

KLIMANEUTRALE STADT NÜRTINGEN 2035



Impressum

Verfasser

BUND Ortsgruppe Nürtingen
E-Mail: bund.nt@ruettil.de
Website: www.bund-nuertingen.de

Forum Zukunftsfähiges Nürtingen
E-Mail: zukunftsfaehigesnt@nuertingen.org

Autoren

Sven Simon
Otmar Braune
Christian Tilk

unter Mitarbeit von

Rolf Epple
Hildegard Biermann-Mannsfeld
Jörg Nolle

Inhaltliche Bearbeitung

Februar 2021 – April 2022

Aktualisiert im November 2022

Dokumentation*

November - Dezember 2022

Stand: 19.12.2022

Überreicht an die Stiftung ÖKOWATT und die Stadt Nürtingen

Dezember 2022

Titelbild

Gestaltung: Forum Zukunftsfähiges Nürtingen
Foto: S. Simon, BUND Ortsgruppe Nürtingen
Logo: Katharina Roth

* Ursprünglich wurden die Ergebnisse im April 2022 in Form von Präsentationsfolien dokumentiert.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	2
Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
Danksagung	7
Einführung	8
Zusammenfassung	9
1.1 Klimaschutzziele.....	12
1.1.1 Klimaschutzziel der Bundesregierung.....	12
1.1.2 Klimaschutzziel Baden-Württemberg.....	12
1.1.3 1,5-Grad-Ziel und globales CO ₂ -Budget.....	12
1.2 Methodik und Datenbasis.....	13
1.2.1 Methodik.....	13
1.2.2 Datenbasis.....	13
1.2.2.1 Schätzung der Wohngebäude.....	14
2 Energie- und Treibhausgasbilanz	15
2.1 Endenergie- und Treibhausgasbilanz	15
2.1.1 Endenergiebilanz nach Energieträgern.....	15
2.1.2 Endenergiebilanz nach Verbrauchssektoren	16
2.1.3 Endenergiebilanz nach Energiesektoren	17
2.1.4 Treibhausgasbilanz nach Energieträgern	18
2.1.5 Treibhausgasbilanz nach Verbrauchssektoren.....	19
3 Erneuerbare Energiepotenziale	20
3.1 Geschätztes Gesamtpotenzial	21
3.1.1 Stromerzeugung	21
3.1.2 Wärmepotenziale	23
3.1.3 Mögliche Synergieeffekte.....	24
3.1.3.1 Synergieeffekte von Photovoltaikanlagen für den Naturschutz.....	24
3.1.3.2 Vermeidbarkeit von Monokulturen	24
3.1.3.3 Mögliche Synergieeffekte von Energiepflanzen der 2. Generation	24
4 Mögliche Nahrungsautonomie	26
5 Potenzielle Energieeinsparung	27
5.1 Verkehr	27
5.1.1 Umstieg auf Bus, Bahn und Fahrrad.....	27
5.1.1.1 Potenziale zur Vermeidung und Verlagerung von Pkw-Verkehr	27
5.1.1.2 Bedeutung der Sicherheit.....	27
5.1.2 Potenziale zur Vermeidung von Pkw-Verkehr	28

5.2	Wohnen	31
5.2.1	Haushaltsstrom	31
5.2.2	Stromverbrauch für Wärmebereitstellung	31
5.2.3	Wärme	31
5.3	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD).....	32
5.3.1	Strom	32
5.3.1.1	Gewerbe	32
5.3.1.2	Dienstleistungen.....	32
5.3.1.3	GHD Insgesamt.....	33
5.3.2	Wärme	33
5.4	Industrie.....	34
5.4.1	Strom	34
5.4.2	Raumwärme und Warmwasser.....	34
5.4.3	Prozesswärme.....	34
5.4.4	Übersicht Einsparpotenziale	35
5.5	Öffentlich	35
6	Szenarien.....	36
6.1	Definition des Klimaschutzszenarios	36
6.2	Verschiedene Wege zur Treibhausgasneutralität.....	41
6.2.1	Klimaschutzszenario 2045	41
6.2.1.1	Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2045	41
6.2.1.2	Treibhausgasausstoß im Klimaschutzszenario 2045	41
6.2.2	Klimaschutzszenario 2040	42
6.2.2.1	Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2040.....	42
6.2.2.2	Treibhausgasausstoß im Klimaschutzszenario 2040	42
6.2.3	Klimaschutzszenario 2035	43
6.2.3.1	Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2035.....	43
6.2.3.2	Treibhausgasausstoß im Klimaschutzszenario 2035	43
6.3	Mögliche Veränderung des Heizungsbestandes	44
6.4	Entwicklung des Energieverbrauchs für Wohnen	46
6.5	Stromverbrauch und Stromerzeugung.....	47
6.6	Stromspeicher	49
6.7	Ladeeinrichtungen.....	49
6.8	Autonomiepotenzial im Klimaschutzszenario	50
6.9	Energiekosten.....	51
7	Mögliche Wege zur Klimaneutralität	52
7.1	Klimaneutrale Wärmeversorgung.....	52
7.1.1	Exkurs: Wohnraum besser nutzen	55
7.2	Klimaneutrale Mobilität.....	56
Anhang	60
Emissionsfaktoren		60
Quellen- und Literaturverzeichnis		61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Endenergieverbrauch 2019	15
Abbildung 2:	Endenergieverbrauch pro Einwohner 2019 nach Verbrauchssektoren	16
Abbildung 3:	Anteile der Verbrauchssektoren am Endenergieverbrauch 2019	16
Abbildung 4:	Anteile der Energiesektoren am Endenergieverbrauch 2019	17
Abbildung 5:	Energiebedingte Treibhausgasemissionen pro Einwohner und Jahr.....	18
Abbildung 6:	Energiebedingte Treibhausgasemissionen - Anteile der Energieträger	18
Abbildung 7:	Energiebedingte CO ₂ -Emissionen pro Einwohner im Jahr 2019 nach Verbrauchssektoren.....	19
Abbildung 8:	Energiebedingte CO ₂ -Emissionen - Anteile der Verbrauchssektoren.....	19
Abbildung 9:	Erneuerbares Energiepotenzial nach Energiequellen.....	21
Abbildung 10:	Lokale erneuerbare Stromproduktion im Klimaschutzszenario ohne Windenergie im Jahresverlauf	21
Abbildung 11:	Erneuerbare Stromproduktion im Klimaschutzszenario mit externer Windenergie im Jahresverlauf	22
Abbildung 12:	Erneuerbare Wärmeerzeugung aus lokalen BHKW und Solarthermie im Klimaschutzszenario	23
Abbildung 13:	Potenzial an biogenen Festbrennstoffen im Klimaschutzszenario.....	23
Abbildung 14:	Blühkalender für wichtige Insektenweidepflanzen auf Ackerflächen im Szenario Klimaneutralität	25
Abbildung 15:	Mögliche Steigerung der Nahrungsautonomie in Nürtingen	26
Abbildung 16:	Endenergieverbrauch im Klimaschutzszenario 2045	41
Abbildung 17:	Treibhausgasemissionen im Klimaschutzszenario 2045	42
Abbildung 18:	Endenergieverbrauch im Klimaschutzszenario 2035	43
Abbildung 19:	Treibhausgasemissionen im Klimaschutzszenario 2035	43
Abbildung 20:	Mögliche Veränderung des Heizungsbestandes bis 2035 bei Trendfortsetzung in der Gebäudesanierung.....	44
Abbildung 21:	Mögliche Veränderung des Heizungsbestandes bis 2035 bei verstärkter Gebäudesanierung	44
Abbildung 22:	Heizungsbestand 2035 – bei bisheriger oder verstärkter Gebäudesanierung	45
Abbildung 23:	Geschätzter Endenergieverbrauch des Wohnens.....	46
Abbildung 24:	Geschätzter Stromverbrauch im Status Quo im Jahresverlauf	47
Abbildung 25:	Geschätzter Stromverbrauch im Szenario Klimaneutralität im Jahresverlauf.....	47
Abbildung 26:	Erneuerbare Stromproduktion im Klimaschutzszenario mit externer Windenergie im Jahresverlauf	48
Abbildung 27:	Stromverbrauch und Stromerzeugung im Klimaschutzszenario	48
Abbildung 28:	Erreichbare Energieautonomie im Klimaschutzszenario.....	50
Abbildung 29:	Energiekosten heute und im Klimaschutzszenario bei konstanten Kilowattstundenpreisen.....	51
Abbildung 30:	Regionaler Anteil an resultierender Kaufkraft.....	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Annahmen zur Schätzung erneuerbarer Energiepotenziale im Klimaschutzszenario	20
Tabelle 2:	Übersicht Einsparpotenziale in der Industrie	35
Tabelle 3:	Bezugsjahre und Bevölkerung des Status Quo und des Szenarios Klimaneutralität	36
Tabelle 4:	Sektor Wohnen - Wärmegewinnung und Wärmebedarf	36
Tabelle 5:	Sektor Wohnen - Gebäudebeheizung	36
Tabelle 6:	Mobilität der Bevölkerung	37
Tabelle 7:	Modal Split im Individualverkehr	37
Tabelle 8:	Motorisierung der Pkw	37
Tabelle 9:	Motorisierung leichter Nutzfahrzeuge	37
Tabelle 10:	Motorisierung schwerer Nutzfahrzeuge	38
Tabelle 11:	Motorisierung der Busse	38
Tabelle 12:	Kapazität und Besetzungsgrad im Busverkehr	38
Tabelle 13:	Energieeinsparung und Elektrifizierung Industrie / Produzierendes Gewerbe	38
Tabelle 14:	Energieeinsparung und Elektrifizierung im Sektor Gewerbe, Handel & Dienstleistung	39
Tabelle 15:	Sektor Landwirtschaft	39
Tabelle 16:	Import erneuerbarer Energien	39
Tabelle 17:	Nutzung lokaler erneuerbarer Energien	40
Tabelle 18:	Einzel- und Gesamtwirkungsgrade unterschiedlicher Heizungssysteme	53
Tabelle 19:	Emissionsfaktoren	60

Danksagung

Wir möchten uns ganz herzlich bei jenen bedanken, die uns bei der Datenrecherche und der Diskussion der Ergebnisse unterstützt haben. Unser ganz besonderer Dank gilt dabei der Klimaschutzmanagerin der Stadt Nürtingen Tamara Fischer, den Stadtwerken Nürtingen sowie der Stiftung ÖKOWATT.

Einführung

Nürtingen verbindet Energiesicherheit mit Klimaschutz

Zitat aus dem Ausblick der „Vision Solarstadt Nürtingen 2046“ von 1998:

... „Der Umbau der Energieversorgung gleicht einem Marathonlauf über 50 Jahre. Ein neues Energiesystem wird in jedem Fall kommen müssen. Wir selber bestimmen, ob wir den zeitlichen Spielraum nutzen, um den Umbau langsam und kostengünstig zu vollziehen. Oder ob wir die Jahre verstreichen lassen und irgendwann wegen drastischer Klimaveränderungen und drastischer Verteuerung fossiler Energieträger gezwungen sein werden, in kürzester Zeit mit hohem Kostenaufwand den Umbau zu meistern.“ ...

(BUND Nürtingen 1998, Seite 14)

Angesichts der Kumulation der derzeitigen Krisen ein fast prophetischer Ausblick im Jahr 1998.

Denn jetzt muss alles ganz schnell gehen: Ersatz für das nahezu unbezahlbare Erdgas, energetische Sanierung des Gebäudebestands, Umrüstung auf Wärmepumpen, Bau von Photovoltaikanlagen auf Dächern und auf Freiflächen, Suche nach Standorten für die Nutzung der Windkraft, Fahrradstraßen, usw.

Das Ganze wird erschwert durch die Lieferkrise wichtiger Bauteile für die Energiewende.

Mit unserer Berechnung der „Klimaneutralen Stadt Nürtingen 2035“ zeigen wir Möglichkeiten auf, wie der Umstieg auf lokale und regionale, kostengünstige und unerschöpfliche Energiequellen gelingen kann.

Dabei gilt heute wie damals der Satz, dass wir so viel an Energie einsparen müssen, dass Sonne, Wind und Bioenergie den Restbedarf decken können.

Was wir 1998 nicht zu hoffen wagten ist die Tatsache, dass die Produktion von Strom aus Sonne und Wind heute deutlich weniger kostet als Strom aus Kohle, Erdgas und Atomenergie (Fraunhofer ISE 2021). Die Zeiten, als Solar- und Windenergie ein teurer Ökospaß waren, sind endgültig vorbei.

Voraussetzung für den Erfolg wird sein, dass wir die Energiewende als Gemeinschaftsaufgabe begreifen, die nur gemeinsam gelingen kann.

Der schnelle Umbau des Energiesystems erfordert jetzt riesige Investitionen, aber er bietet immense Chancen für Wirtschaft und Gesellschaft und ist für den sozialen Zusammenhalt unabdingbar.

Zusammenfassung

Die Idee

Die Energiewende ist eine Herausforderung. Dies steht außer Zweifel. Bisher wurde dabei jedoch vor allem über die Kosten gesprochen. Die Energiewende selbst wird häufig als eine durch den Klimawandel aufgezwungene Notwendigkeit behandelt.

Eigentlich bietet die Energiewende vor allem Chancen, ...

- unnötige Kosten und Risiken zu vermeiden.
- mehr Wertschöpfung vor Ort zu ermöglichen.
- Naturschutz und Wirtschaftlichkeit zu verbinden.
- unsere Grundversorgung demokratischer, sicherer und gerechter zu gestalten.
- unsere Städte lebendiger, gesünder und attraktiver zu machen.

Um diese Chancen geht es bei der erneuerbaren Energieversorgung der Stadt Nürtingen. Denn nur eine Verschlechterung zu verhindern, erscheint uns bei weitem nicht ausreichend. Wir sind davon überzeugt, dass die Energiewende unserer Gesellschaft Chancen auf eine **Zukunft** bietet, die wir auch anstreben sollten, wenn es keinen Klimawandel gäbe.

Die Potenziale

Die Potenziale, den Energieverbrauch zu senken und erneuerbare Energien aus regionalen Quellen zu gewinnen, reichen aus, um einen großen Teil des verbleibenden Energiebedarfs selbst zu decken. Die dann noch notwendigen Importe könnten in Kooperationen mit anderen Städten und Landkreisen in Süddeutschland nachhaltig gedeckt werden, wenn die Energiewende auch dort gelingt. Eine klimaneutrale Energieversorgung, die eine wichtige Voraussetzung für eine zukunftsfähige Lebensweise ist, kann daher tatsächlich ermöglicht werden. Das wichtigste Potenzial, über das Nürtingen im Bereich der Energiegewinnung verfügt, ist die Photovoltaik auf Dach- und Freiflächen. Leider ist ohne die Nutzung von Agri- und Freiflächenphotovoltaik kein hoher Autonomiegrad möglich. Landwirtschaft und Naturschutz sind aber auf den Flächen dieser Anlagen weiterhin sehr gut möglich und die benötigten Flächen sind auch nicht wesentlich größer als das eine oder andere Neubaugewerbegebiet. Deutlich größer könnte ihr Nutzen aber für die lokale Wirtschaft und den Schutz vor schwankenden Weltmarktpreisen sein. Wichtig sind jedoch neben einer weitgehenden Elektrifizierung der Sektoren Wärme und Verkehr auch eine beschleunigte Gebäudesanierung und eine Ergänzung der Photovoltaik durch eine nachhaltige Nutzung vorhandener Windkraft- und Bioenergiepotenziale sowie die Beteiligung an externen Windkraftprojekten, um den Bedarf an saisonalen Speichern möglichst gering zu halten und auch im Winter ausreichend Strom bereitstellen zu können.

Die Kosten

Die Kosten der Energiewende lassen sich seriös kaum beziffern, da auch hier, wie überall sonst, Veränderungen von Angebot und Nachfrage viele Preise schwanken lassen. Dies zeigt sich in der aktuellen Energiekrise deutlicher denn je. Tatsächlich handelt es

sich dabei jedoch um langfristige Investitionen in ein neues Energiesystem, die sich nicht nur in einer Hinsicht von den Kosten fossiler Brennstoffe unterscheiden. Vor der aktuellen Energiekrise lagen die geschätzten Energiekosten der Stadt Nürtingen bereits deutlich über 90 Millionen Euro pro Jahr. Davon ist jedoch der größte Teil für Energieimporte aus Nürtingen abgeflossen. Dieser Kaufkraftverlust ist nicht nur ein Verlust für die Bürgerinnen und Bürger Nürtingens, sondern auch für die lokale Wirtschaft. Er ist jedoch größtenteils vermeidbar. Wäre die Energiewende bereits im Jahr 2019 umgesetzt gewesen, wären die Ausgaben von Privathaushalten und Unternehmen für Energie bereits ohne Berücksichtigung möglichen Eigenverbrauchs wohl um ca. 40 Prozent geringer ausgefallen. Berücksichtigt man den möglichen Eigenverbrauch, hätten die Kosten sogar noch niedriger gelegen. Diese Differenz ließe sich verwenden, um die Energiewende zu finanzieren und gleichzeitig viele Synergieeffekte zu nutzen. So würden nicht nur die meisten Gebäude eine Wertsteigerung erfahren, sondern auch viele Arbeitsplätze geschaffen und die lokale Wertschöpfung gesteigert werden. Denn von den verbleibenden Energiekosten bliebe dann ein großer Teil in Nürtingen, anstatt, wie bisher, einfach aus der Stadt abzufließen.

Deutlich wird beim Blick auf die Szenarien auch, dass ein früheres Erreichen der Klimaneutralität keinen Kostennachteil bedeuten muss. Zwar müssen die Kosten für den Ausbau der erneuerbaren Energien und die nötigen Energieeinsparmaßnahmen in kürzerer Zeit gestemmt werden. In ihrer Summe dürften diese Investitionen dann aber letztlich zu größeren Einsparungen durch die frühere Energiekostenreduktion führen. Immerhin insgesamt rund 200 Millionen Euro könnten selbst bei den Vorkrisenpreisen zusätzlich eingespart werden, wenn die Energiewende 10 Jahre früher als erst 2045 abgeschlossen werden kann. Bei den höheren Energiepreisen, die wohl auch nach der aktuellen Energiekrise zu erwarten sind, dürften die möglichen Energiekosteneinsparungen, die durch die Klimaschutzinvestitionen erreicht werden können, sogar noch deutlich größer ausfallen. Zudem werden die künftigen Energiekosten dann deutlich stabiler und sehr viel besser vorhersehbar sein, als sie es sein werden, wenn die Energiewende nicht oder nur teilweise umgesetzt wird. Ist die Solaranlage einmal installiert, sind die Kosten mindestens für die nächsten 20 Jahre vorhersehbar und danach sogar tendenziell gegen Null gehend, weil Solarenergie und Windenergie keine Grenzkosten verursachen, wenn die Anlagen einmal abgeschrieben sind.

Bedenkt man, dass eine mit Bedacht umgesetzte Energiewende auch viele positive Effekte für den Schutz von Natur, Artenvielfalt, bestäubenden Insekten, Böden und Gewässern mit sich bringen kann, kämen weitere Kostenvorteile hinzu. Erneuerbare Energien können auch die Landwirtschaft krisensicherer und wirtschaftlicher machen, wenn Landwirte frühzeitig und gerecht daran beteiligt werden. Ein höherer Humusgehalt ermöglicht zudem nicht nur mehr Bodenfruchtbarkeit, sondern bietet auch einen besseren Hochwasserschutz, was ebenfalls Kosten reduzieren kann.

Unsere These

Insgesamt dürfte eine klimaneutrale Stadt eine wesentlich kostengünstigere, krisenfeste, naturfreundlichere und sozial gerechtere Stadt sein. Und wir sind uns sicher: Das Gegenteil dieser These dürfte schwer zu beweisen sein.

1.1 Klimaschutzziele

1.1.1 Klimaschutzziel der Bundesregierung

Mit der Änderung des Klimaschutzgesetzes hat die Bundesregierung die Klimaschutzvorgaben verschärft und das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2045 verankert. Bereits bis 2030 sollen die Emissionen um 65 Prozent gegenüber 1990 sinken. Die Gesetzesnovelle ist am 31. August 2021 in Kraft getreten.

1.1.2 Klimaschutzziel Baden-Württemberg

Infolge der Novelle des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg aus dem Jahr 2021 soll das Klimaschutzgesetz „nicht mehr nur eine ambitionierte Reduzierung von Treibhausgasemissionen bezwecken, sondern auf die Herbeiführung von Klimaneutralität im Land gerichtet sein. Als langfristiges Ziel löst die Netto-Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2040 aus diesem Grund das seither bestehende Reduktionsziel von 90 Prozent bis zum Jahr 2050 ab“ (Landtag von Baden-Württemberg, 2021a). Das neue Ziel der Klimaneutralität im Jahr 2040 wurde mit Gesetzesbeschluss des Landtags „Gesetz zur Änderung des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg“ vom 6. Oktober 2021 festgelegt. (Landtag von Baden-Württemberg, 2021)

1.1.3 1,5-Grad-Ziel und globales CO₂-Budget

Während der Klimakonferenz der Vereinten Nationen in Paris im Jahr 2015 wurde beschlossen, die globale Erwärmung deutlich unter 2,0°C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu halten und möglichst auf 1,5°C zu begrenzen.

Wichtig ist dafür eine Begrenzung der Treibhausgasemissionen, die sich bis zur angestrebten Klimaneutralität im Jahr 2050 nicht vermeiden lassen. Die Menge der Treibhausgase, die noch freigesetzt werden darf, wenn das genannte Klimaschutzziel erreichbar bleiben soll, kann einigermaßen sicher berechnet werden. Diese Menge kann als ein verbleibendes Budget angesehen werden und nimmt mit jedem Jahr ab, in dem wir weitere Treibhausgase freisetzen. Das verbleibende CO₂-Budget wurde durch den IPCC zuletzt im Sommer 2021 mit der Vorlage des ersten Teils seines sechsten Sachstandsberichts aktualisiert. Ab Anfang 2020 können demzufolge noch 400 Gigatonnen (Gt) CO₂ in die Atmosphäre abgegeben werden, um das 1,5-Grad-Ziel nicht zu verfehlen. Bei 7,8 Mrd. Menschen entspricht dies einem Budget von 51,3 t pro Person. Bis zum August 2022 sind aktuellen Schätzungen zufolge bereits 107 Gigatonnen des Gesamtbudgets verbraucht, sodass ab September 2022 noch 293 Gigatonnen emittiert werden konnten (Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) gGmbH, 2022). Zu Beginn des Jahres 2023 dürfte bei ca. 8 Mrd. Menschen demnach geschätzt noch ein Budget von ca. 35 t CO₂-Äq./Person vorhanden sein.

1.2 Methodik und Datenbasis

1.2.1 Methodik

Die Erstellung der Energie- und Treibhausgasbilanz für das Bilanzjahr 2019 folgt der Bilanzierungssystematik Kommunal (BISKO), die durch die Standardisierung der Bilanzierungsmethodik einen deutschlandweiten Vergleich von Treibhausgasbilanzen mit anderen Kommunen ermöglichen soll. Bilanziert werden alle im betrachteten Territorium anfallenden Verbräuche auf Ebene der Endenergie, die den verschiedenen Verbrauchssektoren zugeordnet werden können. Die Erstellung der Bilanz nach Energieträgern erfolgt mit dem Ziel der Aufteilung in folgende Sektoren:

- Private Haushalte
- Verarbeitendes Gewerbe
- Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
- Verkehr
- Öffentlich

Für die Szenarien erfolgte zudem eine Schätzung von Aufwänden und Produktionspotenzialen in der Landwirtschaft sowie eine Schätzung weiterer erneuerbarer Energiepotenziale, die überwiegend auf den in Nürtingen vorhandenen Flächenpotenzialen und flächenbezogenen Ertragskennwerten basieren.

Die Entwicklung und Berechnung der verschiedenen Szenarien erfolgte anschließend auf Basis der geschätzten Energiepotenziale sowie der im folgenden dargestellten Einspar- und Effizienzpotenziale der verschiedenen Sektoren (vgl. Abschnitte 5 und 6.1).

1.2.2 Datenbasis

Als Datenbasis dienen in erster Linie Informationen des Netzbetreibers (SWN) zur Abgabe leitungsgebundener Energieträger (Strom, Erdgas und Wärme) sowie Daten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg, des Zensus 2011, des Kraftfahrtbundesamtes, des Umweltbundesamtes, der Bundesnetzagentur, sowie des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.

In die Berechnungen flossen u. a. folgende Daten ein:

- Strom-, Gas- und Wärmeabgabe im Netzgebiet
- Wohnfläche
- Kfz-Nutzung (JFL pro Pkw nach Landkreisdurchschnitt)
- Motorisierung der Kfz
- Energieverbrauch der Industrie, soweit bekannt
- Energieverbrauch von Gewerbe, Handel und Dienstleistung, soweit bekannt
- Wirtschaftsweise und Flächennutzung in der Landwirtschaft

Ergänzt wurden die bekannten Daten durch Landesdurchschnittswerte, die z. B. über die Bevölkerungszahl, die Wohnfläche oder die Anzahl der Pkw angepasst wurden.

1.2.2.1 Schätzung der Wohngebäude

1.2.2.1.1 Wohnfläche

Zur im Jahr 2019 in Nürtingen vorhandenen Wohnfläche lagen keine Daten vor. Sie wurde daher auf Basis von Daten des Zensus 2011 und des Zubaus von Wohnfläche seit 2011 geschätzt. Der Wohnflächenzubau seit 2011 kann den Regionaldaten des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg entnommen werden (Fertigstellungen Wohngebäude). Die Wohnfläche wurde so auf knapp 43 m² pro Einwohner geschätzt.

1.2.2.1.2 Beheizungsstruktur

Der Gesamtverbrauch von Endenergie für die Bereitstellung von Wärme in Gebäuden wurde anhand von Durchschnittswerten für den Gebäudebestand in Baden-Württemberg geschätzt. Für die Schätzung der lokalen Beheizungsstruktur wurden anschließend Daten der Stadtwerke zum Verbrauch von Heizstrom, Nahwärme und Erdgas sowie Daten der LUBW zum Verbrauch von Erdgas, Heizöl, Kohlen und Biomasse (Kleinfeuer) genutzt.

2 Energie- und Treibhausgasbilanz

2.1 Endenergie- und Treibhausgasbilanz

2.1.1 Endenergiebilanz nach Energieträgern

Anhand der vorliegenden Datenbasis wurde der Energieverbrauch der Stadt Nürtingen im Jahr 2019 auf ca. 20,1 MWh pro Einwohner geschätzt. Genau bekannt sind lediglich die Verbrauchswerte leitungsgebundener Energieträger. Dabei handelt es sich um Erdgas, Strom und Fern- oder Nahwärme. Nicht erfasst wird mit der Netzabgabemenge allerdings der Eigenverbrauch, der den Gesamtstromverbrauch 2019 um ca. ein bis anderthalb Prozent erhöht haben dürfte. Geschätzt werden musste auch der Verbrauch von Heizöl, Solarthermie, Biomasse, Kohle, Benzin und Diesel.

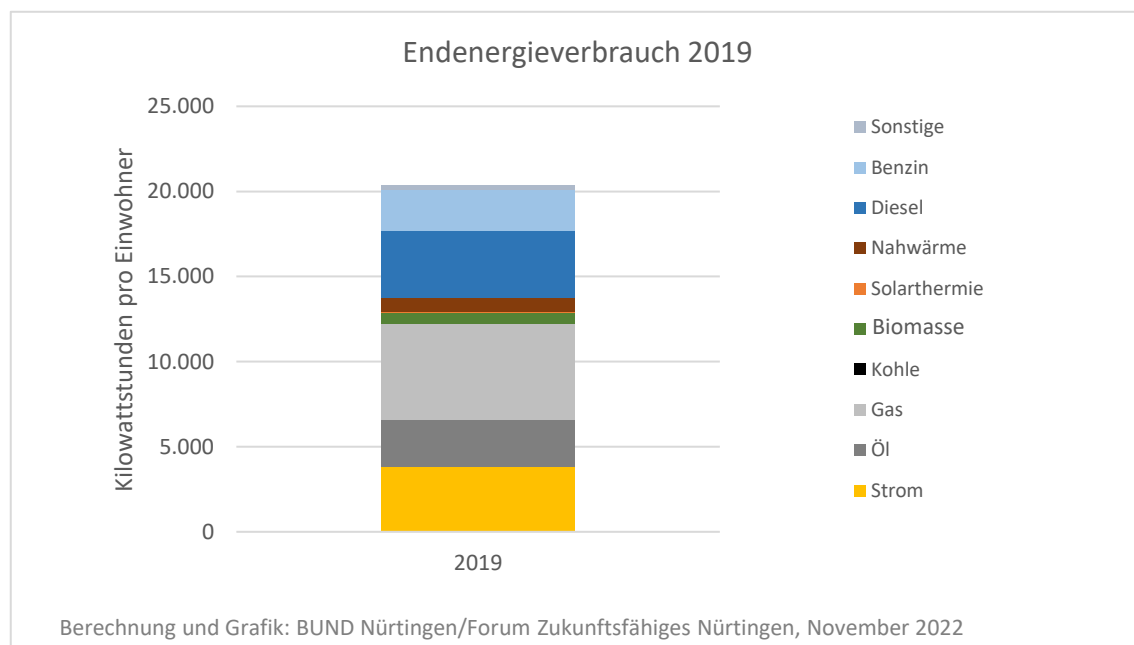


Abbildung 1: Endenergieverbrauch 2019

Hinweise zur Schätzung

Für die Schätzung der Solarthermie konnte die Kollektorfläche herangezogen werden. Die Schätzung des Verbrauchs von Heizöl und Biomasse basiert auf einer Schätzung der LUBW (Kleinfeuer), die unter anderem mit dem Gesamtverbrauch der Wohngebäude und der Differenz zum Verbrauch der übrigen Anteile (Erdgas, Nahwärme, Solarthermie, Heizstrom, Umweltwärme) abgeglichen wurde. Der Gesamtverbrauch der Haushalte wurde über den geschätzten Energiestandard und die geschätzte Wohnfläche abgeschätzt. Der Verbrauch von Kraftstoffen im Verkehr wurde anhand des spezifischen Verbrauchs und der Jahresfahrleistung (JFL) geschätzt. Leider standen keine Daten zur Jahresfahrleistung in Nürtingen zur Verfügung, weshalb hier Durchschnittswerte des Landkreises Esslingen herangezogen wurden, die über die angemeldeten Pkw angepasst wurden.

2.1.2 Endenergiebilanz nach Verbrauchssektoren

Den größten Anteil am geschätzten Energieverbrauch des Jahres 2019 hatte der Sektor Wohnen mit 34 Prozent vor dem Sektor Verkehr mit 31 Prozent. Es folgten der Sektor Industrie mit ca. 18 Prozent und der Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) mit ca. 12 Prozent. Relativ groß ist in Nürtingen der öffentliche Anteil mit rund 4 Prozent. Sehr gering ist in Nürtingen der geschätzte Anteil der Landwirtschaft. In Abbildung 2 wird auch ersichtlich, dass die Elektrifizierung im Sektor Verkehr 2019 noch ganz am Anfang stand.

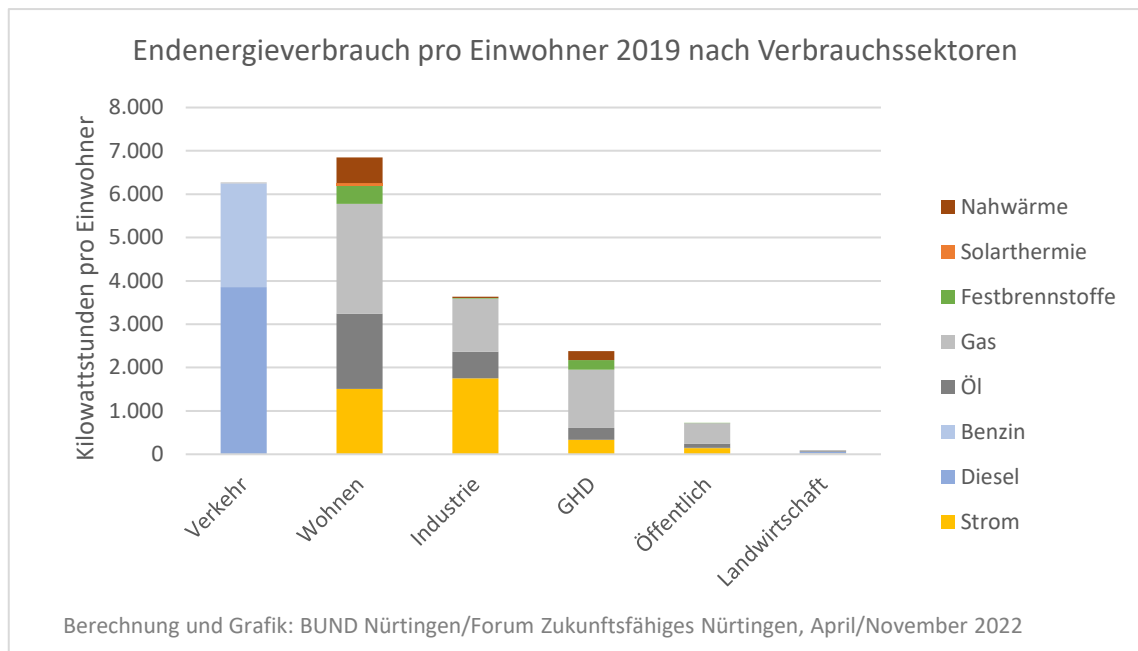


Abbildung 2: Endenergieverbrauch pro Einwohner 2019 nach Verbrauchssektoren

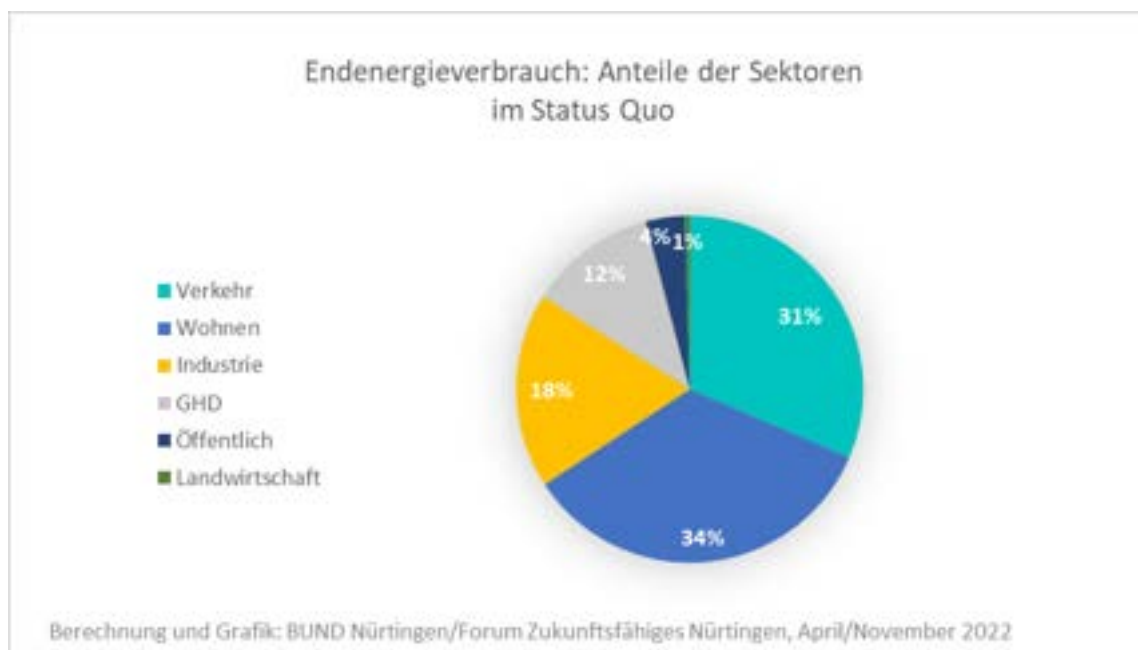


Abbildung 3: Anteile der Verbrauchssektoren am Endenergieverbrauch 2019

2.1.3 Endenergiebilanz nach Energiesektoren

Betrachtet man den lokalen Energieverbrauch Nürtingens im Jahr 2019, dürfte ungefähr die Hälfte des Verbrauchs auf den Sektor Wärme entfallen sein, während der Verbrauch von Kraftstoffen knapp ein Drittel und der Stromverbrauch knapp ein Fünftel des Gesamtverbrauchs ausmachen.

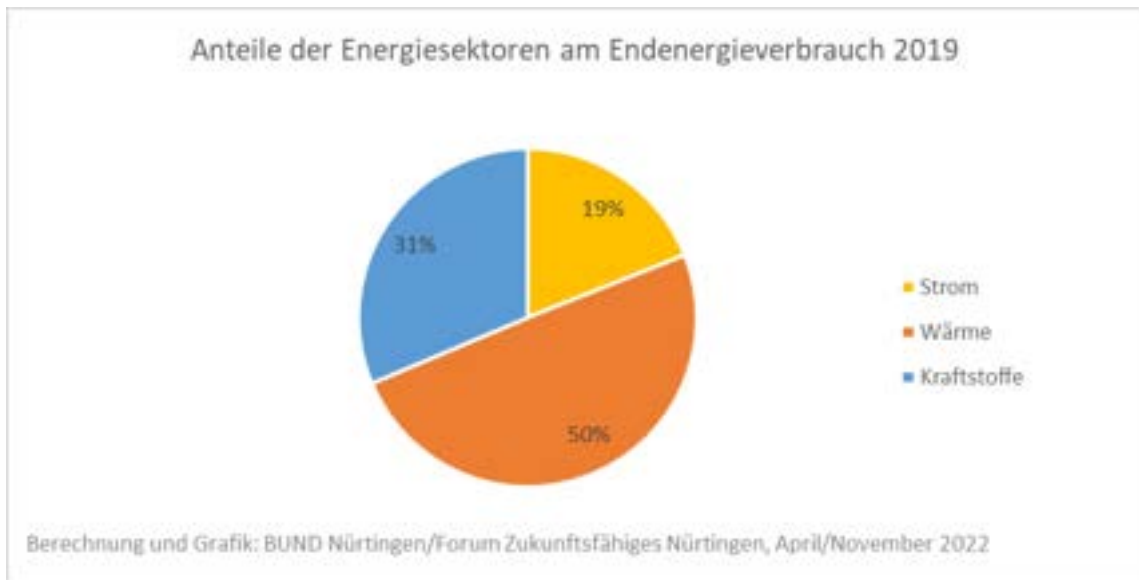


Abbildung 4: Anteile der Energiesektoren am Endenergieverbrauch 2019

2.1.4 Treibhausgasbilanz nach Energieträgern

Der energiebedingte Treibhausgasausstoß, der sich aus dem geschätzten Endenergieverbrauch des Jahres 2019 ergibt, beträgt über 6,2 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Einwohner.

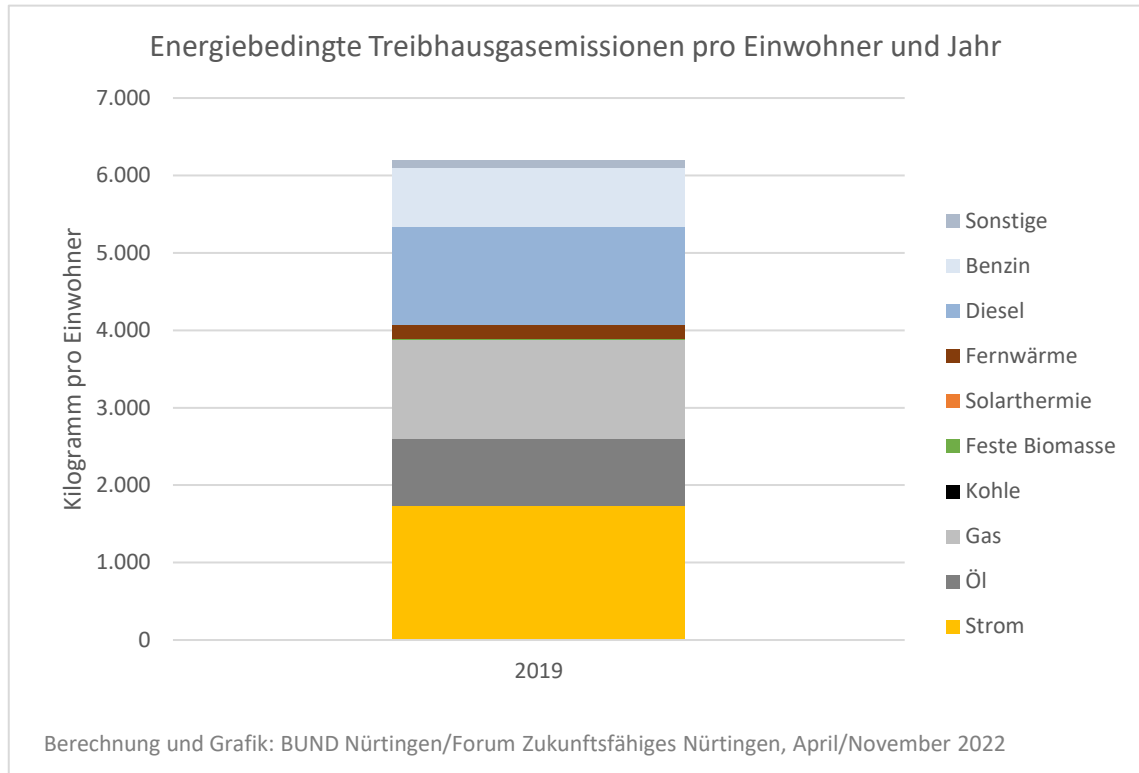


Abbildung 5: Energiebedingte Treibhausgasemissionen pro Einwohner und Jahr

Den größten Anteil an den energiebedingten Emissionen hatte der Energieträger Strom mit ca. 28 Prozent, gefolgt von Erdgas mit ca. 21 Prozent, Diesel mit ca. 20 Prozent und Heizöl mit ca. 14 Prozent. Rund 13 Prozent stammten aus der Verbrennung von Benzin.

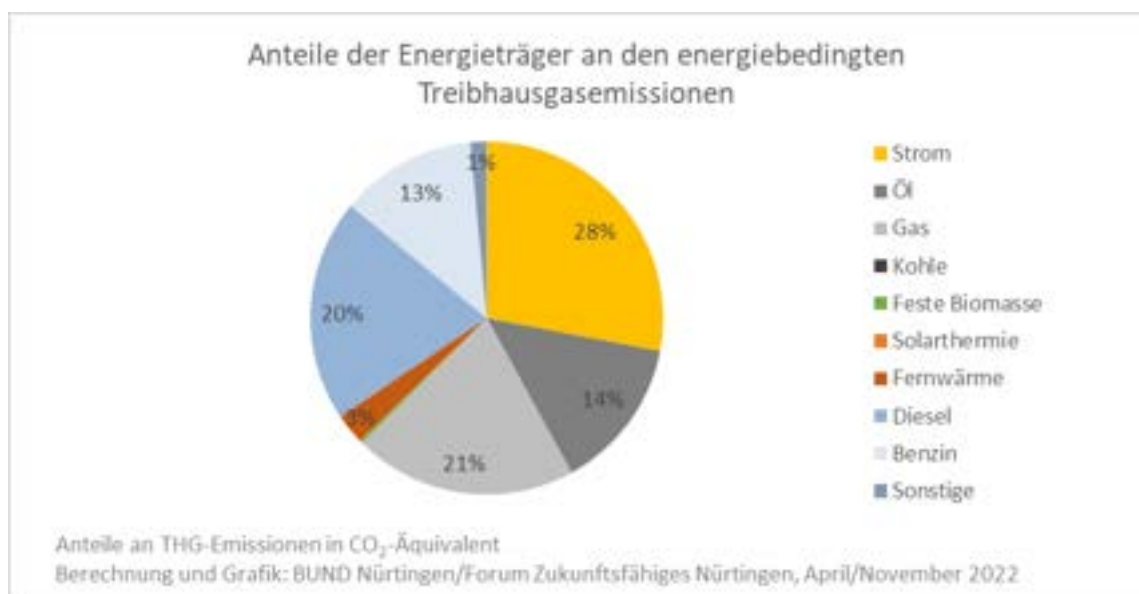


Abbildung 6: Energiebedingte Treibhausgasemissionen - Anteile der Energieträger

2.1.5 Treibhausgasbilanz nach Verbrauchssektoren

Aufgrund des hohen Anteils am Energieverbrauch hatten die privaten Haushalte auch den größten Anteil an den energiebedingten CO₂-Emissionen. Ohne Mobilität betrug er bereits 33 Prozent. Es folgten der Sektor Verkehr mit 32 Prozent, die Industrie mit 21 Prozent, der Sektor GHD mit 10 Prozent und der öffentliche Sektor mit ca. 3 Prozent. Die Landwirtschaft hat einen Anteil von ca. 1 Prozent.

Nicht energiebedingte Treibhausgasemissionen konnten nicht berücksichtigt werden. Sie haben in Deutschland einen Anteil von ca. 15 Prozent an den gesamten Treibhausgasemissionen. In Nürtingen dürften sie einen geringeren Anteil haben, weil Nürtingen unter anderem pro Einwohner nicht über große landwirtschaftliche Flächen verfügt.

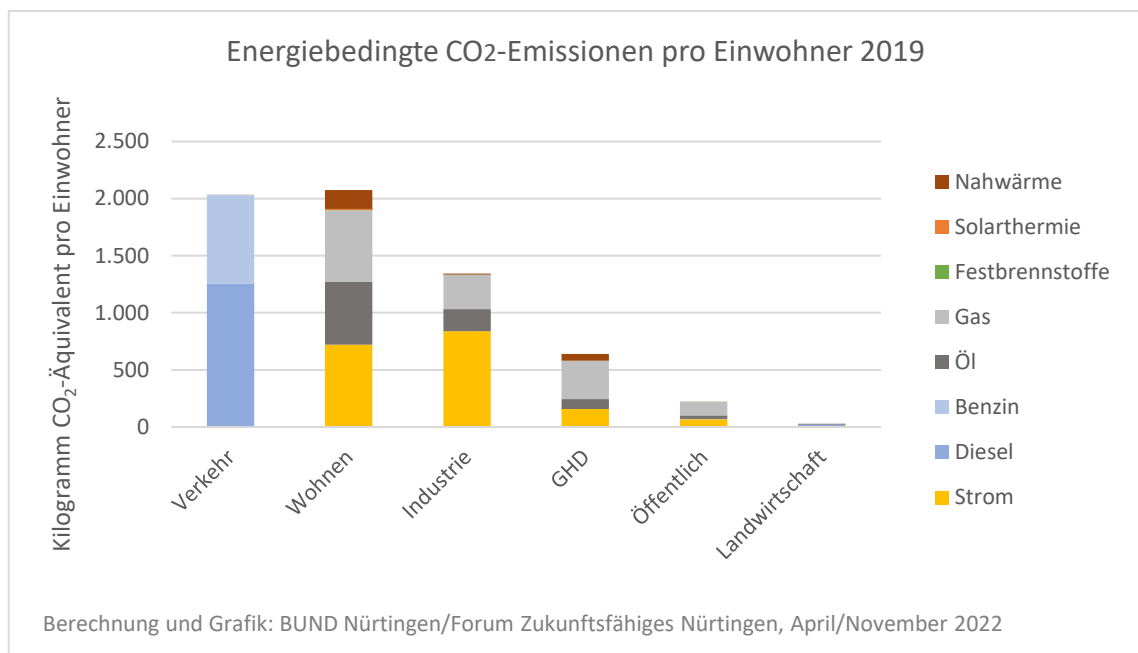


Abbildung 7: Energiebedingte CO₂-Emissionen pro Einwohner im Jahr 2019 nach Verbrauchssektoren

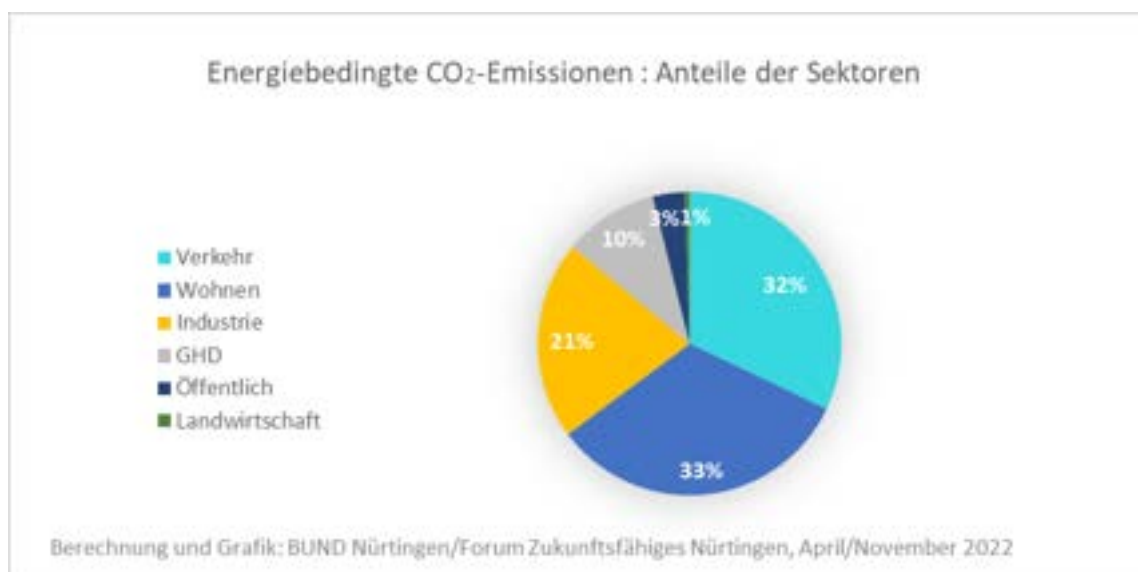


Abbildung 8: Energiebedingte CO₂-Emissionen - Anteile der Verbrauchssektoren

3 Erneuerbare Energiepotenziale

Für die aktuelle Potenzialschätzung wurde angenommen, dass der Energiepflanzenanbau auf Energiepflanzen der zweiten Generation umgestellt wird, der Anteil von Energiepflanzen an der Ackerfläche dem bundesweiten Durchschnitt entsprechend auf ca. 20 Prozent ausgeweitet wird und 5 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzfläche mit Agriphotovoltaikanlagen ausgestattet werden. Des Weiteren wurde angenommen, dass 50 Prozent des Biogases und 50 Prozent der festen biogenen Brennstoffe in Kraftwärmekopplung genutzt werden. Als Potenzialfläche für Dachflächensolarmodule (PV und Solarthermie) wurden ca. 31 Quadratmeter pro Einwohner angenommen, was der Schätzung der Solarpotenzialanalyse 2021 der HfWU Nürtingen-Geislingen entspricht. Als Potenzial für Fassadenphotovoltaik wurde nach Ecofys ein Wert von 7,0 m² pro Einwohner angenommen (Ecofys, 2007, zit. n. EEM., 2007). Das Potenzial für Freiflächenphotovoltaik auf Randstreifen, Parkplätzen und dergleichen wurde nicht gemessen, sondern geschätzt nach Durchschnittswerten einer Erhebung des LANUV NRW (LANUV NRW, 2013), die u. a. über die vorhandenen Verkehrsflächen in Nürtingen angepasst wurden.

Tabelle 1: Annahmen zur Schätzung erneuerbarer Energiepotenziale im Klimaschutzszenario

Verwendung	Wert 2019	Wert 2035	Einheit
Modulflächenpotenzial Gebäude			
Dachmodulfläche	31	31	m ² /EW
Fassadenmodulfläche	7	7	m ² /EW
Nutzung der Flächenpotenziale Gebäude			
Nutzung Dachmodulflächenpotenzial	7%	70%	Prozent
Nutzung Fassadenmodulflächenpotenzial	k. A.	5%	Prozent
Anteil Photovoltaik	95%	98%	Prozent
Anteil Solarthermie	5%	2%	Prozent
Modulflächenerträge			
Stromertrag Dach-PV	150	170	kWh/m ²
Stromertrag Fassaden-PV	68	75	kWh/m ²
Wärmeertrag Solarthermie	520	520	kWh/m ²
Flächenpotenziale Freiflächen *			
Freiflächen-PV (Randstreifen, Parkplätze etc.)	0	23	Hektar
Agri-PV-Anteil an LNF	0%	5%	Prozent
Agri-PV-Fläche insgesamt	0	62	Hektar
Freiflächen-Solarthermie	0	1	Hektar
Nutzung der Freiflächen-Photovoltaikpotenziale *			
Nutzung FPV-Potenzial	k. A.	100%	Prozent
Modultechnologie für Agri-PV		Bifazial	
Wind- und Wasserkraft			
Windenergie-Potenzial		4.000	MWh/a
Wasserkraftpotenzial		6.271	MWh/a
Bioenergie			
Energiepflanzenanteil an Ackerfläche	k. A.	20%	Prozent
Energiepflanzeneneration	1. Generation	2. Generation	
Anteil der in BHKW genutzten Energie-Biomasse	k. A.	50%	Prozent

* Das tatsächlich umsetzbare Potenzial kann geringer sein als das hier geschätzte Potenzial

3.1 Geschätztes Gesamtpotenzial

Auf Basis der getroffenen Annahmen und der vorhandenen Flächenpotenziale ergibt sich in Kombination mit dem bekannten Potenzial der Wasserkraft und der Annahme einer Windkraftanlage ein erneuerbares Gesamtpotenzial von ca. 6,0 MWh pro Einwohner und Jahr. Der Vergleich macht deutlich, wie wichtig eine möglichst weitgehende Ausschöpfung der Photovoltaikpotenziale für Nürtingen ist, die mit Abstand den größten Anteil an den lokalen Potenzialen haben. Angenommen wurde eine Agri-Photovoltaik-Nutzung auf 5 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzflächen.

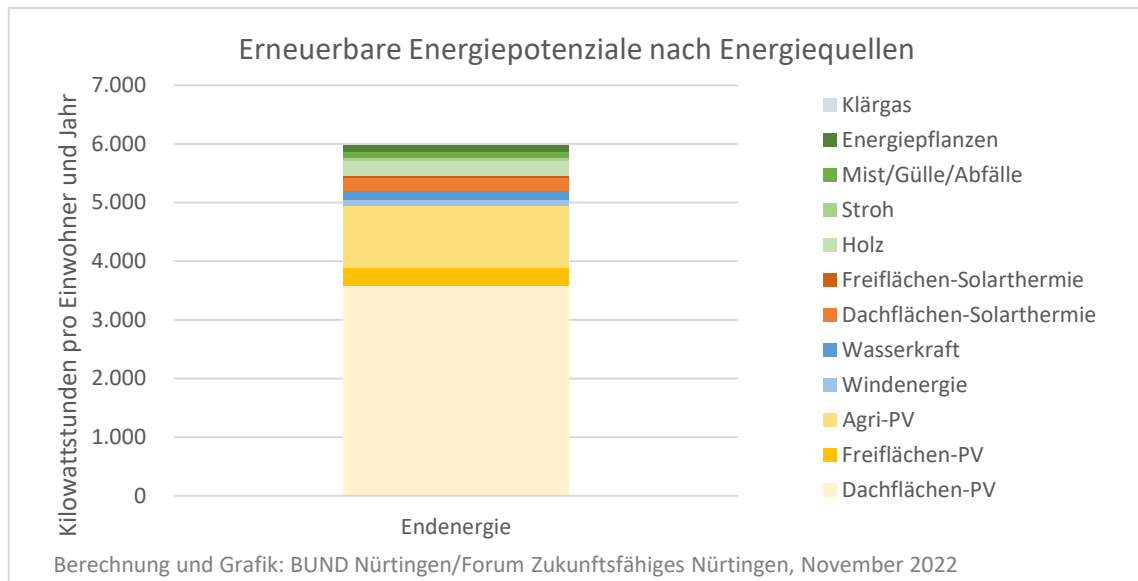


Abbildung 9: Erneuerbares Energiepotenzial nach Energiequellen

3.1.1 Stromerzeugung

Abbildung 10 zeigt die geschätzte lokale erneuerbare Stromproduktion im Klimaschutzscenario ohne Windenergie mit einem deutlichen saisonalen Ungleichgewicht.

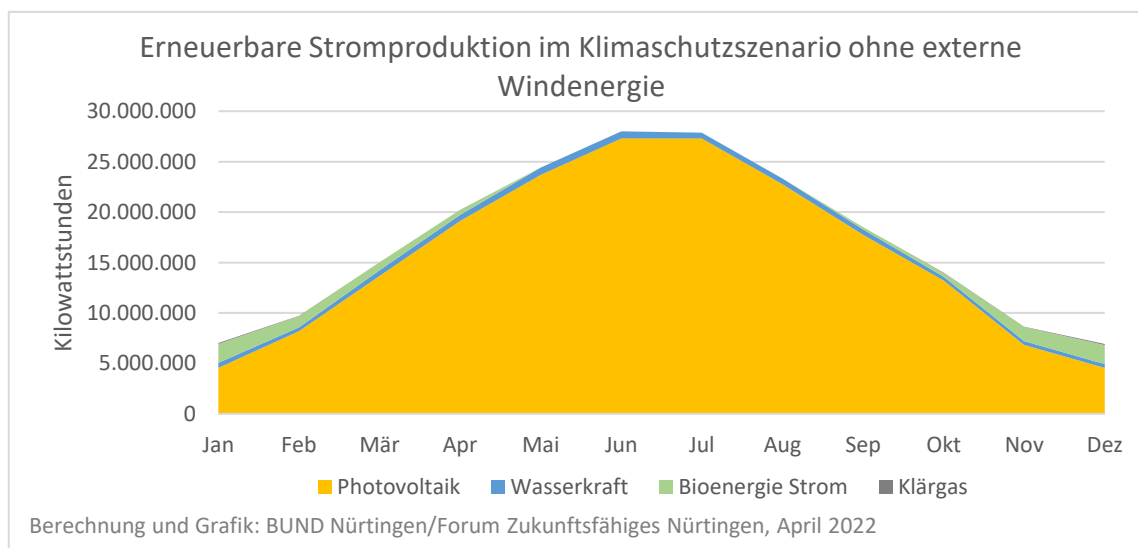


Abbildung 10: Lokale erneuerbare Stromproduktion im Klimaschutzscenario ohne Windenergie im Jahresverlauf

Die Stromerzeugung im Jahresverlauf des Klimaschutzszenarios mit externen Windenergieanlagen zeigt eine deutlich ausgewogenere Verteilung zwischen Sommer und Winter. Dies reduziert den Bedarf an saisonaler Stromspeicherung erheblich.

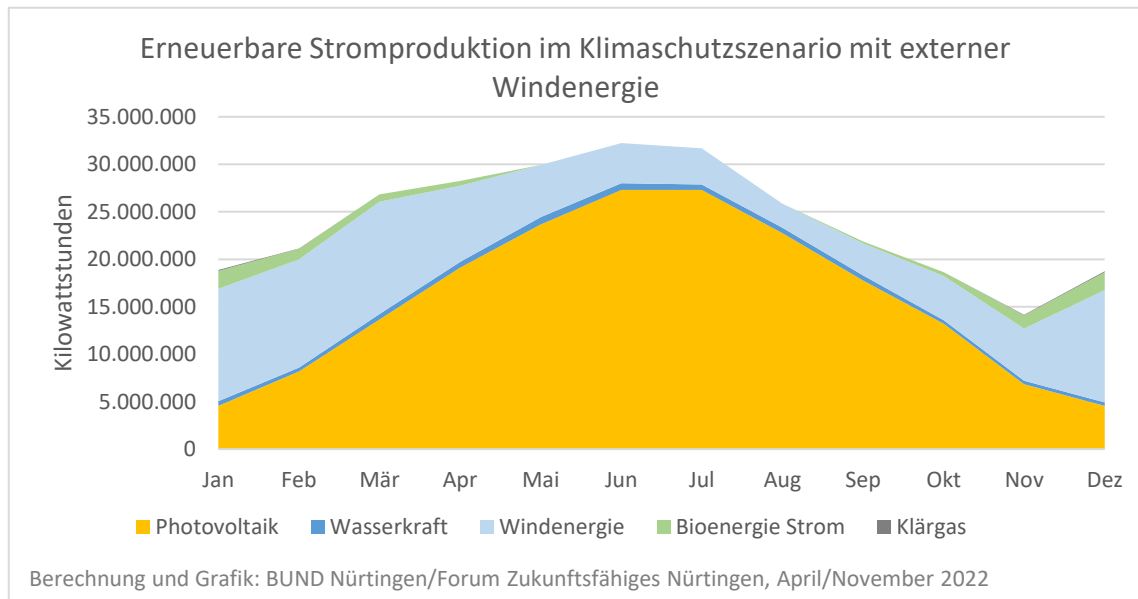


Abbildung 11: Erneuerbare Stromproduktion im Klimaschutzszenario mit externer Windenergie im Jahresverlauf

Hinweis zur Agri-Photovoltaik (Agri-PV)

Aufgrund der erhöhten Montage der Module ist unterhalb von Agri-PV-Anlagen eine normale ackerbauliche Nutzung möglich. In einer Untersuchung am Bodensee wurde im ersten Projektjahr 2017 laut Fraunhofer ISE eine Steigerung der Landnutzungseffizienz auf 160 Prozent erzielt. Bei Klee gras fiel der Ertrag im Vergleich zur Referenzfläche nur um rund 5 Prozent geringer aus. Bei den übrigen Kulturen (Kartoffeln, Weizen und Sellerie) lag der Ertrag um rund 18 bis 19 Prozent unter den entsprechenden Vergleichswerten. (Fraunhofer ISE, 2017) Im trockenen Sommer 2018 wurden bei drei der vier angebauten Kulturen unter der Agri-PV-Anlage sogar höhere Erträge als auf der Referenzfläche erzielt. So lag die Landnutzungseffizienz insgesamt bei 186 Prozent im Vergleich zu den herkömmlich bewirtschafteten Flächen (IWR, 2019). Dabei ist zu bedenken, dass trockene und heiße Sommer in Zukunft eher die Regel als die seltene Ausnahme sein könnten.

3.1.2 Wärmepotenziale

Um die Gebäude nicht allein mit Wärmepumpen beheizen zu müssen, ist eine effiziente Nutzung der Abwärme von Heizkraftwerken sinnvoll, sofern erneuerbare Brennstoffe nachhaltig zur Verfügung stehen. Ohne die Speicherung sommerlicher PV-Überschüsse, die beispielsweise mittels Wasserstoff zumindest teilweise möglich ist, wird das lokale Wärmepotenzial aus Heizkraftwerken auf weniger als 0,3 MWh/Ea geschätzt. Angenommen wurde, dass etwa die Hälfte der geeigneten biogenen Brennstoffe in BHKW mit Kraftwärmekopplung genutzt werden. Gemeinsam mit der lokalen Solarthermie könnten ca. 0,54 MWh pro Einwohner gewonnen werden.

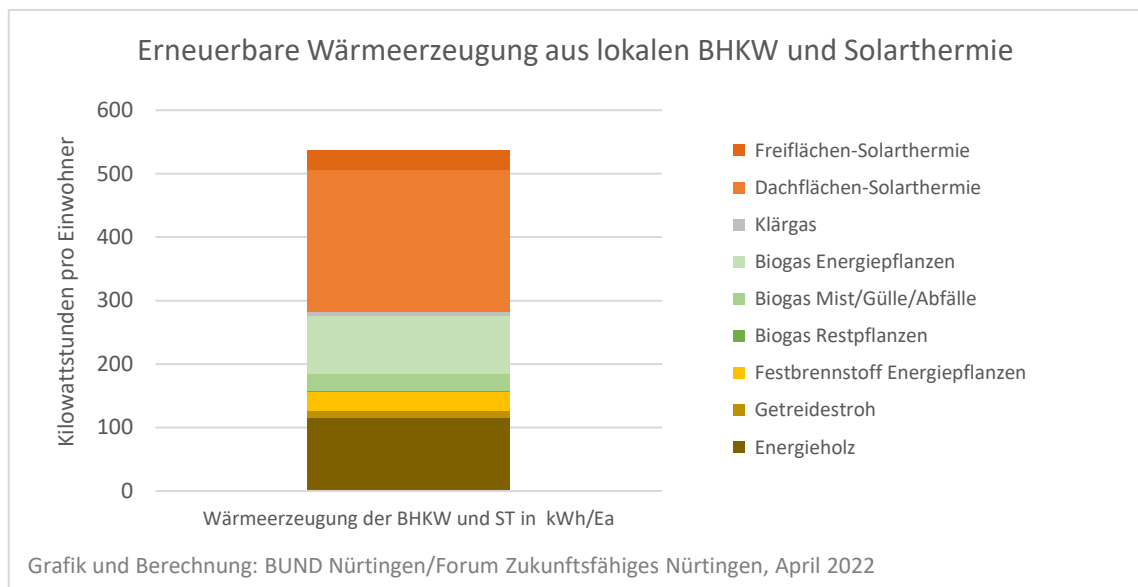


Abbildung 12: Erneuerbare Wärmezeugung aus lokalen BHKW und Solarthermie im Klimaschutzenszenario

Dazu wurde ein Potenzial von 0,59 MWh pro Einwohner in Form von biogenen Brennstoffen geschätzt, die für die direkte thermische Nutzung zur Verfügung stehen. Insgesamt wird das Wärmepotenzial somit auf ca. 1,13 MWh/Ea geschätzt.

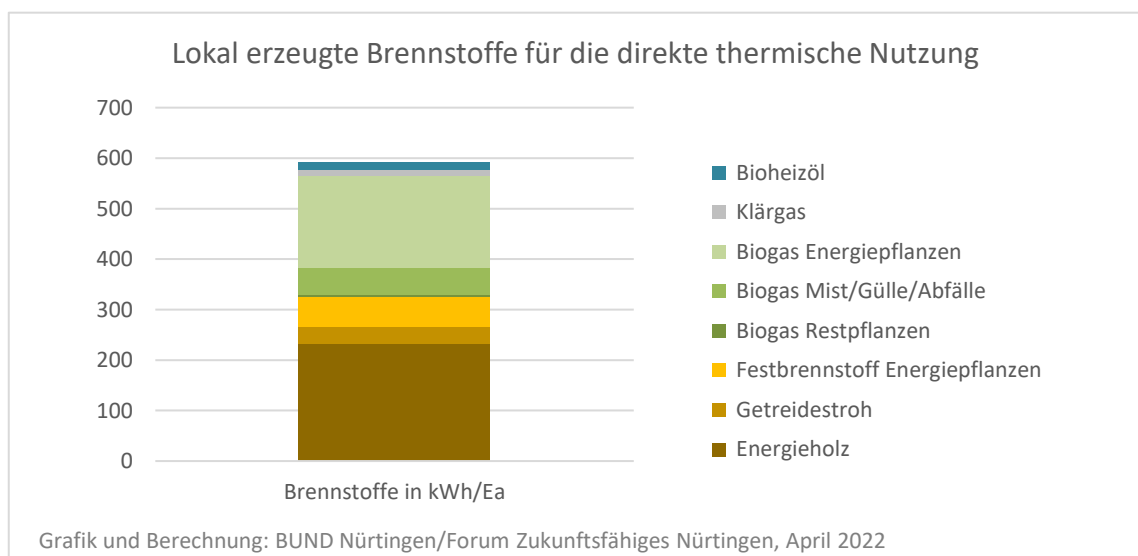


Abbildung 13: Potenzial an biogenen Festbrennstoffen im Klimaschutzenszenario

3.1.3 Mögliche Synergieeffekte

Die Nutzung erneuerbarer Energien stellt einen Eingriff in Natur und Landschaft dar. Werden die Potenziale erneuerbarer Energien mit Bedacht genutzt, können jedoch mehrere positive Synergieeffekte erzeugt werden. Bei den folgenden Beispielen handelt es sich lediglich um eine Auswahl.

3.1.3.1 Synergieeffekte von Photovoltaikanlagen für den Naturschutz

Ein Pilotversuch des *BUND* und der *solarcomplex AG* hat belegt, dass sich intensiv genutztes Grünland unterhalb von Photovoltaikanlagen innerhalb kurzer Zeit zu einer artreichen Wiese entwickeln kann: Nach Erhebungen des *BUND* haben sich aufgrund einer zielgerichteten Pflege auf der Fläche des Solarparks Mooshof bereits in den ersten beiden Jahren diverse gefährdete Tierarten angesiedelt. Nach Einschätzung des *BUND* ist der hohe Bestand an seltenen Insekten auf der Fläche des Solarparks auffallend (Siebler, 2013). Auch nach Einschätzung des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie können auf Grünland errichtete Solaranlagen bei extensiver Nutzung ökologische Vorteile bieten: „Bei geschickter Einbindung von PV-Freiflächenanlagen in vorhandene Biotop-Strukturen und Landschaftsbild können PV-Freiflächenanlagen die Landschaft ökologisch aufwerten“ (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, 2020).

3.1.3.2 Vermeidbarkeit von Monokulturen

Negativ auf Artenvielfalt und wichtige Umweltkennwerte können sich auch einjährige Energiepflanzen der ersten Generation auswirken, wenn sie großflächig in Monokulturen mit einem geringen Blühpflanzenanteil und unter hohem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln angebaut werden. Allerdings kann die Kombination mit Zwischenfrüchten und Anbaumethoden des ökologischen Landbaus hier zu einer erheblichen Verbesserung führen. Bei ökologischem Anbau muss man jedoch mit geringeren Hektarerträgen und somit auch mit geringeren Energieerträgen rechnen. Eine Alternative dazu stellen Energiepflanzen der zweiten Generation dar, die selbst im konventionellen Anbau wesentlich weniger chemischen Pflanzenschutz und einen geringeren Einsatz von Stickstoff erfordern. Zudem bieten sie eine deutlich größere Artenvielfalt und zahlreiche Chancen, Synergieeffekte zwischen Klimaschutz, Naturschutz und Umweltschutz zu erzielen.

3.1.3.3 Mögliche Synergieeffekte von Energiepflanzen der 2. Generation

Da Energiepflanzen der zweiten Generation weniger pflegeintensiv sind, mehrjährig genutzt werden können, kaum Pflanzenschutz benötigen und als mehrjährige Pflanzen zum Humusaufbau beitragen, können sie dabei helfen, die Bodenqualität zu verbessern, den Boden vor Erosion zu schützen und den Schadstoffeintrag in Gewässer und Grundwasser zu reduzieren. Zugleich wird mit dem Humusaufbau Kohlenstoff gebunden, was mit einer CO₂-Absorption verbunden ist. Nebenbei verbessert sich die Wasseraufnahmefähigkeit der Böden, was nicht nur die Böden besser vor Austrocknung schützt, sondern auch zum Hochwasserschutz beitragen kann.

Viele Energiepflanzen der zweiten Generation liefern mit Pollen und Nektar ein wertvolles Nahrungsangebot für Insekten. Bisher bietet auf der Ackerfläche vor allem der Raps ein Nektarangebot. Dieser ist aber in der Regel nach zwei Monaten Blühdauer bereits im Juni verblüht. Anschließend finden Insekten ein deutlich geringeres Angebot auf den Ackerflächen vor. Kombiniert man z. B. Durchwachsene Silphie, Miscanthus, Paulownia, Rutenhirse/Switchgrass, Sida, Sonnenblume, Sorghum bicolor, Ungarisches Hirschengras, Weide und Wildblumen-Mischungen, erhält man neben guten Energieerträgen ein Nahrungsangebot für Insekten, das von Ende März bis in den Oktober nahezu die gesamte Vegetationsphase abdeckt. Damit wird nicht nur die Pflanzenvielfalt, sondern auch der Anteil der als Insektenweide dienenden Pflanzen auf der Ackerfläche deutlich erhöht. Thermisch genutzte Pflanzen wie Miscanthus und Sida, die erst im Frühjahr geerntet werden, bieten zudem Wildtieren bis zur Ernte einen wertvollen Schutzraum und den ganzen Winter hindurch Deckung. Auch ergaben Untersuchungen auf Flächen mit Silphie und Topinambur signifikant mehr Brutnachweise als auf Flächen mit Wintergetreide oder Mais (Dziewiaty, 2011). Daher wird die Nutzung mehrjähriger Energiepflanzen auch mit Blick auf den Vogelschutz empfohlen (Dziewiaty, 2011).

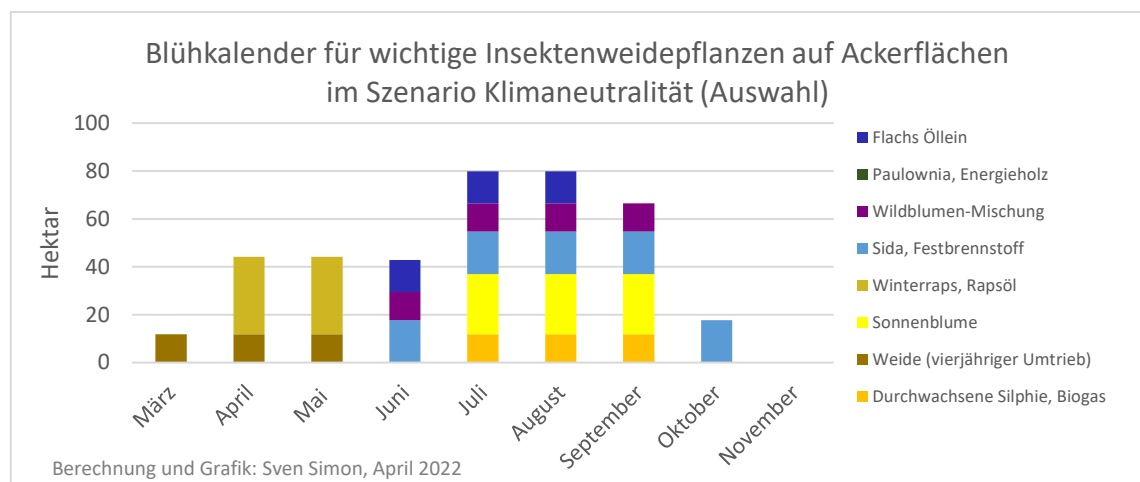


Abbildung 14: Blühkalender für wichtige Insektenweidepflanzen auf Ackerflächen im Szenario Klimaneutralität

Vorteile von Energiepflanzen der 2. Generation im Vergleich zu Energiepflanzen der 1. Generation und vielen Nahrungspflanzen:

- Größere biologische Vielfalt
- Mehr wertvolle Bienen-/Insektenweide
- Mehr geeigneter Lebensraum für Wildtiere
- Mehr Schutz für Tiere auch im Winter
- Selbst im konventionellen Anbau sehr geringer Bedarf an chemischen Pflanzenschutzmitteln.
- Geringer Stickstoffbedarf
- Kaum Bedarf an chemischen Düngemitteln
- Erosionsschutz: Wurzeln schützen auch im Winter
- Mehr Humusaufbau → mehr CO₂-Absorption, fruchtbarere Böden und besserer Hochwasserschutz

4 Mögliche Nahrungsautonomie

Nürtingen ist vergleichsweise dicht besiedelt. Bei dem heute durchschnittlichen Bedarf von 0,23 ha pro Person dürfte Nürtingen etwa 12 Prozent Autonomie erreichen können.

Durch die Reduktion der Verschwendung und eine Umstellung der Ernährungsweise (z. B. nach AGES-Empfehlungen) ist **trotz** der Nutzung der Agri-Photovoltaik, der Energiepflanzennutzung und der Umstellung auf ökologische Wirtschaftsweise eine Steigerung des Autonomie-Potenzials um ca. 30 Prozent (ca. 4 Prozentpunkte) auf ca. 16 Prozent möglich.

Sehr günstig wäre es aus unserer Sicht, im Zuge der Umstellung...

- den Fleischkonsum auf 15 bis 17 kg pro Person und Jahr zu senken (ca. 300 g/Woche) und den Schweinefleischanteil zu reduzieren.
- Milchviehhaltung fast ausschließlich grünlandbasiert zu betreiben und den Verbrauch von Milchprodukten auf ca. 80 kg pro Person und Jahr zu senken.
- in der Viehhaltung möglichst das Prinzip „Feed no Food“ anzuwenden.
- für Lebensmittel und insbesondere für tierische Produkte die wahren Kosten zu bezahlen, damit auch Landwirte von ihrer Arbeit leben können.
- gerade bei tierischen Produkten Qualität vor Quantität gehen zu lassen.

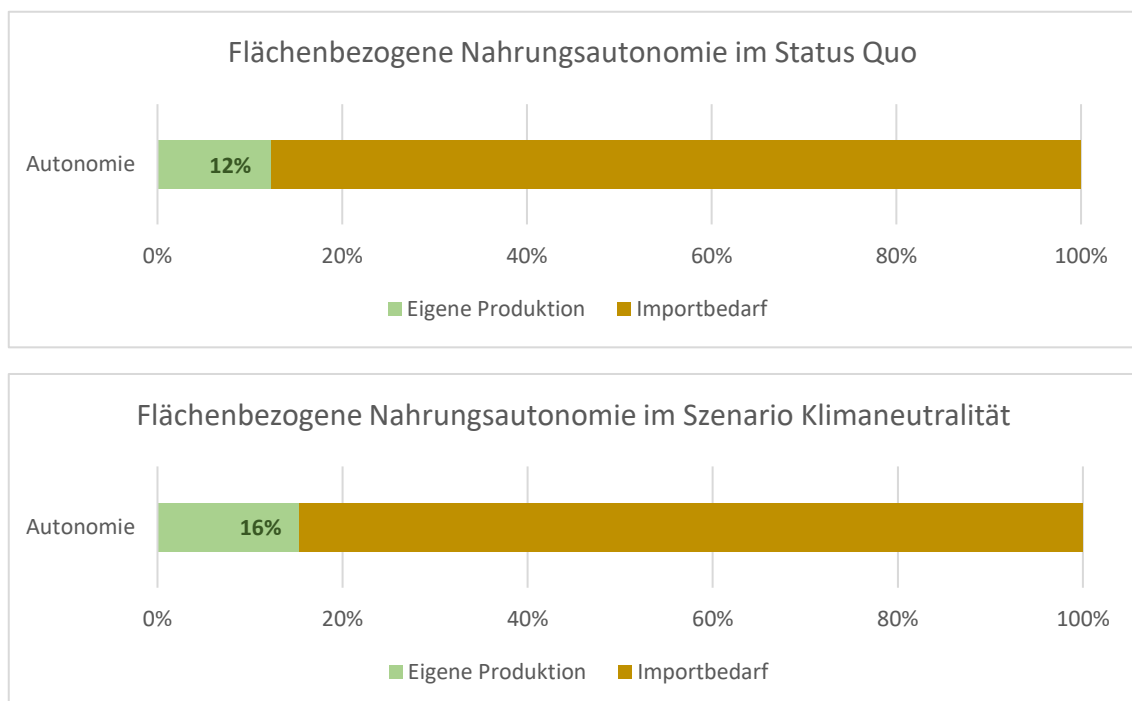


Abbildung 15: Mögliche Steigerung der Nahrungsautonomie in Nürtingen

5 Potenziale Energieeinsparung

Im Folgenden werden für die verschiedenen Verbrauchssektoren die wichtigsten Energiesparpotenziale zusammengefasst, die den Klimaschutzszenarien zugrunde liegen.

5.1 Verkehr

Für die Abschätzung von Einsparpotenzialen im Verkehrssektor ist es wichtig, den Modal Split des Verkehrs zu kennen. Zum Modal Split in Nürtingen lagen jedoch bei der Schätzung noch keine Daten vor. Die Schätzung orientiert sich daher am deutschen Durchschnitt.

Aufgrund der im Folgenden dargestellten Potenziale in den Bereichen Urlaub und Freizeit, Berufspendeln, Geschäftsreisen und Einkaufen erscheint eine Reduktion der Pkw-Fahrleistung um ca. 30 bis 40 Prozent erreichbar, wenn die Potenziale des öffentlichen Personenverkehrs mit den Potenzialen des Fahrradverkehrs im sogenannten Umweltverbund wirkungsvoll kombiniert werden. Eine entsprechende Reduktion des Pkw-Verkehrs wurde daher auch den Berechnungen des Klimaschutzszenarios als Annahme zugrunde gelegt.

5.1.1 Umstieg auf Bus, Bahn und Fahrrad

5.1.1.1 Potenziale zur Vermeidung und Verlagerung von Pkw-Verkehr

Laut der Studie Mobiles Baden-Württemberg lassen sich 34 Prozent des Pkw-Verkehrs durch eine veränderte Mobilitätskultur vermeiden. (Baden-Württemberg Stiftung gGmbH, 2017) Nach einer vom Wuppertal Institut erstellten Studie für Greenpeace kann die Anzahl der Wege mit dem Auto um 50 Prozent reduziert werden. (Greenpeace, 2017)

Eine aktuelle Schweizer Studie hält Verkehrssysteme mit einem ÖV-Anteil von 40 Prozent für realisierbar (Verband öffentlicher Verkehr, 2021). In Baden-Württemberg liegt er momentan ungefähr bei 10 Prozent.

Große Potenziale bietet auch das Konzept „Stadt der kurzen Wege“ mit dezentraler Nahversorgung.

5.1.1.2 Bedeutung der Sicherheit

Drei Viertel aller Deutschen sind der Ansicht, dass dem Fahrrad eine wichtige Rolle bei der Reduzierung des Verkehrsaufkommens (75%) und der Verringerung von Treibhausgasen (77%) zukommt. Dennoch nutzen sogar auf kurzen Strecken unter zwei Kilometern nur 21 Prozent das Rad, während die meisten das Auto wählen. Hauptursache ist offenbar nicht die Bequemlichkeit. 42 Prozent der Befragten halten das Radfahren für zu gefährlich. Auch im weltweiten Vergleich zeigt sich: Je sicherer die Infrastruktur, desto häufiger wird das Rad genutzt. (IPSOS, 2022)

5.1.2 Potenziale zur Vermeidung von Pkw-Verkehr

Modal Split in Deutschland

In Deutschland hatte der Urlaubs- und Freizeitverkehr im Jahr 2019 mit rund 40,7 Prozent den größten Anteil an der Personenverkehrsleistung aller Verkehrsmittel. Damit hatte er beinahe einen doppelt so großen Anteil wie der Berufs- und Ausbildungsverkehr mit 21 Prozent. Auf Geschäftsreisen entfielen 17,6 Prozent und auf Einkaufsfahrten etwa 16,1 Prozent des Personenverkehrs. 4,7 Prozent der Personenverkehrsleistung wurden im Rahmen von Begleitfahrten wie dem Bringen und Holen von Personen erbracht. (Umweltbundesamt, 2022a)

Freizeitverkehr

Pkw und Motorrad waren in Deutschland im Jahr 2019 die beliebtesten Fortbewegungsmittel für Urlaub und Freizeit. Bei einem Anteil von 38,3 Prozent am gesamten motorisierten Individualverkehr (Umweltbundesamt, 2022b) besteht hier ein enormes Potenzial, Verkehr durch bessere Naherholungsangebote zu vermeiden oder auf Bus und Bahn oder das Fahrrad zu verlagern.

Fernfahrten

1 Prozent aller Pkw-Fahrten in Deutschland sind länger als 100 km und machen 25 Prozent der Fahrleistung aus (Nobis & Kuhnimhof, 2018, S. 4). Ein großer Teil dieser Fahrleistung ließe sich auf die Bahn verlagern, wenn die nötigen Voraussetzungen geschaffen werden. Wichtig ist dabei etwa eine gute Verknüpfung der verschiedenen Verkehrsmittel des Umweltverbundes.

ÖPNV und Fahrrad im Pendlerverkehr

Mit durchschnittlich 16 Kilometern zählen die Wege zum Arbeitsplatz bereits zu den besonders langen Wegen (Agora Verkehrswende, 2021, S. 3).¹ Strecken unter 10 km könnten zumindest im Sommer problemlos mit dem E-Bike zurückgelegt werden. Zudem könnte ein ausgebauter ÖPNV große Beiträge leisten, Pendlerverkehr von Personenkraftwagen zu vermeiden.

Fahrrad und E-Bike

Im Stadtverkehr sind E-Bikes bis zu einer Entfernung von etwa 7,5 Kilometern das schnellste Verkehrsmittel (Umweltbundesamt, 2022b). Hieraus ergibt sich ein großes Verlagerungspotenzial von Pkw-Fahrten auf das Fahrrad oder das E-Bike, denn die Hälfte aller Autofahrten ist sogar kürzer als fünf Kilometer (Umweltbundesamt, 2022b).

Besetzungsgrad im Pendlerverkehr

Die Berufswege werden in Deutschland zu 63 Prozent mit dem Pkw zurückgelegt, wobei der Besetzungsgrad im Schnitt nur bei 1,075 Personen pro Auto liegt. (Agora Verkehrswende, 2021) Könnte auch im Pendlerverkehr der Besetzungsgrad z. B. durch

¹ 2018 lag der Wert bereits bei 16,9 km. Im Jahr 2000 legten Pendler täglich noch rund 8,7 km auf dem Weg zur Arbeit zurück, 2014 waren es noch 10,5 Kilometer. (Statista, 2018)

Fahrgemeinschaften auf den aktuellen Gesamtdurchschnitt zwischen 1,34 und 1,48 erhöht werden ², ließe sich dadurch theoretisch fast ein Viertel bis ein Drittel des Pendlerverkehrs vermeiden.

Homeoffice statt Pendeln

In Deutschland arbeiteten 2018 nur 5 Prozent der Beschäftigten zu Hause, in den Niederlanden waren es 14 Prozent. (Thomas, 2021, S. 8) Würden auch in Deutschland zusätzliche 9 Prozent der Beschäftigten zu Hause arbeiten, hätte dies einen erheblichen Effekt auf das Berufsverkehrsaufkommen.

Durch feste Homeoffice-Tage können zudem der Stress und krankheitsbedingte Ausfallzeiten reduziert werden: „Berufspendler fühlen sich häufig schlechter als Menschen, die keinen oder nur kurze Wege zur Arbeit zurücklegen müssen (...). Die Betroffenen besuchen deutlich häufiger den Allgemeinarzt. Gestützt werden die Ergebnisse von einer Studie der Techniker Krankenkasse, welche Pendlern ein erhöhtes Risiko psychischer Erkrankungen bescheinigt.“ (Deutsche Handwerkszeitung DHZ, 2018). Zudem kann die Produktivität steigen: Da Pendler meist früher aufstehen müssen, leiden sie häufiger unter Schlafmangel, Tagesmüdigkeit und Konzentrationsschwierigkeiten (Deutsche Handwerkszeitung DHZ, 2018).

Geschäftsreisen

Schon heute können „60% aller Geschäftsreisen und Meetings auch virtuell, ohne Produktivitätsverlust, mittels einer Onlinekonferenz stattfinden“ (Business-Travel, 2008). 60 Prozent der Geschäftsreisen, die per Pkw erfolgen, entsprechen 10,6 Prozent an der per Pkw erbrachten Personenverkehrsleistung.

Wohnungstausch

Wohnungstausch zwischen Pendlern, die jeweils in der Nähe des Wohnortes der/des anderen arbeiten, bietet ein erhebliches Verkehrsvermeidungspotenzial. Durch Wohnungstausch lassen sich Verkehrsvermeidung und eine bessere Nutzung des vorhandenen Wohnraums verbinden.

Pendler können, wenn sich geeignete Tauschpartner finden, durch einen Wohnungstausch eine gleichwertige Wohnung in der Nähe ihres Arbeitsortes finden, die ansonsten vielleicht nicht auf den Markt gekommen wäre, und damit vor allem Zeit, Kraftstoffkosten und CO₂ einsparen und außerdem Stress reduzieren.

Landkreise und Städte können daher umzugswillige Bürgerinnen und Bürger, die durch ihren Wohnungstausch Verkehr vermeiden und Wohnraum besser aufteilen mit wichtigen Impulsen, wie persönlicher Information, der gezielten Nutzung von Wohnungstauschplattformen und Umzugsprämien zum Umzug motivieren und dabei unterstützen.

² Der Wert variiert, je nachdem, ob er auf die zurückgelegten Wege oder die zurückgelegte Wegstrecke bezogen wird.

Einkaufen

Laut dem EU-Project CycleLogistics könnten 51 Prozent aller motorisierten Transporte in europäischen Städten auf Fahrräder, Radanhänger oder Lastenräder verlagert werden, da sie eine Streckenlänge von unter sieben Kilometern und ein Gewicht von weniger als 200 kg haben. Von 6.000 untersuchten Einkäufen an Super- und Baumärkten hätten 80 Prozent der Einkäufe mit dem Rad, 14 Prozent mit einem zusätzlichen Radanhänger oder mit einem Lastenrad bewältigt werden können. Nur für die übrigen 6 Prozent wäre ein Pkw nötig gewesen. (Wrighton & Reiter, 2016, zit. n. Deutsches Institut für Urbanistik, 2017)

Stadt der kurzen Wege

Das wirksamste Mittel, Verkehr zu vermeiden, ist es, ihn unnötig zu machen. Arbeiten und Wohnen wieder näher zueinander zu bringen, dezentrale Versorgung, lokale Nahrungsmittelproduktion und attraktive Freizeit- und Naherholungsangebote sind dabei ebenso wesentliche Elemente wie eine attraktive Gestaltung von Stadt und Landschaft.

Mögliche Synergieeffekte

Durch die dargestellten Maßnahmen können Verkehrsflächen für Wohnungsbau, Erholung oder Begrünung gewonnen werden. Eine bessere Anpassung der Städte an den Klimawandel durch Begrünung ist langfristig besonders wichtig. Mehr Grün, z. B. in Verbindung mit Außengastronomie und attraktiven Kultur- und Sportangeboten, und weniger (Verkehrs-)Lärm wirken sich positiv auf Wohlbefinden und Gesundheit aus, nicht zuletzt, da Begrünung wesentlich zum Schutz vor Hitze beitragen kann.

5.2 Wohnen

5.2.1 Haushaltsstrom

In Frankfurt wurden bei der Kampagne „Frankfurt spart Strom“ Privathaushalte mittels einer Stromsparprämie zum Stromsparen motiviert. Die teilnehmenden Haushalte erreichten in der Folge eine Einsparung von 23 Prozent (Stadt Frankfurt am Main, 2015). Das wirtschaftliche Gesamtpotenzial der Privathaushalte im Jahr 2011 wurde durch die Energieagentur Bayern auf 40 Prozent geschätzt (Bund Naturschutz, 2012, S. 2). Von diesem Einsparpotenzial wurde in Deutschland zwischen 2010 und 2019 ca. ein Viertel (10 Prozent) ausgeschöpft (Statista, 2021).

Für das Klimaschutzszenario wurde pro Haushalt eine Einsparung von 20 Prozent des Haushaltsstromverbrauchs des Jahres 2019 angenommen.

5.2.2 Stromverbrauch für Wärmebereitstellung

Hinlänglich bekannt sind vor allem die Einsparpotenziale, die etwa der Austausch alter Heizungspumpen bietet. Im Bereich der üblichen Umwälzpumpen beträgt der Verbrauch der Pumpen jährlich zwischen 225 und 400 Kilowattstunden (kWh), Hocheffizienzpumpen benötigen dagegen lediglich ca. 45 kWh pro Jahr.

Häufig nicht bedacht wird bei Schätzungen der durch einen Heizungsaustausch möglichen Energieersparnis, dass auch herkömmliche fossil betriebene Heizungen einen durchaus relevanten Stromverbrauch aufweisen können. Bei Ölbrennern kann dieser im Jahr durchschnittlich 450 kWh und mehr betragen. Somit verbrauchen ältere Systeme mit Ölheizungen für Brenner und Heizungspumpe nicht selten 650 kWh Strom und mehr pro Jahr, die z. B. beim Umstieg auf eine moderne Wärmepumpe eingespart werden können.

5.2.3 Wärme

Nach Einschätzung der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) ließe sich der Wärmebedarf der Gebäude im Durchschnitt auf Werte von 50 – 60 kWh/m² senken. Bei besserem Dämmstandard, einer Nutzung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung etc. können auch Werte von ca. 30 kWh/m² erreicht werden. (dena, 2016, S. 3) Für das Klimaschutzszenario wurde daher ein Mittelwert von 55 kWh/m² als erreichbarer durchschnittlicher Nutzenergiebedarf angenommen. Dies entspricht beinahe dem KfW50-Standard und würde in Nürtingen eine Bedarfsreduktion um mehr als 58 Prozent ermöglichen.

Bei einem hohen Energiestandard von ca. 55 kWh/m²*a reicht das lokale Bioenergiepotenzial aus, um einen beachtlichen Teil der Gebäude zu beheizen. Dementsprechend groß wäre die Entlastung für die Stromnetze und die Reduktion des Bedarfs an saisonalen Stromspeichern zur Versorgung von Wärmepumpen.

Bei der Gebäudedämmung bestehen zudem Potenziale, die über die reine Endenergieeinsparung der Gebäude hinausgehen. Naturdämmstoffe aus einheimischen nachwachsenden Rohstoffen sind eine gute Alternative zu Dämmstoffen aus Kunststoff, die auch die Rohstoffimportabhängigkeit reduzieren können und zum Teil sogar bereits heute in der Herstellung positive CO₂-Bilanzen aufweisen. Wie die Nutzung lokaler erneuerbarer Energien bietet auch die Nutzung lokal nachwachsender Rohstoffe Chancen für die regionale Wirtschaft, die Wertschöpfung zu steigern und Kaufkraftabflüsse zu reduzieren.

5.3 Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)

Zum Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen liegen auch in Nürtingen vergleichsweise wenige Daten vor. Daher wird für die Einschätzung der Einsparpotenziale ebenfalls auf bundesweite Durchschnittswerte zurückgegriffen.

Der Wärmeverbrauch im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) ist zu erheblichen Teilen von der Gebäudebeheizung abhängig. Gleichzeitig ist der Stromanteil im Sektor GHD relativ hoch, was auf den verstärkten Einsatz für Beleuchtung und mechanische Energie zurückzuführen ist. (Umweltbundesamt, 2022) Deutschlandweit wird im Sektor GHD ein Einsparpotenzial von ca. 27 Prozent gegenüber dem Jahr 2014 gesehen (Umweltbundesamt, 2022c)

5.3.1 Strom

5.3.1.1 Gewerbe

Elektrische Antriebe in Industrie und Gewerbe verbrauchen nach Angaben des Umweltbundesamtes „fast zwei Fünftel des gesamten Stromes in Deutschland und circa 80 Prozent in diesen zwei Sektoren. Gerade bei elektrischen Antrieben und den davon angetriebenen Aggregaten besteht ein großes und wirtschaftliches Stromeinsparpotenzial – besonders bei Druckluft, Pumpen und Ventilatoren“ (Umweltbundesamt, 2021).

Die größten Einsparpotenziale bieten eine effiziente Beleuchtung mit 20 Prozent des Einsparpotenzials, effiziente Lüftungssysteme mit 16 Prozent des Einsparpotenzials und Druckluftsysteme sowie der Einsatz energieeffizienter Pumpen mit jeweils ca. 11 Prozent des Einsparpotenzials.³

5.3.1.2 Dienstleistungen

Auch im Bereich von Dienstleistungsunternehmen bestehen erhebliche Einsparpotenziale. So können Unternehmen ihre Stromkosten für Informationstechnik mithilfe einer

³ Das Umweltbundesamt verweist auf die Studie „Energieeffizienz: Potenziale, volkswirtschaftliche Effekte und innovative Handlungs- und Förderfelder für die Nationale Klimaschutzinitiative“, nach welcher in den Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen rund 44 Milliarden Kilowattstunden (Mrd. kWh) Strom eingespart werden können, wobei die größten Einsparpotenziale besonders durch den Einsatz energieeffizienter Pumpen (5 Mrd. kWh), effizienter Beleuchtung (9 Mrd. kWh) und effizienter Lüftungssysteme (7 Mrd. kWh) und Druckluftsysteme (5 Mrd. kWh) ausgeschöpft werden könnten.

Green-IT-Strategie um bis zu 75 Prozent senken. (Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2012, S. 7) Das größte Potenzial bieten dabei die Serverräume, aber auch in den Büros sind die Einsparpotenziale beachtlich.

5.3.1.3 GHD Insgesamt

Die Studie des Bund Naturschutz in Bayern e.V., angefertigt durch die Energieagentur Nordbayern, geht von einem Gesamteinsparpotential des Stromverbrauchs im Sektor GHD in Bayern bis 2030 um rund 35 Prozent gegenüber dem Jahr 2010 aus. Allerdings ist die bisherige Ausschöpfung der Potenziale des Sektors zwischen den Jahren 2010 und 2019 unbekannt. Es ist aber wahrscheinlich, dass die Potenziale zu großen Teilen noch nicht ausgeschöpft sind.

5.3.2 Wärme

Auch beim Brennstoffverbrauch liegt im Sektor GHD noch ein erhebliches Einsparpotential vor, das bisher kaum genutzt wird (Umweltbundesamt, 2021). Dafür gibt es laut Umweltbundesamt zwei Hauptgründe: „Ein Mangel an Information und finanzielle Einschränkungen. Industrie- und Gewerbeunternehmen verwenden die verfügbaren Investitionsmittel vorrangig für das Kerngeschäft und stellen hohe Anforderungen an die Amortisationszeit von Energieeffizienzmaßnahmen.“ (Umweltbundesamt, 2021).

Die Raumwärme hat typischerweise einen Anteil von ca. 80 Prozent am Wärmebedarf des Sektors (Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2016, S. 167). Der erreichbare Energiebedarf der Nichtwohngebäude liegt auf dem Niveau der Wohngebäude, woraus sich auch hier ein erreichbarer Wert von 50 – 60 kWh/m² ergibt. Sofern sich auch hier in Verbindung mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpen Einsparungen von ca. 60 bis 75 Prozent der Endenergie einsparen lassen, können allein durch die Gebäudemodernisierung 45 bis 60 Prozent des Endenergiebedarfs des Sektors für Wärmebereitstellung eingespart werden. Durch die Umstellung auf Wärmepumpen wird allerdings der Strombedarf des Sektors steigen.

5.4 Industrie

Das Bundesministerium für Umwelt ging im Jahr 2009 davon aus, dass in der Industrie zwischen 20 und 40 Prozent des Energieverbrauchs „zu wirtschaftlich vernünftigen Bedingungen bis 2020“ eingespart werden könnten (BMU, 2009). Dieses Potenzial ist in der Regel seither nur zu einem kleineren Teil ausgeschöpft worden.

5.4.1 Strom

Große Bedeutung kommt in der Industrie dem Einsatz von Elektromotoren zu: „Elektrische Antriebe sind im Bereich der Industrie für rund 70 Prozent des Stromverbrauchs verantwortlich. Mehr als 90 Prozent der Gesamtkosten eines Elektromotors über die Lebensdauer entfallen auf den Stromverbrauch, weniger als zehn Prozent auf die Anschaffung.“ (BMU, 2009, S. 7). Strom ließe sich daher unter anderem durch geeignete Drehzahlregler einsparen. Insgesamt bestehen beim industriellen Verbrauch erhebliche Einsparpotenziale (vgl. Tabelle 2).

5.4.2 Raumwärme und Warmwasser

Raumwärme hat nur einen vergleichsweise geringen Anteil am Energieverbrauch der Industrie (Umweltbundesamt, 2022d). Die Einsparpotenziale liegen auch hier vor allem im Bereich der Gebäudedämmung und, wo möglich, im Einsatz von Wärmepumpen. Unter Umständen steht Brauchwasserwärme oder auch ungenutzte speicherbare Abwärme aus der Produktion als Wärmequelle zur Verfügung. Das meiste Warmwasser wird in Sanitäranlagen und Umkleideräumen benötigt. Weite Wärmewege verursachen bis zu 60 Prozent Wärmeverluste (BMU, 2009, S. 12).

5.4.3 Prozesswärme

Mit über 60 Prozent hat Prozesswärme in Deutschland den größten Anteil am Endenergieverbrauch der Industrie. In vielen Fällen können herkömmliche Systeme durch strombasierte Systeme ersetzt werden, wie etwa durch heiße Wärmepumpen: „Ein norwegisches Konsortium hat eine industrielle Wärmepumpe gebaut, die eine Temperatur von bis zu 180 Grad Celsius erreichen kann. Sie kann bei verschiedenen industriellen Prozessen eingesetzt werden, die auf Dampf als Energieträger angewiesen sind, und kann den Energieverbrauch einer Fabrik um 40 bis 70 Prozent senken, da sie die Rückgewinnung von Niedertemperatur-Abwärme ermöglicht.“ (Bellini, 2021)

5.4.4 Übersicht Einsparpotenziale

In der folgenden Tabelle ist eine Auswahl von Einsparpotenzialen in der Übersicht dargestellt. Die Potenziale müssen im Einzelfall geprüft werden.

Tabelle 2: Übersicht Einsparpotenziale in der Industrie (Auswahl)

Potenzial	Mittel	Mögliche Einsparung
Druckluft	Hochwirkungsgrad-Motoren und Umrichter	bis zu 50 %
Elektromotoren	Drehzahlregler	20 bis 50 %
Pumpensysteme	Richtiger Pumpentyp für die jeweilige Anwendung und Betriebsumgebung, Doppelpumpenbetrieb etc.	12 bis 15 %
Beleuchtung	LED, tageslichtabhängige Steuerung u. a.	bis zu 80 %
Lüftung, Kühlung und Kälte	Lüftungsmotoren mit veränderbarer Drehzahl & Vermeidung unnötig hoher Drehzahlen, Lüftungsanlagen mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung, dezentrales Lüften	k. A.
Raumwärme und Warmwasser	Nachträgliche Wärmedämmung, Wärmepumpen, Brauchwasserwärmerückgewinnung	50 bis 75 %
Prozesswärme bis 180°C	Heiße Wärmepumpen	40 bis 70 %

Quellen: Bellini, 2021; BMU, 2009; dena, 2016

5.5 Öffentlich

Insbesondere Schulgebäude sind nicht selten führende Energieverbraucher unter den öffentlichen Liegenschaften, die häufig 40 bis 60 Prozent der Energiekosten aller kommunalen Gebäude verursachen (Berlo & Seifried, 2016, S. 7). Dabei sind größere Einsparungen häufig bereits möglich, bevor ein Schulgebäude neu gedämmt wird. So wurde z. B. in vier Solar&Spar-Schulen eine Einsparung von rund 4,3 Mio. Kilowattstunden Wärme pro Jahr erreicht, ohne dass „auch nur ein Quadratmeter Isolation angebracht“ wurde. (Berlo & Seifried, 2016, S. 15). Die zahlreichen Einsparpotenziale in Schulen sind in der Broschüre „Einsparkraftwerk Schule – Wie Bürger und Klima profitieren können“ von Kurt Berlo und Dieter Seifried dokumentiert.

Stark ins Gewicht fällt beim Energieverbrauch der Gemeinden häufig auch die Straßenbeleuchtung, deren Anteil an den Stromkosten der Kommunen bis zu 40 Prozent betragen kann. Ansonsten ähneln viele Einsparpotenziale der Verwaltung den Potenzialen im Dienstleistungsbereich.

6 Szenarien

6.1 Definition des Klimaschutzszenarios

Im Folgenden werden die Datengrundlagen und Annahmen für die Berechnung des **Klimaschutzszenarios** dargestellt, die zu den berechneten Energieverbräuchen, Autonomiepotenzialen und Treibhausgasemissionen im jeweils gewählten Zieljahr der Treibhausgasneutralität (2035, 2040 oder 2045) führen.

Tabelle 3: Bezugsjahre und Bevölkerung des Status Quo und des Szenarios Klimaneutralität

Kennwert	Status Quo	Szenario	Quellen / Bemerkungen
Gemeinde	Nürtingen		Statistisches Landesamt, 2021: Regionaldaten - Bevölkerung und Bevölkerungsvorausrechnung
Bezug	Bestand	Szenario	
Bezugsjahr bzw. Zieljahr	2019	2035, 2040 oder 2045	
Einwohner	41.223	41.544	

Tabelle 4: Sektor Wohnen - Wärmegewinnung und Wärmebedarf

Kennwert	Status Quo	Szenario	Quellen / Bemerkungen
Reduktion des Haushaltsstromverbrauchs		20%	(Stadt Frankfurt am Main, 2015) (in Frankfurt wurden 23 % erreicht)
KWK-Anteil der Nutzung von Festbrennstoffen		50%	Annahme
KWK-Anteil der Biogasnutzung		50%	Annahme
Nutzbare Abwärme insgesamt (kWh/Ea)		ca. 300 - 450	Berechnung nach Abzug von 11 Prozent Netzverlust (basierend auf Eingaben zu KWK-Anteilen).
Für Wohngebäude nutzbarer KWK-Abwärmeanteil		100%	Annahme
Für Wohngebäude eingeplanter Festbrennstoffanteil		100%	Annahme
Wärmebedarf pro Quadratmeter (kWh/m ²)	130	55	Mittelwert des erreichbaren Standards (50 – 60 kWh/m ² nach dena, 2016, S. 3)
Arbeitszahl Wärmepumpen:	3,0	3,6	Annahme

Tabelle 5: Sektor Wohnen - Gebäudebeheizung (Anteile der Systeme an Wärmebereitstellung)

System	Status Quo*	Szenario**	Quellen / Bemerkungen
Öl	30,7%	0,6%	Annahme
Gase (Status Quo: fossile Gase Szenario: Erneuerb. Gase)	44,9%	15,9%	Berechnung (Lokales Potenzial nach angenommenem KWK-Anteil)
Feste Biomasse	7,5%	6,9%	Berechnung (Lokales Potenzial nach angenommenem KWK-Anteil)
Solarthermie	1,0%	10,7%	Berechnung nach Annahme zu Dachflächenanteil und Energiestandard
Wärmepumpen	2,5%	42,6%	Berechnung (Nicht über Biomasse, Solarthermie oder Infrarot gedeckt)
Strom direkt	2,9%	2,0%	Szenario: Infrarotheizungen
Wasserstoff	0,0%	5,3%	
Nahwärme	10,5%	16,0%	Status Quo: Netzbetreiberangaben Potenzial: Berechnung (Lokales Potenzial nach Annahme zu KWK-Anteil)

* Schätzung ** Nur möglich bei dem angenommenen Energiestandard der Gebäudehüllen.

Tabelle 6: Mobilität der Bevölkerung

Kennwert	Status Quo	Szenario	Quellen / Bemerkungen
Kilometer pro Person und Jahr	Stand 2019	Wie 2019	Annahme

Tabelle 7: Modal Split im Individualverkehr

Fortbewegung/ Verkehrsmittel	Angenom- mener Bestand	Zukunftsmix	Quellen / Bemerkungen
Fußverkehr	3,0%	3,0%	Modal Split 2017: bundesweite Durchschnittswerte, nach MiD 2017 (Nobis & Kuhnimhof, 2018)
Fahrrad	1,5%	5,0%	
E-Bike	1,5%	11,0%	Modal Split im Szenario: Annahmen in Anlehnung an diverse Studien, wie in Abschnitt 5.1 dargestellt.
Kraftrad	1,0%	1,0%	
Pkw-Fahrer	55,0%	32,0%	
Pkw Mitfahrer	20,0%	21,0%	
Bus	8,8%	17,0%	
Bahn	9,2%	10,0%	
Besetzungsgrad Pkw	1,48	1,66	Bezogen auf die Fahrleistung

Tabelle 8: Motorisierung der Pkw (bezogen auf die Anteile an der erbrachten Fahrleistung)

Motorisierung	Geschätzter Bestand	Zukunftsmix	Quellen / Bemerkungen
Pkw mit Ottomotor, Gas (Status Quo: Erdgas, 2035:Biogas)	0,5%	2,0%	Status Quo: Schätzung nach KBA und STL BW (2020)
Pkw mit Ottomotor, Benzin/Ethanol	51,4%	1,0%	Szenario: Annahme (3 Prozent Verbrenner inkl. historische Fahrzeuge)
Pkw mit Dieselmotor	48,0%	0,0%	
Pkw mit Elektromotor	0,1%	97,0%	
Pkw mit Wasserstoff-BZ	0,0%	0,0%	
Pkw mit Verbrenner & synthetischen Treibstoffen	0,0%	0,0%	

Tabelle 9: Motorisierung leichter Nutzfahrzeuge (bezogen auf die erbrachte Fahrleistung)

Motorisierung	Geschätzter Bestand	Zukunftsmix	Quellen / Bemerkungen
Dieselmotor	100%	0%	Annahme
Elektromotor	0%	100%	Annahme
Wasserstoff-BZ	0%	0%	Annahme
Verbrenner mit synthetischen Treibstoffen	0%	0%	Annahme

Tabelle 10: Motorisierung schwerer Nutzfahrzeuge (bezogen auf die erbrachte Fahrleistung)

Motorisierung	Geschätzter Bestand	Zukunftsmix	Quellen / Bemerkungen
Dieselmotor	100%	0%	Annahme
Elektromotor	0%	70%	Annahme
Wasserstoff-BZ	0%	30%	Annahme
Verbrenner mit synthetischen Treibstoffen	0%	0%	Annahme

Tabelle 11: Motorisierung der Busse (bezogen auf die erbrachte Fahrleistung)

Motorisierung Busse	Geschätzter Bestand	Zukunftsmix	Quellen / Bemerkungen
Dieselmotor	100%	0%	Annahme
Elektromotor	0%	50%	Annahme
Wasserstoff-BZ	0%	50%	Annahme
Verbrenner mit synthetischen Treibstoffen	0%	0%	Annahme
SUMME	100%	100%	

Tabelle 12: Kapazität und Besetzungsgrad im Busverkehr

Kapazität des Busverkehrs	Geschätzter Bestand	Ziel	Quellen / Bemerkungen
Sitzplätze pro Bus	40	40	Schätzung ⁴
Besetzungsgrad	20%	30%	Bundesdurchschnitt / Annahme

Tabelle 13: Energieeinsparung und Elektrifizierung Industrie / Produzierendes Gewerbe

Kennwert	Bestand	Ziel	Quellen / Bemerkungen
Stromeinsparung	-	25%	Annahme nach (BMU, 2009) ⁵
Wärmeeinsparung	-	45%	Annahme nach (BMU, 2009)
Elektrifizierungsgrad Wärme	-	100%	10% Raumwärme: über Wärmepumpen. 90% sonstiger Wärmebedarf: elektrisch, z. B. über heiße Wärmepumpen.
Gesamteinsparung	-	34%	

⁴ Die Spanne reicht bei Omnibussen in der Regel von 25 bis 52 Sitzplätzen, je nach Busgröße und Bestuhlungsvariante. Zweitürige Stadtbusse bieten in der Regel 25 bis 28 Sitzplätze, Gelenkbusse bieten meist zwischen 26 und 46 Sitzplätzen.

⁵ Das BMU ging im Jahr 2009 davon aus, dass in der Industrie zwischen 20 und 40 Prozent des Energieverbrauchs „zu wirtschaftlich vernünftigen Bedingungen bis 2020“ eingespart werden könnten (BMU, 2009). Die tatsächlich erfolgte Einsparung bis zum Jahr 2017 lag in fünf betrachteten Landkreisen lediglich bei 6 Prozent.

Tabelle 14: Energieeinsparung und Elektrifizierung im Sektor Gewerbe, Handel & Dienstleistung

Kennwert	Bestand	Ziel	Quellen / Bemerkungen
Stromeinsparung	-	20%	Annahme
Wärmeeinsparung	-	60%	Annahme
Ersatz von Öl, Gas und Holz durch Strom (Wärmepumpen etc.)	-	100%	Annahme: Wärmebedarf zu 80 Prozent Raumwärme, der durch Wärmepumpen gedeckt werden kann. Bei höheren Temperaturen bis ca. 180°C können z. B. schon heute heiße Wärmepumpen eingesetzt werden.
Gesamteinsparung	-	71%	

Tabelle 15: Sektor Landwirtschaft

Kennwert	Geschätzter Bestand	Ziel	Quellen / Bemerkungen
Wirtschaftsweise	konventionell	ökologisch	Annahme
Ernährungsweise	Bestand	AGES	Gesunde Mischkost nach AGES Österreich und eine an die Nachfrage angepasste Produktion (AGES Österreich, 2017).
Nahrungsmittelverluste	25%	10%	Mögliche Minimierung der Verschwendung nach WWF Deutschland, 2015, und Schmidt, et al., 2019
Landmaschinen elektrifiziert	0%	70%	Annahme (Rest: Biodiesel)
Neuer Flächenverbrauch 2019 bis 2035 ggü. Status Quo		1,0 – 1,5%	Annahme: Orientiert an Vergleichszeitraum 2011 bis 2021

Tabelle 16: Import erneuerbarer Energien

Kennwert	Geschätzter Bestand	Ziel	Quellen / Bemerkungen
Import von Bioenergie und Strom	k. A.	Nein	Annahme. Ein Import aus anderen Teilen des Landes ist zwar möglich und kann durchaus sinnvoll sein. Für das Szenario wurde aber nur das lokale Potenzial berücksichtigt, um das geschätzte Autonomiepotenzial aufzuzeigen.

Tabelle 17: Nutzung lokaler erneuerbarer Energien

Kennwert	Geschätzter Bestand	Szenario	Quellen / Bemerkungen
Dachmodulflächenpotenzial (m ² /EW)	31	31	HfWU Nürtingen
Fassadenmodulfläche (m ² /EW)	7,0	7,0	Annahme nach Ecofys (2007): Potenzial wurde proportional zum Dachflächenpotenzial übertragen.
Anteil Photovoltaik	95%	98%	Bestand: Berechnung Szenario: Annahme
Anteil Solarthermie	5%	2%	Bestand: Berechnung Szenario: Annahme
Wärmeertrag Solarthermie (kWh/m ² MF)	520	520	Heutiges Ertragspotenzial
Stromertrag Dach-PV (kWh/m ² MF)	150	170	Status Quo: heutiges Ertragspotenzial. Szenario: Annahme
Stromertrag Fassaden-PV (kWh/m ² MF)	68	75	Status Quo: heutiges Ertragspotenzial. Szenario: Annahme
Nutzung des Dachmodulflächenpotenzials	7%	70%	Bestand: Berechnung Szenario: Annahme
Nutzung des Fassadenmodulflächenpotenzials	k. A.	5%	Szenario: Annahme
Freiflächen-PV-Potenzial ohne Agri-PV (Hektar)	0	23	Potenzial: Schätzung nach LANUV Nordrhein-Westfalen (2013)
Nutzung Freiflächen-PV-Potenzial	0	100%	
Agriphotovoltaik-Anteil an LNF	0%	5%	Annahme
Windenergie-Potenzial (MWh/a)	k. A.	4.000	Annahme
Wasserkraftpotenzial (MWh/a)	6.271	6.271	Status Quo: heutiges Ertragspotenzial. Szenario: Annahme
Energiepflanzenanteil an Ackerfläche	k. A.	20%	Szenario: 20 Prozent sind bis 2045 nachhaltig mit einer globalen Ernährungssicherung vereinbar, sofern die globale Erwärmung gemäß dem Pariser Klimaabkommen eingedämmt werden kann.

6.2 Verschiedene Wege zur Treibhausgasneutralität

6.2.1 Klimaschutzszenario 2045

6.2.1.1 Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2045 ⁶

Durch die im Szenario angenommenen Maßnahmen sinkt der Energieverbrauch der Stadt Nürtingen auf weniger als 7,8 MWh pro Person und Jahr. Die weitgehende Elektrifizierung führt allerdings zu einem erheblichen Anstieg des Strombedarfs, sodass der Anteil des Stroms am lokalen Gesamtverbrauch auf ca. 86 Prozent steigt. Je nach gewählten Speichertechnologien und aus ihnen folgenden Speicherverlusten kann der lokale Strombedarf noch größer ausfallen.

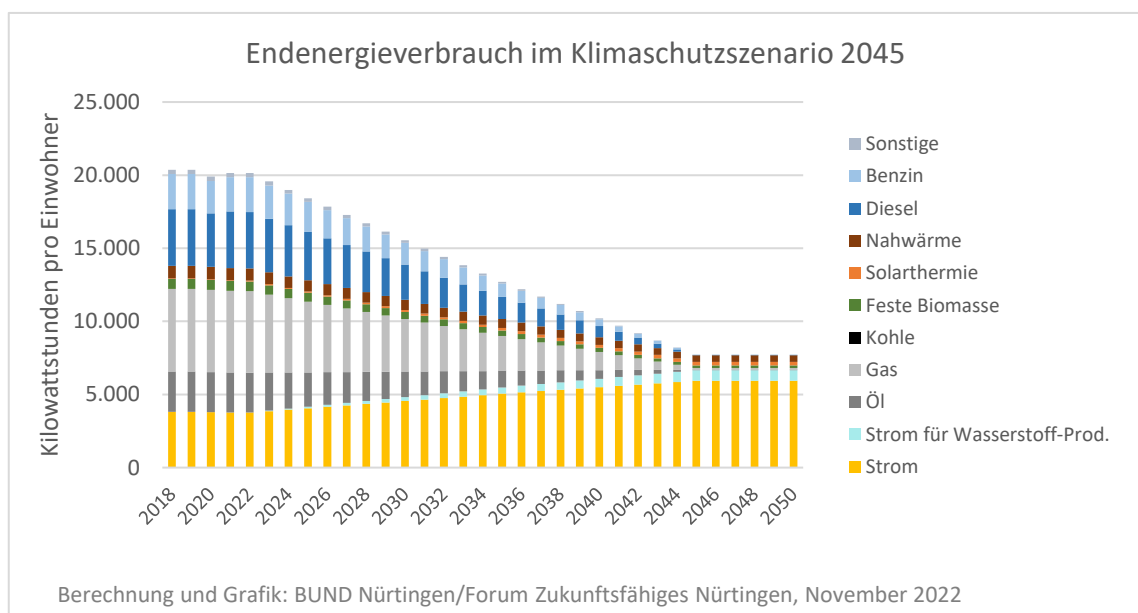


Abbildung 16: Endenergieverbrauch im Klimaschutzszenario 2045

6.2.1.2 Treibhausgasausstoß im Klimaschutzszenario 2045

Die sich im Klimaschutzszenario 2045 ergebenden energiebedingten Treibhausgasemissionen sind in Abbildung 17 dargestellt.

Zwischen 2022 und 2045 entstehen damit immer noch Emissionen von ca. 67 Tonnen CO₂-Äq. pro Person. Dies entspricht fast dem Doppelten (190 Prozent) des 1,5-Grad-Budgets, das ab Ende des Jahres 2022 noch ca. 35 t pro Person beträgt.

⁶ Summe aus dem Endenergieverbrauch und dem Stromeinsatz der Wasserstoffproduktion als lokaler Energieverbrauch.

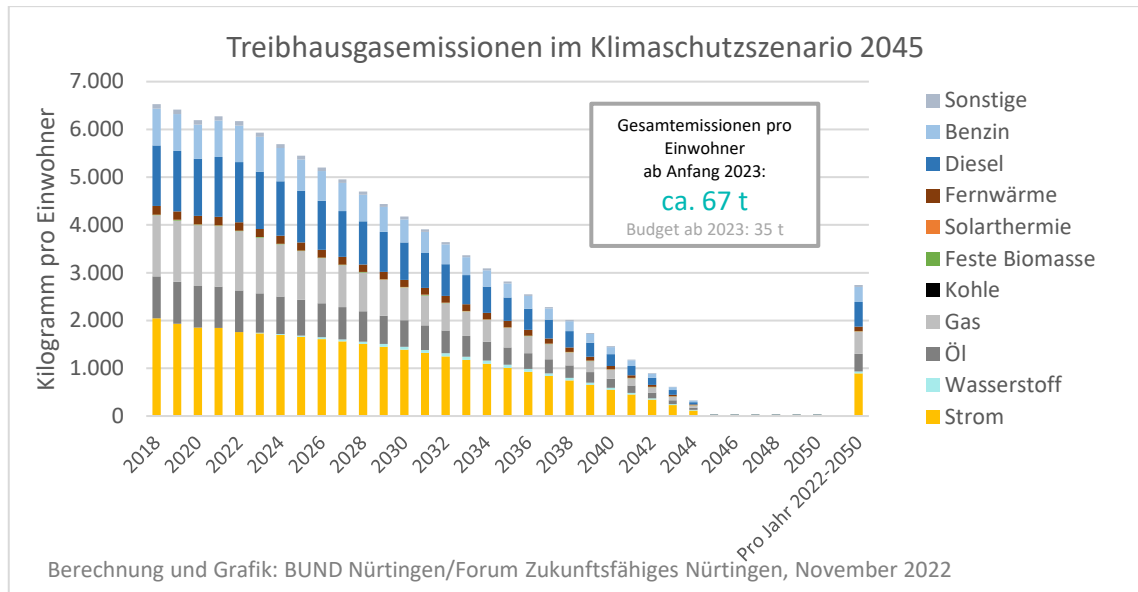


Abbildung 17: Treibhausgasemissionen im Klimaschutzscenario 2045

6.2.2 Klimaschutzscenario 2040

6.2.2.1 Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzscenario 2040

Der Energieverbrauch im Zieljahr des Klimaschutzscenario 2040 entspricht dem Energieverbrauch im Zieljahr des Klimaschutzscenario 2045, wird aber um 5 Jahre früher erreicht. Dementsprechend sinkt der Zielpfad für den lokalen Energieverbrauch deutlich steiler ab.

6.2.2.2 Treibhausgasausstoß im Klimaschutzscenario 2040

Wird eine weitestgehend klimaneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 2040 erreicht, könnte der lokale energiebedingte Treibhausgasausstoß auf ca. 53 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Person begrenzt werden. Dies entspricht 150 Prozent des 1,5-Grad-Budgets.

6.2.3 Klimaschutzszenario 2035

6.2.3.1 Lokaler Energieverbrauch im Klimaschutzszenario 2035

Der Energieverbrauch im Zieljahr des Klimaschutzszenarios 2035 entspricht dem Energieverbrauch in den Zieljahren der Klimaschutzszenarios 2040 und 2045, wird aber früher erreicht. Dementsprechend sinkt der Zielpfad für den lokalen Energieverbrauch noch einmal deutlich steiler ab als im Klimaschutzszenario 2040.

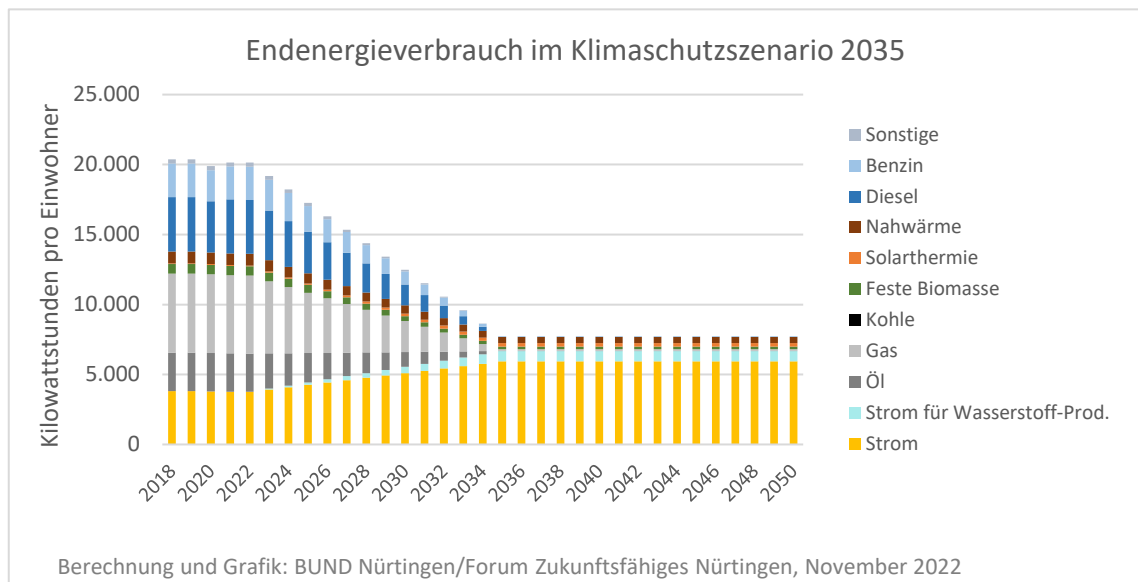


Abbildung 18: Endenergieverbrauch im Klimaschutzszenario 2035

6.2.3.2 Treibhausgasausstoß im Klimaschutzszenario 2035

Wird eine weitestgehend klimaneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 2035 erreicht, könnte der lokale energiebedingte Treibhausgasausstoß auf ca. 37 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Person begrenzt werden. Dies entspricht 106 Prozent des 1,5-Grad-Budgets.

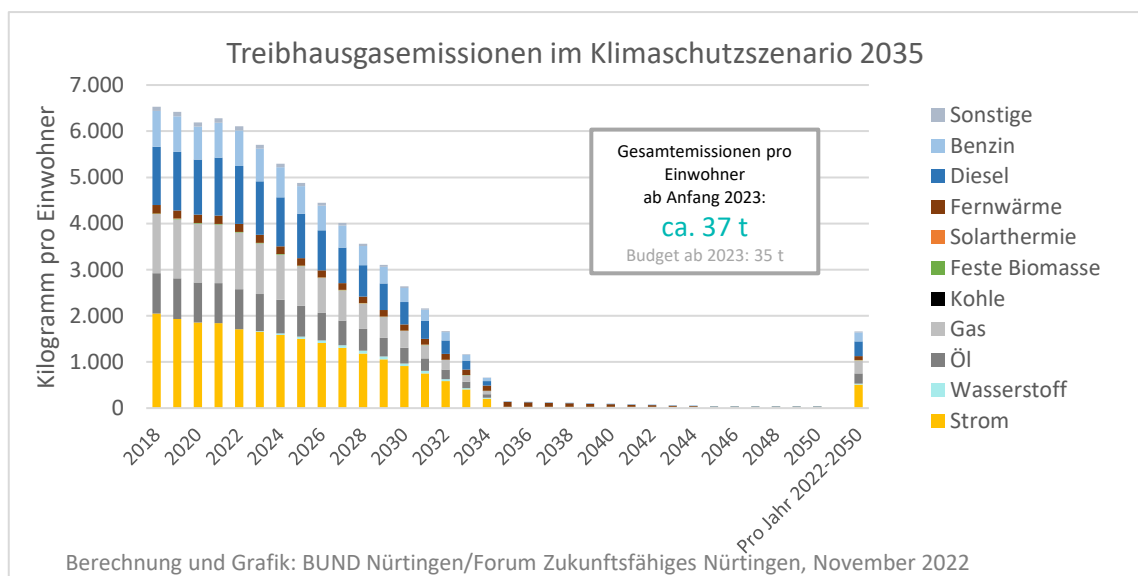


Abbildung 19: Treibhausgasemissionen im Klimaschutzszenario 2035

6.3 Mögliche Veränderung des Heizungsbestandes

Die Gebäudesanierung spielt eine entscheidende Rolle bei der Umstellung der Heizsysteme. Würde man bis 2035 alle Heizsysteme auf erneuerbare Energien umstellen, bei der Sanierung der Gebäudehüllen aber lediglich den bisherigen Trend fortsetzen, könnte die Gebäudebeheizung zwar theoretisch klimaneutral sein, bräuchte aber deutlich mehr Photovoltaik und unnötig viel mehr an saisonaler Stromspeicherung. Dies liegt daran, dass in diesem Fall 73 Prozent der Wohngebäude mit Wärmepumpen ausgestattet werden müssten, weil die lokalen Wärmequellen dann wahrscheinlich nur etwas mehr als ein Viertel der Gebäude mit Wärme versorgen können.

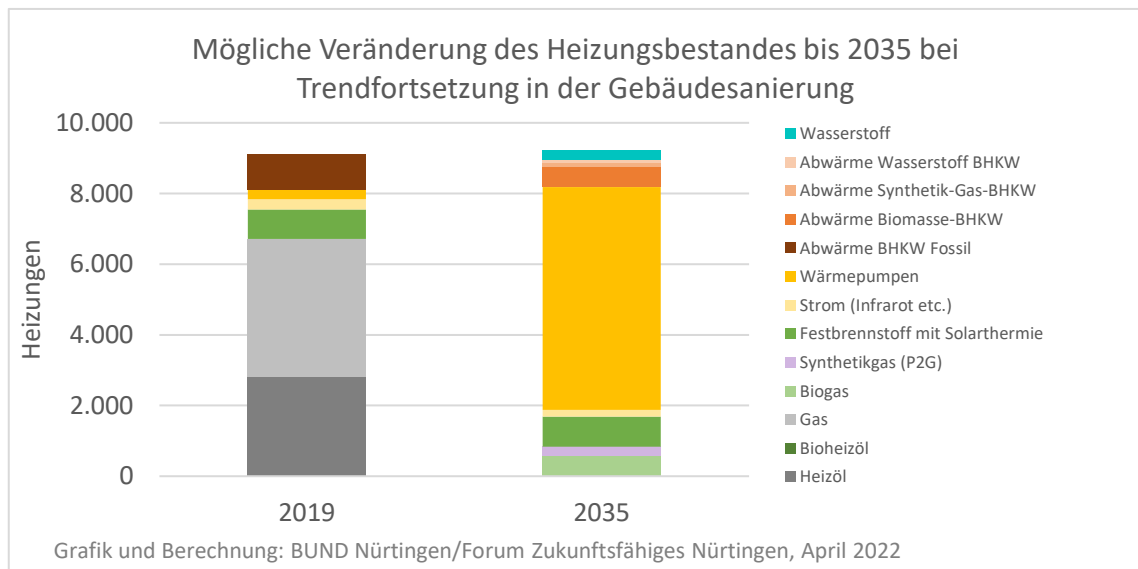


Abbildung 20: Mögliche Veränderung des Heizungsbestandes bis 2035 bei Trendfortsetzung in der Gebäudesanierung

Wird der Dämmstandard dagegen schneller und deutlicher verbessert, können mit der gleichen Wärmemenge deutlich mehr Gebäude mit Wärme versorgt werden.

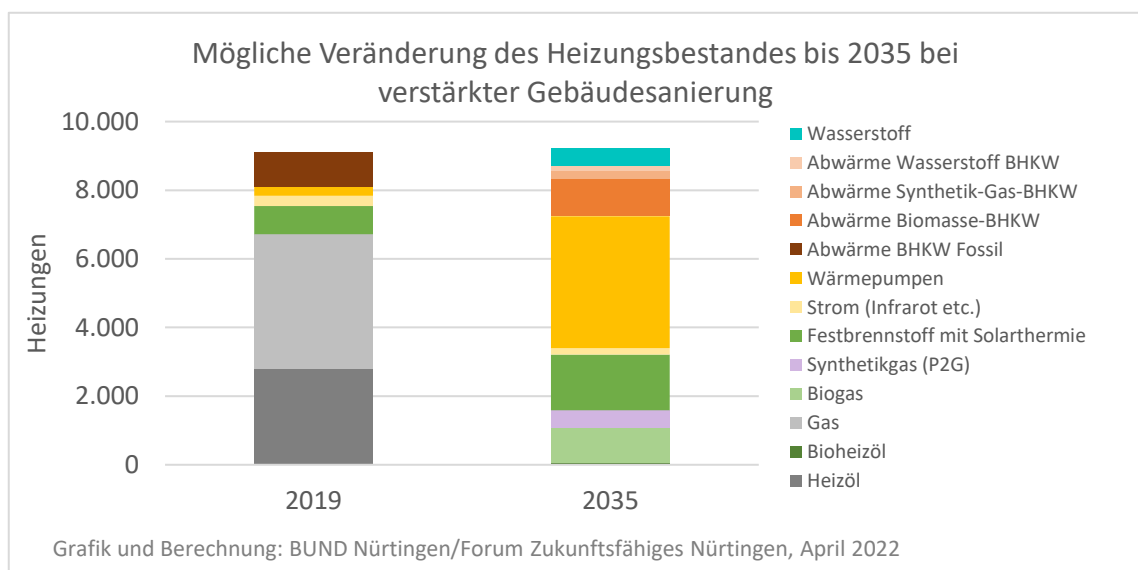


Abbildung 21: Mögliche Veränderung des Heizungsbestandes bis 2035 bei verstärkter Gebäudesanierung

Somit müssten nur ca. 43 Prozent der Gebäude mit Wärmepumpen beheizt werden. Dies würde den Bedarf an saisonaler Stromspeicherung deutlich reduzieren. Der direkte Vergleich beider Szenarien in Abbildung 22 macht den Unterschied grafisch deutlich.

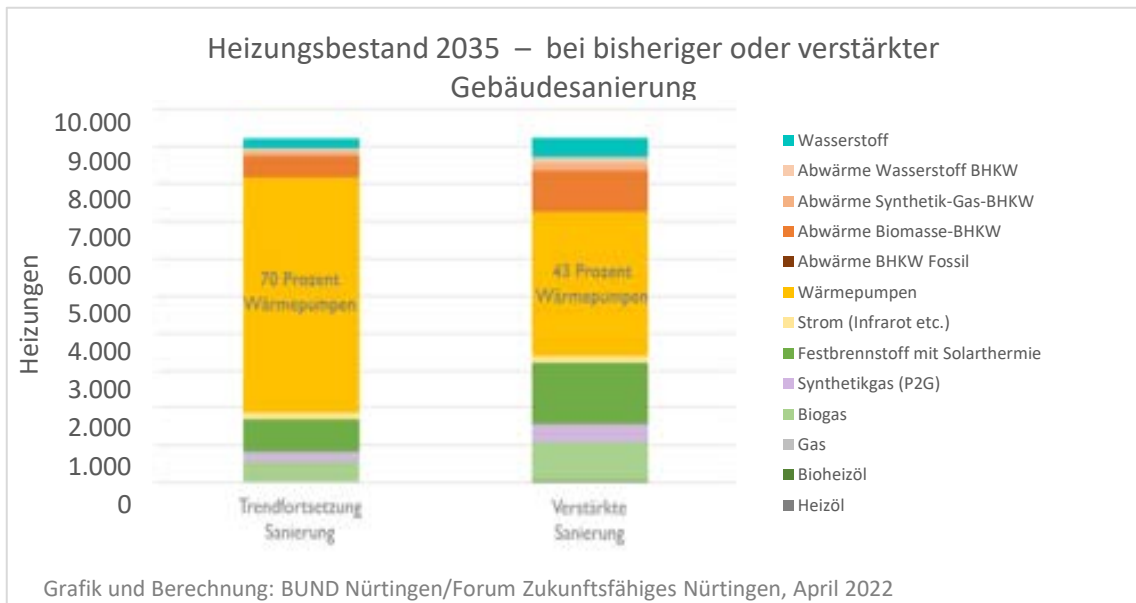


Abbildung 22: Heizungsbestand 2035 – bei bisheriger oder verstärkter Gebäudesanierung

6.4 Entwicklung des Energieverbrauchs für Wohnen

Im Szenario Klimaneutralität 2035 könnte der Endenergiebedarf des Wohnens (Strom & Wärme) deutlich gesenkt werden.

Der Strombedarf der Wärmepumpen, die in diesem Szenario nur einen Anteil von 43 Prozent haben, konzentriert sich dabei vor allem auf den Winter. Im Jahresdurchschnitt fällt ihr Strombedarf daher, dank ihrer mittlerweile hohen Effizienz gar nicht so ins Gewicht. Ihren notwendigen Anteil möglichst gering zu halten, ist dennoch sinnvoll, weil die saisonale Speicherung von Strom noch immer aufwendig und mit hohen Energieverlusten verbunden ist. Daher kann auch ein Einsatz von Solarthermie mit saisonalen Wärmespeichern sinnvoll sein.

Für die Umsetzung des Szenarios bis 2035 ist jedoch eine Steigerung der Sanierungsquote inklusive Heizungsaustausch auf ca. 5 Prozent erforderlich.

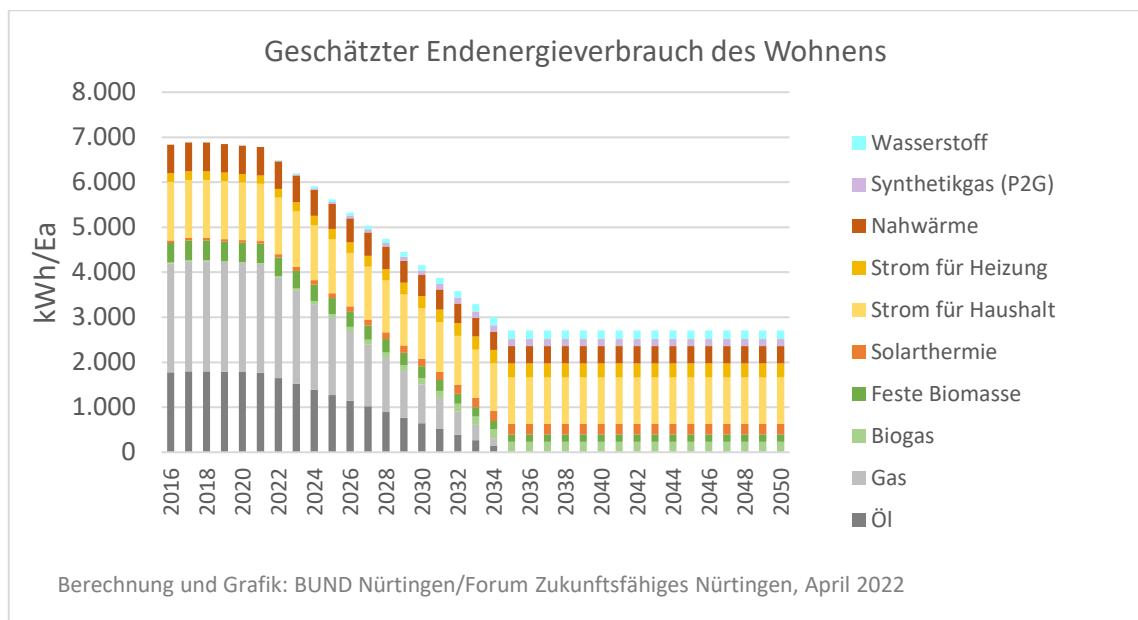


Abbildung 23: Geschätzter Endenergieverbrauch des Wohnens

6.5 Stromverbrauch und Stromerzeugung

Der Stromverbrauch im Jahresverlauf zeigt bereits heute einen gut sichtbaren Unterschied zwischen dem Sommer- und dem Winterhalbjahr. Dabei fallen die bereits installierten Wärmepumpen noch kaum ins Gewicht.

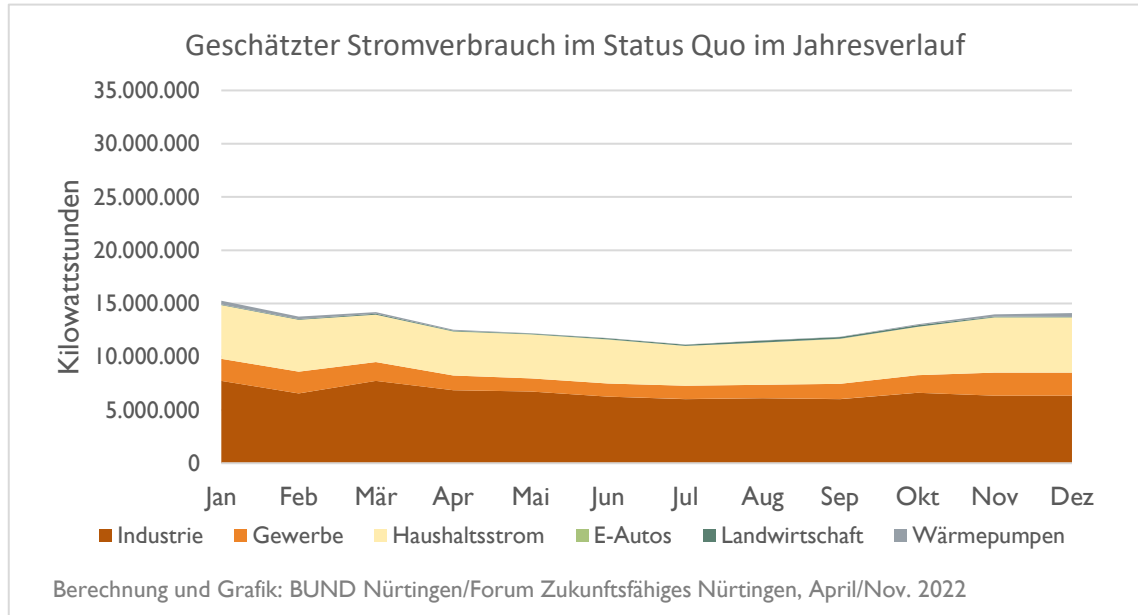


Abbildung 24: Geschätzter Stromverbrauch im Status Quo im Jahresverlauf

Im Klimaschutzszenario steigt der Stromverbrauch deutlich. Gut zu erkennen ist nun der Stromverbrauch der Wärmepumpen im Winter. Sommerliche Überschüsse werden für die Produktion von Wasserstoff genutzt.

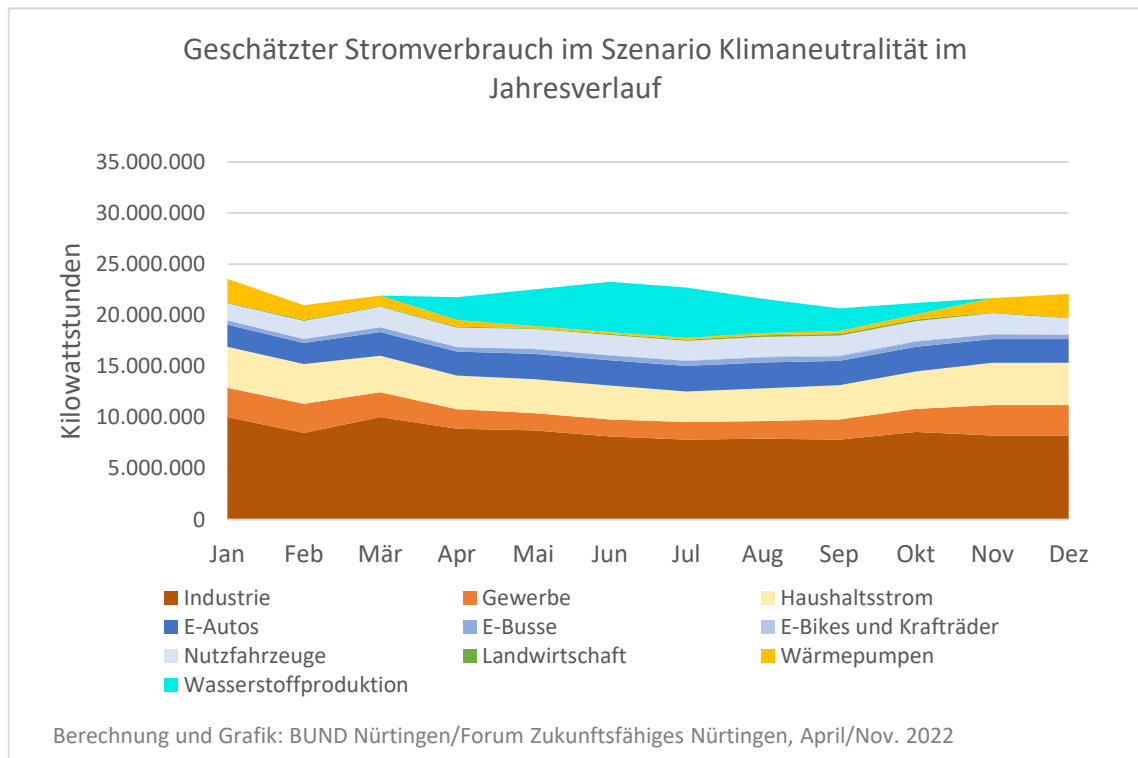


Abbildung 25: Geschätzter Stromverbrauch im Szenario Klimaneutralität im Jahresverlauf

Möglicherweise ist jedoch ein Export von sommerlichen Überschüssen sinnvoller, wenn diese z. B. in Stuttgart direkt genutzt werden können, was den Speicherbedarf zumindest vorläufig reduziert. Die sommerlichen Überschüsse gehen vor allem auf die Photovoltaik zurück. Durch die Nutzung von externer Windenergie kann das Gefälle zwischen Sommer und Winter aber deutlich abgemildert werden.

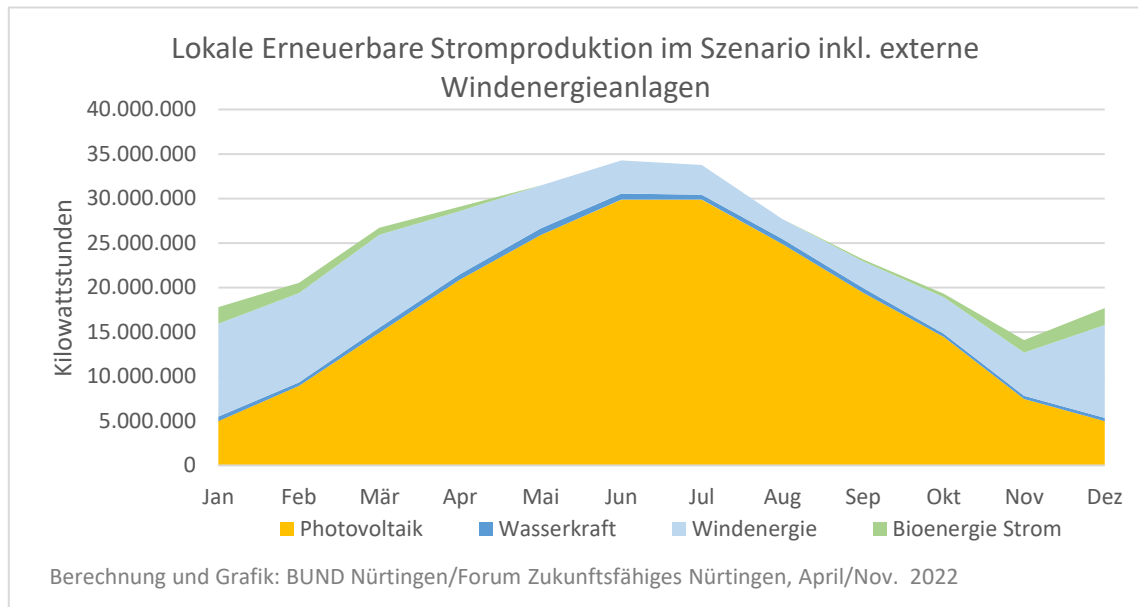


Abbildung 26: Erneuerbare Stromproduktion im Klimaschutzszenario mit externer Windenergie im Jahresverlauf

Die nach unserer Schätzung möglichen Überschüsse im Sommer sind beachtlich. Allerdings ist die saisonale Speicherung eine Herausforderung und immer mit relevanten Verlusten verbunden. Ganz schließen lässt sich das winterliche Defizit daher wohl nur, wenn auch noch eine gewisse Energiemenge importiert wird.

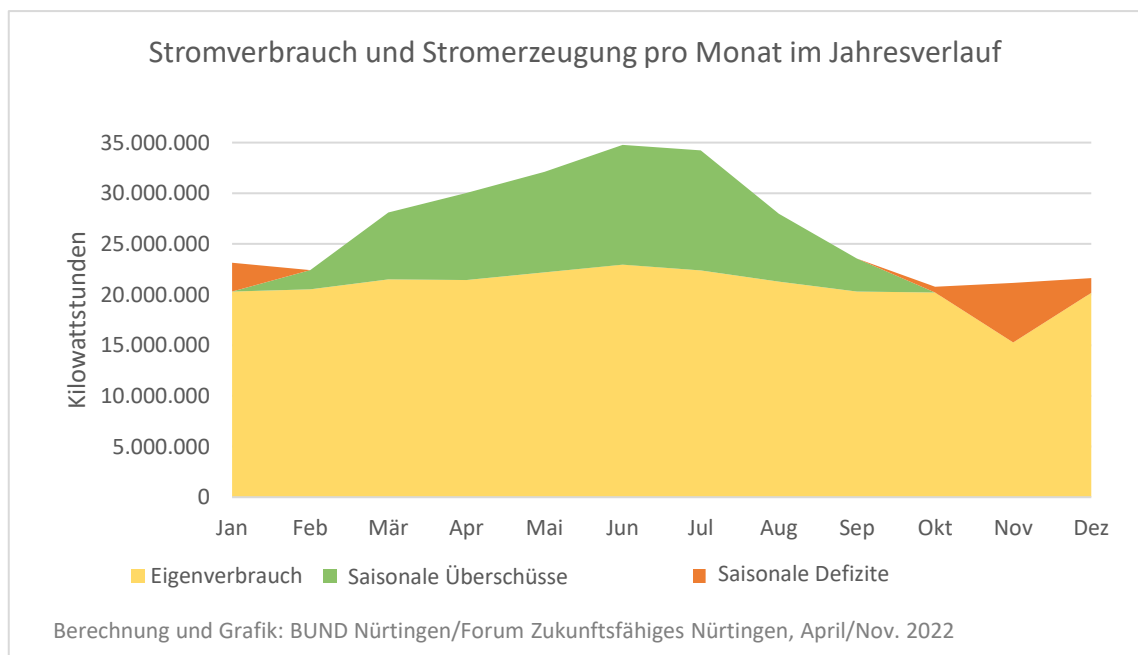


Abbildung 27: Stromverbrauch und Stromerzeugung im Klimaschutzszenario

6.6 Stromspeicher

Die Photovoltaik gilt insbesondere in windarmen und dicht besiedelten Regionen wie im Südwesten Deutschlands als der entscheidende Eckpfeiler des zukünftigen Energiesystems. Um sie möglichst umfassend nutzen zu können, werden sowohl saisonale Speicher als auch Kurzzeitspeicher benötigt.

Bei Dachphotovoltaikanlagen kommen Batteriespeicher heute bereits häufig zum Einsatz. Für die Netzstabilität und die Rohstoffeffizienz sind jedoch vor allem größere zentralere Speicher vorteilhaft. Beispielsweise Lithium-Ionen-Batterien könnten auch bei großen Photovoltaik-Kraftwerken eingesetzt werden. Eine Alternative dazu können Redox-Flow-Batterien darstellen, insbesondere, wenn dabei künftig vermehrt nachwachsende Rohstoffe eingesetzt werden können, wie beispielsweise bei einer ligninbasierten „Organic Flow Battery“. Lignin kann beispielsweise aus Schwarz- und Braunlaugen gewonnen werden, die bei der Papier- oder Viskoseproduktion anfallen. Bereits im Jahr 2021 sollte ein Redox-Flow Großspeicher in China fertiggestellt werden, der aus zehn Einheiten mit jeweils 20 Megawatt Leistung besteht und eine Speicherkapazität von insgesamt 800 Megawattstunden aufweist (RWE, 2021).

Nach Vartiainen et al. wird die optimale Speichergröße von Photovoltaik-Kraftwerken auf etwa ein bis zwei Kilowattstunden je Kilowatt Photovoltaik-Leistung geschätzt (Vartiainen, Masson, Breyer, Moser, & Medina, 2020).

Nimmt man den Mittelwert von 1,5 kWh/kWp, wäre bei einem Freiflächensolarpotenzial von 23 Hektar somit wahrscheinlich ein Speicher mit einer Kapazität zwischen 17 bis 38 MWh sinnvoll, wenn man von einer installierten Leistung der PV-Anlagen zwischen 500 und 1.100 kWp pro Hektar ausgeht.

Für die saisonale Speicherung sommerlicher Stromüberschüsse eignen sich vor allem Wasserstoff oder synthetisches Erdgas, das ins Gasnetz eingespeist werden kann. Sogenannte Power-to-X-Technologien erreichen jedoch nur hohe Wirkungsgrade, wenn die Abwärme ebenfalls sinnvoll genutzt werden kann.

6.7 Ladeeinrichtungen

Nach Schätzung des DLR werden ca. 33 öffentliche oder halböffentliche Ladepunkte benötigt, um 1.000 Elektroautos auf die Straßen zu bringen (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt / KIT, 2016, S. 6). Dies entspricht ca. 30 Fahrzeugen pro Ladepunkt.

Im Klimaschutzszenario sinkt der Pkw-Bestand von 26.121 auf weniger als 14.700 Fahrzeuge im Jahr 2035, was bei einer der Vorausberechnung entsprechenden Einwohnerzahl ca. 350 Pkw pro 1.000 Einwohner entsprechen würde. Demnach ergäbe sich daraus ein Bedarf von ca. 485 öffentlichen oder halböffentlichen Ladepunkten.

6.8 Autonomiepotenzial im Klimaschutzszenario

Für eine genauere Schätzung des aktuellen Energieautonomiegrades Nürtingens lag keine vollständige Datenbasis vor. Mit Blick auf die lokale erneuerbare Stromproduktion, die Biogasnutzung und die lokalen Holzpotenziale dürfte er derzeit aber noch unter 10 Prozent liegen. Im Klimaschutzszenario kann die Energieautonomie dagegen auf bis zu 65 Prozent gesteigert werden.

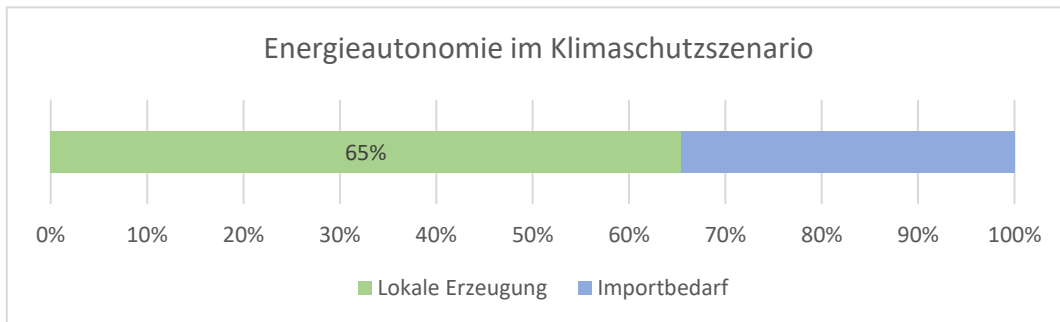


Abbildung 28: Erreichbare Energieautonomie im Klimaschutzszenario

6.9 Energiekosten

Wären die Maßnahmen des Klimaschutzszenarios im Jahr 2019 schon umgesetzt gewesen, wären die Kosten um ca. zwei Fünftel niedriger ausgefallen (vgl. Abbildung 29). Dabei ist ein möglicher Eigenverbrauch noch nicht berücksichtigt.

Werden die Maßnahmen des Szenarios nicht erst bis 2045 umgesetzt, sondern bereits bis 2035 (Klimaschutzszenario 2035), könnten daher nach unserer Schätzung allein in diesen 10 Jahren ca. **197 Millionen Euro** Energiekosten mehr eingespart werden als im Klimaschutzszenario 2045 – selbst, wenn man nur die Kilowattstundenpreise von 2019 zugrunde legt. Tatsächlich dürften die möglichen Einsparungen größer sein, da künftig mit höheren Energiepreisen zu rechnen ist und die Kosten auch durch mehr Eigenverbrauch gesenkt werden können.

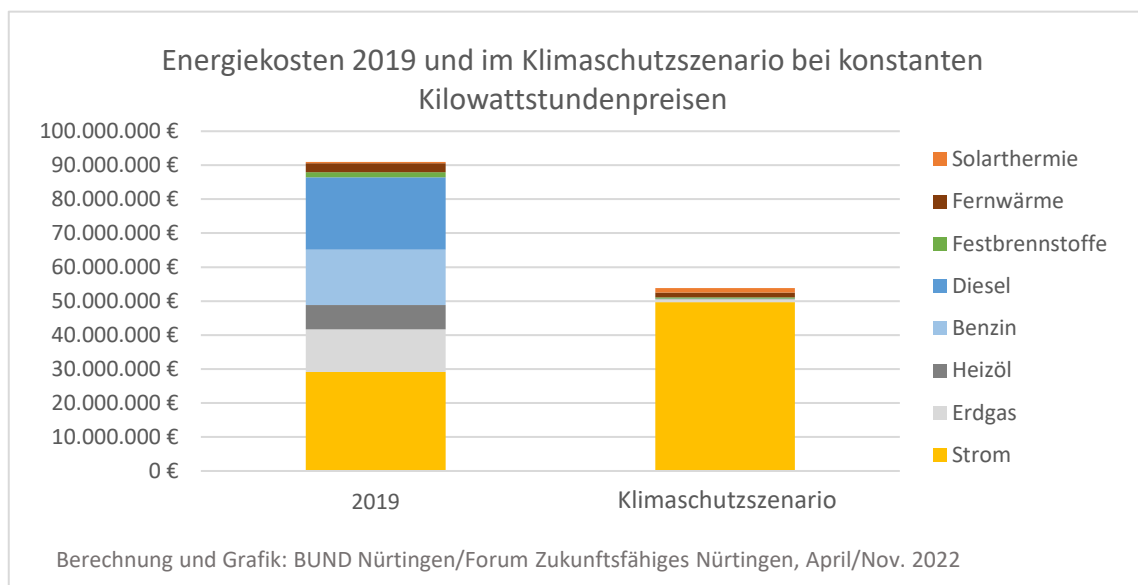


Abbildung 29: Energiekosten heute und im Klimaschutzszenario bei konstanten Kilowattstundenpreisen

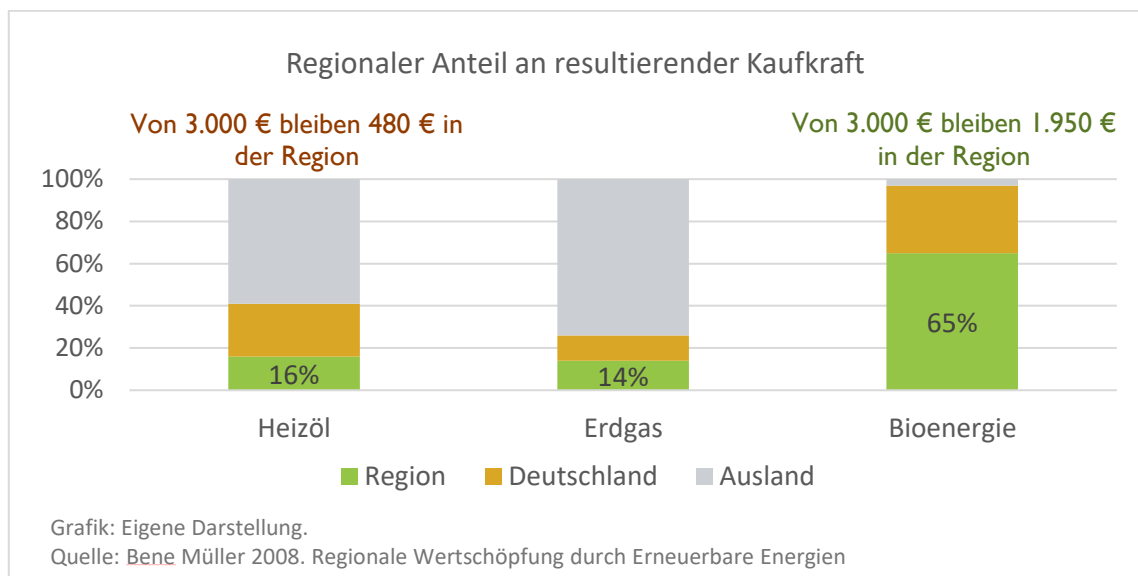


Abbildung 30: Regionaler Anteil an resultierender Kaufkraft

7 Mögliche Wege zur Klimaneutralität – Sinnvolle Maßnahmen aus unserer Sicht

7.1 Klimaneutrale Wärmeversorgung

Die Hälfte des Energiebedarfs entfällt in Nürtingen auf die Bereitstellung von Wärme (vgl. Abbildung 4, S. 17). Derzeit wird diese Wärme überwiegend durch die Verbrennung von Erdgas und Heizöl erzeugt. Die inzwischen extrem hohen Preise dafür und die Klimakrise erfordern einen schnellen und vollständigen Ausstieg aus Gas und Öl.

Doch wie kann in einem klimaneutralen Nürtingen in Zukunft Wärme zum Heizen bereitgestellt werden?

Dies kann in 3 Schritten gelingen:

1. **Sparen:** Vorrangig geht es darum, den Energiebedarf durch energetische Sanierung des Gebäudebestands zu senken.
2. **Vernetzen:** Wärmebedarf und Abwärmequellen können über Wärmenetze gekoppelt werden.
3. **Erneuern:** Wenn dies gelingt, kann der Restbedarf vor allem durch Strom aus erneuerbaren Quellen für Wärmepumpen gedeckt werden.

Einen wesentlichen Baustein bildet dabei der kommunale Wärmeplan, welcher derzeit erarbeitet wird. Das Klimaschutzgesetz legt für alle Kommunen in Baden-Württemberg fest, welche Elemente ein solcher kommunaler Wärmeplan enthalten muss. Die kommunale Wärmeplanung umfasst eine Bestandsanalyse zum Wärmebedarf und zur Versorgungsstruktur sowie eine Analyse der vorhandenen Potenziale zur Wärmeversorgung mittels erneuerbarer Energien. Darauf aufbauend erstellen die Kommunen ein Szenario für eine klimaneutrale Wärmeversorgung im Jahr 2050. Außerdem wird eine Strategie entwickelt, wie dieser Umbau gelingen kann und wie die Prioritäten zu setzen sind.

Wichtige Schritte aus unserer Sicht

1. **Strategische Wärmeplanung:** Erstellen eines Wärmebedarfsplans für die gesamte Stadt
2. **Plan zum Ausbau des Wärmenetzes:** Standorte für Heizzentralen festlegen. (Welche Gebäude sollen wann ans Wärmenetz angeschlossen werden?)
3. Individuelle **Sanierungsfahrpläne** für jedes Gebäude erstellen
4. **Priorisierung:** Sanierung Quartier für Quartier
5. Informationsoffensive über **Techniken**, die zum Einsatz kommen.

Vergleich der Effizienz verschiedener Heizsysteme auf Basis von erneuerbarem Strom

Ein Vergleich von Agora Energiewende aus dem Jahr 2018 verdeutlicht die Bedeutung von Wärmepumpen für eine Wärmeversorgung, die auf erneuerbaren Energien basiert und somit Wärme vor allem strombasiert bereitstellen können muss (vgl. Tabelle 18). Bei Arbeitszahlen zwischen 3,0 und 4,0 können Wärmepumpen einen Gesamtwirkungsgrad von 285 bis 380 Prozent erreichen. Bei der Nutzung von Brennstoffzellenheizungen oder Gasbrennwertkessel werden dagegen laut Agora Energiewende nur Gesamtwirkungsgrade von 45 bis 50 Prozent erreicht.

Tabelle 18: Einzel- und Gesamtwirkungsgrade unterschiedlicher Heizungssysteme

	Wärmepumpe mit JAZ = 3,0	Brennstoff- zellenheizung	Gas-Brennwertkessel (P2G)
Erneuerbarer Strom	100%	100%	100%
Übertragungsverluste	5%	5%	5%
Verluste bei Wasserstoffproduktion (Elektrolyse)		30%	30%
Verluste Methanisierung (Power-to-Gas)			21%
Verluste durch Kompression, Transport, Brennstoffzelle		55%	
Verluste Gas-Brennwertkessel			5%
Nutzbare Endenergie	95%	45%	50%
Wärmebereitstellung	285%	45%	50%

Wirkungsgrade: 80 Prozent (Kompression/Transport) und 85 Prozent (Brennstoffzelle insgesamt davon 45 Prozent Wärme, 40 Prozent Strom). Durch Multiplikation der Einzelwirkungsgrade ergeben sich die kumulierten Gesamtwirkungsgrade. JAZ = Jahresarbeitszahl

Eigene Darstellung. Quelle: (Agora Energiewende, 2018)

Unsere Bewertung

Gas- und Ölheizungen werden aus unseren Häusern verschwinden, denn sie emittieren Treibhausgase, befeuern dadurch die Klimakrise und sind mittlerweile schlicht zu teuer. Doch der Richtungswechsel zu einer erneuerbaren Wärmeversorgung erfordert in den nächsten Jahren enorme Anstrengungen.

Ein Großteil der Gebäude muss auf Wärmepumpen umgestellt werden, da sie erneuerbaren Strom am effizientesten nutzen. Da jedoch Solarstrom vor allem im Sommer anfällt und Wärme vor allem im Winter benötigt wird, müssen sie durch Heizungen unterstützt werden, die gespeicherte sommerliche Solarenergie im Winter nutzbar machen, wie Biomasseheizungen (Holz, Stroh etc.), Brennstoffzellenheizungen (Wasserstoff) oder Gasbrennwertkessel (Synthetikkas)

Für eine möglichst effiziente Nutzung dieser kostbaren Energieträger ist die Vermeidung von unnötigen Wärmeverlusten die entscheidende Voraussetzung. Allerdings ist die

energetische Sanierung von Gebäuden alles andere als trivial – viel zu wenig wurde in den letzten Jahren dabei erreicht. Die energetische Sanierungsquote im Gebäudebestand muss von derzeit einem Prozent auf 3,5 bis 5,5 Prozent pro Jahr steigen.

Wärmepumpen für kleinere Gebäude sind das Zukunftsideal

Vor allem in Ein- und Zweifamilienhäusern soll die Wärmepumpe wegen der höchsten Effizienz (vgl. Tabelle 18) zukünftig für Raumwärme sorgen. Durch eine große Zahl an Wärmepumpen steigt der Strombedarf im Winter zwar an, aber durch Effizienzgewinne, eine effiziente Nutzung von Stromspeichern und Biomasse sowie den Ausbau der Windkraft kann dieser Anstieg kompensiert und eine kritische Überlastung der Stromversorgung vermieden werden.

Bei dichter Bebauung punktet die Fernwärme – dafür braucht sie neue Impulse

In den Mehrfamilienhäusern ist die Fernwärme das Mittel der Wahl – natürlich aus erneuerbaren Quellen gespeist. Dafür müssen nicht nur Neubauten, sondern auch Bestandsgebäude ans Netz angeschlossen werden, das zudem erweitert und erneuert werden muss.

Die bestehenden Trassenkilometer wären bis 2030 zu vervielfachen, ebenso wie die angeschlossene Wohnfläche.

7.1.1 Exkurs: Wohnraum besser nutzen

Maßnahmen, die zur Reduktion der pro Person genutzten Wohnfläche beitragen, können zahlreiche wünschenswerte Effekte mit sich bringen. So nimmt mit der pro Person benötigten Wohnfläche nicht nur der Wärmebedarf ab, sondern auch die Konkurrenz zwischen Neubau und Bestandssanierung und somit auch der Bedarf an zusätzlichen Arbeitskräften im Bausektor, an denen es schon heute mangelt. Zudem reduziert sich die Wohnungsnot, was dazu beitragen kann, Erschließungs- und Instandhaltungskosten der Gemeinden für Neubaugebiete sowie die Kosten der Bewohnerinnen und Bewohner für das Wohnen insgesamt zu senken.

Wohnungstausch und Neuaufteilung von Wohnungen

Der Wohnungstausch bietet große Potenziale, Wohnraum sinnvoller zu verteilen und Verkehr zu vermeiden. Förderprämien könnten sinnvollen Wohnungstausch belohnen und auch dazu anregen, den Wohnraum von Wohnungen im Bestand neu aufzuteilen. Neue Wohnkonzepte bieten gleichen Komfort auf geringerer Fläche und ermöglichen die Schaffung neuer Wohnungen ohne Neubau.

Umnutzung von Gebäuden

Leerstehende Fabriken, Büros, Ställe oder Dachböden können zu Wohngebäuden umgewandelt werden. Dies hat diverse Vorteile gegenüber einem Neubaugebiet auf landwirtschaftlichen Flächen. „Die Schaffung von Wohnraum durch Wiedernutzung leerstehender Gebäude – insbesondere von kleinteiligen Nichtwohngebäuden – füllt Lücken in der Stadt mit neuem Leben, dient der Revitalisierung erhaltenswerter Bausubstanz mit besonderem geschichtlichen Hintergrund und fördert die Identifizierung der Bewohner mit ihrer Umgebung.“ (Kompetenzzentrum IEMB, 2009)

Geteilte Räume, flexible Grundrisse und Umzugsmanagement

Wohnprojekte, in denen Räume, wie etwa Sport- und Hobbyräume, Gästezimmer, Werkstätten und Waschküchen gemeinschaftlich geteilt werden, reduzieren nicht zwangsläufig den Wohnflächenbedarf. Eine Befragung kam sogar zu dem Ergebnis, dass sich bei 75 Prozent der Befragten die Pro-Kopf-Wohnfläche mit dem Einzug erhöht hat. Nur ein Viertel hat seine Wohnfläche tatsächlich reduziert. (Schopp, 2017) Es empfiehlt sich daher, solche Wohnprojekte nicht alleinstehend zu entwickeln, sondern mit weiteren Maßnahmen zu verbinden. Solche könnten etwa flexible Grundrisse und ein ganzheitliches Umzugsmanagement sein (Furhrop, 2019). Umzugsprämien könnten daran gekoppelt werden, dass die Wohnfläche durch den Umzug tatsächlich reduziert wird.

Werkzeuge gegen Abriss und Leerstand

Inzwischen gibt es in der Literatur viele Anregungen zur attraktiven Gestaltung effizient genutzten Wohnraums. Zudem gibt es einen Werkzeugkasten mit 100 Anregungen und Werkzeuge gegen Abriss und Leerstand sowohl für Städte und Gemeinden als auch für Hauseigentümer, die dabei helfen können, die Potenziale und Ressourcen des Gebäudebestandes auszuschöpfen und weiterzuentwickeln, um vermeidbaren Neubau tatsächlich zu vermeiden. (Furhrop, 2020)

7.2 Klimaneutrale Mobilität

Der Personenverkehr in Nürtingen erfolgt zu größten Teilen mittels Personenkraftwagen. Die herkömmliche Pkw-Nutzung ist jedoch die ineffizienteste Art und Weise, sich im Straßenverkehr zu bewegen, weil vor allem im Berufsverkehr Pkw selten mit mehr als einer Person besetzt sind. Mit einem Durchschnitt von ca. 0,7 Kilowattstunden pro Personenkilometer verbraucht ein durchschnittlicher Pkw ohne Mitfahrer heute fast viermal so viel Energie wie die Bahn, etwa fünfeinhalbmal so viel Energie wie ein Linienbus und fast neunmal so viel wie die Straßenbahn (Umweltbundesamt Österreich, 2015). Deutlich effizienter ist dagegen ein Elektroauto, das mit einem Insassen nur ca. 0,18 kWh und mit durchschnittlich 1,5 Insassen nur 0,12 kWh pro Personenkilometer benötigt.

Wichtige Maßnahmen sind aus unserer Sicht daher ein möglichst weitgehender Umstieg auf den Umweltverbund aus Bus, Bahn und Fahrrad in Verbindung mit einer vollständigen Elektrifizierung des übrigen Pkw-Verkehrs, sowie eine Erhöhung der Besetzungsgrade. Am wichtigsten ist es jedoch, Nürtingen zu einer Stadt der kurzen Wege zu machen, um vor allem jenen Verkehr zu vermeiden, der eigentlich unnötig ist. Mit diesen Maßnahmen kann der Energieverbrauch des Personenverkehrs drastisch reduziert werden. Gelingt es zudem, auch unnötigen Transportverkehr zu vermeiden und einen guten Teil des übrigen Transports auf E-Fahrzeuge und die Bahn zu verlagern, halten wir in Nürtingen eine Reduktion des Energieverbrauchs im Verkehrssektor um mindestens zwei Drittel für erreichbar.

Da dann deutlich weniger Pkw benötigt werden, kann es auch gelingen, den dann noch nötigen Pkw-Bestand rechtzeitig zu elektrifizieren und zugleich Flächen für andere Zwecke zu gewinnen, wie etwa für kostbaren Wohnraum oder wertvolle und attraktive Begrünung des Straßenraums.

Wichtige Ziele im Überblick

- Stadt der kurzen Wege und deutliche Reduktion vermeidbaren Verkehrsaufkommens (z. B. durch bessere Nahversorgung, Homeoffice etc.)
- Umstieg auf E-Mobilität (E-Auto, E-Bike, etc.)
- Deutliche Erhöhung der Anteile von ÖPNV, Fahrrad- und Fußverkehr am Modal Split (z. B. durch Weiterentwicklung der Radwegeverbindungen)
- Flächengewinnung für andere Nutzungszwecke (Grün- statt Parkplatzflächen)

Monitoring

Für die Entwicklung einer nachhaltigen Mobilität ist ein Monitoring wichtiger Kennwerte sehr hilfreich. Die folgende Auswahl ist ein Vorschlag unsererseits, welche Kennwerte betrachtet werden sollten:

- Modal Split
- Jahresfahrleistung von Kfz und Fahrrädern
- Pkw-Dichte (Pkw/1.000 Einwohner)
- Kfz-Neuzulassungen nach Motorisierung
- Ladeeinrichtungen für E-Fahrzeuge pro 1.000 Einwohner
- Besetzungsgrad von Pkw und Bussen
- Transportleistung des ÖPNV (Personenkilometer)

- Erreichbarkeit ÖPNV: Anteil der Bevölkerung mit Wohnort max. 600 m Luftlinie von nächster Haltestelle oder max. 1.200 m vom nächsten Bahnhof mit jeweils mind. 20 Fahrtmöglichkeiten am Tag entfernt.
- Durchschnittliche Fahrmöglichkeiten pro Haltestelle in den Gemeinden
- Erreichbarkeit Radinfrastruktur: nach ERA 2010 sollen "*mindestens 90% der Einwohner maximal 200 m von einer Hauptverbindung entfernt wohnen*"
- Erreichbarkeit stationärer Carsharing-Angebote maximal 1.000 Meter Luftlinie entfernt.
- Coworking-Arbeitsplätze pro 1.000 (Büro-)Arbeitsplätze
- Verkauf von Lastenrädern
- Unternehmen, die Ladeeinrichtungen für Mitarbeiter anbieten.
- Unternehmen, die Jobtickets nutzen bzw. die Nutzung von Jobtickets fördern
- Unternehmen, die die Nutzung von Jobbikes fördern
- Unternehmen, die Lastenräder nutzen

Förderung und Entwicklung

Wichtig für die Entwicklung zur klimaneutralen Stadt erscheinen uns Fördermaßnahmen und Anreizsysteme. Folgende Maßnahmen halten wir dabei für wichtig:

- Wohnungstauschbörse nutzen und Umzüge, die das Verkehrsaufkommen reduzieren, fördern.
- Beteiligung am Aufbau einer kreisübergreifenden Mitfahrzentrale und an der Finanzierung der Förderung.
- Förderung dezentraler Versorgung.
- Konzept „Letzter Kilometer“ entwickeln.
- Runder Tisch „Beruflich bedingte Mobilität“ mit Unternehmen - mit dem Ziel, den Pendlerverkehr zu reduzieren (Homeoffice, Coworking, Förderung und Koordination von Jobbikenutzung, Jobtickets, Fahrgemeinschaften, Verlegung/Ab-schaffung von Parkplätzen, Errichtung von Solarcarports und Ladesäulen).
- Runder Tisch ÖPNV (Verkehrsunternehmen und Gemeinden) mit dem Ziel, den Anteil der Bevölkerung mit Wohnort max. 600 m Luftlinie von nächster Haltestelle deutlich zu erhöhen und einen hohen Takt anzurichten.

Maßnahmen

Im Folgenden sind weitere Maßnahmenvorschläge zusammengefasst, die unsere Arbeitsgruppe „Klimaneutrale Stadt Nürtingen“ als sinnvoll erachtet.

- Vorausschauende Berücksichtigung der Entwicklungsziele nachhaltiger Mobilität bei Bauleitplanung (bspw. bei Parkplatzbemessung, Fahrradinfrastruktur, Straßendimensionierung etc.)
- Ausreichende Versorgung mit Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge in allen Teilorten (Ausreichende Ladeeinrichtungen pro 1.000 Einwohner. Ziel: Erreichbarkeit: max. 600 m vom Wohnhaus)
- Machbarkeitsstudie zum Ausbau der Stadtbahn von den Fildern (Echterdingen oder Bernhausen) nach Nürtingen
- Ausbau von Gebäuden (Aufstockung, Dachausbau, Umbau) und eine Nachverdichtung nach Abriss von Gebäuden, damit der ÖPNV effektiver werden kann. Dabei sollte allerdings auch an den Erhalt eines guten Wohnumfelds gedacht werden.
- ÖPNV-Konzept und ÖPNV-Finanzierung in Kooperation mit anderen Gemeinden (weiter-)entwickeln.

- Mehr Direktverbindungen im ÖPNV schaffen
- Takt im ÖPNV erhöhen: (höchstens 6 Minuten Wartezeit an wichtigsten Linien, nicht mehr als 15 Min. an sonstigen wichtigen Linien)
- Ausreichendes Haltestellenangebot im ÖPNV schaffen (max. 600 m Luftlinie von nächster Haltestelle oder max. 1.200 m vom nächsten Bahnhof mit jeweils mind. 20 Fahrtmöglichkeiten am Tag entfernt)
- Bürgerticket einführen und Kindern kostenlose ÖPNV-Nutzung ermöglichen
- (Stadt-)Entwicklung zur Fahrradstadt.
 - Nahversorgung und Naherholungsangebote verbessern, um lange Wege unnötig zu machen (Einkaufsmöglichkeiten, Unterhaltungsangebote, frei zugängliche und gut gepflegte Sportanlagen, kostenlose Sportangebote mit qualifizierten Trainern)
 - Durchlässigkeit der Stadt für Pkw reduzieren (Beispiel: Houten, die autofreie Modellstadt⁷) und gleichzeitig Fußgänger und Fahrradverkehr privilegieren (Durchfahrterlaubnisse für Pkw reduzieren, Fahrradstraßen, Grüne Welle, Wartezeiten am Ampeln). Hintergrund: Nur, wenn das Fahrrad mindestens genauso schnell von A nach B bringt, wird es dem Auto vorgezogen.
 - Fahrsicherheitstraining für Radfahrer und E-Bike-Fahrkurse anbieten
 - Erleichterung des Einkaufs per Rad: Stellplätze für Transporträder schaffen
 - Leihfahrradsystem - auch für Lastenräder
 - Radfahren sicher und bequem machen (Haltegriffe und Ähnliches an Ampeln, Schlaglöcher auf Radwegen beseitigen, konfliktfreies Radfahren ermöglichen)
 - sichere Abstellmöglichkeiten schaffen, witterungsgeschützt (abschließbare Fahrradstellplätze nicht nur beim Mobilitätszentrum, sondern auch in der Fläche, etc.)
 - Schließfächer in den Innenstädten, damit Fußgänger und Radfahrer ihre Einkäufe zwischenlagern können
 - Schaffung finanzieller Anreize für Radfahrer und ÖPNV-Fahrgäste, wie z. B. Vergünstigungen bei Einkäufen für Bus- und Bahnnutzer (bei Ticketvorlage)
 - Belohnungsaktionen für klimafreundliches Mobilitätsverhalten, wie z. B. kleine Geschenke an Busfahrgäste und an Radfahrer verteilen.
 - Bei Straßen(um)bauten soll nicht mehr nur auf die Leistungsfähigkeit einer Straße für den Kfz-Verkehr geschaut werden. Andere Kriterien wie Aufenthaltsqualität, Lärmbelästigung, (Um-)Wege für Fußverkehr, objektive und subjektive Sicherheit für Radverkehr sollen gleichermaßen berücksichtigt werden. Die Leistungsfähigkeit für Kfz kann bei einer Verbesserung der anderen Kriterien reduziert werden.
- Ergänzung des Radschnellwegenetzes um den Lückenschluss Plochingen - Wendlingen - Nürtingen - Metzingen/Reutlingen
- Lastenradförderung, z.B. 500 Euro
- Prämie für das Abschaffen von Pkw (Beispiel: Denzlingen), z.B. 500 Euro.
- Reduktion des Verkehrs leichter Nutzfahrzeuge:

⁷ Houten in den Niederlanden. Die autofreie Modellstadt. URL: <https://www.deutschlandfunkkultur.de/houten-in-den-niederlanden-die-autofreie-modellstadt-100.html>

Houten – Eine Stadt fürs Fahrrad gemacht. URL: <https://procitybahn.de/houten-eine-stadtfuers-fahrrad-gemacht/>

- Einrichtung von Verteilstationen. Der „letzte Kilometer“ muss per Cargo-Fahrrad oder per E-Transporter zurückgelegt werden.
- Abholstationen für Pakete an Bahnhöfen und ZOBs, an denen man z.B. auf dem Heimweg von der Arbeit Internet-Bestellungen abholen kann.
- Elektrifizierung leichter Nutzfahrzeuge
- Verlagerung des nötigen Lieferverkehrs auf alternative Transportmittel (z. B. Cargo-Fahrräder oder kleine E-Transporter). Förderangebote für Handwerk zur Nutzung von Cargo-Fahrrädern (z. B. Malerbetriebe, Kaminkehrer etc.)
- Verbesserung des Angebots von Alternativen zur Pkw-Nutzung im Dienstleistungsbereich (Fahrrad, ÖPNV, Carsharing), um der überproportionalen Zunahme des Pkw-Verkehrs in diesem Bereich entgegenzuwirken.

Zudem sollten für den Radverkehr folgende Ziele aus der ERA 2010, Tabelle 2 übernommen werden:

"Auf Netzebene anzustrebende Qualitäten:

- *die Maschenweite des Netzes der Hauptverbindungen (200 bis 1.000 m) soll gewährleisten, dass 90% der Einwohner maximal 200 m von einer Hauptverbindung entfernt wohnen*
- *minimale Umwege (Umfwegfaktor max. 1,2 gegenüber der kürzest möglichen Verbindung, max. 1,1 gegenüber parallelen Hauptverkehrsstraßen) und keine zusätzlichen Steigungen*
- *Erfüllung der in der Tabelle 4 (Seite 15) benannten grundlegenden Entwurfsanforderungen hinsichtlich Verkehrssicherheit und Verkehrsqualität des Radverkehrs*
- *Winterdienst auf den Hauptverbindungen des Radverkehrs (mindestens bei AR II, IR II und IR II I)*
- *sozial sicher: Übersichtlichkeit, Einsehbarkeit und soziale Kontrolle oder Angebot entsprechender Alternativverbindungen, z. B. zu Nachtzeiten"*

Anhang

Emissionsfaktoren

Tabelle 19: Emissionsfaktoren (kg CO₂-Äq./kWh)

Energieträger	2019
Benzin	0,322
Biobenzin	0,114
Biogas	0,097
Biomasse	0,022
Diesel	0,327
Diesel biogen	0,118
Erdgas	0,247
Flüssiggas ⁸	0,240
Heizstrom	0,478
Heizöl	0,318
Solarthermie	0,025
Sonstige Erneuerbare	0,116
Sonstige Konventionelle	0,270
Steinkohle	0,431
Strom	0,478
Umweltwärme	0,149
Nahwärme	0,261

Quellen: KEA-BW (2022), BICO2 BW; Umweltbundesamt (2016)

⁸ 64,0 bis 66,6 t CO₂ /TJ (Umweltbundesamt, 2016, S. 35)

Quellen- und Literaturverzeichnis

- KEA-BW. (2020). *Kommunale Wärmeplanung Handlungsleitfaden*, Dez. 2020.
- AGES Österreich. (2017). *Die Österreichische Ernährungspyramide*. (Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Herausgeber) Von <https://www.ages.at/themen/ernaehrung/oesterreichische-ernaehrungspyramide/> abgerufen
- Agora Energiewende. (2018). *Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe*, März 2018 .
- Agora Verkehrswende. (2021). *Pendlerverkehr in Deutschland. Zahlen und Fakten zu den Wegen zwischen Wohn- und Arbeitsort*. www.agora-verkehrswende.de.
- Baden-Württemberg Stiftung gGmbH. (2017). *Mobilität in Baden-Württemberg 2017. Wege der Transformation zu einer nachhaltigen Mobilität*. Stuttgart.
- Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie. (2020). *Anergieatlas Bayern. Photovoltaik - Umweltaspekte*. Abgerufen am 05. Februar 2020 von https://www.energieatlas.bayern.de/thema_sonne/photovoltaik/umweltaspekte.html
- Bellini, E. (20. August 2021). *Die heißeste Wärmepumpe der Welt*. (pv magazine group GmbH & Co. KG, Herausgeber) Von pv-magazine: <https://www.pv-magazine.de/2021/08/20/die-heisseste-waermepumpe-der-welt/> abgerufen
- Berlo, K., & Seifried, D. (2016). *Einsparkkraftwerk Schule – Wie Bürger und Klima profitieren können*. solar+spar contract GmbH c/o Wuppertal Institut (Hrsg.). Wuppertal.
- BMU. (2009). *Energieeffizienz - Die intelligente Energiequelle - Tipps fuer Industrie und Gewerbe*. Berlin.
- Bund Naturschutz. (2012). *Stromeinsparpotentiale in Bayern 2010 bis 2030. Eine Studie der Energieagentur Nordbayern im Auftrag des Bund Naturschutz in Bayern e.V.. März 2012. Zusammenfassung*.
- Business-Travel. (2008). *Reisekosten sparen durch Online Konferenzen*. Abgerufen am 20. April 2022 von <https://www.business-travel.de/reisekosten-sparen-durch-online-konferenzen/6761/>
- dena. (2016). *Auswertung von Verbrauchskennwerten*. (Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Hrsg.) Deutsche Energie-Agentur GmbH.
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). (2012). *Green IT: Potenzial für die Zukunft. Energieeffizienz steigern, Wachstumsmärkte erschließen und Nachhaltigkeit sichern*.
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). (2016). *Der dena-Gebäudereport 2016. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand*. Berlin.

- Deutsche Handwerkszeitung DHZ. (2018). *Pendeln zum Arbeitsplatz: Tipps für möglichst wenig Stress*. Von <https://www.deutsche-handwerkszeitung.de/pendeln-zum-arbeitsplatz-tipps-fuer-moeglichst-wenig-stress-147145/> abgerufen
- Dziewiaty, K. (24. Juni 2011). *Energiepflanzen und Vogelschutz – Maßnahmen zur Verbesserung der Artenvielfalt*. Abgerufen am 29. Juni 2019 von [https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/Energiepflanzen_und_Vogelschutz_\(2\)_Endf_Dziewiaty.pdf](https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/Energiepflanzen_und_Vogelschutz_(2)_Endf_Dziewiaty.pdf)
- Ecofys, 2007, zit. n. EEM. (08. 03. 2007). *Ecofys: Mehr als 2300 Quadratkilometer Gebäudefläche für Photovoltaik und Solarthermie nutzbar*. Von <https://www.solarserver.de/2007/08/03/ecofys-mehr-als-2300-quadratkilometer-gebäudefläche-für-photovoltaik-und-solarthermie-nutzbar/> abgerufen
- Fraunhofer ISE. (2017). *Sonne ernten auf zwei Etagen – Agrophotovoltaik steigert die Landnutzungseffizienz um über 60 Prozent*. (Fraunhofer ISE, Herausgeber) Abgerufen am 29. Mai 2019 von <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2017/sonne-ernten-auf-zwei-etagen-agrophotovoltaik-steigert-landnutzungseffizienz-um-ueber-60-prozent.html>
- Fuhrhop, D. (2019). *Warum sich flexibles Wohnen lohnt. Vortrag beim Wohnprojekttag 27.09.2019*.
- Fuhrhop, D. (2020). *Verbieht das Bauen! Neuauflage 2020*. München.
- Greenpeace. (2017). *Verkehrswende für Deutschland. Der Weg zu CO2-freier Mobilität bis 2035*.
- IPSOS. (24. Mai 2022). *Weltfahrradtag: Sicherheitsbedenken halten Menschen vom Radfahren ab*. Von <https://www.ipsos.com/de-de/weltfahrradtag-sicherheitsbedenken-halten-menschen-vom-radfahren-ab> abgerufen
- IWR. (2019). *Agro-PV sorgt im Hitzesommer 2018 für verbesserte Erntebilanz*. (I. W. (IWR), Herausgeber) Abgerufen am 29. Mai 2019 von <https://www.solarbranche.de/news/nachrichten/artikel-35964-agro-pv-sorgt-im-hitzesommer-2018-fr-verbesserte-erntebilanz>
- Kompetenzzentrum IEMB. (2009). *Umnutzung. Wohnen in alten Gebäuden*. Berlin.
- Landtag von Baden-Württemberg. (2021). *Drucksache 17 / 943. Gesetz zur Änderung des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg*. Stuttgart.
- Landtag von Baden-Württemberg. (2021a). *Drucksache 17 / 521. 13.7.2021. Gesetzentwurf "Gesetz zur Änderung des Klimaschutzgesetzes"*. Stuttgart.
- LANUV NRW. (2013). *Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW. Teil 2 - Solarenergie. LANUV-Fachbericht 40*. Recklinghausen.

- Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) gGmbH. (2022). *Verbleibendes CO₂-Budget. So schnell tickt die CO₂-Uhr*. Abgerufen am 09. August 2022 von <https://www.mcc-berlin.net/forschung/co2-budget.html>
- Nobis, C., & Kuhnimhof, T. (2018). *Mobilität in Deutschland - MiD Ergebnisbericht. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15)*. Bonn, Berlin, www.mobilitaet-in-deutschland.de.
- Schopp, L. (2017). *Das Potenzial neuer Wohnformen zur Reduzierung der Pro-Kopf-Wohnfläche im urbanen Raum. Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des Grades Master of Science*. München.
- Siebler, J. (2013). *Die Natur kehrt zurück*. Abgerufen am 28. Mai 2019 von www.bundkreis-konstanz.de/fileadmin/bundgruppen/bcmskvkonstanz/Dokumente/Solarpark_Artikel_SW_Konstanz_4_2013.pdf
- Stadt Frankfurt am Main. (2015). „*Frankfurt spart Strom*“. *Ergebnis Stromsparprämie. Stand August 2015*. Von <http://www.frankfurt-spart-strom.de/stromsparpraemie/ergebnis/> abgerufen
- Stadt Frankfurt am Main. (2022). *Umzugsprämie. Prämienprogramm für Mieterinnen und Mieter unterbelegter Sozialwohnungen*. Von <https://frankfurt.de/themen/planen-bauen-und-wohnen/wohnen/vermittlung-von-geforderten-wohnungen-und-fehlbelegungsabgabe/wohnungssuche---wohnungsvermittlung/umzugspraemie> abgerufen
- Statista. (2021). *Endenergieverbrauch der privaten Haushalte für Wohnen in Deutschland nach Energieträger im Jahresvergleich 2010 und 2019*. Von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/165394/umfrage/energieverbrauch-der-privaten-haushalte-fuer-wohnen-2000-und-2009/> abgerufen
- Statista. (2021). *Höhe der Treibhausgas-Emissionen in Deutschland in den Jahren 1990 bis 2020*. Von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/76558/umfrage/entwicklung-der-treibhausgas-emissionen-in-deutschland/#professional> abgerufen
- Thomas, D. (22. April 2021). Warum Homeoffice gut fürs Klima ist – Arbeiten nach Corona. Impulsvortrag auf der 3. Sitzung der AG Systemfragen.
- Umweltbundesamt. (2016). *CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe*. Dessau-Roßlau .
- Umweltbundesamt. (2021). *Energiesparen in Industrie und Gewerbe. Stand: 17.05.2021*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energiesparen-in-industrie-gewerbe#energieeinsparpotenziale> abgerufen

- Umweltbundesamt. (2021b). *Treibhausgas-Emissionen in Deutschland. Stand: 21. Juni 2021*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#emissionsentwicklung> abgerufen
- Umweltbundesamt. (2022). *Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren. Stand: 25. März 2022*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energetraegern-sektoren#allgemeine-entwicklung-und-einflussfaktoren> abgerufen
- Umweltbundesamt. (2022a). *Fahrleistungen, Verkehrsleistung und "Modal Split". Stand: 02. August 2022*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/fahrleistungen-verkehrsaufwand-modal-split#fahrleistung-im-personen-und-guterverkehr> abgerufen
- Umweltbundesamt. (2022b). *Mobilität privater Haushalte. Hoher Anteil von Urlaubs- und Freizeitverkehr. Stand: 13. Mai 2022*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/mobilitaet-privater-haushalte#verkehrsleistung-im-personentransport> abgerufen
- Umweltbundesamt. (2022c). *Energieeinsparpotenziale: Einsparpotenziale an Endenergie in den einzelnen Sektoren in Deutschland. Stand: 21. Januar 2022*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energieeinsparpotenziale> abgerufen
- Umweltbundesamt. (2022d). *Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren. Stand: 25. März 2022*. Von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energetraegern-sektoren#allgemeine-entwicklung-und-einflussfaktoren> abgerufen
- Umweltbundesamt Österreich. (2015). *Verkehr. Energieeffiziente Mobilität*. Von <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/energie/effizienz/effizienzverkehr/>. abgerufen
- Verband öffentlicher Verkehr. (2021). *Perspektiven zur Erhöhung des Modalsplit des öffentlichen Verkehrs. Mehr Agilität für die Zukunft. VöV Schriften 10*. Bern.
- VNR. (2020). *Energieeffizienz-Maßnahmen: So sparen Sie 20 % Energiekosten im Büro. Wirtschaftswissen VNR Verlag für die Deutsche Wirtschaft AG (Hrsg.)*. Von <https://www.wirtschaftswissen.de/einkauf-produktion-logistik/einkaufsmanagement/energieeinkauf/so-sparen-sie-mithilfe-von-energieeffizienz-massnahmen-im-buero-20-energiekosten/> abgerufen