedarfs im Bestand nur kurzzeitig möglich. Für die ganzjährige Versorgung kommt daher bei Ausschluss von Brennstoffnutzung (vgl. Kapitel 2.3) nur eine Wärmebereitstellung über Wärmepumpen in Frage. Diese Entscheidung bringt im Stromversorgungssystem eine Erhöhung der winterlichen Strombedarfe und bei voller Nutzung der solaren Dachflächen für die Stromerzeugung eine deutliche Erhöhung der sommerlichen Erzeugungsspitzen mit sich.

Die Wirkung von Versorgungsentscheidungen auf Extremwerte der Last im Stromsystem wird beispielhaft anhand der Abbildung 15-1 deutlich. Unterschiede der Extremwerte für Stromeinspeisung und Strombezug³⁵ an der Koppelstelle zum vorgelagerten Netz sind hier v.a. durch die unterschiedlichen Wärmeversorgungsentscheidungen der beiden im Projekt KomRev für Rheine entwickelten Zielkonzepte verursacht.

Die deutlich höheren Extremwerte der roten Kurve werden durch die ausschließliche Nutzung der solaren Flächen durch PV (Einspeisespitzen = negative Werte) und die ausschließliche Einzelgebäude-Wärmeversorgung mit Wärmepumpen (Bedarfsspitzen = positive Werte) verursacht. Die überwiegende Nutzung solarer Flächen durch solarthermische Kollektoren bewirkt bei der blauen Kurve aufgrund geringer PV-Leistung geringere Extremwerte der Einspeisung (negative Werte). Die saisonale Speicherung der solaren Wärme bewirkt einen sehr geringen Wärmepumpenleistungsbedarf, der zu geringeren Extremwerten der Bedarfsspitzen der blauen Kurve (im Vergleich zur roten) führt.

Der Leistungsverlauf am Koppelpunkt zum vorgelagerten Netz in Rheine ist zum Vergleich für das Jahr 2014 mit dargestellt.

Mobilität

Ebenfalls großen Einfluss auf die Stromversorgung haben die strukturellen Entwicklungen der zukünftigen Mobilitätsversorgung.

Der Stromverbrauch erhöht sich durch elektrische Mobilität. Noch stärker wirkt sich allerdings aufgrund

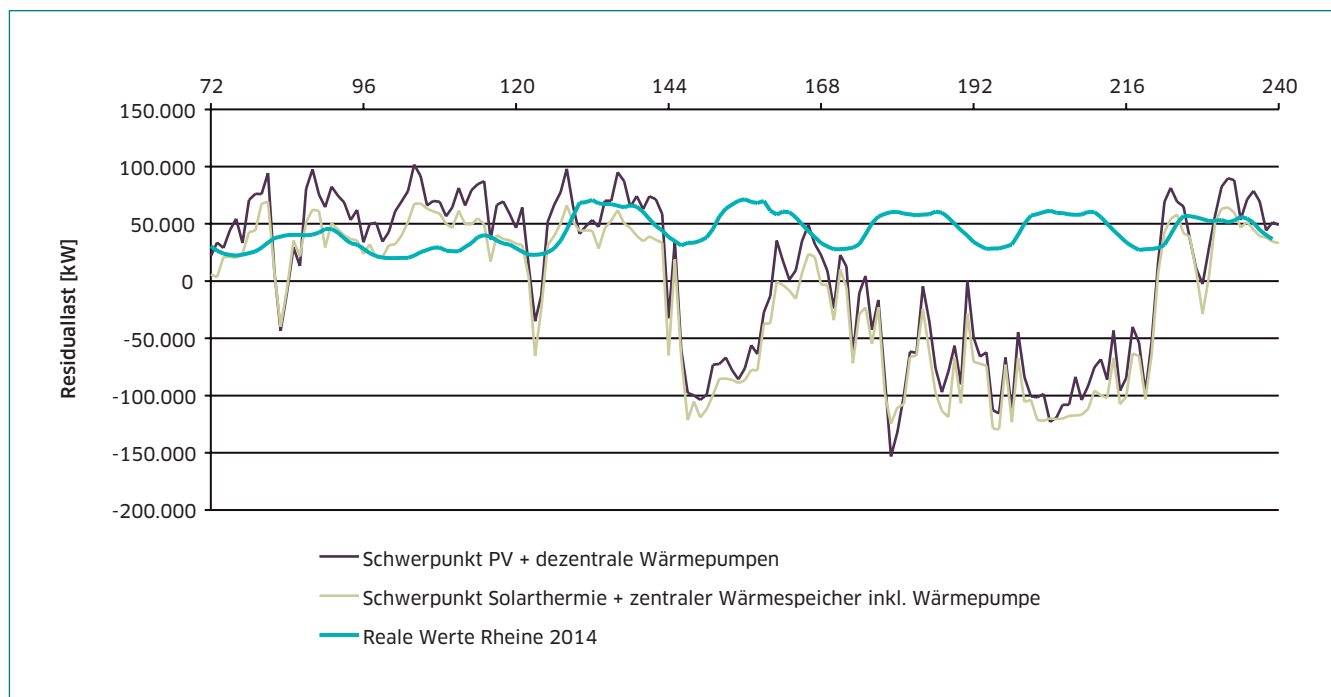


Abbildung 15-1: Residuallasten der KomRev-Konzepte im Vergleich zu realen Werten 2014 an den Koppelstellen zum vorgelagerten Netz in Rheine, jeweils 04.01. – 10.01.

³⁵ Simulationsergebnisse des Residuallastverlaufs. Zeitlich aufgelöste Simulationen sind in den Masterplan-Entwicklungen aufgrund der knappen Zeit und Mittelverfügbarkeit i.d.R. nicht realisierbar.

der hohen Umwandlungsverluste die Erzeugung von Kraftstoffen aus erneuerbarem Strom (EE-H₂, EE-CH₄) auf das Stromsystem aus (vgl. Kapitel 13.4). Strombasierte Mobilitätsversorgung bietet Möglichkeiten des Fluktuationsausgleichs: Fahrzeugbatterien lassen sich mit intelligenten Lademanagementsystemen stromsystementlastend be- und teilentladen. Elektrolyseprozesse zur Wasserstoffherzeugung (und ggf. Prozesse zur Methanisierung des Wasserstoffs) können als regelbare Lasten positive und negative Ausgleichsenergie für das Stromversorgungssystem bereitstellen (Demand-Side-Management DSM). Hohe Anteile strombasierter Kraftstoffbereitstellung benötigen aufgrund der damit verbundenen Energieverluste (mind. 35 %) hohe zusätzliche Stromerzeugung. Hier sollten Masterplan-Kommunen bei der kommunalen Planung die Potenzialgrenzen der Stromerzeugung auch im bundesweiten Kontext mit bedenken.

Der Strombedarf der privaten Haushalte kann durch DSM nur einen geringen Beitrag zum Fluktuationsausgleich leisten.

Prozesswärmeversorgung

Die Elektrifizierung von Prozessen in Industrie und GHD erhöht den Gesamtstrombedarf, ist aufgrund von limitierter Verfügbarkeit erneuerbarer Brennstoffe jedoch eine unverzichtbare Versorgungsoption in diesem Bereich (vgl. Kapitel 11.2). Die Elektrifizierung trägt so zur effizienten Nutzung der verfügbaren Energieerzeugungspotenziale im Gesamtsystem bei, da die mit Verlusten behaftete Erzeugung von EE-Brennstoffen vermieden wird. Strombasierte

Prozesswärmebedarfe lassen sich bei Einsatz von Wärme- oder Kältespeichern den Anforderungen des Stromversorgungssystems zeitlich in beschränktem Umfang anpassen (s. Infobox „Industrielle Prozesswärmeerzeugung als Last- und Erzeugungsmanagement-Option“).

Kraft-Wärme-Kopplung

Jede der genannten nicht biomassebasierten Versorgungsoptionen erhöht das für den Einsatz in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) oder Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) verfügbare Biomassepotenzial. KWK nutzt Biomasse mit hoher Effizienz und bietet positive elektrische Ausgleichsleistung in Stromdefizit-Situationen. Bei stromgeführter Betriebsweise kann KWK-Wärme u. a. in vorhandene Nahwärmenetze mit saisonalen Wärmespeichern eingespeist werden. Aufgrund der Notwendigkeit eines bundesweiten Ausgleichs limitierter Biomassepotenziale (vgl. Kapitel 13.1) kann KWK/KWKK jedoch insgesamt nur einen geringen Beitrag zum Fluktuationsausgleich leisten.

Abbildung 15-2 stellt einen Ausschnitt der vielfältigen Wechselwirkungen in der intersektoral gekoppelten Masterplan-Zielvision aus Sicht des Stromversorgungssystems dar. Ausgehend von Entscheidungen für die Versorgung von Bedarfen in den vorherigen Kapiteln haben diese Rückwirkung auf das Stromsystem. Zwei Möglichkeiten zur Kopplung der einzelnen Sektoren und zum Ausgleich von Fluktuationen sind beispielhaft dargestellt. Ebenso gut sind in der Masterplan-Entwicklung die Wahl anderer und die Kombination verschiedener Versorgungsoptionen möglich.

Industrielle Prozesswärmeerzeugung als Last- und Erzeugungsmanagement-Option

Aufgrund limitierter Brennstoffpotenziale in einem postfossilen Energiesystem muss die Prozesswärmebereitstellung weitgehend elektrifiziert oder über hocheffiziente KWK-Anlagen erfolgen. Die Flexibilisierung der Prozesswärmeerzeugung über intelligent eingesetzte (Hochtemperatur-) Wärmespeicher eröffnet dabei Möglichkeiten für das Last- und Erzeugungsmanagement im lokalen Verteilnetz:

Elektrische Prozesswärmeerzeugung erhöht zunächst den lokalen Strombedarf und ggf. die Spitzenlast im lokalen Verteilnetz. Andererseits kann ein Wärmespeicher den Strom-*Bezug* zeitlich vom Wärmebedarf entkoppeln, sodass bei hohem Wind- und PV-Strom-Angebot überschüssiger Strom gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt als Wärme genutzt werden kann. Bei Erzeugungsdefizit deckt dagegen der Speicher den Wärmebedarf; zusätzlicher Strombezug wird so minimiert.

Wird Prozesswärme hingegen über ein BHKW erzeugt, können Strom-*Erzeugung* und Wärmebedarf durch den Speicher entkoppelt werden. Das BHKW kann zum Ausgleich eines EE-Stromdefizits beitragen, auch wenn zum entsprechenden Zeitpunkt kein Wärmebedarf besteht. In Überschuss-Situationen hingegen kann das BHKW heruntergefahren werden; ggf. vorhandener Wärmebedarf wird aus dem Speicher gedeckt.

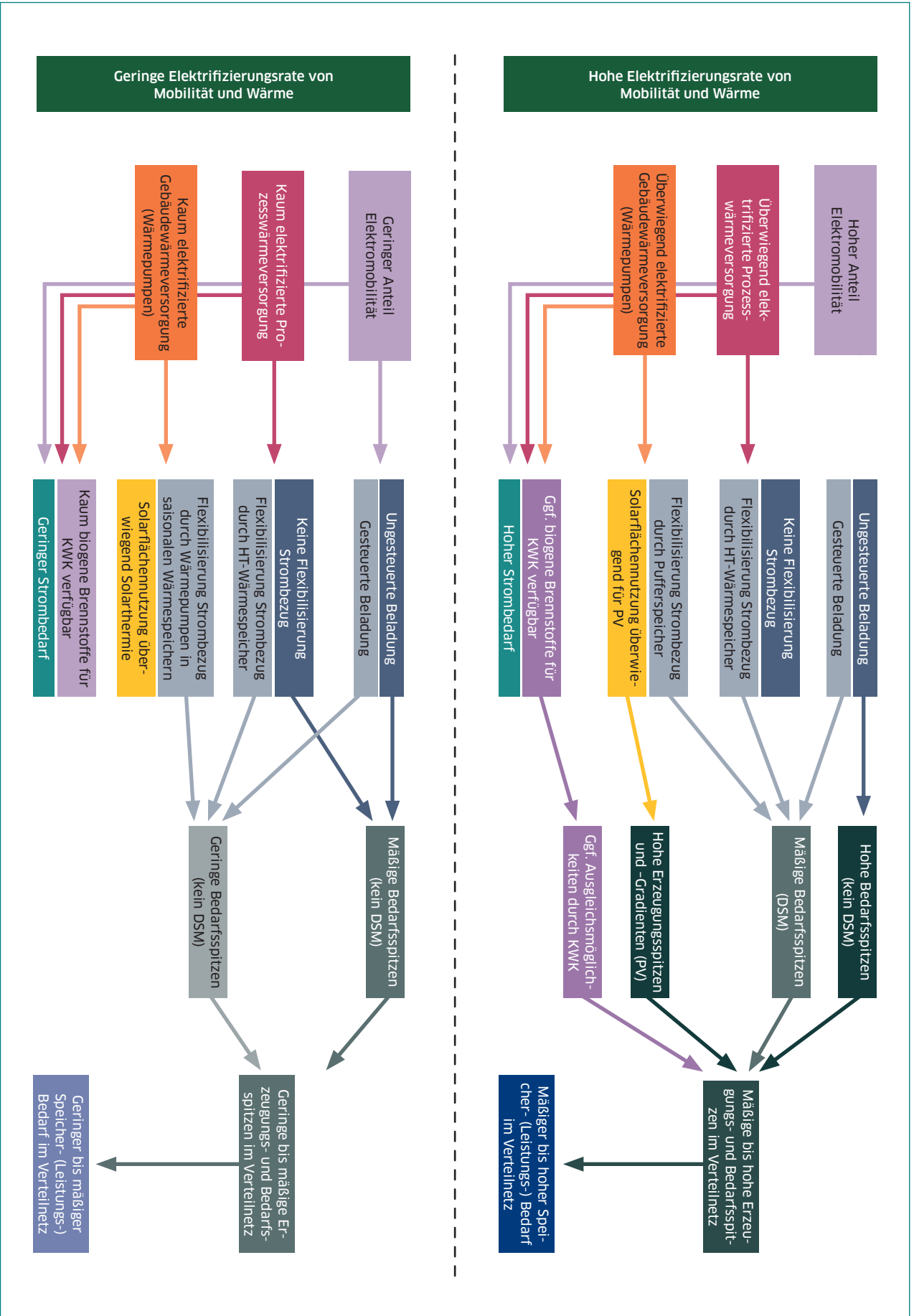


Abbildung 15-2: Wechselwirkungen in zwei beispielhaft ausgewählten Kopplungsmöglichkeiten intersektoral vernetzter Stromversorgungskonzepte

15.2.2 Fluktuationsausgleich durch Stromspeicher

Auch bei umfassender Nutzung der o.g. sektoralen Optionen ist damit für die allermeisten Kommunen kein vollständiger Ausgleich der residualen Last zu erwarten. Die verbleibenden Defizite und Überschüsse können an das vorgelagerte Netz weitergeleitet werden. Ein Teil des Fluktuationsausgleichs ist durch die Vernetzung einer Vielzahl unterschiedlicher kommunaler Residuallasten möglich. Da Großwetterlagen die Erzeugung und tageszeitliche wie saisonale Faktoren die Bedarfe der Kommunen häufig überregional in ähnlicher Weise beeinflussen, ist so kein vollständiger Fluktuationsausgleich möglich. Untersuchungen zeigen, dass die im Zukunftssystem anfallenden Fluktuationen auch bei ausreichender Transportnetzkapazität hohe Speicherkapazitäten erfordern (Agora Energiewende, 2014).

Innerhalb der Kommune ermöglichen Batteriespeicher einen geringeren Verteilnetzausbau, kurzfristigen positiven wie negativen Fluktuationsausgleich bei geringen Energieverlusten, unterstützen die Stromnetzstabilisierung und erhöhen den Anteil des vor Ort nutzbaren intrakommunal erzeugten Stroms. Zu Schwarm speichern verbundene dezentrale Batteriestandorte können durch zentrale Steuerung Dienstleistungen im Netz übernehmen. Residuallastspitzen lassen sich durch einen systemdienlichen Batterieeinsatz deutlich verringern (Agora Energiewende, 2014).

Werden Elektrolyseanlagen in Kommunen in örtlicher Nähe zu Quellen konzentrierter CO₂-Ströme gebaut (Biogas, Kalkwerke etc.), kann Wasserstoff unter Nutzung dieses Kohlenstoffs methanisiert und in das Gasnetz eingespeist werden. Diese Option bietet gute Langzeit-Speicherpotenziale und eine hohe Speicherkapazität im Gasnetz, ist jedoch mit vergleichsweise hohen Energieverlusten verbunden und teurer als andere elektrische Speicher (Sterner, 2014). Bei innerhalb der Kommune erfolgreicher Rückverstromung in GuD-KWK (positive Ausgleichsenergie) ist KWK-Wärme für Prozesswärmeerzeugung sowie für Gebäudewärmeversorgung nutzbar. KWK-Wärme kann ggf. in vorhandene Nahwärmenetze und saisonale thermische Speicher eingespeist werden.

15.3 Methodische Aspekte der Endenergie-Bilanzierung

Im Bereich der Stromversorgung sind die bilanzierten Energiemengen stets Endenergie. Für die Energiebilanzen des Startjahres wie der Zielvision sind daher jeweils die Strombedarfe als Basis der Treibhausgas-Bilanzierung zu verwenden.

Die Berechnung der Treibhausgas-Emissionen, die durch die ermittelten Endenergiebedarfe des Stromsektors verursacht werden, erfolgt über den Klimaschutz-Planer und die in Kapitel 5 angegebenen THG-Emissionsfaktoren.

Was liegt am Ende dieses Arbeitsschrittes vor?

- ✓ In der Zielvision zu berücksichtigende erneuerbare Stromerzeugungsleistung innerhalb der Kommune
- ✓ Gewählte stromsystemrelevante Versorgungsoptionen der Sektoren Haushalte, Industrie/GHD und Verkehr
- ✓ Abschätzung Residuallast-Auswirkungen (maximale positive und negative Leistungssummen durch Abgleich installierter Erzeugungsleistung und maximaler Bedarfe)
- ✓ Abschätzungen Höhe Fluktuationsausgleichspotenzial der Bedarfssektoren (in Anlehnung an Literaturwerte und Forschungsergebnisse)
- ✓ Ggf. Darstellung kommunaler Möglichkeiten für Fluktuationsausgleich durch reversible (elektrische oder chemische) Speicherung elektrischer Energie

Dokumentation im Masterplan für Schritt 12

- ✓ Installierte Stromerzeugungsleistung innerhalb der Kommune (Zielvision)
- ✓ In der Zielvision im Vergleich zur Gegenwart neue strombasierte Versorgungsentscheidungen in den Sektoren Haushalte, Industrie/GHD und Verkehr mit den abgewogenen Vor- und Nachteilen (innerhalb des Sektors und sektorübergreifend)
- ✓ Qualitative Darstellung des Zusammenspiels der Auswirkungen aller in den Sektoren gewählten Versorgungsoptionen (Stichwort: Fluktuationen)

16 Anwendbarkeit in Kommunen mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen

16.1 Übertragbarkeit der Methodik

Die im Handbuch beschriebenen Aufgabenfelder und Herangehensweisen dienen einer strukturierten, methodischen und einheitlichen Erstellung des Masterplans. Auf Grund der sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen in den einzelnen Masterplan-Kommunen (z.B. Effizienz- und EE-Potenziale, infrastrukturelle Gegebenheiten und Möglichkeiten) ist zu erwarten, dass sich trotz einheitlicher Methodik stark voneinander abweichende Zielkonzepte ergeben. Auch enthält das Handbuch nicht alle Möglichkeiten einer postfossilen Versorgung (z.B. Algen als weitere Biomassequelle). Daher kann es Masterplan-Kommunen geben, für die die Wahl einer im Handbuch nicht benannten Versorgungsoption sinnvoll ist.

Im Rahmen des Handbuchs ist es außerdem nicht möglich, alle individuellen Voraussetzungen der Masterplan-Kommunen zu berücksichtigen bzw. für die jeweiligen kommunalen Voraussetzungen einen methodischen Ansatz differenziert darzustellen. Es kann daher sein, dass die im Handbuch beschriebene Methodik ggf. nicht für alle Kommunen im gleichen Maße umsetzbar ist.

Nachfolgend sollen daher eventuelle Einschränkungen für die Anwendbarkeit aufgezeigt und Bereiche erörtert werden, in denen sich stark abweichende Rahmenbedingungen besonders auf die Methodik des Handbuches auswirken.

Anwendbarkeit bei eingeschränkter Datengrundlage

Die Methodik des Handbuches basiert in allen Bereichen auf der Erhebung von Daten. Für Masterplan-Kommunen, die nicht über eigene Stadtwerke verfügen und daher in Teilen oder vollständig über externe Energieversorger Strom und Gas beziehen, ist es schwierig, detaillierte Versorgungsdaten zu bekommen. Des Weiteren dürfen Gewerbedaten mitunter aus Datenschutzgründen nicht weiter genutzt werden.

- Der derzeitige Strombedarf privater Haushalte (Kapitel 10.1) wird im Handbuch über die Anzahl der Haushalte, ihre durchschnittliche Größe und

die Ausstattungsrate von Gerätegruppen methodisch erhoben. Liegen keine Daten des Energieversorgers zum Stromverbrauch privater Haushalte vor, ist ein Abgleich der nach der Handbuch-Methode erhobenen Bedarfe mit dem tatsächlichen Verbrauch so nicht möglich (Kapitel 10.1.3).

- Um dennoch die nach der Handbuch-Methode erhobenen Daten auf Plausibilität überprüfen zu können, sollte ein kritischer Vergleich mit überregionalen statistischen Verbrauchsdaten (Bundesländerebene/ Bundesebene) erfolgen.
- Im Sektor Industrie und GHD ermöglichen Angaben der lokalen Netzbetreiber zu innerkommunalen Gesamtsummen der betrieblichen Strom- und Brennstoffbedarfe eine schnelle Identifikation von Hot Spots und ihrer Energiebedarfe. Diese Angaben ermöglichen darüber hinaus die Zuordnung von Strom- und Brennstoffbedarfen für kumuliert betrachtete Betriebe nach dem Top-down-Ansatz (Kapitel 11.1).
 - Liegen diese Daten nicht vor, müssen die Energiebedarfe z.B. über einzelbetriebliche Untersuchungen/Fragebögen erhoben oder aus der Branchenstruktur und branchenspezifischen Energiebedarfen abgeleitet werden. Dies ist mit einem deutlich höheren Arbeits- und Zeitaufwand verbunden.
- Nicht für jede Technologie der erneuerbaren Energien liegt für alle Bundesländer ein Potenzialatlas vor bzw. es gibt ihn in nicht ausreichender räumlicher Auflösung.
 - Die prinzipielle Methodik der Potenzialermittlung kann nach dem Handbuch erfolgen, ist dann aber mit erhöhtem Arbeits- bzw. Zeitaufwand verbunden. Zwar ist eine Ableitung der kommunalen EE-Potenziale über z.B. bundesweite Potenzialstudien möglich, diese gestattet aber nur eine sehr grobe (räumliche) Auflösung, die wiederum Folgearbeiten wie Nutzungskonzepte für Dachflächen (PV/Solarthermie) erschwert.

Die Rahmenbedingungen der Kommune können sich in verschiedenen Bereichen auf die im Handbuch beschriebene Methodik auswirken. Einige der möglichen Auswirkungen werden im Folgenden kurz benannt.

Kapitel 9.3, Geothermie

Im Handbuch wird keine Methodik zur Ermittlung von Tiefengeothermie-Potenzialen vorgestellt. Für einige Regionen liegen jedoch nutzenswerte Tiefengeothermie-Potenziale vor, in diesem Fall wird angeraten, Kompetenz vor Ort zu suchen.

Kapitel 10.1, Strombedarf privater Haushalte

Als Datenbasis für die Durchschnittshaushalte (Ausstattungsrate) wurden im Handbuch Durchschnittswerte aus Nordrhein-Westfalen angenommen. Diese können für ausgeprägt ländliche oder städtische Masterplan-Kommunen deutlich abweichen. Für solche Masterplan-Kommunen sollte eine individuelle Zusammenstellung verschiedener Haushaltstypen erfolgen (IT.NRW, 2009).

Kapitel 10.2, Wärmebedarf privater Haushalte

Die in Tabelle 10.5 angegebenen Orientierungswerte zukünftiger Wärmebedarfe von Siedlungstypen wurden anhand von Daten der Zielvisionen MaxDez und ModDez der Stadt Rheine zusammengestellt. Sie sind daher nur gültig, wenn eine ausreichende Übereinstimmung zwischen der Masterplan-Kommune und Rheine bei den Siedlungstypen, der Dichte der Bebauung, der Sanierungstiefe und den meteorologischen Gegebenheiten vorliegen. Problematisch ist dies z.B. für die Bebauung mit Hochhäusern oder für großstädtische Innenstadtgebiete, für die aus Rheine keine Orientierungswerte vorliegen.

- Für diese Siedlungstypen und für abweichende Sanierungstiefen sind aus der Literatur keine Vergleichswerte bekannt. Die Anwendung der Raumordnungs-Methode (Kapitel 10.2.1) ist in diesem Fall mit erhöhter Unsicherheit verbunden.
- Masterplan-Kommunen können alternativ die in Kapitel 10.2.1 erläuterte „Räumliche Zuordnung der Wärmebedarfe bei Verwendung der Gebäude-Methodik“ anwenden.

Kapitel 12, Heutige und zukünftige Mobilitätsversorgung

Das Verkehrsverhalten der Bewohner einer Kommune hängt sehr stark von der Größe der Kommune und ihrer Besiedlungs- und Verkehrsstruktur ab.

- Die abzuleitenden Maßnahmen variieren daher sehr stark und sind an die spezifische Situation vor Ort anzupassen.
- Zentrale Maßnahmenbereiche auf kommunaler Ebene, die das Verkehrsgeschehen prägen und beeinflussen können, sind die Siedlungsentwicklung, die Nahraumversorgung sowie Qualität und Umfang des öffentlichen Verkehrsangebots und der Radwege- und Fußwegeinfrastruktur.

Im Rahmen der in Kapitel 12 des Handbuchs beschriebenen Methodik wurde der Güter- und Flugverkehr nicht mit berücksichtigt.

- Nimmt der Güter- und Flugverkehr einen signifikanten Anteil am Verkehrsaufkommen in der Kommune ein, sollte auch er mit betrachtet werden (s. dazu auch Hertle et al., 2014). Dies ist über die Verkehrsbilanzierung mit dem Klimaschutz-Planer möglich (vgl. Kapitel 5.2.4).

Kapitel 14, Entwicklung sektorübergreifender Versorgungskonzepte für CO₂-arme Wärme

In Ballungsräumen mit sehr dichter Besiedlung sind ggf. zu geringe Freiflächen für den Bau saisonaler Speicher verfügbar und zu geringe (Dach-) Flächenpotenziale für hohe Anteile solarer Wärme. Andererseits sind gerade sehr dicht besiedelte Gebiete wegen ihrer hohen Wärmebedarfsdichte für die netzgebundene Wärmeversorgung besonders gut geeignet.

Mögliche Lösungsansätze bei geringer Freiflächenverfügbarkeit (Bau saisonaler Speicher) sind die Ausdehnung des Nahwärmenetzgebietes bis an den Rand des Ballungsgebiets oder die Schaffung von Flächen durch infrastrukturelle Veränderungen (z.B. geänderte Parkraumnutzung). Bei zu geringen (Dach-) Flächenpotenzialen kann der Wärmespeicher zusätzlich mit Abwärme (mit oder ohne Wärmepumpe) oder KWK-Wärme beladen werden.

16.2 Systemgrenzen und interkommunaler Austausch

Die Masterplan-Kommunen weisen sehr unterschiedliche Rahmenbedingungen auf. So wird es Kommunen geben, die weit mehr regenerativen Strom produzieren können, als sie verbrauchen. Andere Regionen wiederum werden trotz effektiver Effizienzmaßnahmen ohne externe Strom- und Brennstoffbezüge

ihren lokalen Energiebedarf nicht decken können. Es ist deshalb wichtig, dass die Masterplan-Kommunen stets auch das interkommunale Gesamtsystem im Auge behalten, Entscheidungen/Masterpläne somit nicht konträr zur angestrebten Entwicklung der Energieversorgung auf Bundesebene stehen.

Strom wird auch im zukünftigen Energieversorgungssystem der Masterplan-Kommunen über die Grenzen der Kommune (vorgelagertes Stromnetz) ausgetauscht werden. Leistungsautarkie ist in aller Regel mit deutlich höherem Infrastruktur- und Flexibilitätsbedarf (Speicher, DSM, BHKW) und entsprechend erhöhtem Regelungsaufwand sowie höheren Investitions- und Betriebskosten verbunden. Zudem erlaubt eine Leistungsautarkie der Kommune nicht, kommunenübergreifende Synergieeffekte eines großräumigen Last- und Erzeugungsausgleichs zu nutzen. Daher ist kommunale (Leistungs-) Autarkie im Allgemeinen in Hinblick auf die nachhaltige Transformation der gesamtdeutschen Energieversorgung nicht zielführend. Die Möglichkeit, Strom zu importieren, verleitet mitunter allerdings dazu, kommunale Herausforderungen auf extrakommunale Bereiche zu verschieben. Masterplan-Kommunen müssen sich innerhalb der Grenzen bundesweiter EE-Potenziale bewegen; Potenziale, die von einer Kommune abgegriffen werden, stehen dem übrigen Gesamtsystem nicht mehr zur Verfügung. Deshalb ist eine vorrangige Bedarfsdeckung aus lokalen EE-Potenzialen wichtig, auch wenn dies ggf. mit großen Anstrengungen verbunden ist.

Der kommunale Stromverbrauch sollte - unabhängig von vorhandenen EE-Potenzialen zur Stromerzeugung - unter Berücksichtigung von Akzeptanz, Suffizienz und Effizienz soweit wie möglich reduziert werden. Ebenso sollte die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bei überdurchschnittlich vorhandenen Potenzialen nicht bei der Deckung lokaler Bedarfe enden, sondern Regionen mit geringeren EE-Potenzialen zur Verfügung gestellt werden.

Langfristszenarien auf Bundesebene, beispielsweise nach Nitsch et al., 2012, zeigen die deutschlandweiten Biomassepotenziale und die damit verbundene Herausforderung in der Brenn- und Kraftstoffbereitstellung auf. Für die Entwicklung sektorübergreifender Verwendungskonzepte für CO₂-arme Brenn- und Kraftstoffe wird im Handbuch angenommen, dass Biomasse zukünftig vorwiegend für die Prozesswärme- und Kraftstoffbereitstellung benötigt wird (s. auch Kapitel 13.1). Kommunale Biomassepotenziale und Brenn-/Kraftstoffbedarfe der Sektoren Industrie und Verkehr

stimmen in der Regel örtlich nicht überein. Der Transport von Biomasse ist darüber hinaus nicht über beliebige Distanzen (wirtschaftlich) sinnvoll.

Eine bundesweite Verteilung von Biomasse oder die Zuteilung von Biomassepotenzialen wird derzeit politisch nicht vorgegeben. Eine Verteilung z.B. pro Kopf würde die zukünftigen Bedarfswerte der Biomasse unzureichend widerspiegeln, da Regionen mit geringer Einwohnerdichte, aber viel Industrie und GHD verhältnismäßig wenig Biomasse zugesprochen würde und Großstädten mit wenig Industrie/GHD verhältnismäßig viel Biomasse. Langfristig ist anzunehmen, dass die abnehmende Verfügbarkeit von Brenn- und Kraftstoffen zu Kostenstrukturen führt, die eine Verschiebung der Biomassenutzung in Richtung der oben genannten Bedarfswerte bewirken könnte.

Durch den Abgleich lokaler mit bundesweiten Biomassepotenzialen pro Einwohner wird für die Masterplan-Kommune deutlich, ob sie im Vergleich zu Gesamtdeutschland eher biomassereich oder biomasseschwach ist. Auch kann sie auf Basis ansässiger Industrie und GHD-Betriebe ihren Industrialisierungsgrad einordnen. Vor diesem Hintergrund sollte bei der Erstellung der Zielvision grob abgeschätzt werden, ob bis 2050 - unter den dann anzunehmenden Kostenstrukturen für Brenn- und Kraftstoffe - eine vorwiegend lokale Potenzialnutzung der Biomasse oder Importe bzw. Exporte wahrscheinlich sind.

17 Literaturverzeichnis

50Hertz, 2015. *EEG-Anlagenstammdaten*,
<http://www.50hertz.com/de/EEG/Veroeffentlichung-EEG-Daten/EEG-Anlagenstammdaten>
 [Stand 19.10.2015]

AEE, 2015. *Online-Wertschöpfungsrechner der Agentur für Erneuerbare Energien*,
<http://www.kommunal-erneuerbar.de/de/kommunale-wertschoepfung/rechner.html>
 [Stand 16.05.2011]

AGEB, 2010. *Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland*,
www.ag-energiebilanzen.de/files/vorwort.pdf
 [Stand 16.05.2011]

AGEB, 2013a. *Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2011 und 2012 mit Zeitreihen von 2008 bis 2012*. Berlin: AGEB

AGEB, 2013b. *Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland, 1990 bis 2012, Tabelle 4.2.1 Endenergieverbrauch der Haushalte in Deutschland*. Berlin: AGEB

AGEB, 2014. *Endenergieverbrauch 2013 nach Sektoren und Energieträgern*,
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/3a_tab_eev-sektoren-et_2015-06-29.pdf
 [Stand 16.10.2015]

AGEEStat, 2015. *Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

AGFW, o.J. *Fernkälte*,
<https://www.agfw.de/wirtschaft-und-markt/marketing/produktmatrix-neu/fernkaelte/>
 [Stand 08.10.2015]

Agora Energiewende, 2014. *Stromspeicher in der Energiewende*. Berlin: Agora Energiewende

Agrarstatistik NRW, 2015,
<http://www.atlas-agrarstatistik.nrw.de>
 [Stand 26.11.2015]

Amprion, 2015. *EEG-Anlagenstammdaten aktuell*,
<http://www.amprion.net/eeg-anlagenstammdaten-aktuell>
 [Stand 19.10.2015]

BBSR, 2015. *Raumordnungsprognose 2035 nach dem Zensus*. In: BBSR-Analysen Kompakt 05/2015. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

BDEW, 2014. *Standardlastprofile Strom | BDEW | Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft*,
http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_Standartlastprofile
 [Stand 18.08.2014]

BGW, 2006. *Anwendung von Standardlastprofilen zur Belieferung nicht-leistungsgemessener Kunden*. In: Praxisinformation P 2006 / 8 Gastransport / Betriebswirtschaft. Bonn: Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft

- Blesl, M., 2002. *Räumlich hoch aufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssysteme zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs*. Stuttgart: Universität Stuttgart
- Blesl, M., et al., 2013. *Energieeffizienz in der Industrie*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin
- Block, K., et al, 2010. *Ethanol als Kraftstoff, Energie und Ökobilanz der „dezentralen“ Erzeugung*. Essen: E-world of energy & water
- BMU, 2012. *Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen, Anregungen für kommunale Entscheidungsträger*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- BMUB, 2015. *Kommunalrichtlinie*, <https://www.klimaschutz.de/de/zielgruppen/kommunen/foerderung/neue-kommunalrichtlinie-veroeffentlicht> [Stand 19.10.2015]
- BMWi / IBP, 2009. *Tagungsband zum LowEx Symposium zum deutschen Projektverbund des BMWi am 28. - 29.10.2009 in Kassel*. Kassel: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
- BMWi, 2015. *Zahlen und Fakten Energiedaten. Nationale und internationale Entwicklung*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
- Brosowski, A., et al., 2015. *Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen - Status quo in Deutschland*. Leipzig: Deutsches Biomasseforschungszentrum
- Bundesregierung, 2015. *Was sind die Kernpunkte/Ziele der Energiepolitik der Bundesregierung?*, http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/Fragen-Antworten/1_Allgemeines/1_warum/_node.html [Stand 28.10.2015]
- Bürger, V., 2009. *Identifikation, Quantifizierung und Systematisierung technischer und verhaltensbedingter Strom-einsparpotenziale privater Haushalte*. Transpose Working Paper 3. Freiburg: Öko Institut e.V.
- Chicolas, U., et al., 2012. *Auswirkungen des demografischen Wandels, Modellrechnungen zur Entwicklung der Privathaushalte und Erwerbspersonen in Nordrhein-Westfalen*. Band 74. Statistische Analysen und Studien. Düsseldorf: Information und Technik Nordrhein-Westfalen (IT.NRW)
- DBFZ, 2015. *Räumlich aufgelöste Biomassepotenziale in Bioenergie-Regionen*, <https://www.dbfz.de/forschung/referenzprojekte/bioenergieregionen.html> [Stand 19.10.2015]
- Dehoust, G., et al., 2014. *Beitrag der Kreislaufwirtschaft zur Energiewende, Klimaschutzpotenziale auch unter geänderten Rahmenbedingungen optimal nutzen*. Freiburg, Darmstadt, Berlin: Öko-Institut e.V.
- dena, 2013. *Power to Gas, Eine innovative Systemlösung auf dem Weg zur Marktreife*. Berlin: Deutsche Energie-Agentur
- DESTATIS, 2015. *Zahlen & Fakten*, <https://www.destatis.de> [Stand 19.10.2015]
- DIW, 2007. *Auswirkungen des demographischen Wandels auf die private Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen in Deutschland bis 2050*. Berlin: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung

- DWD, 2015a. *Strahlungskarte*,
https://www.dwd.de/EN/ourservices/solarenergy/lstrahlungskarten_ab.html
 [Stand 26.11.2015]
- DWD, 2015b. *Windkarten*,
<http://www.dwd.de/windkarten>
 [Stand 17.09.2015]
- DWD, 2015c. *Gradtagzahlen*,
http://www.dwd.de/DE/leistungen/gtz_kostenfrei/gtz_kostenfrei.html
 [Stand 26.11.2015]
- Energieland, 2015. *Energieland 2050 – Der Kreis Steinfurt wird unabhängig*,
www.energieland2050.de
 [Stand 27.11.2015]
- Emeis, S., 2013. *Wind Energy Meteorology - Atmospheric Physics for Wind Power Generation*. Berlin, Heidelberg: Springer Series 8059
- EON et al., 2009. *Potenzialstudie „Ausbaupotentiale Wasserkraft in Bayern“*. Landshut, Augsburg: E.ON, Bayerische Elektrizitätswerke
- Erhorn-Kluttig, H., et al., 2011. *Energetische Quartiersplanung*. Stuttgart: IRB Verlag
- ETT, 2015. *EcoTopTen – Die Plattform für ökologische Spitzenprodukte*,
<http://www.ecotopen.de/>
 [Stand 26.11.2015]
- EWI, 2010. *Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung*. Köln: Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln
- Externe Linkliste, 2015. *Externe Linkliste als Ergänzung für das Handbuch methodischer Grundfragen zur Masterplanerstellung*,
<http://www.klimaschutz.de/de/zielgruppen/kommunen/foerderung/masterplan-richtlinie>
 [Stand 16.12.2015]
Auf der Homepage www.klimaschutz.de des BMUB werden alle in diesem Literaturverzeichnis angegebenen Onlinequellen sowie weiterführende Quellen für die Unterstützung zur Erstellung eines Masterplans bereitgestellt.
- FiW, 2013. *Potenziale und technische Optimierung der Abwasserwärmenutzung*. Aachen: Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen
- FNR, 2012. *Biomethan*. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
- FNR, 2014a. *Basisdaten Bioenergie Deutschland*. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
- FNR, 2014b. *Leitfaden Biogas, Von der Gewinnung zur Nutzung*. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
- FNR, 2014c. *Leitfaden Biogasaufbereitung und -einspeisung*. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
- FNR, 2014d. *Biokraftstoffe*. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
- FNR, 2014e. *Leitfaden feste Biobrennstoffe*. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe

FNR, 2015a. *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe Bioenergie*,
<http://bioenergie.fnr.de/>
 [Stand 21.10.2015]

FNR, 2015b. *Faustzahlen Biogas*,
<http://biogas.fnr.de/daten-und-fakten/faustzahlen/>
 [Stand 21.10.2015]

Frisch, S., et al., 2010. *Prozesswärme im Marktanreizprogramm*. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung

Fritsche, U.R., et al, 2004. *Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse*. Freiburg, Darmstadt, Berlin: Öko-Institut e.V.

GasNZV, 2010. *Gasnetzzugangsverordnung - Verordnung über den Zugang zu Gasversorgungsnetzen*. Datum des Inkrafttretens: 9.9.2010. Ausfertigungsdatum: 3.9.2010. Zuletzt geändert am 31.8.2015. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Geothermieportal, 2015. *Bürgerinformationssystem oberflächennahe Geothermie*,
http://www.geothermieportal.de/geothermie_6.0/?Cmd=ShowLogin
 [Stand 19.10.2015]

Geotis, 2015. *Geothermisches Informationssystem für Deutschland*,
<https://www.geotis.de/>
 [Stand 27.11.2015]

GET.min, 2015. *GET.Min - Gewerbepark, Energie-, Technologie- und Managementinformationsnetzwerk*,
www.getmin.de
 [Stand 27.11.2015]

Gruber, A., et al., 2015. *Industrielles Power-to-Heat Potenzial*. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft

Grünert, J., et al., 2006. *Lebendige Flüsse und Kleine Wasserkraft - Konflikt ohne Lösung?* Berlin: Deutsche Umwelthilfe

Hausladen, G., et al., 2011. *Leitfaden Energienutzungsplan*. München: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit

Heatloop, 2015. *Projekt Heatloop - Entwicklung und Implementierung innovativer Abwärmeverbundsysteme in industriellen Gewerbegebieten*,
www.heatloop.de
 [Stand 27.11.2015]

Hertle, H., et al., 2014. *Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland*. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung

Hüttenrauch, J., et. al., 2010. *Zumischung von Wasserstoff zum Erdgas*. Bonn: energie|wasser-praxis

IER, 2009. *Wärmeatlas Baden-Württemberg - Erstellung eines Leitfadens und Umsetzung für Modellregionen*. Stuttgart: Universität Stuttgart - Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung

IFEU, 2010. *Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung*. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung

Ingenieurbüro Umweltschutz & Technik, 2009. *Wärmenetze im ländlichen Raum*. Flensburg: Vortrag

ISI, 2011. *Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen von industriellen Branchentechnologien durch Prozessoptimierung und Einführung neuer Verfahrenstechniken*. Karlsruhe, Berlin: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien, Technische Universität Berlin – Institut für Chemie

ISI, 2013a. *Industrielle Abwärmenutzung – Kurzstudie*. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung

ISI, 2013b. *Erstellung von Anwendungsbilanzen für das Jahr 2012 für das verarbeitende Gewerbe mit Aktualisierungen für die Jahre 2009–2011*. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung

ISI, 2015. *Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013*. Abschlussbericht 2015. Karlsruhe, München, Nürnberg: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien

IT.NRW, 2009. *Ausstattung privater Haushalte mit ausgewählten langlebigen Gebrauchsgütern in Nordrhein-Westfalen*. Düsseldorf: Statistische Berichte. Information und Technik Nordrhein-Westfalen

IWU, 2003. *Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt

IWU, 2005. *Deutsche Gebäudetypologie*,
http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Gebaeudetypologie_Deutschland.pdf
 [Stand 21.10.2015]

IWU, 2015a. *TABULA – Entwicklung von Gebäudetypologien zur energetischen Bewertung des Wohngebäudebestands in 13 europäischen Ländern*,
<http://www.iwu.de/forschung/energie/abgeschlossen/tabula/>
 [Stand 27.11.2015]

IWU, 2015b. *Berechnungswerkzeug Gradtagzahlen Deutschland*,
http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/Gradtagzahlen_Deutschland.xls
 [Stand 21.10.2015]

IZES, 2015. *Abwärmenutzung – Potentiale, Hemmnisse und Umsetzungsvorschläge*. Saarbrücken: Institut für ZukunftsEnergieSysteme

IWES, 2010. *Ökostrom als Erdgas speichern*,
<http://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2010/04/strom-erdgas-speicher.html>
 [Stand 26.11.2015]

Keuneke, R., 2015. *Marktanalyse zur Vorbereitung von Ausschreibungen*. Aachen: Ingenieurbüro Floecksmühle et al. im Auftrag BMWi

Kirchmayr, M., 2014. *Power-to-Gas*, Hamburg: Diplomica Verlag

KIT, 2015. *Der bioliq®-Prozess*,
<http://www.bioliq.de/55.php>
 [Stand 19.10.2015]

- KTBL, 2015,
<https://www.ktbl.de>
 [Stand 26.11.2015]
- Küster, T., 2011. *Erhebung „Wo im Haushalt bleibt der Strom?“*. Düsseldorf: EnergieAgentur.NRW
- Lauterbach, C., et al., 2011: *Das Potential solarer Prozesswärme in Deutschland*. Kassel: Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik
- LfU, 2008. *Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen*. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt
- LfU, 2012. *Abwärmenutzung im Betrieb*. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt
- LUBW, 2015. *Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Potenzialatlas*,
<http://rips-app.lubw.baden-wuerttemberg.de/maps/?lang=de&app=potenzialatlas>
 [Stand 17.09.2015]
- Lütkekus, I., et al., 2013. *Potenzial der Windenergie an Land – Studie zur Ermittlung des bundesweiten Flächen- und Leistungspotenzials der Windenergienutzung an Land*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt
- LGV, 2015. *Vermessungsverwaltungen der Länder*,
<http://www.lvermgeo.rlp.de/index.php?id=2934>
 [Stand 26.11.2015]
- Mangold, D., et al., 2012. *Technisch-wirtschaftliche Analyse und Weiterentwicklung der solaren Langzeit-Wärmespeicherung*. Stuttgart: Solites
- Marx, R., et. al., 2011. *Integration von Wärmepumpen in solar unterstützte Nahwärmesysteme mit saisonaler Wärmespeicherung*. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik
- Matthes, F., et al., 2009. *Politiksznarien für den Klimaschutz V – auf dem Weg zum Strukturwandel – Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030*. 16. CLIMATE CHANGE 16/2009. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt
- Miara, M., et al., 2011. *Wärmepumpen Effizienz, Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb*. Freiburg: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
- Michael, K., 2012. *Besonders sparsame Haushaltsgeräte 2012/13*. Detmold: Niedrig Energie Institut
- MID, 2008. *Ergebnisbericht Mobilität in Deutschland 2008*. Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
- Naumann, H., et al., 2008. *Leitfaden Erdwärmenutzung*. Saarbrücken: Ministerium für Umwelt, Saarland
- Nitsch, J., et al., 2012. *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global*. Stuttgart, Kassel, Teltow: DLR, IWES, IFNE
- Nordic Folkecenter, 2014. *Solar Heating for District Heating. Vojens District Heating*,
<http://www.folkecenter.net/gb/news/world/solarheating-for-districtheating/>
 [Stand 14.10.2015]
- ReWIn, 2014. *Strukturkonzept für ein regionales Abwärmekataster Industrie im Landkreis Osnabrück*. Osnabrück: Hochschule Osnabrück – Innovative Energiesysteme

- Rohde, C., 2011. *Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2009 und 2010 für das verarbeitende Gewerbe*. Studie für die AGEB. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
- Röhrdanz, M., et al., 2012. *Energetische Nutzung von Landschaftspflegematerial durch die anaerobe Vergärung, Pyrolyse und Hydrothermale Carbonisierung (HTC)*. Oldenburg: Carl von Ossietzky Universität
- SAENA, 2012. *Technologien der Abwärmenutzung*. Dresden: Sächsische Energieagentur
- Saisonalspeicher, 2015. *Technische Planungshinweise. A/V-Verhältnis*, <http://www.saisonalspeicher.de/Planung/TechnischePlanungshinweise/AVVerh%C3%A4ltnis/tabid/334/Default.aspx>
[Stand 14.10.2015]
- Schäfer, V., 2013. *Optimierung von Wärmenetzen - Effiziente Wärmeversorgung mit Biomasse*. Straubing: Vortrag
- Schlabbach, J., et al., 2012. *Erdwärme in Ein- und Mehrfamilienhäusern - Grundlagen, Technik, Wirtschaftlichkeit*. Berlin, Offenbach: VDE Verlag GmbH
- Schmalwasser, O., et al., 2011. *Gebrauchsvermögen privater Haushalte in Deutschland*. Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen. Auszug aus Wirtschaft und Statistik. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt
- Schmitt, B., et al., 2015. *Leitfaden zur Vorplanung solarer Prozesswärme, Machbarkeitsabschätzung und Vorauslegung solarthermischer Prozesswärmeanlagen*. Kassel: Institut dezentrale Energietechnologien
- Schüwer, D., und Venjakob, J., 2007. *Kurzexpertise zur ländervergleichenden Analyse unterschiedlicher infrastruktureller und energiewirtschaftlicher Voraussetzungen zur Nutzung dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung*. Endbericht. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
- solaranlagen-portal, 2015. *Dachneigung*, <http://www.solaranlagen-portal.com/solarthermie/montage/dachneigung>
[Stand 06.10.2015]
- Sonnberger, M., 2014. *Weniger provoziert Mehr. Energieeffizienz bei Gebäuden und der Rebound-Effekt*. Stuttgart: Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau
- Statistisches Bundesamt, 2011. *Zensus 2011. Gebäude und Wohnungen sowie Wohnverhältnisse der Haushalte*. Bundesrepublik Deutschland am 9. Mai 2011. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt
- Statistisches Bundesamt, 2014. *Ausstattung privater Haushalte mit ausgewählten Gebrauchsgütern*. Wirtschaftsrechnungen, Fachserie 15 Reihe 2. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt
- Statistisches Bundesamt, 2015a. *Bevölkerung Deutschland bis 2060 - 13. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt
- Statistisches Bundesamt, 2015b. *Fortschreibung des Wohngebäude- und Gebäudebestandes, Statistik 31231*, <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online;jsessionid=30721333C28CF7199508F7B70F2BD122?sequenz=statistikTabellen&selectionname=31231>
[Stand 11.12.2015]
- Sterner, M., et al., 2014. *Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin
- StMUG, 2012. *Leitfaden Wärmelandkarte*. München: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit

StromNEV, 2005. *Stromnetzentgeltverordnung – Verordnung über die Entgelte für den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen*. Datum des Inkrafttretens: 29.7.2005. Ausfertigungsdatum: 25.7.2005. Zuletzt geändert am 31.8.2015. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

SunCoal, 2015. *Die kommunale CarboREN-Anlage*,
<http://www.suncoal.de/de/unsere-loesung/kommunale-entsorgung/kommunale-carboren-anlage>
[Stand 19.10.2015]

Tennet, 2015. *EEG-Daten*,
<http://www.tennet.eu/de/kunden/eegkwkg/erneuerbare-energien-gesetz/eeg-daten-nach-77.html>
[Stand 19.10.2015]

TFZ, 2015. *Durchschnittlicher Holzzuwachs in Bayern*,
<http://www.tfz.bayern.de/festbrennstoffe/brennstoffe/035110/index.php>
[Stand 19.10.2015]

TransnetBW, 2015. *EEG-Anlagendaten*,
<https://www.transnetbw.de/de/eeg-kwk-g/eeg/eeg-anlagendaten>
[Stand 19.10.2015]

TUG, 2012. *Abwärmekataster Steiermark*. Graz: Technische Universität (TU) Graz – Institut für Prozess- und Partikeltechnik

UBA, 2015. *Räumliche Verteilung nationaler Emissionsjahreswerte, laufendes Vorhaben, FKZ 3711 63 240-2*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt

Venjakob, J., und Hanke, T., 2006. *Neue Phase im Wettstreit zwischen Energieeffizienz und Wohnraumbedarf*. Energie & Management. Heft 10, S. 3 (Aktualisierung der Daten in 2015)

Wagner, H.-J., et al., 2002. *Validierung und kommunale Disaggregation des Expertensystems HERAKLES*. Abschlussbericht. Bochum: Ruhr-Universität Bochum

