

Strom. Wärme. Mobilität.

Szenarien für die Dekarbonisierung
im Großraum Wien bis 2050.

© Ecofys 2018 beauftragt durch Wien Energie



Strom. Wärme. Mobilität.

Szenarien für die Dekarbonisierung im Großraum Wien bis 2050.

Von: Matthias Schimmel, Mathias Kube, Carsten Petersdorff

Datum: Mai 2018

Projekt-Nummer: UENDE17497

© Ecofys 2018 beauftragt durch Wien Energie

Zusammenfassung

Eine der größten Herausforderungen unserer Gesellschaft ist es, die richtige Balance aus einer nachhaltigen, wirtschaftlich erfolgreichen und sozial verträglichen Entwicklung zu meistern. Die Städte spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Die Stadt Wien verzeichnet einen anhaltend hohen Zuzug von Neubürgern, bedingt durch die hohe Wirtschaftskraft und die gute Lebensqualität. Dieses Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum birgt jedoch auch Herausforderungen bezüglich Energieversorgung und Umweltschutz. Insbesondere müssen die Treibhausgasemissionen (THG) der für Städte besonders relevanten Sektoren Wärme, Mobilität und Strom drastisch reduziert werden, um den steigenden nationalen und globalen Anforderungen an Klimaschutz gerecht zu werden. Gelingt dies in Wien, kann ein Viertel der österreichischen Bevölkerung in einer regional dekarbonisierten Umwelt leben.

Im Rahmen des Projektes *DECARB* wurde in Zusammenarbeit von Wien Energie und Ecofys, Teil von Navigant Consulting, einer führenden Unternehmensberatung rund um die Themen Nachhaltigkeit, Energiewende und Klimapolitik, ein mögliches Szenario für ein dekarbonisiertes Wien erstellt. Neben einer Dekarbonisierung wurde auch das Szenario der *Smart City Rahmenstrategie* der Stadt Wien mitbetrachtet. Folgende Kernaktivitäten wurden innerhalb des Projektes durchgeführt:

- 1) Erstellung Zielbild 2050 für das DECARB und Smart City Szenario
- 2) Detailbetrachtung der Sektoren Wärme, Mobilität und Strom
- 3) Berechnung der volkswirtschaftlichen Investitionskosten
- 4) Beschreibung notwendiger politischer Rahmenbedingungen

Zentrales Ergebnis der Studie ist, dass die Verkehrs- und Wärmewende das größte Potenzial zur Dekarbonisierung bietet. Somit muss die Dekarbonisierung des Energiesystems über die Umstellung auf erneuerbaren Strom hinausgedacht und über den gesamten Energiebedarf in den Sektoren Wärme, Mobilität und Strom geplant, reguliert und umgesetzt werden muss. Die Kernergebnisse je Sektor werden nachfolgend kurz vorgestellt.

Wärme – Der Endenergieverbrauch im Gebäudebereich ist zu reduzieren, wobei hinsichtlich Kosteneffizienz darauf hinzuweisen ist, dass Gebäudesanierungen über die baulich bedingten Raten hinaus die teuerste Dekarbonisierungsmaßnahme darstellt. Daher ist diese ohne einer entsprechenden Unterstützung durch den Bund nicht umsetzbar. Der Ausbau dezentraler Wärmeherzeugung durch Wärmepumpen, Niedertemperaturnetze oder Anergienetze, dort wo realisierbar, muss forciert werden. Um die zentrale Wärmeversorgung Wiens künftig emissionsfrei zu gestalten, ist eine Umstellung auf regenerative Fernwärme notwendig. Geothermie und Großwärmepumpen bieten hierfür das größte Potenzial. Zudem ist Fernwärme die günstigste Wärmemaßnahme zur Dekarbonisierung in Städten. Zur Spitzenlastabdeckung sind auch noch in 2050 gasbetriebene zentrale und dezentrale Wärmeherzeuger inklusive Gasnetz erforderlich – bei vollständiger Dekarbonisierung muss der Brennstoffbedarf jedoch über *Grünes Gas* (erneuerbare Kraft- und Brennstoffe) abgedeckt werden. Als Technologien wären hier beispielsweise *Waste-to-Biogas* oder *Power-to-Gas* denkbar. Mit Umsetzung der Dekarbonisierungsmaßnahmen lässt sich der Endenergiebedarf im Bereich Wärme von 19 TWh (2015) auf 13 TWh bis 2050 senken.

Mobilität – Um die Mobilität der Zukunft nachhaltig zu gestalten, muss ein grundsätzlicher Wechsel vom motorisierten Individualverkehr (MIV) hin zu einer verstärkten Nutzung der öffentlichen Verkehrsmittel, des Fahrrads sowie

mehr Fußwegen erfolgen. Für den PKW- und leichten Nutzfahrzeugverkehr ist ein Umstieg auf Elektromobilität erforderlich. Beim Schwerlastverkehr ist aufgrund spezifischer Anforderungen (lange Strecken, kurze Stoppzeiten) ein Umstieg auf *Grünes Gas* (z.B. Wasserstoff) notwendig. Durch Umstellung auf E-Mobilität und erneuerbare Kraftstoffe lässt sich der Endenergieverbrauch bis 2050 fast halbieren, von 14 TWh (2015) auf 7 TWh.

Strom – Photovoltaik (PV) wird zukünftig die wichtigste erneuerbare Stromquelle in Wien. Zur Zielerreichung muss der Ausbau massiv forciert werden, auch von großflächigen Freiflächenanlagen. Darüber hinaus müssen die Wind- und Wasserkraftpotenziale in Österreich, ökologisch und gesellschaftlich vertretbar, voll genutzt werden. Sektorkopplung, Energiespeicher und Demand-Side Management sind wesentliche Schlüssel zum Umgang mit der volatilen Erneuerbarenproduktion, zur Reduktion der Netzspitzenlast und folglich zur gesamtwirtschaftlich günstigen Dekarbonisierung. Die Versorgungssicherheit muss zukünftig weiterhin mit hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplungen (KWK)-Anlagen und Spitzenlastkraftwerken sichergestellt werden. Durch die Teilelektrifizierung des Mobilitäts- und Wärmebereichs steigt der Strombedarf bis 2050 von heute 8 TWh auf 13 TWh (exkl. Power-to-Gas) an.

Ab 2025 ist mit dem großflächigen Umstieg auf erneuerbare Brenn- und Kraftstoffe zum Ersatz von Erdgas zu beginnen um die langfristige Versorgungssicherheit CO₂-frei zu gewährleisten. *Greening the Gas*, also die Umstellung auf erneuerbare (grüne) Gase durch Biomethan und erneuerbaren Wasserstoff, spielt eine tragende Rolle in allen drei Sektoren sowie bei der Spitzlastabdeckung. Neben den Maßnahmen zur Steigerung der Sanierungsrate über das natürliche Maß hinaus, stellt die Wasserstoffproduktion aus heutiger Sicht die zweit teuerste Dekarbonisierungsmaßnahme dar.

Die kumulierten volkswirtschaftlichen Investitionskosten von 2017 bis 2050 liegen im DECARB Szenario bei 28 Mrd. €, im Smart City Szenario bei 16 Mrd. €. Damit müsste im DECARB Szenario jährlich knapp 1% des Bruttoinlandsprodukts (BIP) der Stadt Wien in die Maßnahmenrealisierung investiert werden. Die Mehrkosten im DECARB Szenario von knapp 13 Mrd. € entstehen vor allem durch den Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur sowie die gesteigerten Sanierungsaktivitäten. Sehr hohe Kosten fallen insbesondere dann an, wenn die Sanierungsraten über die normalen, baulich bedingten Raten gesteigert werden. Daher ist dies ohne einer entsprechenden Unterstützung durch den Bund nicht umsetzbar.

Auf Basis der Ergebnisse je Sektor wurde eine Dekarbonisierungs-Roadmap für Wien entwickelt. Diese beschreibt die zeitliche Abfolge der wichtigsten Handlungsfelder hin zu einer dekarbonisierten Zukunft in vier Phasen: 1) Entwicklung Basistechnologien (Erneuerbare, Effizienz), 2) verstärkte Integration & Orchestrierung (z.B. Sektorkopplung und Flexibilität), 3) Nutzung erneuerbarer Kraft- und Brennstoffe und 4) finale Dekarbonisierung.

Um die Herausforderungen einer dekarbonisierten Zukunft erfolgreich zu meistern und die sich ergebenden Chancen zu realisieren ist ein starker politischer Wille, eine ausgeweitete Finanzierung aus Mitteln des Bundesbudgets sowie eine enge Einbindung der verschiedenen städtischen Stakeholder, darunter auch die lokale Bevölkerung, erforderlich. Der nationale Gesetzgeber muss hierfür die nötigen Rahmenbedingungen schaffen. Dazu beitragen würden im Bereich Wärme CO₂-arme Wärmeversorgungstechnologien wie Geothermie (zur Einspeisung in das zentrale Fernwärmenetz) oder dezentrale Hybridwärmepumpen, die im Zuge eines neuen Energiegesetzes gefördert werden müssen. Um den Umstieg auf Elektromobilität zu erleichtern und den Stadtbewohnern ohne privaten Parkplatz das Laden in Wien zu ermöglichen, ist eine frühzeitige Förderung der Installation von öffentlicher Ladeinfrastruktur we-

sentlich. Dies muss mit einem entsprechenden Ausbau der Netze, Speicher und Back-up Technologien (KWK) erfolgen um die Systemstabilität zu sichern. Durch den steigenden Anteil an volatilen erneuerbarem Strom ist das Marktdesign in Hinblick auf die Sicherstellung der Versorgungssicherheit weiterzuentwickeln.

Inhaltsverzeichnis

1	Kontext & Projekt	1
1.1	Klimaschutz und Bevölkerungswachstum - Herausforderungen und Chancen der Stadt Wien	1
1.2	Urbanisierung & Klimaschutz im internationalen und österreichischen Kontext	1
1.2.1	Herausforderungen und Charakteristika des städtischen Raums	3
1.2.2	Best Practice	4
1.3	Projekt <i>DECARB</i> - Ein treibhausgasneutrales Wien in 2050	6
2	Methodik	7
3	Analyse & Ergebnisse	11
3.1	Endenergieverbrauch Stadt Wien: Status quo und Ausblick	11
3.2	Betrachtete Szenarien	12
3.3	Ergebnisse der Sektorenbetrachtung	13
3.3.1	Wärme	16
3.3.2	Verkehr	20
3.3.3	Strom	22
3.4	Investitionskosten	22
3.5	Wirtschaftliche Betrachtung	24
3.6	Roadmap	24
4	Herausforderungen & notwendige nationale Rahmenbedingungen	26

Anhang

1 Kontext & Projekt

1.1 Klimaschutz und Bevölkerungswachstum - Herausforderungen und Chancen der Stadt Wien

Wien als prosperierende Metropole im Herzen Europas mit der weltweit höchsten Lebensqualität besitzt eine anhaltend starke Anziehungskraft.¹ Die Stadt selbst prognostiziert eine Bevölkerungsentwicklung von 1,85 Mio. (Stand 2017) auf über 2,1 Mio. bis 2040.² Als Folge nehmen auch die Herausforderungen bezüglich Umweltschutz und nachhaltiger Stadtplanung zu. Wien muss den Einsatz fossiler Energieträger reduzieren, da diese wesentlich zum Klimawandel beitragen – und zu seinen Folgekosten. Besondere Relevanz im Kontext der Stadt Wien haben die Sektoren Gebäude, Mobilität und Stromerzeugung, da hier ein Großteil der Emissionen anfallen. Bei einer Studie aus dem Jahr 2017 zur Nachhaltigkeit von Städten, belegte Wien weltweit Rang 4.³ Um diesen Spitzenplatz zu halten und weiter auszubauen sowie die Position Wiens als Weltstadt mit Sitz bedeutender Unternehmen und internationaler Organisation sowie hoher Lebensqualität zu festigen, ist eine umfangreiche Dekarbonisierungsstrategie notwendig.

Daher hat sich WIEN ENERGIE die Frage gestellt, wie ein Dekarbonisierungsszenario für den Großraum Wien aussehen kann und welche Schritte zur Umsetzung notwendig sind. Die Herausforderung ist einerseits die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität zu dekarbonisieren und andererseits auch in Zukunft eine zuverlässige und wirtschaftliche Energieversorgung für rund zwei Millionen Menschen, 230.000 Gewerbe- und Industrieanlagen sowie 4.500 landwirtschaftlichen Betrieben im Großraum Wien sicherzustellen. Das anhaltende Bevölkerungswachstum sowie die Einschränkungen bei den Handlungsoptionen durch die geringe Flächenverfügbarkeit die sich in einem urbanen Raum ergeben, stellen weitere, Wien-spezifische Herausforderungen dar, die aber zugleich als Chance zu sehen sind.

Steigende Anforderungen bei Klimaschutz sowie anhaltende Urbanisierung betreffen nicht nur die Stadt Wien, sondern Metropolen weltweit. Diese Situation wurde erkannt und spiegelt sich in vielerlei internationalen Vereinbarungen und Initiativen wider. Die daraus resultierende Dynamik bietet die einmalige Chance für Städte sich zu erneuern.

1.2 Urbanisierung & Klimaschutz im internationalen und österreichischen Kontext

Das 21. Jahrhundert wird das „Jahrhundert der Städte“ sein: urbane Räume entwickeln sich zunehmend zu globalen Zentren von Wissen, Ökonomie und Gesellschaft und bestärken somit den Urbanisierungstrend.⁴ Die Auswirkungen

¹ Mercer (2017). 19th Quality of Living survey

² Stadt Wien (2015). Bevölkerungsprognose – Statistiken. URL: <https://www.wien.gv.at/statistik/bevoelkerung/prognose/#daten>

³ Arcadis (2016). Sustainable Cities Index 2016

⁴ WBGU (2016). Der Umzug der Menschheit: Die transformative Kraft der Städte

der derzeitigen Urbanisierungsdynamik sind so bedeutend, dass sich weltweit Städte, Regierungen und internationale Organisationen diesem Trend stellen müssen. Städte sollen umweltfreundlich sein und den Menschen einen gesunden Lebensraum bieten. Mit einem „Weiter so wie bisher“ können diese Voraussetzung nicht erfüllt werden und vielerorts würde ein Kollaps des urbanen Raums folgen. Daher muss die Bundespolitik ein besonderes Augenmerk auf die Unterstützung von Städte legen, um eine nachhaltige Entwicklung zu entfalten. In den Städten wird sich entscheiden, ob die große Transformation zur Nachhaltigkeit gelingt. Somit wird eine umweltgerechte sowie sozial verträgliche Energie-, Wärme- und Verkehrswende im urbanen Raum die zentrale Herausforderung von Städten in den kommenden Jahrzehnten und somit auch der urbanen Transformation.

Im September 2015 wurden die Weichen für die Umwelt- und Entwicklungspolitik der kommenden Jahrzehnte neu gestellt. Die Weltgemeinschaft hat sich auf 17 Ziele für eine nachhaltige Entwicklung geeinigt (*Sustainable Development Goals* - SDGs), die auf die Transformation der Welt in Richtung Nachhaltigkeit ausgerichtet sind.⁵ Viele der SDGs sind für die Gestaltung der Urbanisierung relevant und eines dieser Ziele bezieht sich direkt auf Städte. Der Auftrag des SDG 11 lautet: „Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten“. Auch das zentrale Ziel des Übereinkommens von Paris von Dezember 2015, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2°C gegenüber vorindustriellen Werten zu begrenzen, wird ohne Kursänderungen in den Städten nicht erreichbar sein. Aufbauend darauf wurde im Rahmen der Habitat-III Konferenz 2016 in Ecuador mit der *New Urban Agenda* eine politische Strategie für die nächsten zwei Jahrzehnte entwickelt, die Forderungen für eine moderne Stadt konkretisiert: kompakte Siedlungsentwicklung mit angemessenen Freiräumen, sparsamer Umgang mit Ressourcen, Stärkung öffentlicher Verkehrsmittel und gesunde Lebensbedingungen für alle. Darüber hinaus haben sich mehr als 90 globale Städte in der Initiative *C40 Cities* zusammengeschlossen, die über 650 Millionen Menschen und ein Viertel der Weltwirtschaft repräsentiert. Ziel des Verbunds ist es, die Ambition des Übereinkommens von Paris umzusetzen und somit den Klimawandel zu bekämpfen, bei gleichzeitiger Steigerung der Lebensqualität in Städten.

Auf EU-Ebene einigten sich die Mitgliedsstaaten im Rahmen der *2030-Ziele*, den CO₂-Ausstoß bis 2030 um 40% unter das Niveau von 1990 zu bringen. Darüber hinaus verfolgt die EU das Ziel, eine CO₂-arme Wirtschaft bis 2050 zu realisieren. Österreich verfolgt das Ziel, bis 2020 den Anteil erneuerbarer Energieträger auf 34% zu steigern und die THG-Emissionen um 16 % gegenüber 2005 in Sektoren außerhalb des EU-Emissionshandels („Effort-Sharing“) zu reduzieren.

Anfang April 2018 stellte die neue Bundesregierung unter dem Titel „#mission 2030“ die aktuelle Klima- und Energiestrategie für Österreich vor. Zentrales Ziel ist es, die CO₂-Emission bis 2030 um 36% gegenüber 2005 zu senken. Die Einsparung soll vor allem in den Bereichen Mobilität und Gebäude erzielt werden. So soll der ÖPNV ausgebaut und E-Mobilität, insbesondere der Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur, gefördert werden. Die Sanierungsquote für Bestandsgebäude soll auf 2% angehoben und der Ausbau von PV forciert werden. Bis 2030 sollen 100% des Stroms bilanziell erneuerbar sein und der Gesamtenergiebedarf zu 45% bis 50% aus erneuerbaren Trägern kommen.⁶

⁵ UN (2015). Ziele für nachhaltige Entwicklung. URL: <https://www.unric.org/de/component/content/article/27740>

⁶ Mission 2030 (2018). Die Klima- und Energiestrategie der Österreichischen Bundesregierung- URL: https://mission2030.info/wp-content/uploads/2018/04/mission2030_Klima-und-Energiestrategie.pdf

Die Stadt Wien hat ihr eigenes Klimaschutzprogramm (*Klip Wien*), in dem konkrete Maßnahmen zur Verringerung der THG-Emissionen definiert sind. Im Zeitraum von 1990 bis 2015 konnten durch Umsetzung verschiedener Maßnahmen die Wiener pro-Kopf-Emissionen um knapp 35% gesenkt werden. Zu den Maßnahmen zählen beispielsweise die verbesserte Wärmedämmung von Gebäuden, die Umstellung von Heizungen auf Fernwärme und erneuerbare Energie sowie der Ausbau des Fuß-, Rad- und öffentlichen Verkehrs. Die langfristigen Klimaschutzziele sind in der Smart City Wien Rahmenstrategie verankert: Bis 2030 sollen die THG Emissionen der Wiener Bevölkerung pro Kopf um 35% gesenkt werden (was bereits in 2015 erreicht wurde), bis 2050 sogar um 80% (jeweils im Vergleich zu 1990). Das Leitziel 2050 der Smart City Wien lautet: beste Lebensqualität für alle Menschen in der Stadt bei größtmöglicher Ressourcenschonung durch umfassende Innovationen.

1.2.1 Herausforderungen und Charakteristika des städtischen Raums

In Städten wohnen deutlich mehr Menschen auf einer begrenzten Fläche als im ländlichen Raum. So teilen sich in Wien durchschnittlich 4.500 Bewohner einen Quadratkilometer (km²), die Bevölkerungsdichte in Österreich hingegen beträgt 105 Einwohner pro km². Daraus, und aus weiteren Stadt-spezifischen Charakteristika ergeben sich Dekarbonisierungsherausforderungen die sich von denen des ländlichen Raums unterscheiden.

Wärme – Im städtischen Raum ist der Anteil an Mehrfamilienhäusern deutlich höher als am Land – dort dominieren eher Einfamilienhäuser. Dieser Umstand ist vor allem dem Platzmangel in Städten geschuldet sowie den damit in Verbindung stehenden hohen Grundstückpreisen. Flächenintensive Wärmetechnologien wie beispielsweise die Erdwärmepumpe sind daher nur beschränkt im städtischen Umfeld einsetzbar. Kompaktere, dezentrale Wärmetechnologien wie z.B. die Hybrid-Luft-Wärmepumpe eignen sich daher besser für städtische Gebiete. Neben dem Platzmangel bildet der Denkmalschutz eine weitere, stärker im urbanen Raum relevante Limitierung, allen voran in Wien mit seinen vielen Gründerzeitbauten. Um Fernwärme ökonomisch nutzen zu können, braucht es eine hohe Absatzdichte. Diese ist in Gebieten mit einer dichten Siedlungsstruktur gegeben.

Mobilität – Der beschränkt zur Verfügung stehende Raum und das hohe Verkehrsaufkommen, bedingt durch die große Pendlerzahl sowie durch den Lieferverkehr, stellen im Bereich Mobilität die wesentlichen Besonderheiten urbaner Gebiete dar. Wenn eine wachsende Zahl an Einwohnern ihre Bedürfnisse gleichermaßen erfüllen möchten, führt dies zu einem gesteigerten Verkehrsaufkommen. Daher ist es essenziell, dass diese Wege effizient zurückgelegt werden. Dies bedeutet einerseits möglichst kurze Wege und andererseits, den Verkehr mit möglichst geringem Bedarf an Ressourcen, wie Raum und Energie, abzuwickeln. Städte bieten dafür aufgrund der dichten Strukturen eine hervorragende Ausgangslage. Zudem ist auch das Potenzial für multimodalen Verkehr größer als in ländlichen Gebieten. Autos haben einen hohen Platzbedarf, daher ist der MIV in einer Stadt mit stetig zunehmender Bevölkerung auf Dauer nicht zu bewältigen. Ein gleichberechtigter Zugang zu Mobilität kann nur über andere Verkehrsformen erreicht werden.

Strom – Der Platzmangel im städtischen Raum ist auch Hauptgrund für die Unterschiede zwischen urbanen und ländlichen Raum im Sektor Strom. Die flächenintensivere Wind- oder Wasserkraft ist nur in Randgebieten einsetzbar, Solaranlagen auf Dächern hingegen auch in urbanen Gebieten. Fehlender regenerativer Strom muss aus dem Umland zugekauft werden. Dieser Umstand hat zudem eine saisonale Komponente, da der Solarstrom im Winter deutlich geringer ausfällt und so mehr aus dem ländlichen Raum bezogen werden muss. Speichertechnologien

könnten aber mittelfristig Abhilfe schaffen. Ein Vorteil gegenüber dem ländlichen Raum ist der in der Regel bessere Ausbau der Netze sowie die höhere Vielfalt an zentralen (KWK, Fernwärme) und dezentralen (u.a. Wärmepumpen) Energieerzeugungstechnologien. Durch diesen Mix gibt es mehr Chancen das Netz flexibel zu gestalten und Sektorkopplung zu ermöglichen.

1.2.2 Best Practice

Wie bereits zuvor beschrieben, ist Wien nicht die einzige Stadt, welche die Ambition hat THG Emissionen massiv zu reduzieren. "Leader" wie München, Kopenhagen und Amsterdam unternehmen ebenfalls bereits ernsthafte Dekarbonisierungsanstrengungen.

München - Geothermie

Bereits seit 1989 ergreift die Stadt München kommunale Maßnahmen zur Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz, sowie zur Emissionsminderung. Laut städtischem CO₂-Monitoring konnten so bis 2014 die pro Kopf-Emissionen gegenüber 1990 um 40% auf 7,2 t CO₂ verringert werden.⁷ Die Emissionen der stadteigenen Betriebe konnten im selben Zeitraum um 32% gesenkt werden. Ziel ist es, bis 2030 die Emissionen pro Einwohner gegenüber 1990 zu halbieren.

Die Grundlage für das konzertierte Handeln zur weiteren Dekarbonisierung der Stadt bildet seit 2010 das Klimaschutzprogramm, welches bereits zweimal fortgeschrieben und zum *integrierten Handlungsprogramm Klimaschutz in München* (IHKM) weiterentwickelt wurde. Das aktuelle IHKM 2015 umfasst Maßnahmen zu acht Handlungsfeldern, darunter Energieerzeugung und -verteilung.⁸ Zur Modernisierung der Energieerzeugung und -verteilung sieht das IHKM 2015 den Ausbau von Fernwärme und deren regenerative Bereitstellung z.B. durch Tiefengeothermie vor. Bereits 2004 eröffneten die Stadtwerke München ihre erste Geothermieranlage.⁹ Voraussetzung für die intensive Erdwärme-Nutzung sind Heißwasservorkommen mit Temperaturen von 80 bis über 100°C in Tiefen von 2.000 bis 3.000 m unter der Stadt. Inzwischen wurden zwei weitere Anlagen in Betrieb genommen, eine vierte ist im Bau. Bis 2025 sollen bis zu drei weitere Anlagen ans Netz gehen. Die nötigen seismischen Messungen werden im Rahmen des staatlich geförderten GRAME-Projektes durchgeführt. Zwar stehen die Geothermieranlagen bereits an wichtigen Knotenpunkten von Fernwärmenetzen. Der weitere Ausbau muss jedoch im Einklang mit dem weiteren Aus- und Umbau des Fernwärmenetzes geschehen.

⁷ Landeshauptstadt München (2018). Klimaschutzstrategie der Landeshauptstadt München. URL: https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Gesundheit-und-Umwelt/Klimaschutz_und_Energie/Klimaschutzstrategie.html

⁸ Landeshauptstadt München (2015). IHKM Integriertes Handlungsprogramm Klimaschutz in München. Klimaschutzprogramm 2015. Maßnahmenkatalog

⁹ Stadtwerke München SWM (2018). Stadtwerke München: Gestalter der Wärmewende. Fernwärme – 100 Prozent erneuerbar

Kopenhagen - Fernwärme

Im Großraum Kopenhagen liegt eines der ältesten und größten Fernwärmenetze der Welt. Mit einer Länge von 1.500 km versorgt es etwa 562.000 Einwohner und deckt mit jährlich rund 33.000 TJ über 98% des Wärmebedarfs der Stadt.¹⁰ Die Wärme wird über lokale KWK-Anlagen und durch Müllverbrennungsanlagen (MVA) bereitgestellt. Die Verbindung von KWK mit Fernwärme gehört zu den effizientesten und, abhängig vom Energieträger, klimafreundlichsten Arten der Energieerzeugung, insbesondere in dicht besiedelten Gebieten wie Kopenhagen. Sie ermöglicht so eine umweltschonende und relativ günstige Wärmeversorgung. Dieser Effekt wird verstärkt über die Substitution zehntausender Heizkessel ohne Abgasbehandlung durch wenige Großanlagen mit modernster Technik zur Reduktion von Emissionen. Im Klimaplan 2025 setzt die Stadt das Ziel, im Jahr 2025 die weltweit erste CO₂-neutrale Hauptstadt zu sein.¹¹ Für die Wärmeversorgung erfordert dies eine kontinuierliche Modernisierung des Fernwärmenetzes zur Reduktion von Wärmeverlusten, mittelfristig eine Umstellung auf Biomasse und den Einsatz von Wärmespeichern zur Lastflexibilisierung. Längerfristig soll der Einsatz von Großwärmepumpen und Tiefengeothermie geprüft werden.

Amsterdam – E-Mobilität

Seit 2010 forciert Amsterdam aktiv den Ausbau der Elektromobilität.¹² Die *Europäische Innovationshauptstadt 2016* bezuschusst einerseits den Kauf privater und kommerziell genutzter Elektroautos. Andererseits werden Verbotszonen eingerichtet, die emissionsintensive Fahrzeuge ausschließen. Elektrisch betriebene Fahrzeuge werden bei der Zuweisung von Parkplätzen bevorzugt – eine Voraussetzung zur Zulassung eines Fahrzeugs. Elektrisch betriebene Taxis erhalten Zugang zu günstigen Wartebereichen mit Schnellladestationen an Bahnhof, Flughafen und anderen strategisch wichtigen Punkten. Kritisch für den Wandel zur Elektromobilität ist der Ausbau der Ladeinfrastruktur, der z.B. in Oslo (Norwegen) zuletzt hinter dem steigenden Bedarf zurückbleibt. Aber auch Amsterdam wird mit derzeit ~2.400 Ladeeinheiten sein selbst gestecktes Ziel von 4.000 Ladeeinheiten in 2018 möglicherweise verfehlen.¹³ In einem gemeinsamen Projekt mit der Universität Amsterdam werden die Nutzerdaten der Ladestationen analysiert, um u.a. Bedarfsschwerpunkte zu identifizieren und in der weiteren Planung zu berücksichtigen.¹⁴

Um das Umfeld für einen Ausbau der Elektromobilität zu verbessern und bestehende Hürden zu überwinden, veranstalteten die Gemeinde Amsterdam und Partner aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft im März 2018 die *Smart Charging Challenge*.¹⁵ Der Hackathon rund um das Thema *smart electric vehicles* forderte die Teilnehmer auf zur

¹⁰ HOFOR (2016). District heating in Copenhagen. Energy efficient, low carbon, and cost effective

¹¹ The City of Copenhagen (2012). CPH 2025 Climate Plan. A Green, Smart and Carbon Neutral City

¹² <http://emobilitaetblog.de> (29.12.2016)

¹³ <https://www.duurzaambedrijfsleven.nl> (19.03.2018)

¹⁴ <https://www.iamsterdam.com> (19.03.2018)

¹⁵ livinglabsmartcharging.nl (2018). Smart Charging Challenge

Entwicklung innovativer, IT-basierter Lösungen in den Bereichen Inter-Fahrzeug- und Fahrzeug-Netz-Kommunikation, Fahrzeug-Nutzer-Interaktion sowie Netzstabilisierung bei PV-Integration. Die sechs Gewinner-Teams erhalten neben einem Preisgeld auch Unterstützung für die Weiterentwicklung ihrer Ideen.

1.3 Projekt *DECARB* - Ein treibhausgasneutrales Wien in 2050

WIEN ENERGIE hat im Einklang mit den Paris-Zielen eine Strategie für eine dekarbonisierte Zukunft, d.h. eine THG Reduktion um 100% bis 2050, entwickelt. Ziel ist es abzuschätzen, welche zusätzlichen Anstrengungen sich im Vergleich zur aktuellen Smart City Rahmenstrategie ergeben. Das Fundament für diese Strategie wurde im Rahmen einer Grobanalyse in Zusammenarbeit mit dem Beratungsunternehmen Ecofys gelegt. Im Rahmen dieses Projektes wurden sowohl für das Smart City als auch das DECARB Szenario vier wesentliche Kernaktivitäten durchgeführt:

1. Erstellung eines Zielbilds 2050 für das Stadtgebiet Wien basierend auf Abschätzung der Energienachfrage unter Einbeziehung des aktuellen Anlagenbestands
2. Darstellung der technischen Optionen für die Sektoren Wärme, Mobilität und Strom zur treibhausgasneutralen Nachfragedeckung
3. Ermittlung der volkswirtschaftlichen Investitionskosten
4. Beschreibung erforderlicher politischer Rahmenbedingungen

Neben den oben genannten Aktivitäten wurden auch zukunftsfähige Geschäftsmodelle je Sektor entworfen. Dieser Aspekt wird aber im weiteren Berichtsverlauf nicht betrachtet.

2 Methodik

Die Methodik der Studie lässt sich in drei Schritte unterteilen:

1. Festlegung *Baseline* auf Basis öffentlich zugänglicher Datenbanken
2. Erstellung *Zielbild* für Smart City und DECARB Szenario auf Basis von Literaturrecherche, Expertenwissen und internen Daten
3. Technische und ökonomische Bewertung der *Technologien* auf Basis von Expertenwissen bei Ecofys und WIEN ENERGIE sowie öffentlichen und internen Studien

Baseline

Um die weitreichenden technischen und ökonomischen Folgen besser abschätzen zu können, wurde in einem ersten Schritt eine Baseline 2015 erstellt. Grundlage hierfür war die Nutzenergieanalyse 2015 der Statistik Austria. Für den Sektor Mobilität erfolgte ein Vergleich mit den Emikat (Emissions- und Energiekataster) Zahlen um die Head-quarterzuordnung und den Pendelverkehr besser einschätzen zu können. Für die weiteren Analysen wurden ausschließlich die Verbrauchszahlen der Statistik Austria verwendet.

Zielbild

Auf Basis der Baseline wurde jeweils ein Zielbild 2050 für das Smart City und das DECARB Szenario entwickelt. Hierbei wurde anhand einer top-down Betrachtung die zukünftige Energienachfrage für die Segmente Wärme, Mobilität und Strom abgeschätzt. Wichtige Einflussparameter waren die Sanierungsrate bei Bestandsgebäuden und der Anteil der E-Mobilität am MIV und leichten Lieferverkehr. Im Smart City Szenario wurde die E-Mobilitätsrate auf Grundlage einer WIEN ENERGIE internen Studie von der TU Wien ermittelt, die Gebäudesanierungsrate wurde anschließend als Residualgröße errechnet. Im DECARB Szenario wurde, analog zu den Studien der Agora Energiewende^{16,17}, von einer maximalen Energieeffizienz (*Efficiency first*) ausgegangen und somit von einem zu 100% sanierten Gebäudebestand und einem E-Mobilitätsanteil im MIV und leichten Lieferverkehr von ebenfalls 100%. Die vollumfängliche energetische Sanierung des Wiener Gebäudebestands stellt jedoch eine immense Anstrengung dar und ist ohne Unterstützung durch den Bund nicht realisierbar. Des Weiteren wurde je Zielbild die notwendigen installierten Leistungen sowie jährlichen Erzeugungsmengen an erneuerbaren Energieanlagen und Fernwärmeinfrastruktur hochgerechnet. Das Verhältnis zwischen neu zugebauter Windkraft und PV wurde 1:1 auf die Leistung an-

¹⁶ Agora Energiewende (2014). Positive Effekte von Energieeffizienz auf den deutschen Stromsektor

¹⁷ Agora Energiewende (2016). „Efficiency First“ – Ein effizientes Energiesystem in Zeiten der Sektorkopplung

genommen, da mehrere Studien zu einem volkswirtschaftlich kostenoptimalen System bei diesem Verhältnis kommen.¹⁸ Die Wasserkraft wurde mit einem österreichweit maximalen Ausbau bis 2050 von 10 TWh Jahreserzeugungskapazität beschränkt, wovon für Wien ein Anteil von ca. 17% verwendet wurde.¹⁹ Dieser Anteil wurde als Mittelwert zwischen dem Anteil der Wiener Bevölkerung an der österreichischen Bevölkerung und dem Anteil des Wiener Endenergieverbrauchs und dem österreichweiten Endenergieverbrauchs gewählt. Die Energieerzeugung aus Biomasse wurde als konstant angenommen mit der Hypothese, dass weiteres Nutzungspotenzial der Biomasse in der chemischen Industrie als Rohstoff eingesetzt wird. Als chemischer Energieträger wurde das Biomethanpotenzial aufgrund der JKU Studie²⁰ angenommen, der restliche Bedarf an chemischen Energieträgern wird mit Wasserelektrolyse und optionaler Synthese modelliert. Die Annahmen und Ergebnisse wurden abschließend durch die Experten von Ecofys plausibilisiert und punktuell angepasst.

Technologien

Abschließend wurde analysiert, welche CO₂-armen technologischen Optionen sich am besten für die Dekarbonisierung der Stadt Wien eignen. Nachfolgend wird diese Herangehensweise kurz je Sektor vorgestellt.

Wärme – Im Bereich Gebäude hat Ecofys initial eine Longlist möglicher Wärmebereitstellungstechnologien erarbeitet. Basierend auf dieser wurden für die Stadt Wien folgende Technologien ausgewählt und miteinander verglichen:

- Grundwasserwärmepumpe
- Erdwärmepumpe
- Hybridwärmepumpe (Luft + Gas)
- Großwärmepumpe
- Erneuerbare Fernwärme

Die einzelnen Technologien wurden anhand der anfallenden Investitions- und Betriebskosten, der Effizienz sowie etwaiger Begrenzungen bewertet. Um die lokalen Gegebenheit einzubeziehen, wurde auf Basis von Geoinformationsdaten der Stadt Wien ein *Wärmemapping* erstellt (Abbildung 1). Die Gebäudetypen Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus und Denkmalschutz wurden im ersten Schritt herangezogen um eine Technologieeignung des jeweiligen Gebäudetyps herzustellen. In einem nächsten Schritt wurde auf Basis der Geoinformationsdaten geprüft, ob der Einsatz lokaler erneuerbare Energie (Grundwasser oder Erdwärme) möglich ist. Hierzu wurde insbesondere die Einsatzmöglichkeit von bodennaher Geothermie im Zusammenspiel mit der Gebäudestruktur betrachtet. Um Aussagen über die Verdichtung des Fernwärmenetzes zu tätigen, wurden Abstände zum bestehenden Fernwärmenetz und die Verbrauchsdichte der Gebäudestruktur herangezogen. Hybridwärmepumpen kommen vor allem dort zum Einsatz wo die zuvor beschriebenen Technologien im Entscheidungsbaum keinen Einsatz finden. Der Niedertemperatur

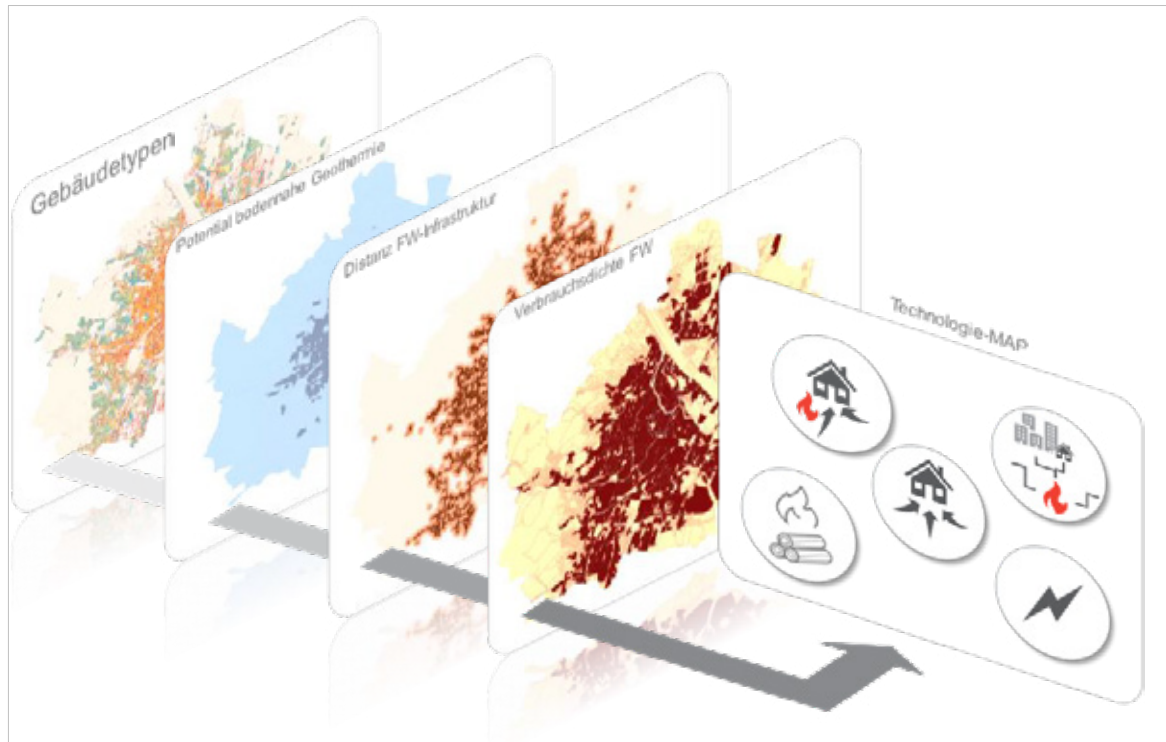
¹⁸ Fraunhofer ISE (2012). 100% Erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland

¹⁹ Pöyry (2012). Wasserkraftpotenzial in Österreich

²⁰ JKU (2017). Erhöhung des Einsatzes von erneuerbarem Methan im Wärmebereich

Markt (NT-Markt) setzt sich aus dem Heizwärme-, Warmwasser- und Klimatisierungsbedarf zusammen. Die Hochrechnung des Stromverbrauchs für die Klimatisierung erfolgte durch Projektion der aktuellen Strombedarfsentwicklung in diesem Segment.

Abbildung 1: Wärmemapping



Quelle: Wien Energie (2017)

Mobilität – Hier fand eine Differenzierung zwischen PKW und leichten Nutzfahrzeugen einerseits und Schwerlastverkehr andererseits statt. Dies ist sinnvoll, da die Charakteristika der beiden Mobilitätsformen sich wesentlich unterscheiden. Die Ziele der Stadt in Hinsicht auf Änderung des Modal Splits hin zu umweltfreundlichen Mobilitätsformen wurden ebenso wie Effizienzsteigerungen der Automobilhersteller berücksichtigt.

Für die Entwicklung des E-Fahrzeugbestandes wurden die Hochlaufzahlen einer internen Studie, durchgeführt vom Institut für Verkehrswissenschaften an der TU Wien, herangezogen. In der Studie wurde ein Methodenmix aus einer Trendfortschreibung mit Hilfe von logistischen Wachstumsmodellen und einem dynamischen Fahrzeugflotten- und Antriebstechnologiemodell verwendet. In drei Szenarien – *do nothing*, *Aktionspaket zur Förderung der E-Mobilität von Seiten der öffentlichen Hand* und einer *Kombination aus Aktionspaket und forciertem Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur* – wurden die Hochlaufzahlen für Elektroautos bis 2050 ermittelt. Für die weitere Vorgehensweise wurde der Mittelwert aus den zwei optimistischeren Szenarien verwendet und bis 2050 extrapoliert. In die weitere Analyse flossen unter anderem die Kaufpreisentwicklung für Elektrofahrzeuge, ein sich änderndes Nutzungsverhalten und der Ausbau der Ladeinfrastruktur ein. Im Bereich des Schwerlastverkehrs wurde eine Umstellung auf er-

neuerbare Kraftstoffe (Wasserstoff, Biomethan, Fischer-Tropsch-Synthese) untersucht. Zugrundeliegende Parameter waren die Kostenentwicklung bei der Herstellung dieser Kraftstoffe (z.B. durch Elektrolyse) sowie die Speicherbarkeit (Lagerbarkeit, Lagerart, Kosten) und Transport (Pipelines, Aggregatzustand).

Strom – Im Segment Strom wurden insbesondere die Zukunftsthemen Sektorkopplung und Flexibilität und deren Wechselwirkungen zur Dekarbonisierung analysiert. So wurden von Ecofys verschiedene Flexibilitätsoptionen hinsichtlich ihres Potentials, der Vermarktbarkeit, der Bedeutung und Relevanz für die Stadt Wien bewertet. Hierzu wurde auf die umfassende Erfahrung aus vorangegangenen Ecofys-Projekt zurückgegriffen. Diese initiale Bewertung der Optionen wurde in einem Workshop unter Teilnahme von Mitarbeitern der WIEN ENERGIE diskutiert und finalisiert. Die Stromaufbringung für erneuerbaren Wasserstoff wurde in der Stromnachfrage nicht modelliert, da aufgrund der Speicher- und Transportfähigkeiten von einem international verknüpften Wasserstoffmarkt ausgegangen wird. Es wurde angenommen, dass Gebiete mit hohem PV-Potenzial (z.B. Saudi-Arabien, Maghreb Zone) dieses nutzen um im großen Maßstab günstigen, erneuerbaren Strom zu erzeugen. Dieser wird mittelfristig für die kosteneffiziente, großvolumige (Economies of Scale) Produktion von Wasserstoff eingesetzt. Der in Österreich erzeugte Strom fließt hingegen in die betrachteten Sektoren, die Eigenerzeugung von Wasserstoff findet nur in kleinen Mengen statt.

Für die Abschätzung der Investitionskosten wurden sowohl Ecofys-interne als auch öffentlich zugängliche Studien und Datenbanken herangezogen (z.B. Shell Wasserstoffstudie²¹, Statistik Austria). Die Daten und Kenngrößen wurden an den Wiener Kontext angepasst. Die Ergebnisse der Technologiebewertung und der Investitionskostenbetrachtung waren Grundlage für die Erstellung der Roadmap. Abschließend wurden unter Einbindung von Experten der Ecofys Politik Abteilung erforderliche politische Rahmenbedingungen beschrieben sowie regulatorische Chancen und Risiken identifiziert.

Nicht näher betrachtet wurden die Auswirkungen der erhöhten Stromnachfrage auf die Stabilität der Netze. Eine Elektrifizierung des Individualverkehrs sowie von Teilen der Wärmeversorgung führt zu einem deutlich erhöhten Strombedarf. Zudem nehmen durch den massiven Zubau fluktuierender erneuerbare Energien die Netzschwankungen zu. Um den gesteigerten Anforderungen durch hohen Strombedarf einerseits und Schwankungen im Netz andererseits gerecht zu werden, sind beträchtliche Investitionen in das Stromnetz erforderlich. Weiterhin nicht im Detail betrachtet wurde der ÖPNV als Teil des Sektors Mobilität. Der Ausbau eines emissionsfreien ÖPNV ist Voraussetzung um den Anteil des MIV am Modal-Split zu reduzieren und um die Dekarbonisierungsziele der Stadt Wien zu erreichen.

²¹ Shell, Wuppertal Institut (2017). Shell Wasserstoffstudie

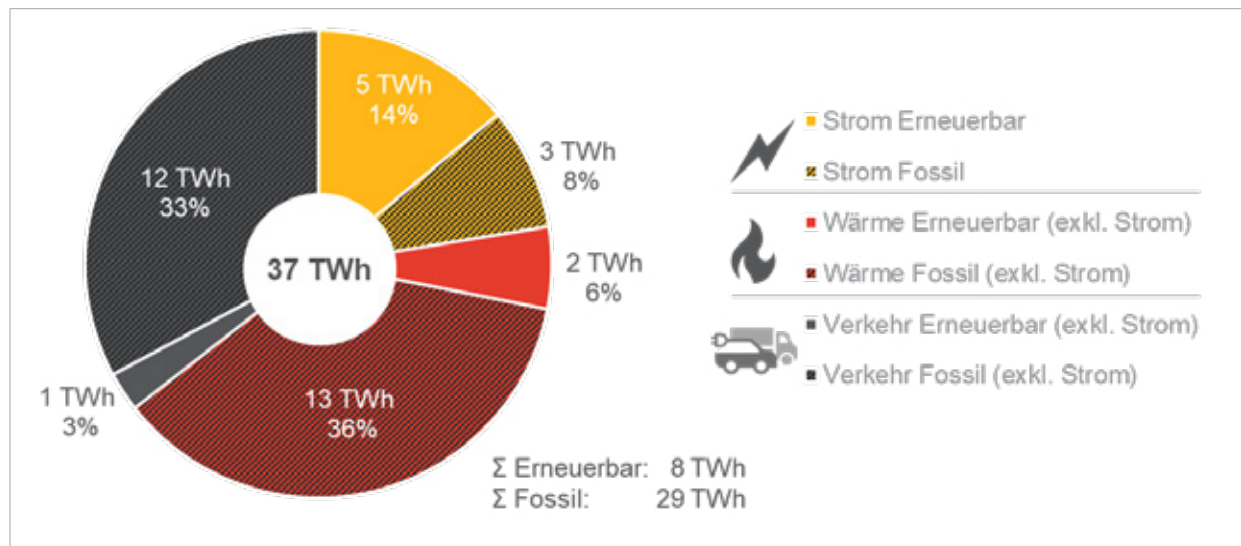
3 Analyse & Ergebnisse

3.1 Endenergieverbrauch Stadt Wien: Status quo und Ausblick

Auf Wien entfallen mit 37 TWh mehr als 10% des Endenergieverbrauchs in Österreich (Abbildung 2). Der energieintensivste Sektor ist Wärme mit einem Anteil von 42% am Endenergieverbrauch in Wien. Knapp 15% der für den Wärmesektor benötigten Energie stammt aus erneuerbaren Quellen. Auf den Verkehrssektor gehen 36% des Endenergieverbrauchs zurück, wovon über 90% über fossile Träger gedeckt wird. Grund für diesen hohen Anteil fossiler Energie ist vor allem die geringe Anzahl an elektrisch bzw. mit alternativen Kraftstoffen (z.B. Wasserstoff) betriebenen Fahrzeugen und die limitierte Möglichkeit der Beimischung von Biodiesel. Regenerative Energieformen im Verkehrssektor kommen aus der Beimischung von Biodiesel und dem Einsatz von Strom im Netz der Wiener Linien. Der Sektor Strom, mit einem Anteil von 22% am Endenergieverbrauch in Wien der kleinste Verbraucher, bezieht bereits über den Österreichmix einen Großteil der Energie aus regenerativen Ursprung. Ziel der aktuellen Bundesregierung ist es den Strom bis 2030 zu 100% aus erneuerbaren Quellen zu erzeugen

Der Status quo zeigt, dass die Verkehrs- und Wärmewende das größte Potenzial zur Dekarbonisierung bietet. Die Dekarbonisierung des Energiesystems muss über die Umstellung auf erneuerbaren Strom hinausgedacht werden, da die Elektrifizierung des Wärme- und Verkehrsbereiches den Strombedarf erhöhen und neue Systemanforderungen mit sich bringen. Eine Betrachtung des Gesamtsystems ist daher essentiell.

Abbildung 2. Endenergieverbrauch in Wien 2015



Quelle: Ecofys (2018) basierend auf Wien Energie (2017) und Statistik Austria (2016)

3.2 Betrachtete Szenarien

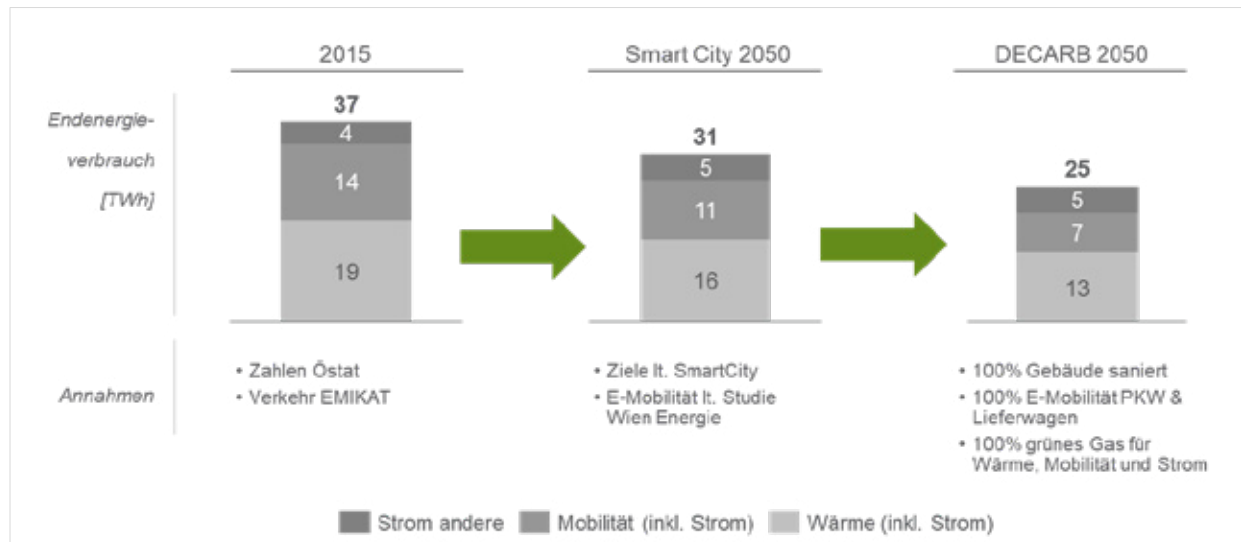
Wie bereits zuvor beschrieben besteht das aktuelle, bereits ambitionierte Wiener Klimaziel darin, die THG-Emissionen pro Kopf bis 2030 um mindestens 35% und bis 2050 um 80% jeweils im Vergleich zum Basisjahr 1990 zu senken. Darüber hinaus definierte die aktuelle Smart City Rahmenstrategie konkrete Ziele für die Fokus-Sektoren Wärme, Mobilität und Strom. Das DECARB soll im Vergleich dazu darstellen, was für eine vollständige Dekarbonisierung erforderlich ist und welche enormen Anstrengungen dafür erforderlich wären. Tabelle 1 vergleicht die wichtigsten Erfordernisse der beiden Szenarien.

Tabelle 1. Szenarienvergleich

Sektor	Smart City	Dekarbonisierung
Wärme	- Reduktion des Energieverbrauchs im Gebäudebestand für Heizen, Kühlen, Warmwasser um 1% pro Kopf und Jahr 58% des Gebäudebestands saniert bis 2050	100% des Gebäudebestands saniert bis 2050 1 TWh in dezentralen Wärmeanlagen werden zusätzlich mit Wärmepumpen versorgt
Mobilität	- Stärkung des Fuß- und Radverkehrs - Senkung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) auf <15% bis 2050 - Keine konventionellen Antriebe im MIV innerhalb der Stadtgrenzen in 2050 45% E-Mobilität in 2050	100% E-Mobilität bei PKW und leichten Nutzfahrzeugen bis 2050 - Nutzung erneuerbarer Kraftstoffe (z.B. Wasserstoff) für den LKW Verkehr bis 2050
Strom	Nutzung von Solarenergie ist von großer Bedeutung (S47 Smart City Rahmens.)	Zubau österreichweit für Wien: 3,4 TWh Wind, 1,7 TWh Wasserkraft und 1,7 TWh PV
Kernziel	- Reduktion pro Kopf Endenergiebedarfes um 40% bis 2050 (Basis 2005) - Reduktion pro Kopf CO₂-Emissionen um 80% bis 2050 (Basis 1990)	Reduktion pro Kopf THG-Emissionen um 100% bis 2050

Die Umsetzung der Smart City Ziele ergäbe eine Reduktion des Endenergieverbrauchs der Stadt Wien von heute 37 TWh auf 31 TWh in 2050. Im DECARB Szenario reduziert sich der Endenergieverbrauch nochmals deutlich auf dann 25 TWh in 2050 (Abbildung 3). Dies entspricht einer Verringerung des Endenergieverbrauchs bis 2050 um 17% (Smart City) bzw. 32% (DECARB).

Abbildung 3: Vergleich Endenergieverbrauch heute, Smart City und DECARB

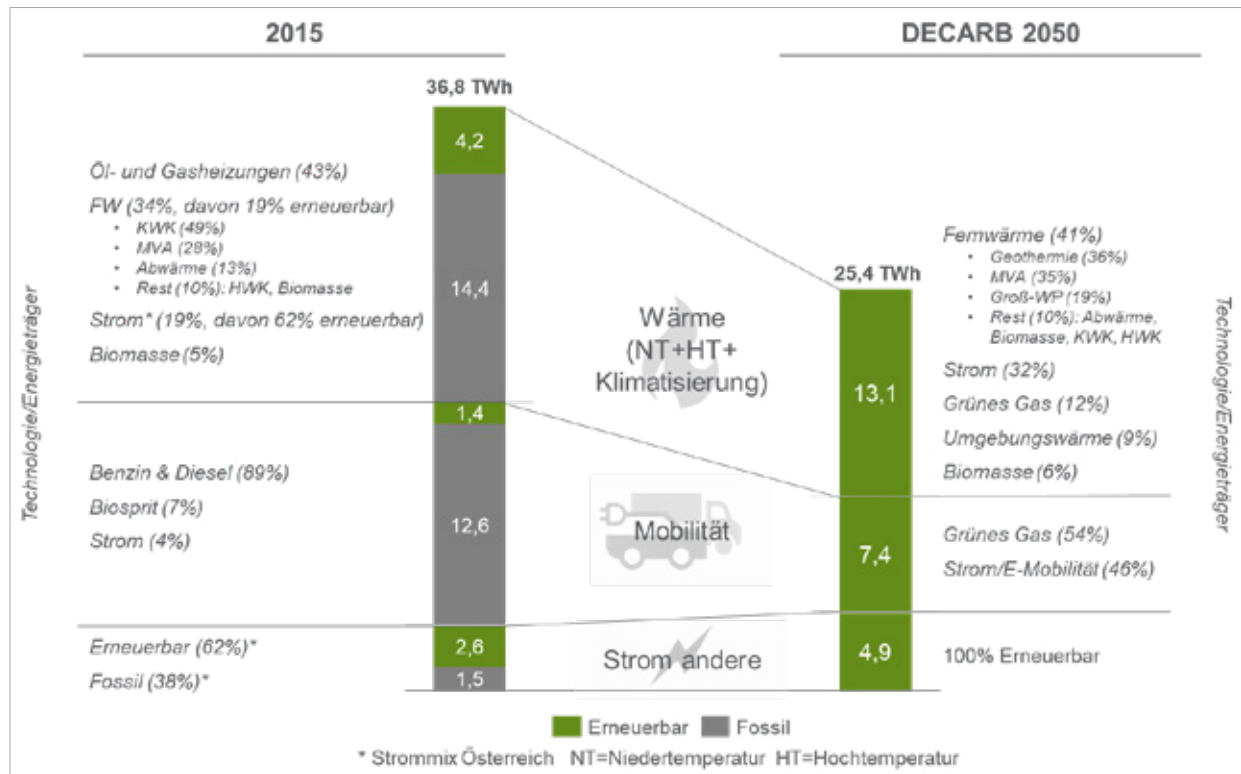


Quelle: Ecofys & Wien Energie (2017)

3.3 Ergebnisse der Sektorenbetrachtung

Abbildung 4 zeigt nochmal deutlich, dass der Hebel bei Mobilität und Wärme viel höher ist als bei der alleinigen Strombetrachtung. Eine gemeinsame Dekarbonisierung aller Sektoren ist daher erforderlich. Die Abbildung veranschaulicht zudem die Veränderung der Technologien und der genutzten Energieträger im DECARB Szenario gegenüber 2015. Nicht nur der Anteil der Fernwärme im Sektor Wärme nimmt von 34% auf 41% zu, auch die Technologien zur Bereitstellung der Fernwärme ändern sich wesentlich. Wird aktuell die Fernwärme noch knapp zur Hälfte über KWK-Anlagen erzeugt, werden im DECARB Szenario jeweils in etwa ein Drittel über Geothermie und MVAs erzeugt. Wenn man nur den NT-Markt betrachtet, liegt der Fernwärmeanteil im DECARB Szenario sogar bei 51% (2015: 39%). Die für den Hochtemperaturmarkt erforderlichen Temperaturen können nicht über Fernwärme abgedeckt werden, daher fällt bei der Betrachtung des Gesamt-Wärmemarkts der Anteil der Fernwärme niedriger aus. Auch Großwärmepumpen spielen in Zukunft eine wichtige Rolle und decken knapp ein Fünftel der Fernwärme ab. Durch den starken Ausbau dezentraler Technologien (insbesondere Wärmepumpen), nimmt auch die Nutzung von Strom und Umgebungswärme zu. Kommen Hybridwärmepumpen zum Einsatz, wird als Brennstoff grünes Gas verwendet. Der Bereich Mobilität wird teilelektrifiziert, im Schwerlastverkehr kommen erneuerbare Kraftstoffe zum Einsatz. Der erzeugte Strom wird im DECARB Szenario vollständig erneuerbar generiert.

Abbildung 4: Vergleich der Energieträger und Technologien 2015 und DECARB

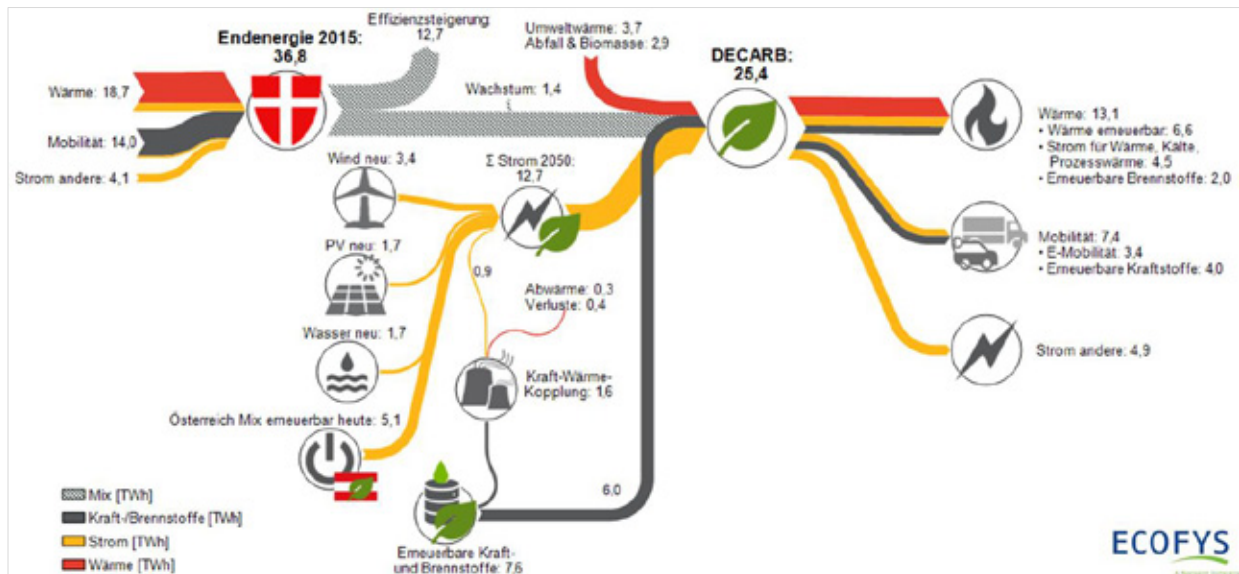


Quelle: Ecofys & Wien Energie (2017)

Das Sankey-Diagramm veranschaulicht die veränderten Energieflüsse im DECARB Szenario gegenüber dem aktuellen (2015) Stand (Abbildung 5). 12,7 TWh Einsparung werden durch Effizienzsteigerung erreicht die größtenteils auf den geringeren Wärmebedarf im Gebäudebereich aufgrund energetischer Sanierung sowie der höheren Effizienz des Elektromotors im Mobilitätsbereich zurückzuführen ist. Der Stromverbrauch nimmt hingegen von 8,2 auf 12,7 TWh zu, somit wird in 2050 die Hälfte des Endenergieverbrauchs durch Strom gedeckt. Zur Deckung dieses Mehrbedarfes müssen 3,4 TWh Wind sowie jeweils 1,7 TWh PV und Wasserkraft zugebaut werden. Ein kleiner Anteil (0,9 TWh) wird durch Verstromung erneuerbarer Brennstoffe in KWK bereitgestellt. Auf Grundlage der JKU Studie wird das maximal nutzbare Potenzial von Biomethan mit 2,6 TWh angenommen, die Differenz zu den notwendigen chemischen Energieträgern wird über ein PtX Verfahren erzeugt.²²

²² JKU (2017). Erhöhung des Einsatzes von erneuerbarem Methan im Wärmebereich

Abbildung 5. Ist und Ziel Endenergiebedarf und -deckung der Stadt Wien [TWh]



Quelle: Ecofys (2018) basierend auf Wien Energie (2017)

Box 1: Erneuerbare Brenn- und Kraftstoffe

Erneuerbare Brenn- und Kraftstoffe (Grünes Gas) stellen in 2050 eine wichtige Energiequelle dar. Knapp 30% des Endenergiebedarfs werden darüber bedient, größter Abnehmer sind der LKW Verkehr sowie Gaskessel für die Spitzenlast. Diese werden mikrobiell oder synthetisch aus erneuerbaren Ressourcen gewonnen (siehe Box 1). Neben den Grünen Gasen findet im DECARB Szenario auch eine verstärkte Nutzung von Umweltwärme, Abfall und Biomasse statt. Umweltwärme wird von Wärmepumpen und Geothermieranlagen zur Deckung des Wärmebedarfs in Gebäuden genutzt. Für selbige Zwecke wird Abfall und Biomasse in KWK-Anlagen bzw. Heizwerken verfeuert. Prozesswärme, welche höhere Temperaturniveaus benötigt, wird ebenfalls darüber gewonnen.

Die **Fischer-Tropsch-Synthese** ist ein Verfahren zur Gewinnung flüssiger Kraftstoffe. Dazu wird ein Synthesegas genanntes Gemisch unter hohem Druck und hohen Temperaturen katalytisch umgewandelt. Synthesegas kann z.B. aus Erdgas, Elektrolyse oder Biomasse hergestellt werden.

Bio-Methan ist ein gasförmiges Produkt der **anaeroben Vergärung** biogener Stoffe, wie z.B. Bioabfälle, Energiepflanzen oder Klärschlamm. Die anaerobe Vergärung ist ein mikrobieller Abbauprozess unter Sauerstoffausschluss.

Durch Anlegen einer elektrischen Spannung kann Wasser in Sauerstoff (O₂) und **Wasserstoff** (H₂) gespalten werden. Dieser Prozess nennt sich **Elektrolyse**. Im Zusammenhang mit der Elektrolyse fällt häufig der Begriff **Power-to-X (PtX)**, welcher für die Umwandlung von Strom in flüssige (PtL) oder gasförmige (PtG) energiereiche Verbindungen steht.

Da H₂ eine geringe Dichte hat, leicht entzündlich ist und durch die geringe Molekülgröße hohe Verlustraten aufweist, kann es zur Einspeisung ins Erdgasnetz in Methan umgewandelt.

3.3.1 Wärme

Der Wärmesektor stellt in Wien den größten Verbraucher an Endenergie dar. Über 80% des Endenergieverbrauchs für Wärme lässt sich auf die Erzeugung von Raumwärme, Warmwasser und Klimatisierung zurückführen, der Rest wird für Prozesswärme benötigt. Das effektivste Mittel zur Reduktion der benötigten Raumwärme ist die energetische Sanierung von Wohn- und Gewerbegebäuden. Insbesondere die in Wien zahlreich vorhandenen Gründerzeitbauten weisen i.d.R. einen Wärmebedarf von 200 kWh/m²a und mehr auf. Durch energetische Sanierung kann dieser Wert auf 50 kWh/m²a oder darunter reduziert werden. Die vollumfängliche energetische Sanierung des Wiener Gebäudebestands stellt eine immense Anstrengung dar und ist ohne die Unterstützung durch den Bund nicht realisierbar. Um die Ziele im DECARB Szenario zu erreichen, muss auch die Art der Wärmeversorgung sowie die genutzten Energiequellen geändert werden. Grundsätzlich lässt sich zwischen einer zentralen und dezentralen Wärmeversorgung unterscheiden.

Zentrale Wärmeversorgung

Wien besitzt im europäischen Vergleich eines der größten Fernwärmenetze. Generell eignet sich Fernwärme sehr gut für dicht bebaute, städtische Gebiete sowie für Altbau und Denkmalschutz mit höherem Temperaturbedarf. Da der Aufbau einer Fernwärmeinfrastruktur mit hohen Kosten verbunden ist, sollte Fernwärme möglichst effizient genutzt werden, d.h. die Abnahmedichte sollte hoch sein. Den anfänglich hohen Investitionskosten für das Verlegen der Wärmeleitungsrohre stehen relativ geringe Betriebskosten gegenüber, da bei regenerativen Energieträgern (z.B. Geothermie) die Wartungskosten geringer als bei Kraftwerken ausfallen. Neben den Kosten für die Wärmeerzeugung fallen noch laufende Kosten für die erforderliche Pumpenergie an. Diversifizierte Wärmequellen (z.B. Geothermie, KWK, Heizwerke) gewährleisten zudem eine hohe Versorgungssicherheit.

Box 2: Gebäudesanierung

Die **Sanierungsrate** [%/Jahr] beschreibt den Anteil des Gebäudebestandes, der innerhalb eines Jahres saniert wird. In ökonomischen Betrachtungen wird zwischen energetischer und nicht-energetischer Sanierung unterschieden.

Die **nicht-energetische Sanierung** beschreibt Maßnahmen zum Erhalt, zur Modernisierung oder zur optischen Verbesserung der Bausubstanz ohne signifikante Verbesserung des Wärme-/Kältebedarfs eines Gebäudes. Darunter fällt etwa die Ausbesserung rissiger Wände oder ein neuer Anstrich. Sie wird häufig als „sowieso-Sanierung“ bezeichnet.

Energetische Sanierungen sollen den Energiebedarf senken. Dies geschieht etwa auf der Bedarfsseite durch die Anbringung von (höherwertiger) Isolierung oder auf der Versorgungsseite durch den Ersatz ineffizienter Heiztechnik durch Systeme mit höherem Wirkungsgrad.

Je nach Energieeinspareffekt der Sanierung kann nach verschiedenen **Sanierungstiefen** unterschieden werden. Als Richtwert für eine tiefe Sanierung gilt mindestens 60% Primärenergieeinsparung gegenüber dem unsanierten Zustand.²³ Die oft genannten einfachen und mittleren Sanierungen sind nicht einheitlich definiert.

²³ Europäische Kommission (2013). Financial support for energy efficiency in buildings.

In Wien stammt aktuell ein Großteil der Fernwärme aus Müllverbrennung und KWK. Für eine Dekarbonisierung der Wärmeversorgung ist eine verstärkte Forcierung weiterer emissionsfreier Wärmequellen erforderlich. Hierzu wurden in der Studie die Vor- und Nachteile sowie der optimale Einsatzzweck der folgenden Technologien näher betrachtet:

- Geothermie
- Abfall (KWK)
- Großwärmepumpe (Abwärmenutzung)
- Biomasse
- Solarthermie

Geothermie eignet sich insbesondere für die Abdeckung der Grundlast, da eine konstante Nutzung der Wärme möglich ist und die vergleichsweise hohen Investitionskosten eine hohe Laufzeit für einen wirtschaftlichen Betrieb fordern. Ebenfalls für die Abdeckung der Grundlast empfiehlt sich die Verfeuerung von Abfall in KWK-Anlagen. Abfall lässt sich zudem gut lagern und hat damit das Potenzial zum Energiespeicher. Aktuell sind Abfälle eine kostengünstige Ressource, bei verstärkter Kreislaufwirtschaft wird es aber zu einer Verknappung und damit steigenden Preisen kommen. Die Nutzung von Abwärme mittels KWK in Kombination mit Großwärmepumpen deckt den Mittellastbereich und eignet sich ideal bei niedrigen Netztemperaturen. Oftmals befinden sich aber größere Abwärmepotenziale (z.B. Kraftwerke, Industrieanlagen) nicht in Siedlungsnähe, so dass hohe Distanzen überbrückt werden müssen - mit entsprechend hohen Investitionskosten. Bei geringer erneuerbarer Stromproduktion und damit verbundenen hohen Strompreisen, dient die KWK zudem als Ausgleich. Somit spielen KWK-Anlagen auch in Zukunft eine wichtige Rolle. Ist hingegen erneuerbare Strom in Fülle vorhanden, macht der Einsatz von Großwärmepumpen aus wirtschaftlicher Sicht Sinn. Die Spitzenlast wird aufgrund der sehr guten Regelbarkeit auch zukünftig über Heißwasserkessel und Elektroboiler abgedeckt. Als Energieträger fungieren erneuerbare Brennstoffe und erneuerbarer Strom. Dem gegenüber stehen die begrenzte Verfügbarkeit (nationaler) Biomasse sowie die Konkurrenz mit anderen Sektoren (z.B. Verkehr, Industrie). Solarthermie besitzt eine nur saisonale Verfügbarkeit und eignet sich in Kombination mit anderen Technologien (Speicher, Wärmepumpe) für die Erzeugung von Warmwasser.

Dezentrale Wärmeversorgung

Neben der Verdichtung des Fernwärmenetzes ist ein weiteres zentrales Ergebnis der Studie, die Nutzung dezentraler Wärmequellen weiter zu forcieren, auch in Kopplung mit dem Fernwärmenetz. Technologien, die dafür infrage kommen, sind dezentrale Wärmepumpen sowie Niedertemperatur- und Anergienetze. Bei den Wärmepumpen wird zwischen Grundwasser-, Erd-, Luft- und Hybridwärmepumpen unterschieden (siehe Box 3). Erd- und Grundwasserwärmepumpen weisen eine sehr hohe Effizienz (JAZ ~3,65) bei geringen Betriebskosten auf. Dem gegenüber stehen hohe Investitionskosten aufgrund der erforderlichen Erdbohrungen sowie eventuell notwendige behördliche Genehmigungen. Die Luft- und Hybridwärmepumpe zeichnet ebenfalls eine hohe Effizienz aus (JAZ ~3,2) bei nochmals geringeren Investitionskosten. Zudem kann die Hybridwärmepumpe gut in die bestehende Infrastruktur (z.B. Gasetagenheizung) integriert werden. Nachteilig sind dagegen die höheren Betriebskosten, da Gas als Brennstoff eingesetzt wird. Auch erfordern Hybridsysteme weiterhin ein Gasnetz.

In 2017 lag der Marktanteil von Wärmepumpen in Österreich bei ca. 5% (Abbildung 6). Aufgrund geringerer Kosten gegenüber anderer Wärmepumpentypen wird ein starkes Marktwachstum bei den Luftwärmepumpen angenommen. Zum Einsatz kommen wird dieser Wärmepumpentyp in den kommenden 5 - 10 Jahren vor allem bei Gebäuden mit Etagenheizungen, da kompakte Hybridsysteme für einzelne Wohnungen noch zu teuer sind. Das Marktwachstum von Hybridsystemen verhält sich ähnlich zum Gesamtmarkt aber mit sinkenden Anschaffungskosten erfolgt ein verstärkter Einsatz. Das Marktwachstum bei Erd- und Grundwasserwärmepumpen im Einfamilienhausbereich wird geringer ausfallen, da Luftwärmepumpen günstiger in der Anschaffung und zunehmend effizienter sind. Großwärmepumpen kommen in Verbindung mit Nahwärmenetzen in Neubaugebieten zum Einsatz.

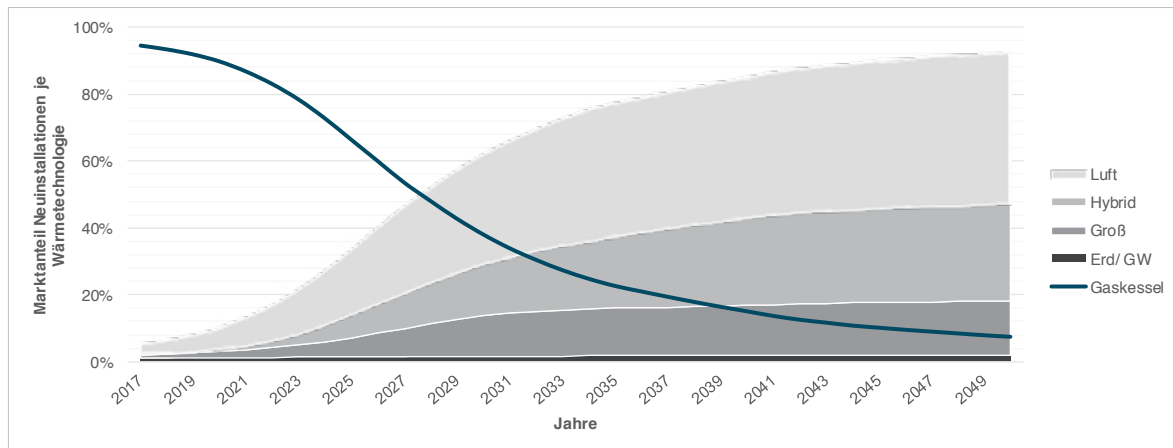
Box 3: Übersicht Wärmepumpen

Wärmepumpen gewinnen erneuerbare Energie aus vier Quellen: Erdreich, Sonne, Grundwasser oder Luft. Durch Kompression heben sie das Temperaturniveau eines Trägermediums, dessen Wärme dann einem Heizkreislauf zugeführt wird.

- **Erdwärmepumpen** führen ein Trägermedium durch Kollektorleitungen in ca. 1m Tiefe oder durch Sonden in bis zu 100m Tiefe. Sie nutzen so entweder Sonnenenergie, welche den Boden oberflächennah aufheizt oder die Wärme aus dem Erdinneren, Geothermie genannt.
- **Grundwasserwärmepumpen** kühlen Grundwasser aus 5m bis 20m Tiefe ab, gewinnen so Wärme und führen das Grundwasser anschließend zurück in den Boden
- **Luftwärmepumpen** wiederum überführen die Wärme von Außen- oder Abluft an ein Trägermedium.
- **Hybridwärmepumpen** werden kombinierte Systeme aus Wärmepumpen und anderen, z.B. chemischen Wärmeerzeugern genannt.

Die Effizienz einer Wärmepumpe wird als **Jahresarbeitszahl** (JAZ) angegeben und errechnet sich aus dem Verhältnis von Wärmegewinn zu Stromverbrauch. Je höher die JAZ, desto effizienter ist die Wärmepumpe. Dies hängt jedoch auch von den Bedingungen vor Ort ab wie z.B. der Beschaffenheit und dem Wärmebedarf des Gebäudes oder der Temperatur der Wärmequelle.

Abbildung 6. Projizierte Marktentwicklung je Wärmepumpentechnologie



Quelle: Ecofys (2017)

Als Anergie wird die von der Umgebung entnommene, nicht nutzbare Wärme bezeichnet, welche mit elektrischer Energie einer Wärmepumpe in nutzbare Heizwärme umgewandelt werden kann. Nicht nutzbare Wärme hat ein Temperaturniveau, aufgrund dessen sie nicht für die Raumheizung oder Brauchwasser-Erwärmung genutzt wird. Anergie wird mittels Verteilleitungen zu verschiedenen Gebäuden gebracht, in denen die nicht nutzbare Wärme als Quelle für den Betrieb der Wärmepumpen zur Verfügung steht. Durch die Wärmepumpe wird die Quellenergie auf ein nutzbares Temperaturniveau gehoben. Die Vorteile dieses Systems liegen in der effektiven Nutzung erneuerbarer Energie und der geringen Verteilverlust (Mikronetz). Nachteilig sind die Nutzung zusätzlicher, dezentraler Wärmeerzeuger sowie die hohen Investitionskosten.

Wärmemapping

Auf Basis der Bewertung zentraler und dezentraler Wärmbereitstellungstechnologien sowie unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten (Gebäudebestand, Bebauungsdichte, Fernwärmeversorgung) wurde ein *Wärmemapping* vorgenommen. In den innerstädtischen Bereichen mit nahem Fernwärmeanschluss empfiehlt sich eine Verdichtung des Fernwärmenetzes. Um die Ziele des DECARB Szenarios zu erreichen, muss die Fernwärme bis 2050 emissionsfrei sein. Hybridsysteme kommen vor allem im großvolumigen Bestand- und Altbau zum Einsatz, da dort hohe Vorlauftemperaturen aufgrund fehlender Flächenheizungen nötig sind. Die Wärmepumpe übernimmt die Grundlast, für Verbrauchsspitzen (z.B. bei niedrigen Temperaturen im Winter) wird erneuerbares Gas eingesetzt. Bei kleinvolumigem Neubau sowie in Randgebieten empfiehlt sich der Einsatz von Erd- und Grundwasserwärmepumpen, da durch den Verzicht auf Gas eine weitere Wärmeinfrastruktur vermieden wird, wodurch die Kosten sinken. Zudem ist in Randgebieten Fernwärme nicht flächendeckend vorhanden und ein Ausbau nicht wirtschaftlich darstellbar. Das Gesamtergebnis des *NT-Wärmemarktes (Raumwärme, Warmwasser und Klimatisierung)* wird in Tabelle 2 dargestellt. Der höhere Anteil des direkten Stromeinsatzes resultiert aus einem niedrigeren Heizwärmebedarf durch umfassende Sanierungsmaßnahmen. Somit nimmt der Warmwasserbedarf einen höheren Anteil im Verhältnis zum un-sanitierten Zustand ein. Weiters wird von einer steigenden Nachfrage nach Klimatisierungslösungen ausgegangen, welche den Strombedarf erhöhen.

Tabelle 2: Ergebnis NT-Wärmemarkt

Technologie	Versorgung am NT-Markt heute	Versorgung am NT-Markt DECARB
Fernwärme	39%	51%
Gaskessel	45%	0%
Hybrid WP	0%	13%
Luft, Erdreich und Grundwasser WP	2%	9%
Biomasse	5%	7%
Strom direkt (z.B. Klimatisierung und elektrische Warmwasserboiler)	9%	20%

3.3.2 Verkehr

Um die Mobilität der Zukunft nachhaltig zu gestalten, muss der Modal-Split sich zugunsten des Fuß-, Rad- und öffentlichen Verkehrs entwickeln. Trotzdem wird es auch in 2050 PKWs und LKWs geben, die benötigte Energie muss jedoch emissionsfrei erzeugt werden. Bei der Dekarbonisierung des motorenbetriebenen Verkehrs kann zwischen drei wesentlichen Technologien unterschieden werden:

- Batterieelektrisch
- Brennstoffzelle mit Wasserstoff
- Synthetische (erneuerbare) Kraftstoffe

Im Rahmen der Studie wurde zwischen PKWs und leichten Nutzerfahrzeugen einerseits und LKWs andererseits differenziert. Der LKW Verkehr besitzt andere Anforderung an Reichweite und Standzeiten und weist ein anderes Nutzungsprofil auf. PKWs bewegen sich an ca. 23 Stunden des Tages nicht, bei LKWs beträgt dieser Wert 14 Stunden oder weniger. Durch autonomes Fahren fallen die Ruhezeiten weg, daher nimmt die Bedeutung kurzer Tankzeiten weiter zu.

PKW und leichte Nutzfahrzeuge

Größte Hemmnisse für eine verstärkte Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen sind weiterhin die, im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor, höheren Anschaffungskosten sowie die unzureichend ausgebauten öffentliche Ladeinfrastruktur. Trotz in Österreich existierender Anreize für den Kauf von Elektrofahrzeugen (z.B. Kaufprämie, Steuererleichterungen), lag der Marktanteil für batterieelektrische Fahrzeuge in 2017 bei unter 2%.²⁴ Die Mehrkosten für Elektrofahrzeuge beruhen vor allem auf den hohen Kosten für Batterien. Da aber in den letzten Jahren die globale Produktionskapazität stark zugenommen hat und in Tendenz weiter steigt, ist eine Kaufpreisparität zwischen konventionellen und elektrischen Fahrzeugen um das Jahr 2025 zu erwarten. Um das DE-

²⁴ European Alternative Fuels Observators (2018). Austria

CARB Ziel von 100% E-Mobilität bis 2050 zu erreichen müssten bis 2030, bei einer durchschnittlichen Fahrzeuglebensdauer von 20 Jahre, alle Neufahrzeuge batterieelektrisch betrieben werden. Durch das Aufkommen von autonomem Fahren wird sich auch das Nutzungsverhalten ändern. Erwartet wird ein Trend weg vom privaten Autobesitz hin zu Sharing-Modellen wie es sie bereits heute in vielen Metropolen, darunter Wien, gibt. Dies führt zu weniger Fahrzeugen pro Einwohner und, trotz Bevölkerungswachstum, zu gleichbleibenden oder leicht sinkenden Fahrzeugzahlen.

Das Problem der fehlenden öffentlichen Ladeinfrastruktur bleibt trotz zunehmender Bemühung („Aktionsplan E-Mobilität“)²⁵ auf nationaler und kommunaler Ebene (1.000 Ladestellen für Wien)²⁶ bestehen. Gerade im städtischen Raum haben Bewohner oftmals keinen festen Stellplatz. Daher ist die Installation einer privaten Ladestation nur begrenzt möglich. Bei der Ladeinfrastruktur unterscheidet man zwischen Normalladesäulen (Leistung bis 22 kW) und Schnellladesäulen (Leistung bis 170 kW). Der Anschaffungspreise für eine Normalladesäule ist inzwischen auf unter 1.000 € gesunken, weitere Preisgefälle sind zu erwarten. Der Ladevorgang an einer Normalladesäule dauert bis zu 6 Stunden (abhängig von der Batteriekapazität). An einer Schnellladestation reduziert sich die Ladedauer auf bis zu 15 Minuten, allerdings sind diese auch um den Faktor 10-30 teurer in der Anschaffung als Normalladesäulen. Auch hier wird mit einer steigenden Verbreitung von Schnelladesäulen eine Reduktion der Anschaffungskosten erwartet. Die Installation von Normalladestationen empfiehlt sich für städtische Wohngebiete mit einer hohen Dichte an Mehrfamilienhäusern sowie in Arbeitsplatznähe und bei Einfamilienhäusern. Hier ist eine längere Ladedauer unproblematisch. Schnellladestationen sollten priorisiert entlang von Autobahnen und Landstraßen installiert werden, da hier die Standzeit ein wichtiges Kriterium ist.

LKW Verkehr

Im Lastverkehr scheidet der Einsatz batterieelektrischer Fahrzeuge als Option aus wirtschaftlichen Gründen aus. Aktuell haben Batterien nicht die notwendige Kapazität um schwere LKWs über lange Strecken ohne Unterbrechung mit Energie zu versorgen. Bei größerer Auslegung der Batterien werden diese schnell unwirtschaftlich, da das höhere Gewicht sich negativ auf die Reichweite auswirkt. Daher ist die derzeit beste Option zur Dekarbonisierung des LKW-Verkehrs der Einsatz erneuerbarer Kraftstoffe (z.B. Wasserstoff). Aktuell fehlt auch hier, ähnlich wie bei den Ladesäulen, eine flächendeckende Infrastruktur. Zudem sind erneuerbare Kraftstoffe noch um ein Vielfaches teurer als Diesel oder Benzin. Mittelfristig kann aber von einer Halbierung der Kosten für Wasserstoff ausgegangen werden. Platzsparende Speichermöglichkeiten verbessern die Wirtschaftlichkeit weiter. Gastankstellen existieren bereits, daher kann die bestehende Infrastruktur durch Umnutzung weiterverwendet werden. Zusätzlich müsste in eine Wasserstoffinfrastruktur investiert werden.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass eine Dekarbonisierung des Verkehrs zwar möglich, ohne massive Investitionen in Infrastruktur aber nicht umsetzbar ist.

²⁵ Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (2017), Aktionspaket zur Förderung der E-Mobilität, URL: https://www.klimaaktiv.at/mobilitaet/elektromobilitaet/foerderung_epkw2.html

²⁶ Wien Energie (2018). 1000 Ladestellen für Wien, URL: <https://1000.wienenergie.at/eportal3/ep/tab.do/pageTypeId/4067349>

3.3.3 Strom

Eine Elektrifizierung in den Bereichen Verkehr und Wärme sowie neue Anwendungen (Internet der Dinge) werden zu einer verstärkten Nachfrage nach erneuerbarem Strom führen. Um diese zu decken, müssen PV, Wind- und Wasserkraft, dort wo ökologisch vertretbar, massiv ausgebaut werden. Zusätzliche PV Kapazitäten lassen sich in Wien realisieren, wobei insbesondere auch großflächige Anlagen auf Freiflächen notwendig sind. Für Österreich insgesamt bieten Wind, Wasser und PV unter sehr guten regulatorischen Bedingungen ausreichend Potenzial. Allerdings, nehmen durch den Zubau an fluktuierenden Erneuerbaren die Schwankungen im Netz zu. Um auch in Zukunft die Versorgungssicherheit der Stadt Wien zu gewährleisten, ist der Einsatz von KWK-Anlagen und Spitzenlastkraftwerken als Stütze (Backup) zu empfehlen. Als dekarbonisierte Energieträger dienen künftig erneuerbare Brennstoffe.

Flexibilität und Sektorkopplung

Durch den zunehmenden Anteil volatiler erneuerbarer Energien steigt auch der Bedarf für Flexibilität. In der Stadt Wien bietet die Sektorkopplung Chancen, lokale Flexibilitätsoptionen zu realisieren. Durch eine Elektrifizierung von Wärme (Wärmepumpen) und Transport (Elektromobilität) wachsen der Strom-, Wärme- und Brennstoffmarkt enger zusammen. Weitere Flexibilitätsoptionen können über intelligentes Gebäudemanagement und Ladeinfrastruktur realisiert werden. Die Analyse hat ergeben, dass Energiespeicher (z.B. Batterien), eine intelligente Ladeinfrastruktur (Vehicle-to-Grid), so wie KWK im Wiener Kontext von besonderer Relevanz sind, letztere für die Deckung der Spitzenlast (Wärme und Strom) an kalten, windstillen und sonnenarmen Tagen.

3.4 Investitionskosten

Auf Basis der identifizierten Kernmaßnahmen aus der Sektorenbetrachtung wurden die kumulierten volkswirtschaftlichen Investitionskosten bis 2050 für das Smart City und das DECARB Szenario modelliert. Die Investitionskosten für das Smart City Szenario liegen bei 16 Mrd. €, das DECARB Szenario erfordert um 80% höhere Investitionen mit 28 Mrd. € (Abbildung 7). Im DECARB Szenario entspricht das jährlichen Investitionskosten von 850 Mio. €. Verglichen mit dem BIP der Stadt Wien von 87 Mrd. € (2015)²⁷, folgt daraus, dass knapp 1% des Wiener BIP investiert werden müssten um eine Dekarbonisierung zu realisieren. Da diese Investitionsrate für keine Stadt in Österreich finanzierbar ist, müsste eine entsprechende Unterstützung durch den Bund erfolgen. Den größten Anteil der Mehrkosten stellen erneuerbare Brenn- und Kraftstoffe (Grünes Gas) mit knapp 7 Mrd. € dar. Unter Grünes Gas fallen die Kosten für die Wasserstoffinfrastruktur und die Herstellung von Biomethan. Erstere fallen nur im DECARB Szenario an, da in Smart City Wasserstoff keine Rolle spielt. Nachfolgend wird kurz auf die kumulierten Investitionskosten des DECARB Szenarios je Sektor eingegangen.

Wärme – Die Investitionen im Bereich Wärme setzen sich aus den Kosten für den Ausbau der Fernwärme und der dezentralen Wärmeversorgung sowie der energetischen Gebäudesanierung zusammen. Letztere macht mit ca. 7,5 Mrd. € mehr als die Hälfte der Investitionen im Bereich Wärme aus. Die Kosten für Fernwärme von 2,6 Mrd. € erge-

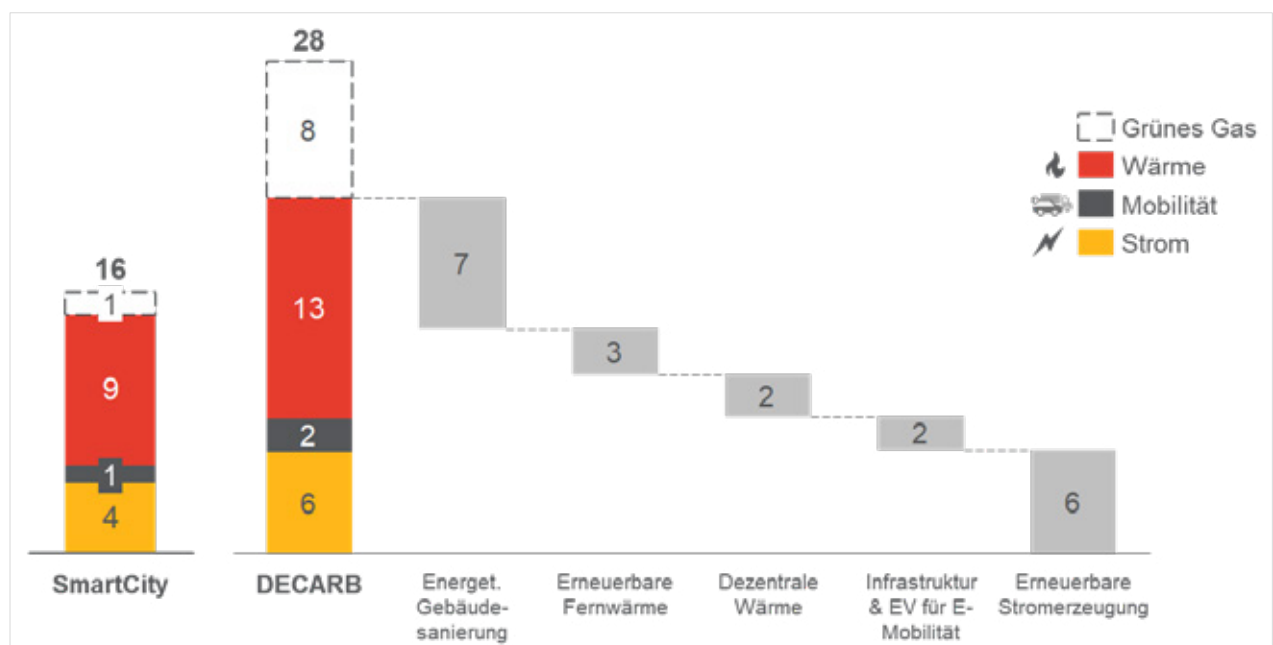
²⁷ Stadt Wien (2017). Wien in Zahlen 2017

ben sich aus den Ausgaben für den Fernwärmenetzausbau und den Neu- und Ersatzinvestitionen für zentrale Kraftwerke (u.a. Geothermie, KWK, Müllverbrennungsanlagen), wobei der Anteil für KWK Anlagen vornehmlich zur Stützung der Stromlastabfederung genutzt wird und somit nur zur Hälfte (135 Mio. €) dem Wärmesektor zugeordnet wird. Mit 2,4 Mrd. € schlagen die Investitionen in die dezentrale Wärmeversorgung (Erd-, Grundwasser-, Hybridwärmepumpen) zu Buche. Da die Fernwärme auch künftige einen höheren Marktanteil am niedertemperatur-Wärmemarkt als die dezentrale Wärmeversorgung haben wird, liegen die spezifischen Kosten niedriger. Damit ist Fernwärme die günstigste Dekarbonisierungsmaßnahme für den Wärmesektor.

Mobilität – Hier wurden die künftigen Ausgaben für den Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur sowie die Mehrkosten der batterieelektrischen Fahrzeuge modelliert. Während sich die Investitionskosten in den Bereichen Strom und Wärme relativ gleichmäßig über die Jahre bis 2050 verteilen, finden die Investitionen in die Ladeinfrastruktur zum Großteil bis 2030 statt. Um die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen zu fördern sind insbesondere in den kommenden 5-10 Jahren massive Investitionen in die öffentliche Ladeinfrastruktur und Anreize zur Anschaffung von Elektrofahrzeugen erforderlich. Ein weiterer Grund für die sinkenden Investitionskosten ist die erwartete starke Kostendegression für Ladesäulen.

Strom – Die kumulierten Investitionskosten von 5,8 Mrd. € setzen sich aus den Ausgaben für den Zubau an PV, Wind- und Wasserkraft sowie 50% der Investitionskosten in KWK-Anlagen (135 Mio. €) zusammen. Aufgrund der angenommenen Leistungsverteilung zwischen den Technologien wird davon ausgegangen, dass die benötigten Investitionen in Windkraft (2,7 Mrd. €) am höchsten ausfallen, gefolgt von PV (1,9 Mrd. €) und Wasserkraft (1,3 Mrd. €). Die erwartete Kostendegression fällt mit 30% gegenüber 2017 am stärksten aus. Wind vergünstigt sich im selben Zeitraum um ca. 10%, bei Wasserkraft bleiben die Kosten konstant.

Abbildung 7: Kumulierte Investitionskosten 2017 - 2050 in Mrd. €

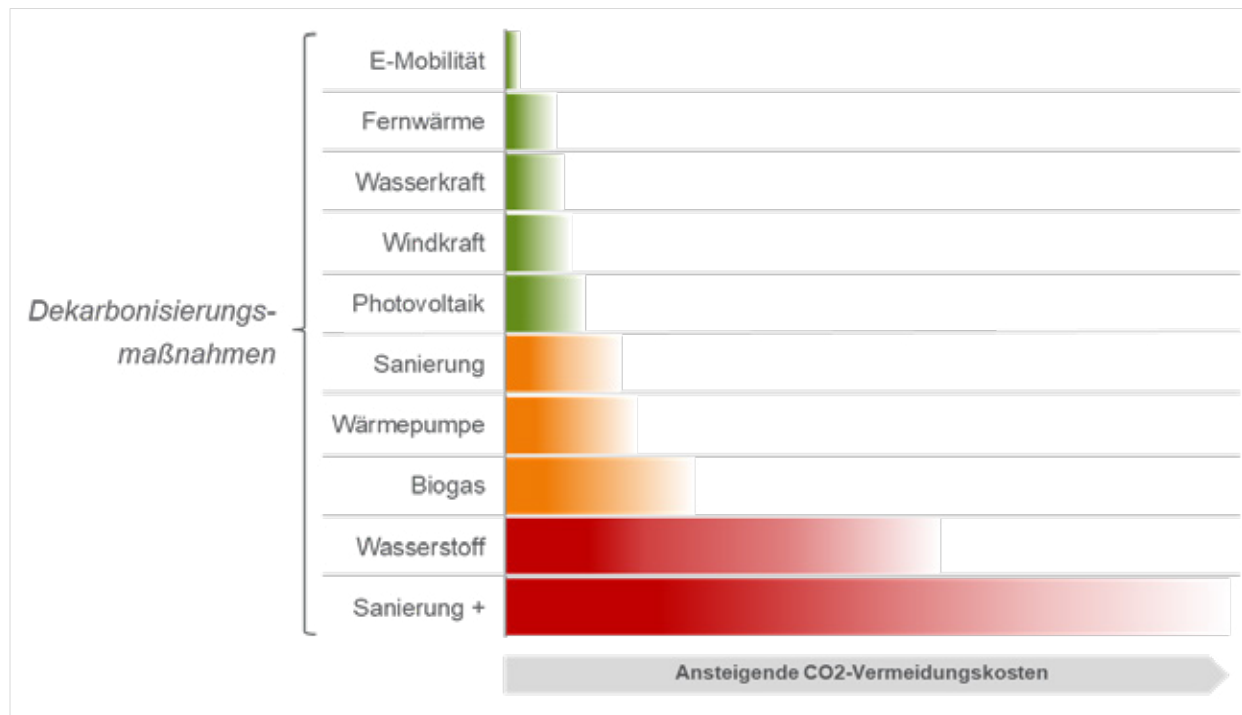


Quelle: Ecofys (2017)

3.5 Wirtschaftliche Betrachtung

In Abbildung 8 werden die indikativen CO₂-Vermeidungskosten, d.h. der notwendige Geldbetrag um eine Tonne CO₂ zu vermeiden, je Dekarbonisierungsmaßnahme verglichen. Elektromobilität bedarf einer Anschubfinanzierung, wird aber langfristig zum starken Selbstläufer. Fernwärme ist die günstigste Wärmemaßnahme zur Dekarbonisierung, der Einsatz von Wasserstoff ist um den Faktor 10 teurer. Wind- und Wasserkraft haben bei steigenden Strompreisen zukünftig einen geringen Förderbedarf. PV, vor allem in großem Maßstab (Skaleneffekte), stellt sich auch als zunehmend wirtschaftlich dar. Gebäude, die aus baulichen Gründen saniert werden, müssen auch energetisch saniert werden („Sowieso“ Sanierung). Sanierung über dieses Maß hinaus ist deutlich kostenintensiver (Sanierung +). Biogas befindet sich auf ähnlichem Kostenniveau wie die Umstellung auf Wärmepumpen im Bereich von Mehrfamilienhäusern. Im Vergleich zu Wasserstoff und Gebäudevollsanierung ist Biogas deutlich günstiger.

Abbildung 8: Indikative CO₂-Vermeidungskosten je Dekarbonisierungsmaßnahme



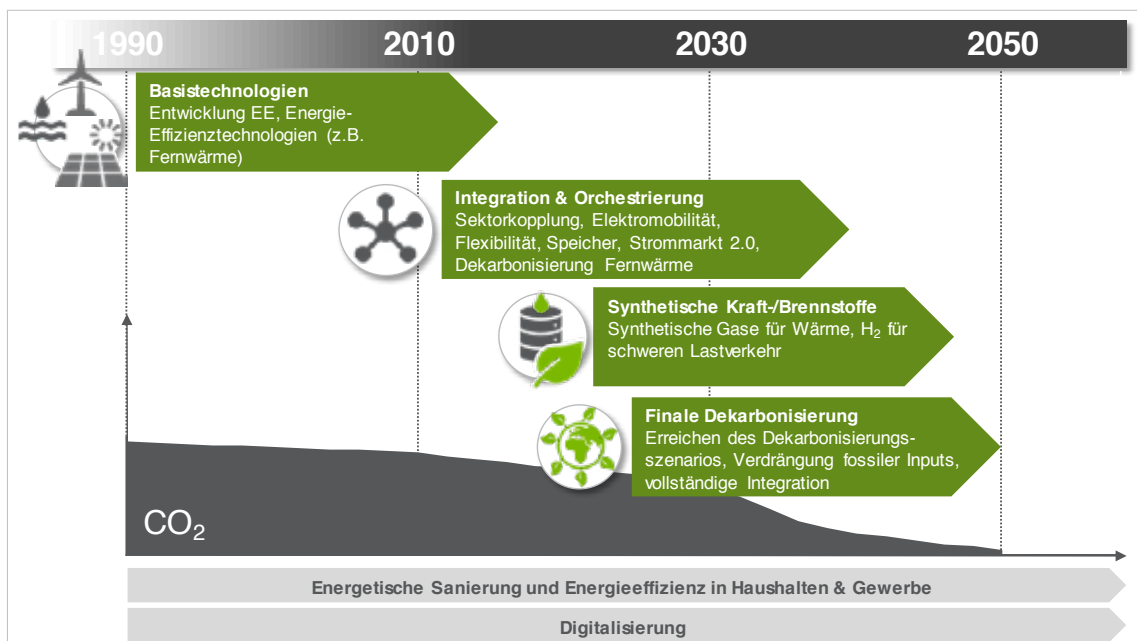
Quelle: Ecofys, Wien Energie (2017)

3.6 Roadmap

Die Ergebnisse der Sektoren Betrachtung bilden die Basis für die Dekarbonisierungsroadmap. In der ersten Phase, die bereits in den 1990er Jahren begonnen hat, standen der Zubau erneuerbarer Energie und der Einsatz von Effizienztechnologien im Mittelpunkt. In der zweiten Phase liegt der Fokus auf die intelligente („smarte“) Vernetzung der einzelnen Sektoren und einer zunehmenden Digitalisierung hin zur *Energy Cloud*. Als *Energy Cloud* bezeichnet man ein stark digitalisiertes und dezentrales Energiesystem, welches multidirektionale Energieflüsse erlaubt und sich

durch eine Vielzahl von Akteuren am Energiemarkt auszeichnet, vom Energieversorgungsunternehmen bis hin zu Wohnungseigentümer. Auch findet eine Elektrifizierung der betrachteten Sektoren statt, allen voran der Mobilität. Schlüsseltechnologien sind hier vor allem die Elektromobilität, Sektorkopplung, Flexibilität und Strommarkt 2.0. Ab Ende der 2020er Jahre bis 2050 findet in der dritten Phase eine Umstellung von fossilen auf regenerative Brenn- und Kraftstoffe statt. Bereiche die nicht oder nur unzureichend (z.B. hohe Kosten, Komplexität) elektrifizierbar sind wie z.B. der Schwerlastverkehr und die Bereitstellung von Hochtemperatur, können somit ebenfalls dekarbonisiert werden. Die vierte und letzte Phase beinhaltet die finale Dekarbonisierung und stellt somit die Zielerfüllung der Stadt Wien dar.

Abbildung 9. Roadmap im Gesamtumfeld - Dekarbonisierungspfad



Quelle: Ecofys (2018) basierend auf Wien Energie (2017)

4 Herausforderungen & notwendige nationale Rahmenbedingungen

Um die Dekarbonisierung möglichst effizient zu gestalten und die Chancen für Gesellschaft, Umwelt und Wirtschaft voll zu realisieren muss der nationale Gesetzgeber die entsprechenden Rahmenbedingungen setzen. Politische Entscheidungsträger, Regulatoren und Stadtplaner sollten die folgenden Punkte beachten:

- Entwicklung langfristiger Klimastrategien, die das Potenzial der Sektorkopplung voll ausschöpfen. Dies setzt ein umfassendes Verständnis von Wirtschaftlichkeit und technischem Potenzial verschiedener Technologien in den Sektoren Wärme, Mobilität und Strom voraus.
- Umbau des Energiesystems um eine bessere Umweltverträglichkeit zu gewährleisten bei gleichzeitig hoher Versorgungssicherheit und Wirtschaftlichkeit. Energiesysteme der Zukunft müssen intelligent vernetzt („smart“), stärker dezentral, und flexibel sein um sich den geänderten Anforderungen, die sich durch die Energiewende ergeben, dynamisch anzupassen. Innovative Datenplattformen bilden hierfür eine wichtige Grundlage.
- Stärkere Zusammenarbeit unter den lokalen Akteuren (Politik, Wirtschaft und Gesellschaft) um die notwendigen Investitionen in emissionsfreie und vernetzte Infrastruktur zu realisieren (z.B. Telekommunikationsnetzwerke, digitale Plattformen, Ladeinfrastruktur sowie Next-Generation Heizungs- und Kühlsysteme).
- Nationale Unterstützung für kurzfristige Pilot- und Innovationsprojekte, die mit langfristigen Dekarbonisierungszielen harmonisieren, mit Fokus auf die Entwicklung von skalierbaren Lösungen mit realisierbaren Geschäftsmodellen.

Neben den oben beschrieben generellen Empfehlungen, ist es auch erforderlich, die Rahmenbedingungen in den betrachteten Sektoren anzupassen um die in diesem Kapitel beschriebenen Handlungsempfehlungen zeitnah umsetzen zu können. Nachfolgenden werden die nationalen regulatorischen Maßnahmen je Sektor skizziert:

Wärme

- Schaffung eines Anreizsystems für den raschen Ausbau des Fernwärmenetzes um die Aufbringung des Wärmebedarfs auf Basis der erneuerbaren, lokalen Energiequellen wie Abwärme bestmöglich in städtischen Gebieten nutzbar zu machen.
- Schaffung von Investitionsanreizen und Forschungsförderung im Sinne der Nutzbarmachung des Geothermiepoteziels.
- Schaffung eines Anreizsystems um den Ausbau von dezentralen Wärmepumpen zu beschleunigen.
- Förderung von innovativer *Green Gas* Projekte für die Abdeckung der Spitzenlast (Hybrid-WP).

Mobilität

Individualverkehr

- Erstellung eines Konzepts für den beschleunigten, flächendeckenden Rollout von Elektromobilität.
- Frühzeitige Förderung der Installation von Ladeinfrastruktur die auch für weitere Mobilitätskonzepte und smarte Netzservices dienen kann.

- Monetäre sowie nicht- monetäre Anreize für Nutzer zur Anschaffung von E-Fahrzeugen z.B. Transparenz über Verfügbarkeit von / Vorgaben für Zugang zu Lademöglichkeiten, Erweiterung der Nova- und Sachbezugsbefreiung, Ausbau des Modells der Co-Finanzierung mit der Fahrzeugwirtschaft.
- Konzeption eines nachhaltigen, auf städtische Bedürfnisse und Anforderungen angepassten Mobilitätskonzepts z.B. Ausbau emissionsfreier ÖPNV Angebote und Konzept zur Stärkung des Rad- und Fußverkehrs.

Schwerlastverkehr

- Anreizsystem für alternative Kraftstoffe für den Schwerlastverkehr inklusive Förderung der benötigten Infrastruktur, z.B. bleibende Befreiung erneuerbarer Gase von Mineralölsteuer und Erdgasabgabe.

Strom

Starker Ausbau erneuerbare Energien benötigt:

- Effizientes Fördersystem (z.B. Kombination aus Marktprämie & Investitionsförderung mit technologiespezifischer Ausgestaltung) zur Unterstützung des Ausbaus von PV, Wind-, und Wasserkraft.
- Ein klares Bekenntnis zum Ausbau von PV-Anlagen, vor allem von großflächigen Freiflächenanlagen (z.B. auf Betriebs- und Verkehrsflächen oder anderen Freiflächen ohne höherwertigen Nutzen).
- Bestandssicherung von bestehenden Erneuerbaren Anlagen, inklusive großer Biomasseanlagen, um die Zielerreichung zu unterstützen.
- Bestandssicherung hocheffizienter KWK-Anlagen, die zur Wärmeversorgung und Systemstabilisierung benötigt werden und mittelfristig mit erneuerbarem Gas betrieben werden können.
- Weiterentwicklung des Marktdesigns zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit (z.B. Reservekapazität / Kapazitätsmarkt).
- Klare Rahmenbedingungen und Unterstützungen für Speicher.
- Förderung von Nutzung von Flexibilitätsoptionen (Demand-Side-Management).

Anhang

Tabelle 3: Entwicklung der Investitionskosten (2020 – 2050) von Wärme- und Strombereitstellungstechnologien

Technologie	Investitionskosten [€/kW]				Quelle
	2020	2030	2040	2050	
Geothermie	1600	1600	1400	1400	Wien Energie
KWK	900	900	900	900	Ecofys (2015). Bewertung des Potenzials für den Einsatz der hocheffizienten KWK und effizienter Fernwärme- und Fernkälteversorgung
MVA	3000	3000	3000	3000	Wien Energie
Biomasse KWK	900	900	900	900	Wien Energie
Fernheizwerk	130	130	130	130	TU Wien (2001), Modern Portfolio Theory applied to District Heating Expansion Planning
Groß-WP	980	980	980	980	Ecofys (2015). Bewertung des Potenzials für den Einsatz der hocheffizienten KWK und effizienter Fernwärme- und Fernkälteversorgung
Erd- und GW- WP	1600	1500	1400	1300	Fraunhofer ISE (2015). Was kostet die Energiewende
Hybrid-WP	1300	1100	1000	980	Fraunhofer ISE (2015). Was kostet die Energiewende
PV	1000	770	725	695	DIW Berlin (2015), Data Documentation
Wind	1030	985	960	950	DIW Berlin (2015), Data Documentation
Wasserkraft	3000	3000	3000	3000	DIW Berlin (2015), Data Documentation





Ecofys - A Navigant Company

Ecofys Germany GmbH
Am Wassermann 36
50829 Köln

T: +49 (0) 221 27070-100
F: +49 (0) 221 27070-011

E: info@ecofys.com
I: ecofys.com