



CO₂-Bilanz, THG-Reduktionspotenziale und Szenarien für die Gemeinde Denzlingen

Stand: 01.03.2021

Bearbeitet von

Nikolai Jacobi, ICLEI Europasekretariat

Diana Sträuber und Lena Hartmann-Kist, Klimaschutzmanagement Denzlingen



The C-Track 50 project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement no. 784974.



Inhaltsverzeichnis

Einleitung	4
Daten & Methodik	6
CO ₂ -Bilanz Ergebnisse.....	7
Endenergieverbrauch.....	7
THG-Emissionen	8
Witterungseinfluss	10
Potenziale und Szenarien	11
Analyse und Potenziale	11
Szenarien	18
Klima-Bevölkerung-Szenario	19
Klimaschutz-Szenario	20
Weitere Themen: Die Rolle der persönlichen Lebensstile	23
Weitere Themen: Vorbildfunktion der Verwaltung	24
Diskussion.....	25
ANNEX A: Datenquellen und Literatur	29

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispielhafter Emissionspfad zur Einhaltung des deutschen 1,5°C-Budgets; (Kobiela et al., basierend auf SRU (2020))	5
Abbildung 2: Endenergieverbrauch nach Verbrauchssektoren	7
Abbildung 3: Endenergieverbrauch nach Energiequellen.....	8
Abbildung 4: THG Emissionen nach Verbrauchssektoren	9
Abbildung 5: THG-Emissionen nach Verbrauchssektoren in Denzlingen 2017 (in %).....	9
Abbildung 6: THG Emissionen nach Energiequellen	10
Abbildung 7: Einfluss der Witterung auf den Endenergieverbrauch	11
Abbildung 8: Indikatoren Set Denzlingen gesamt	12
Abbildung 9: Stromerzeugung und Stromverbrauch	13
Abbildung 10: Solarpotential auf Dachflächen in Denzlingen laut Energieatlas Baden-Württemberg	13
Abbildung 11: Solar-Freiflächenpotential in Denzlingen laut Energieatlas Baden-Württemberg	14
Abbildung 12: Wärmebereitstellung und Wärmeverbrauch	15
Abbildung 13: Wohnflächenspezifischer Wärmebedarf von Wohngebäuden in Denzlingen laut Energieatlas Baden-Württemberg	16





Abbildung 14: Wärmebedarfsdichte von Wohngebäuden in Denzlingen laut Energieatlas Baden-Württemberg.....	17
Abbildung 15: Indikatoren Set kommunale Einrichtungen	18
Abbildung 16: Klima-Bevölkerungs-Szenario	20
Abbildung 17: Klimaschutz Szenario Netto-Null für Denzlingen	21
Abbildung 17: Beitrag der Unterschiedlichen Sektoren zum Erreichen des Netto-Null Ziels	22
Abbildung 20: Persönlicher CO ₂ -Ausstoß Deutscher Durchschnitt gem. UBA Rechner (“CO ₂ -Rechner des Umweltbundesamtes,” n.d.). Aufteilung der Sektoren gem. CO ₂ COMPASS 2020; in Bezug gesetzt zu dem Netto-Null-Szenario für Gesamt-Denzlingen	24
Abbildung 21: Treibhausgasemissionen von Denzlingen (in CO ₂ -Äq) prozentual aufgeteilt auf die drei Sektoren Verkehr, Strom, Wärme und daraus abgeleitete Arbeitsaufträge für den Prozess der Bürgerbeteiligung.....	25
Abbildung 22: Gegenüberstellung des theoretischen Potenzials für Solarstromerzeugung und derzeitigem Strom- und Wärmebedarf in Denzlingen	26





Einleitung

Entscheidet sich eine Kommune für die Erarbeitung eines Klimaschutzkonzeptes, ist der erste grundlegende Schritt eine Analyse des IST-Zustands. Hierfür wird eine CO₂-Bilanz erstellt, um mögliche Potenziale zur Reduktion von Treibhausgasemissionen (THG) aufzeigen zu können. Aus diesen Potenzialen werden wiederum Szenarien für die Zukunft abgeleitet. Diese werden nun im vorliegenden Bericht ausgeführt.

Betrachtet man die bisherigen Klimaschutzbemühungen der Gemeinde Denzlingen, lässt sich feststellen, dass dem kommunalen Klimaschutz bereits in der Vergangenheit eine hohe Priorität eingeräumt wurde. So wurden beispielsweise schon im Jahr 2011 sämtliche kommunale Gebäude auf ihre Photovoltaik-Tauglichkeit hin geprüft und entsprechend Photovoltaik-Anlagen gebaut. Im selben Jahr wurde auch eine Bürgerenergie-Genossenschaft gegründet, deren Zweck die Planung und Umsetzung von regionalen oder kommunalen Projekten mit erneuerbaren Energien ist. Die Bürgerenergie-Genossenschaft ist beispielsweise an der Photovoltaik-Anlage des Rettungszentrums Denzlingen mit einer Nennleistung von 160 kW_p beteiligt. Im Bereich der Gebäudesanierung als Maßnahme zur CO₂-Einsparung wird im Gemeindegebiet auf Sanierungsfahrpläne gesetzt. Das erste Gebäude, für das ein Sanierungsfahrplan erstellt wurde, ist die Grundschule Brückleacker. Zum Klimaschutz gehört auch die Bindung von CO₂ und die Förderung von umweltfreundlichem Baustoff. Hier kann die Gemeinde Denzlingen durch Zukauf von Waldgrundstücken inzwischen einen Anteil von 229 ha (84% der gesamten Waldfläche) Gemeindewald aufweisen.

In jüngster Vergangenheit hat Denzlingen auf Bundesebene mit einem innovativen Ansatz im kommunalen Klimaschutz für Aufsehen gesorgt: Mit einem Klimaschutz-Förderprogramm werden Denzlinger Bürger und Bürgerinnen für klimafreundliche Entscheidungen im persönlichen Alltag, beispielsweise im Bereich Mobilität und Gebäudesanierung, mit attraktiven Prämien belohnt.

Die Gemeinde Denzlingen hat demnach bereits erfolgreiche Klimaschutz-Maßnahmen auf kommunaler Ebene umgesetzt. Die Erstellung eines Klimaschutzkonzepts ist für die Gemeinde Denzlingen ein nächster Schritt in Richtung einer nachhaltigen Klimaschutzpolitik der Kommune.

Am 17.09.2020 hat der Gemeinderat beschlossen, dass mit der Erstellung des Klimaschutzkonzeptes sofort begonnen werden soll. Für die Erstellung der IST-Analyse (CO₂-Bilanz, Potenziale und Szenarien) wurde die Organisation „ICLEI“ (Europasekretariat Freiburg) beauftragt, die seit 1990 weltweit Kommunen bei der Umsetzung von Umweltschutz und nachhaltiger Entwicklung unterstützt. Die IST-Analyse wurde im Rahmen des EU-geförderten Projekts C-Track 50 erstellt. Dies fand in enger Abstimmung zwischen dem Klimaschutzmanagement der Gemeinde und ICLEI statt.

Es gibt verschiedene Beispiele, dass die Auswirkungen des Klimawandels schon regional zu spüren sind. Der letzte Waldzustandsbericht von Baden-Württemberg bescheinigt, dass die Bäume aufgrund der jüngsten Trockenjahre in einem schlechten Zustand wie nie sind. Die geschwächten Bäume wurden in der Folge verstärkt durch den Borkenkäfer befallen. Die flächenhafte Zwangsnutzung der Bäume zur Eindämmung der Ausbreitung des Borkenkäfers führte zu einem Einbruch der Holzpreise und zu überfüllten Nasslagern. Das Land Baden-





Württemberg vergibt nun Millionenhilfen zum Umbau für klimastabilere Wälder. Auch bei den Weideflächen des Schwarzwaldes hat die Trockenheit gravierende Folgen: versiegende Quellen zwangen zahlreiche Landwirte dazu, Wasser zum Tränken der Rinder mit Tankwagen hinaufzufahren. Aber auch für die Tieflagen im Oberrheingraben äußern sich die Hydrologen besorgt bezüglich der Entwicklung der Grundwasservorräte.

Der Bezug zu den manchmal etwas abstrakten wissenschaftlichen Empfehlungen, den weltweiten Temperaturanstieg auf 1,5 °C zu begrenzen, zeigt sich an diesen regionalen Beispielen ganz konkret. Bei einer Überschreitung des empfohlenen Temperaturanstiegs erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass Dominoeffekte ausgelöst werden und die Folgen insgesamt immer unkontrollierbarer werden.

Inhaltlich orientiert sich deshalb die vorliegende Analyse an den Zielen des Pariser Klimaschutzabkommens. Hier hat sich die Bundesrepublik Deutschland zusammen mit 194 anderen Staaten völkerrechtlich bindend verpflichtet, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen und Anstrengungen zu unternehmen, sie unter 1,5 °C zu halten. Für Deutschland verbleibt zur Einhaltung des Paris-Ziels gemäß dem Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) ab dem Jahr 2020 noch ein Restbudget von 4,2 Gigatonnen CO₂. Bei Einhaltung dieses Budgets wird das 1,5-Grad-Ziel mit einer mittleren Wahrscheinlichkeit (50 %) eingehalten. Das Einhalten dieser Zielmarke ist nur dann zu erreichen, wenn Deutschland bis etwa zum Jahr 2035 CO₂-neutral wird. Dieses Ziel ist gleichzeitig eine der zentralen Forderungen aus der Wissenschaft.

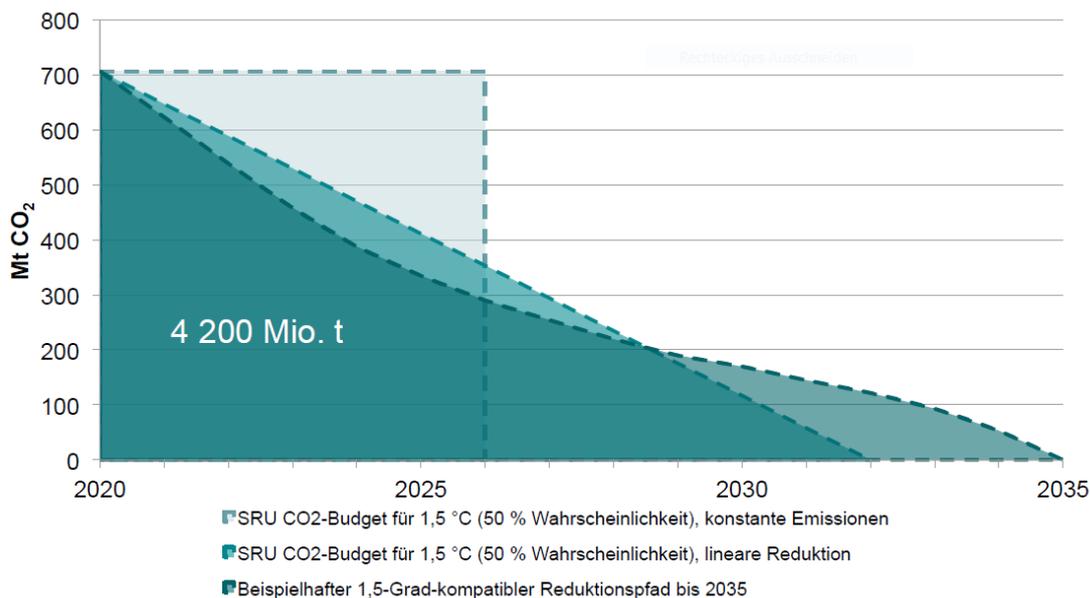


Abbildung 1: Beispielhafter Emissionspfad zur Einhaltung des deutschen 1,5°C-Budgets; (Kobiela et al., basierend auf SRU (2020))

In Abbildung 1 sind drei verschiedene beispielhafte zeitliche Verläufe dargestellt, wie die Gesamtmenge des CO₂-Budgets von Deutschland eingehalten werden könnte. Die Fläche





unter den drei verschiedenen Kurvenverläufen entspricht dabei der Menge des noch erlaubten CO₂-Budgets von 4,2 Gigatonnen (= 4,2 Milliarden Tonnen). Dieser entspricht einer Pro-Kopf Emission von 50,54 Tonnen pro Einwohner. Das Rechteck mit der geraden Linie nach rechts zeigt, wenn das aktuelle Emissionsniveau in Deutschland beibehalten wird, dann müssten die Emissionen im Jahr 2026 mit einem Schlag auf Null reduziert werden, um das empfohlene Gesamtbudget nicht zu überschreiten. Das Dreieck zeigt auch, dass bei einem linearen Reduktionspfad, d.h. wenn jedes Jahr die Emissionen um die gleiche Menge reduziert werden, die Emissionen schon im Jahr 2032 auf Null sein müssten, um das Budget nicht zu überschreiten. Die geschwungene Kurve zeigt, dass dann bis 2035 Zeit, wenn in der Anfangsphase die Emissionen stärker reduziert werden (Delle nach unten) bleibe.

Für das Klimaschutzkonzept Denzlingens wird in den Szenarien der Einfachheit halber ein linearer Reduktionspfad hin zur Klimaneutralität bis 2035 zugrunde gelegt. Diese Berechnungen dienen als Anhaltspunkt, in welchen Größenordnungen Reduktionen erforderlich sind, um das Problem ernsthaft zu lösen.

Daten & Methodik

Die CO₂-Bilanz basiert auf dem Bilanzierungstool BICO2-BW, welches vom IFEU Institut für die BW-Energieagentur KEA entwickelt wurde und welches Kommunen in BW kostenfrei zur Verfügung gestellt wird. Die Daten für die Einspeisung in das Bilanzierungstool stammen u.a. aus Zensusdaten, Daten des lokalen Energieversorgers sowie Daten der Kommune selbst. Die Methodik des BICO2 BW ist im Handbuch genauer erläutert (siehe [https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Kommunaler Klimaschutz/Angebote/Gebrauchsanweisung BI CO2BW V2.8.pdf](https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Kommunaler_Klimaschutz/Angebote/Gebrauchsanweisung_BI_CO2BW_V2.8.pdf))

Die Annahmen zur Prognose der Bevölkerungsentwicklung in Denzlingen basieren einerseits auf Daten des statistischen Bundesamts sowie auf Prognosen der Kommune. Das Extremszenario ist ein Schätzwert des Autors. Bei der Berücksichtigung der Wirkung des Bevölkerungswachstums auf die Entwicklung der THG-Emissionen wurde eine Studie des Potsdam Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) herangezogen, welche die entsprechenden Zusammenhänge untersucht (Gudipudi et al., 2019). Alle weiteren Datenquellen sind ANNEX A zu entnehmen.

Die Annahmen zur Prognose der Klimaentwicklung für Denzlingen basieren auf Daten des IWU und des Deutschen Wetterdienstes. In diesem Zusammenhang wurden insbesondere die Gradtagszahlen herangezogen, um den Heizbedarf bis 2035 zu prognostizieren. In diesem Zusammenhang ist davon auszugehen, dass aufgrund des Klimawandels, die durchschnittliche Temperatur in der Heizperiode steigt und somit der Heizbedarf zukünftig geringer wird. Hierbei ist nicht berücksichtigt, dass durch die steigenden Temperaturen, der Energiebedarf für die Kühlung (etwa Klimaanlage in öffentlichen und privaten Gebäuden) steigen wird. Alle weiteren Datenquellen sind ANNEX A zu entnehmen.

Der Erstellung des Netto-Null Szenarios liegen maßgeblich die Annahmen einer im Oktober 2020 veröffentlichten Studie des Wuppertal Instituts zugrunde (Kobiela et al., n.d.). Die Studie untersucht, welchen Beitrag deutsche Städte und Gemeinden leisten müssen, um Klimaneutralität bis 2035 erreichen zu können als Beitrag zur Einhaltung der 1,5 °C-Grenze.





Weiterhin wurden Berichte des BMU und der Europäischen Kommission sowie Informationen aus dem Internet (etwa bei Faktoren, Verhältnissen, Durchschnittswerten) herangezogen (Siehe im Detail ANNEX A).

Das allgemeine Vorgehen zur Ableitung der Szenarien betreffend basieren grundsätzlich alle errechneten Zahlen auf den vorgegebenen Verhältnissen, Emissionsfaktoren etc., welche im BICO2 angelegt sind. Lediglich zur Untermauerung der Annahmen sowie für die Beantwortung darüberhinausgehender Fragen wurden die in ANNEX A aufgeführten Quellen hinzugezogen.

CO₂-Bilanz Ergebnisse

Endenergieverbrauch

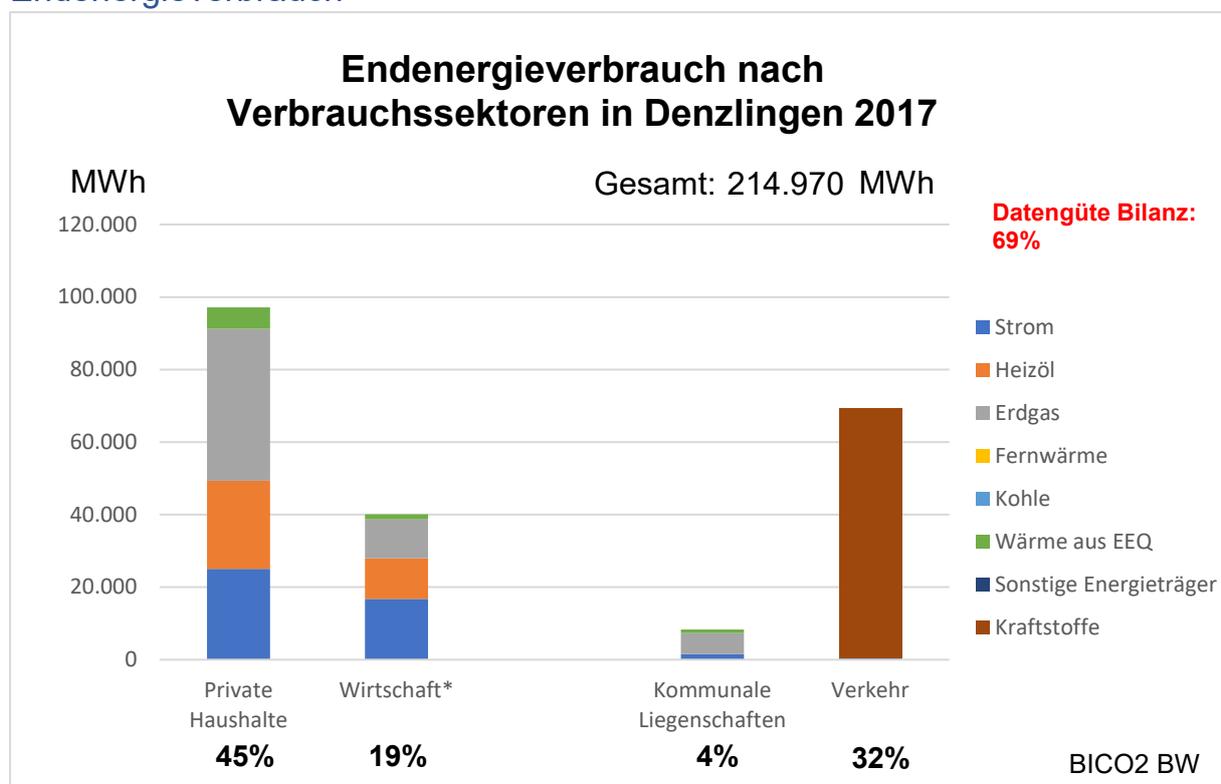


Abbildung 2: Endenergieverbrauch nach Verbrauchssektoren

Der Gesamtendenergieverbrauch für Denzlingen für das Jahr 2017 betrug 214,9 GWh. Dieser setzt sich aus den Sektoren private Haushalte, Wirtschaft (wobei hier aufgrund von mangelnder Detailschärfe der Grunddaten die Sektoren Güter, Handel und Dienstleistungen sowie Industrie zusammengefasst sind), kommunale Liegenschaften und Verkehr zusammen. Private Haushalte stellen den größten Verbrauchssektor dar mit ca. 45% am Gesamtverbrauch, gefolgt vom Sektor Verkehr mit 32% und Wirtschaft mit 19%. Kommunale Liegenschaften machen ca. 4 % des Gesamtverbrauchs aus.

Den größten Verbrauch in Bezug auf die Art der Energiequelle (in MWh) stellen die Kraftstoffe aus dem Verkehr dar (32 %), gefolgt von Erdgas (27%), Strom (20 %), Heizöl (17 %) und Wärme aus Erneuerbaren Energiequellen (4 %) (siehe Abbildung 3 unten).



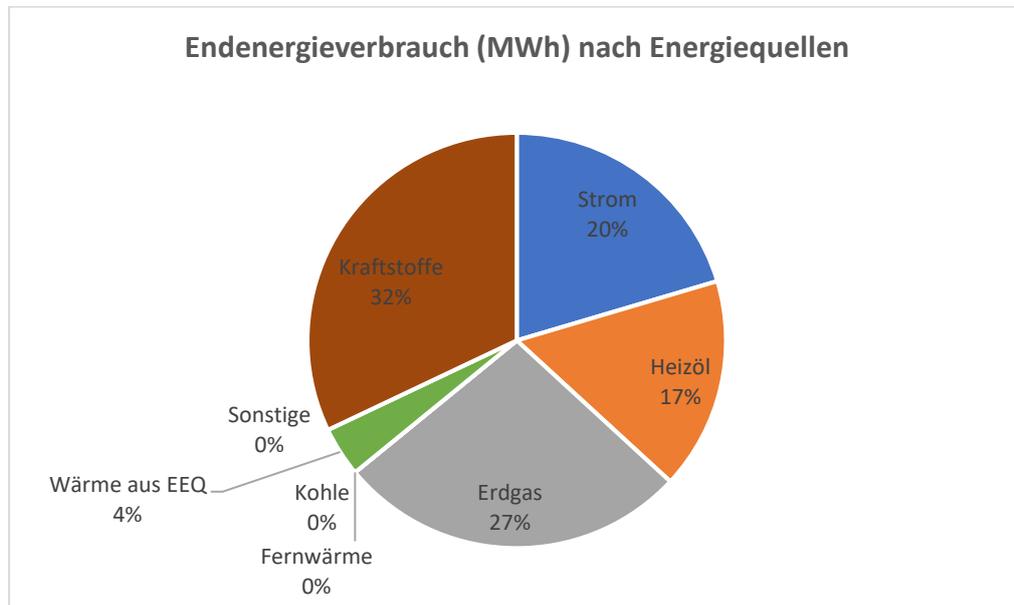


Abbildung 3: Endenergieverbrauch nach Energiequellen

THG-Emissionen

Die gesamten Treibhausgas (THG)-Emissionen für Denzlingen im Jahr 2017 betragen knapp über 72 Kilotonnen CO₂-Äquivalente. Private Haushalte stellen den größten Emittenten dar mit ca. 45 % am Gesamtverbrauch, gefolgt vom Sektor Verkehr mit 31 % und dem Sektor Wirtschaft mit 22 %. Kommunale Liegenschaften machen ca. 3 % der Gesamtemissionen aus.

Bei der Verteilung der Emissionen auf die einzelnen Energiequellen des Endverbrauchs ergibt sich folgende Verteilung (siehe Abbildung 6 unten): Strom (34 %), Kraftstoffe (30 %), Erdgas (20 %), Heizöl (16 %). Im Vergleich zur Verteilung der Verbräuche nach Energiequellen zeigt sich hier, dass die Emissionen beim Strom proportional größer ausfallen während der Anteil beim Erdgas sinkt und bei den Kraftstoffen und beim Heizöl etwa gleichbleibt.



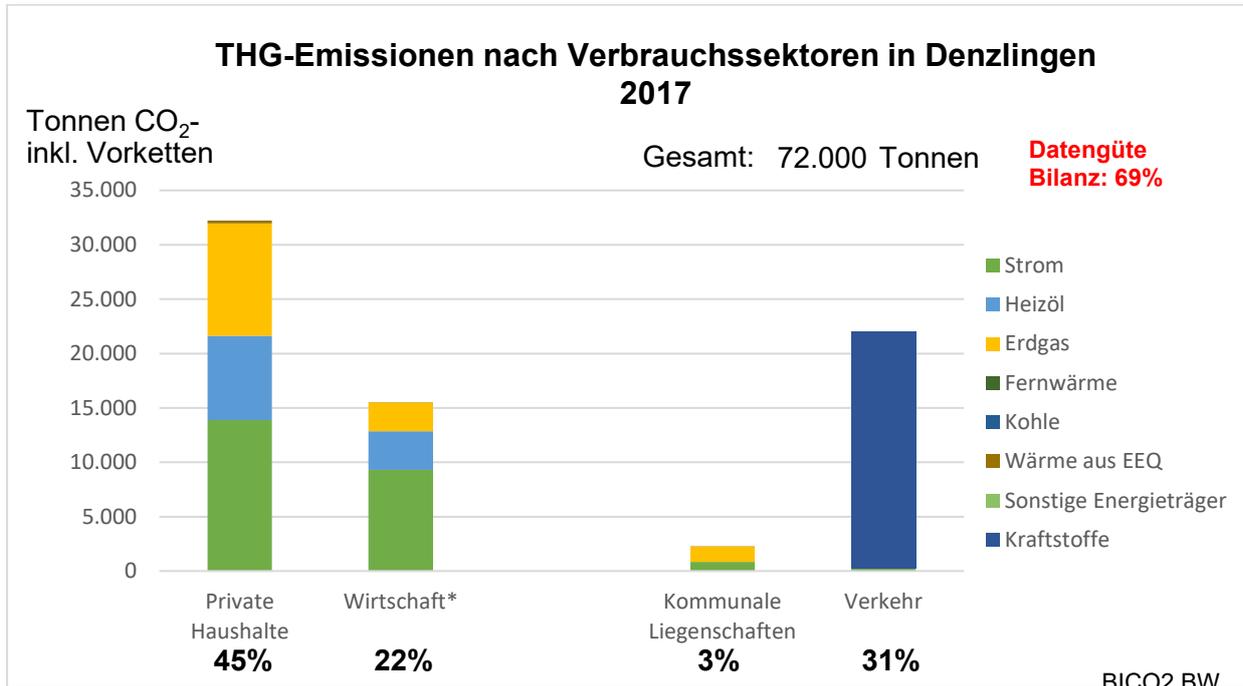


Abbildung 4: THG Emissionen nach Verbrauchssektoren

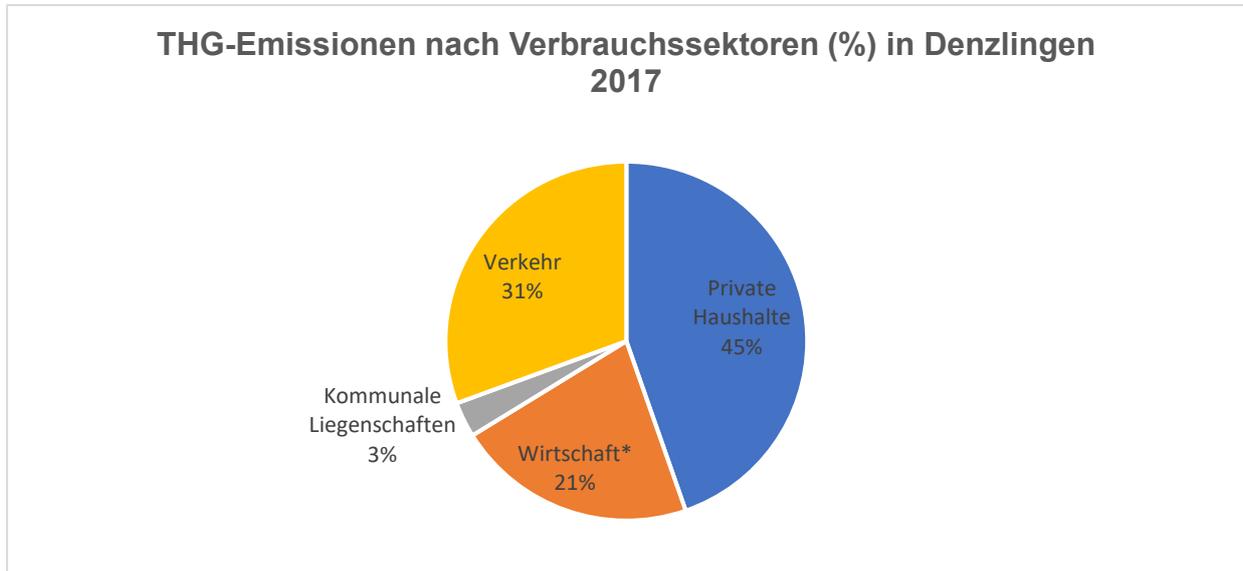


Abbildung 5: THG-Emissionen nach Verbrauchssektoren in Denzlingen 2017 (in %)





THG Emissionen (CO₂-Äq.) nach Energieverbrauchsgruppen

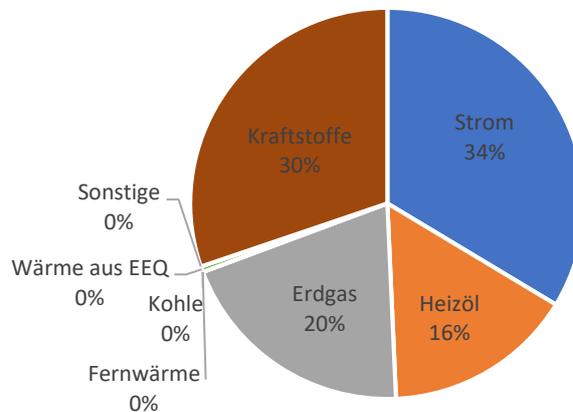


Abbildung 6: THG Emissionen nach Energiequellen

Witterungseinfluss

Der Einfluss der Witterung auf den Endenergieverbrauch ist erheblich. Um den Endenergieverbrauch eines Jahres zu normieren, d.h. um die errechneten Ergebnisse bei außergewöhnlich warmen oder kalten Jahren auszugleichen und vergleichen zu können, werden diese mit einem Witterungsfaktor korrigiert. Dieser setzt sich aus der Gradtagszahl des berechneten Jahres und dem langjährigen Mittel für die Region zusammen. Für 2017 ergibt sich für Denzlingen eine Gesamtdifferenz von +2,3 %, da das Jahr 2017 ein wärmeres Jahr war im Vergleich zu den Temperaturen, die das langjährige Mittel zeigen. Beim Endenergieverbrauch der privaten Haushalte ergibt sich aus den witterungskorrigierten Ergebnissen ein Plus von 3,9 %, bei der Wirtschaft 1,8 % und bei den kommunalen Liegenschaften 4,3 %.



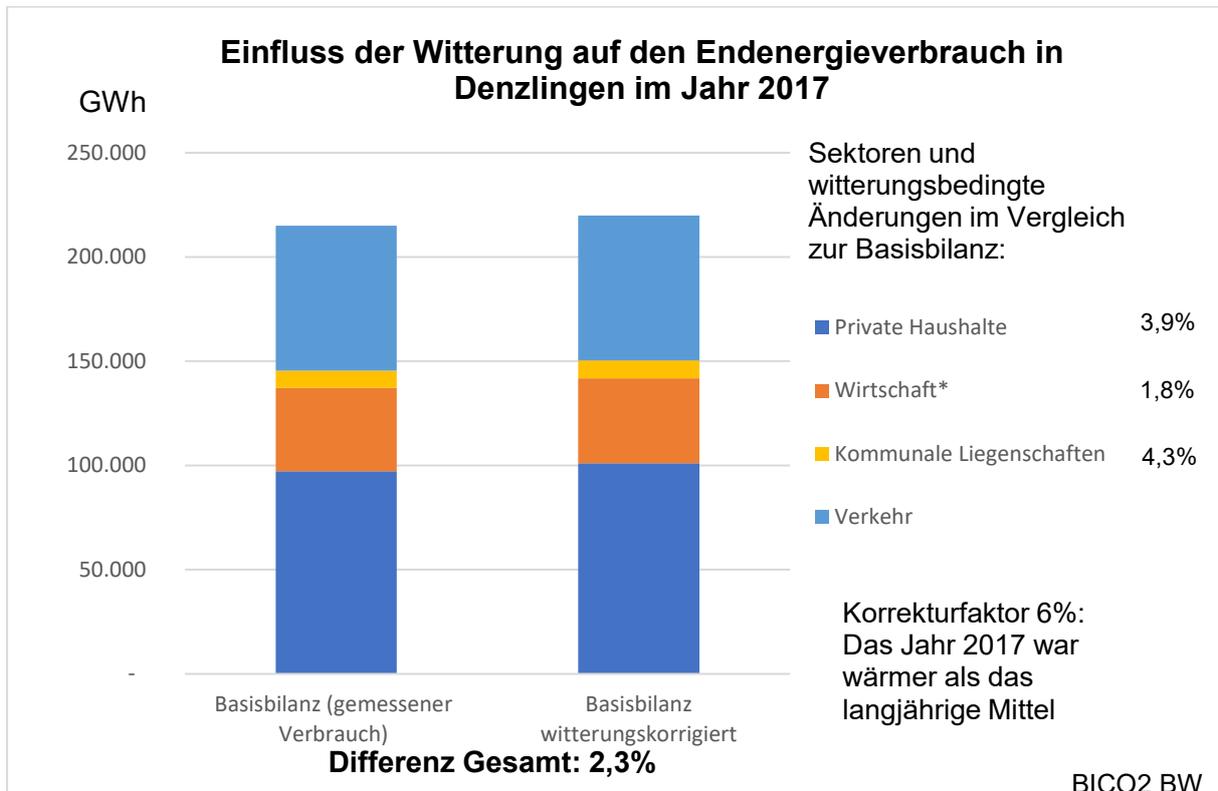


Abbildung 7: Einfluss der Witterung auf den Endenergieverbrauch

Potenziale und Szenarien

Analyse und Potenziale

Abbildung 8 unten zeigt wesentliche Indikatoren der CO₂-Bilanz im Überblick, sowie im Vergleich mit bundesweiten Durchschnittswerten bzw. Werten aus Baden-Württemberg (BW). Beispielsweise sind die gesamten Pro-Kopf-Emissionen in Denzlingen (mit Emissionsfaktoren des Bundesstrommixes und nicht mit lokalen Faktoren berechnet) etwas niedriger als im BW- und Bundesdurchschnitt. Bei den Emissionen pro Haushalt liegt Denzlingen genau im Durchschnitt.

Gemäß der Darstellung gibt es bei der Energieeffizienz im Wirtschaftssektor (Energieverbrauch Gewerbe & Sonstiges), bei den Erneuerbaren Energien (Anteil EE am Strom und an der Wärmeversorgung) sowie beim Verkehr Verbesserungspotenzial bzw. Anknüpfungspunkte für das Setzen von Maßnahmen zur Erreichung der Klimaneutralität.

Beim Verkehr zeigt sich, dass der Energiebedarf für den Individualverkehr etwas unter dem BW- bzw. Bundesdurchschnitt liegt. Hieraus lässt sich ein erhebliches Einsparpotenzial durch Maßnahmen ableiten, welche die Nutzung von ÖPNV sowie die Verbesserung des Modal Splits stärken.





Am deutlichsten fällt allerdings das Potenzial gemessen am BW- bzw. bundesweiten Durchschnitt bei der Erneuerbaren Energie an der Stromversorgung ins Auge. Die relativ geringe Stromeigenversorgung in Denzlingen führt außerdem in der Bilanzierung zu hohen Emissionen aus der Stromversorgung, da der Emissionsfaktor des Bundesstrommixes deutlich höher ist als bei allen anderen Energieträgern – nämlich bei 0,554 CO₂-Äquivalenten (t/MWh) inklusive Vorketten. D.h. Eingriffe und Investitionen in die eigene, lokale Stromgewinnung aus klimaneutralen erneuerbaren Energiequellen würden sich sehr stark positiv auf die Emissionsentwicklung in Denzlingen auswirken. Ebenso könnte ein Ersatz des relativ hohen Wärmeverbrauchs mit Heizöl durch Wärme aus EE oder KWK beispielsweise durch Gemeinschaftswärmeversorgung bzw. Nah- oder Fernwärmenetze oder Umstellung auf CO₂-neutrale Heizungen stark positive Effekte erzielen.

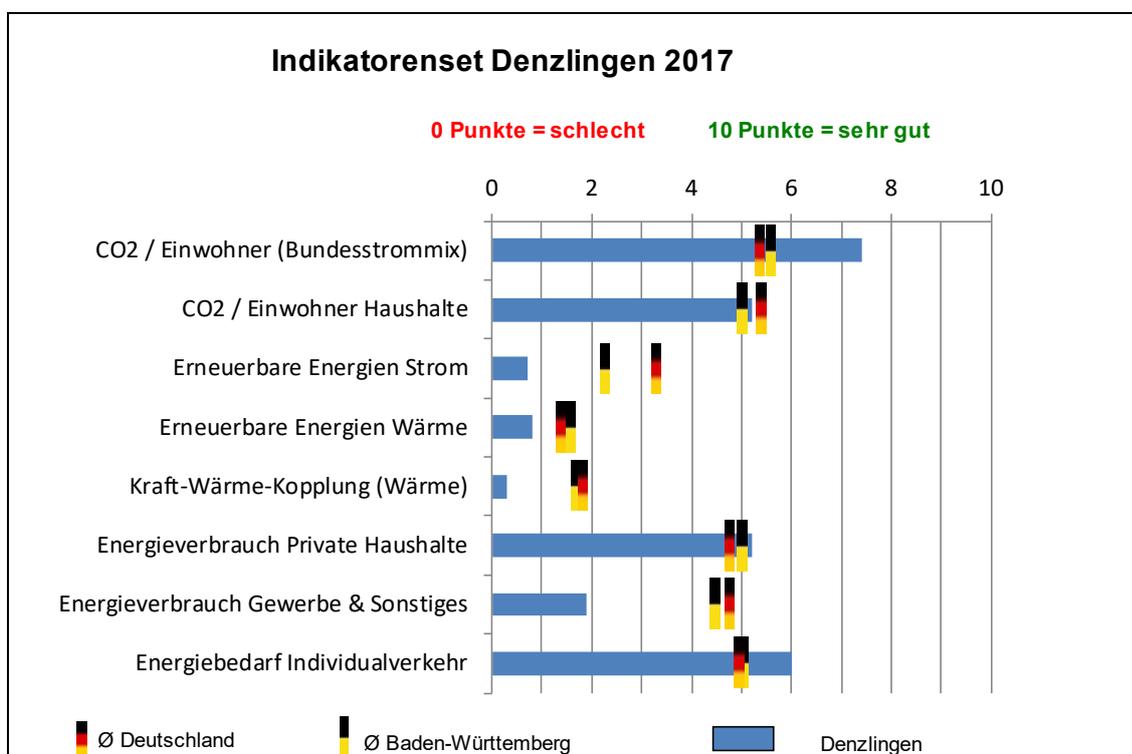


Abbildung 8: Indikatoren Set Denzlingen gesamt

Abbildung 9 (unten) macht deutlich, dass nur etwa 3,5 GWh Strom lokal durch erneuerbare Energiequellen erzeugt werden. Dies ergibt einen Anteil von 6,9% am gesamten Stromverbrauch von knapp 44 GWh für das Jahr 2017.

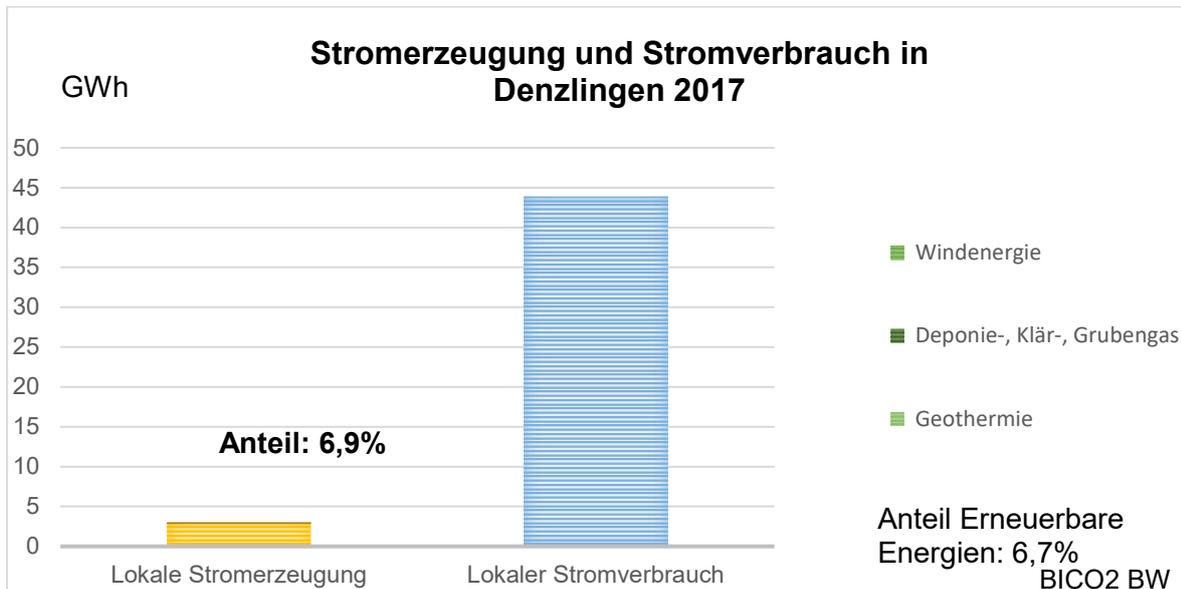


Abbildung 9: Stromerzeugung und Stromverbrauch

Demgegenüber liegt ein theoretisches Solarstrompotenzial auf den Dachflächen (private Haushalte und Gewerbe) in Denzlingen von etwa 187 GWh ("Dachflächen - Energieatlas," n.d. ergänzt mit eigenen Berechnungen). Abbildung 10 bietet eine Übersicht über die räumliche Verteilung des Dachflächenpotenzials. Diese Karten sind frei zugänglich auf der Webseite des Energieatlas Baden-Württemberg.

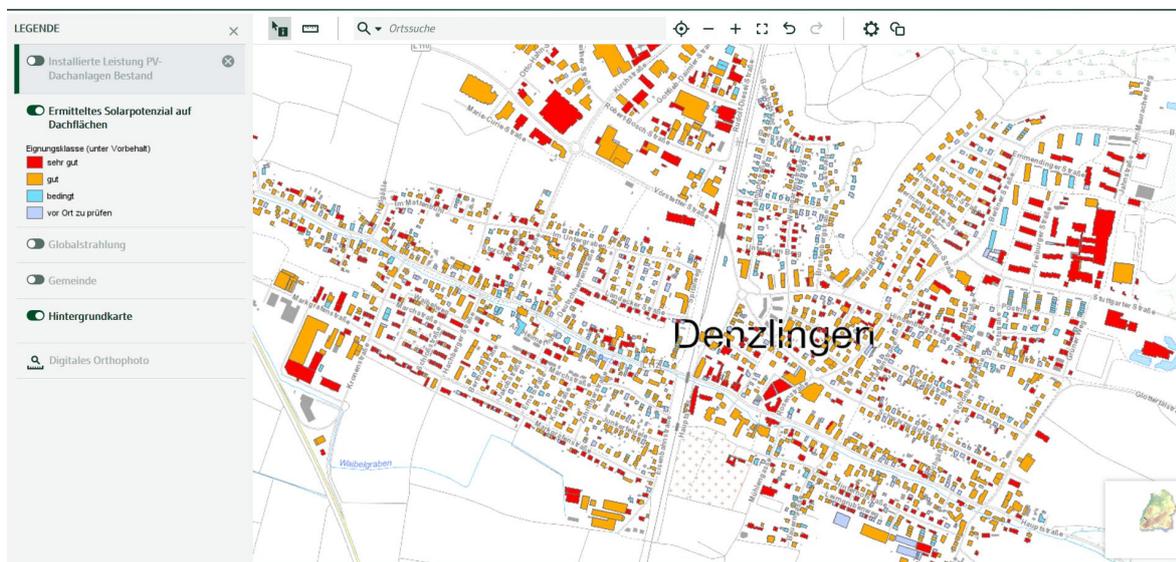


Abbildung 10: Solarpotential auf Dachflächen in Denzlingen laut Energieatlas Baden-Württemberg

Weiterhin lässt sich über den Energieatlas ein Potenzial für Freiflächen-Photovoltaik in Höhe von etwa 31 GWh/ Jahr ableiten. Die Flächen liegen entlang der Bahntrasse, die von Norden nach Süden verläuft (siehe Abbildung 11).





Die Dachflächenpotenziale und Freiflächenpotenziale für Solarstrom ergeben in der Summe 218 GWh/Jahr. Wenn dieses zur Verfügung stehende Potenzial vollständig zur Erzeugung von Strom durch PV-Module genutzt wird, ließe sich der (rein rechnerische) Anteil von PV am Stromverbrauch der Gemeinde auf ca. 495 % erhöhen!

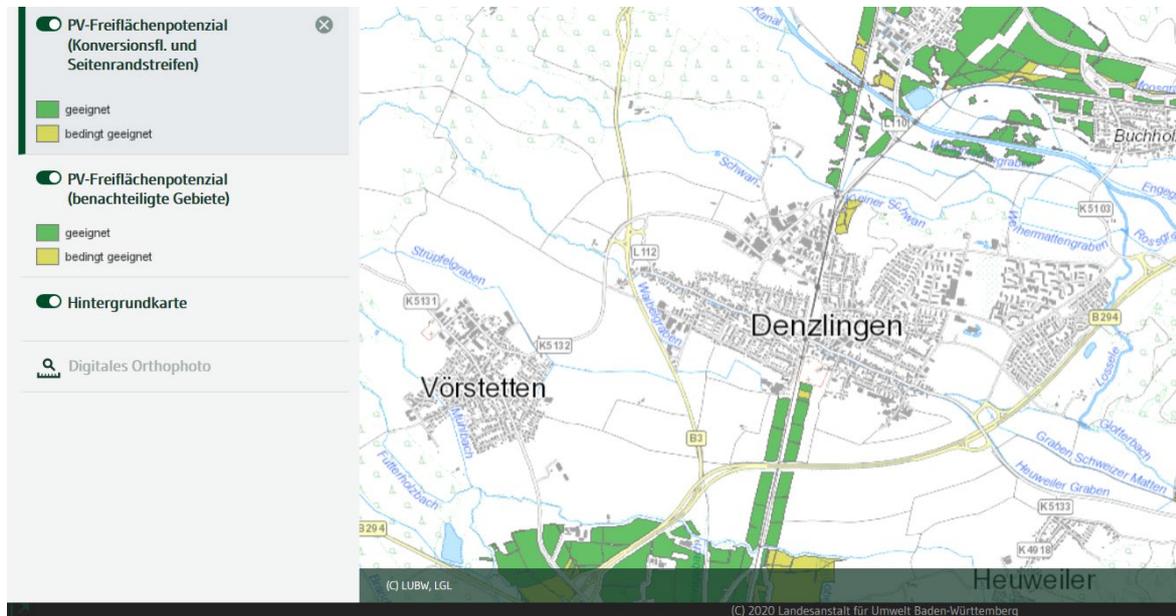


Abbildung 11: Solar-Freiflächenpotential in Denzlingen laut Energieatlas Baden-Württemberg

Bei der Gegenüberstellung von Verbrauch und Erzeugung von lokaler Wärme zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim Strom (siehe Abbildung 12). Hier macht der Anteil, der primärenergieschonend erzeugt wurde, ca. 11,4 % von etwas mehr als 100 GWh aus. Der Anteil der Erneuerbaren liegt bei etwa 8,1 %, wobei dieser fast ausschließlich durch Solarthermie zustande kommt (Quelle: solaratlas.de). Das geschätzte Gesamtpotenzial (Dächer) für Solarthermie liegt bei 23 GWh/Jahr.

Doch gerade die lokale Wärme- und Stromerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung und im Besonderen Wärmelieferung durch Gemeinschaftswärmeversorgung bzw. Nah- oder Fernwärmenetze sind deutlich ausbaufähig.

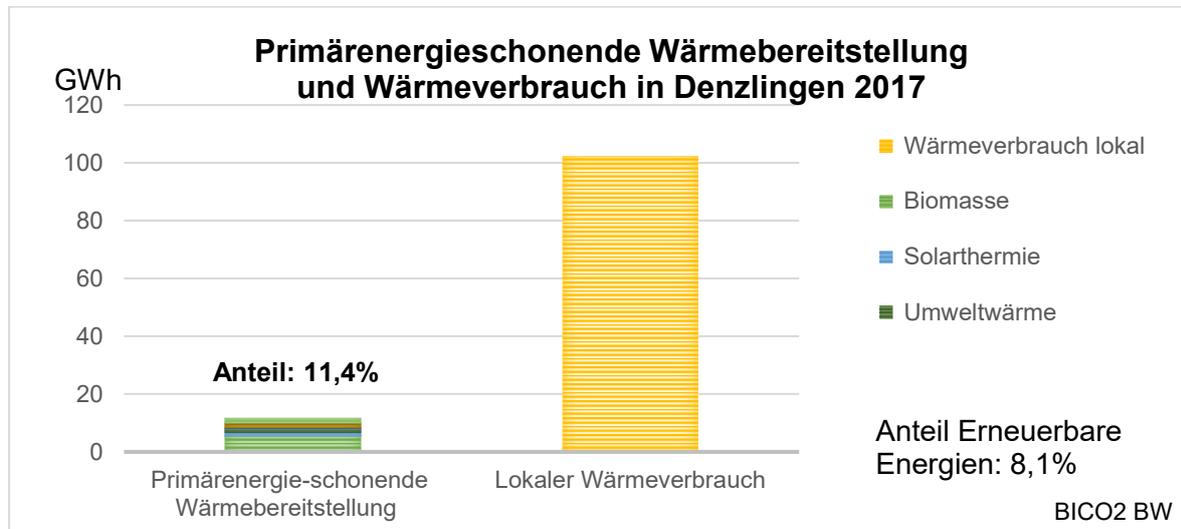


Abbildung 12: Wärmebereitstellung und Wärmeverbrauch

Einen weiteren Baustein, um sich ein Bild von Denzlingen machen zu können, liefern die Wärmekarten des Energieatlas vom Land Baden-Württemberg ("Wärmebedarf von Wohngebäuden - Energieatlas," n.d.). In der Karte von Abbildung 13 kann der wohnflächenspezifische Wärmebedarf von Wohngebäuden in Denzlingen laut Energieatlas des Landes Baden-Württemberg betrachtet werden. Der jeweilige Wärmebedarf eines Gebäudes ist auf die Wohnfläche des Gebäudes bezogen.

Man kann damit also ungefähr herauslesen, in welchen Quartieren aufgrund des Gebäudetyps und des Baujahres die schlechtesten Gebäudekennwerte zu erwarten sind und energetische Sanierungen potenziell am meisten CO₂-Einsparung bringen können.

Daten zu wärmebedarfsmindernden Maßnahmen an den Gebäuden bei und nach deren Errichtung wurden nicht erhoben. Der hier mit Hilfe von vereinfachenden Modellannahmen flächendeckend ermittelte Wärmebedarf unterscheidet sich von den tatsächlich vor Ort gemessenen Verbrauchswerten. Der tatsächliche Wärmeverbrauch eines Gebäudes hängt neben dem Sanierungszustand stark von den Verhaltensweisen seiner Bewohner sowie den tatsächlichen Witterungsverhältnissen im betrachteten Zeitraum ab. Die im Wärmebedarfsatlas errechneten Wärmebedarfsdichten eignen sich daher nicht als Planungsgrundlage. Für konkrete Planungen ist die Ermittlung der aktuellen Wärmebedarfsdichte vor Ort unabdingbar.

Eine weitere Information, die im Energieatlas des Landes Baden-Württemberg abgerufen werden kann, ist die Ermittlung der Wärmebedarfsdichte der Wohngebäude (siehe Abbildung 14). Hierfür wird der aufsummierte absolute Wärmebedarf der Gebäude innerhalb eines Baublocks auf die Fläche des Baublocks bezogen.

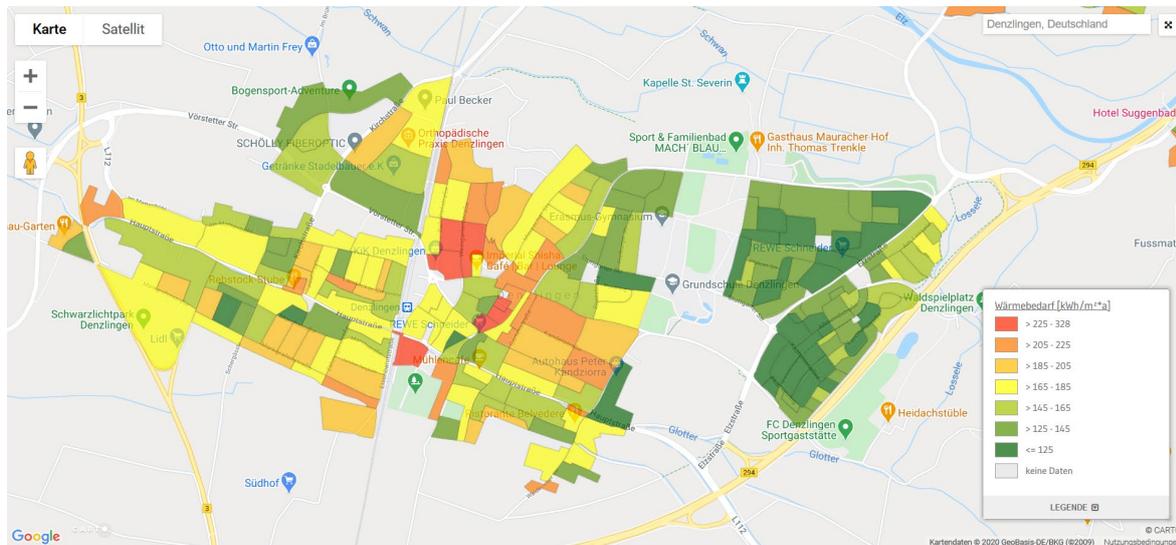


Abbildung 13: Wohnflächenspezifischer Wärmebedarf von Wohngebäuden in Denzlingen laut Energieatlas Baden-Württemberg

Wie auch für den wohnflächenspezifischen Wärmebedarf (s.o.) gilt hier, dass die Informationen aus dem Energieatlas nicht als Planungsgrundlage herangezogen werden können, da sie auf flächenhaften Modellannahmen beruhen. Sie lassen auf einer übergeordneten, strategischen Ebene eine ungefähre Abschätzung zu, in welchen Quartieren der wirtschaftliche Betrieb eines Wärmenetzes am ehesten zu erwarten ist.

Für den wirtschaftlichen Betrieb von Wärmenetzen braucht man eine hohe Wärmeabnahme. Hier zeigt sich ein Zielkonflikt: Gewollte energetische Sanierungen senken den Wärmebedarf und wirken sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes aus. Deshalb muss bei der Auslegung von Wärmenetzen eine Absenkung des Energieverbrauchs in der Zukunft unbedingt berücksichtigt werden. Um eine zukünftig klimaneutrale Wärmeversorgung zu erreichen, ist eine strategische kommunale Wärmeplanung hilfreich und eine Förderung vom Land in Aussicht gestellt (s. auch Ausführungen dazu im Kapitel Diskussion).



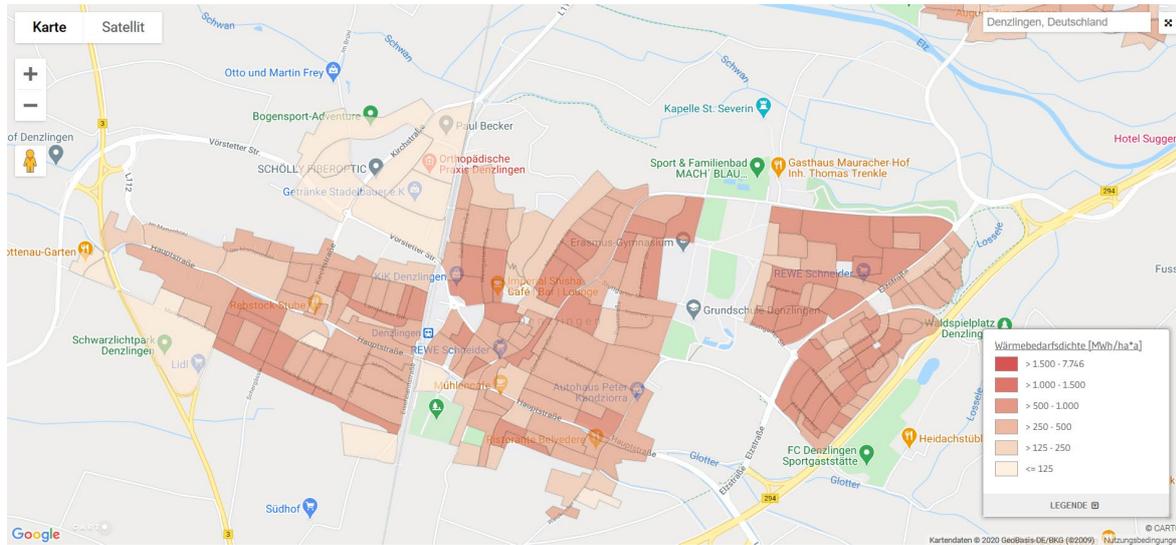


Abbildung 14: Wärmebedarfsdichte von Wohngebäuden in Denzlingen laut Energieatlas Baden-Württemberg

Ein weiteres Indikatoren-Set zeigt wichtige Kennzahlen für den kommunalen Energieverbrauch und die entsprechenden Emissionen im Vergleich mit dem bundesdeutschen Durchschnitt (siehe Abbildung 15). Die Übersicht macht deutlich, dass der Gesamtverbrauch und die Emissionen des kommunalen Sektors bezogen auf die Einwohnerzahl vergleichsweise hoch sind, während die Strom- und Wärmekennwerte und die kommunale PKW-Flotte im oberen Mittelfeld liegen. Während der Anteil der Stromeigenversorgung der Kommune insgesamt vergleichsweise hoch ist, ist die Eigenzeugung mit Kraft-Wärme-Kopplung stark ausbaufähig.



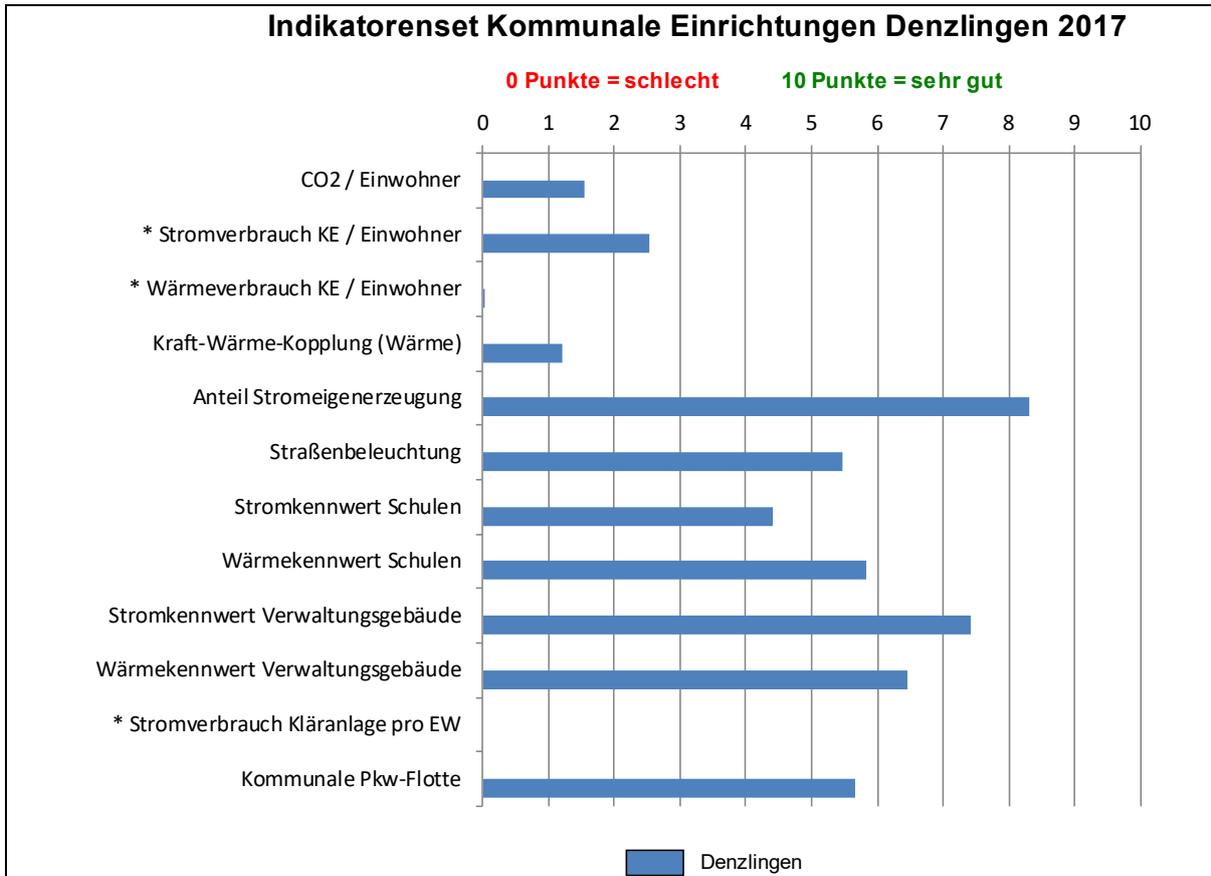


Abbildung 15: Indikatoren Set kommunale Einrichtungen

Szenarien

Im Folgenden sind zwei verschiedene Szenarien-Kombinationen dargestellt: (1) Klima-Bevölkerungs-Szenarien. Diese gehen von drei unterschiedlichen Entwicklungen beim Bevölkerungswachstum sowie bei der Klimaerwärmung aus und verschneiden diese miteinander. (2) Das Klimaschutzszenario „Netto-Null“ Szenario orientiert sich im Wesentlichen an den Annahmen aus der oben genannten Studie des Wuppertal Instituts (Kobiela et al., n.d.) und errechnet im Sinne eines Backcasting-Ansatzes, welche Einsparungen es in den einzelnen Sektoren braucht, um das Netto-Null Ziel bis 2035 zu erreichen. Die benötigte Kohlenstoff-Sequestrierung wird hier auf ein Minimum gehalten. Generell stehen beim Netto-Null-Szenario weniger die Überlegungen zu technisch-wirtschaftlicher Machbarkeit im Vordergrund, als vielmehr die Frage, welche Einsparungen und Umstellungen in den einzelnen Handlungsfeldern und Sektoren notwendig sind, um das Netto-Null-Ziel zu erreichen. Für das Netto-Null-Szenario wird als Startpunkt für das Jahr 2020 der THG-Wert des moderaten Bevölkerung-Klima-Szenarios herangezogen (siehe Abbildung 16 unten).

Die Annahmen zu den einzelnen Szenarien sind in den jeweiligen Zwischenüberschriften unten ersichtlich. Der Betrachtungszeitraum ist jeweils 2020-2035.





Klima-Bevölkerung-Szenario

Szenario	Bevölkerung	Klima
<i>Fortschreibung</i>	Trend-Fortschreibung der Zahlen von 2010-2017, welche eine leichte Abnahme der Bevölkerung auf 13.353 Einwohner/innen in 2035 ergeben.	Trend-Fortschreibung der Gradtagszahlen auf Basis von Daten der IWU von 2000-2017. Wert im Jahr 2035 liegt etwas unter dem langjährigen Mittel bei 3400.
<i>Moderat</i>	Leichter Anstieg auf 15.000 Einwohner/innen (auf Basis von Schätzung der Gemeinde Denzlingen)	Mittelstarke Erwärmung. Die Gradtagszahl im Jahre 2035 liegt bei 3000, also deutlich unter dem langjährigen Mittel und etwa auf dem Niveau des Rekordsommers 2018.
<i>Extrem</i>	Starker Anstieg der Bevölkerung auf 20.000 Einwohner/innen im Jahr 2035.	Starke Erwärmung auf Gradtagszahl 2500.

Basierend auf diesen Annahmen wurden die jeweils gleichen Entwicklungen bei der Bevölkerung und beim Klima miteinander verschnitten, um die Auswirkungen auf die Emissionsentwicklung zu verstehen. Für die Abschätzung der Auswirkung der Bevölkerung auf die Emissionen wurde zusätzlich eine Studie des PIK herangezogen (Gudipudi et al., 2019). Einschränkend ist festzuhalten, dass der bei starker Erwärmung erwartbare, benötigte Mehrbedarf an Energie für die Kühlung von Gebäuden nicht berücksichtigt wurde. Abbildung 16 zeigt im Referenz-Szenario (Fortschreibung) einen leichten Anstieg der Emissionen auf etwas über 75 kt CO₂ Äq. Dies ist überwiegend dem Gleichbleiben bzw. einem leichten Abkühlen der Temperaturen in der Heizperiode geschuldet, was wiederum einen leicht erhöhten Wärmebedarf nach sich zieht. Diese Entwicklung basiert auf einer Fortschreibung der Gradtagszahlen der Jahre 2000-2017.

Das moderate Szenario zeigt ein leichtes Sinken der Emission auf ca. 68 kt CO₂-Äq. im Jahr 2035, welches überwiegend durch den reduzierten Heizbedarf im Winter zustande kommt (der Bevölkerungseffekt – Bevölkerung wächst leicht – schlägt sich hier nicht stark nieder). Das Extrem-Szenario zeigt ein relativ starkes Absinken der Emissionen durch einen stark reduzierten Heizbedarf im Winter. Die Bevölkerung wirkt sich auch hier weniger stark aus. Im Vergleich dazu zeigt die rot-gestrichelte Linie das witterungsbereinigte Extremszenario. Hier ist ein relativ starker Anstieg der Emissionen zu verzeichnen, da der Endenergiebedarf jeweils mit dem langjährigen Mittel korreliert. Da die stetige Erwärmung aber im berechneten langjährigen Mittel miteinfließt, schwächt dies den Bevölkerungseffekt im witterungsbereinigten Extremszenario, welcher sonst stärker ausfallen würde.



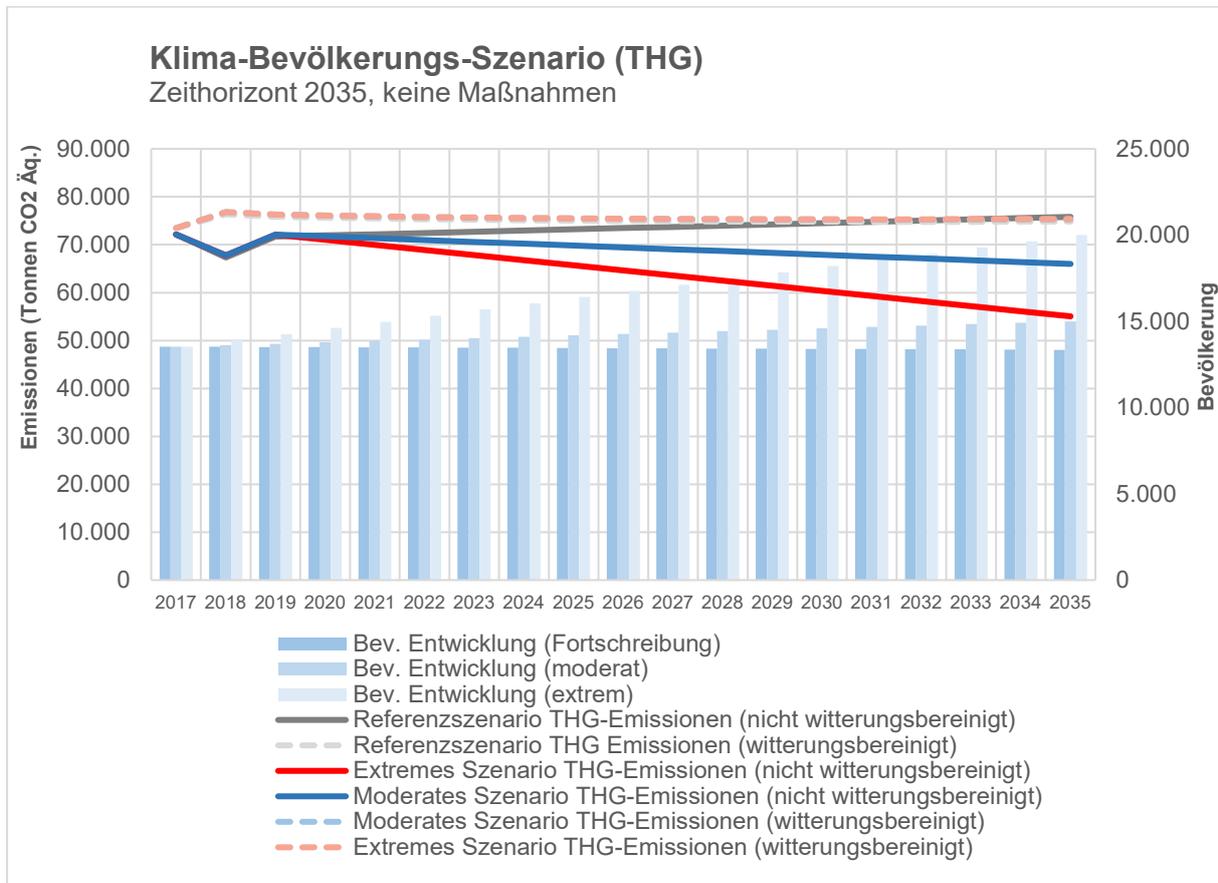


Abbildung 16: Klima-Bevölkerungs-Szenario

Klimaschutz-Szenario

Abbildung 17 (unten) zeigt die Ergebnisse kombinierter THG-Reduktions-Szenarien mit Hinblick auf das Erreichen der Klimaneutralität (Netto-Null) bis 2035 in Denzlingen. Die rote Linie markiert den Pfad der linearen jährlichen Reduktion der THG-Emissionen bis zum Wert Null im Jahr 2035. Die verschiedenfarbigen Linien markieren die jeweiligen jährlichen Reduktionen der THG-Emissionen basierend auf Annahmen eines technisch-wirtschaftlich möglichen Beitrags von deutschen Städten zur Einhaltung des Pariser Abkommens und damit zur weitgehenden Klimaneutralität bis 2035 (siehe Studie des Wuppertal Instituts, Kobiela et al., Oktober 2020).

Die Ergebnisse für das Netto-Null Szenario zeigen das größte Einsparpotenzial beim Energieverbrauch für Wärme. Unter Annahme einer vollständigen Sanierung des Denzlinger Gebäude-Bestands auf Passivhaus-Standard bis 2035, ließe sich rund 85 % des aktuellen Wärmebedarfs einsparen. Dies würde eine jährliche Sanierungsrate von 6% bedeuten (jährlich 148 Gebäude) – weit über dem bundesdeutschen Ziel von 3 %. Der Rest des Wärmebedarfs privater Haushalte (rund 13 MWh pro Jahr) müsste durch erneuerbare Wärme gedeckt werden. Zusammen mit einer vollständigen Umstellung des Wärmebedarfs durch den Wirtschafts-Sektor (aktuell knapp 22 MWh) auf erneuerbare Wärme – allerdings ohne Reduktion des Bedarfs – würden diese beiden Ziele eine THG-Einsparung von insgesamt knapp 24 kt/CO₂ bis 2035 bringen (rund 33 % verglichen mit 2020).





Annahmen

Netto Null

Basierend auf Annahmen des Wuppertal Instituts, Oktober 2020

Strom	10 % Anstieg des Stromverbrauchs durch Sektor-Kopplung und Elektrifizierung bei Wärme-Kälte sowie beim Verkehr. Umstellung auf 100 % erneuerbaren Strom bis 2035 (insbesondere PV und KWK mit Biogas)
Wärme	Reduktion des Wärmebedarfs privater Haushalte um 86 % bis 2035 gegenüber 2017 durch Sanierung des gesamten Denzlinger Gebäudebestands auf Passivhaus-Standard – 6 % Sanierungsrate; Umstellung des restlichen fossilen Wärmebedarfs (privater Haushalte) sowie den Wärmebedarf des Wirtschafts-Sektors auf 100 % erneuerbare Energien.
Verkehr	Reduktion der PKW-Kilometer um 50 % sowie 30 % des LKW-Verkehrs (Verlagerung auf Schienengüterverkehr) bis 2035. Zudem wird eine Effizienzsteigerung von 30 % bis 2035 mit eingerechnet.
Kohlenstoff-Sequestrierung	Die Speicherkapazität entspricht etwa 1 Baum/tCO ₂ auf die gesamte Lebenszeit des Baumes gerechnet oder 80 Bäumen pro Jahr. 1.000 Bäume benötigen etwa 1 ha Waldfläche.

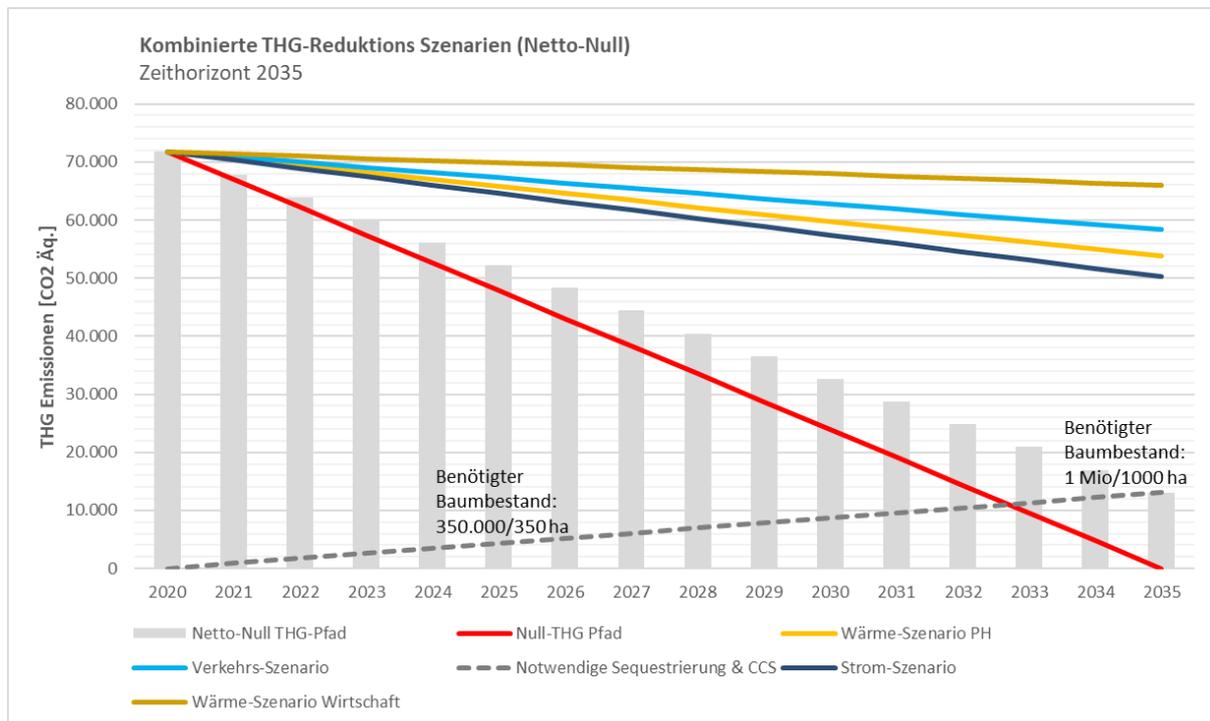


Abbildung 17: Klimaschutz Szenario Netto-Null für Denzlingen





Weiterhin zeigt das Szenario großes Einsparpotenzial beim Strom. Unter der Annahme der vollständigen Umstellung auf erneuerbaren Strom aus PV und anderen Quellen in Denzlingen, könnten die THG-Emissionen bis 2035 um mehr als 20 kt/CO₂ gesenkt werden (um knapp 30 % verglichen mit 2020), obwohl ein leichter Anstieg des Stromverbrauchs bis 2035 mitberücksichtigt ist. Dieser ist einer zunehmenden Elektrifizierung und Sektor-Kopplung geschuldet.

Die Emissionsreduktionen beim Verkehr fallen etwas geringer aus. Insgesamt können die Emissionen hier um rund 13.000 t CO₂-Äq. bis 2035 gesenkt werden: Zum einen durch eine Reduktion von mit fossilen Verbrennungsmotoren gefahrenen Kilometern um 50% (durch Umstieg auf E-Mobilität und Wasserstoff sowie Kombination Carsharing / ÖPNV / Fahrradverkehr bzw. Modal Split) und zum anderen durch Reduzierung bzw. Verlagerung des LKW-Güterverkehrs auf die Schiene um 30 %. Hierfür ist auf einer regionalen Ebene die Prüfung notwendig, wo Engpassbeseitigungen im Schienennetz, Reaktivierung von Gleisanschlüssen und automatisierte Hubs für den kombinierten Güterverkehr möglich bzw. erforderlich sind.

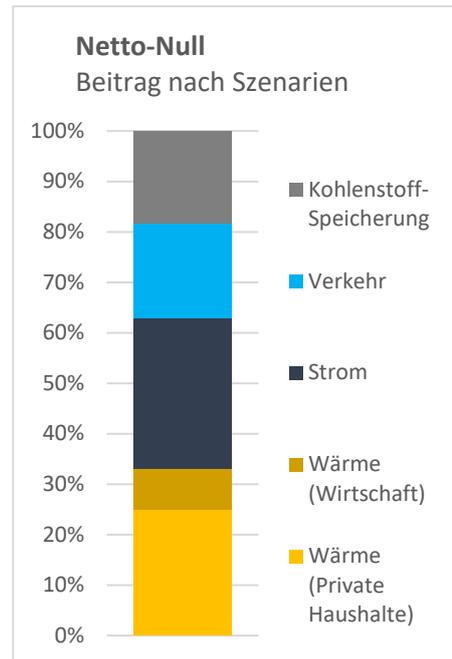


Abbildung 18: Beitrag der Unterschiedlichen Sektoren zum Erreichen des Netto-Null Ziels

Gemäß diesen Annahmen, verbliebe etwa ein jährliches Emissionsniveau von 13.000 t CO₂-Äq./Jahr im Jahr 2035. Für das Erreichen des Netto-Null Ziels müsste dieser Kohlenstoff gespeichert werden – sei es durch Aufforstung und Holzbau, Humusaufbau in der Landwirtschaft oder durch andere (umstrittene) technische Lösungen wie *Carbon Capture & Storage* (CCS). Für die Speicherung des verbliebenen CO₂ von 13.000 t im Jahr 2035, ist ungefähr das Vierfache der heutigen Waldfläche Denzlingens zusätzlich nötig. Durch Humusaufbau auf der gesamten landwirtschaftlichen Fläche Denzlingens (974 ha laut statistischem Landesamt) könnte laut Berechnungsbeispielen von CarboCert (www.carbocert.de/fuer-unsere-landwirte-in-de-und-ch/bodenanalyse) zusätzlich CO₂ in der Größenordnung von insgesamt 130-260 t CO₂ pro Jahr gespeichert werden.

Bezogen auf das Erreichen des Netto-Null Pfads, gibt die folgende Tabelle einen Überblick über einige ausgewählte, dafür notwendige Ziele und Maßnahmen in den einzelnen Sektoren:

SEKTOR	BESCHREIBUNG	WERT	QUELLE
GEBÄUDE	Welche Sanierungsrate ist für Denzlingen notwendig um das Netto-Null Ziel 2035 zu erreichen?	6 % (jährliche Sanierung) des Wohngebäude-Bestands auf Passivhaus-Standard)	Eigene Berechnung, gemäß CO ₂ -Bilanz
ENERGIE	Wie viel Leistungsausbau, bzw. m ² -Zubau beim Solarstrom braucht es	Ca. 3 GWh pro Jahr ab 2021 bis 2035 (entspricht ca. 3.050 m ² Dachfläche pro Jahr)	Eigene Schätzung, basierend auf





	zur (rechnerischen) Deckung des Strombedarfs?		dem Energieatlas BW
ENERGIE	Wie groß ist das Holz-Biomasse-Potenzial in Denzlingen (Fläche)?	Theoretisches gesamtes Heizwertpotenzial: 3.175 MWh (pro Jahr); Brennholz Potenzial: 1.444 MWh (davon bereits genutzt 1.211 MWh); tatsächliches zusätzliches eigenes Potenzial: 233 MWh	Daten der Gemeinde Denzlingen (2012)
ENERGIE	Wieviel Ölheizungen müssen ersetzt werden?	Bis 2035 müssen insgesamt ca. 844 Ölheizungen (56 jährlich) in privaten Haushalten durch klimaschonende Alternativen ersetzt werden	Eigene Schätzung, Gemeinde Denzlingen
VERKEHR	Wieviel Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor müssen pro Jahr abgemeldet oder umgestellt werden auf Elektromobilität (Stromerzeugung durch EE oder Wasserstoff)?	Für das Erreichen des Netto-Null Ziel, müssen in Denzlingen bis 2035 ca. 4.500 PKW mit Verbrennungsmotoren abgemeldet (300 pro Jahr) oder auf elektromobile Antriebsformen umgestellt werden	Eigene Berechnung, Daten der Gemeinde Denzlingen

Weitere Themen: Die Rolle der persönlichen Lebensstile

Für das Erreichen der Klimaneutralität von Denzlingen als Gemeinde ist eine schrittweise Reduktion der Pro-Kopf-CO₂-Emissionen eine notwendige Voraussetzung. Ausgehend vom durchschnittlichen CO₂-Ausstoß pro Kopf in Deutschland entfällt knapp die Hälfte auf die Bereiche Wärme, Strom und Mobilität (siehe Abbildung 20, obere Hälfte der linken Säule). Das sind die Bereiche, die in der CO₂-Bilanz von Denzlingen im BICO2BW-Tool großteils erfasst werden und perspektivisch ggf. gemeindeweit konkret erfasst und über Anreizsysteme gesenkt werden könnten. Dafür kann in Bürgerschaft, Gemeinderat und Verwaltung über die Einführung von neuartigen Instrumenten wie dem CO₂Compass diskutiert werden (siehe <https://co2compass.org/>).

Darüber hinaus sind zwei große Handlungsfelder, die im persönlichen Bereich gut beeinflussbar sind, die Themen Ernährung und Konsum. Diese machen pro Kopf gerechnet etwa ein Drittel der Emissionen aus. Somit bieten sie ein großes Potenzial zur CO₂-Einsparung, auch wenn dies aus methodischen Gründen nicht in die kommunale CO₂-Bilanz mit einfließt.



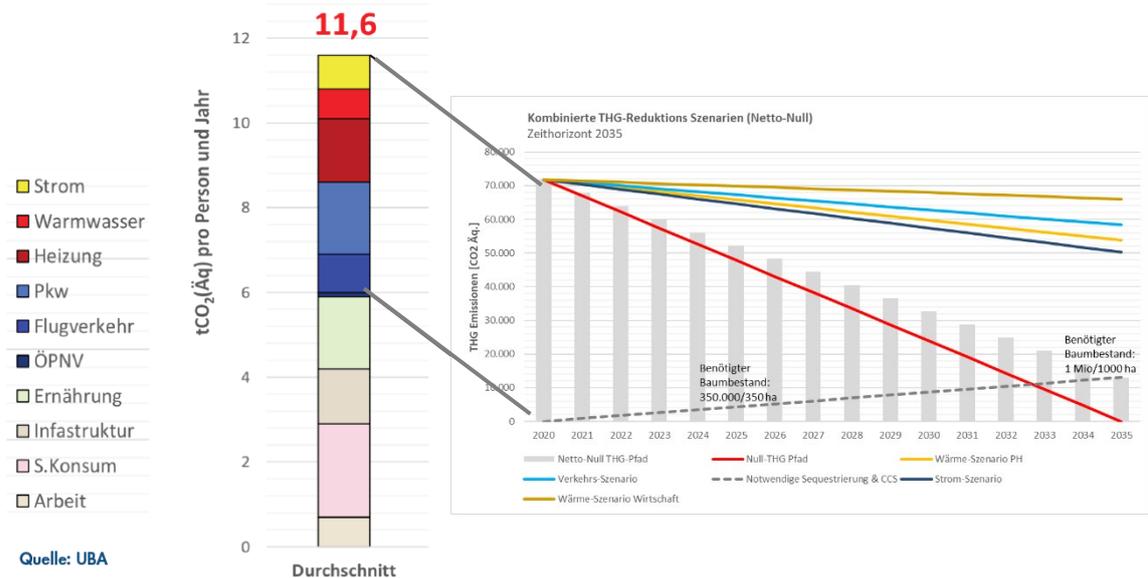


Abbildung 19: Persönlicher CO₂-Ausstoß Deutscher Durchschnitt gem. UBA Rechner ("CO₂-Rechner des Umweltbundesamtes," n.d.). Aufteilung der Sektoren gem. CO₂COMPASS 2020; in Bezug gesetzt zu dem Netto-Null-Szenario für Gesamt-Denzlingen

Weitere Themen: Vorbildfunktion der Verwaltung

Um die Bevölkerung für ambitionierten Klimaschutz zu motivieren, ist ein Voranschreiten der Verwaltung mit positivem Beispiel unabdingbar und es ist eine Glaubwürdigkeit der Bemühungen gegeben. Im Klimaschutzgesetz des Landes Baden-Württemberg wird im § 7 Absatz 1 die Vorbildfunktion der Gemeinden und Gemeindeverbänden hervorgehoben „insbesondere durch Energieeinsparung [...] und Nutzung erneuerbarer Energien“. In § 7 Absatz 4 regelt das Klimaschutzgesetz, dass diese ihre Vorbildfunktion insbesondere bei der Energieeinsparung und Nutzung erneuerbarer Energien in eigener Verantwortung erfüllen und vom Land hierbei unterstützt werden. In einer gesonderten Vereinbarung zwischen Landesregierung und kommunalen Landesverbänden („Klimaschutzpakt“) wird dies konkretisiert: Die kommunalen Landesverbände bekennen sich dort zur Vorbildwirkung der öffentlichen Hand in Punkto Sanierung und effizienter Betriebsweise der kommunalen Gebäude, Nutzung erneuerbarer Energien, energiesparender Computertechnik und Beleuchtung, sowie Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs für Dienstreisen bzw. Dienstwagen mit geringen CO₂-Emissionen/alternativen Antrieben. Die Kommunen können mit einer Unterstützungserklärung bekräftigen, dass sie dazu stehen, ihre Vorbildfunktion als Verwaltung wahrzunehmen und machen deutlich, dass sie ihre Klimaschutzaktivitäten weiter entwickeln möchten. Mit der Unterzeichnung der Unterstützungserklärung setzen sie sich das Ziel, bis zum Jahr 2040 eine weitgehend klimaneutrale Verwaltung zu organisieren, d.h. die Treibhausgasemissionen um 90% zu mindern.

Es wird im Rahmen des Klimaschutzprozesses empfohlen, dass die Gemeinde Denzlingen als Signal des Aufbruchs dem Klimaschutzpakt mit dem Land Baden-Württemberg beitrifft.





Diskussion

Zusammenfassend können die Treibhausgasemissionen der Gemeinde Denzlingen auf drei Sektoren aufgeteilt werden: 30 % Verkehr, 34 % Strom und 36 % Wärme (siehe Abbildung 21). Um den genauen Weg Denzlingens zu Klimaneutralität bis 2035 zu erarbeiten, ist eine vertiefte Analyse für die drei Sektoren mit weiterer fachlicher Begleitung erforderlich.

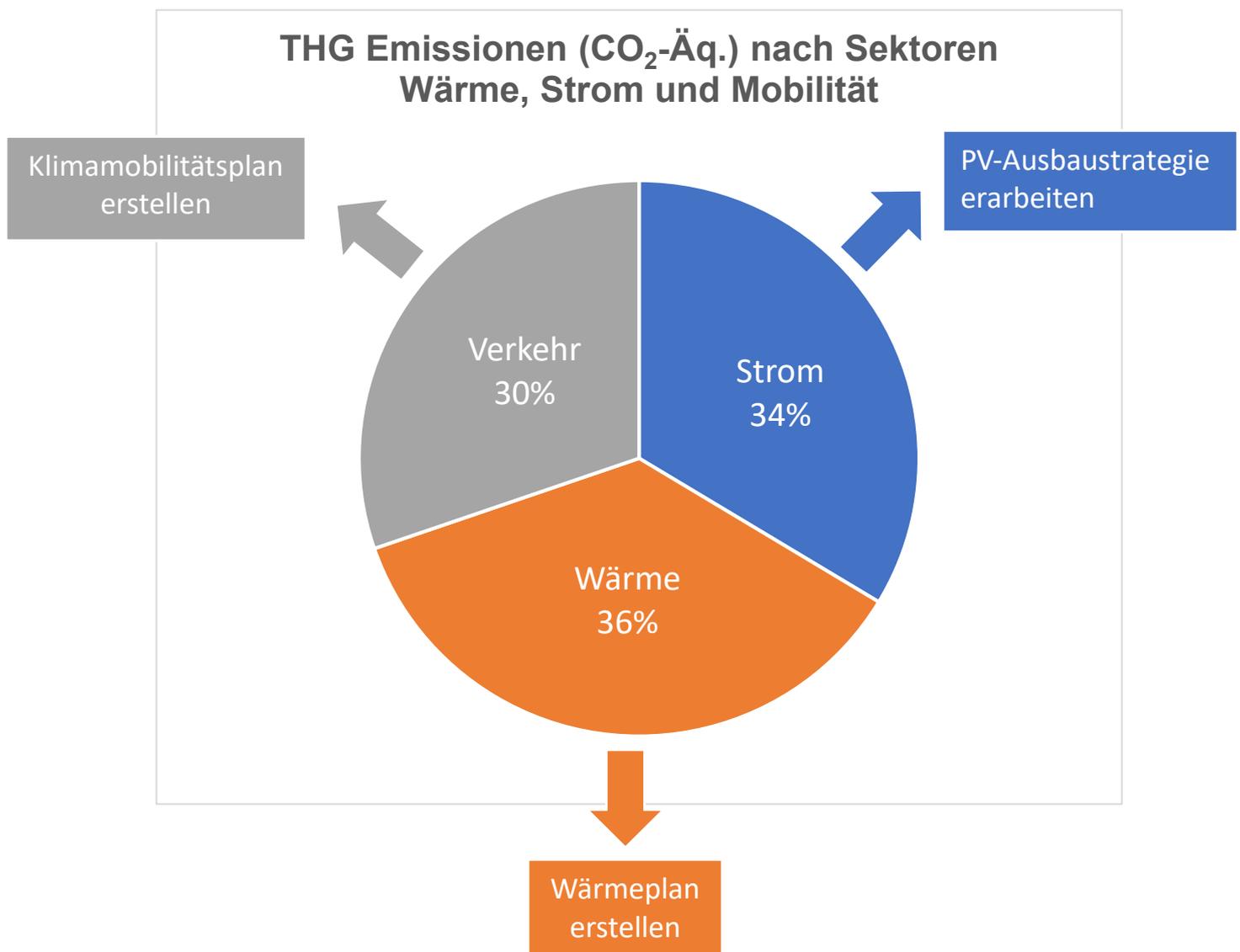


Abbildung 20: Treibhausgasemissionen von Denzlingen (in CO₂-Äq) prozentual aufgeteilt auf die drei Sektoren Verkehr, Strom, Wärme und daraus abgeleitete Arbeitsaufträge für den Prozess der Bürgerbeteiligung



Es bietet sich an, mit Fachbeteiligung und in einem Bürgerbeteiligungsprozess für den Sektor **Verkehr** einen **Klimamobilitätsplan** zu erstellen wie er derzeit vom Verkehrsministerium des Landes Baden-Württemberg gefördert wird. Damit lässt sich u.a. identifizieren, welche investiven Maßnahmen von Gemeinde-seite z.B. in die Radverkehrsinfrastruktur zielführend sind.

Für den Sektor **Strom** ist auszuarbeiten, wie das hohe Solarstrompotenzial ausgeschöpft werden soll. Eine Gegenüberstellung zeigt, dass allein das lokale Solare-Energiepotenzial etwa das 1,5-fache des derzeitigen Strom- und Wärmebedarfs beträgt.

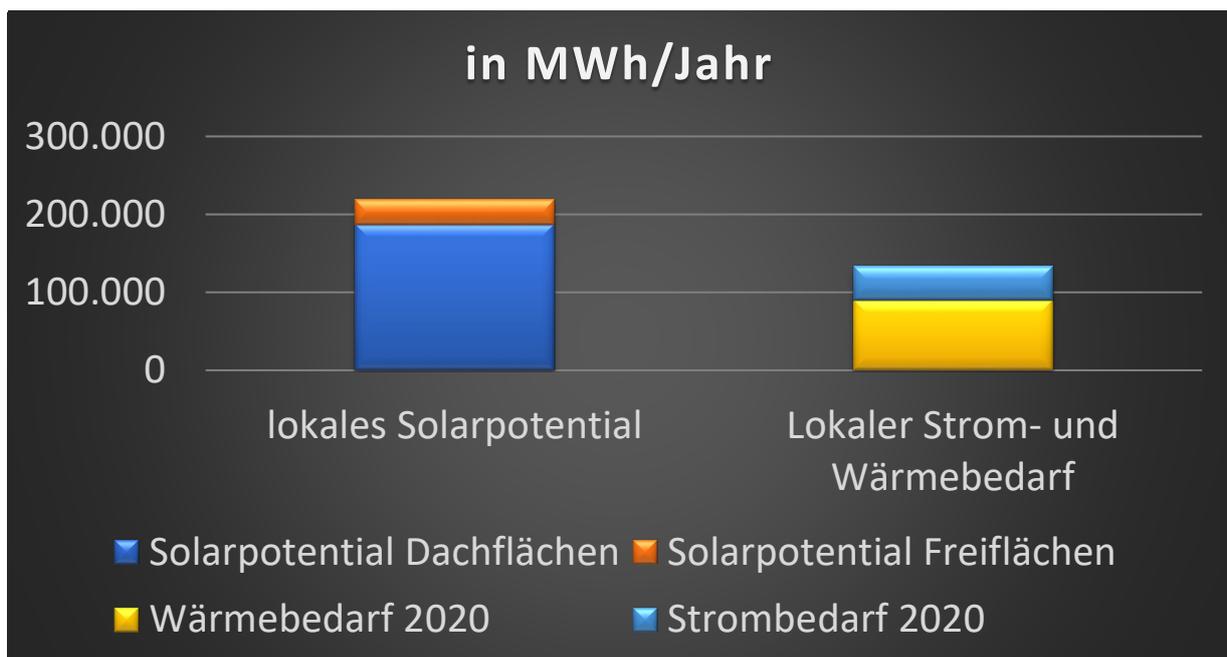


Abbildung 21: Gegenüberstellung des theoretischen Potenzials für Solarstromerzeugung undzeitigem Strom- und Wärmebedarf in Denzlingen

Bei der Erarbeitung einer **PV-Ausbaustrategie** sind Ausbauziele festzuglegen. Zentrale Fragestellungen sind: Soll nur die (rechnerische) Deckung des Strombedarfs das Ziel sein oder soll über innovative Möglichkeiten der Sektorenkopplung (Power-to-Heat oder Power-to-Gas) der lokale Solarstrom zukünftig auch einen Beitrag zur Deckung des Wärmebedarfs leisten? Wie greifen PV-Ausbau und Wärmeplanung ineinander, um Stück für Stück eine Energieautarkie zu erreichen? Die Erarbeitung von PV-Ausbauzielen ist also inhaltlich eng verknüpft mit der Frage, wie die zukünftige klimaneutrale Wärmeversorgung in Denzlingen aussehen soll. Für diese komplexe Fragestellung bietet es sich an, dass unter externer fachlicher Begleitung ein **Wärmeplan** für Denzlingen aufgestellt wird, der die Frage nach den PV-Ausbauzielen mitdenkt und mitbehandelt.

Denn die Ergebnisse des Netto-Null-Szenarios zeigen auf, dass vor allem im Wärmesektor die größte Herausforderung zu erwarten ist. Die Annahme einer Gebäudesanierungsrate von 6 % auf Passivhausstandard ist äußerst ambitioniert. Die kommunalen Handlungsmöglichkeiten hängen hier vor allem von den Rahmenbedingungen auf Landes-, Bundesebene und EU-Ebene ab und erfordern entschlossenes politisches Handeln, wie es z.B. die Organisation



German Zero in ihrem Klimaplan vorschlägt (German Zero, 2020). Einzelbeispiele für erforderliche Maßnahmen sind z.B. eine spürbare CO₂-Bepreisung im Wärmebereich mit entsprechender Lenkungswirkung, neue Arbeitsplätze und Ausbildungsinitiative im Bauhandwerk, massive Erhöhung der Fördermittel zur energetischen Sanierung und Vereinfachung des Abrufs und eine faire Verteilung der Kosten auf Eigentümer, Staat und Mieter (1/3,1/3,1/3).

Experten/-innenstimmen aus dem Bereich Nahwärmenetze (z. B.: Martin Lohrmann, siehe www.wirtschaft-umwelt.de/) weisen auf die Verantwortung von Kommunen hin: Auf kommunaler Ebene ist ein gezieltes strategisches Vorgehen unabdingbar. Die Kommune steht in der Pflicht, mit kommunaler Wärmeplanung den Prozess zu steuern. Für alle Gebäudeeigentümer ist wichtig, möglichst bald zu erfahren, wo Nah-/Fernwärme aus erneuerbaren Energien oder aus größeren Abwärmequellen über Wärmenetze genutzt werden sollen, und wo nicht damit gerechnet werden kann. Eine hohe Anschlussdichte an ein Wärmenetz darf nicht durch eine kommunale Extra-Förderung für die gebäudeindividuelle Heizungsumstellung unterlaufen werden. Im Rahmen einer umfangreicher angelegten Quartiersuntersuchung kann eine Blaupause erstellt werden, die auf weitere Gebiete übertragen werden kann. Diese sollte Antworten auf folgende Grundfragen enthalten:

Wie hoch ist der aktuelle und künftige Wärmebedarf in dem ausgewählten Bebauungsgebiet? Wo liegt ein verdichteter Wärmebedarf vor, welcher ggf. aus einem Wärmenetz befriedigt werden kann, und wo kommen mangels Wärmebedarfsdichte nur Einzelhauslösungen in Frage? Welche Abwärmequellen und erneuerbaren Wärmeenergiequellen stehen mit welchem Energiepotenzial bei Förderung mit heute verfügbarer Technik und akzeptablen Wärmegewinnungskosten lokal zur Verfügung? In welchem Umfang können dementsprechend zahlreiche fossile Einzelhausfeuerungen durch eine neue klimafreundliche Wärmeversorgungsinfrastruktur bzw. Gemeinschaftswärmeversorgung abgelöst werden? In welchem Gebiet verbleibt die Aufgabe der Heizungsumrüstung allein bei den einzelnen Gebäudeeigentümern?

Die Gemeinde Denzlingen sollte diese Fragen frühzeitig klären, damit in den kommenden Jahren in jenen Baugebieten, für die eine Nahwärmeversorgung als beste Option in Frage kommt, notwendige Anschlussdichte rasch erreicht werden kann.

Viele Bürger/-innen von Denzlingen werden dankbar sein, wenn die Gemeinde im Rahmen eines transparenten Untersuchungsprozesses, zeitnah die besten Handlungsmöglichkeiten auslotet.

Gleichzeitig stehen zum aktuellen Zeitpunkt Entscheidungen an, für die die Ergebnisse einer umfangreichen Wärmeplanung nicht abgewartet werden können: Die bestehende Heizzentrale des Rathauses ist aus 1995 und steht zum Ersatz an. In direkter räumlicher Nähe dazu wird das „Areal Ortsmitte / Grüner Baum“ bis Ende 2022 neu entwickelt. Weitere Liegenschaften der Gemeinde Denzlingen und in der nahen Nachbarschaft könnten in diesem Zuge an eine neue Heizzentrale angebunden werden. Ohne dass ein Wärmeplan vorliegt, bietet das Areal Rathaus/Grüner Baum nach allen Vorüberlegungen und auf Basis der bekannten bzw. abgeschätzten Kennwerte sehr gute Chancen für die Errichtung eines Wärmenetzes. Die Leitungslängen im Kernbereich sind vergleichsweise kurz und es findet sich ein Bereich mit hoher Flächennutzungsdichte, so dass auch wirtschaftliche





Voraussetzungen für die Errichtung eines Nahwärmenetzes sprechen. Dieses Netz könnte als Keimzelle für ein weiter verzweigtes Wärmenetz in der Gemeinde fungieren. Das Nahwärmenetz kann aufgrund seiner exponierten Lage unter Einbindung des ortsprägenden Entwicklungsareals und der bedeutsamen kommunalen Liegenschaften zugleich eine Leuchtturmwirkung in der Gemeinde und darüber hinaus im Landkreis entfalten.



The C–Track 50 project has received funding from the European Union’s Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement no. 784974.



ANNEX A: Datenquellen und Literatur

Bevölkerung [WWW Document], n.d. Stat. Bundesamt. URL https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/_inhalt.html (accessed 11.3.20).

BMUB, 2016. Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung 92.

Capros, P., Dimopoulou, E., Evangelopoulou, S., Fotiou, T., Kannavou, M., Siskos, P., Zazias, G., Vos, L.D., Dadkhah, A., Dekelver, G., 2018. Alessia De Vita (E3Modelling), Izabela Kielichowska (Ecofys), Pavla Mandatowa (Tractebel) 62.

CO2-Rechner des Umweltbundesamtes [WWW Document], n.d. URL https://uba.co2-rechner.de/de_DE/ (accessed 11.9.20).

Dachflächen - Energieatlas [WWW Document], n.d. URL <https://www.energieatlas-bw.de/sonne/dachflachen> (accessed 11.3.20).

Energiesparen & Klimaschutz zuhause [WWW Document], n.d. URL <https://www.co2online.de/> (accessed 11.3.20).

German Zero, 2020. Der 1,5-Grad-Klimaplan. 2. Auflage 64.

Gudipudi, R., Rybski, D., Lüdeke, M.K.B., Zhou, B., Liu, Z., Kropp, J.P., 2019. The efficient, the intensive, and the productive: Insights from urban Kaya scaling. Appl. Energy 236, 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.054>

Institut Wohnen und Umwelt (IWU): Tools [WWW Document], n.d. URL <https://www.iwu.de/publikationen/tools/> (accessed 11.3.20).

Kobiela, D.G., Samadi, D.S., Kurwan, J., Tönjes, A., n.d. CO2-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze 113.

Wie viel Kohlendioxid (CO₂) speichert der Wald bzw. ein Baum [WWW Document], 2008. Waldwissen – Wald und CO₂. URL <https://www.wald.de/wie-viel-kohlendioxid-co2-speichert-der-wald-bzw-ein-baum/> (accessed 11.3.20).

Weitere Datenquellen:

- Gemeinde Denzlingen
- IFEU Institut (BICO₂-BW)
- Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
- Landkreis Emmendingen
- Stadtwerke Emmendingen (Netzbetreiber)
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg



Korrekturblatt zum angegebenen Solarstrom Potenzial in der CO₂-Bilanz

Kurze Erläuterung des Hintergrunds: Im vorliegenden Bericht zur CO₂ Bilanz wurde das theoretisch nutzbare Solarenergie Potenzial geschätzt (gemäß der Einstrahlung und der theoretisch verfügbaren Dachflächen, in diesem Fall 979 kWh/m²/pro Jahr gemäß der durchschnittlichen Eignung der Dachflächen (Gesamtfläche ca.: 187.633 m²) und einer globalen Einstrahlung von 1.126 kWh/m²/pro Jahr – Quelle: Energieatlas BW). Dabei haben wir die Einheit Kilowatt Peak (kWp) in all unseren Berechnung zum Solarpotenzial unberücksichtigt gelassen und somit auch wieviel kWp auf einen Quadratmeter passen. Es fehlt also gewissermaßen der Technologie-Faktor, also wieviel Leistung ein PV Modul typischerweise nach heutigem Stand der Technik pro m² (Dachfläche oder Freifläche) produzieren kann (kWp/m²), um z.B. den notwendigen Zubau (in m²) von Solarpanelen auf Dächern zu bestimmen.

Dieser eingeschränkte Untersuchungsrahmen ist zwar im Bericht an einigen Stellen so angedeutet, allerdings teilweise nicht unmissverständlich dargelegt. Aus diesem Grund sind die folgenden Korrekturen notwendig, um sowohl das theoretische Solarpotenzial (gemäß Einstrahlung, Flächen, Eignung), als auch das technisch-umsetzbare Solarstrompotenzial zu bestimmen. Trotzdem möchten wir betonen, dass weitere technische Details (wie z.B. Abstände, Temperaturunterschiede, Einstrahlwinkel etc.), nicht berücksichtigt wurden. Daher sind die korrigierten Zahlen nach wie vor als Schätzungen zu betrachten.

Seitenzahl	Alt	Neu
S.13	Demgegenüber liegt ein theoretisches Solarstrompotenzial auf den Dachflächen (private Haushalte und Gewerbe) in Denzlingen von etwa 187 GWh („Dachflächen - Energieatlas,“ n.d. ergänzt mit eigenen Berechnungen). Abbildung 10 bietet eine Übersicht über die räumliche Verteilung des Dachflächenpotenzials. Diese Karten sind frei zugänglich auf der Webseite des Energieatlas Baden-Württemberg.	Demgegenüber liegt ein theoretisches Solarenergiepotenzial auf den Dachflächen (private Haushalte und Gewerbe) in Denzlingen von etwa 187 GWh/Jahr (unter Berücksichtigung von Einstrahlung und theoretisch verfügbaren Dachflächen „Dachflächen - Energieatlas,“ n.d., ergänzt mit eigenen Berechnungen). Abbildung 10 bietet eine Übersicht über die räumliche Verteilung des Dachflächenpotenzials. Diese Karten sind frei zugänglich auf der Webseite des Energieatlas Baden-Württemberg. Mit Einbeziehung der pro Quadratmeter möglichen Spitzenleistung von PV-Modulen (Kilowatt Peak/Quadratmeter – kWp) ergibt sich ein tatsächliches Solarstrompotenzial auf Dachflächen von 37,5 GWh/Jahr. Weitere technische Details (Neigungswinkel, Temperaturunterschiede, Herstellerdetails) sind nicht berücksichtigt.
S. 13	Weiterhin lässt sich über den Energieatlas ein Potenzial für Freiflächen-Photovoltaik in Höhe von etwa 31 GWh/ Jahr ableiten.	Weiterhin lässt sich über den Energieatlas ein technisch-machbares Potenzial für Freiflächen-Photovoltaik in Höhe von etwa 15,5 GWh/ Jahr ableiten (unter Berücksichtigung von

		theoretisch verfügbaren Flächen, Einstrahlung und dem für Freiflächenanlagen üblichen Flächenverbrauch pro Megawatt Leistung).
S. 14	Die Dachflächenpotenziale und Freiflächenpotenziale für Solarstrom ergeben in der Summe 218 GWh/Jahr. Wenn dieses zur Verfügung stehende Potenzial vollständig zur Erzeugung von Strom durch PV-Module genutzt wird, ließe sich der (rein rechnerische) Anteil von PV am Stromverbrauch der Gemeinde auf ca. 495 % erhöhen!	Die tatsächlichen Dachflächenpotenziale und Freiflächenpotenziale für Solarstrom ergeben in der Summe 52,9 GWh/Jahr. Wenn dieses zur Verfügung stehende Potenzial vollständig zur Erzeugung von Strom durch PV-Module genutzt wird, ließe sich der (rein rechnerische) Anteil von PV am Stromverbrauch der Gemeinde auf ca. 120 % erhöhen!
S. 14	Das geschätzte Gesamtpotenzial (Dächer) für Solarthermie liegt bei 23 GWh/Jahr.	Bei Belegung derselben Dachflächen mit Solarthermie, beläuft sich das geschätzte Gesamtpotenzial (nur Dächer) für Solarthermie auf ca. 93,8 GWh/Jahr – mehr als bei der Photovoltaik, aufgrund des deutlichen höheren Wirkungsgrads bei der Solarthermie (weitere technische Details sind in der Berechnung nicht berücksichtigt.)
S. 22	Ca. 3 GWh pro Jahr ab 2021 bis 2035 (entspricht ca. 3.050 m ² Dachfläche pro Jahr)	Ca. 3,2 GWh pro Jahr ab 2021 bis 2035 (entspricht Zubau von jährlich 12.400 m ² Dachflächen-PV und etwa 12.000 m ² bei der Freifläche). Dabei könnte der erwartete Strombedarf von 48 GWh/Jahr bis 2035 zu 78% von Dachflächen-PV- und zu 22% von Freiflächenanlagen bedient.
S. 26	Für den Sektor Strom ist auszuarbeiten, wie das hohe Solarstrompotenzial ausgeschöpft werden soll. Eine Gegenüberstellung zeigt, dass allein das lokale Solare-Energiepotenzial etwa das 1,5-fache des derzeitigen Strom- und Wärmebedarfs beträgt.	Für die Sektoren Strom und Wärme ist auszuarbeiten, wie das hohe Potenzial ausgeschöpft werden kann. Eine Gegenüberstellung zeigt, dass allein das lokale Solare-Energiepotenzial etwa das 1,2-fache des derzeitigen Strombedarfs beträgt. Bei der Wärme könnten (rein rechnerisch) 90% des derzeitigen Bedarfs mit Solarthermie gedeckt werden. Dabei konkurrieren Solarthermie- und Photovoltaik Lösungen um verfügbare Dachflächen. D.h. mehr Solarthermie, bedeutet weniger Platz für Photovoltaik. <i>Kommentar: (Graphik darunter muss ebenfalls angepasst werden – (at)</i>

		<p><i>Diana Sträuber. Außerdem zeigt die derzeitige Abbildung nur das PV Potenzial, vergleicht dies aber mit dem Strom- <u>und</u> Wärmebedarf der Stadt. Das kann man so nicht machen denke ich. Beim Ändern, bitte darauf achten, das PV und Solarthermie Potenzial nicht zu addieren. Das Solarthermie, lässt sich nur anstatt dem PV Potenzials umsetzen – bzw. auch eine Mischung aus beidem).</i></p>

Zusätzliche Quellen – das Solarenergie-Potenzial betreffend:

Bundesnetzagentur (2016): Flächeninanspruchnahme für Freiflächenanlagen nach § 36 Freiflächenausschreibungsverordnung (FFAV) Stand: Dezember 2016

Ess Kempfle. Energieservice Schwaben: Link: <https://www.ess-kempfle.de/ratgeber/ertrag-photovoltaik-solaranlage/>

Solar Red. Solaranlagen für Freiflächen. Link: <https://solar.red/solaranlagen-freiflaechen/>

Neergieagentur NRW: Link: <https://www.energieagentur.nrw/blogs/erneuerbare/faq/eine-pv-freiflaechenanlage-mit-einer-leistung-von-750-kwp-kann-in-etwa-600-000-bis-800-000-kilowattstunden-strom-im-jahr-produzieren-dies-entspricht-einem-strombedarf-von-ca-200-2/>

EchtSolar: Link: <https://echtsolar.de/photovoltaik-leistung/#t-1616089413452>

Solaranlagen ABC. Link: <https://www.solaranlagen-abc.de/solaranlagen-fuer-freiflaechen/>

Solarthermie.Net. Link: <https://www.solarthermie.net/wirtschaftlichkeit/ertrag>