

DECARB21

Endbericht

Wärme & Kälte, Mobilität, Strom: Szenarien für die Dekarbonisierung des Wiener Energiesystems bis 2040

Im Auftrag von:  **WIEN ENERGIE**

8. Oktober 2021

Gerald AUE
Anton BURGER

Diese Studie wurde von FTI France S.A.S., Handelsname Compass Lexecon („Compass Lexecon“), für Wien Energie GmbH (Wien Energie) gemäß den Bedingungen des Vertrags zwischen Wien Energie und Compass Lexecon („Vertrag“) erstellt.

Diese Studie wurde ausschließlich für Wien Energie erstellt und keine andere Partei ist berechtigt, sich zu irgendeinem Zweck darauf zu verlassen.

Compass Lexecon übernimmt keine Haftung oder Sorgfaltspflicht gegenüber Personen (außer gegenüber Wien Energie gemäß den entsprechenden Vertragsbedingungen) für den Inhalt der Studie. Dementsprechend lehnt Compass Lexecon jede Verantwortung für die Folgen für eine Person (außer Wien Energie auf der oben genannten Grundlage) ab, die im Vertrauen auf die Studie handelt oder Handlungen unterlässt, oder für Entscheidungen, die auf Grundlage der Studie getroffen oder nicht getroffen werden.

Die Studie enthält Informationen, die aus einer Vielzahl von Quellen gewonnen oder abgeleitet wurden. Compass Lexecon übernimmt keine Verantwortung für die Überprüfung oder Feststellung der Zuverlässigkeit dieser Quellen oder die Überprüfung der so bereitgestellten Informationen.

Compass Lexecon gibt gegenüber keiner Person (außer gegenüber Wien Energie gemäß den relevanten Vertragsbedingungen) Zusicherungen oder Gewährleistungen jeglicher Art (ob ausdrücklich oder stillschweigend) hinsichtlich der Richtigkeit oder Vollständigkeit der Studie.

Die Studie basiert auf Informationen, die Compass Lexecon zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie zur Verfügung standen, und berücksichtigt keine neuen Informationen, die uns nach dem Datum der Publikation der Studie bekannt werden. Wir übernehmen keine Verantwortung dafür, die Studie zu aktualisieren oder einen Empfänger der Studie über solche neuen Informationen zu informieren.

Jeder Empfänger dieser Studie (außer Wien Energie) erwirbt keine Rechte in Bezug auf die Studie. Alle Urheber- und sonstigen Eigentumsrechte an der Studie bleiben Eigentum von Compass Lexecon und alle Rechte bleiben vorbehalten.

Die in dieser Studie dargelegten Ansichten sind die der genannten Verfasser und nicht unbedingt die Ansichten von Compass Lexecon, dessen Management oder Muttergesellschaft oder anderer Fachleute von Compass Lexecon.

© 2021 FTI France S.A.S. Alle Rechte vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

Glossar	6
Abschnitt 1 Executive Summary	7
Abschnitt 2 Hintergrund und Zielsetzung	15
Abschnitt 3 Ausgangspunkte	16
3.1 Endenergiebedarf: Der Wiener Endenergiebedarf 2019 wird vom Wärmesektor dominiert	16
3.2 Emissionen: Mobilität sowie zentrale Strom- & Wärmeproduktion haben die größten Anteile	17
3.3 Bevölkerungswachstum: Wien wächst weiter – bis 2040 um ca. 10 %	18
3.4 Szenariodefinition: Die Studie modelliert zwei Szenarien – eines auf Basis bisheriger und eines auf Basis der neuen politischen Zielsetzungen	18
Abschnitt 4 Sektorübergreifende Zusammenschau	20
4.1 Endenergiebedarf: Bis 2040 sinkt der Endenergiebedarf bei steigender Stromnutzung und steigendem erneuerbarem Anteil	20
4.2 Emissionen: Beschleunigte technologische Veränderungen führen zu stärkeren Emissionsreduktionen in den 2030er als in den 2020er-Jahren	21
4.3 Investitionen: Der größte Teil der in Wien erforderlichen Investitionen zur Erreichung der Klimaneutralität fällt im Wärmesektor an	22
Abschnitt 5 Wärme, Kühlung & Klimatisierung	23
5.1 Veränderter Rahmen: Die neuen politischen Ziele erfordern eine schnellere und tiefergreifendere Veränderung der Wärmeversorgung Wiens	23
5.2 Thermische Sanierung: Thermische Sanierung ist über alle betrachteten Sektoren hinweg die Maßnahme mit den höchsten Investitionen	24
5.3 Wärmebedarf: Thermische Sanierung und die Effekte des Klimawandels reduzieren den Wärmebedarf in Wien bis 2040	25
5.4 Energetische Sanierung: Die Dekarbonisierung der Niedertemperaturwärme durch Wärmepumpen in der Individualwärme und Fernwärme erfordert erhebliche Anstrengungen und Investitionen	25
5.5 Individualwärme: Dekarbonisierung durch Wärmepumpen im Bestand stellt eine Herausforderung dar	28
5.6 Fernwärme: Geothermie und Großwärmepumpen ermöglichen die Dekarbonisierung der Fernwärmeproduktion	31
5.7 Kühlung & Klimatisierung: Der Strombedarf für Kühlung & Klimatisierung steigt bis 2040 absehbar deutlich	38

Abschnitt 6	Mobilität	40
6.1	Veränderter Rahmen: Die veränderten Zielsetzungen beschleunigen die vollständige Dekarbonisierung des Mobilitätssektors um 10 Jahre	40
6.2	Mobilitätsbedarf: Bei steigendem Verkehrsaufkommen schreitet die Verlagerung weg vom motorisierten Individualverkehr voran	40
6.3	Individualverkehr: Elektromobilität nimmt Fahrt auf	41
6.4	Öffentlicher Verkehr: Vollständige Dekarbonisierung des öffentlichen Nahverkehrs kann über moderate Steigerungen des direkten Strombedarfs und signifikante Strommengen für die Produktion von Wasserstoff erreicht werden	42
6.5	Strombedarf: Elektromobilität treibt den Strombedarf erheblich – der Leistungsbedarf kann durch intelligentes Laden begrenzt werden	43
6.6	Lade- und Tankinfrastruktur: Ein Hochlauf der Elektromobilität erfordert den Ausbau der Ladeinfrastruktur – vielfach auch in Bestandsgebäuden	44
6.7	Erfolgsfaktoren: Die Dekarbonisierung der Wiener Mobilität ist vor allem vom raschen Ausbau der Ladeinfrastruktur im nichtöffentlichen Bereich abhängig	45
Abschnitt 7	Sonstiger Energiebedarf	47
7.1	Veränderter Rahmen: Vorgezogene und vollständige Dekarbonisierung der sonstigen Energiebedarfe ist bereits 2040 erforderlich	47
7.2	Ist-Situation: Der „sonstige“ Energiebedarf Wiens ist bereits heute stark elektrifiziert	47
7.3	Entwicklung: Der Dekarbonisierungsbedarf fokussiert auf Prozesswärme, Standmotoren und Kochgas	48
7.4	Strombedarf: Während steigende Energieeffizienz den „sonstigen“ Endenergiebedarf reduziert, steigt der Strombedarf bis 2040	50
7.5	Erfolgsfaktoren: Vermeidung von „lock-in“ in fossilen Technologien durch frühzeitige Information und Anreize zur Dekarbonisierung	50
Abschnitt 8	Wiener Strombedarf und seine Deckung	51
8.1	Strombedarf: Dekarbonisierung steigert den Wiener Strombedarf bis 2040 erheblich	51
8.2	Stromproduktion: Die Wiener Stromproduktion geht bis 2040 deutlich zurück – durch Einsatz von Grüngas kann sie vollständig dekarbonisiert werden	52
Annex A	Annahmen, Daten und Datenquellen	56
Annex B	Methodische Ergänzungen	60
B.1	Abgrenzung der in der Studie berücksichtigten Endenergiebedarfe	60
B.2	Abgrenzung der in der Studie berücksichtigten Emissionen	60
B.3	Sektormodelle	60
Annex C	Referenzen	63

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Veränderungen in Endenergiebedarf, Fernwärme- und Stromaufbringung bis 2040	8
Abbildung 2: Wiener Strombedarf und seine Deckung [GWh/a] – „Klimaneutral 2040“	11
Abbildung 3: CO ₂ -Emissionen in Wien per Sektor [kt p. a.] – „Klimaneutral 2040“	12
Abbildung 4: Investitionen in das Wiener Energiesystem zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2040 (in den von der Studie umfassten Sektoren exkl. Stromnetz) [Mrd. EUR ₂₀₂₁]	13
Abbildung 5: Wiener Endenergieverbrauch 2019 als Ausgangspunkt der Studie [GWh]	17
Abbildung 6: Wiener CO ₂ -Emissionen 2019 als Ausgangspunkt der Studie [kt CO ₂]	17
Abbildung 7: Bevölkerungsentwicklung Wien [Mio. Personen]	18
Abbildung 8: Entwicklung des Endenergiebedarfs in Wien [TWh] und erneuerbaren Anteil – „Klimaneutral 2040“	20
Abbildung 9: CO ₂ -Emissionen in Wien per Sektor [kt p. a.] – „Klimaneutral 2040“	21
Abbildung 10: Investitionen in das Wiener Energiesystem zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2040 (in den von der Studie umfassten Sektoren exkl. Stromnetz) [Mrd. EUR ₂₀₂₁]	22
Abbildung 11: Nutzenergiebedarf im Wärmesektor [GWh] – „Klimaneutral 2040“	25
Abbildung 12: Nutzenergiebedarf im Wärmesektor je genutztem Energieträger [GWh] – „Klimaneutral 2040“	27
Abbildung 13: Jahresstrombedarf Individualwärme [GWh] – „Klimaneutral 2040“	30
Abbildung 14: Dauerlinie Strombedarf Individualwärme [MWh/h] – „Klimaneutral 2040“	30
Abbildung 15: Zusammenspiel von Geothermie und Wärmespeicher	34
Abbildung 16: Entwicklung der Fernwärmeaufbringung [GWh/a] – „Klimaneutral 2040“	35
Abbildung 17: Dauerlinie der Fernwärmeproduktion im Jahr 2040 [GWh/d] – „Klimaneutral 2040“	35
Abbildung 18: Jahresstrombedarf für Fernwärme [GWh] – „Klimaneutral 2040“	36
Abbildung 19: Dauerlinie Strombedarf für Fernwärme [MWh/h] – „Klimaneutral 2040“	36
Abbildung 20: Jahresstrombedarf für Klimatisierung [GWh] – „Klimaneutral 2040“	38
Abbildung 21: Dauerlinie Strombedarf für Klimatisierung [MWh/h] – „Klimaneutral 2040“	38
Abbildung 22: Entwicklung zurückgelegter Wege und des Modalsplit (als Anteil zurückgelegter Wege) im Personenverkehr	41
Abbildung 23: Jahres-Strombedarf für Mobilität [GWh] – „Klimaneutral 2040“	43
Abbildung 24: Dauerlinie Strombedarf für Mobilität [MWh/h] – „Klimaneutral 2040“	43
Abbildung 25: Verlauf Strombedarf für Elektromobilität über einen Tag im Jänner 2040 ohne Lademanagement [MWh/h] – „Klimaneutral 2040“	44
Abbildung 26: „Sonstiger Energiebedarf“ – Aufgliederung Endenergiebedarf 2019	48
Abbildung 27: Entwicklung sonstiger Energiebedarf [GWh] – „Klimaneutral 2040“	50
Abbildung 28: Jahresstromverbrauch je Anwendung [GWh] – „Klimaneutral 2040“	51
Abbildung 29: Wiener Strombedarf und seine Deckung [GWh/a] – „Klimaneutral 2040“	54

Glossar

CC	CO ₂ -Sequestrierung (Carbon Capture)
ETS	EU-Emissionshandelssystem
HWK	Heizwerk
KWK	Heizkraftwerk (Kraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung)
MVA	Thermische Abfallbehandlungsanlage
PV	Photovoltaik

Abschnitt 1

Executive Summary

POLITISCHE BESTREBUNGEN ZUR EINDÄMMUNG DES KLIMAWANDELS WERDEN VERSTÄRKT

Die Dekarbonisierung ist eine der großen Herausforderungen unserer Zeit. Entsprechend haben sich die Staats- und Regierungschefs der EU zum Ziel der Klimaneutralität bis 2050 bekannt.¹ Im Dezember 2020 wurde zusätzlich das EU-Emissionsreduktionsziel für 2030 erhöht, um mindestens 55 % gegenüber 1990 (statt bisher 40 %) (Europäische Kommission, 2021a). Die österreichische Bundesregierung hat sich ein noch ambitionierteres Ziel gesteckt, so soll Österreich bis 2040 klimaneutral werden.

WIEN SETZT SICH NEUE AMBITIONIERTE ZIELE

Vor diesem Hintergrund hat sich die Wiener Regierungskoalition auf das Ziel „**Wien wird bis 2040 klimaneutral**“ verständigt (SPÖ & NEOS, 2020). Das Ziel Wiens ist damit ebenso ambitioniert wie die Ziele auf Bundesebene und übertrifft die EU-Vorgaben.

DIE VORLIEGENDE STUDIE BELEUCHTET DIE AUSWIRKUNGEN DER NEUEN ZIELSETZUNGEN AUF WIEN

Die vorliegende Studie fasst die Ergebnisse des Projekts „DECARB 21“ zusammen, das die Auswirkungen der neuen politischen Vorgaben auf das Wiener Energiesystem analysiert. Im Rahmen des Projekts wurde die Entwicklung des Wiener Energiesystems modelliert. Im Szenario „**Klimaneutral 2040**“ werden dabei die Netto-CO₂-Emissionen in Wien entsprechend den neuen politischen Zielsetzungen bis 2040 auf null reduziert. Die Entwicklung wurde innerhalb der politischen Zielsetzungen sowie der erwarteten Vorgaben der Smart-City-Rahmenstrategie realisiert. Es handelt sich somit nicht um Prognosen einer Entwicklung, sondern vielmehr um eine Illustration der ökonomischen Auswirkungen sowie um eine Darstellung, aus der hervorgeht, wie die gesetzten politischen Ziele möglichst effizient erreicht werden können.

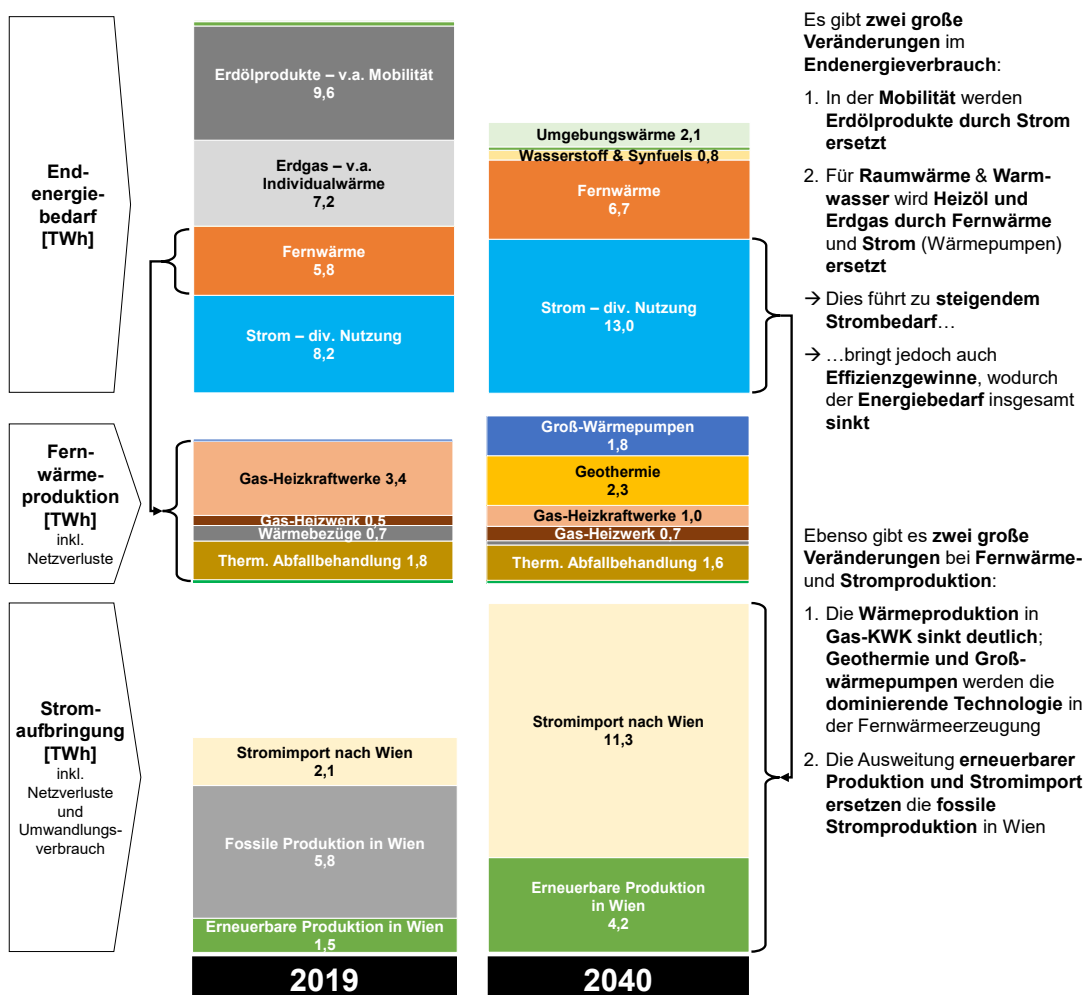
Im Rahmen der Studie wurden die Sektoren **Wärme & Klimatisierung, Mobilität und sonstiger Energiebedarf** (Kochen, Elektrogeräte, Prozesswärme und „Standmotoren“) sowie der daraus resultierende **Strombedarf** und die Möglichkeiten zur **Deckung des Strombedarfs durch Produktion im Wiener Stadtgebiet** analysiert.

¹ Verbleibende Restemissionen müssen dann durch Prozesse ausgeglichen werden, die Treibhausgase aus der Atmosphäre entfernen.

Zusammenfassend zeigen sich bis 2040 unter vielen Entwicklungen vier maßgebliche Veränderungen (Abbildung 1):

- In der Mobilität werden Erdölprodukte durch Strom ersetzt
- Für Raumwärme & Warmwasser wird Erdgas durch Fernwärme und Strom (via Wärmepumpen) ersetzt
- Geothermie und Großwärmepumpen werden an Stelle von Gas-KWK die dominierende Technologie in der Fernwärmeerzeugung
- Fossile Stromproduktion in Wien wird durch Ausweitung erneuerbarer Erzeugung und Stromimport ersetzt.

Abbildung 1: Veränderungen in Endenergiebedarf, Fernwärme- und Stromaufbringung bis 2040



Anmerkungen: Im Endenergieverbrauch sind 2019 ca. 0,4 TWh Biomasse und 0,15 TWh Umgebungswärme sowie 2040 ca. 0,3 TWh Biomasse enthalten jedoch aus Platzgründen nicht beschriftet. Selbes gilt 2019 für 0,2 TWh Wärme aus Biomasse und 0,1 TWh Wärme aus Wärmepumpe sowie 2040 jeweils ca. 0,2 TWh Wärme aus Biomasse und Wärmebezügen in der Fernwärmeaufbringung. Im Fernwärme-Endenergiebedarf sind auch Größtverbraucher und Wärme für Kälte enthalten. Säulen für Endenergieverbrauch sind in kleinerem Maßstab dargestellt als jene für Aufbringung.

Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

IM WÄRMESEKTOR WARTEN DIE GRÖßTEN FINANZIELLEN UND TECHNISCHEN HERAUSFORDERUNGEN

Von allen analysierten Sektoren erfordert der **Wärmebereich** (Niedertemperaturwärme, d. h. Raumwärme und Warmwasser) die größten Investitionen innerhalb Wiens zur Erreichung der Dekarbonisierungsziele. Auch in der Wärmeversorgung Wiens soll bereits 2040 die vollständige Klimaneutralität erreicht werden. Dies wird vor allem durch umfangreichen Wechsel der Wärmetechnologien erreicht. Das Szenario „Klimaneutral 2040“ berücksichtigt dabei auch die politischen Zielsetzungen eines **Ausstiegs aus der Erdgasnutzung in Bestandsgebäuden** bis 2040 sowie weitestgehend **keiner Nutzung von Grüngas² in der Individualwärme**. Durch thermische Sanierung und die Effekte des Klimawandels sinkt der Bedarf nach Raumwärme dabei – trotz Bevölkerungswachstum – um 18 %. Die erforderlichen Investitionen in die **thermische Sanierung** wurden dabei auf ca. **10 Mrd. EUR₂₀₂₁ bis 2040** abgeschätzt und stellen somit die kostenmäßig größte betrachtete Einzelmaßnahme dar.

Die erforderlichen **Investitionen in den Wechsel der Heizungssysteme bis 2040** wurden auf ca. **6 Mrd. EUR₂₀₂₁** geschätzt. Dieses erhebliche Investitionsvolumen ist dabei vor allem auf die erforderliche deutliche Veränderung der Heizungssysteme zur Erreichung des Emissionsziels zurückzuführen. Im Szenario „Klimaneutral 2040“ ist ein vollständiger Ausstieg aus Heizöl und gasförmigen Energieträgern in individuellen Heizungsanlagen erforderlich. Insbesondere die in Wien verbreiteten wohnungsindividuellen Gasthermen sind daher im Szenario „Klimaneutral 2040“ somit ab 2040 nicht mehr vorgesehen. Es wurde daher eine Umstellung aller Bestandsgebäude auf zentrale Wärmeversorgung über Wärmepumpen oder Fernwärme modelliert. Aufgrund absehbarer Probleme mit Logistik und Feinstaubemissionen im urbanen Raum wurde keine Ausweitung der energetischen Biomassenutzung in Wien modelliert.

Insgesamt stellt **Fernwärme 2040 ca. 56 % der in Wien benötigten Wärme** (Nutzenergie) für Raumwärme und Warmwasser bereit. **Geothermie und Großwärmepumpen** sind dabei die **wesentlichen Technologien zur Produktion vollständig dekarbonisierter Fernwärme**. Diese beiden Technologien zusammen produzieren 2040 ca. 4 TWh Fernwärme und damit fast 55 % der Gesamtproduktion. Im Gleichklang mit dem Ausbau von Geothermie und Wärmepumpen sowie der Stilllegung von Heizkraftwerken (KWK), die das Lebensdauerende erreichen, reduziert sich der Anteil der KWK-Wärme an der Fernwärmeaufbringung. Doch auch **2040 produzieren die Wiener KWKs fast 1 TWh Fernwärme** (dies entspricht ca. 13 % der Gesamtproduktion 2040 – ggü. ca. 52 % der Fernwärmeproduktion in KWKs heute). Dabei wird in den Wiener **KWKs und Heizwerken ab 2040** annahmegemäß **ausschließlich Grüngas** verfeuert. Da 2040 verbleibende unvermeidliche fossile **CO₂-Emissionen der Fernwärmeproduktion sequestriert** werden, ist die **Fernwärmeaufbringung ab 2040 vollständig CO₂-neutral** (genauso wie die zentrale Stromproduktion in den Wiener KWK-Anlagen). Für den erforderlichen Ausbau wurden die bis 2040 erforderlichen **Investitionen in die Fernwärmeinfrastruktur** (Produktion und Netz) auf **ca. 2,5 Mrd. EUR₂₀₂₁ bis 2040** abgeschätzt.

² „Grüngas“ umfasst im Rahmen dieser Studie Biomethan, erneuerbaren Wasserstoff und erneuerbares synthetisches Methan.

ELEKTRIFIZIERUNG DER MOBILITÄT IST DER STÄRKSTE TREIBER DES STROMBEDARFS BIS 2040

Entsprechend der politischen Zielsetzung soll die vollständige **Dekarbonisierung der Mobilität** in Wien nunmehr bereits 2040 erreicht werden. Nicht zuletzt die Vorschläge der EU-Kommission zum Verbot von Verbrennungsmotoren ab 2035 (Europäische Kommission, 2021b) weisen hierbei in dieselbe Richtung. Parallel dazu nimmt die Entwicklung mit dem aktuellen Trend zur Elektromobilität gerade in diesem Bereich zunehmend auch bei Konsumenten Fahrt auf. Elektroautos sind mittlerweile – nicht zuletzt durch entsprechende Förderungen und Steuererleichterungen – preislich konkurrenzfähig (Rauecker, 2021). Wesentliche Herausforderung – auf die sich die vorliegende Studie konzentriert – bleibt der Bedarf zur raschen Ausweitung der Ladeinfrastruktur³, um mit dem zur Dekarbonisierung 2040 erforderlichen Hochlauf der Nutzung von Elektroautos Schritt halten zu können. Die Förderlandschaft ist hierzu bereits sehr ausgeprägt und berücksichtigt auch den Bedarf nach Steuerbarkeit beim Laden zur Bedarfsspitzenflächung. Die rechtlichen Hürden zur Errichtung nichtöffentlicher Ladepunkte – insbesondere in Mehrparteienhäusern – sind jedoch nach wie vor beträchtlich (BMVIT, 2019b). Insgesamt liegen die abgeschätzten Investitionen in die Wiener öffentliche und private **Ladeinfrastruktur** für E-Mobilität bei **ca. 1,3 Mrd. EUR₂₀₂₁⁴ bis 2040**. Als Ergebnis eines erfolgreichen Übergangs auf Elektromobilität **steigt der Strombedarf Wiens** absehbar erheblich (im Szenario „Klimaneutral 2040“ um **ca. 2,7 TWh** bis 2040 – dies entspricht ca. einem Drittel des gesamten heutigen Wiener Stromendverbrauchs; gleichzeitig der stärkste Treiber des Strombedarfs bis 2040). Eine **Beschränkung** der damit verbundenen **Leistungsbedarfe** (u. a. über intelligentes Laden) kann dabei einen Beitrag zur leichteren, schnelleren und billigeren Umsetzbarkeit der Dekarbonisierung der Mobilität leisten. Auch im öffentlichen Verkehr ergibt sich durch Dekarbonisierung steigender Strombedarf. Neben der Ausweitung der direkten Nutzung in U-Bahn, Straßenbahn und für die Elektrifizierung eines Teils der Busflotte steigt der Strombedarf insbesondere auch zur Produktion von Wasserstoff für die Nutzung in der öffentlichen Busflotte.

STEIGENDER STROMBEDARF BEI SINKENDER ERZEUGUNG ERHÖHT DIE „STROMIMPORTE“ WIENS

In Summe führen die beschriebenen Dekarbonisierungsmaßnahmen zu einer deutlichen Steigerung des Strombedarfs Wiens bis 2040. Ausgehend von heute (2019) mit ca. 9,5 TWh **steigt der Strombedarf** im Szenario „Klimaneutral 2040“ **bis 2040 um circa 65 % auf 15,5 TWh**.⁵

Die **Stromerzeugung Wiens** sinkt im Szenario „Klimaneutral 2040“ von 2019 mit knapp 7,3 TWh **um mehr als 40 %** auf knapp 4,2 TWh im Jahr 2040. Der Rückgang der Erzeugung

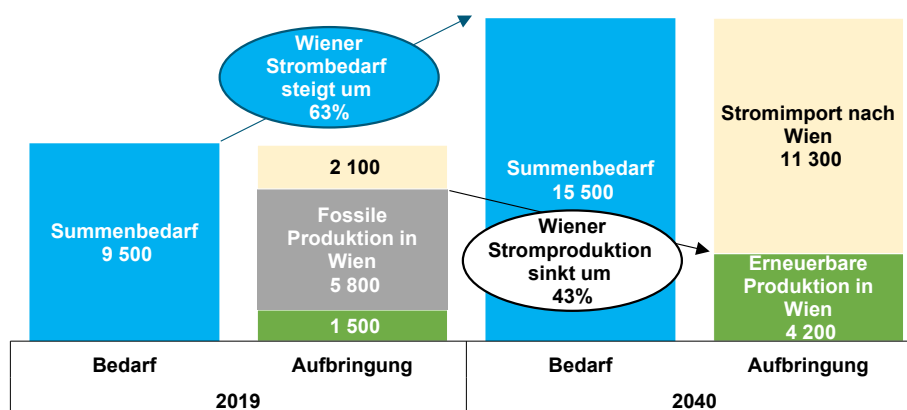
³ Die diesbezüglich erforderliche Stromverteilnetzinfrastruktur in Wien wurde im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet, Netzbereitstellungsentgelte jedoch in den Abschätzungen sehr wohl berücksichtigt.

⁴ Dieser Wert ist nicht um aktuelle und allfällig zukünftige Förderungen für die Errichtung von Ladeinfrastruktur gekürzt.

⁵ Neben Strom im Endverbrauch sind weitere Strombedarfe im Wiener Energiesektor zu decken. Dies betrifft Strom, der zur Fernwärme- und Wasserstoffproduktion genutzt wird, sonstigen Stromverbrauch des Energiesektors sowie Stromnetzverlust

in den Wiener kalorischen Kraftwerken kann durch den Ausbau der Photovoltaik (PV) Kapazitäten – und der entsprechend steigenden Produktion erneuerbaren Stroms in Wien (2040: +1,3 TWh aus PV) – jedoch nicht kompensiert werden. Im Ergebnis steigt daher der Bedarf zum „Import“ von Strom aus dem Umland nach Wien. Während 2019 weniger als 23 % des Wiener Strombedarfs (jährlich, bilanziell) nicht durch Produktion in Wien gedeckt werden konnte, **steigt der Strom-Import-Anteil im Jahr 2040** im Szenario „Klimaneutral 2040“ auf **74 %**. Die nachinvestierte KWK-Anlage hat dabei einen erheblichen Anteil an der 2040 verbleibenden Stromproduktion in Wien. Die bis 2040 erforderlichen **Investitionen in die Wiener Stromproduktion** (PV-Anlagen sowie das anteilige KWK-Nachinvestment) wurden auf **ca. 1,3 Mrd. EUR₂₀₂₁** geschätzt. Hinsichtlich der erforderlichen Stromimporte bleibt Wien jedoch auf den Erfolg der gesamtösterreichischen Anstrengungen zur Ausweitung der erneuerbaren Erzeugung und ihrer Systemintegration angewiesen. Wien stellt hierbei jedoch keine Ausnahme dar: **beschränkte Potenziale zur erneuerbaren Stromproduktion** stellen eine **generelle Problematik im urbanen Raum** dar (IEA, 2021). Im Gegenzug führt die Dekarbonisierung im Szenario „Klimaneutral 2040“ jedoch zum **Wegfall der Nutzung von Erdgas und fossilen Treibstoffen**, die bislang aus dem Um- oder Ausland nach Wien importiert werden mussten.

Abbildung 2: Wiener Strombedarf und seine Deckung [GWh/a] – „Klimaneutral 2040“



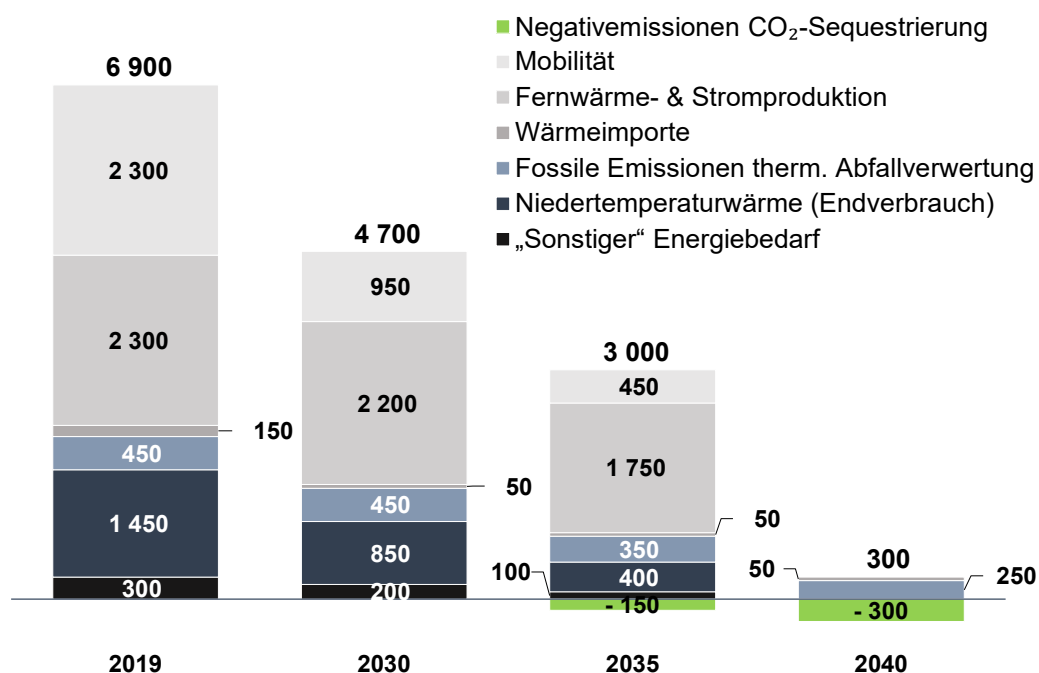
Anmerkungen: Ergebnisse gerundet auf ganze 100 GWh

Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

KLIMANEUTRALITÄT 2040 ERFORDERT EMISSIONSREDUKTIONEN IN ALLEN SEKTOREN

Entsprechend den Hochlaufkurven der dekarbonisierten Technologien in den Bereichen Mobilität und Individualwärme sowie der technischen Lebensdauer der Heizkraftwerke und dem daraus abgeleiteten Zeitplan für die Investitionen in die Fernwärme- und Stromproduktion wird ein Großteil der Emissionsreduktionen in den einzelnen Sektoren zwischen 2030 und 2040 erreicht. Im Jahr 2040 verbleiben im Wesentlichen die fossilen Emissionen der thermischen Abfallverwertung. Diese werden durch Sequestrierung biogener CO₂-Emissionen ausgeglichen.

Abbildung 3: CO₂-Emissionen in Wien per Sektor [kt p. a.] – „Klimaneutral 2040“



Anmerkungen: Ergebnisse gerundet auf ganze 50 kt

Über den Säulen: Gesamtemissionen vor Berücksichtigung der Kompensation durch Sequestrierung biogener Emissionen.

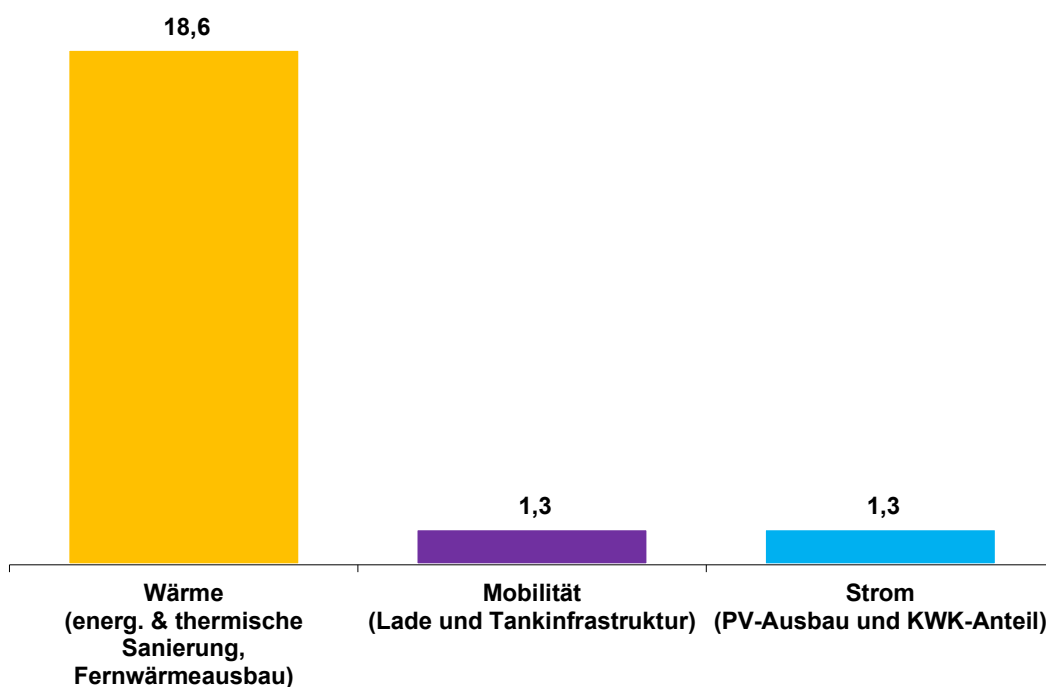
Summen gerundeter Werte entsprechen nicht immer den gerundeten Summenwerten.

Quelle: Compass Lexecon-Analyse auf Basis Statistik Austria, 2020 (für 2019) und der Studienannahmen (für 2030-2040)

INVESTITIONEN IN DEKARBONISIERUNG HABEN IHREN SCHWERPUNKT IM WÄRMESEKTOR

Der **größte Teil der in Wien** in den von der Studie umfassten Sektoren **erforderlichen Investitionen** zur Dekarbonisierung bis 2040 fällt **im Wärmesektor** an (Abbildung 4). Zusätzlich wurden die bis 2040 **außerhalb Wiens erforderlichen Investitionen in die erneuerbare Stromproduktion** zu Deckung des Wiener Bedarfs von Wien Energie auf ca. **7,3 Mrd. EUR₂₀₂₁** abgeschätzt.

Abbildung 4: Investitionen in das Wiener Energiesystem zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2040 (in den von der Studie umfassten Sektoren exkl. Stromnetz) [Mrd. EUR₂₀₂₁]



Anmerkungen: Ergebnisse gerundet auf ganze 100 Mio. EUR₂₀₂₁

Wärme: Investitionen in die thermische und energetische Sanierung des Gebäudebestands, Investition in die Fernwärmeproduktion (Geothermieanlagen, Wärmepumpen, Nach-Invest in MVAs, Ausstattung der MVAs mit Anlagen zur CO₂-Sequestrierung und die Hälfte der Investitionen in die neue KWK-Anlage) sowie Investitionen in das Fernwärmenetz

Mobilität: Investitionen in Ladeinfrastruktur für Elektroautos und Wasserstofftankstellen

Strom: Investitionen in die PV-Anlagen sowie die zweite Hälfte der Investitionssumme für die neue KWK-Anlage enthalten

Investitionsbedarfe in das Stromnetz wurden nicht gesondert analysiert, erforderliche Netzbereitstellungsentgelte jedoch inkludiert.

Quelle: Compass Lexecon-Analyse auf Basis der Studienannahmen

UMFANGREICHE INVESTITIONEN ERFORDERN ZIELGERICHTETE RAHMENBEDINGUNGEN

Die zur Dekarbonisierung Wiens bis 2040 erforderlichen umfangreichen Investitionen erfordern zielgerichtete politische und regulatorische Rahmenbedingungen. Für die im Szenario „Klimaneutral 2040“ beschriebenen Entwicklungen betrifft dies insbesondere Anreize für:

- die umfangreiche **thermische Sanierung** und den **Heizungswechsel**;
- den **Ausbau der Fernwärme** und die Investition in dekarbonisierte Produktionstechnologien;
- die Verfügbarkeit und den Einsatz **grüner Gase** in der Fernwärme- und Stromproduktion;
- die Nutzung von **CO₂-Abscheidung** für sonst nicht vermeidbare fossile CO₂-Emissionen;
- die Errichtung von **Ladepunkten** für Elektroautos – insbesondere im nicht-öffentlichen Bereich;
- den Ausbau der **erneuerbaren Stromproduktion** in Wien und dem Rest Österreichs.

DEKARBONISIERUNG WIENS ALS CHANCE FÜR WIRTSCHAFTSSTANDORT & ARBEITSMARKT

Insgesamt zeigt sich, dass zur Erreichung des Ziels, Wien bis 2040 klimaneutral zu machen, erhebliche Anstrengungen und beträchtliche Investitionen erforderlich sind. Gleichzeitig ergeben sich aus diesen umfangreichen Investitionen aber auch **Chancen für den Wiener Wirtschaftsstandort und Arbeitsmarkt**.⁶ Dies betrifft Arbeiten im Zuge der Gebäudesanierung, des Heizungstauschs, des Ausbaus von Fernwärme und Ladeinfrastruktur sowie der Ausweitung der Photovoltaikkapazitäten auf Wiener Gebäuden. Alle diesen Maßnahmen müssen dabei in Wien ausgeführt werden und erfordern spezialisierte Handwerker und Fachkräfte.

⁶ Entsprechende makroökonomische Analysen waren jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

Abschnitt 2

Hintergrund und Zielsetzung

Im Jahr 2018 hat Wien Energie die erste Dekarbonisierungsstudie publiziert (Schimmel et al., 2018). Seither haben sowohl der Bund als auch die Wiener Stadtregierung – in nunmehr veränderter Regierungskoalition – in ihrem Regierungsprogramm die deutlich ambitioniertere Zielsetzung **„Wien wird bis 2040 klimaneutral“** definiert.

Vor dem Hintergrund der angepassten politischen Zielsetzungen wurde Compass Lexecon von Wien Energie beauftragt, diese erste Dekarbonisierungsstudie zu aktualisieren. Dafür waren zwei Szenarien zu modellieren, welche die bisherigen und die neuen Zielsetzungen für die Entwicklung des Wiener Energiesystems einhalten. Auf Basis dieser beiden Szenarien sollten dann die aus veränderten Rahmenbedingungen resultierenden Abweichungen in den einzelnen Sektoren sowie ihre energiewirtschaftlichen und ökonomischen Auswirkungen dargestellt werden.

Die wesentlichen Arbeiten an der vorliegenden Studie haben im Frühjahr und Sommer 2021 stattgefunden – parallel zur Aktualisierung der Smart-City-Rahmenstrategie. Soweit möglich, wurden geplante Anpassungen an der Smart-City-Rahmenstrategie bei der Erstellung dieser Studie berücksichtigt. Eine Endfassung der Smart-City-Rahmenstrategie lag zum Abschluss dieser Studie jedoch noch nicht vor.

Abschnitt 3

Ausgangspunkte

3.1 **Endenergiebedarf: Der Wiener Endenergiebedarf 2019 wird vom Wärmesektor dominiert**

Ausgangspunkt aller Überlegungen zur Dekarbonisierung des Wiener Energiesystems ist der aktuelle⁷ Wiener Endenergiebedarf (für Details siehe Annex B). In dieser Studie wird der Endenergieverbrauch Wiens in vier Segmente aufgeteilt:

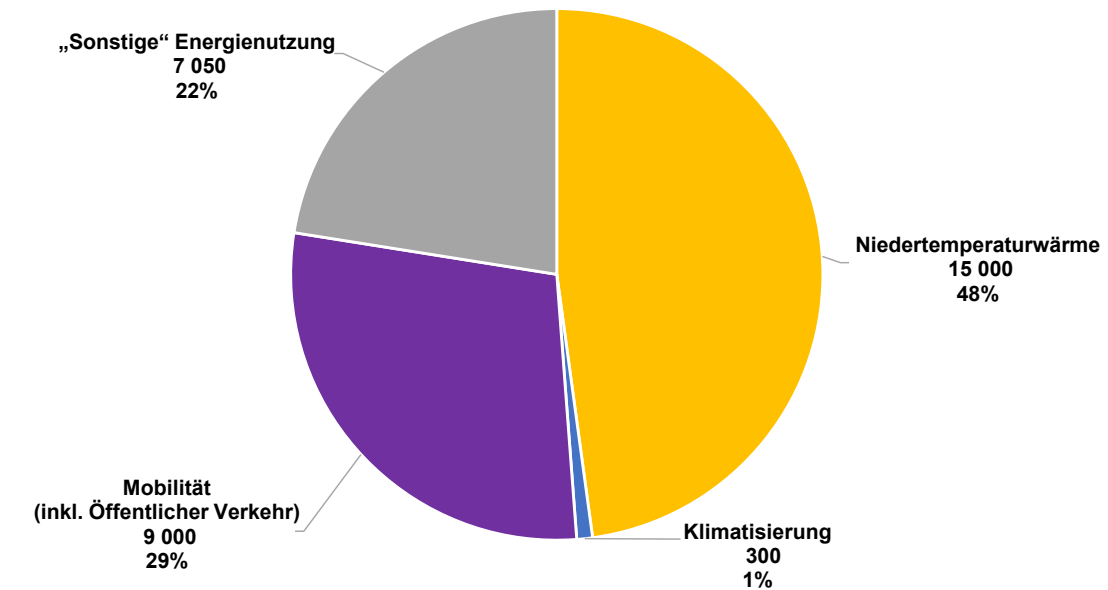
- **Wärme** (spezifisch: Niedertemperaturwärme für Raumwärme und Warmwasser)
- **Kühlung & Klimatisierung**
- **Mobilität**
- **Sonstiger Energiebedarf⁸** – Kochen, Strom für Elektrogeräte, Prozesswärme und „Standmotoren“ (d. h. Motoren, die nicht der Fortbewegung dienen)

Der Bereich „Wärme“ hat dabei den mit Abstand größten Anteil am Endenergiebedarf Wiens (Abbildung 5).

⁷ Die letzten verfügbaren statistischen Daten zum Zeitpunkt der Studiererstellung stammen aus dem Jahr 2019. Entsprechend ist das Jahr 2019 auch das Basisjahr für die Darstellung der Szenarioergebnisse.

⁸ Dieses Segment orientiert sich an der auch in den Berechnungen zur Smart-City-Rahmenstrategie (Urban Innovation, 2019) genutzten Endverbrauchssegmentierung. Das Segment fasst dabei mehrere – im Vergleich zu z.B. Wärme und Mobilität – relativ inhomogene Endverbrauchsarten zusammen, die jedoch in Summe bedeutsamen Anteil am Energiebedarf haben und bereits stark elektrifiziert sind.

Abbildung 5: Wiener Endenergieverbrauch 2019 als Ausgangspunkt der Studie [GWh]



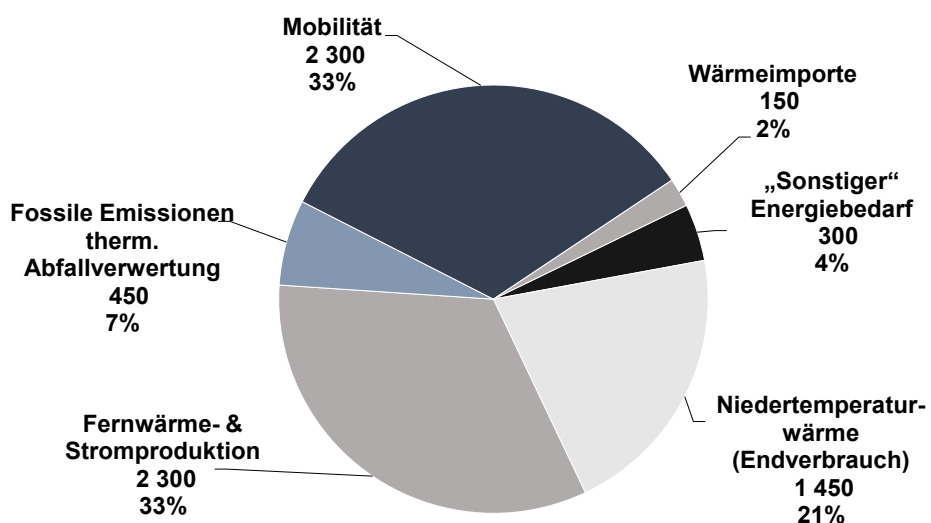
Anmerkungen: Zahlenwerte auf ganze 50 GWh gerundet.

Quelle: Compass Lexecon-Analyse auf Basis von Statistik Austria (2020a)

3.2 Emissionen: Mobilität sowie zentrale Strom- & Wärmeproduktion haben die größten Anteile

Insgesamt sind 2019 in den von der Studie umfassten Bereichen (für Details siehe Annex B) Gesamtemissionen von ca. **6 900 kt CO₂** angefallen. Auf den Endenergiebedarf in der Mobilität sowie die Strom- & Fernwärmeproduktion entfallen die größten – annähernd gleich großen – Anteile.

Abbildung 6: Wiener CO₂-Emissionen 2019 als Ausgangspunkt der Studie [kt CO₂]



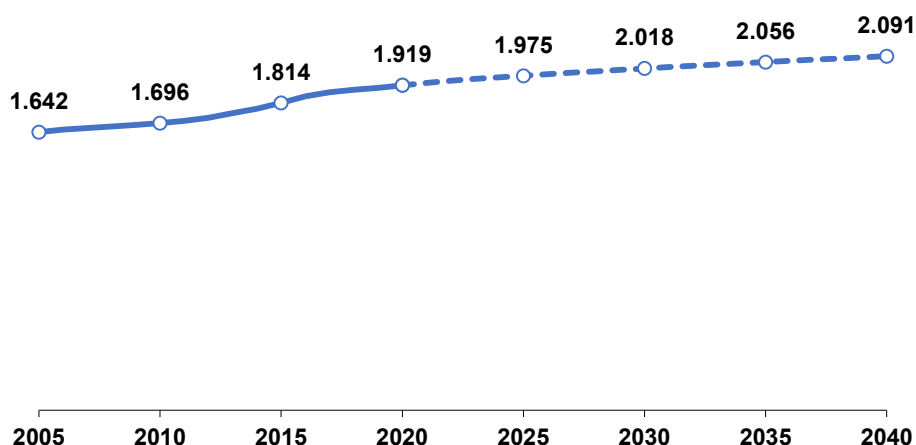
Anmerkungen: Zahlenwerte auf ganze 100 kt gerundet.

Quelle: Compass Lexecon-Analyse auf Basis von Magistratsabteilung 20 (2020), Statistik Austria (2020a), Umweltbundesamt (2018), Wien Energie (2021)

3.3 Bevölkerungswachstum: Wien wächst weiter – bis 2040 um ca. 10 %

Die Dekarbonisierung der Wiener Energienutzung erfolgt vor dem Hintergrund einer weiter stark wachsenden Bevölkerung. In Wien leben derzeit mit 1,9 Mio. Einwohnern fast 22 % der österreichischen Bevölkerung. Die Statistik Austria geht in der Hauptvariante ihrer aktuellen Bevölkerungsprognose vom Anwachsen der Wiener Bevölkerung um knapp 10 % bis 2040 gegenüber 2019 aus (Statistik Austria, 2020c).

Abbildung 7: Bevölkerungsentwicklung Wien [Mio. Personen]



Anmerkungen: Dargestellt ist die Entwicklung gemäß Hauptvariante.
Quelle: Compass Lexecon auf Basis Statistik Austria, 2020c

Die Erfüllung der Klimaziele Wiens erfolgt damit vor dem Hintergrund eines bedeutenden Bedarfstreibers: einer wachsenden Zahl an Konsumenten von Wärme, Kühlung, Mobilität und sonstiger Energie.

3.4 Szenariodefinition: Die Studie modelliert zwei Szenarien – eines auf Basis bisheriger und eines auf Basis der neuen politischen Zielsetzungen

Im Rahmen der Studie wurden zwei Szenarien für die Entwicklung des Wiener Energiesystems bis 2040 modelliert:

- Szenario „**Bisherige Ziele**“ orientiert sich im Wesentlichen an den bisherigen politischen Zielsetzungen für Emissionsreduktionen (Magistrat der Stadt Wien, 2019)⁹;
- Szenario „**Klimaneutral 2040**“ orientiert sich an den Zielen des aktuellen Wiener Regierungsprogramms (SPÖ & NEOS, 2020) sowie an seiner erwarteten weiteren Konkretisierung im Rahmen der Aktualisierung der Smart-City-Rahmenstrategie.

⁹

Sofern bisher für 2040 keine Ziele definiert wurden, wurden diese aus Daten gegebener Stützjahre abgeleitet.

Tabelle 1 gibt einen Überblick der Szenarioannahmen – Details sind in Annex A enthalten.

Tabelle 1: Übersicht – Ziele und Maßnahmen

Sektor	„Bisherige Ziele“	„Klimaneutral 2040“
Übergreifendes Ziel	<u>Ziel</u> : Reduktion der „lokalen“ Treibhausgasemissionen (pro Kopf) ggü. 2005 um 50 % bis 2030 und 80 % bis 2050	<u>Ziel</u> : Wien wird bis 2040 klimaneutral
Wärmeversorgung und Klimatisierung	• <u>Ziel 1</u>: Reduktion der CO₂-Emissionen für Raumwärme, Warmwasserversorgung und Kühlen bis 2050 um ca. 55 % ggü. 2005. • <u>Ziel 2</u>: bis 2050 CO₂-Neutralität der Fernwärmeproduktion • <u>Maßnahmen</u>: thermische Sanierung, Ausweitung der Fernwärmeversorgung	• <u>Ziel 1</u>: bis 2040 CO₂-Neutralität der Raumwärme und Warmwasserversorgung • <u>Ziel 2</u>: bis 2040 CO₂-Neutralität der Fernwärmeproduktion • <u>Maßnahmen</u>: thermische Sanierung, Ausweitung der Fernwärmeversorgung, aber keine Nutzung von (Grün-)Gas¹⁰ in der Individualwärme¹¹
Mobilität	• <u>Ziel</u>: bis 2050 CO₂-Neutralität der Wiener Mobilität • <u>Maßnahmen</u>: Ausweitung öffentlicher Verkehr und Elektromobilität	• <u>Ziel</u>: bis 2040 CO₂-Neutralität der Wiener Mobilität • Maßnahmen analog Szenario „Bisherige Ziele“
Sonstige Energienutzung	• <u>Ziel</u>: Reduktion der CO₂-Emissionen durch sonstige Energienutzung bis 2040 um ca. 50 % ggü. 2005.	• <u>Ziel</u>: bis 2040 CO₂-Neutralität der sonstigen Energienutzung
Stromerzeugung in Wien	• <u>Ziel</u>: bis 2050 CO₂-Neutralität der Stromproduktion in Wien • <u>Maßnahmen</u>: ○ Erweiterung der PV-Kapazitäten auf 800 MWp 2030 und 1300 MWp 2040 ○ Nachinvest einer mit (Grün-)Gas befeuerten KWK-Anlage in den 2030er-Jahren	• <u>Ziel</u>: bis 2040 CO₂-Neutralität der Stromproduktion in Wien • Maßnahmen analog Szenario „Bisherige Ziele“
Thermische Abfallbehandlung	(kein Ziel zu den Emissionen der thermischen Abfallverwertung)	• <u>Ziel</u>: bis 2040 CO₂-Neutralität der therm. Abfallverwertung

Quelle: Compass Lexecon auf Basis Urban Innovation (2019) und in Abstimmung mit Wien Energie

¹⁰ „Grüngas“ umfasst im Rahmen dieser Studie Biomethan, Wasserstoff und synthetisches Methan.

¹¹ Individualwärme meint die Wärmeversorgung durch Wärmetechnologien im jeweiligen Gebäude – in Abgrenzung zur Fernwärme mit zentraler Wärmeproduktion.

Abschnitt 4

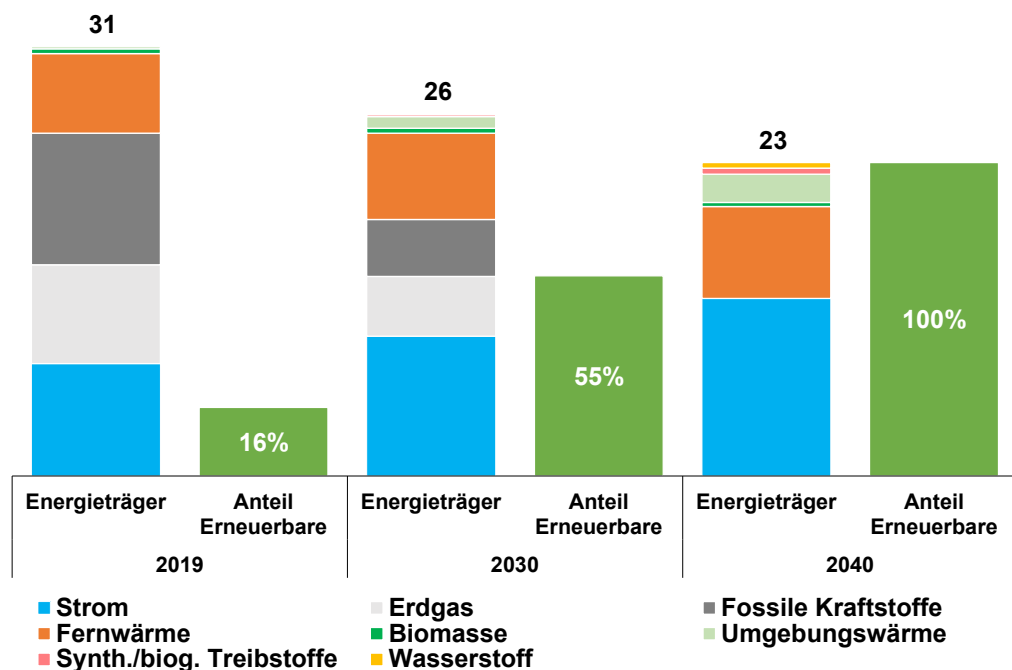
Sektorübergreifende Zusammenschau

4.1 Endenergiebedarf: Bis 2040 sinkt der Endenergiebedarf bei steigender Stromnutzung und steigendem erneuerbarem Anteil

Bis 2040 **sinkt der Endenergiebedarf Wiens deutlich**. Wesentliche Treiber dafür sind:

- im Mobilitätssektor: die Elektrifizierung mit ihrer deutlich höheren Effizienz sowie die Veränderung des Modalsplit¹² mit einer Reduktion des motorisierten Individualverkehrs
- im Wärmesektor: die thermische Sanierung und die Effekte des Klimawandels, die beide den Raumwärmebedarf reduzieren

Abbildung 8: Entwicklung des Endenergiebedarfs in Wien [TWh] und erneuerbaren Anteil – „Klimaneutral 2040“



Anmerkungen: synth. ... synthetisch, biog. ... biologisch

Quelle: Compass Lexecon-Analyse auf Basis Statistik Austria, 2020 (für 2019) und der Studienannahmen (für 2030 und 2040)

¹²

D. h. die Aufteilung des Mobilitätsbedarfs auf verschiedene Fortbewegungsarten und Verkehrsmittel

Von 2019 mit ca. 31 TWh reduziert sich der Wiener Endenergiebedarf im Szenario „Klimaneutral 2040“ um ca. 27 % auf ca. 23 TWh (Abbildung 8). Durch geringere Sanierungsraten und weniger schnellen Hochlauf der Elektromobilität macht die Reduktion im Szenario „Bisherige Ziele“ nur ca. 23 % auf ca. 24 TWh aus.

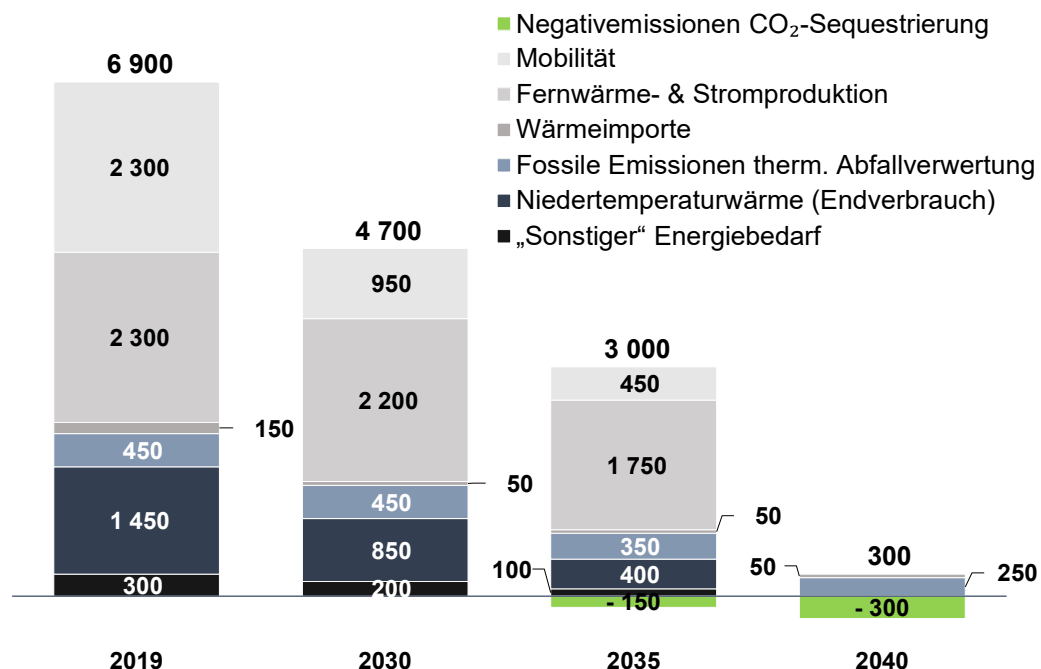
Die Steigerung des Anteils der Erneuerbaren ist von den folgenden Entwicklungen getrieben:

- dem Ausbau der **Fernwärmeproduktion aus CO₂-neutralen Quellen**
- dem Ausbau der **Photovoltaik-Stromproduktion**
- der Nutzung zunehmender Mengen an **Umgebungswärme** in den Wärmepumpen der Individualwärme
- dem steigenden **Import erneuerbaren Stroms** nach Wien

Im Ergebnis wird so im Szenario „Klimaneutral 2040“ ab 2040 die Deckung des gesamten Wiener Energiebedarfs aus erneuerbarer Erzeugung erreicht. Im Szenario „Bisherige Ziele“ wird 2040 ein Anteil an Erneuerbaren in Höhe von 68 % erreicht.

4.2 Emissionen: Beschleunigte technologische Veränderungen führen zu stärkeren Emissionsreduktionen in den 2030er als in den 2020er-Jahren

Abbildung 9: CO₂-Emissionen in Wien per Sektor [kt p. a.] – „Klimaneutral 2040“



Anmerkungen: Ergebnisse gerundet auf ganze 50 kt
 Über den Säulen: Gesamtemissionen vor Berücksichtigung der Kompensation durch Sequestrierung biogener Emissionen
 Summen gerundeter Werte entsprechen nicht immer den gerundeten Summenwerten.
 Quelle: Compass Lexecon-Analyse auf Basis Statistik Austria, 2020 (für 2019) und der Studienannahmen (für 2030-2040)

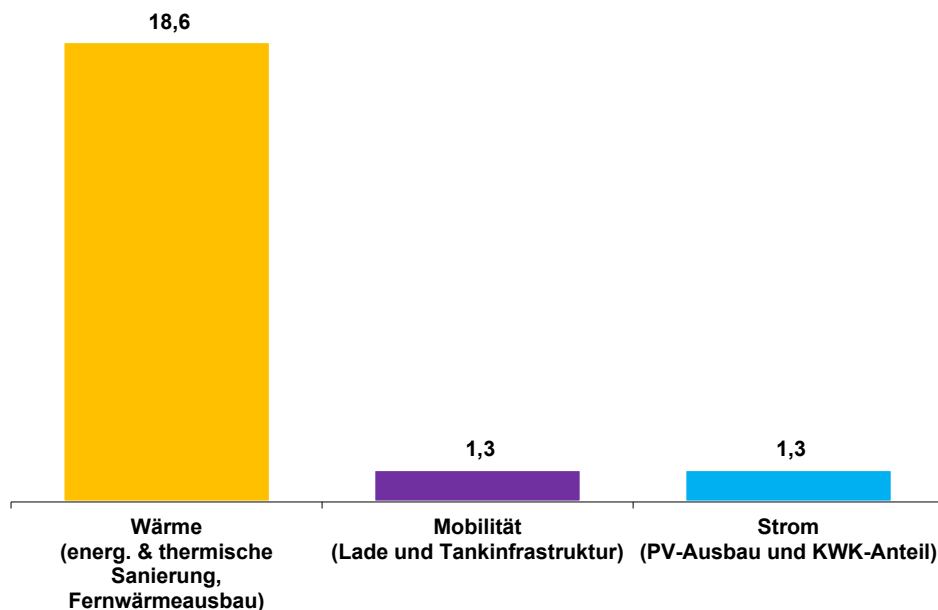
Entsprechend den Hochlaufkurven der dekarbonisierten Technologien in den Bereichen Mobilität und Individualwärme sowie der technischen Nutzungsdauer der thermischen Erzeugungsanlagen und dem daraus abgeleiteten Zeitplan für die Investitionen in die Fernwärme- und Stromproduktion wird ein Großteil der Emissionsreduktionen in den einzelnen Sektoren zwischen 2030 und 2040 erreicht.

Im Szenario „Klimaneutral 2040“ verbleiben 2040 im Wesentlichen die fossilen Emissionen der thermischen Abfallverwertung. Diese werden durch Sequestrierung biogener CO₂-Emissionen ausgeglichen.

4.3 Investitionen: Der größte Teil der in Wien erforderlichen Investitionen zur Erreichung der Klimaneutralität fällt im Wärmesektor an

Den mit Abstand größten Anteil der in den von der Studie umfassten Sektoren erforderlichen **Investitionen zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2040** fällt im Wärmebereich an – v. a. durch die thermischen Sanierungen und den Heizungswechsel. Zusätzlich wurden die bis 2040 **außerhalb Wiens erforderlichen Investitionen in die erneuerbare Stromproduktion** zu Deckung des Wiener Bedarfs von Wien Energie auf ca. **7,3 Mrd. EUR₂₀₂₁** abgeschätzt.

Abbildung 10: Investitionen in das Wiener Energiesystem zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2040 (in den von der Studie umfassten Sektoren exkl. Stromnetz) [Mrd. EUR₂₀₂₁]



Anmerkungen: Ergebnisse gerundet auf ganze 100 Mio. EUR₂₀₂₁

Wärme: Investitionen in die thermische und energetische Sanierung des Gebäudebestands, Investition in die Fernwärmeproduktion (Geothermieranlagen, Wärmepumpen, Nach-Invest in MVAs, Ausstattung der MVAs mit Anlagen zur CO₂-Sequestrierung und die Hälfte der Investitionen in die neue KWK-Anlage) sowie Investitionen in das Fernwärmenetz

Mobilität: Investitionen in die Ladeinfrastruktur für Elektroautos und Wasserstofftankstellen

Strom: Investitionen in PV-Anlagen sowie die zweite Hälfte der Investitionssumme für die neue KWK-Anlage enthalten

Investitionsbedarfe in das Stromnetz wurden nicht gesondert analysiert, erforderliche Netzbereitstellungsentgelte jedoch inkludiert.

Quelle: Compass Lexecon-Analyse auf Basis der Studienannahmen

Abschnitt 5

Wärme, Kühlung & Klimatisierung

5.1 Veränderter Rahmen: Die neuen politischen Ziele erfordern eine schnellere und tiefergreifendere Veränderung der Wärmeversorgung Wiens

Die neuen klimapolitischen Ziele der Stadt Wien führen im Segment Wärme im Vergleich zu den bisherigen Vorgaben zu den umfangreichsten Veränderungen aller Sektoren.

Die bisherige Zielsetzung hat bis 2050 in etwa eine Halbierung der Emissionen in der Individualwärme vorgesehen (Urban Innovation, 2019). Nunmehr soll im Wärmesektor bereits **2040 kein CO₂ mehr emittiert** werden. Zur Erreichung dieses Ziels ist bis 2040 ein **vollständiger Ausstieg aus Erdgas auch in Bestandsgebäuden** erforderlich. Aufgrund politischer Vorgaben sollen außerdem zukünftig **grüne Gase in der Individualwärme weitestgehend nicht zum Einsatz** kommen.

Im Ergebnis bringen die veränderten politischen Zielsetzungen daher im Wärmebereich ein deutlich ambitioniertes Dekarbonisierungsziel in Kombination mit deutlich reduzierten Freiheitsgraden in Bezug auf die Technologiewahl. Die bisher vorgesehene umfangreiche thermische Sanierung von Bestandsgebäuden muss daher im Szenario „Klimaneutral 2040“ von einer energetischen Sanierung mit Fokus auf den Ersatz aller fossilen Heizsysteme begleitet werden (Box 1).

Box 1: Thermische und energetische Sanierung

Unter **thermischer Sanierung** werden Maßnahmen zur Reduktion des Heizwärmebedarfs eines Gebäudes verstanden. Dies geschieht durch Reduktion der Wärmeverluste über die Gebäudehülle. Zu den wesentlichsten Maßnahmen zählen dabei die Isolierung der Außenwände, der Kellerdecke und des Dachgeschoßes sowie der Tausch von Fenstern und ggfs. Außentüren.

Im Rahmen der **energetischen Sanierung** werden bestehende Heizungssysteme gegen neue, effizientere Systeme getauscht. Neben dem Wechsel der Wärmequelle selbst (z. B. Ersatz eines bestehenden Gaskessels durch eine Wärmepumpe) sind dabei vielfach auch Umbauten am gebäudeinternen Wärmespeicher- und -verteilsystem erforderlich.

5.2 Thermische Sanierung: Thermische Sanierung ist über alle betrachteten Sektoren hinweg die Maßnahme mit den höchsten Investitionen

Die in der Modellierung berücksichtigten thermischen Sanierungsraten entsprechen in beiden Szenarien den Annahmen, die auch bei der Formulierung der Smart-City-Rahmenstrategie bzw. ihrer Überarbeitung getroffen wurden. Im Szenario „Bisherige Ziele“ wird entsprechend von einem Hochlauf der jährlichen Sanierungsrate auf 2,1 % der Gebäudefläche ab 2030 ausgegangen (Urban Innovation Vienna, 2019). Im Szenario „Klimaneutral 2040“ wird entsprechend den aktualisierten Ansätzen für die Überarbeitung der Smart-City-Rahmenstrategie eine nochmals geringfügig erhöhte Sanierungsrate (2,4 % ab 2030) angesetzt.¹³ In beiden Szenarien führen die betrachteten thermischen Sanierungsmaßnahmen annahmegemäß zu durchschnittlich 55 % Reduktion des Raumwärmebedarfs für ein Gebäude.

Für die so definierte thermische Sanierung des Wiener Gebäudebestands wurde für das Szenario „Klimaneutral 2040“ im **Zeitraum bis 2040** ein **Investitionsvolumen von ca. 10 Mrd. EUR₂₀₂₁** abgeschätzt.¹⁴ Mit diesen Investitionssummen stellt die thermische Sanierung die investitionsintensivste Dekarbonisierungsmaßnahme in Wien dar.

Vor dem Hintergrund historischer Sanierungsraten (Amann et al., 2020) sind die bisherigen und die neuen Zielsetzungen anspruchsvoll und führen absehbar zu Herausforderungen. Identifizierte **Erfolgsfaktoren** liegen vor allem in den folgenden Bereichen:

- **Information** über den individuellen Beitrag zum Klimaschutz
- **Anreize** für die Umsetzung der erforderlichen thermischen Sanierungsmaßnahmen – vor allem im Bereich der Mehrparteienhäuser mit mehreren Eigentümern;
- sozialverträgliche **Kostentragung** und Finanzierung;
- Verfügbarkeit von **Fachkräften** zur Ausführung der erforderlichen umfassenden Sanierungstätigkeiten.

Gleichzeitig können die erforderlichen Investitionen in die thermische Sanierung Impulse für die regionale Wertschöpfung in Wien und den Arbeitsmarkt für Fachkräfte geben.¹⁵

¹³ Alle getroffenen Annahmen finden sich im Detail in Annex A.

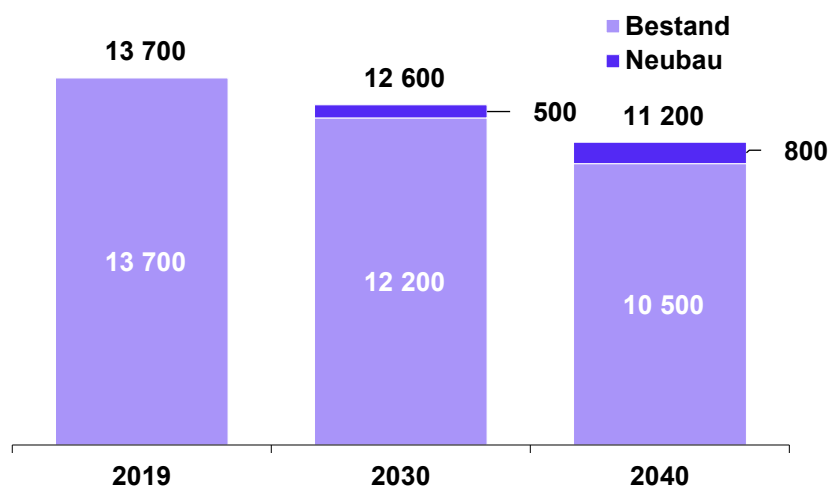
¹⁴ Bei dem Wert handelt es sich – wie bei allen weiteren in dieser Studie angeführten Investitionssummen – um eine nichtdiskontierte Summe der Investitionen.

¹⁵ Entsprechende makroökonomische Analysen waren nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

5.3 Wärmebedarf: Thermische Sanierung und die Effekte des Klimawandels reduzieren den Wärmebedarf in Wien bis 2040

Trotz des prognostizierten Bevölkerungszuwachses in Wien (Statistik Austria, 2020) wurde bis 2040 ein **sinkender Bedarf nach Niedertemperaturwärme**¹⁶ ermittelt. Hauptgründe dafür sind thermische Sanierungen (siehe Abschnitt 5.2) und die Auswirkungen des Klimawandels selbst. Die Effekte der Klimaerwärmung wurden – entsprechend den Annahmen für die Berechnungen zur Überarbeitung der Smart-City-Rahmenstrategie – über ein Absinken der Heizgradtage¹⁷ um 0,5 Prozentpunkte im Vergleich zu 2019 berücksichtigt. Im Ergebnis wird der Wärmebedarf in Bestandsgebäuden durch diese beiden Effekte stärker reduziert, als er durch Bevölkerungswachstum und den damit verbundenen Zubau (thermisch hochwertig ausgeführter Häuser) steigt. Der Gesamtwärmebedarf liegt im Szenario „Klimaneutral 2040“ ca. 18 % unter dem heutigen Bedarf (Abbildung 11)

Abbildung 11: Nutzenergiebedarf im Wärmesektor [GWh] – „Klimaneutral 2040“



Anmerkungen: Dargestellt ist der Nutzenergiebedarf, d. h. die vom Endverbraucher nutzbare Wärme;
Die Werte sind auf ganze 100 GWh gerundet;
Über den Säulen: Gesamter Nutzenergiebedarf im Wärmesektor (exkl. Größtverbraucher)
Summen gerundeter Werte entsprechen nicht immer den gerundeten Summenwerten.
„Neubau“ bezeichnet Gebäude, die ab 2022 errichtet werden.

Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

5.4 Energetische Sanierung: Die Dekarbonisierung der Niedertemperaturwärme durch Wärmepumpen in der Individualwärme und Fernwärme erfordert erhebliche Anstrengungen und Investitionen

Der Niedertemperaturwärmemarkt in Wien (Raumwärme und Warmwasser) ist aktuell von Gaskesseln in der Individualwärme und der Nutzung von Fernwärme dominiert, die 2019

¹⁶ dieser umfasst Raumwärme und Warmwasser in Haushalten und im Dienstleistungssektor

¹⁷ Eine statistische Größe zur Abschätzung des Heizwärmebedarfs, bei der die Differenz zwischen der normgemäßen Innentemperatur (20°C) und der Tagesmitteltemperatur eines Tages für alle Tage aufsummiert wird, an denen die Tagesmitteltemperatur unter der Heizgrenztemperatur (12°C) liegt.

jeweils ca. 40 % des Nutzenergiebedarfs bereitgestellt haben. Der Rest wird aktuell über Wärmepumpen, direktelektrische Heizungen und Heizöl abgedeckt – Biomasse spielt nur eine untergeordnete Rolle.

Für den Niedertemperaturwärmemarkt wird auf Basis des Wiener Regierungsprogramms (SPÖ & NEOS, 2020) das Ziel der **vollständigen Dekarbonisierung** (Null-CO₂-Emissionen) **per 2040** verfolgt. Um dies zu erreichen, müssen bis 2040 alle fossilen Energieträger (2019 waren dies 6 270 GWh Erdgas und 650 GWh Heizöl) – auch im Bestand – ersetzt werden. Dies erfordert vielfach einen Heizungstausch („Energetische Sanierung“).

Auf Basis der politischen Vorgaben und Absichten (Wiener Regierungsprogramm und Bundes-Regierungsprogramm (Bundeskanzleramt Österreich, 2020)) wurde im Szenario „Klimaneutral 2040“ von den folgenden langfristig (d. h. auch nach 2040) in Wien **nutzbaren Wärmetechnologien** ausgegangen:

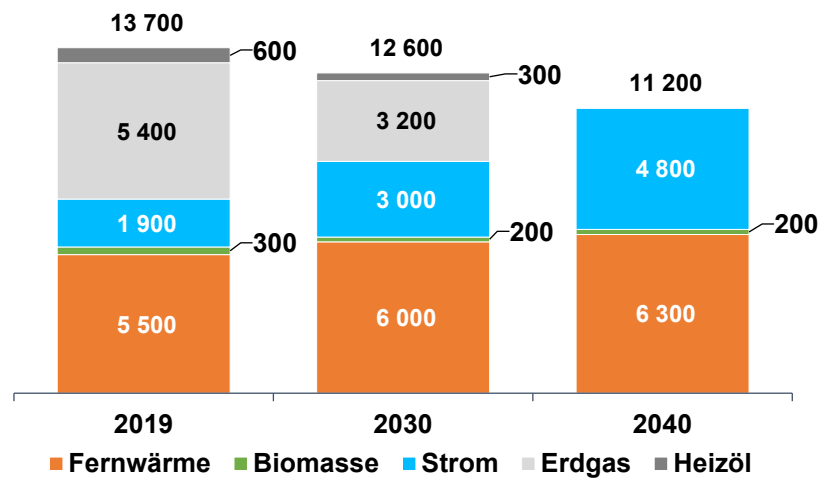
- Fernwärme
- Luft-Wärmepumpen (als Haus-Zentralheizung)
- Erd-Wärmepumpen
- Biomasse (Pellets) Kessel

Im Szenario „Bisherige Ziele“ wurden darüber hinaus auch Gas-Brennwertkessel im Technologiemix behalten. Aufgrund des im Bundes-Regierungsprogramm vorgesehenen Vorrangs der Nutzung **dekarbonisierter Gase** für „Anwendungen [...], in denen die Hochwertigkeit notwendig ist“ und entsprechender Zielsetzungen der Wiener Regierung wurde das Szenario „Klimaneutral 2040“ ohne Nutzung grüner Gase in der Individualwärme modelliert.

Von einer Ausweitung der Biomassenutzung in der Individualwärme wurde abgesehen. Neben der Frage der nachhaltigen Verfügbarkeit waren dafür insbesondere die Problematiken der Logistik und der Feinstaubemissionen im urbanen Raum ausschlaggebend (siehe dazu u. a. auch Warmuth, H. & Veigl, A., 2016).

Im Ergebnis erfolgt die **Dekarbonisierung der Niedertemperaturwärme** im Szenario „Klimaneutral 2040“ im Wesentlichen **über Wärmepumpen** in der Individualwärme **und Fernwärme** (Abbildung 12). Die Entwicklung dieser beiden Technologien wird daher detaillierter in den beiden nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

Abbildung 12: Nutzenergiebedarf im Wärmesektor je genutztem Energieträger [GWh] – „Klimaneutral 2040“



Anmerkungen: Dargestellt ist der Nutzenergiebedarf, d. h. die vom Endverbraucher nutzbare Wärme; die Werte sind auf ganze 100 GWh gerundet. Summen gerundeter Werte entsprechen nicht immer den gerundeten Summenwerten. Der dargestellte Fernwärmebedarf exkludiert Größtverbraucher, Fernwärme für die Kälteproduktion und Netzverluste, die jedoch bei Ermittlung und Deckung des Fernwärmebedarfs (siehe später) dennoch berücksichtigt werden.

Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

Für den Einsatz von sowohl Wärmepumpen als auch Fernwärme als Ersatz der in Wien typischen wohnungsindividuellen Gasthermen ist jedoch grundsätzlich eine vorherige Nachrüstung auf eine Hauszentralheizung (bzw. -verteilung) erforderlich (siehe Box 2).

Box 2: Umstellung Gasthermen

Wien verfügt über eine erhebliche Anzahl von Wohnungen, die über Gasthermen in der jeweiligen Wohnung beheizt werden (ca. 400 000 Wohnungen (Wimmer & Holzer, 2020)). Im Neubau sind Gasthermen bereits nicht mehr zulässig und die überwiegende Mehrheit der Gasthermen ist heute in Gründerzeithäusern zu finden (Benke, 2017).

Im Einzelfall (z. B. Dachgeschosswohnungen) ist hierbei alternativ die Nutzung wohnungsindividueller Wärmepumpen möglich. Generell jedoch ist eine Dekarbonisierung der Wärmeversorgung in Wohngebäuden mit einer Umstellung auf Haus-Zentralheizungen verbunden.

Die Umstellung auf Zentralheizungen umfasst dabei die Installation einer zentralen Wärmequelle (einer Wärmepumpe oder Fernwärmehausstation), einer Anlage zur Brauchwasserbereitung und ggf. -speicherung sowie die Installation von Wärmesteigleitungen zu den einzelnen Wohnungen. Sobald diese Voraussetzungen geschaffen sind, ist eine schrittweise Umstellung durch Anschluss der individuellen Wohnungen an die zentrale Wärmeversorgung möglich.

Bei der Nutzung von Wärmepumpen kann zusätzlich der Tausch der Radiatoren in den Wohnungen erforderlich sein, um die ggfs. geringeren Vorlauftemperaturen nutzen zu können. Mit einer Umstellung auf zentrale Wärmeversorgung kommt es dabei jedoch zu Wärmeverteilungsverlusten im Haus, die den Energiebedarf insgesamt erhöhen (sofern nicht zeitgleich eine thermische Sanierung erfolgt).

Der Umbau von Wohngebäuden von wohnungsindividueller auf zentrale Wärmeversorgung ist – von Ausnahmen abgesehen – in der Regel technisch machbar und entsprechende Umbauten erfolgen auch in Wien im Zusammenhang mit Generalsanierungen immer wieder.

Die erforderlichen **Investitionen in den Wechsel der Heizungssysteme bis 2040** wurden im Szenario „Klimaneutral 2040“ auf ca. **6 Mrd. EUR₂₀₂₁** abgeschätzt. Diese erhebliche Differenz ist auf die fundamental andere Zusammensetzung der eingesetzten Wärmetechnologien zurückzuführen. Während im Szenario „Bisherige Ziele“ zwar ein Ausstieg aus Heizöl erfolgt und die Fernwärme ausgebaut wird, wird der Erdgasanteil in der Individualwärme zum Erreichen der Emissionsreduktion nur moderat reduziert. Im Szenario „Klimaneutral 2040“ ist hingegen eine vollständige Umstellung der Bestandsgebäude auf zentrale Wärmeversorgung über Wärmepumpen oder Fernwärme (soweit nicht bereits der Fall) notwendig.

Kritische **Erfolgsfaktoren** für den Heizungswechsel generell und den Umbau auf zentrale Wärmeversorgung im Besonderen sind grundsätzlich in folgenden Bereichen zu erkennen:

- **Information** über den individuellen Beitrag zum Klimaschutz
- **Anreizsetzung** für den Heizungswechsel und den Umbau auf zentrale Wärmebereitstellung: Insbesondere in Gebäuden mit Eigentümergemeinschaften ist eine Konsensfindung ohne Anreiz bzw. Verpflichtung absehbar schwierig; zusätzlich stellt sich die Frage, wie einzelne Wohnungseigentümer bzw. Mieter zu einem Anschluss an ein zentrales Heizungssystem bewegt werden können.
- Anreize zur Umsetzung von **Quartierslösungen** unter Nutzung von Wärmepumpen gemeinsam für mehrere Gebäude
- sozialverträgliche **Kostentragung** und Finanzierung: Dies ist insbesondere bedeutsam, da die erforderlichen Investitionen in Abhängigkeit von der Heizungssituation erheblich unterschiedliche Ausmaße annehmen können (sowohl in Wien als auch über gesamt Österreich hinweg).
- Verfügbarkeit von **Fachkräften** (siehe dazu auch im Folgekapitel).

5.5 **Individualwärme: Dekarbonisierung durch Wärmepumpen im Bestand stellt eine Herausforderung dar**

Grundsätzlich wurden in den beiden Szenarien zwei Wärmepumpentechnologien für die individuelle Wärmeversorgung berücksichtigt:

- Luft-Wärmepumpen (Luft-Wasser-Wärmepumpen) und
- Erd-Wärmepumpen (Sole-Wasser-Wärmepumpe)

In Abstimmung mit der Magistratsabteilung 20 wurden die Wärmepumpenpotenziale abgeschätzt. In beiden Szenarien werden Wärmepumpen in erheblichem Umfang im Neubau genutzt, wo sie in ca. 50 % der Gebäude eingesetzt werden und neben Fernwärme die einzige modellierte Wärmetechnologie darstellen. Bei entsprechender Konzeption können

Wärmepumpen dabei auch zur Temperierung oder Kühlung der Gebäude eingesetzt werden. Im Bestand ersetzen Wärmepumpen in beiden Szenarien Öl- und Gaskessel. Im Szenario „Bisherige Ziele“ ist dabei der modellierte Ausbau von Fernwärme und der damit einhergehende nur teilweise Ersatz von Gaskesseln zur Erreichung der Emissionsziele ausreichend. Insbesondere kann hierbei der Einsatz von Wärmepumpen in bisher wohnungsindividuell beheizten Gebäuden (d. h. als Ersatz von Gasthermen) vermieden werden. Im Szenario „Klimaneutral 2040“ ist hingegen in großem Umfang auch der Ersatz von Gaskesseln durch Wärmepumpen erforderlich. Hierbei reicht selbst der deutlich stärkere Ausbau der Fernwärme nicht aus, um alle Gebäude, die aktuell mit Öl oder Gas beheizt werden, mit Wärme zu versorgen.

Neben der Nutzung von Wärmepumpen in einzelnen Gebäuden ist ein Einsatz auch zusammen für mehrere Gebäude („Quartierslösung“) bzw. im Rahmen von Anergienetzen denkbar (Box 3).

Box 3: Anergienetze

Anergienetze transportieren Wasser mit Temperaturen zwischen 10 und 20°C. An ein Anergienetz angeschlossene Gebäude entziehen dem Anergienetz Niedertemperaturwärme für Heizung und Warmwasser oder geben aus der Raumtemperierung (= Temperaturabsenkung) gewonnene Wärme an das Anergienetz ab. Für die Energieabnahme zum Heizen werden **Wärmepumpen** betrieben, die Temperierung erfolgt typischerweise ohne Wärmepumpeneinsatz. Die resultierenden Wärmemengen werden in der Regel zwischengespeichert, z. B. in Tiefenbohrungen. Insbesondere in Neubaugebieten sowie im Rahmen von Quartierslösungen als auch im Bestand können Dienstleistungs- und Wohngebäude über Anergienetze versorgt werden. Anergienetze können dabei als „Inselnetz“ oder in Verbindung mit dem Fernwärmenetz konzipiert werden und einen Beitrag zur Dekarbonisierung im Gebäudesektor leisten.

Im Szenario „Klimaneutral 2040“ führt der umfangreiche Einsatz von Wärmepumpen in der Individualwärme zu Steigerungen des Strombedarfs im Wärmesektor von ca. 1,8 TWh im Jahr 2019 auf ca. 2,7 TWh im Jahr 2040 (Abbildung 13).¹⁸ Diese Steigerung entspricht ca. 11 % des heutigen Wiener Stromendenergieverbrauchs. Dass der Strombedarf nicht stärker steigt, liegt wesentlich begründet im insgesamt sinkenden Wärmebedarf (durch Sanierung und Klimawandel) und in den hohen Wirkungsgraden der Wärmepumpe im Vergleich zu anderen Wärmetechnologien (Wärmenutzungsgrade¹⁹ um 2 (Luft-Wärmepumpen) und >3,5 (Erd-Wärmepumpen)).²⁰ Der im Vergleich zu fossilen Technologien geringere Endenergiebedarf von

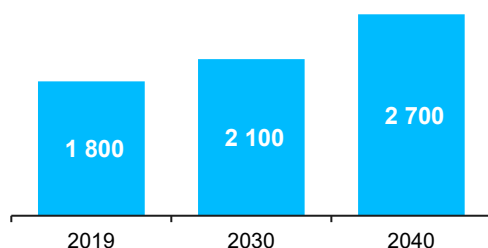
¹⁸ Es wird dabei keine Veränderung bei bestehender direktelektrischer Heizung angenommen.

¹⁹ Im Unterschied zur typischerweise berichteten Jahresarbeitszahl für Wärmepumpen berücksichtigt der Wärmenutzungsgrad nicht nur den Strombedarf für den Wärmepumpenbetrieb, sondern auch Bedarfe für allfälligen Einsatz der Heizstäbe. Es ist somit eine direkte Umrechnung von Wärmebedarfen in Strombedarfe möglich (siehe auch Prinzing et al., 2019).

²⁰ Die Wärmenutzungsgrade wurden den EU Technology Pathways (Capros et al., 2019) entnommen und berücksichtigen Effizienzsteigerungen bis 2040. Um konservative Abschätzungen zu erhalten, wurden jeweils Werte am unteren Ende der ausgewiesenen Bandbreite gewählt. Entsprechend wurden die Wärmenutzungsgrade dann auch (vereinfachend) für die Leistungsermittlung herangezogen und bei Luft-Wasser-Wärmepumpen wurde keine weitere Winterüberhöhung berücksichtigt.

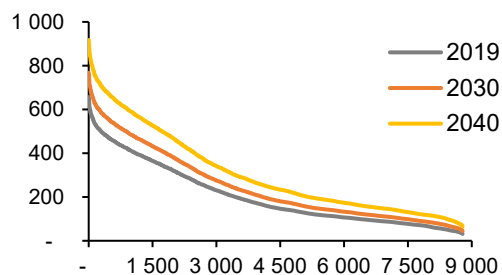
Wärmepumpen führt auch dazu, dass ihre höheren Investitionen durch geringere Energiekosten teilweise kompensiert werden können. Aus den jährlichen Strombedarfsmengen wurden über Standardlastprofile Lastgänge entwickelt; die so abgeschätzten Spitzenleistungsbedarfe steigen um ca. 250 MWh/h (Abbildung 14).

Abbildung 13: Jahresstrombedarf Individualwärme [GWh] – „Klimaneutral 2040“



Anmerkung: Werte auf ganze 50 GWh gerundet
 Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

Abbildung 14: Dauerlinie Strombedarf Individualwärme [MWh/h] – „Klimaneutral 2040“



Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

Für die Transformation der Individualwärme durch den ausgeweiteten Einsatz von Wärmepumpen wurden vor allem im Szenario „Klimaneutral 2040“ zwei wesentliche Herausforderungen identifiziert: die erforderlichen Handwerkskapazitäten und die zeitliche Entkopplung von thermischer und energetischer Sanierung.

Zunächst erfordert die im Szenario „Klimaneutral 2040“ erforderliche Umstellung bis 2040 erhebliche **Handwerkskapazitäten** in einem Zeitraum von weniger als 15 Jahren. Die Umrüstung von Bestandsgebäuden auf Wärmepumpeneinsatz wird absehbar erst Mitte/Ende der 2020er-Jahre beginnen (nach Schaffung der rechtlichen Voraussetzungen und unter Berücksichtigung entsprechender Übergangsfristen). Zur Erreichung der vollständigen Dekarbonisierung des Wärmesektors 2040 muss die Umrüstung von Bestandsgebäuden bis dahin abgeschlossen sein. Während der Hochphase der Umrüstungen (d. h. in den 2030er-Jahren) müssen pro Jahr ca. 1.500 Wohnblocks und Nichtwohngebäude (d. h. exklusive Einfamilienhäuser) auf Wärmepumpen umgerüstet werden.²¹ Dies wird absehbar erhebliche Handwerkskapazitäten erfordern, stellt jedoch auch eine **Chance für die regionale Wiener Wertschöpfung und den Wiener Arbeitsmarkt** dar.

Die vollständige Dekarbonisierung im Szenario „Klimaneutral 2040“ erfordert den Heizungstausch („energetische Sanierung“) in den fossil beheizten Bestandsgebäuden bereits bis 2040. Die angenommenen Sanierungsraten führen jedoch bis 2040 nicht zu einer vollständigen Sanierung des Gebäudebestands. Es kommt somit zur **zeitlichen Entkopplung von energetischer und thermischer Sanierung**. Da nicht alle heute fossil beheizten Gebäude an die Fernwärme angeschlossen werden können, macht die beschleunigte Dekarbonisierung bis 2040 absehbar den Einsatz von Wärmepumpen auch in nicht thermisch sanierten

²¹

Insgesamt hat Wien 2011 (letzte Gebäudestatistik) über knapp 60 000 Wohngebäude mit mehr als drei Wohnungen und 16.000 Nichtwohngebäude verfügt (Statistik Austria, 2013).

Gebäuden erforderlich. Dies geht einher mit höheren Investitionen in Wärmepumpen und ihre absehbare Überdimensionierung, sobald die thermische Sanierung nachgeholt wird. Obwohl der Einsatz von Wärmepumpen in thermisch nicht sanierten Gebäuden nicht als ideal gilt, wurde die grundsätzliche technische Machbarkeit auch für diese Fälle im Wiener Kontext erst kürzlich bestätigt – wobei im Einzelfall dennoch Erschwernisse oder Ausschlussgründe vorliegen können (Wimmer & Holzer, 2020). In solchen Fällen sollte entweder der Anschluss an die Fernwärme oder der ausnahmsweise Einsatz von Biomasse die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung ermöglichen.

5.6 Fernwärme: Geothermie und Großwärmepumpen ermöglichen die Dekarbonisierung der Fernwärmeproduktion

Auf Grundlage der internen Annahmen von Wien Energie zum maximal technisch und wirtschaftlich mit Fernwärme erschließbaren Gebäudepark erreicht **Fernwärme** im Szenario „Klimaneutral 2040“ bis 2040 einen **Anteil von 56 % am gesamten Niedertemperaturwärmebedarf** Wiens.²² Dabei wurde neben dem Anschluss von Neubauten auch in erheblichem Umfang eine **Umstellung von Bestandsgebäuden auf Fernwärme** modelliert. Nach einer Hochlaufphase bis 2027 werden dadurch jährlich Gebäude mit in Summe ca. 95 MW Wärmeleistung an das Fernwärmenetz angeschlossen. Die erforderliche **jährliche Fernwärmeproduktion steigt dadurch** von fast 6,6 TWh im Jahr 2019 **um ca. 16 % auf mehr als 7,5 TWh im Jahr 2040**. Im Szenario „Bisherige Ziele“ steigt die Fernwärmeproduktion bis 2040 lediglich um ca. 7 % auf ca. 6,9 TWh. In beiden Szenarien wirken die fortschreitende Sanierungstätigkeit und der Klimawandel der Steigerung durch Neuanschlüsse entgegen.

Aus dem steigenden Wärmebedarf und der fortschreitenden Alterung der aktuellen Fernwärmeproduktionsanlagen der Wien Energie ergibt sich der Bedarf zur Investition in die Fernwärmeproduktion. Ausgehend vom aktuellen Produktionsportfolio und aktuellen Planungen der Wien Energie für seine Erweiterung (u. a. hinsichtlich Geothermieranlagen, Wärmepumpen und eines **neuen gasbefeuernten Heizkraftwerks (KWK)**) wurde ein Anlagenpark entwickelt, der die Anforderungen an die zukünftige Fernwärmeproduktion kostenoptimal erfüllt. Als wesentliche Nebenbedingung wurde dabei die **vollständig dekarbonisierte Fernwärmeproduktion bis 2040** gesetzt.

Für die neuen Anlagen wurden dabei folgende Technologien berücksichtigt:

- **Tiefe Geothermie** – Durch Tiefbohrungen werden Thermalwasservorkommen erschlossen und ihre Wärme dem Fernwärmenetz nutzbar gemacht (siehe Box 4).
- **Wärmepumpen bei Geothermieranlagen** – Jede von Wien Energie projektierte Geothermieranlage wird planmäßig mit einer Wärmepumpe ausgestattet werden (siehe Box 4).
- **Sonstige Großwärmepumpen** – diese nutzen industrielle und gewerbliche Niedertemperaturabwärme (z. B. aus Klimaanlagen oder Kühlhäusern) bzw. Abwärme aus den

²²

exklusive Fernwärme für Größtverbraucher (z. B. AKH) und für Fernkälte

Rauchgasen der thermischen Abfallverwertung und erhöhen das Temperaturniveau, sodass eine Einspeisung in das Fernwärmenetz möglich wird. Die verwendeten Abwärmquellen stehen in der Regel ganzjährig zur Verfügung, sodass die Wärmepumpen auch im Winter Wärme in das Fernwärmenetz einspeisen können.

- **Gasbefeuerte Heizwerke (HWK)** – Sofern erforderlich und wirtschaftlich optimal, hätte der Anlagenpark auch um weitere Heizwerke ergänzt werden können, wobei darin ab 2040 – wie ab dann auch in den bestehenden Heizwerken – ausschließlich Grüngas genutzt werden könnte; trotz der Möglichkeit wurden neue Heizwerke schlussendlich bis 2040 nicht in den kostenoptimalen Anlagenpark aufgenommen, da die Versorgungssicherheit allein mit den bestehenden Heizwerken aufrechterhalten werden kann.

Box 4: Geothermie und Wärmepumpen für die Wiener Fernwärme

Geothermieranlagen: Wien Energie plant die Nutzung von Thermalwasser in zwei Formationen: Aderklaaer Konglomerat und Hauptdolomit. Das Thermalwasser wird dabei aus dem Geothermie-Reservoir mittels Pumpen an die Oberfläche gefördert. Über die Geothermie-Wärmetauscher wird Wärme vom Thermalwasser auf das Fernwärmewasser übertragen. Anschließend wird das abgekühlte Thermalwasser über Reinjektionspumpen wieder in das Geothermie-Reservoir zurückgeführt. Wien Energie plant mehrere voneinander unabhängige Geothermieranlagen mit einer Leistung von jeweils ca. 17 MW_{th}. Die ersten Anlagen sollen im Laufe der 2020er-Jahre ihren Betrieb aufnehmen.

Wärmepumpen bei Geothermieranlagen: Die Wien Energie-Konzeption der Geothermieranlagen sieht ihre Ausstattung mit Wärmepumpen vor. Den Wärmepumpen kommen in diesen Anlagenkombinationen zwei Rollen zu: Einerseits können sie die aus dem Thermalwasser gewonnene Wärme im Winter auf ein höheres Temperaturniveau anheben. Dadurch wird die Einspeisung in das Fernwärmenetz auch in Hochlastzeiten möglich, wenn das Wiener Fernwärmenetz auf einem höheren Temperaturniveau gefahren wird („Nachheizbetrieb“). Andererseits können die Wärmepumpen den Rest des Jahres die Restwärme aus dem Fernwärmerücklauf (unmittelbar vor dem Geothermie-Wärmetauscher) nutzen und diese Restwärme auf die Fernwärme-Vorlauftemperatur anheben. Zusätzlich wird dadurch dem Thermalwasser (infolge der höheren Temperaturspreizung im Wärmetauscher) mehr Wärme entzogen („Beimischbetrieb“). In beiden Betriebsarten können die Wärmepumpen ganzjährig zur Fernwärmeproduktion eingesetzt werden und verfügen je Geothermieranlage (d. h. je Paar von Bohrungen) über eine Leistung von typischerweise ca. 8 MW_{th}.

Hinsichtlich der **thermischen Abfallverwertung** wurden in beiden Szenarien erforderliche Ersatzinvestitionen in MVAs (mit dann geringfügig kleinerer Wärmeauskopplung) und der Weiterbestand aller anderen derzeitigen Wiener MVAs modelliert. Ausgehend von – trotz wachsender Bevölkerung – absolut unverändertem Müllaufkommen und unverändertem Energiegehalt des Mülls können die MVAs auch 2040 erhebliche Fernwärmemengen produzieren. Ein Teil des Wiener Mülls ist biogenen Ursprungs und die entsprechenden Emissionen aus der thermischen Abfallverwertung somit CO₂-neutral. Die Verbrennung der nichtbiogenen Anteile verursacht jedoch fossile Emissionen. Um die CO₂-Neutralität der gesamten in MVAs produzierten Wärme sicherzustellen, wurde die **Ausstattung der MVAs mit Einrichtungen zur CO₂-Abscheidung** („Carbon Capture“) – unter Annahme entsprechender Nutzung des sequestrierten CO₂ – als einzig verfügbare Alternative modelliert. Die Dimensionierung der Anlagen berücksichtigt dabei, dass die CO₂-Sequestrierung nie vollständig ist (annahmegemäß werden 85 % des produzierten CO₂ aus dem Abgasstrom abgeschieden). Da ein Großteil der

MVA-Emissionen (annahmegemäß 60 %) jedoch biogenen Ursprungs ist, kann eine vollständige Abscheidung der fossilen CO₂-Emissionen dennoch erreicht werden. Der Umfang der Nutzung von Carbon Capture erfolgt dabei unter der Maßgabe, das Emissionsziel mit möglichst geringen Gesamtkosten zu erreichen.

Die Analysen und Konzeptionen zum Thema Carbon Capture in Wien stehen noch am Anfang – auch hinsichtlich der Rolle und Nutzung von sequestriertem CO₂ im Rahmen einer Kreislaufwirtschaft.²³ Die der vorliegenden Studie zugrunde gelegten Annahmen stellen daher erste Schätzungen dar und insbesondere hinsichtlich erforderlicher Investitionen kann es zu deutlichen Abweichungen von den angenommenen Werten kommen.

Neben den Wärmeproduktionsanlagen wurden auch **Wärmespeicher** (Kurzfristspeicher und saisonale Speicher) bei der Entwicklung des zukünftigen Anlagenportfolios berücksichtigt (siehe Box 5 und Abbildung 15).

Box 5: Wärmespeicher

Bei Wärmespeichern werden grundsätzlich Kurzfristspeicher einerseits und saisonale Speicher andererseits unterschieden.

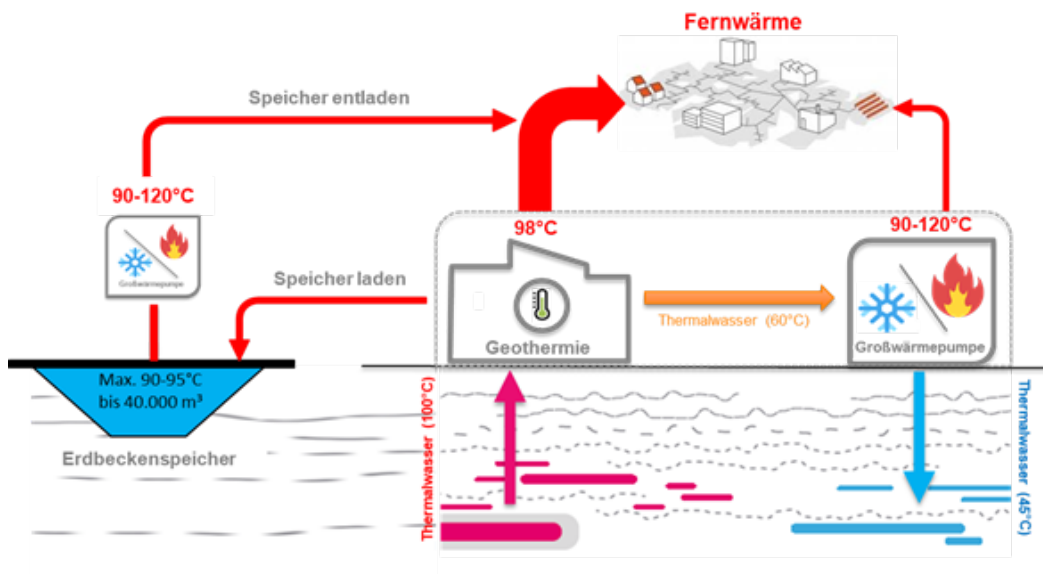
Kurzfristspeicher zeichnen sich durch relativ hohe Ein- und Ausspeicherraten bei vergleichsweise geringen Speichervolumina aus. Somit haben diese Speicher sehr kurze Umschlagdauern (= Zeit zur vollständigen Be- und Entladung des Speichers). Wien Energie betreibt bereits seit 2003 einen Kurzfrist-Wärmespeicher in Form eines Hochdruck-Wasserspeichers in Simmering. Dieser dient vor allem der Entkopplung der strommarktgetriebenen Produktion in KWK-Anlagen vom Wärmebedarf im Fernwärmenetz.

Saisonale Speicher hingegen verfügen über erhebliche Speichervolumina, die jedoch über längere Zeiten mit vergleichsweise geringeren Raten befüllt werden. Diese Speicher werden typischerweise entweder als Erdbecken-Speicher (mit Wasser und/oder einem anderen Speichermedium gefüllte und gegen die Umgebung isolierte Erdbecken) oder als Aquiferspeicher (wasserführende geologische Formationen, in denen über Tiefbohrungen Wärme über längere Zeiten eingelagert und wieder entnommen werden kann) ausgeführt.

23

Es gibt eine Vielzahl möglicher Einsatzbereiche von sequestriertem CO₂, in denen entweder anderweitig gewonnenes CO₂ verdrängt wird (z. B. in der Lebensmittelindustrie oder als industrielles Gas) oder fossile Rohstoffe ersetzt werden können (z. B. in der Produktion von Basischemikalien wie Methanol und Ethanol).

Abbildung 15: Zusammenspiel von Geothermie und Wärmespeicher



Anmerkungen: Schematische Darstellung – die Wärmepumpenanordnung entspricht nicht der Beschreibung in Box 4 (Konzeptstudie für einen ausgewählten Standort, Speicher dient als Pilotanlage)
 Quelle: Wien Energie

Auf Grundlage der beschriebenen Anlagenkomponenten wurden für beide Szenarien jeweils **gesamtkostenoptimale Weiterentwicklungen des Anlagenparks** ermittelt. Das für das Szenario „Klimaneutral 2040“ ermittelte Produktionsportfolio beinhaltet neben der (im Rahmen der Modellierung vorgegebenen) **Ersatzinvestition in eine gasbefeuerte KWK-Anlage** (380 MW_{th}) **erhebliche Geothermiekapazitäten** (2040: 290 MW_{th}) und die damit verbundenen **Wärmepumpen** (2040: 125 MW_{th}). Darüber hinaus wird bis 2040 in mehr als 200 MW_{th} andere Wärmepumpen und fast 190 GWh an **Wärmespeichern** investiert. Für diesen Anlagenpark zur **Fernwärmeproduktion** wurden bis 2040 **Investitionsvolumina von ca. 1,7 Mrd. EUR₂₀₂₁** abgeschätzt.²⁴ Die zusätzlich bis 2040 für den Ausbau des **Fernwärmenetzes** erforderlichen Investitionen zum Anschluss der Endverbraucher und der Geothermieproduktion wurden auf **ca. 750 Mio. EUR₂₀₂₁** geschätzt.

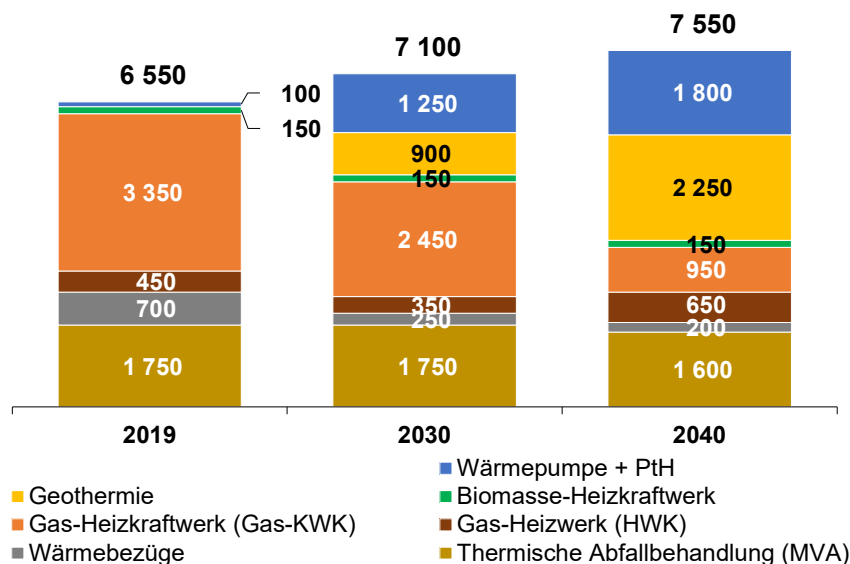
Auf Basis des so weiterentwickelten Anlagenparks ergibt sich für das Szenario „Klimaneutral 2040“ eine deutliche Verschiebung des **Schwerpunkts der Wärmeproduktion** von KWK-Wärme hin zur Fernwärme aus **Geothermie und Großwärmepumpen** (Abbildung 16). Obwohl Wien Energie im Szenario „Klimaneutral 2040“ auch 2040 noch über erhebliche gasbefeuerte KWK-Kapazitäten verfügt (2040: 880 MW_{th}), kommen diese deutlich weniger oft zum Einsatz als in den Jahren davor. Einerseits wird KWK-Wärme durch die Produktion in dann stark ausgeweitete Geothermie- und Wärmepumpenkapazitäten verdrängt. Andererseits führen die Veränderungen am Strommarkt – mit einer stark steigenden Anzahl an Stunden mit

24

Dies beinhaltet die Investitionen in die Geothermieranlagen, die Wärmepumpen, das Nach-Invest in die MVA Flötzersteig, die Ausstattung der MVAs mit Anlagen zur CO₂-Sequestrierung sowie die Hälfte der Investitionssumme für die neue KWK-Anlage.

sehr geringen und dafür wenigen Stunden mit sehr hohen Strompreisen – zu reduzierten KWK-Einsatzzeiten.

Abbildung 16: Entwicklung der Fernwärmeaufbringung [GWh/a] – „Klimaneutral 2040“

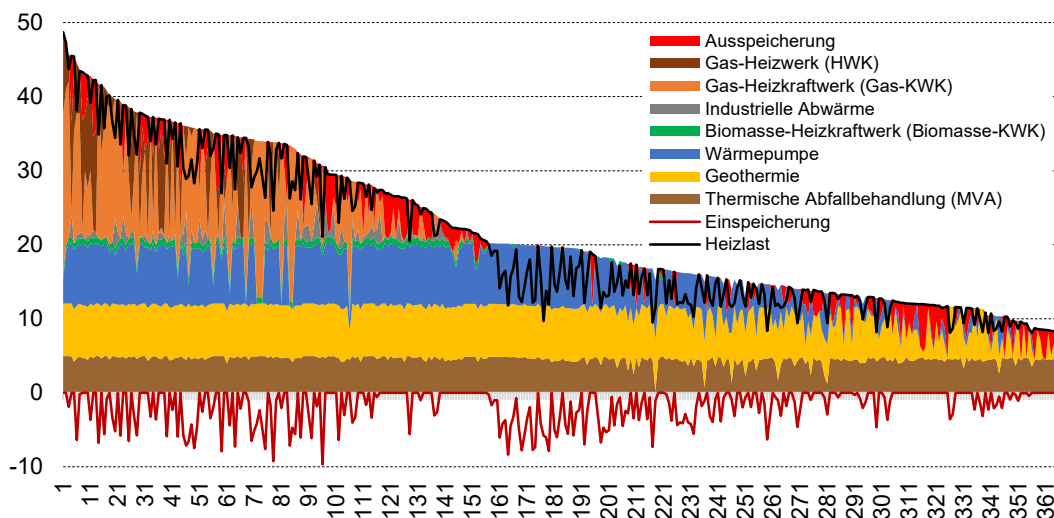


Anmerkungen: Zahlenwerte sind auf ganze 50 GWh gerundet; Summenproduktion über den Säulen
Summen gerundeter Werte entsprechen nicht immer den gerundeten Summenwerten.

Quelle: Compass Lexecon-Analyse auf Basis Statistik Austria, 2020a (für 2019) und auf Basis der Studienannahmen (2030 und 2040)

Wesentliche Grundlasttechnologien sind 2040 (weiterhin) die thermischen Abfallbehandlungsanlagen (MVAs) sowie – nunmehr neu – Geothermieranlagen. Abgesehen von Wartungsintervallen im Sommer produzieren MVAs und Geothermieranlagen praktisch das gesamte Jahr hindurch Wärme. Auf ebenso sehr hohe Betriebsstunden (6 000 bis 7 000 Volllaststunden) kommen Wärmepumpen (Abbildung 17).

Abbildung 17: Dauerlinie der Fernwärmeproduktion im Jahr 2040 [GWh/d] – „Klimaneutral 2040“



Anmerkungen: Dargestellt ist die Dauerlinie der Tagesmengen.

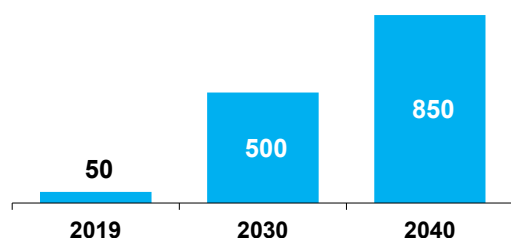
Quelle: Compass Lexecon-Analyse auf Basis der Studienannahmen

Während die Jahresproduktion der KWK-Anlagen deutlich zurückgeht, nimmt KWK-Wärme im Winter nach wie vor eine bedeutende Rolle ein. **KWKs produzieren auch 2040 noch fast 1 TWh Fernwärme.** Darüber hinaus ermöglichen KWKs die Wärmeproduktion in Zeiten sehr hoher Strompreise, wodurch der (dann sehr teure) Stromverbrauch der Wärmepumpen reduziert oder gänzlich vermieden werden kann (Abbildung 17).

Neben Investitionen in neue Anlagen (Geothermie, Wärmepumpen, Speicher und CO₂-Sequestrierung für die thermische Abfallverwertung) ist die Nutzung ausschließlich von Grüngas ab 2040 im Szenario „Klimaneutral 2040“ der Schlussstein zur vollständig CO₂-neutralen Fernwärmeaufbringung. Zugleich wird so auch die damit einhergehende zentrale Stromproduktion in den KWK-Anlagen der Wien Energie dekarbonisiert (siehe Abschnitt 8). In Summe benötigen die Wiener **KWKs und HWKs 2040 ca. 3,9 TWh Grüngas.** Sobald in den 2040er-Jahren weitere Anlagen ihr Lebensdauerende erreicht haben, wird sich die benötigte Grüngasmenge jedoch reduzieren.

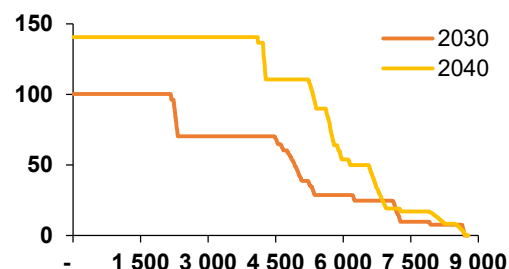
Durch die starke Ausweitung der Nutzung von Großwärmepumpen und Geothermie steigt der **Strombedarf in der Fernwärmeproduktion** deutlich. Im Szenario „Klimaneutral 2040“ werden dadurch **2040 mit ca. 850 GWh pro Jahr** etwa 10 % des gesamten heutigen Wiener Gesamtstrombedarfs²⁵ für die Fernwärmeproduktion genutzt (Abbildung 18). Aufgrund der hohen Benutzungsdauer der Wärmepumpen und Geothermieranlagen bleibt der Strom-Leistungsbedarf in der Fernwärmeproduktion jedoch – trotz hoher Jahresmengen – im Vergleich moderat bei max. ca. 140 MW im Jahr 2040 (Abbildung 19).

Abbildung 18: Jahresstrombedarf für Fernwärme [GWh] – „Klimaneutral 2040“



Anmerkung: Werte auf ganze 50 GWh gerundet
 Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

Abbildung 19: Dauerlinie Strombedarf für Fernwärme [MWh/h] – „Klimaneutral 2040“



Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

In der Diskussion mit Wien Energie wurden mehrere **Erfolgsfaktoren** für das Gelingen der Dekarbonisierung des Wärmesektors und den umfangreichen Einsatz dekarbonisierter Fernwärme entsprechend den modellierten Szenarien identifiziert:

- Anreize für den **Anschluss von Bestandsgebäuden an die Fernwärme:** Aktuell machen Neubauten die Mehrzahl der Fernwärme-Neuanschlüsse aus. Um die ambitionierten

²⁵

Dieser beinhaltet neben dem Stromendenergiebedarf auch die Netzverluste sowie die Bedarfe im Sektor Energie.

Neuanschlussziele und die damit erforderliche Ausweitung der Fernwärme auch im Gebäudebestand zu erreichen, sind absehbar zusätzliche Anreize (z. B. im Rahmen des Wärme- und Kälteleitungsausbaugesetzes – WKLG) erforderlich;

- Koordinierung der Ausweitung der Fernwärme im Rahmen einer „**Energieraumplanung**“, die sicherstellt, dass über getätigte Investments in das Fernwärmenetz auch tatsächlich die größtmögliche Anzahl an Gebäuden mit Fernwärme versorgt wird;
- Anreize für den raschen Hochlauf der **Grüngasproduktion und -nutzung**, um sicherzustellen, dass Grüngas bis 2040 in den erforderlichen Mengen und zu attraktiven Preisen verfügbar und nutzbar wird (Anreize dabei können z. B. über Investitions- oder Betriebskostenzuschüsse für Grüngasproduktion oder -einsatz, Reduktionen von Steuern und Abgaben, Zugang zu begünstigten Finanzierungsmaßnahmen oder Maßnahmen zur Anregung von Nachfrage gesetzt werden);
- Unterstützung des **Geothermieausbaus** durch Verwaltungsverfahren, die hinsichtlich Komplexität und Dauer der Bedeutung dieser Technologie für die Dekarbonisierung urbaner Energiesysteme gerecht werden;²⁶
- Reduktion der **Abgabenlast** (Steuern und Umlagen) **für Strom**, der in Großwärmepumpen oder Geothermieranlagen zur Fernwärmeproduktion genutzt wird und damit zu Dekarbonisierung des Wärmesektors beiträgt;
- Technologiespezifische **Anreize zur Erschließung von Quellen, die zur Dekarbonisierung der Fernwärmeproduktion** erforderlich sind (Großwärmepumpen, Geothermieranlagen und Carbon Capture) – bzw. ihre Verlängerung und Ausweitung.

Aus der Transformation der Fernwärme ergeben sich dabei auch vielfältige Chancen; zu den bedeutendsten zählen:

- Fernwärme eröffnet eine **Dekarbonisierungsoption** im dicht bebauten urbanen Gebiet;
- die mit Geothermie und Großwärmepumpen aus dem eingesetzten Strom erreichbare **Wärmeausbeute** liegt deutlich über jener von Wärmepumpen, die in der Individualwärme eingesetzt werden; insgesamt wird daher durch Fernwärmenutzung die **Belastung für den Stromsektor begrenzt**;
- die Einbettung von Wärmepumpen in ein **Anlagenportfolio**, das zudem Speicher enthält, ermöglicht eine weitere **Entlastung für die Stromaufbringung**. Da im Produktionsportfolio auch Anlagen verfügbar sind, die keinen Strom zur Wärmeproduktion benötigen, kann der Strombezug in Zeiten reduzierter erneuerbarer Erzeugung begrenzt werden – eine Möglichkeit, die bei Wärmepumpen in der Individualwärme typischerweise nicht oder nur eingeschränkt besteht;

26

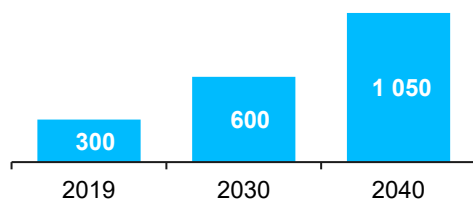
Diese Verwaltungsverfahren liegen in Bundeskompetenz.

- regionale **Wiener Wertschöpfung** für den Ausbau des Fernwärmenetzes und der Fernwärmeproduktion.

5.7 Kühlung & Klimatisierung: Der Strombedarf für Kühlung & Klimatisierung steigt bis 2040 absehbar deutlich

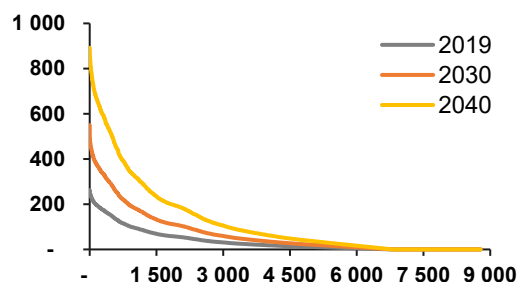
Ausgangspunkt der Analysen ist der heutige Energiebedarf für Kühlung & Klimatisierung gemäß der Nutzenergieanalyse für Wien (Statistik Austria, 2020) sowie für die Haushalte die Fortschreibung der Abschätzung gemäß Treberspurg et al. (2017). Die Modellierung der Klimatisierung folgt in beiden Szenarien den Annahmen der Berechnungen zur Smart-City-Rahmenstrategie. Es wird daher sowohl von einem **steigenden Kühlungs- und Klimatisierungsbedarf** infolge von steigenden Kühlgradtagen²⁷ (0,5 Prozentpunkte Zuwachs pro Jahr) als auch von einer **breiteren Nutzung von Kühlung und Klimatisierung** in den Sektoren Dienstleistung, Industrie und Haushalte (5 % Zuwachs pro Jahr) ausgegangen.

Abbildung 20: Jahresstrombedarf für Klimatisierung [GWh] – „Klimaneutral 2040“



Anmerkung: Werte auf ganze 50 GWh gerundet
Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

Abbildung 21: Dauerlinie Strombedarf für Klimatisierung [MWh/h] – „Klimaneutral 2040“



Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

Im Ergebnis **steigt der Energiebedarf für Kühlung und Klimatisierung** dadurch in beiden Szenarien deutlich, und zwar **um ca. 240 % von ca. 300 GWh heute (2019) auf mehr als 1 TWh im Jahr 2040**. Durch die Witterungsabhängigkeit des Klimatisierungsbedarfs und die daraus resultierende starke Konzentration des Energiebedarfs auf die Sommermonate ist von einem erheblichen Leistungsbedarf für Klimatisierung auszugehen. Dieser wurde unter Nutzung gemessener Lastprofile auf fast 900 MW im Jahr 2040 geschätzt.²⁸

Vorteilhaft wirkt sich die absehbar starke Korrelation zwischen Klimatisierungsbedarf und Stromproduktion in Photovoltaikanlagen aus. Allerdings zeigt sich aus dem Vergleich des

²⁷ Eine statistische Größe zur Abschätzung des Klimatisierungsbedarfs, bei der die Differenz zwischen der normgemäßen Innentemperatur (18,3°C) und der Tagesmitteltemperatur eines Tages für alle Tage aufsummiert wird, an denen die Tagesmitteltemperatur über der Kühlgrenztemperatur (18,3°C) liegt.

²⁸ Für diese Abschätzung wurde ein Lastgang der Wien Energie für ein Fernkühlnetz (mit diversifizierter Verbraucherstruktur) genutzt – eine Deckung des gesamten Klimatisierungsbedarfs durch Fernkälte ist jedoch weder modelliert noch zu erwarten.

Strombedarfs für Klimatisierung mit der Stromproduktion aus PV-Anlagen auch die Bedeutung dieses Segments sowie allfälliger Anreize und Maßnahmen zur Bedarfsdämpfung (siehe Abschnitt 8.2: 2040 werden unter Ausschöpfung der absehbaren Potenziale in Wien ca. 1,3 TWh PV-Strom produziert).

Neben der Nutzung von individuellen Kühl- und Klimageräten wird schon heute ein Teil des Klimatisierungsbedarfs in Wien über Fernkälte gedeckt (Box 6). Fernkälte ist dabei generell effizienter als individuelle Klimaanlage und kann daher zur Reduktion des Strombedarfs beitragen. Darüber hinaus vermeiden Kältenetze die Abgabe von Abwärme aus der Klimatisierung im urbanen Raum und können somit zur Verbesserung des Stadtklimas beitragen.

Box 6: Fernkälte

Wien verfügt bereits heute über **Fernkältenetze**. In Fernkältenetzen wird 7°C kaltes Wasser transportiert, das mit Absorptions- oder Kompressionskältemaschinen bzw. Wärmepumpen gekühlt wurde. In den an ein Fernkältenetz angeschlossenen Gebäuden werden damit Lüftungsanlagen, Kühldecken oder Fan Coils betrieben, um Räume und Geräte zu kühlen. Aktuell wird Fernkälte in erster Linie im Dienstleistungsbereich und in geringerem Ausmaß in Wohngebäuden genutzt. Insbesondere Gebiete mit hohem Anteil an Dienstleistungsunternehmen – wie die Wiener Innenstadt – sind infolge der hohen Bedarfsdichte für Klimatisierung typischerweise gut für den Ausbau von Fernkälte geeignet

Abschnitt 6

Mobilität

6.1 **Veränderter Rahmen: Die veränderten Zielsetzungen beschleunigen die vollständige Dekarbonisierung des Mobilitätssektors um 10 Jahre**

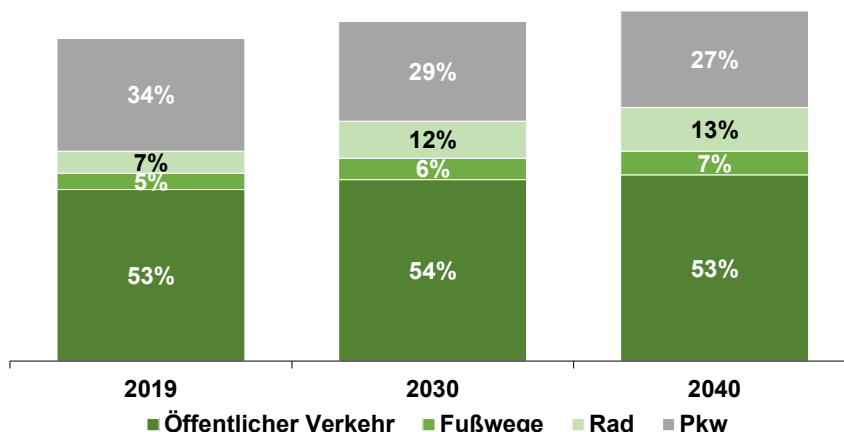
In beiden Szenarien wird vom grundsätzlich gleichen Mobilitätsbedarf und von den gleichen Veränderungen des Modalsplit im Zeitablauf – hin zu mehr Fußwegen, Radnutzung und Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel – ausgegangen. Wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Szenarien ist jedoch der Zeitpunkt der vollständigen Dekarbonisierung. Während bisher der Mobilitätssektor erst 2050 keine CO₂-Emissionen mehr verursachen sollte (dies ist im Szenario „Bisherige Ziele“ reflektiert), soll dieses Ziel entsprechend den neuen Vorgaben bereits 2040 erreicht werden (Szenario „Klimaneutral 2040“). Im Ergebnis wird daher durch die neuen politischen Zielsetzungen die Entwicklung im Mobilitätssektor um 10 Jahre beschleunigt.

6.2 **Mobilitätsbedarf: Bei steigendem Verkehrsaufkommen schreitet die Verlagerung weg vom motorisierten Individualverkehr voran**

In der Studie wurde der öffentliche Verkehr einerseits und der Individualverkehr andererseits modelliert. Im Individualverkehr wurde weiter differenziert zwischen Personenverkehr (Pkw), leichte Nutzfahrzeuge und Schwerverkehr (Lkw).

Die Entwicklung des Mobilitätsaufkommens in Wien ist in beiden Szenarien geprägt durch das Bevölkerungswachstum mit entsprechendem Wachstum des Mobilitätsbedarfs und einer Veränderung des Modalsplit hin zu öffentlichem Verkehr sowie Rad- und Fußwegen (Abbildung 22). Hierbei wurden die Annahmen für die Erstellung der Smart-City-Rahmenstrategie 2019 (Urban Innovation, 2019) der Modellierung beider Szenarien zugrunde gelegt.

Abbildung 22: Entwicklung zurückgelegter Wege und des Modalsplit (als Anteil zurückgelegter Wege) im Personenverkehr



Anmerkungen: Die Entwicklung des Modalsplit stellt eine Eingangsgröße in die ausgeführte Modellierung dar – kein Ergebnis.
Die Säulenhöhe entspricht der Entwicklung der zurückgelegten Wege

Die Werte für 2040 stellen Interpolationen der Ziele für 2030 und 2050 dar.

Quelle: Compass Lexecon-Analyse auf Basis Urban Innovation, 2019

6.3 Individualverkehr: Elektromobilität nimmt Fahrt auf

Im Individualverkehr – insbesondere bei Pkws – geht der Trend der Entwicklung scheinbar unaufhaltsam in Richtung Elektromobilität. In den letzten Jahren konnte – international und in Österreich – ein erhebliches Wachstum der Elektromobilität im Personenverkehr beobachtet werden. Ende 2020 haben Elektrofahrzeuge in Österreich 0,9 % des Fahrzeugbestands ausgemacht – eine Steigerung um 50 % ggü. 2019 (Statistik Austria, 2021a). Unter den Neuzulassungen machen Elektrofahrzeuge jedoch mittlerweile (1. Halbjahr 2021) 9,7 % aus und liegen damit bereits vor Plug-in-Hybrid-Antrieben mit ca. 6 % der Neuzulassungen (Statistik Austria, 2021b). Ursache dafür ist nicht zuletzt die Tatsache, dass **Elektroautos mittlerweile preislich konkurrenzfähig** sind (u. a. Rauecker, 2021) – vor allem durch entsprechende Förderungen und Steuererleichterungen. Schließlich hat vor Kurzem auch die EU-Kommission einen Legislativvorschlag präsentiert, der ab 2035 die Zulassung nur mehr von Nullemissionsfahrzeugen vorsieht (Europäische Kommission, 2021b).

Vor dem Hintergrund dieser dynamischen Entwicklungen wurde in beiden Szenarien eine **Dekarbonisierung des Pkw-Verkehrs sowie der leichten Nutzfahrzeuge vollständig über Elektrofahrzeuge** modelliert. Hybrid-Antriebe werden dabei nur als Zwischenschritt zur vollständigen Elektrifizierung genutzt. Zur Erreichung der vollständigen Dekarbonisierung der Mobilität in Wien 2040 bzw. 2050 ist ein ambitionierter Hochlauf der Elektromobilität im Personenverkehr erforderlich. Die den beiden Szenarien zugrunde gelegten Hochlaufkurven der Elektromobilität in Wien orientieren sich dabei an den von AustriaTech (einer Agentur des Umweltministeriums) in ihren Studien entwickelten Szenarien (Eberhard & Steger-Vonmetz, 2019 und Eberhard, 2020). Entsprechend erreichen batterieelektrische Fahrzeuge im Szenario „Bisherige Ziele“ 2030 einen Technologieanteil in Höhe von 27 % und erst nach 2040 100 %; im Szenario „Klimaneutral 2040“ jedoch 2030 bereits 58 % und 2040 100 %.

Im Bereich der Lkws ist derzeit noch unklar, ob Elektroantriebe den vollständigen Durchbruch schaffen werden. Insbesondere für Schwertransporte über lange Strecken scheint der Technologiewettlauf zwischen batterieelektrischen Fahrzeugen, Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antrieb und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren, die dekarbonisierte Flüssigtreibstoffe nutzen, noch nicht entschieden. Für den auf Wien entfallenden Schwerverkehr wurde daher in beiden Szenarien nur eine teilweise Elektrifizierung – im Endzustand jeweils ca. 50 % des Verkehrsaufkommens – modelliert. Für die Dekarbonisierung des verbleibenden Schwerverkehrs wurde sodann jeweils die Nutzung von Wasserstoff angenommen.

6.4 **Öffentlicher Verkehr: Vollständige Dekarbonisierung des öffentlichen Nahverkehrs kann über moderate Steigerungen des direkten Strombedarfs und signifikante Strommengen für die Produktion von Wasserstoff erreicht werden**

Durch den umfangreichen Einsatz von U-Bahnen und Straßenbahnen ist der öffentliche Verkehr Wiens bereits heute weitgehend elektrifiziert und die entsprechende Endenergienutzung daher dekarbonisiert.²⁹ Lediglich die Busflotte verursacht aktuell CO₂-Emissionen aus der Nutzung von Dieselmotoren und Flüssiggas (Wiener Linien, 2020).

In der Modellierung wurde von einer weitgehenden Umstellung der Wiener Busflotte auf Wasserstoffantrieb ausgegangen (ca. 70 % der Wagennutzkilometer). Für die nicht mit Wasserstoff betriebenen Busse wurde ein batterieelektrischer Antrieb modelliert.

Der insgesamt für den **öffentlichen Verkehr in Wien erforderliche Strombedarf** setzt sich somit aus drei Komponenten zusammen:

- Strom, der direkt für den Betrieb von **U-Bahnen und Straßenbahnen** verwendet wird
- Strom, der in **batterieelektrischen Bussen** genutzt wird
- Strom, der zur **Erzeugung von Wasserstoff** für die Flotte erforderlich ist

Im Rahmen der Modellierung wurden die Wege im öffentlichen Verkehr entsprechend dem Verkehrsaufkommen und dem Modalsplit fortgeschrieben und der Endenergiebedarf – unter Beachtung des Energieträgerwechsels und der damit verbundenen Wirkungsgradveränderungen – skaliert. Im Ergebnis steigt der modellierte **Strombedarf für den öffentlichen Verkehr** in beiden Szenarien von ca. 420 GWh im Jahr 2019 auf ca. **460 GWh im Jahr 2040 – zuzüglich ca. 270 GWh für** die Produktion des in Bussen genutzten **Wasserstoffs** (ca. 230 GWh Wasserstoff).

29

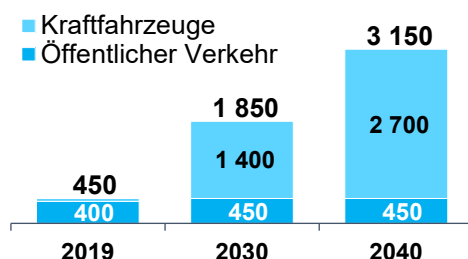
Der Wien zugerechnete Anteil des für den Eisenbahnverkehr erforderlichen Energiebedarfs („Bahnstrom“) bleibt in der Modellierung unberücksichtigt.

6.5 Strombedarf: Elektromobilität treibt den Strombedarf erheblich – der Leistungsbedarf kann durch intelligentes Laden begrenzt werden

Im Ergebnis steigt der Strombedarf für Mobilität in beiden Szenarien signifikant. Durch die vorgezogene vollständige Dekarbonisierung im Szenario „Klimaneutral 2040“ wird hierbei jedoch bereits 2040 ein deutlich erhöhter **Strombedarf für Mobilität von fast 3,2 TWh** erreicht – im Szenario „Bisherige Ziele“ lediglich fast 2,2 TWh. Während der Strombedarf im Bereich Mobilität aktuell (2019) vor allem vom Bedarf der Wiener Linien (U-Bahnen und Straßenbahnen) geprägt ist, ändert sich das Bild 2040 radikal. Entsprechend der Ausweitung des öffentlichen Verkehrs wächst sein Strombedarf moderat auf knapp mehr als 450 GWh. Der Strombedarf für Elektromobilität wächst im Szenario „Klimaneutral 2040“ hingegen von einer nahezu vernachlässigbaren Größe heute auf **mehr als 2,7 TWh** im Jahr 2040 (entsprechend ca. einem Drittel des heutigen gesamten Wiener Stromendverbrauchs). Durch den verzögerten Hochlauf der Elektromobilität im Szenario „Bisherige Ziele“ bleibt der Strombedarf für Elektromobilität 2040 auf 1,7 TWh beschränkt. Insgesamt reduziert der Übergang auf Elektromobilität jedoch den Endenergiebedarf in der Mobilität, da Elektroautos deutlich effizienter sind als vergleichbare Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren.

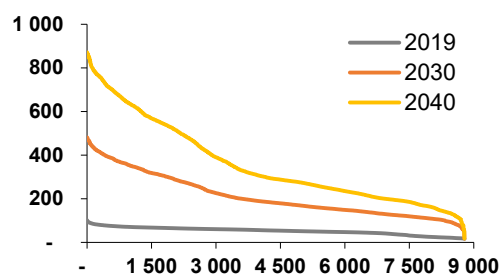
Die Stundenlastgänge für die Stromnutzung des öffentlichen Verkehrs in Wien wurden durch Anwendung historischer Lastgänge auf die Entwicklung der Jahresmengen ermittelt. Für die Elektromobilität wurden die Jahresmengen über das E-Mobilitäts-Standardprofil von ENTSO-E in Lastgänge umgerechnet. Letzteres berücksichtigt kein aktives Lademanagement; die ermittelten Spitzenleistungen eröffnen daher **Potenzial zu Spitzenleistungsreduktion über intelligentes Laden**. Im Ergebnis wird der Strom-Leistungsbedarf im Mobilitätssektor im Szenario „Klimaneutral 2040“ für 2040 auf ca. 870 MWh/h abgeschätzt. Im Szenario „Bisherige Ziele“ liegt die Leistungsspitze 2040 infolge des weniger schnellen Hochlaufs der Elektromobilität entsprechend erst bei ca. 570 MWh/h.

Abbildung 23: Jahres-Strombedarf für Mobilität [GWh] – „Klimaneutral 2040“



Anmerkung: Werte auf ganze 50 GWh gerundet inkl. Strombedarf für öffentlichen Verkehr
 Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

Abbildung 24: Dauerlinie Strombedarf für Mobilität [MWh/h] – „Klimaneutral 2040“

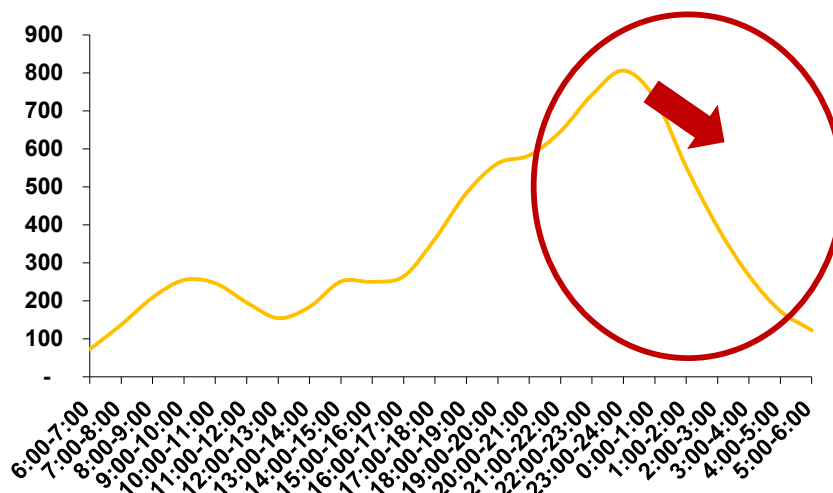


Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

Ein Blick auf das verwendete E-Mobilitäts-Standardprofil von ENTSO-E zeigt deutlich das Potenzial zur Spitzenleistungsreduktion, das in intelligentem Laden steckt (Abbildung 25). Die darin charakteristische Leistungsspitze am Abend bzw. in der frühen Nacht und das massive

Abfallen der Ladeleistung nach Mitternacht werden dabei auch durch wienspezifische empirische Studien bestätigt (z. B. Hüttler et al., 2019).

Abbildung 25: Verlauf Strombedarf für Elektromobilität über einen Tag im Jänner 2040 ohne Lademanagement [MWh/h] – „Klimaneutral 2040“



Quelle: Compass Lexecon-Analyse auf Basis ENTSO-E, 2020

Am Abend zum Laden verbundene Elektroautos schließen den Ladevorgang während der Nacht ab. Am frühen Morgen liegt der Leistungsbedarf beim Tagesminimum. Zeitversetztes Laden über die Nacht eröffnet daher die Möglichkeit, den Leistungsbedarf für Elektromobilität in Gebäuden mit mehreren Ladepunkten, aber auch für Wien in Summe beträchtlich zu reduzieren. Ebenso kann eine Diversifizierung der Ladeinfrastruktur mit verstärkten Lademöglichkeiten auch am Arbeitsplatz – und damit einer Ausweitung des Ladens untertags – zur Reduktion der Spitzenleistung beitragen.

Insgesamt kann die Reduktion der Leistungsbedarfe für die E-Mobilität einen Beitrag zur leichteren, schnelleren und billigeren Umsetzbarkeit der Dekarbonisierung der Mobilität in den Bereichen Stromproduktion und Verteilnetze leisten.

6.6 Lade- und Tankinfrastruktur: Ein Hochlauf der Elektromobilität erfordert den Ausbau der Ladeinfrastruktur – vielfach auch in Bestandsgebäuden

Im Gleichklang mit dem Hochlauf der Elektromobilität ist auch eine signifikante Ausweitung der Ladeinfrastruktur in Wien erforderlich. Der Umfang der erforderlichen Ladeinfrastruktur ist noch immer Gegenstand von Analysen und Diskussionen. Während empirische Analysen aus Norwegen von 0,2 bis 0,6 Ladepunkten pro Elektroauto berichten (Pfaffenbichler et al., 2017), gehen Szenariorechnungen für Österreich von 1,0 Ladepunkten pro Elektroauto aus (Eberhard, 2020). Zur Abschätzung des Investitionsbedarfs in die Ladeinfrastruktur in Wien wurde von in Summe 0,8 Ladestellen pro Elektroauto (mehrheitlich im privaten Bereich, d. h. in/bei

Wohn- und Bürogebäuden) ausgegangen.³⁰ Dem übergreifenden Ziel einer Dämpfung der Lastspitze folgend ist die Mehrzahl davon maximal als 11-kW-Ladepunkt ausgeführt. Entsprechend dem Bedarf, auch Fahrzeugen, die nicht auf öffentlichen Verkehrsflächen abgestellt sind, den Zugang zu Ladepunkten zu ermöglichen sowie Lademöglichkeiten am Arbeitsplatz auszuweiten, wird in hohem Umfang auch die Installation von Ladepunkten in Bestandsgebäuden erforderlich sein.

Auf Basis dieser Annahmen liegen die für das Szenario „Klimaneutral 2040“ abgeschätzten **Investitionen** in die öffentliche und private **Ladeinfrastruktur Wiens für E-Mobilität sowie Wasserstofftankstellen bis 2040** bei **ca. 1,3 Mrd. EUR₂₀₂₁**.³¹ Erforderliche Anpassungen im Strom-Verteilnetz wurden in dieser Studie nicht analysiert. In der Investitionsabschätzung wurden jedoch Netzbereitstellungsentgelte, die erforderliche Ausbauten (zumindest teilweise) abgelten, berücksichtigt. Ebenfalls berücksichtigt wurden die erwarteten fortschreitenden Kostendegressionen im Bereich der Ladeinfrastruktur (Capros et al., 2018).

6.7 Erfolgsfaktoren: Die Dekarbonisierung der Wiener Mobilität ist vor allem vom raschen Ausbau der Ladeinfrastruktur im nichtöffentlichen Bereich abhängig

Da der öffentliche Verkehr bereits weitgehend elektrifiziert ist und der Schwerverkehr hinsichtlich seiner Emissionen in Wien eine untergeordnete Rolle spielt, ist die Dekarbonisierung der Wiener Mobilität vorrangig vom Personen- und leichten Wirtschaftsverkehr abhängig. In Anbetracht der Eigendynamik im Markt für Elektroautos selbst rückt dabei vor allem der Aufbau der Ladeinfrastruktur in den Vordergrund. Für ihren raschen Aufbau wurden mehrere **Erfolgsfaktoren** identifiziert:

- Erweiterung der **Ladeinfrastruktur in Bestandsgebäuden**:
 - hierbei erschweren die aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen auf Bundesebene eine Installation von Ladepunkten vor allem in Mehrparteiengebäuden – erste Anpassungen an bundesgesetzliche Regelungen (u. a. Wohnungseigentumsgesetz – WEG) sind dabei nunmehr auf den Weg gebracht (Parlament, 2021)
 - über die Schaffung bzw. Verstärkung von Anreizen zur **koordinierten Installation von Ladeinfrastruktur in Bestandsgebäuden** für alle (prospektiven) Nutzer können zudem Gesamtkosten reduziert werden (u. a. über die Nutzung von Skalenvorteilen und das Ermöglichen koordinierten/intelligenten Ladens)

³⁰ Unter anderem die große Bandbreite der Literaturwerte illustriert die großen Unsicherheiten, mit denen Abschätzungen zur Entwicklung der Ladeinfrastruktur im urbanen Raum noch behaftet sind. Dies liegt nicht zuletzt an noch unklaren Veränderungen des Nutzerverhaltens (v. a. hinsichtlich der Frage, wie oft bzw. wie lange zukünftig typischerweise geladen wird).

³¹ Dieser Wert ist nicht um aktuelle und allfällig zukünftige Förderungen für die Errichtung von Ladeinfrastruktur gekürzt.

- Sicherstellen ausreichender **Ladeinfrastruktur im Neubau**: Überprüfung der Vorgaben (Bauordnung) zur **Vorinstallation im Neubau** auf Angemessenheit im Lichte einer vollständigen Elektrifizierung des Individualverkehrs bis 2040
- Beibehaltung bzw. ggfs. Verstärkung von Anreizen zur **Nutzung intelligenter Ladeinfrastruktur** (insbesondere in großen Wohngebäuden) zur Begrenzung der Leistungsspitzen für das Laden der Elektrofahrzeuge Wiens
- **Fachkräfte** zur Installation von Ladepunkten – auch im Bereich Mobilität besteht der Bedarf nach Anpassungen an eine große Zahl von Bestandsgebäuden, um diese mit Ladeinfrastruktur nachzurüsten. Dies geht einher mit dem entsprechenden Bedarf nach Fachkräften zu ihrer Ausführung und ggfs. entsprechend positiven Auswirkungen auf die regionale Wertschöpfung in Wien.³²
- Schließlich ist für den Erfolg der Elektromobilität in Wien ggfs. der Ausbau der **Strom-Verteilnetzinfrastruktur** erforderlich.³³

³² Entsprechende makroökonomische Analysen waren nicht Gegenstand der vorliegenden Studie.

³³ Anpassungsbedarfe an der Stromverteilnetzinfrastruktur in Wien wurden im Rahmen dieser Studie nicht betrachtet.

Abschnitt 7

Sonstiger Energiebedarf

7.1 **Veränderter Rahmen: Vorgezogene und vollständige Dekarbonisierung der sonstigen Energiebedarfe ist bereits 2040 erforderlich**

Bisher war im Rahmen der Ziele der Smart-City-Rahmenstrategie die Reduktion der Emissionen aus dem sonstigen Energieverbrauch auf ca. die Hälfte bis 2050 ggü. dem Wert von 2005 vorgesehen. Diese Vorgabe wird entsprechend in der Modellierung für das Szenario „Bisherige Ziele“ berücksichtigt. Die neue politische Zielsetzung der Klimaneutralität Wiens 2040 bedeutet auch für diesen Sektor eine bedeutende Erhöhung der Ambition. Im Szenario „Klimaneutral 2040“ wird daher nun die Reduktion der CO₂-Emissionen im Bereich des sonstigen Energieverbrauchs auf 0 bereits 2040 modelliert.

7.2 **Ist-Situation: Der „sonstige“ Energiebedarf Wiens ist bereits heute stark elektrifiziert**

Der sonstige Energiebedarf Wiens umfasst folgende Anwendungen:

- Energie zum **Kochen**
- Strom für **Elektrogeräte** im Haushalt sowie im Industrie- und Dienstleistungssektor³⁴
- Energie für **Prozesswärme** im Industrie- und Dienstleistungssektor³⁵
- Energie für „**Standmotoren**“³⁶

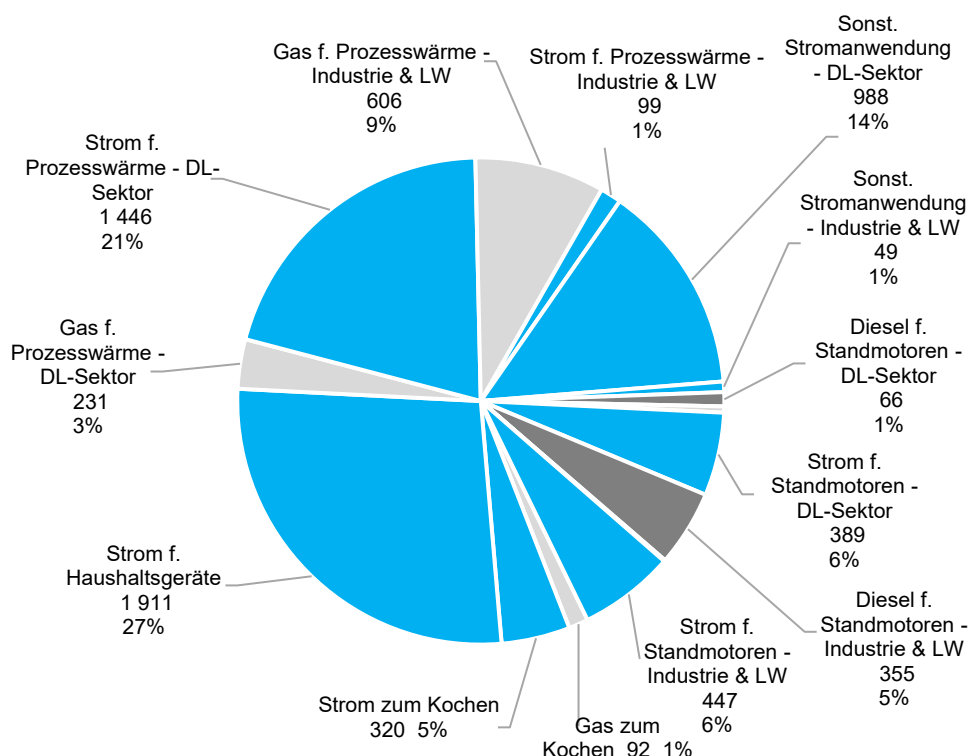
Bereits heute (2019) wird der überwiegende Teil des „sonstigen Energiebedarfs“ durch Strom gedeckt (80 % des Endenergiebedarfs in diesem Segment) (Abbildung 26). Es verbleiben somit drei Anwendungen (Statistik Austria, 2020), in denen aktuell noch fossile Energieträger eingesetzt werden: Kochgas, Standmotoren in Industrie und Gewerbe sowie Prozesswärme.

³⁴ Exklusive Klimatisierung, diese ist im Gebäudebereich behandelt

³⁵ Exklusive Warmwasserbereitung im Dienstleistungssektor, diese ist im Gebäudebereich behandelt

³⁶ Im Unterschied zu Motoren in Fahrzeugen haben diese Motoren einen grundsätzlich festen Standort

Abbildung 26: „Sonstiger Energiebedarf“ – Aufgliederung Endenergiebedarf 2019



Anmerkungen: Erste Zahl Endenergiebedarf in GWh, zweite Zahl Anteil am Gesamtbedarf
DL ... Dienstleistungen, LW ... Landwirtschaft

Quelle: Compass Lexecon-Analyse auf Basis von Statistik Austria, 2020

7.3 Entwicklung: Der Dekarbonisierungsbedarf fokussiert auf Prozesswärme, Standmotoren und Kochgas

Die anderen Energiebedarfe (mit Ausnahme der Kochenergie) weisen hinsichtlich ihrer Dekarbonisierung erhöhte Komplexität aufgrund der im Vergleich zu Mobilität und Raumwärme diverseren Anwendungsfelder auf. Allgemeine Aussagen zu Technologieoptionen zur Dekarbonisierung sind daher schwieriger bzw. mit größerer Unsicherheit behaftet. Dies gilt umso mehr, als die Datenlagen zu den konkreten Anwendungen beschränkt sind. Vor diesem Hintergrund wurde die Entwicklung der anderen Energiebedarfe für die vorliegende Studie abgeschätzt.

Die Modellierung der Nutzenergiebedarfe berücksichtigt dabei zwei gegenläufige Entwicklungen. Einerseits steigt der Bedarf durch Bevölkerungswachstum (für Haushaltsgeräte und Kochenergie) bzw. Wirtschaftswachstum (in den anderen Bereichen). Andererseits reduziert sich der Bedarf durch Energieeffizienzsteigerung (die entsprechend den Ansätzen bei der Erstellung der Smart-City-Rahmenstrategie 2019 gewählt wurden (Urban Innovation, 2019)).

Im Szenario „Bisherige Ziele“ wird von einem weitgehend unveränderten Energieträgermix ausgegangen. Das Dekarbonisierungsziel wird allein durch den resultierenden Energieeffizienzeffekt erreicht.

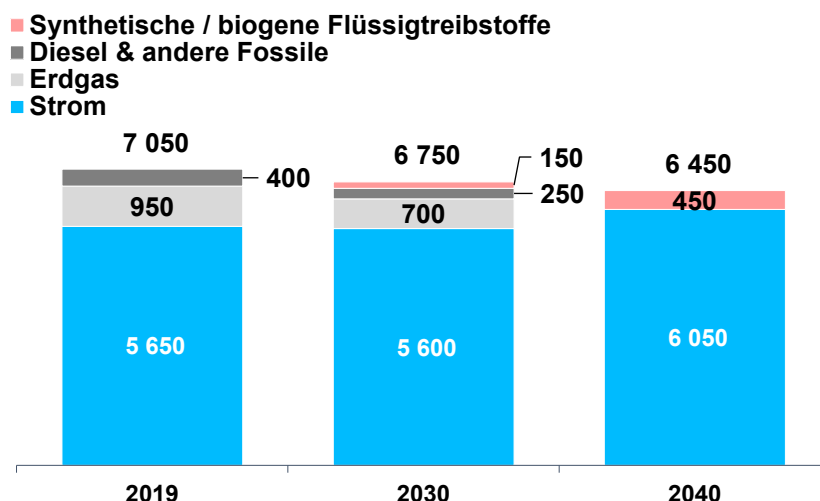
Für das Szenario „Klimaneutral 2040“ ist hingegen eine Veränderung in den verbleibenden Bereichen fossiler Energieträgernutzung erforderlich. Die drei Bereiche umfassen:

- **840 GWh Erdgas** und andere fossile Energieträger für **Prozesswärme** im Industrie- und Dienstleistungssektor
 - Der Schwerpunkt des Prozesswärmebedarfs liegt im Bereich von Wärme unter 200°C (ca. 70 % des Endenergiebedarfs).
 - Von den verbleibenden ca. 260 GWh Endenergiebedarf für Prozesswärme über 200°C resultieren fast 100 GWh aus der Sparte „Nahrungs- & Genussmittel und Tabak“, gefolgt vom Dienstleistungssektor mit ca. 40 GWh.
 - Im Bereich der Prozesswärme stehen mit Wärmepumpen und direktelektrischer Wärme adäquate dekarbonisierte Alternativen zur Nutzung fossiler Energieträger zur Verfügung (siehe auch Madeddu et al., 2020). Die klassisch nur schwierig zu elektrifizierenden Industriezweige wie Eisen- und Stahl-, Zement- oder Glasindustrie sind in Wien ohnehin nicht vorhanden.
 - Im Szenario „Klimaneutral 2040“ wird daher von einer vollständigen Elektrifizierung der Prozesswärme bis 2040 ausgegangen. Als konservativer Ansatz wird dabei von einem Wirkungsgrad von 1 – also direktelektrischer Wärme – ausgegangen. Vielfach wird jedoch auch der Einsatz von Wärmepumpen mit entsprechend erhöhtem Wirkungsgrad und damit geringerem Strombedarf möglich sein.
 - Alternativ zu vollständiger Elektrifizierung wäre für Prozesswärme – insbesondere für Hochtemperaturanwendungen – jedoch auch der Einsatz grüner Gase denkbar.
- **450 GWh Diesel** und andere fossile Energieträger für **Standmotoren** im Industrie- und Dienstleistungssektor
 - Hierbei handelt es sich vor allem um dieselmotriebene Notstromaggregate sowie Baumaschinen.
 - Elektrifizierung ist hierbei entweder grundsätzlich nicht möglich (Notstromaggregate) oder absehbar schwierig (Baumaschinen).
 - Im Szenario „Klimaneutral 2040“ wird daher ein Ersatz der fossilen Treibstoffe mit dekarbonisierten Flüssigtreibstoffen (biologischen oder synthetischen Ursprungs) modelliert. Im Ergebnis werden in diesem Subsegment 2040 ca. **450 GWh dekarbonisierte Flüssigtreibstoffe** benötigt.
- **90 GWh Kochgas** – hier steht mit Elektroherden eine gleichwertige dekarbonisierte Technologie zur Verfügung; im Szenario „Klimaneutral 2040“ wird daher von vollständiger Elektrifizierung bis 2040 ausgegangen.

7.4 Strombedarf: Während steigende Energieeffizienz den „sonstigen“ Endenergiebedarf reduziert, steigt der Strombedarf bis 2040

Durch die Verlagerung der bisher mit fossilen Energieträgern gedeckten Endenergiebedarfe auf Strom **steigt der Strombedarf** im Szenario „Klimaneutral 2040“ um **ca. 10 % auf ca. 6,2 TWh**. Fortschreitende Energieeffizienz verhindert hierbei eine stärkere Steigerung.

Abbildung 27: Entwicklung sonstiger Energiebedarf [GWh] – „Klimaneutral 2040“



Anmerkungen: Ergebnisse gerundet auf ganze 50 GWh
Über den Säulen: Summe des „sonstigen“ Endenergiebedarfs über alle Energieträger
Summen gerundeter Werte entsprechen nicht immer den gerundeten Summenwerten.
Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

Im Szenario „Bisherige Ziele“ hingegen sinkt der Strombedarf bis 2040 um ca. 5 % auf ca. 5,4 TWh.

7.5 Erfolgsfaktoren: Vermeidung von „lock-in“ in fossilen Technologien durch frühzeitige Information und Anreize zur Dekarbonisierung

Zu den wesentlichen **Erfolgsfaktoren** für die Dekarbonisierung der „anderen“ Energiebedarfe Wiens zählen:

- **Anreize** zum Wechsel auf dekarbonisierte Technologien – diese sind insbesondere erforderlich, wenn und soweit Elektrifizierung in der jeweiligen Anwendung noch nicht kompetitiv ist, lange Reinvestitionszyklen aber zu einem längerfristigen Verbleiben (bis nach 2040) bei fossilen Technologien führen würden („Lock-in“-Effekt)
- Frühzeitige **Information** über den Bedarf zur Dekarbonisierung aller verbleibenden fossilen Anwendungen, um entsprechende unternehmensinterne Planungen anzustoßen und auch dadurch Lock-in-Effekten vorzubeugen.

Auch im Bereich der sonstigen Energiebedarfe – mit teilweise hohen Leistungsbedarfen in gewerblichen oder industriellen Anwendungen – kann die Elektrifizierung auf **Hürden im Verteilnetz** stoßen, die entsprechende vorausschauende Planung erfordern (dies war jedoch kein Fokus der vorliegenden Studie).

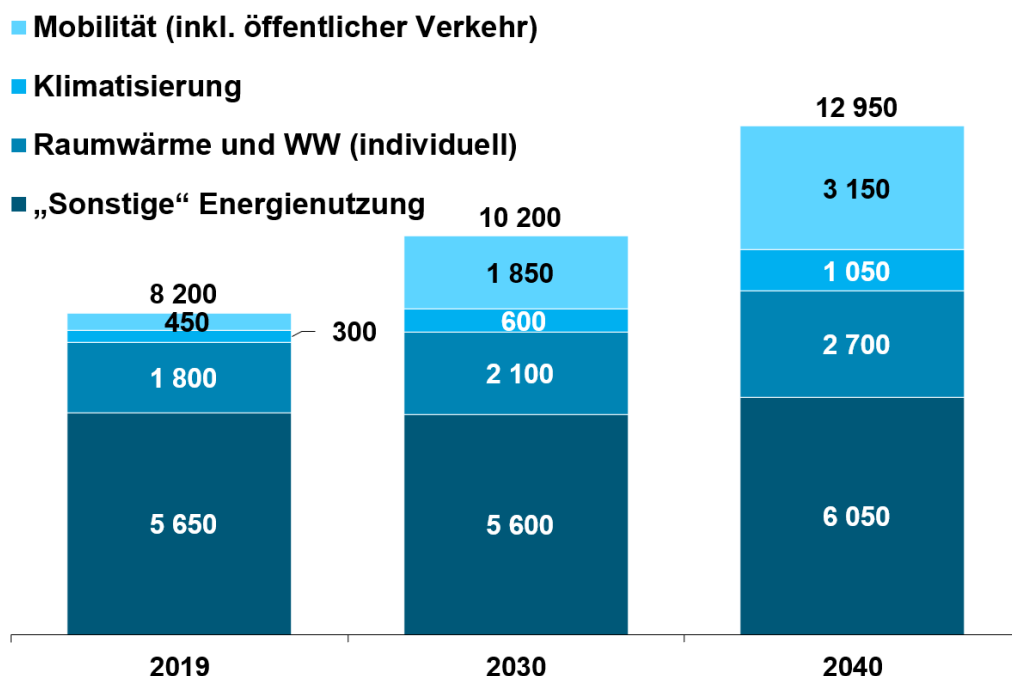
Abschnitt 8

Wiener Strombedarf und seine Deckung

8.1 Strombedarf: Dekarbonisierung steigert den Wiener Strombedarf bis 2040 erheblich

Durch die sehr wesentlich über Elektrifizierung getriebene Dekarbonisierung des Wiener Energiesystems im Szenario „Klimaneutral 2040“ steigt der Wiener Stromendverbrauch bis 2040 erheblich. Ausgehend von ca. 8,2 TWh im Jahr 2019 **wächst der Strom-Endverbrauch in Wien** im Szenario „Klimaneutral 2040“ **um ca. 5 TWh oder fast 60 % auf 13 TWh im Jahr 2040** (Abbildung 28). Wesentlichste Bedarfstreiber sind dabei der Mobilitätssektor (+2,8 TWh – vor allem Elektromobilität), gefolgt vom Stromeinsatz in der Individualwärme (mehr als +0,9 TWh) und dem steigenden Bedarf für Klimatisierung (+0,75 TWh).

Abbildung 28: Jahresstromverbrauch je Anwendung [GWh] – „Klimaneutral 2040“



Anmerkungen: Werte gerundet auf ganze 50 GWh
Über den Säulen: gesamter Strom-Endverbrauch
Summen gerundeter Werte entsprechen nicht immer den gerundeten Summenwerten.
WW ... Warmwasser
Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

Im Szenario „Bisherige Ziele“ wächst der Strom-Endverbrauch durch langsamer wachsende Elektromobilität und geringere Nutzung von Wärmepumpen bis 2040 nur um ca. 2 TWh bzw. 24 % auf 10,2 TWh.

Neben dem Strom im Endverbrauch sind weitere Strombedarfe im Wiener Energiesektor zu decken. Dies betrifft Strom, der zur Fernwärme- und Wasserstoffproduktion genutzt wird, sonstigen Stromverbrauch des Energiesektors sowie Stromnetzverluste. Insgesamt wächst der **zu deckende Strombedarf** im Szenario „Klimaneutral 2040“ dadurch von heute (2019) ca. 9,5 TWh **um ca. 65 % auf ca. 15,5 TWh im Jahre 2040** (Abbildung 29); im Szenario „Bisherige Ziele“ entsprechend um 30 % auf 12,3 TWh.

8.2 **Stromproduktion: Die Wiener Stromproduktion geht bis 2040 deutlich zurück – durch Einsatz von Grüngas kann sie vollständig dekarbonisiert werden**

Im Bereich der Stromproduktion in Wien bringt das angepasste politische Dekarbonisierungsziel ebenfalls deutliche Veränderungen mit sich. Bisher war eine vollständige Dekarbonisierung der Stromproduktion in Wien erst für 2050 vorgesehen (Szenario „Bisherige Ziele“). Die neue Zielsetzung der Klimaneutralität Wiens bereits 2040 bedeutet eine möglichst weitgehende Vermeidung fossiler CO₂-Emissionen auch im Wiener Kraftwerkspark und wird daher entsprechend im Szenario „Klimaneutral 2040“ berücksichtigt.

Auf Grund des Endes der technischen Nutzungsdauer der thermischen Erzeugungsanlagen wird in beiden Szenarien von der **Reduktion der kalorischen Stromproduktionsleistung in Wien von heute 1 720 MW_{el}³⁷ auf 2040 nur mehr 1 240 MW_{el}** ausgegangen. Darin ist mit einer Leistung von 400 MW_{el} eine in den 2030er-Jahren neu errichtete KWK-Anlage wesentlich enthalten. Bei der Entscheidung, andere KWK-Kapazitäten nicht zu ersetzen, wurden keine Überlegungen betreffend die Herstellung von Schwarzstartfähigkeit oder zur Netzreservenvorhaltung für Übertragungsnetzbetreiber angestellt. Sofern vom Übertragungsnetzbetreiber benötigt, müssten entsprechende Vorhaltungen jedoch sichergestellt werden. Mit Erreichen des Lebensdauerendes des KWK-Blocks Simmering 1 (840 MW_{el}) im Laufe der 2040er-Jahre reduzieren sich die Wiener Stromproduktionskapazitäten jedoch auch nach 2040 absehbar deutlich weiter.

Vor diesem Hintergrund **reduziert sich die kalorische Stromerzeugung in Wien** im Szenario „Klimaneutral 2040“ **um ca. 78 %** von 2019 ca. 5,7 TWh **auf weniger als 1,3 TWh im Jahr 2040**. Im Szenario „Bisherige Ziele“ sinkt sie hingegen nur um ca. 50 % auf ca. 2,9 TWh. Außer geringeren Produktionskapazitäten ist diese Entwicklung in reduzierten Einsatzzeiten infolge einer veränderten Dynamik der Strom-Großhandelspreise (mit steigender Anzahl von Stunden mit sehr geringen Preisen) geschuldet. Schließlich führt das verschärfte Emissionsziel im Szenario „Klimaneutral 2040“ zu einem deutlichen Unterschied der Stromproduktionsmengen zwischen den beiden Szenarien. Auch die zur Erreichung der vollständigen Dekarbonisierung der Wiener Stromproduktion modellierte Nutzung von ausschließlich Grüngas in den

37

Exkl. Biomasse-KWK Simmering

KWKs reduziert ihre Stromproduktion.³⁸ Grüngas ist dabei annahmegemäß auch 2040 noch teurer als fossiles Erdgas zuzüglich CO₂-Kosten. Daher fällt die Anzahl der Stunden, in denen mit den Wiener KWKs mit positivem Deckungsbeitrag Strom produziert werden kann, geringer aus als im Szenario „Bisherige Ziele“, in dem auch noch nach 2040 Erdgas genutzt werden kann.^{39, 40}

Zu einer **deutlichen Steigerung der Stromproduktion** in Wien führt hingegen der von der Wiener Stadtregierung vorgesehene deutliche Ausbau der Wiener **Photovoltaikkapazitäten** bis 2030 (800 MW_p – SPO& NEOS, 2020) sowie ihr weiterer Ausbau bis zu dem von Wien Energie abgeschätzten technischen Potenzial in Höhe von 1 300 MW_p (Wien Energie, 2020). Die PV-Ziele für 2030 würden mit aktueller Technologie fast 12 km² und jene für 2040 fast 19 km² Dachfläche in Wien erfordern. Wien verfügt insgesamt über etwa 53 km² Dachfläche – nur ein Teil davon ist gut für die Nutzung durch PV-Anlagen geeignet (Fechner, 2020). Alternativ könnten zur teilweisen Realisierung der PV-Ziele Freiflächen genutzt werden (1 300 MW_p würden bei aktueller Technologie ca. 20 km² Freifläche bzw. 0,5 % des Wiener Stadtgebiets benötigen).

In beiden Szenarien werden die bis 2040 erforderlichen **Investitionen in die Wiener Stromproduktion** (PV-Anlagen sowie das anteilige KWK-Nachinvestment) auf **ca. 1,3 Mrd. EUR₂₀₂₁** geschätzt. Der Fokus auf den Ausbau von PV-Kapazitäten ist dabei im Fehlen von Flächen für den Ausbau von Windkapazitäten im Stadtgebiet begründet.

Insgesamt kann jedoch die deutliche Reduktion der kalorischen Erzeugung in den Wiener KWK-Anlagen infolge der nur sehr beschränkt verfügbaren Flächen nicht durch erneuerbare Stromproduktion im Stadtgebiet kompensiert werden. **Im Szenario „Klimaneutral 2040“ sinkt die Stromproduktion in Wien daher um mehr als 40 %** von knapp 7,3 TWh im Jahr 2019 auf knapp 4,2 TWh im Jahr 2040. Im Szenario „Bisherige Ziele“ wird durch das weniger strikte Emissionslimit in den KWK-Anlagen auch 2040 noch Erdgas verfeuert. Dadurch können dort deutlich höhere Einsatzstunden erzielt werden und insgesamt sinkt die Stromproduktion in diesem Szenario nur um knapp 22 % auf in Summe 5,8 TWh. In beiden Szenarien hat die neue KWK-Anlage dabei erheblichen Anteil an der 2040 verbleibenden Stromproduktion in Wien: 0,5 TWh („Klimaneutral 2040“) bzw. fast 0,8 TWh („Bisherige Ziele“).

Aus dem Zusammenspiel des stark steigenden Strombedarfs einerseits und der deutlich sinkenden Stromproduktion im Wiener Stadtgebiet andererseits ergibt sich 2040 der Bedarf für erhebliche Stromimporte nach Wien. 2019 wurden fast 78 % des Wiener Strombedarfs (jährlich, bilanziell) durch Produktion in Wien gedeckt. Es mussten also knapp 22 % des

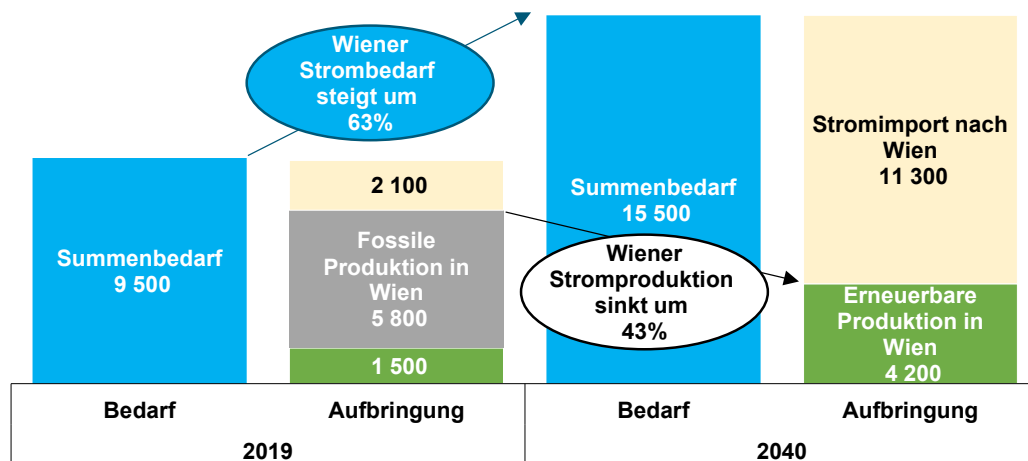
³⁸ Dadurch werden lokale Emissionen aus Wiener Anlagen, die dem Europäischen Emissionshandelssystem (ETS) unterworfen sind, schneller reduziert als durch das ETS angereizt.

³⁹ In beiden Szenarien wird dasselbe Energie- und CO₂-Preisszenario verwendet.

⁴⁰ Allfällige Einsätze zur Erbringung von Systemdienstleistungen (und die damit verbundene Stromproduktion) für Strom-Übertragungsnetzbetreiber (in Österreich oder dem benachbarten Ausland) wurden nicht berücksichtigt.

Verbrauchs nach Wien importiert werden. Im Szenario „Klimaneutral 2040“ **steigt der erforderliche Stromimport nach Wien im Jahr 2040 auf mehr als 73 % bzw. 11,3 TWh** (Abbildung 29). Im Szenario „Bisherige Ziele“ wächst der Bedarf weniger stark und die Produktion reduziert sich weniger stark, sodass Importe mit 53 % bzw. 6,5 TWh relativ und absolut deutlich geringer bleiben.

Abbildung 29: Wiener Strombedarf und seine Deckung [GWh/a] – „Klimaneutral 2040“



Anmerkungen: Ergebnisse gerundet auf ganze 100 GWh

Quelle: Compass Lexecon auf Basis der Studienannahmen

Der deutlich steigende Importanteil illustriert eindrücklich die **im urbanen Raum** generelle Problematik **beschränkter Potenziale zur erneuerbaren Stromproduktion** (IEA, 2021). Neben der Stromproduktion direkt im Stadtgebiet stehen jedoch weitere aktuelle und zukünftig geplante Erzeugungskapazitäten im Einfluss der Stadt Wien.

Im Gegenzug zur Ausweitung der Stromimporte nach Wien sinkt durch die Dekarbonisierung im Szenario „Klimaneutral 2040“ aber der Bedarf nach „Importen“ anderer Energieträger. Insbesondere entfällt der Bedarf nach – außerhalb Wiens und mehrheitlich auch außerhalb Österreichs produziertem – Erdgas sowie Rohölprodukten bis 2040. Im Vergleich dazu wurden 2019 in Summe fast 20 TWh Erdgas und mehr als 9 TWh fossile Kraftstoffe in Wien genutzt.

Wesentliche **Erfolgsfaktoren** für die dekarbonisierte Deckung des Wiener Strombedarfs sind:

- der Erfolg der **PV-Ausbauinitiative** und hier vorrangig
 - der **Zugang zu nutzbaren Frei- und Dachflächen** (insbesondere bei Bestandsgebäuden sind hierbei vielfach zusätzliche Anreize erforderlich)
 - sowie die **Verfügbarkeit von Fachkräften** zur Installation der erforderlichen PV-Anlagen auf einer Vielzahl Wiener Dächer

- die zunehmende **Verfügbarkeit sowie kommerzielle Attraktivität von Grüngas** zur Strom- und Fernwärmeproduktion (bzw. entsprechender Fördermaßnahmen) bis zum Jahr 2040 (siehe dazu auch bei der Fernwärmeproduktion in Abschnitt 5.6)
- die **Verfügbarkeit der erforderlichen Stromproduktion außerhalb Wiens** – hierbei bleibt Wien auf den Erfolg der gesamtösterreichischen Anstrengungen zur Ausweitung der erneuerbaren Erzeugung und ihrer Systemintegration angewiesen.

Annex A

Annahmen, Daten und Datenquellen

Den beiden im Rahmen der Studie entwickelten Szenarien („Bisherige Ziele“ und „Klimaneutral 2040“) wurden die in diesem Abschnitt dargestellten Annahmen zugrunde gelegt.

Tabelle 2: Zusammenfassung der genutzten Annahmen, Daten und Datenquellen

Sektor	Thema	Annahmen	Quelle
Wärme	Thermische Sanierung – Sanierungsrate	• „Bisherige Ziele“: linear ansteigend von 0,9 % im Jahr 2022 auf 2,3 % des Bestands p. a. ab 2031 • „Klimaneutral 2040“: linear ansteigend von 0,9 % im Jahr 2022 auf 2,4 % des Bestands p. a. ab 2031	• „Bisherige Ziele“: UIV Urban Innovation Vienna (2019) • „Klimaneutral 2040“: Urban Innovation/Smart-City-Rahmenstrategie 2021 ((noch) nicht publiziert)
	Thermische Sanierung – Sanierungstiefe	Annahmen in beiden Szenarien analog zur Smart-City-Strategie 2019: Reduktion des Heizwärmebedarfs um 55 % (bei unverändertem Warmwasserbedarf)	UIV Urban Innovation Vienna (2019)
	Thermische Sanierung – Sanierungskosten	Beide Szenarien auf Basis EU pathways (191 EUR ₂₀₂₀ /m ²)	Capros, P. et al. (2019), Abgleich mit: Energy Design Cody Consulting (2017) und Mitterndorfer, M. et al. (2012)
	Klimabedingte Veränderung des Wärmebedarfs	Beide Szenarien: Reduktion der Heizgradtage um 0,5 Prozentpunkte pro Jahr bis 2050	Urban Innovation/Smart-City-Strategie 2021 (nicht publiziert)

Sektor	Thema	Annahmen	Quelle
Wärme – Forts.	Gas in der Individualwärme	• „Bisherige Ziele“: Erdgas kann bis nach 2040 genutzt werden • „Klimaneutral 2040“: keine Nutzung dekarbonisierter Gase in der Individualwärme; ab 2040 keine Nutzung von Erdgas in der Individualwärme im Bestand • In beiden Szenarien: keine Nutzung von Erdgas im Neubau	• „Bisherige Ziele“: UIV Urban Innovation Vienna (2019) • „Klimaneutral 2040“: Wiener Regierungsprogramm (SPÖ & NEOS, 2020), Bundes-Regierungsprogramm (Bundeskanzleramt Österreich, 2020) und erwartete Inhalte des Erneuerbaren Wärmegesetzes
	Umbau Bestand auf Hauszentralheizung	In beiden Szenarien: • Kosten gem. Studie „Gebäudebestand gasfrei machen“ der MA 20 • Verluste gem. Ansätze der Smart-City-Rahmenstrategie (20 % hausinterne Verluste)	Wimmer, F. und Holzer P. (2020), Urban Innovation (2021) ((noch) nicht publiziert)
	Wärmebedarf Neubau	Beide Szenarien: • Heizwärmebedarf: 35 kWh/m² • Fläche pro zusätzliche Person in Wien: 37 m²	Urban Innovation/Smart-City-Strategie 2021 (nicht publiziert)
	Fernwärmeausbau	• „Bisherige Ziele“: 2040 45 % Fernwärmeanteil im Niedertemperaturmarkt • „Klimaneutral 2040“: 2040 55 % Fernwärmeanteil im Niedertemperaturmarkt	Wien Energie
	Einsatzmöglichkeiten Wärmepumpen	Beide Szenarien: • In kleineren Gebäuden (<1 000 m²) vorwiegende Nutzung (90 %) von Luft-Wärmepumpen • In größeren Gebäuden (>1 000 m² vorwiegende Nutzung (90 % im Neubau, 70 % im Bestand) von Erd-Wärmepumpen	Wien Energie/MA20

Sektor	Thema	Annahmen	Quelle
Wärme – Forts.	Techno-ökonomische Technologiedaten Individualwärme	In beiden Szenarien wurden die konservativsten EU-Pathways-Annahmen zu Wirkungsgraden, Anschaffungs-/Herstellkosten und Betriebskosten herangezogen (Anmerkung: Allfällige Förderungen wurden nicht berücksichtigt.)	Capros, P. et al. (2019)
	Techno-ökonomische Technologiedaten Fernwärme	Beide Szenarien: Annahmen zu Wirkungsgraden, Anschaffungs-/Herstellkosten und Betriebskosten sowie früheste Einsatzzeitpunkte (Anmerkung: Allfällige Förderungen wurden nicht berücksichtigt.)	Wien Energie
Kühlen & Klimatisieren	Klimabedingte Veränderung des Kühlbedarfs	Beide Szenarien: Steigerung der Kühlgradtage um 0,5 Prozentpunkte pro Jahr bis 2050	Urban Innovation/Smart-City-Rahmenstrategie 2021 (nicht publiziert)
Mobilität	Veränderung der Wiener Mobilitätsbedarfe und des Modalsplit	Beide Szenarien: Entwicklung gem. Smart-City-Rahmenstrategie 2019	UIV Urban Innovation Vienna (2019)
	Veränderung der Motorisierungsrate	Beide Szenarien: Entwicklung gem. Smart-City-Rahmenstrategie 2019	UIV Urban Innovation Vienna, 2019, Magistrat der Stadt Wien, 2019
	Ladeinfrastruktur – Kosten	Beide Szenarien gem. EU pathways	Capros, P. et al. (2019), Abgleich mit empirischen Daten von Wien Energie

Sektor	Thema	Annahmen	Quelle
Abfallwirtschaft	Müllanfall in Wien	Beide Szenarien bis 2050: • Konstante jährliche Müllvolumina trotz Bevölkerungswachstum • unveränderte Heizwerte, biogene Anteile und CO₂-Intensitäten des Mülls	Wien Energie
	Carbon Capture in der thermischen Abfallverwertung – Abscheiderate	Beide Szenarien: CO ₂ -Abscheiderate 85 %	Wien Energie
	Carbon Capture in der thermischen Abfallverwertung – Hochlauf	Beide Szenarien: schrittweise Installation ab 2031	Wien Energie
Stromproduktion in Wien	Ausbau Photovoltaikleistungen in Wien	Beide Szenarien: Ausbau Photovoltaik in Wien • bis 2025 auf 250 MWp • bis 2030 auf 800 MWp • bis 2040 auf 1 300 MWp	• 2025 & 2030: Wiener Regierungsprogramm (SPÖ & NEOS, 2020) • 2040: Wien Energie
Allgemein	Preisszenario	Für beide Szenarien wurde dasselbe Preisszenario für Strom, fossile Energieträger, Biomethan, Wasserstoff und CO ₂ genutzt	Wien Energie

Quelle: *Compass Lexecon in Abstimmung mit Wien Energie*

B.1 Abgrenzung der in der Studie berücksichtigten Endenergiebedarfe

Von der Studie abgedeckt wird der Energieverbrauch, der dem Land Wien im Rahmen der österreichischen Energiebilanzen (Statistik Austria, 2020b) zugeordnet wird. Dabei werden jedoch folgende Einschränkungen vorgenommen, die weitgehend mit jenen der Berechnungen, die der Smart-City-Rahmenstrategie zugrunde liegen (Urban Innovation, 2019), übereinstimmen:

- Im Verkehrsbereich werden lediglich die Emissionen gemäß „second estimate“ des Umweltbundesamts (2020) und die daraus abgeleiteten Energiebedarfe als Grundlage für die Modellierung des Individualverkehrs genutzt. Dadurch bleiben insbesondere Energieverbräuche, die Wien nur auf Grundlage des Hauptsitzes einer Organisation zugeordnet werden, ohne tatsächlich in Wien anzufallen, unberücksichtigt;
- unberücksichtigt bleibt der Wien (anteilig) zugeordnete Endenergiebedarf des Eisenbahnssektors („Bahnstrom“).

B.2 Abgrenzung der in der Studie berücksichtigten Emissionen

Die Studie betrachtet neben den Emissionen aus dem Endenergieverbrauch (s. o.) auch folgende Emissionen:

- Emissionen aus der Strom- und Fernwärmeproduktion in Wien (inkl. aus der thermischen Abfallverwertung)
- Emissionen für nach Wien importierte Wärme

Emissionen für den nach Wien importierten Strom werden in den berichteten Stützjahren 2030 und 2040 nicht berücksichtigt, da der österreichische Strom annahmegemäß *„ab dem Jahr 2030 zu 100 % national bilanziell aus erneuerbaren Energiequellen gedeckt wird“* (Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz)

B.3 Sektormodelle

Zur Modellierung der Szenarien wurden fünf Sektormodelle entwickelt, parametrisiert und ausgewertet:

- Niedertemperaturwärme
- Fernwärmeaufbringung

- Klimatisierung
- Mobilität
- anderer Energiebedarf

Die Modellierung der Szenarien wurde von einer Vielzahl an Gesprächen mit Experten zu verschiedenen Aspekten des Wiener Energiesystems begleitet (u. a. Vertreter der MA 20, Statistik Austria, Urban Innovation, Wien Energie, Wiener Linien und Wiener Netze).

B.3.1 Niedertemperaturwärme

Ausgehend von den aktuellsten Daten zum Wiener Gebäudebestand wurde ein Gebäudepark mit sieben typischen Gebäuden in jeweils drei Sanierungsstadien modelliert und an den Verbrauchsdaten der Nutzenergieanalyse 2019 kalibriert. Der Gebäudepark und sein Nutzenergiebedarf wurden auf Grundlage der Bevölkerungsentwicklung, der fortschreitenden thermischen Sanierung und der angesetzten Effekte des Klimawandels bis 2040 fortentwickelt. Darauf aufbauend wurden Pfade für den Heizungssystemwechsel der einzelnen Gebäudetypen entwickelt, welche die Anforderungen an das jeweilige Szenario erfüllen. Diese Pfade wurden anschließend hinsichtlich ihrer techno-ökonomischen Eigenschaften (Energiebedarfe, Emissionen, Investitionen etc.) ausgewertet.

B.3.2 Fernwärmeaufbringung

Zur Ermittlung der zukünftigen Fernwärmeaufbringung wurde der aktuelle Wiener Anlagenpark zur Fernwärme- (und zentralen Stromproduktion) sowie mögliche Entwicklungsoptionen in der Dispatchoptimierungssoftware Plexos® modelliert. Ausgehend vom stundenscharfen Fernwärmebedarf (abgeleitet aus den Ergebnissen des Niedertemperaturwärmemodells) wurde dann der gesamtkostenoptimale Erweiterungspfad für die Produktionskapazitäten ermittelt. Die Optimierung berücksichtigt dabei sowohl Kapital- als auch Betriebs-, Energieträger- und CO₂-Kosten (letztere auf Basis eines exogen vorgegebenen Preisszenarios). Der so entwickelte Anlagenpark wurde dann auf Grundlage seiner Grenzkosten einer stundenscharfen Einsatzoptimierung unterworfen, um u. a. die in den Szenarien zu erwartende Wärmeaufbringung sowie den damit verbundenen Energieträgereinsatz und die resultierenden Emissionen zu ermitteln.

B.3.3 Klimatisierung

Der heutige Strombedarf für Klimatisierung in den Sektoren Haushalte, Industrie und Dienstleistungen wurden den Effekten einer steigenden Nutzung durch Endverbraucher und eines steigenden Klimatisierungsbedarfs (infolge der angesetzten, steigenden Kühlgradtage pro Jahr) unterworfen und bis 2040 fortentwickelt.

B.3.4 Mobilität

Die aktuellsten Daten zu Fahrzeugbestand und Verkehrsaufkommen wurden auf Grundlage der Rahmenbedingungen der beiden Szenarien (u. a. Veränderungen von Verkehrsaufkommen und Modalsplit) bis 2050 fortgeschrieben. Darauf aufbauend wurden Pfade für Änderungen der Antriebstechnologien ermittelt, die den jeweiligen Szenarioanforderungen gerecht

werden. Diese Pfade wurden hinsichtlich ihrer techno-ökonomischen Eigenschaften (Energiebedarfe, Emissionen, erforderliche Ladeinfrastruktur etc.) ausgewertet.

B.3.5 Sonstiger Energiebedarf

Ausgehend von der Zusammensetzung des heutigen Endenergiebedarfs und den in der jeweiligen Anwendung abgeschätzten Wirkungsgraden wurden zunächst Nutzenergiebedarfe je Anwendung ermittelt. Diese wurden anschließend mit einem sektorspezifischen Bedarfstreiber einerseits und Annahmen zur fortschreitenden Energieeffizienz andererseits bis 2040 fortentwickelt. Die Nutzenergiebedarfe wurden anschließend mit über die Zeit veränderlichen – an die Anforderungen des Szenarios angepassten – Energieträgeranteilen je Anwendung (inkl. entsprechender Wirkungsgrade) auf Endenergiebedarfe umgerechnet.

Annex C

Referenzen

Amann, W. et al. (2020): *Definition und Messung der thermisch-energetischen Sanierungsrate in Österreich*. [online] abrufbar unter: [iibw.at/documents/2020%20IIBW_UBA%20_Sanierungsrate.pdf](https://www.iibw.at/documents/2020%20IIBW_UBA%20_Sanierungsrate.pdf) (letzter Zugriff: 09.08.2021)

Benke, G. (2017): *Gasetagenheizungen im Licht der Dekarbonisierung des Energiesystems – Kurzstudie*. [online] abrufbar unter: www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/pdf/gasetagenheizungen-studie.pdf (letzter Zugriff: 09.08.2021)

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie – BMVIT (2019a): *Wie lade ich mein Elektroauto? Band 01: Band 01: Information fürs Laden in der Wohnung, Haus und Co.* [online] abrufbar unter: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:39090675-bb8b-4cf1-b87e-da2686501402/aufladen_band1_ua.pdf (letzter Zugriff: 24.08.2021)

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie – BMVIT (2019b): *Wie lade ich mein Elektroauto? Band 02: Tipps fürs Laden im Mehrfamilienhaus/in einer Wohnanlage*. [online] abrufbar unter: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:aeba2823-7b48-49b2-96f8-b34b934f4dd0/aufladen_band2_ua.pdf (letzter Zugriff: 24.08.2021)

Bundeskanzleramt Österreich (2020): *Aus Verantwortung für Österreich – Regierungsprogramm 2020-2024*. [online] abrufbar unter: www.bundeskanzleramt.gv.at/dam/jcr:7b9e6755-2115-440c-b2ec-cbf64a931aa8/RegProgramm-lang.pdf (letzter Zugriff: 09.08.2021)

Capros, P. et al. (2019). *Energy system modelling of the EU strategy towards climate-neutrality*. Energy Policy, 134, 1-15.

Eberhard, T (2020): *Öffentliche Ladeinfrastruktur – Regulativer Rahmen und was ist noch nötig?* [online] abrufbar unter: https://www.wko.at/site/wirtschaft-in-bewegung/presentation_austriatecheberhard-1.pdf (letzter Zugriff: 13.08.2021)

Eberhard, T & Steger-Vonmetz, C. (2019): *Elektro-Autos zuhause laden – Bedarf an und Maßnahmen für Heimladestationen in Wohnanlagen*. [online] abrufbar unter: <https://www.austria-tech.at/assets/Uploads/Publikationen/PDF-Dateien/7a80fa2cb2/WEB-Mobility-Explored-April-2019.pdf> (letzter Zugriff: 24.08.2021)

Energy Design Cody Consulting (2017): *Untersuchung zur Wärmeversorgung eines repräsentativen Wiener Gründerzeitblocks, in Ergänzung zum KLIEN-geförderten Sondierungsprojekt Smart Block II – Im Auftrag der Stadt Wien MA 20*. [online] abrufbar unter: www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/pdf/smart-block-2.pdf (letzter Zugriff: 09.08.2021)

ENTSO-E (2020): *Mid-term Adequacy Forecast 2020 – Datasets*. nicht publiziert.

Europäische Kommission (2021a): *'Fit for 55': delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*. [online] abrufbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550&from=EN> (letzter Zugriff: 26.08.2021)

Europäische Kommission (2021b): *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council amending Regulation (EU) 2019/631 as regards strengthening the CO2 emission performance standards for new passenger cars and new light commercial vehicles in line with the Union's increased climate ambition*. [online] abrufbar unter: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/amendment-regulation-co2-emission-standards-cars-vans-with-annexes_en.pdf (letzter Zugriff: 29.08.2021)

Fechner, H. (2020): *Ermittlung des Flächenpotentials für den Photovoltaik-Ausbau in Österreich: Welche Flächenkategorien sind für die Erschließung von besonderer Bedeutung, um das Ökostromziel realisieren zu können - Studie im Auftrag von Österreichs Energie*. [online] abrufbar unter: https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Studien/2020/PV-Studie_2020.pdf (letzter Zugriff: 28.08.2021)

Haas, R. et al. (2021): *Perspektiven für Grüne Gase in Wien – im Auftrag der Wien Energie*. nicht publiziert

Hüttler, W. et al (2019): *Pilotprojekt Elektromobilität 2030 – Umsetzung Elektromobilitätsszenario 2030 in einer bestehenden Wohnhausanlage*. [online] abrufbar unter: https://www.e-sieben.at/publikationen/18056_e-MobPilotprojekt/18056_Pilotprojekt-Elektromobilitaet-2030_Endbericht_final.pdf?m=1570190380& (letzter Zugriff: 23.08.2021)

IEA (2021): *Empowering Cities for a Net Zero Future – Unlocking resilient, smart, sustainable urban energy systems*. [online] abrufbar unter: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4d5c939d-9c37-490b-bb53-2c0d23f2cf3d/G20EmpoweringCitiesforaNetZeroFuture.pdf> (letzter Zugriff: 12.08.2021)

Madeddu, S. et al. (2020): *The CO2 reduction potential for the European industry via direct electrification of heat supply (power-to-heat)*. Environmental Research Letters, Volume 15, Number 12 [online] abrufbar unter: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abbd02> (letzter Zugriff: 12.08.2021)

Magistrat der Stadt Wien (2019): *Smart City Wien Rahmenstrategie 2019-2050 – Die Wiener Strategie für eine nachhaltige Entwicklung*. [online] abrufbar unter: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008551.pdf> (letzter Zugriff: 06.08.2021)

Magistratsabteilung 20 (2020): *Energiebericht 2020 der Stadt Wien*. [online] abrufbar unter: <https://www.wien.gv.at/spezial/energiebericht2020/files/Energiebericht2020.pdf> (letzter Zugriff: 26.08.2021)

Mitterndorfer, M. et al. (2012): *Berechnung von kostenoptimalen Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (gemäß EPBD Art. 5)*. [online] abrufbar unter:

www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/publikationen/berichteBroschueren/Endbericht_EPBD.pdf (letzter Zugriff: 09.08.2021)

Parlament (2021): WEG-Novelle 2022. [online] abrufbar unter: https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXVII/ME/ME_00134/index.shtml (letzter Zugriff: 15.08.2021)

Pfaffenbichler, P. et al. (2017): *Hochlaufzahlen E-Autos in der Metropolenregion Wien – Studie der TU Wien im Auftrag der Wien Energie und der MA 33*. unpubliziert.

Prinzing, M., et al. (2019): *Ausblick auf mögliche Entwicklungen von Wärmepumpen-Anlagen bis 2050*. [online] abrufbar unter: www.ost.ch/fileadmin/dateiliste/3_forschung_dienstleistung/institute/ies/wpz/sonstige_wichtige_dokumente/2019_ausblick_auf_moegliche_entwicklungen_von_wp-anlagen_bis_2050.pdf (letzter Zugriff: 19.08.2021)

Rauecker, G. (2021): *Benzin, Diesel, E-Auto – die Kosten im Vergleich*. [online] abrufbar unter: <https://www.oeamtc.at/autotouring/auto/benzin-diesel-e-auto-die-kosten-im-vergleich-42887730> (letzter Zugriff: 29.08.2021)

Schimmel, M et al. (2018): *Strom. Wärme. Mobilität. Szenarien für die Dekarbonisierung im Großraum Wien bis 2050*. [online] abrufbar unter: <https://positionen.wienenergie.at/wp-content/uploads/2019/07/szenarien-zur-dekarbonisierung.pdf> (letzter Zugriff: 01.09.2021)

Statistik Austria (2013): *Wohnungsbestand und -nutzfläche nach Gemeindebezirken 1981, 1991, 2001 und 2011*. [online] abrufbar unter: www.wien.gv.at/statistik/verkehr-wohnen/tabellen/wohnungsbest-flaeche-bez-zr.html (letzter Zugriff: 09.08.2021)

Statistik Austria (2020a): *Nutzenergiekategorien Wien 1993 bis 2019 (Detailinformation)*. [online] abrufbar unter: www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_NATIVE_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=066287 (letzter Zugriff: 16.08.2021)

Statistik Austria (2020b): *Energiebilanz Wien 1988 bis 2019*. [online] abrufbar unter: https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_NATIVE_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=065509 (letzter Zugriff: 16.08.2021)

Statistik Austria (2020c): *Bevölkerungsprognose 2020 – Wien: Ausführliche Tabellen der Hauptvariante (Schnellbericht)*. [online] abrufbar unter: https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_NATIVE_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=027327 (letzter Zugriff: 16.08.2021)

Statistik Austria (2021): *Fahrzeug-Bestand am 31.12.2020 nach Fahrzeugart*. [online] abrufbar unter: https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_PDF_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=125434 (letzter Zugriff: 23.08.2021)

SPÖ & NEOS (2020): *Die Fortschrittskoalition für Wien*. [online] abrufbar unter: www.wien.gv.at/regierungsabkommen2020/files/Koalitionsabkommen_Master_FINAL.pdf (letzter Zugriff: 09.08.2021)

Treberspur, M. et al. (2017): *Hitze! vermeiden – Vermeidung sommerlicher Überwärmung im Wohnbau*. [online] abrufbar unter: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/pdf/ueberwaermung.pdf> (letzter Zugriff: 19.08.2021)

UIV Urban Innovation Vienna (2019): *Wiens Klima- & Energieziele für 2030 & 2050 – Dokumentation von Berechnungen im Rahmen der Aktualisierung der Smart City Wien Rahmenstrategie 2018/2019*. [online] abrufbar unter: smartcity.wien.gv.at/wp-content/uploads/sites/3/2019/06/Dokumentation-der-Berechnungen-zur-Aktualisierung-der-Smart-City-Wien-Rahmenstrategie.pdf (letzter Zugriff: 06.08.2021)

Umweltbundesamt (2020): *Bundesländer Luftschadstoff-Inventur 1990–2018*. [online] abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0746.pdf> (letzter Zugriff: 02.09.2021)

Warmuth, H. & Veigl, A. (2016): *Nutzung fester Biomasse in ausgewählten europäischen Städten und betriebswirtschaftliche Berechnungen für feste Biomasse im Wiener Strom- und Wärmemarkt – Eine Studie im Auftrag der MA 20 – Energieplanung der Stadt Wien*. [online] abrufbar unter: <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/pdf/nutzung-biomasse.pdf> (letzter Zugriff: 19.08.2021)

Wertgas (2016): *Feasibility Studie – Waste-to-Biogas Anlage Wien Energie – im Auftrag der Wien Energie*. nicht publiziert

Wien Energie (2020): *Photovoltaik in Wien: Theorie vs. Praxis*. [online] abrufbar unter: <https://positionen.wienenergie.at/blog/wien-pv-potenzial> (letzter Zugriff: 29.08.2021)

Wien Energie (2021): *Energie ist unsere Verantwortung – Konsolidierte Umwelterklärung 2021 der Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen der Wien Energie GmbH gemäß EMAS-Verordnung*. [online] abrufbar unter: <https://dokumente.wienenergie.at/wp-content/uploads/umwelterklaerung-2021.pdf> (letzter Zugriff: 19.08.2021)

Wiener Landesregierung (2021): *Verordnung der Wiener Landesregierung über die Gewährung von Förderungen im Rahmen des II. Hauptstückes des Wiener Wohnbauförderungs- und Wohnhaussanierungsgesetzes – WWFSG 1989 (Sanierungsverordnung 2008) – Novelle 2021*. [online] abrufbar unter: www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrW&Gesetzesnummer=20000091 (letzter Zugriff: 09.08.2021)

Wiener Linien (2020): *Zahlen & Fakten Betriebsangaben 2019*. [online] abrufbar unter: https://www.wienerlinien.at/media/files/2020/wl_betriebsangaben_2019_deutsch_358274.pdf (letzter Zugriff: 12.08.2021)

Wimmer, F. und Holzer P. (2020): *Gebäudebestand gasfrei machen – Untersuchung der technischen Möglichkeiten, Bestandsgebäude gasfrei zu machen im Auftrag der Stadt Wien Magistratsabteilung 20 – Energieplanung*. [online] abrufbar unter: www.digital.wienbibliothek.at/wbrup/download/pdf/3289554?originalFilename=true (letzter Zugriff: 09.08.2021)

Kontakt:

Gerald AUE

+33 1 53 05 36 51

gaue@compasslexecon.com

COMPASS LEXECON

EMEA Energy Practice

www.compasslexecon.com/practice-areas/energy

Paris

22 pl. de la Madeleine
75008 Paris

Berlin

Kurfürstendamm 217
10719 Berlin

Düsseldorf

Kö-Bogen
Königsallee 2b
40212 Düsseldorf

London

5 Aldermanbury Square
London, EC2V 7HR

Madrid

Pas. de la Castellana 7
28046 Madrid

Helsinki

Unioninkatu 30
Helsinki, 00100

Brüssel

23 Square de Meeus
1000 Brussels