

KLIMASTRATEGIE STADT VELBERT LEISTUNGSBAUSTEIN 2: POTENZIALANALYSE

Hamburg, 13.06.2023

Marleen Greenberg, Jana Kapfer, Felix Landsberg, Robert Werner

INHALT

1.	Einleitung und Herangehensweise	6
2.	Zusammenfassung	8
3.	Potenziale je Handlungsfeld	11
3.1.	Handlungsfeld Strom	11
3.1.1.	Photovoltaik	14
3.1.1.1.	Dachflächen	14
3.1.1.2.	Parkplätze	15
3.1.1.3.	Freiflächen	16
3.1.2.	Windkraft	19
3.1.3.	Biomasse	21
3.1.4.	Geothermische Stromerzeugung	22
3.1.5.	Effizienz	22
3.1.6.	Zusammenfassung der Potenziale	26
3.2.	Handlungsfeld Wärme	27
3.2.1.	Suffizienz	31
3.2.2.	Neubau	31
3.2.3.	Sanierung	33
3.2.4.	Erzeugung	35
3.2.5.	Zusammenfassung der Potenziale	48
3.3.	Handlungsfeld Verkehr	49
3.3.1.	Verkehrsvermeidung	50
3.3.2.	Fußverkehr	50
3.3.3.	Fahrradverkehr	51
3.3.4.	Öffentlicher Personenverkehr	52
3.3.5.	Motorisierter Individualverkehr	54
3.3.6.	Zusammenfassung der Potenziale	55
3.4.	Handlungsfeld Wirtschaft	56
3.4.1.	Strom	57
3.4.2.	Wärme & Gebäude	57
3.4.3.	Mobilität	58
3.4.4.	Beschaffung	59
3.4.5.	Unternehmenskultur und -organisation	59
3.4.6.	Zusammenfassung der Potenziale	59

3.5.	Handlungsfeld Landnutzung & Ernährung	61
3.5.1.	Landwirtschaft	61
3.5.2.	Landnutzung und Landnutzungsänderung	63
3.5.3.	Forstwirtschaft	64
3.5.4.	Ernährung	66
3.5.5.	Zusammenfassung der Potenziale	67
	Literatur	68

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Ermittlung des umsetzbaren Potenzials (eigene Abbildung)	6
Abbildung 2: Verteilung des Stromverbrauchs im Jahr 2018 (Quelle: THGB 2018)	11
Abbildung 3: Stationärer Endenergieverbrauch der Stadt nach Energieträgern im Jahr 2018 (Quelle: THGB 2018); *Andere beinhaltet Solarthermie (0,1 %), Steinkohle (0,1 %), und Umweltwärme (< 0,1 %).....	12
Abbildung 4: Entwicklung der installierten PV-Leistung (eigene Darstellung). Wert für 2022 ist vorläufig.	14
Abbildung 5: PV-Potenzial der jeweils 20 größten Parkplatzflächen (eigene Darstellung).....	16
Abbildung 6: PV-Freiflächenpotenzial in Velbert (Gelb hinterlegt) auf der Basis einer Vorarbeit von enedi, Daten aus dem NRW Potenzialkataster und dem Erlass des Landes NRW zum beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien.	17
Abbildung 7: Standorte der aktuellen WEA in Velbert. Anmerkung: Bei dem Cluster der drei WEA im Osten von Velbert befindet sich lediglich eine der WEA innerhalb der Stadtgrenze von Velbert. Die anderen beiden liegen auf dem Gebiet der angrenzenden Stadt Hattingen. (Quelle: Energieatlas NRW, Stand 12.04.2023).	19
Abbildung 8: Kartenausschnitt der untersuchten Einzelflächen für WEA auf der Basis der bereits durchgeführten Potenzialanalyse Windenergie für Velbert (eigene Darstellung).....	20
Abbildung 9: Entwicklung der Erneuerbare Energien (Quelle: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021).	22
Abbildung 10: Szenarien zur Entwicklung des Energiebedarfs von Geräten und Prozessen in Privathaushalten und GHD (Quelle: BDI 2018).....	24
Abbildung 11: Verteilung der Wärmebereitstellung in 2018 (eigene Darstellung auf Basis des Klimaschutzplaners, Velbert 2018),	27
Abbildung 12: Spezifischer Endenergieverbrauch Raumwärme je m ² Wohnfläche, (temperaturbereinigt) (Quelle: eigene Darstellung auf Basis von BMWK 2021).	28
Abbildung 13: Absoluter Endenergieverbrauch Raumwärme und Warmwasser (eigene Darstellung auf Basis von BMWK 2021).....	29
Abbildung 14: Verteilung der Wohnungen nach Gebäudetyp (eigene Darstellung auf Basis von Landesamt für Statistik Nordrhein-Westfalen 2011).	30
Abbildung 15: Verteilung der Wohnungen nach Baujahr (eigene Darstellung auf Basis von Statistisches Landesamt Nordrhein-Westfalen 2011).	30
Abbildung 16: Relativer Einfluss der Sanierungsraten auf den Nutzwärmebedarf (eigene Darstellung).	35
Abbildung 17: Karte der Wärmedichten und potenziellen Wärmenetzgebiete in Velbert-Mitte (Quellen: Hintergrundbild: Pan-European Thermal Atlas 5.2 (arcgis.com)).....	37
Abbildung 18: Karte der Wärmedichten in Velbert-Nevigens und Velbert-Langenberg (Quellen: Hintergrundbild: Pan-European Thermal Atlas 5.2 (arcgis.com)).....	37
Abbildung 19: Solare Nachbarschafts-Gewächshäuser (Quelle: Hamburg Institut).....	39

Abbildung 20: Karte der Wärmedichten und potenziellen Wärmenetzgebiete in Velbert-Mitte (dunkelrot) zusammen mit den Potenzialflächen für PV-Freiflächenanlagen, die ebenfalls für Solarthermie genutzt werden können (gelb).	40
Abbildung 21: Priorisierung der Einsatzbereiche grünen Wasserstoffs (Quelle: Liebreich Associates 2022). 42	42
Abbildung 22: Vergleich des erneuerbaren Strombedarfs für verschiedene Technologien für die dezentrale Gebäudewärme (Quelle: Gerhardt et al. 2020).	42
Abbildung 23: Verteilung des Heizwärmebedarfs über die Außentemperatur (Quelle: Günther et al. 2020). 45	45
Abbildung 24: Modal Split des Verkehrsaufkommens in Wegen (eigene Darstellung nach Verkehrsbefragung SrV (2013) und Mobilität in Deutschland (2017)).	49
Abbildung 25: Veränderung des Modal Split der Wege (in Prozent) in Velbert von 2013 bis 2045 (Eigene Darstellung).	56

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Zusammenfassung des geschätzten technischen Potenzials im Bereich der Photovoltaik.	18
Tabelle 2: Zusammenfassung des geschätzten technischen Potenzials im Bereich der Windenergie.	21
Tabelle 3: Jährliches Einsparpotenzial je Sektor (bezogen auf 2015).....	25
Tabelle 4: Zusammenfassung der Effizienzpotenziale relativ zum Jahr 2018 bis 2045 der Sektoren Private Haushalte, und GHD in Velbert.	25
Tabelle 5: Dienstleistungs- und Beratungsangebote zur Beschleunigung der Marktdiffusion effizienter Technologien laut BfEE (2020).....	25
Tabelle 6: Zusammenfassung der technischen Potenziale im Handlungsfeld Strom für Velbert.....	26
Tabelle 7: Zusammenfassung der Effizienzpotenziale relativ zum Jahr 2018 bis 2045 der Sektoren Private Haushalte, und GHD in Velbert.	26
Tabelle 8: Auswirkung des Neubaus auf den Wärmebedarf bis 2045.....	33
Tabelle 9: Zusammenfassung von Sanierungseffekten in privaten Haushalten und Gewerbe von 2023 bis 2045	34
Tabelle 10: Biomassepotenzial für die Wärmeversorgung für das Jahr 2045 in den Sektoren Private Haushalte, und GHD in Velbert.	44
Tabelle 11: Mittlere Einbauraten für Wärmepumpen im Sektor Private Haushalte, und GHD von 2023 bis 2045.	47
Tabelle 12: Zusammenfassung der mittleren Sanierungsquote sowie der Einbaurate für Wärmepumpen und Biomasse im Sektor Private Haushalte und GHD für die Jahre 2023 bis 2045.	48
Tabelle 13: Potenzial des Fußverkehrs für Velbert dargestellt anhand des Modal Splits der Wege.....	51
Tabelle 14: Potenzial des Fahrradverkehrs für Velbert dargestellt anhand des Modal Splits der Wege.....	52
Tabelle 15: Potenzial des ÖPNVs für Velbert dargestellt anhand des Modal Splits der Wege.	54
Tabelle 16: Potenzial des motorisierten Individualverkehrs für Velbert dargestellt anhand des Modal Splits der Wege.....	55

1. EINLEITUNG UND HERANGEHENSWEISE

Die vorliegende Potenzialanalyse bildet den zweiten Leistungsbaustein der Ausarbeitung der Klimastrategie für die Stadt Velbert, mit dessen Erstellung das Hamburg Institut im November 2022 beauftragt wurde. Die Kenntnis der Potenziale zur Reduktion von Treibhausgasemissionen (THG) ist die zentrale Voraussetzung für die Entwicklung der Fortschreibung des Maßnahmenkatalogs, der schlussendlich als Handlungsleitfaden für die jeweiligen Akteur:innen der Stadt Velbert dienen soll.

Die vorliegende Potenzialanalyse beleuchtet den Erfolg bisheriger Klimaschutzmaßnahmen und bringt neue Erkenntnisse zu aktuellen technologischen, rechtlichen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen ein.

Die Klimabilanz von Kommunen wird maßgeblich von übergeordneten Rahmenbedingungen auf Bundes-, Landes- und Landkreisebene bestimmt, weshalb der Fokus dieser Potenzialanalyse auf den **Handlungsspielraum der Stadt Velbert** und seiner Bürger:innen sowie der Unternehmer:innen abstellt.

Die Ergebnisse einer Potenzialanalyse hängen stark von der jeweils zugrunde liegenden Definition dieses weiten Begriffes ab. In der unten abgebildeten Grafik strukturieren wir diesen Begriff. Für Kommunen sind die jeweils rot gefärbten Bereiche, nämlich das **umsetzbare** und das **realistische** Potenzial von zentraler Bedeutung, wenn es um Maßnahmen geht, mit deren Umsetzung unverzüglich begonnen werden soll. In dieser Potenzialanalyse wird anhand der technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Hemmnisse ein für Velbert möglichst realistisches, **aktuell umsetzbares Potenzial** ermittelt (siehe Abbildung 1).

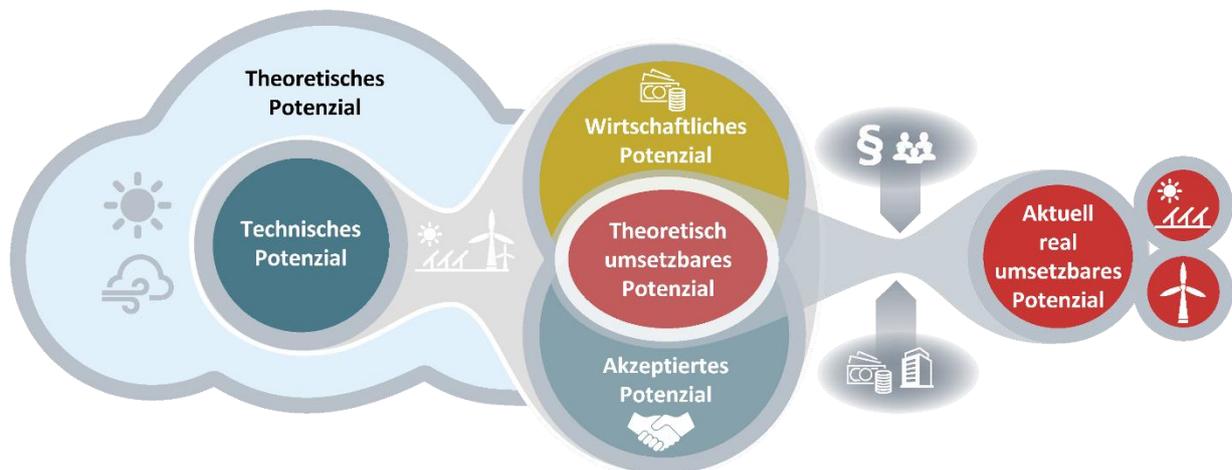


Abbildung 1: Ermittlung des umsetzbaren Potenzials (eigene Abbildung)

Wir geben Hinweise auf Maßnahmen, die das theoretisch umsetzbare Potenzial in tatsächlich umsetzbares überführen können.

Entscheidend für den Umgang mit Potenzialen ist der Ansatz, dass die **Potenziale laufend neu ermittelt werden müssen**, um die Dynamik bei technischem und regulatorischem Fortschritt zu nutzen. Insofern sollte sich Velbert eine z.B. jährliche Überprüfung der Potenziale vornehmen.

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurden **fünf Handlungsfelder** definiert: Strom, Wärme, Verkehr, Wirtschaft sowie Landnutzung und Ernährung. Diese Handlungsfelder wurden nach einem praxisorientierten Ansatz entwickelt, der hauptsächlich eine thematische Einteilung vornimmt, mit dem Handlungsfeld Wirtschaft jedoch auch eine akteursbezogene Komponente einbringt. Dieses Vorgehen ermöglichte in erster Linie eine einfache Umsetzung der Stakeholderbeteiligung.

In dieser Ausarbeitung werden die identifizierten Klimaschutzpotenziale vorgestellt und aus fachlicher Sicht bewertet. Eine zusätzliche Basis für die Potenzialanalyse stellten diverse aktuelle Daten zu den einzelnen Handlungsfeldern dar sowie die Erfahrungen aus der Umsetzung des Integrierten Energie- und Klimakonzeptes aus dem Jahr 2015.

Im Folgenden werden die identifizierten Potenziale in den fünf Handlungsfeldern erläutert und wenn möglich quantifiziert.

Mit den Potenzialen wird im Anschluss ein Szenario ermittelt, das prüft, in welchem Jahr ein Erreichen von Klimaneutralität möglich erscheint. Daraus ergeben sich Hinweise, an welchen Stellen das bisher nur theoretisch umsetzbare Potenzial aktiver in ein realistisches Umsetzungspotenzial überführt werden kann. Darauf aufbauend lassen sich Zieldefinitionen formulieren.

Entscheidend für den Erfolg ist die Ableitung und Definition von konkreten Maßnahmen. Dies umfasst insbesondere auch die längerfristigen Maßnahmen, die umgehend begonnen bzw. eingeleitet werden müssen, um innerhalb des Zielkorridors klimawirksam zu sein.

2. ZUSAMMENFASSUNG

Welche wesentlichen Potenziale im Hinblick auf die angestrebte Klimaneutralität bieten die fünf **Handlungsfelder Strom, Wärme, Wirtschaft, Mobilität und Landwirtschaft/Ernährung** in Velbert? Die wichtigsten Erkenntnisse sind hier zusammenfassend aufgelistet – ausführlich beschrieben und hergeleitet werden sie in den nachfolgenden Kapiteln.

Im Handlungsfeld Strom liegt insbesondere im konsequenten Zubau der PV hohes Potenzial für Velbert. Dieses gilt es zu realisieren, um dem enormen Anstieg des Stromverbrauchs gerecht zu werden.

- Für das Jahr 2045 ergibt sich für eine Erzeugung erneuerbarer Energien auf dem Stadtgebiet ein **gesamtes technisches Potenzial von einer installierten Leistung von 586,5 MW** mit einem Stromertrag von 560 GWh pro Jahr.
- Das höchste Potenzial steckt in einem **konsequenten Zubau der PV** mit 278 MW auf Dachflächen, bis zu 264 MW auf Freiflächen, und bis zu 27 MW durch die PV-Überdachung von Parkplätzen.
- Das zweithöchste Ausbaupotenzial bei der Stromerzeugung liefert mit 15 MW bzw. 27 GWh/a der Neubau von **Windenergieanlagen**.
- Das technische Potenzial für **Agri-PV** lässt sich derzeit noch nicht genau ermitteln, weshalb die Rahmenbedingungen zur Technik und Förderung von Agri-PV fortlaufend geprüft werden sollten.

Im Handlungsfeld Wärme stellt die Umstellung der Energieträger bei Heizanlagen im Bestand (dezentral, Einsatz von Wärmepumpen) das Potenzial mit dem größten Hebel für Velbert dar.

- Das Reduktionspotenzial durch **Sanierung** ist durch die Kapazitätsgrenzen des Baugewerbes begrenzt. Insofern liegt das größte Potenzial in der Wärmeversorgung in der Kombination von Teil-Sanierungen als begleitende Maßnahme und der gleichzeitigen Umstellung auf **Wärmepumpen**. Eine möglichst rasch wirksame Reduktion der THG-Emissionen lässt sich durch den Austausch von Ölheizungen durch Wärmepumpen erzielen. Parallel dazu erfolgt der sukzessive Austausch von Erdgasheizungen zum technischen Lebensende (in der Regel 20 Jahre).
- Das Potenzial für den **Neubau von Wärmenetzen** scheint nach ersten Analysen in Velbert nur in Teilgebieten umsetzbar. Wo sie möglich sein könnten, würden sie ebenfalls vor dem Hintergrund der Klimaneutralität 2045 überwiegend von Wärmepumpen gespeist werden. Abwärmequellen sowie potenzielle Solarthermie-Freiflächen sind in der näheren Umgebung verfügbar und sind nähergehend zu prüfen hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit.
- Der für diesen Entwurf der Potenzialanalyse verwendete Ansatz für die Potenzialberechnung setzt eine **mittlere Sanierungsrate**¹ von **1,5 % pro Jahr** für die Jahre 2023 bis 2030 bzw. von 1,75 % für die Jahre 2031 bis 2045 als machbar an. Als **Einbauraten für Wärmepumpen** werden jährlich 4 % für die Jahre 2023 bis 2033 (u. A. ein vorzeitiger Austausch von Ölheizung) bzw. jährlich 3 % für die Jahre 2034 bis 2045 angesetzt.

¹ Sanierungsrate angegeben in Vollsanierungsäquivalenten. Teilsanierungen werden summiert und in Vollsanierungen der thermischen Gebäudehülle ausgewiesen nach dena, 2017.

Im **Handlungsfeld Verkehr** versprechen der Umstieg auf den Umweltverbund, insbesondere den Fahrradverkehr, sowie der Wechsel vom Verbrennermotor auf batterieelektrische Fahrzeuge die größten Effekte.

- Der Umstieg vom **motorisierten Individualverkehr** (MIV) auf den Umweltverbund (Fuß, Fahrrad, ÖV) hat Vorrang. Es besteht hier das Potenzial zur Steigerung von **Fahrrad- und Fußverkehr** durch Bereitstellung attraktiver Infrastruktur. Aspekte der Aufenthaltsqualität und Verkehrssicherheit sind für diesen Bereich zentrale Erfolgsfaktoren. Auf die Steigerung des Fahrradverkehrs sollte in Velbert das Hauptaugenmerk gerichtet werden.
- Für weitere Strecken (insbesondere Pendlerstrecken in die umliegenden Großstädte) steht der Umstieg auf den **öffentlichen Personenverkehr** im Vordergrund.
- Ist eine Verlagerung des MIV auf den Umweltverbund nicht möglich, gilt es, vom Verbrennermotor auf **batterieelektrische Fahrzeuge** (BEV) zu wechseln. Mit höheren Effizienzen sorgen BEV für einen Rückgang des Energiebedarfs und eine Emissionsreduktion. Analog zu deutschlandweiten Szenarien wird für Velbert eine Verteilung auf die unterschiedlichen Antriebsarten angesetzt.
- Das Potenzial einer **Veränderung des Modal Split der Wege** im Jahr 2045 im Vergleich zu 2013 wird für Velbert folgendermaßen eingeschätzt: 37 % MIV (2013: 63 %), 15 % ÖPNV (2013: 10 %), 18 % Fahrradverkehr (2013: 2 %) sowie 29 % Fußverkehr (2013: 24 %).
- Wir empfehlen, das Handlungsfeld Verkehr nicht nur am Maßstab der kommunalen Klimabilanz zu orientieren (hier wäre ein mit Ökostrom fahrender PKW nahezu klimaneutral für die Kommune), sondern auch mithilfe von zusätzlichen **Kriterien der Nachhaltigkeit und städtischen Lebensqualität** (Lärm, Feinstaub, erhöhte Platzbedarfe für den MIV etc.) zu bewerten.

Die **größten Potenziale im Handlungsfeld Wirtschaft** lassen sich in den Bereichen **Strom, Wärme und Mobilität** heben. **Nicht zu unterschätzen ist die Rolle der Unternehmen als Multiplikatoren.**

- Mit einer **Eigenerzeugung von PV-Strom** können Unternehmen wesentlich zum Erreichen des Velberter Klimaziels beitragen. Auch **Energieeffizienzmaßnahmen** bieten ein Klimaschutzpotenzial.
- Der Umstieg auf **erneuerbare Wärmeversorgung** ist auch im Bereich Wirtschaft ein wesentliches Potenzial auf dem Weg zur Klimaneutralität. In den Gewerbegebieten sollte das Potenzial von Wärmenetzen genauer untersucht werden.
- Im Bereich **Mobilität** können Unternehmen ihre Logistik klimafreundlich ausrichten, sowie ihren eigenen Fuhrpark bspw. auf Lastenräder und E-PKW umstellen und die Mitarbeitenden zu klimafreundlicher Mobilität motivieren, indem entsprechende Infrastruktur (Fahrradstellplätze, Ladesäulen) bereitgestellt wird.
- Eine **klimafreundliche Beschaffung** wirkt sich nicht auf die Velberter Klimabilanz aus, jedoch auf die Klimabilanz der Unternehmen. Mit entsprechenden Leitlinien kann eine Orientierung für den Einkauf von bspw. kreislauffähigen Materialien geschaffen werden.
- Eine wichtige Rolle können Unternehmen auch in ihrer Rolle als **Multiplikatoren** und Kooperationspartner spielen, in welcher sie Mitarbeitende und Geschäftspartner zu klimafreundlichem Verhalten motivieren.

Im **Handlungsfeld Landnutzung und Ernährung** bestehen Potenziale vor allem im Bereich der **Kohlenstoffsenken durch die Herstellung von Pflanzenkohle und durch eine klimafreundliche Ernährung, sowie die Reduktion der Lebensmittelverschwendung.**

- In der **Landwirtschaft** hat üblicherweise ein Rückgang der Tierbestände den größten Einfluss auf die THG-Emissionen. Der Anteil der Nutztierbestände ist in Velbert jedoch aktuell bereits gering. Weitere Potenziale im Bereich der Landwirtschaft können durch eine Erhöhung des Anteils von Ökolandbau und den Einsatz von Agroforstsystemen realisiert werden. Agroforstsysteme kombinieren die Anlage von Gehölzen mit Ackerkulturen oder Tierhaltung.
- Ein hohes Potenzial im Bereich **Landnutzung und Landnutzungsänderung** stellt üblicherweise die Wiedervernässung von trockengelegten Mooren dar. Aufgrund der fehlenden Moorflächen ist dieses Potenzial auf dem Velberter Stadtgebiet jedoch nicht vorhanden. In Velbert ist dafür die **Aufforstung** sowie die Vermeidung zusätzlicher Flächenversiegelung (durch Siedlungs- und Infrastrukturbau) zum Erhalt von Bodenkohlenstoff zentral.
- Um den Erhalt von Waldflächen, extensive Bewirtschaftung und ggf. Waldumbau hin zu resilienter Struktur geht es in der **Forstwirtschaft**. Zudem ist die Herstellung von Pflanzenkohle als Kohlenstoffsenke ein weiteres Potenzial, für die ggf. eine Nutzung von Grünschnitt der Stadt/des Landkreises infrage kommt.
- Die Hauptpotenziale in der **Ernährung** liegen in einer stärker pflanzenbasierten Ernährungsweise und in einer **Reduktion der Lebensmittelverschwendung**. Zudem sorgen eine saisonale, regionale, ökologische sowie verpackungsreduzierte Ernährung für Emissionseinsparungen.

3. POTENZIALE JE HANDLUNGSFELD

Im Folgenden werden die Potenziale der Handlungsfelder Strom, Wärme, Verkehr, Wirtschaft sowie Landnutzung und Ernährung in Bezug auf die Stadt Velbert analysiert und nach Möglichkeit konkret quantifiziert.

3.1. Handlungsfeld Strom

Laut der Treibhausgasbilanz 2018 wurde in der Stadt Velbert im entsprechenden Jahr 1.698 GWh Strom verbraucht. In Abbildung 2 ist dargestellt, wie sich der Strombedarf auf die unterschiedlichen Sektoren verteilt.

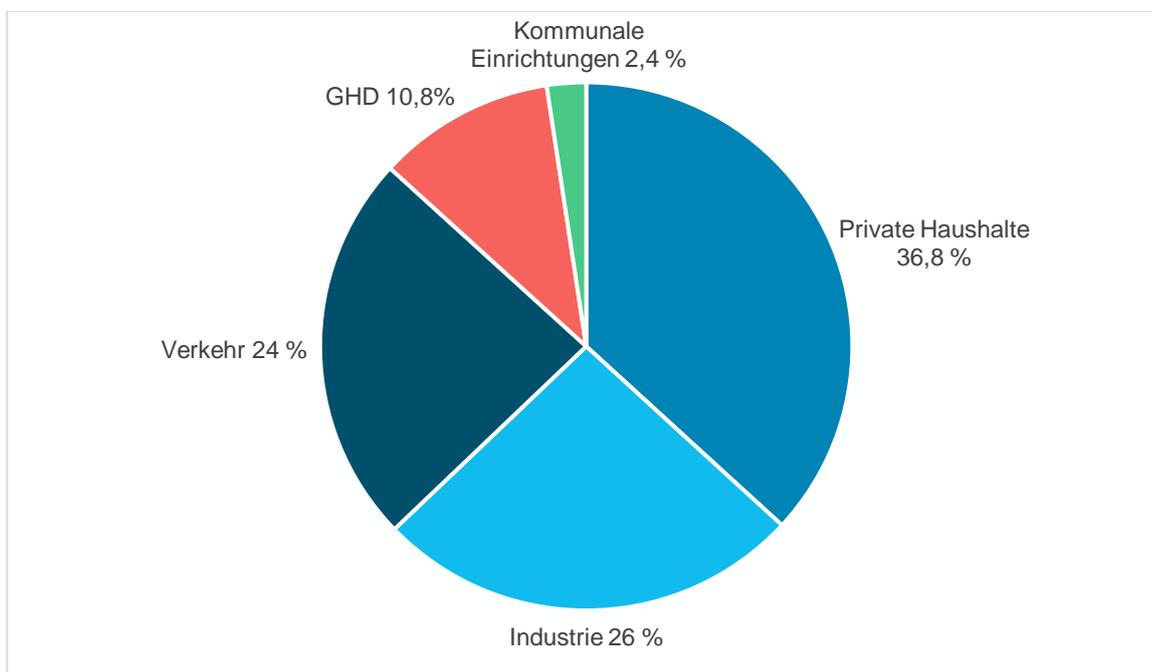


Abbildung 2: Verteilung des Stromverbrauchs im Jahr 2018 (Quelle: THGB 2018)

Es zeigt sich, dass 36,8 % des Stroms von Haushalten verbraucht werden, gefolgt von der Industrie und dem Verkehrssektor, die zusammen die Hälfte des gesamten Stromverbrauchs ausmachen (je 26 % und 24 %). Der verbleibende Teil entfällt auf den GHD-Sektor (Gewerbe, Handel und Dienstleistungen) (10,8 %), und die kommunalen Einrichtungen der Stadt Velbert (2,4 %).

Im Jahr 2018 wurden lediglich 2,2 % des stationären Stromverbrauchs² in Velbert durch erneuerbare Energien auf dem Stadtgebiet gedeckt. Der größere Anteil der lokalen Stromerzeugung (6.130 MWh = 1,3 % des Gesamtbedarfs) geht auf Windenergieanlagen (WEA) zurück. Der restliche Anteil stammt von Photovoltaik (PV) mit 3.989 MWh (0,9 %). Der auf dem Stadtgebiet produzierte Strom ist seit 2013 nur geringfügig gestiegen (2 % des Gesamtverbrauchs) (vgl. Integriertes Energie- und Klimakonzept 2015). Die vorläufigen Bilanzen für das Jahr 2022 zeigen allerdings, dass innerhalb der Photovoltaik ein gravierender Anteil dazugekommen ist und sich derzeit bei ca. 6.141 MWh befindet. Der positive Trend im PV-Zubau zeichnet sich auch im laufenden Jahr 2023 ab.

² Der stationäre Stromverbrauch beinhaltet die Energieverbräuche der Sektoren Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), Private Haushalte, Kommunale Einrichtungen, und Industrie (vgl. THGB 2018)

In Abbildung 3 ist der stationäre Endenergieverbrauch Velberts nach Energieträgern aufgeschlüsselt (vgl. THGB 2018).

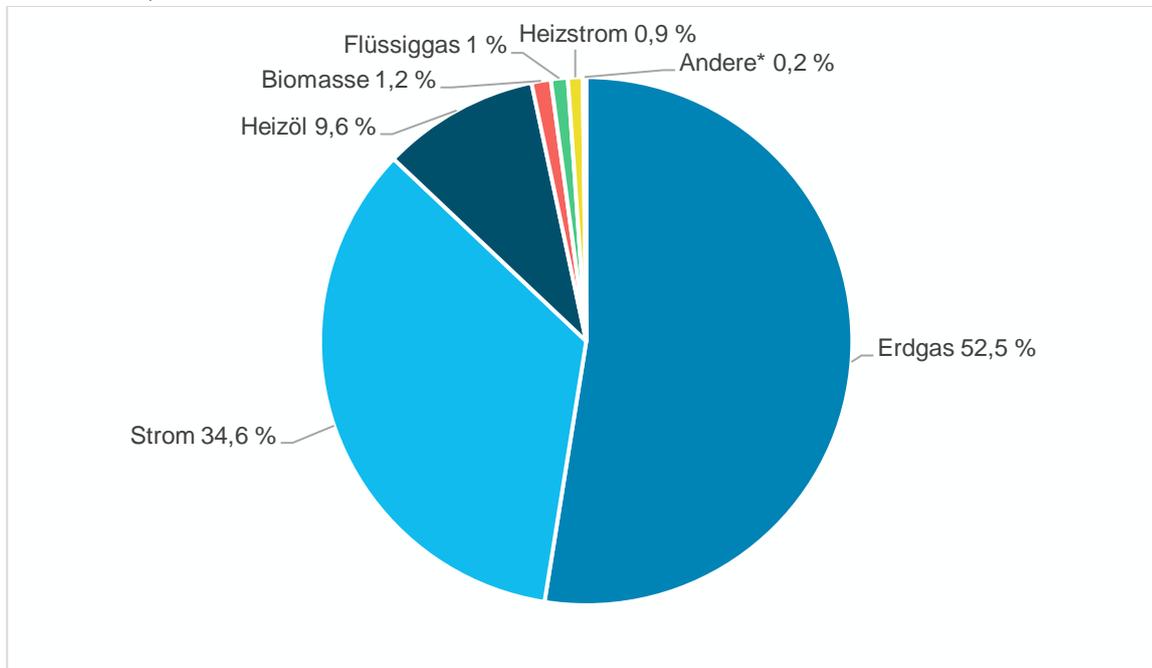


Abbildung 3: Stationärer Endenergieverbrauch Velberts nach Energieträgern im Jahr 2018 (Quelle: THGB 2018); *Andere beinhaltet Solarthermie (0,1 %), Steinkohle (0,1 %), und Umweltwärme (< 0,1 %)

Über die Hälfte des stationären Endenergieverbrauches wird durch Erdgas (52,5 %) gedeckt. Einen ebenfalls großen Anteil nimmt Strom ein mit 34,6 %, gefolgt mit Abstand von Heizöl (9,6 %). Einen nur kleinen Anteil machen Biomasse (1,2 %), Flüssiggas (1 %), Heizstrom (0,9 %) sowie Solarthermie (0,1 %), Steinkohle (0,1 %), und Umweltwärme (< 0,1 %) aus.

Der Weg in die Klimaneutralität bedeutet eine weitgehende Elektrifizierung des Energiesystems. Für Gesamt-Deutschland wird deshalb bis 2045 mit einer Steigerung des Strombedarfs um 70 % gerechnet (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021). Auch für die Sektoren Haushalte, GHD und Verkehr wird in der o.g. Studie ein 45 % höherer Strombedarf als heute erwartet. Dieser liegt u.a. im Einsatz von Wärmepumpen und dem Ausbau der Elektromobilität begründet.

Mit der Energiewende wird die Stromerzeugung einerseits zentral durch große Offshore-Windparks und zunehmende Freiflächen-PV-Anlagen organisiert. Andererseits speisen viele Millionen dezentrale Klein- und Kleinstanlagen in das Stromnetz ein. Durch letztere spielen auch sogenannte „Prosumer“ eine relevante Rolle. Gemeint sind mit diesem Begriff Akteure, die sowohl Strom produzieren (engl. „produce“) als auch verbrauchen („consume“). Die Verteilnetze müssen für diese neuen Anforderungen ertüchtigt werden. Im Sinne der Versorgungssicherheit müssen intelligentes Lastmanagement etabliert und Speicherkapazitäten aufgebaut werden.

Die Bundesregierung will bis zum Jahr 2030 die Stromerzeugung zu 80 % aus erneuerbaren Energien gewährleisten. Dafür soll die installierte PV-Leistung von heute 59 GW auf 200 GW ansteigen. An Land sollen 100 GW Wind-Leistung zur Verfügung stehen, auf See 30 GW (vgl. BMWK 2022) (heute 56 bzw. 8 GW; vgl. BWE 2022). Bis zum Jahr 2035 wird die Dekarbonisierung des Stromsektors auf Bundesebene angestrebt.

Mit der EEG-Novelle 2023 ergeben sich derzeit folgende für Velbert relevante Ausschreibungskriterien und -volumina:

- Die Ausschreibungen für Solaranlagen des ersten Segments³ (u.a. Moor-Anlagen sowie Anlagen auf Ackerflächen und Parkplatzflächen) finden in den Jahren 2023 bis 2029 jeweils zu den Gebotsterminen am 1. März, 1. Juli und 1. Dezember statt.

Das Ausschreibungsvolumen beträgt:

- im Jahr 2023 5 850 Megawatt zu installierende Leistung,
- im Jahr 2024 8 100 Megawatt zu installierende Leistung und
- in den Jahren 2025 bis 2029 jeweils 9 900 Megawatt zu installierende Leistung.

- Die Ausschreibungen für Solaranlagen des zweiten Segments⁴ finden in den Jahren 2023 bis 2029 jeweils zu den Gebotsterminen am 1. Februar, 1. Juni und 1. Oktober statt.

Das Ausschreibungsvolumen beträgt:

- im Jahr 2023 650 Megawatt zu installierende Leistung,
- im Jahr 2024 900 Megawatt zu installierende Leistung und
- in den Jahren 2025 bis 2029 jeweils 1100 Megawatt zu installierende Leistung.

- Besondere Solaranlagen sind nach innovativen Ausschreibungsverfahren bisher nur als Anlagenkombination förderfähig. Nach Bundesnetzagentur ist dies auf folgenden Flächen möglich:
 - Auf Ackerflächen, die kein Moorboden sind, mit gleichzeitigem Nutzpflanzenanbau auf derselben Fläche.
 - Auf Flächen, die kein Moorboden sind, mit gleichzeitiger landwirtschaftlicher Nutzung durch Dauerkulturen oder mehrjährige Kulturen auf derselben Fläche.
 - Mit dem EEG 2023 neu: Grünland, das kein Moorboden ist, bei gleichzeitiger landwirtschaftlicher Nutzung als Dauergrünland und nicht in Natura-2000-Gebiet (EU-weites Netz von Schutzgebieten zur Erhaltung gefährdeter oder typischer Lebensräume und Arten) belegen.
 - Auf Parkplatzflächen⁵
 - Mit dem EEG 2023 neu: Auf Moorböden, die entwässert und landwirtschaftlich genutzt wurden, wenn die Flächen mit Errichtung der PV-Anlagen dauerhaft wiedervernässt werden.

Zudem ist am 1. Februar 2023 mit dem Wind-an-Land Gesetz die gesetzliche Verankerung von 2 % Landesfläche für Windenergie an Land in Kraft getreten. Hierfür ist die vertiefte Kooperation von Ländern und Kommunen vorgesehen.

Für Velbert soll in diesem Kapitel untersucht werden, in welchem Maße auf dem Stadtgebiet zur Transformation des nationalen Stromsystems beigetragen und wie der Anstieg des Strombedarfs gedämpft werden kann.

Beide Größen, Stromerzeugung und -verbrauch, werden dabei bilanziell betrachtet. Die Stabilität des Stromnetzes bei volatiler Einspeisung wird auf regionaler Ebene durch die Übertragungsnetzbetreiber gewährleistet und ist somit nicht Gegenstand einer kommunalen Klimastrategie.

³ Solaranlagen des ersten Segments umfassen im EEG 2023 Teil 1 § 3, Abschnitt 41a Solaranlagen, die sich auf, an oder in einer baulichen Anlage, die weder Gebäude noch Lärmschutzwand sind, befinden.

⁴ Solaranlagen des zweiten Segments umfassen im EEG 2023 Teil 1 § 3, Abschnitt 41b Solaranlagen, die sich auf, an oder in einem Gebäude oder einer Lärmschutzwand befinden

⁵ Für Anlagen im Bundesland NRW gilt laut der Landesbauordnung (Stand 2020): § 8, Absatz 2 die Pflicht (mit Ausnahmen unter gewissen Umständen) zur Errichtung einer Solaranlage ab 35 Stellplätzen für Nicht-Wohngebäude

3.1.1. Photovoltaik

Laut der Stadtwerke Velbert speisten im Jahr 2022 in der Stadt Velbert 861 PV-Anlagen in das Stromnetz ein mit einer installierten Leistung von 11.248 kW_p und einer bilanzierten Einspeisemenge von 6.141 MWh. Abbildung 4 lässt erkennen, dass sich der Zubau in den letzten Jahren beschleunigt hat. Lag dieser zwischen 2013 und 2017 noch im Bereich von 420 kW_p/a, wurden in den letzten fünf Jahren in Summe knapp 5843 kW_p neu installiert. Gerade im letzten Jahr, 2022, wurde ein neuer Rekord gesetzt mit 1569 kW_p Zuwachs.

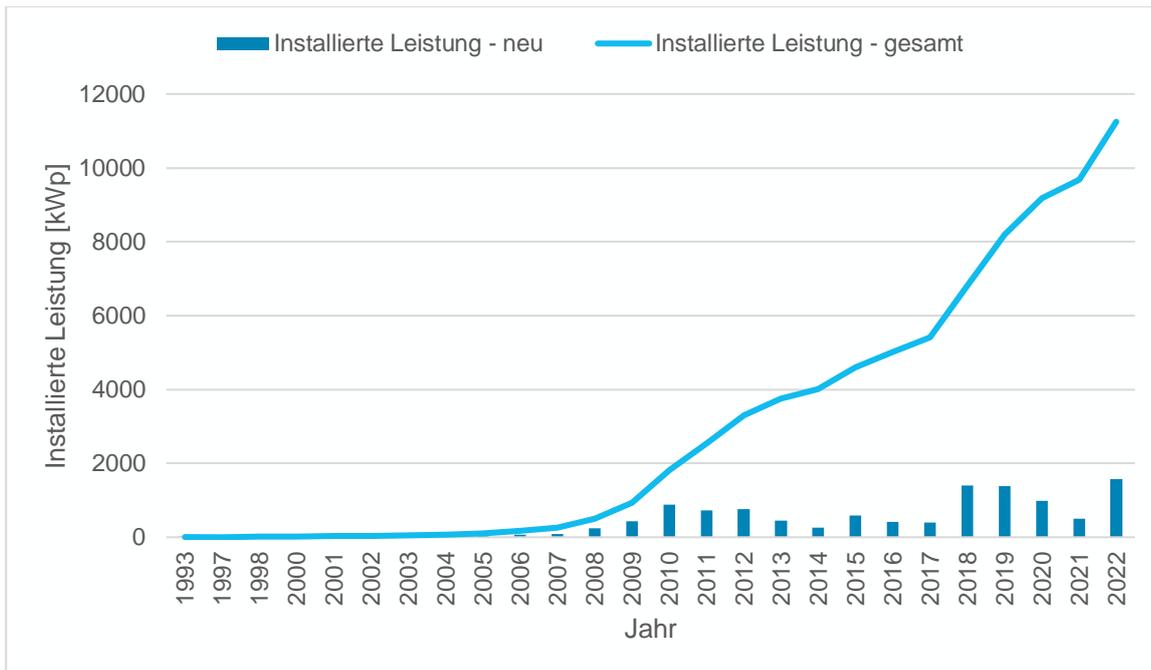


Abbildung 4: Entwicklung der installierten PV-Leistung (eigene Darstellung). Wert für 2022 ist vorläufig.

3.1.1.1. Dachflächen

Laut OSM-Düsseldorf Daten⁶ beträgt die Summe aller Dachflächen in Velbert rund 4,3 Millionen Quadratmeter. Dieses theoretische Potenzial wird durch Restriktionen wie Denkmalschutz, Verschattung, Dachneigung und -art und Flächenkonkurrenz für die PV-Nutzung deutlich limitiert. Auf Basis von Satellitenbildern ist eine Bewertung der konkreten Dachflächen einer beliebigen Kommune möglich. Die Ergebnisse einer solchen Analyse werden anschaulich in online abrufbaren [Solarkatastern](#) dargestellt, welches für Nordrhein-Westfalen bereits vorhanden ist. Das durch den Solarkataster ermittelte Potenzial für Dach-PV liegt bei rund 2,4 Millionen Quadratmetern. Über eine Berechnung des Gesamtpotenzials hinaus bieten diese Kataster hervorragende Anknüpfungspunkte für Maßnahmen zu dessen Realisierung. Beispiele finden sich bereits in vielen Städten, bspw. Celle, Staufen im Breisgau und Oldenburg.

In 2018 waren in Velbert 33 % der Wohngebäude auf dem Stadtgebiet Ein- oder Zweifamilienhäuser (EFH, ZFH). Insgesamt werden 39 % der Wohnungen von den Eigentümer:innen bewohnt, wobei der Anteil von Ein- und Zweifamilienhäusern dabei nicht bekannt ist (Stand 2011) (vgl. Handlungskonzept Wohnen Stadt

⁶ OpenStreetMap (OSM) Daten sind frei verfügbar und beinhalten u. a. Kartendaten zur Verkehrsinfrastruktur, Gebäuden und Flächennutzung.

Velbert 2020). Die Zielgruppe von Eigentümer:innen bewohnten EFH und ZFH gilt es allerdings insbesondere durch Anreize zur Installation von PV-Anlagen zu motivieren.

Wie im Umsetzungsbericht 2022 beschrieben, führen aktuelle Maßnahmen des Integrierten Energie und Klimakonzeptes 2015 bereits zur kontinuierlichen Förderung und Umsetzung von Dach-PV-Anlagen im Gewerbe. Hierdurch wurden bis Ende 2022 bereits zehn Anlagen mit einer Gesamtleistung von 1.315 kW_p realisiert. Das Potenzial in diesem Bereich ist dennoch noch nicht ausgeschöpft. Eine fundierte Quantifizierung des gewerblichen Potenzials umfasst auch eine **statische Prüfung** der jeweiligen Hallenstruktur, die im Rahmen dieser Klimastrategie nicht geleistet werden kann. Ab Anfang 2024 soll laut Koalitionsvertrag der Landesregierung Nordrhein-Westfalen auch für **gewerbliche Neubauten die Pflicht zur Installation einer PV-Anlage** gelten.

Eine **Vorbildfunktion** in der Installation von PV-Anlagen können **öffentliche Liegenschaften** einnehmen. Diverse Schuldächer wurden bereits energetisch nutzbar gemacht bzw. sind in der Planung und Umsetzung, darunter die Kita Kollwitzstr., das Schulzentrum Birth, die Grundschule Wielandstr., und die Grundschule Goethestr.

Dachflächen kommen grundsätzlich auch für eine Begrünung („**Gründächer**“) in Frage. Dadurch lässt sich u.a. das lokale Stadtklima verbessern, eine Rückhaltekapazität für Regenwasser bilden und ein Lebensraum für Insekten schaffen. Für eine solche Begrünung bestehen deutlich weniger Restriktionen als für die Installation einer PV-Anlage. Der Dach-PV sollte deshalb in der Nutzung von Dachflächen Vorrang gegeben werden. Aus Klimaschutzsicht stellt eine PV-Anlage zudem die zu priorisierende Option dar. Möglich sind jedoch auch Kombinationen. Die Aufständigung der Module kann durch den Einsatz von Substrat allein durch die Auflast gehalten werden. Verschraubungen in das Dachtragwerk sind dadurch nicht nötig und die bestehende Dachabdichtung muss nicht geöffnet werden. Da die Pflanzen die Dachfläche abkühlen, kann die Photovoltaikanlage zudem effizienter arbeiten.

Nimmt man das im Solarkataster hinterlegte Flächenpotenzial für Dach-PV, eine Leistungsdichte von 160 W_p/m², eine Flächennutzungsgrad von 0,9 m² PV/m² Dachfläche und 927 Volllaststunden pro Jahr an – den Mittelwert auf Basis der Solarkatasterdaten –, ergibt sich ein *technisches* Potenzial von 346 MW_p und 320 GWh/a für Dachflächen-Photovoltaik in Velbert. Im Solarkataster direkt wird für Velbert allerdings ein niedrigeres technisches Potenzial ausgewiesen von rund 293 MW_p. Aufbauend auf den Berechnungen des Solarkatasters sind Dächer mit einem **technischen Potenzial von ca. 278 MW_p** bisher ungenutzt. Mit den angenommenen 927 Volllaststunden pro Jahr ergibt sich hieraus **ein Stromertrag von 258 GWh/a**. Die erzeugte Strommenge entspräche 15 % des gesamten Energieverbrauchs im Jahr 2018.

Die Bundesregierung strebt eine Anhebung der Einspeisevergütung außerhalb der EEG-Ausschreibungen an (vgl. BMWK 2022b). Dadurch wird ein wesentlicher Anreiz zur Hebung des Dachflächen-Potenzials geschaffen.

3.1.1.2. Parkplätze

Naheliegender ist die Überdachung von Parkplätzen mit PV-Modulen, welches laut der Landesbauordnung in Nordrhein-Westfalen bereits seit 2022 verpflichtend ist für neugebaute Parkplätze mit mind. 35 Stellplätzen, welche nicht zu Wohngebäuden gehören. Mit Blick auf die bereits bestehenden Parkplätze, ergibt sich bei der Anwendung der Mindestgröße für PV-pflichtige, neugebaute Parkplätze (35 Stellplätze ~ 512 m² pro Parkplatz) eine relevante Gesamtfläche von 45 ha. Nimmt man eine Flächenbelegung von 0,1 kW/m² an, umfasst dies **ein technisches Potenzial für 27 MW_p mit einem Stromertrag von 25 GWh/a** bei 927 Volllaststunden. Die 20 größten Parkplatzflächen bilden hierbei ein gutes Drittel dieses Potenzials ab (siehe Abbildung 5). Bei den drei größten Parkplatzflächen handelt es sich um OBI in der Metallstraße (Velbert-Mitte),

der IMS Arena (Velbert-Mitte) und den Parkplatz Siebeneicker Str. 183 (Velbert-Nevigens). Als Datenbasis wurden frei verfügbare Daten zu Parkplatzflächen in GIS⁷ analysiert.

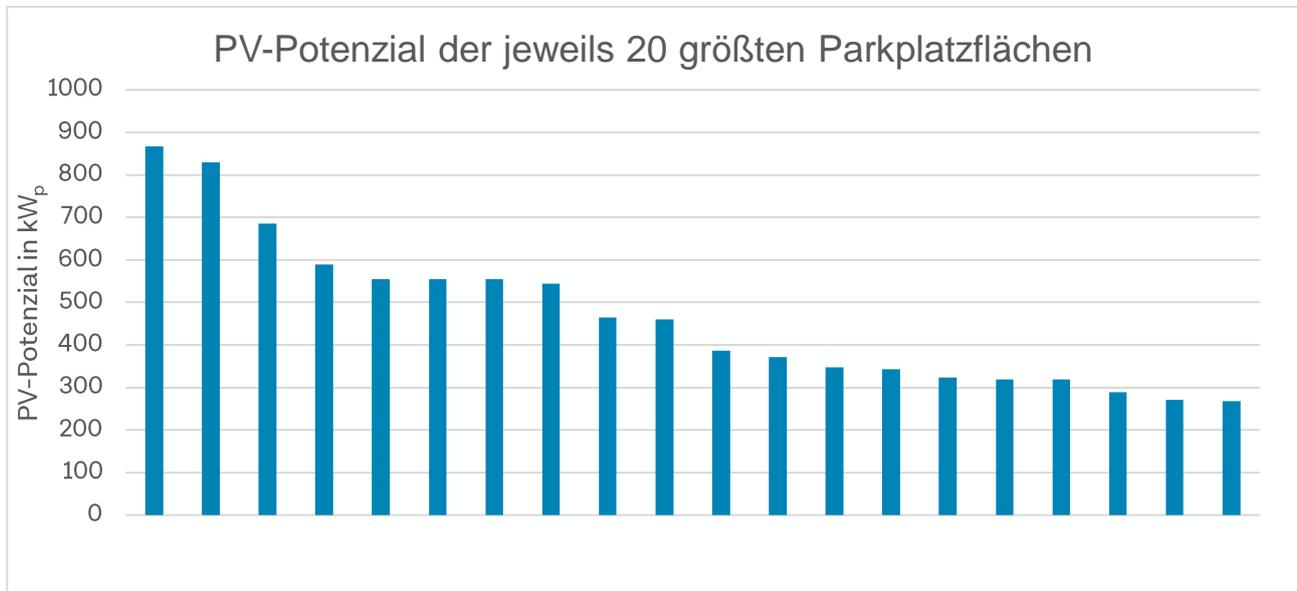


Abbildung 5: PV-Potenzial der jeweils 20 größten Parkplatzflächen (eigene Darstellung).

3.1.1.3. Freiflächen

Die Analyse der Freiflächenpotenziale wurde auf Basis einer Vorarbeit von den Stadtwerken Velbert (enedi), von Daten aus dem NRW Potenzialkataster und dem Erlass des Landes NRW zum beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien durchgeführt. Zusätzlich wurde der Regionalplan der Region Düsseldorf berücksichtigt.

Im Erlass der Landesregierung werden nur wenige harte Ausschlusskriterien definiert, in deren Bereichen die Errichtung von Freiflächen-Solarenergieanlagen i.d.R. nicht mit den Zielen der Raumordnung vereinbar ist:

- Waldbereiche (Vorrang Wald)
- Bereiche zum Schutz der Natur (Vorrang Biotopverbund und Naturschutz (NSG, FFH, etc.))
- Überschwemmungsbereiche

Weitere schutzwürdige Bereiche wie u.a. Landschaftsschutzgebiete, regionale Grünzüge, Bereiche zum Schutz der Landschaft und landschaftsorientierten Erholung (BSLE) und Bereiche für den Grundwasser- und Gewässerschutz werden nicht grundsätzlich ausgeschlossen. In diesen Bereichen ist eine Einzelfallprüfung erforderlich, die im Rahmen dieser Analyse nicht enthalten ist.

Über die EEG-Förderung hinaus besteht für Anlagenbetreiber die Möglichkeit, den produzierten Strom über Direktlieferverträge (Power Purchase Agreements, kurz PPA) mit Energieversorgern oder Unternehmen zu vermarkten. Die mögliche Flächenkulisse beschränkt sich dadurch nicht mehr auf die oben genannten

⁷ GIS bezeichnet ein geographisches Informationssystem zur Erfassung, Verwaltung und Analyse von Daten.

Kategorien. Der Thinktank *Agora Energiewende* hat für das Bundesgebiet ein Online-Tool entwickelt, mit dem eine erste Indikation geeigneter Potenzialflächen möglich ist. Mit Blick auf die genannten Vermarktungsmöglichkeiten wurde der Korridor entlang von Schienenwegen für dieses Tool auf 500 Meter erweitert. Flächen mit einer Größe von weniger als 10 ha sowie bspw. Konversionsflächen werden nicht berücksichtigt. **Abbildung 6** zeigt die Potenzialflächen, die sich auf diese Weise – verschnitten mit den von enedi ermittelten Potenzialflächen – für Velbert ergeben.

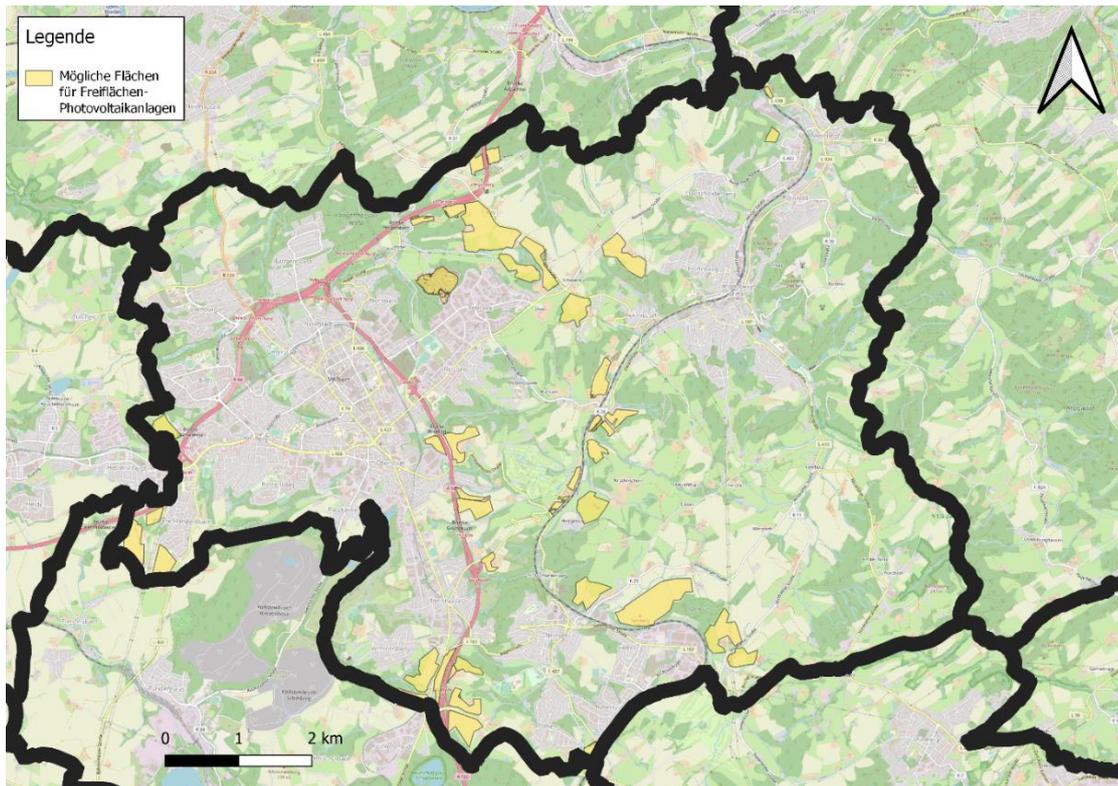


Abbildung 6: PV-Freiflächenpotenzial in Velbert (Gelb hinterlegt) auf der Basis einer Vorarbeit von enedi, Daten aus dem NRW Potenzialkataster und dem Erlass des Landes NRW zum beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien.

Eignung und Wirtschaftlichkeit dieser Flächen richten sich auch nach den künftigen Bedingungen von EEG und Strommarkt und können deshalb hier nur vorläufig bewertet werden.

In Summe steht derzeit ein Flächen-Potenzial von bis zu 343 ha zur Diskussion. Unter Annahme einer Leistungsdichte von $0.77 \text{ MW}_P/\text{ha}$ (vgl. Koscher 2021) ergibt sich im Stadtgebiet ein **technisches Potenzial von bis zu 264 MW_P** . Mit angenommenen 927 Volllaststunden pro Jahr – den Mittelwert auf Basis der Solarkatasterdaten –, ergibt sich ein **potenzieller Stromertrag von 245 GWh** , etwa 14 % des Strombedarfs im Jahr 2018.

Die vorliegende Analyse der Freiflächen-PV-Potenziale dient als **erste Indikation** und kann eine strukturierte (interkommunale) Flächenanalyse nicht ersetzen. Die Berechnung der Stromerträge erfolgt auf Basis von Durchschnittswerten und ist daher ebenfalls als Abschätzung zu verstehen. Konkrete Werte ergeben sich z.B. in Abhängigkeit des technischen Anlagen-Layouts.

Freiflächen-PV-Anlagen sind nach derzeit gültigem Fördersystem möglich

- entlang von Autobahnen oder Schienenwegen im maximalen Abstand von 500 Metern.⁸
- auf benachteiligten Gebieten (nach Länderöffnungsklausel)
- auf Konversionsflächen
- innovative Projekte
- mit einer maximalen Projektgröße von 20 MW_p.

Das sogenannte „Osterpaket“ der Bundesregierung sieht neben einer Anhebung der Ausschreibungsmengen eine Erweiterung der oben genannten EEG-Flächenkulisse um

- landwirtschaftliche Flächen (Agri-PV),
- Moore und
- Gewässer (schwimmende PV-Anlagen)

vor (vgl. BMWK 2022b). Perspektivisch sind diese innovativen Technologien auch für Velbert von Interesse. Um den Konflikt zwischen landwirtschaftlicher und energetischer Nutzung aufzulösen, wird derzeit in Pilotprojekten an **Agri-Photovoltaik** geforscht (vgl. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE 2022). Hierbei werden beispielsweise Felder mit hoch-aufgeständerten PV-Anlagen kombiniert. Durch die somit eingeschränkte Ackerfläche und deren Beschattung wird dadurch einerseits zwar der landwirtschaftliche Ertrag geschmälert. Andererseits ergibt sich in Summe mit dem energiewirtschaftlichen Ertrag möglicherweise eine effizientere Landnutzung, sowohl ökologisch als auch ökonomisch. Bei Extremwetterereignissen kann insbesondere für den Obstanbau eine Schutzfunktion durch die PV-Module erreicht werden.

Bislang fehlt dieser Technologie die Marktreife sowie ein förderlicher Gesetzesrahmen, der etwa die Auszahlung von landwirtschaftlichen Flächenprämien für solche Projekte regelt. Um die Wettbewerbsfähigkeit der Agri-PV zu stärken, erhält diese in künftigen EEG-Ausschreibungen einen Vorzug (vgl. BMWK 2022b). Die Förderung erfolgt in zwei Schritten. Erstens erhalten hoch aufgeständerte Agri-PV-Systeme einen Technologiebonus von 1,2 ct/kWh. Zweitens sind Agri-PV-Systeme auf allen landwirtschaftlichen Flächen (gemäß EEG 2023) förderfähig. Die Förderung gilt auch außerhalb von Anlagen entlang von Schienenwegen und Autobahnen oder benachteiligten Gebieten.

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Velbert umfasst 2483 ha. Der Anteil von Acker- und Grünland ist nicht genau bekannt. Aufgrund weniger Referenzprojekte in Deutschland kann derzeit jedoch keine sinnvolle Abschätzung zum technischen Potenzial der Agri-PV getroffen werden. Sobald die Forschungsvorhaben auf diesem Gebiet belastbare Ergebnisse zu den landwirtschaftlichen Erträgen liefern, sollten die Rahmenbedingungen in Velbert bewertet werden, und das technische Potenzial genauer ermittelt werden.

Eine weitere vielversprechende Entwicklung im Kontext innovativer PV-Technologien ist die **integrierte Photovoltaik**. Auch hier wird die solare Energieerzeugung in bestehende Anwendungen integriert. Hierzu zählt u.a. die bereits in 3.1.1.2 aufgeführte Überdachung von Parkplätzen mit PV-Modulen.

In weiteren Varianten der Technologie wird PV in Fassaden, Fahrzeugen u.v.m. integriert. Durch den suboptimalen Einstrahlungswinkel sind diese Lösungen jedoch derzeit nicht wirtschaftlich und fallen deshalb zurzeit nicht in das realisierbare Potenzial.

Das geschätzte technische Potenzial betreffend Photovoltaik in Velbert ist in der **Tabelle 1** zusammengefasst.

⁸ Die Privilegierung nach § 35 BauGB gilt nur im 200m Korridor.

Tabelle 1: Zusammenfassung des geschätzten technischen Potenzials im Bereich der Photovoltaik.

POTENZIAL PHOTOVOLTAIK (SCHÄTZUNG)			
	Fläche [ha]	Leistung [MW]	Stromertrag [GWh/a]
DACHFLÄCHEN	240	278	258
PARKPLATZFLÄCHEN	45	27	25
FREIFLÄCHEN	343	264	245

3.1.2. Windkraft

Wie in Kapitel 3.1 dargestellt, bilden Windenergieanlagen (WEA) neben PV eine wesentliche Säule des klimaneutralen Stromsystems. Derzeit wird deren Ausbau maßgeblich durch mangelhafte oder unzureichende Ausweisung von Flächen und langwierige Genehmigungsverfahren gehemmt. Diese Hemmnisse sind Ausdruck des im Vergleich zur PV größeren Konfliktpotenzials von WEA.

Nach dem Windenergieflächenbedarfsgesetz sind in NRW bis 2027 1,1 % bzw. 1,8 % der Landesfläche bis 2032 für die Windenergie zur Verfügung zu stellen. Die Vorgaben des Gesetzes entsprechen damit in der Größenordnung dem Leitszenario Energieversorgungsstrategie aus der Potenzialanalyse des Landes NRW (vgl. LANUV 2022b), wonach das landesweite Windenergiepotenzial 60.000 ha bzw. 1,7 % der Fläche des Landes NRW umfasst. In Summe sollen demnach bis zu 3.827 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 16 GW rund 46 TWh Strom pro Jahr produzieren.

Derzeit befinden sich in Velbert drei WEA in Betrieb mit einer installierten Leistung von insgesamt 2.400 kW (Angabe der Stadtverwaltung) (siehe Abbildung 7). Innerhalb der letzten zehn Jahre ist allerdings keine neue Anlage dazugekommen.



Abbildung 7: Standorte der aktuellen WEA in Velbert. Anmerkung: Bei dem Cluster der drei WEA bei Langenberg befindet sich lediglich eine der WEA innerhalb der Stadtgrenze von Velbert. Die anderen beiden liegen auf dem Gebiet der angrenzenden Stadt Hattingen, wobei eine der Hattinger WEA nicht mehr in Betrieb ist. (Quelle: [Energieatlas NRW](#), Stand 31.12.2022)

Abbildung 8 zeigt die Einzelflächen, die im Rahmen des „Fachbeitrags zur Ermittlung geeigneter Bereiche zur Darstellung als Konzentrationszonen für Windkraftanlagen im Flächennutzungsplan der Stadt Velbert“ auf Eignung für WEA geprüft wurden. Auf der Abbildung 8 wird ebenfalls dargestellt, welche maximale Höhe die WEA in den jeweiligen Gebieten haben können. Keine der nach Anwendung der Ausschlusskriterien übrig gebliebenen 20 untersuchten Einzelflächen wurde als gut geeignet eingestuft, jedoch wurden insgesamt 5 Flächen identifiziert, welche für WEA bedingt geeignet sind (Gesamtfläche von 7 ha). Zu beachten ist allerdings, dass die hierfür bestehenden Restriktionen im Rahmen des Genehmigungsverfahrens geprüft werden müssen. Zudem dürfte keine dieser Einzelflächen groß genug sein, um einen Windpark zu errichten (mind. 3 WEA auf einer Fläche). In dem Fachbeitrag wird insgesamt von einem Potenzial von vier einzelnen WEA ausgegangen. Im Flächennutzungsplan der Stadt wurden zwei dieser Flächen nicht übernommen, dafür aber eine zuvor nicht ausgewiesene Fläche eingefügt. Aus dem Flächennutzungsplan abgeleitet, ergibt sich daraus das Potenzial für drei einzelne WEA. Ein technisches Potenzial von 15 MW und einer jährlichen Stromerzeugung von etwa **27 GWh/a** erscheint möglich, vorausgesetzt, es gelingt die Installation von modernen WEA mit einem Rotordurchmesser von 150 Metern und einer Nennleistung von 5 MW (basierend auf der Annahme von 1.800 Volllaststunden in der Region Bezirk Düsseldorf (vgl. LANUV 2022b)).

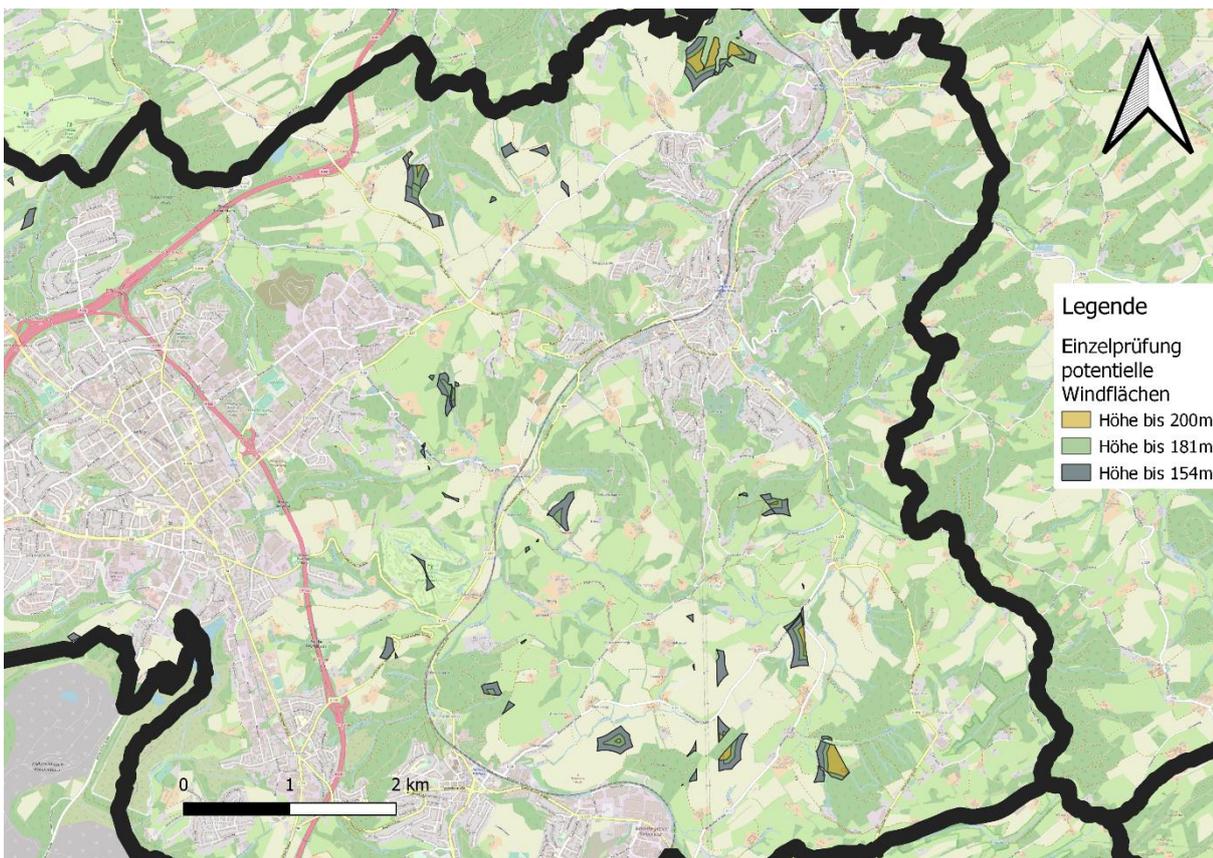


Abbildung 8: Kartenausschnitt der untersuchten Einzelflächen für WEA auf der Basis der bereits durchgeführten Potenzialanalyse Windenergie für Velbert (eigene Darstellung).

Möglichkeiten des Repowerings wurden seitens der Verwaltung in Velbert in einer Kurzanalyse aufgearbeitet. Auf Grund des zwingend einzuhaltenden Mindestabstands des zweifachen der Gesamthöhe ($2 \times GH$) wurde in der Analyse mit der kleinstmöglichen Anlagengröße gerechnet, die wirtschaftlich zumindest umsetzbar sein könnte, aber im Einzelfall genau auf eine wirtschaftliche Umsetzung geprüft werden muss. Basis

war eine Anlage mit einer Gesamthöhe von 154m und einem Rotordurchmesser von 92m. Für die bestehenden Anlagen konnte nur für 2 Anlagen ein Repoweringpotenzial ermittelt werden. Es handelt sich dabei um die Einzelanlagen in Velbert-Mitte und in Langenberg.

In Mitte ist zu beachten, dass die Anlage in einem Bereich "Landschaftsbild mit herausragender Bedeutung" steht. In Langenberg (angrenzend zu Essen) wurde die höchste Umsetzungswahrscheinlichkeit ermittelt. Durch ein Repowering an diesen 2 Standorten könnten insgesamt 4,8 MW zugebaut werden. Nach Rückbau der Altanlagen mit 800 kW und 1.500 kW verbleibt durch das Repowering ein Nettozubau von 2,5 MW.

Eine weitere Möglichkeit könnten **Kleinwindkraftanlagen** sein. Es wird empfohlen, in 3-4 Jahren das Potenzial für Kleinwindanlagen neu zu bewerten, um Verbesserungen der Technologie in die Bewertung einzubeziehen.

Unter der Annahme, dass sich Anlagen auf den bedingt geeigneten Flächen errichten lassen, lässt sich folgendes Potenzial abschätzen (vgl. [Tabelle 2](#)):

[Tabelle 2: Zusammenfassung des geschätzten technischen Potenzials im Bereich der Windenergie.](#)

POTENZIAL WINDENERGIE (ABSCHÄTZUNG)		
	Leistung [MW]	Stromertrag [GWh/a]
NEUANLAGEN	15	27
REPOWERING	2,5	5

3.1.3. Biomasse

In 2018 wurde laut THG-Bilanz 1,2 % des Strombezugs durch Biomasse abgedeckt. Nach Marktstammdatenregister des EEG wird allerdings derzeit kein Strom durch Biomasse innerhalb Velberts generiert.

Im Szenariorahmen der Agora Energiewende eines klimaneutralen Deutschlands bis 2045 wird die installierte Leistung an Bioenergie und auch die Nettostromerzeugung sukzessive abnehmen (Abbildung 9, vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021). Die Zukunft der Biomasse im Stromsektor liegt vor allem in der Nutzung als Leistungsreserve. Neuere Vergütungsmodelle zielen darauf ab, die Anlagen in einem netzdienlichen Betrieb fahren zu lassen, um das Stromsystem zu entlasten. Am wirtschaftlichsten lassen sich die Anlagen dann betreiben, wenn im Stromsystem Engpässe vorliegen und hohe Preise an der Strombörse zu entsprechenden Zeiten erzielt werden können. Biomasse-BHKW können flexibel auf diese Preissignale reagieren und die benötigte Leistung ins Netz einspeisen.

Derzeit werden durch KWK-Anlagen 1.148 MWh in Velbert erzeugt (Stand 2021). Es gilt zu prüfen, ob diese Anlagen zukünftig auf Biogas umgestellt werden können.

In Anbetracht dessen, dass Velbert zum jetzigen Zeitpunkt keine Biomasse-Anlagen betreibt, empfiehlt es sich nicht, Anlagen zur Stromerzeugung für Biomasse zu errichten, da wie erwähnt die prognostizierte Leistung durch Bioenergie einerseits deutschlandweit keinen großen Anteil in der Stromerzeugung einnehmen soll, und andererseits andere Möglichkeiten wie z.B. Speicher existieren, um Leistungsreserven bereitzustellen.

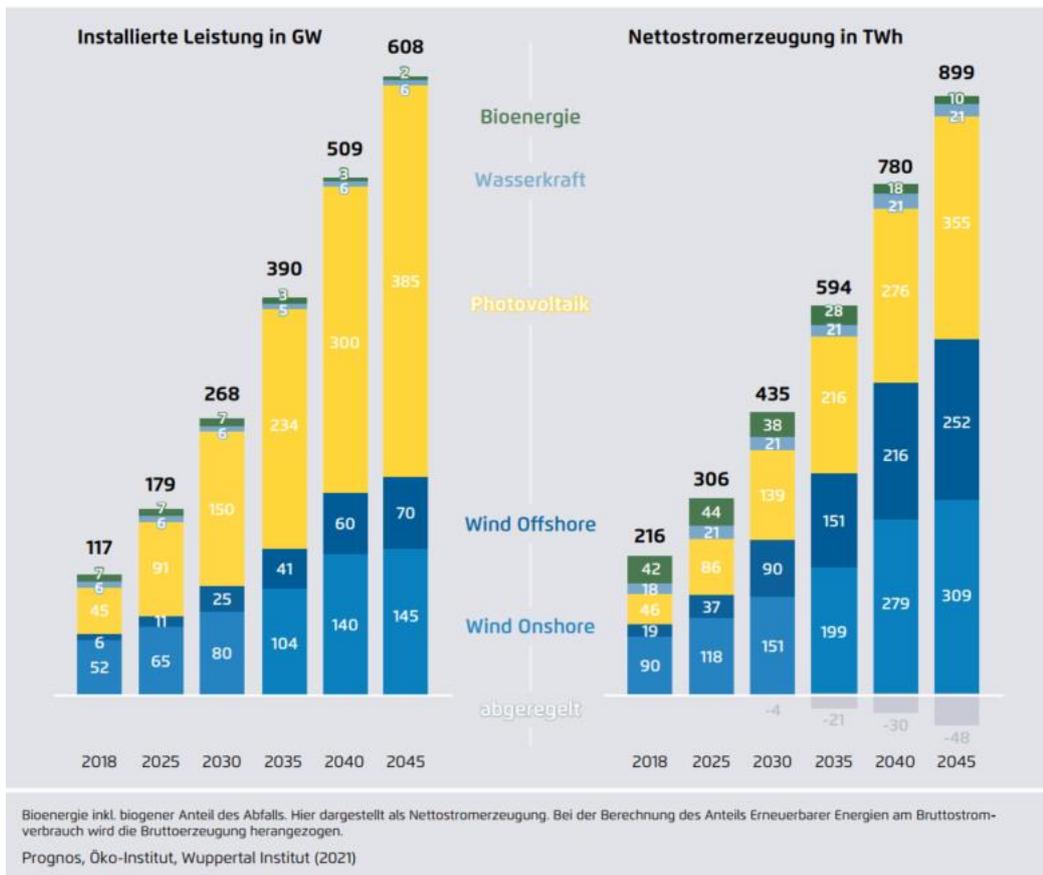


Abbildung 9: Entwicklung der Erneuerbaren Energien (Quelle: Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021).

Auf Basis der aktuellen wie zu erwartenden Förderbedingungen ist das Zubaupotenzial der Biomasse zur Stromerzeugung stark begrenzt.

3.1.4. Geothermische Stromerzeugung

Das Potenzial für eine geothermische Stromerzeugung ist derzeit noch theoretisch. Aktuell laufen in Nordrhein-Westfalen drei Projekte zur Untersuchung des Wärmepotenzials („GTC: Geothermale Charakterisierung der Teilräume Rheinlands und Nordrand Rheinisches Schiefergebirge“, „Seismik NRW“, und „DGE-ROLLOUT“). Sobald diese abgeschlossen sind, werden sich konkretere Potenziale für Velbert bestimmen lassen. Die Technologie ist aufgrund des Risikos auf hohe Förderung sowie Risikobereitschaft des Projektentwicklers bzw. der Investoren angewiesen.

Die Stadt kann das Potenzial erhöhen, indem sie grundsätzliche Bereitschaft bei der Zurverfügungstellung von Grundstücken für entsprechende Bohrungen signalisiert, wie sie im Rahmen von „Seismik NRW“ auch bereits einmal ausgeführt wurde.

3.1.5. Effizienz

Wie bereits einleitend zu Kapitel 3.1 erläutert, ist neben dem Ausbau der Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien dessen effiziente Nutzung von großer Bedeutung für das Gelingen der Energiewende.

Abbildung 2 zeigt, in welchen Bereichen in Velbert im Jahr 2018 schwerpunktmäßig Strom verbraucht wurde, und damit auch, in welchen Bereichen Potenziale zur Effizienzsteigerung liegen.

Im Haushalt zählen derzeit Beleuchtung, Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), Kühlgeräte sowie Herde und weiße Ware zu den größten elektrischen Verbrauchern (vgl. BfEE 2020).

Diese Anwendungen unterliegen nahezu vollständig der Ökodesignverordnung der Europäischen Union. Die Effizienz der Geräte im Bestand steigt somit automatisch durch den regulären Austausch der Geräte nach Ende der Lebensdauer. Mittelfristig soll der Ökodesign-Ansatz durch den Aktionsplan Kreislaufwirtschaft (Circular Economy Action Plan) weiterentwickelt werden. Die Wirkung von Suffizienzmaßnahmen wird gegenüber solchen Richtlinien im Haushalt als eher gering bewertet (vgl. UBA 2019).

Ein Großteil der Energie im Haushalt (etwa 85 %) entfällt auf die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser. Zukünftig werden auch diese Anwendungen elektrisch betrieben. Entsprechende Effizienz- und Suffizienz-Potenziale werden in Kapitel 3.2 angesprochen. Für die Effizienzpotenziale im Bereich Mobilität sei auf Kapitel 3.3 verwiesen.

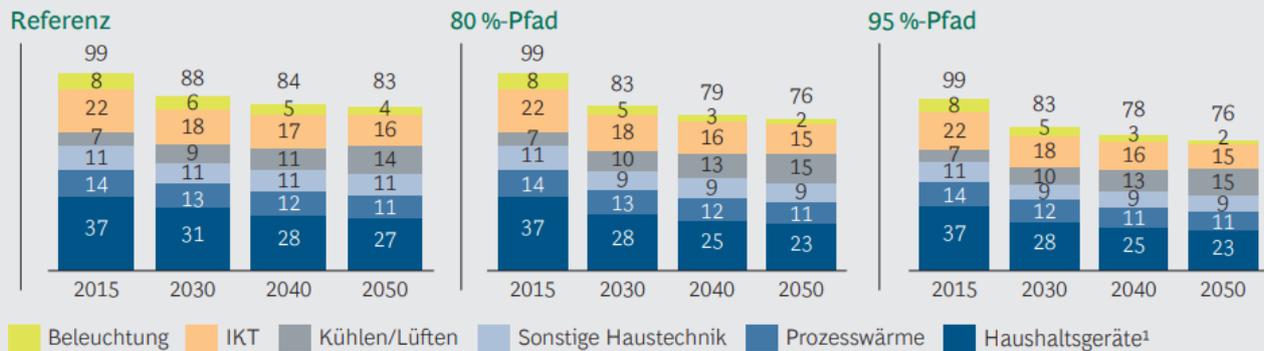
Im GHD-Sektor fällt der Anteil elektrischer Anwendungen mit 27 % schon heute etwas höher aus als in den Haushalten (vgl. BfEE 2020). Neben Beleuchtung und IKT spielt hier Gebäudetechnik (z.B. Aufzüge und Lüftungstechnik) eine Rolle.

Die BDI-Studie „Klimapfade für Deutschland“ zeigt auf, welche Entwicklungen des Energiebedarfs für Geräte und Prozesse in Privathaushalten und dem GHD-Sektor in Deutschland möglich erscheinen (vgl. BDI 2018). Abbildung 10 schlüsselt drei unterschiedlich ambitionierte Klimaschutz-Szenarien (Pfade) auf.

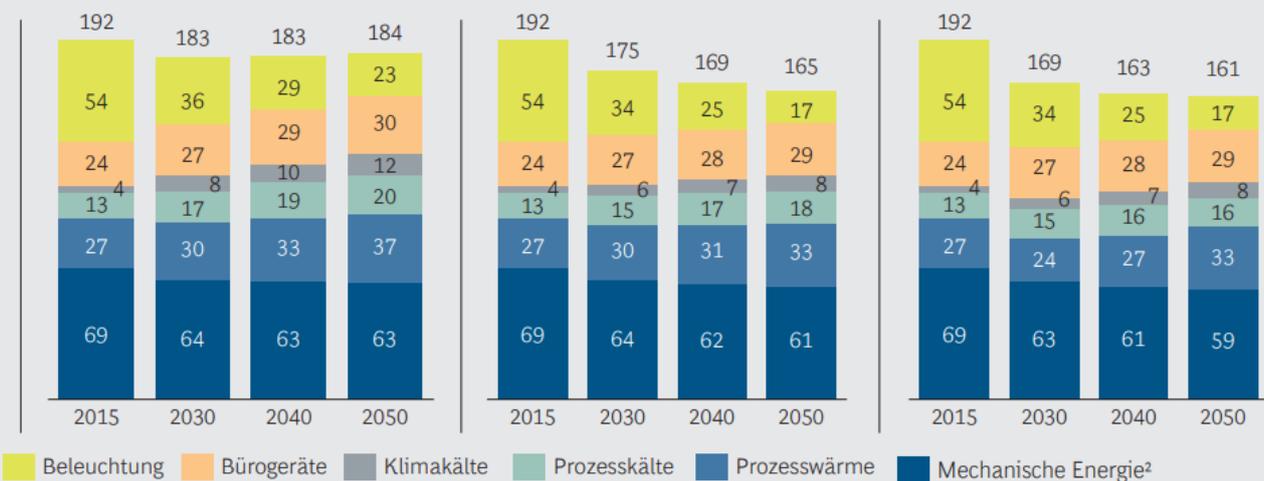
WEITERE EFFIZIENZGEWINNE BEI ANWENDUNGEN IN HAUSHALTEN UND GHD

ABBILDUNG 64 | Endenergieverbrauch von Geräten und Prozessen in Haushalten und GHD

PRIVATHAUSHALTE (TWh) – wesentliche Effizienzgewinne bereits in der Referenz enthalten



GEWERBE, HANDEL, DIENSTLEISTUNGEN (TWh) – wesentliche Effizienzgewinne im 80 %-Pfad



¹ Geräte zum Kühlen, Gefrieren, Waschen, Geschirrspülen ² Motoren für Materialfluss- und Fördertechnik: Aufzüge, Fließbänder, Hebezeuge, Warmwasserverteilung, Ventilatoren, Druckluft und Gebläse sowie Sonderverkehr (Landwirtschaft, Flughäfen, Baugewerbe)
Quelle: Prognos; BCG

Abbildung 10: Szenarien zur Entwicklung des Energiebedarfs von Geräten und Prozessen in Privathaushalten und GHD (Quelle: BDI 2018)

Im ambitioniertesten Szenario „95 %-Pfad“ wird in den Haushalten ein Reduktionspotenzial von 23 % zwischen 2015 und 2050 gesehen. Dabei berücksichtigt sind auch gegenläufige Trends. Bedingt durch mehr Hitzetage im Jahr wird erwartet, dass 20 % der Wohnflächen künftig klimatisiert werden. Damit einher geht ein höherer Strombedarf für Klimaanlage.

Für den GHD-Sektor ergibt sich in der BDI-Studie eine Reduktion des Energiebedarfs um 16 %. Das größte Potenzial liegt hier im Austausch von Beleuchtung.

Für beide Sektoren zeigt Abbildung 10 ein abflachendes Senkungspotenzial zwischen 2030 und 2040.

Zu ähnlichen Schlüssen kommt eine Studie im Auftrag der Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE). In nachfolgender Tabelle (Tabelle 3) sind die jährlichen Einsparpotenziale bezogen auf das Jahr 2015 aufgeführt (vgl. BfEE 2020).

Tabelle 3: Jährliches Einsparpotenzial je Sektor (bezogen auf 2015).

	2020		2030	
	wirtschaftlich	technisch	wirtschaftlich	technisch
GHD	0,3 %	0,7 %	0,2 %	0,5 %
PRIVATE HAUSHALTE	0,2 %	1,3 %	0,4 %	0,9 %
GEBÄUDE	0,7 %	1,2 %	0,4 %	1,0 %

Übertragen auf Velbert ergeben sich mit angenommenen Einsparungen bis 2045 in privaten Haushalten im Bereich von rund 22 % und im GHD-Sektor im Bereich von 16 % folgende Effizienzpotenziale (vgl. Tabelle 4):

Tabelle 4: Zusammenfassung der Effizienzpotenziale relativ zum Jahr 2018 bis 2045 der Sektoren Private Haushalte, und GHD in Velbert.

	relativ	absolut
PRIVATE HAUSHALTE	- 22 %	- 138 GWh
GHD	- 16 %	- 29 GWh
SUMME		- 167 GWh

Diese Potenziale liegen jedoch nur im indirekten Einflussbereich der Stadt Velbert. Dienstleistungs- und Beratungsangebote können die Marktdiffusion effizienter Technologie dennoch beschleunigen. Das BfEE (2020) zählt in diesem Kontext die nachfolgend aufgelisteten Möglichkeiten auf (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Dienstleistungs- und Beratungsangebote zur Beschleunigung der Marktdiffusion effizienter Technologien laut BfEE (2020).

Energiemanagement	Contracting	Energieberatung	Analyse/Information
<ul style="list-style-type: none"> • Energiecontrolling • Einführung von Managementsystemen • Zertifizierung & Validierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Pacht- und Betriebsführungsmodelle • Energie-Einsparcontracting • Energieliefer-Contracting 	<ul style="list-style-type: none"> • Vor-Ort-Energieberatung • Energiekonzepte • Energieaudit • Stationäre Energieberatung 	<ul style="list-style-type: none"> • Energiemonitoring/Visualisierung • Energiebedarfsausweise • Label

Der Strombedarf öffentlicher Einrichtungen ist mit 2,4 % des Gesamtbedarfs vergleichsweise gering, siehe Abbildung 2. Die Umstellung auf energieeffiziente (Straßen-)Beleuchtung (wie schon teils erfolgt) und Geräte birgt jedoch auch hier Potenzial zur Stromeinsparung.

Mit fortschreitendem Ausbau der erneuerbaren Energien wird **Demand-Side-Management** relevant für die effiziente Nutzung von Strom. Der Betrieb von Anlagen im Gewerbe aber auch in privaten Haushalten richtet sich dann (intelligent gesteuert) nach dem momentanen Dargebot an Strom. Bei Engpässen werden die Anlagen entsprechend abgeregelt bzw. nicht angeschaltet.

3.1.6. Zusammenfassung der Potenziale

Insgesamt ergeben sich im Handlungsfeld Strom folgende technische Potenziale (Tabelle 6):

Tabelle 6: Zusammenfassung der technischen Potenziale im Handlungsfeld Strom für Velbert.

	Leistung [MW]	Stromertrag [GWh/a]
PV-DACHFLÄCHEN	278	258
PV-PARKPLATZFLÄCHEN	27	25
PV-FREIFLÄCHEN	264	245
WINDENERGIE NEUANLAGEN	15	27
WINDENERGIE REPOWERING	2,5	5
GESAMT	586,5	560

Mit 560 GWh/a deckt das Potenzial zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ca. 33 % des Strombedarfs aus dem Jahr 2018. Wie dargestellt, muss jedoch aufgrund der Elektrifizierung insbesondere in den Bereichen Mobilität und Wärme mit einer Steigerung des Strombedarfs in Velbert gerechnet werden. Zudem ist das konkrete Potenzial für Dach- und Freiflächen-PV über die Erstellung einer strukturierten Flächenanalyse tiefergehend zu untersuchen.

Es muss an dieser Stelle bereits angemerkt werden, dass die Integration der Photovoltaik in das Stromnetz eine große Herausforderung darstellt, die neben Investitionen in das Netz selbst auch Investitionen in Speicher und Verbrauchssteuerung notwendig werden lässt.

In puncto Effizienz können aufgrund der Marktdiffusion von effizienter Geräte- und Beleuchtungstechnik gegenüber dem Jahr 2018 folgende Stromeinsparungen abgeschätzt werden (Tabelle 7):

Tabelle 7: Zusammenfassung der Effizienzpotenziale relativ zum Jahr 2018 bis 2045 der Sektoren Private Haushalte, und GHD in Velbert.

	relativ	absolut
PRIVATE HAUSHALTE	- 22 %	- 138 GWh
GHD	- 16 %	- 29 GWh
SUMME		- 167 GWh

Zu beachten ist, dass der Strombedarf insgesamt aufgrund der Einführung elektrischer Wärmepumpen sowie des Übergangs zur Elektromobilität drastisch steigen wird.

3.2. Handlungsfeld Wärme

Mit 29 % Anteil an den Gesamtemissionen im Jahr 2018 hatte der Wärmesektor einen fast so hohen Einfluss auf die Klimabilanz wie der gesamte Sektor Private Haushalte. Der hohe Anteil resultiert vor allem aus der Verwendung von Erdgas und ferner von Heizöl. Den größten Anteil am Endenergiebedarf hat der Sektor der privaten Haushalte (siehe Abbildung 11). Zudem werden fast ausschließlich fossile Energieträger wie Öl und Erdgas eingesetzt. Von Velbert wurden durch lokale Anlagen 2 % des Wärmebedarfs gedeckt – primär durch Biomasse (1,8 %), und in kleinen Teilen durch Solarthermie (0,2 %), und Umweltwärme (<0,1 %).

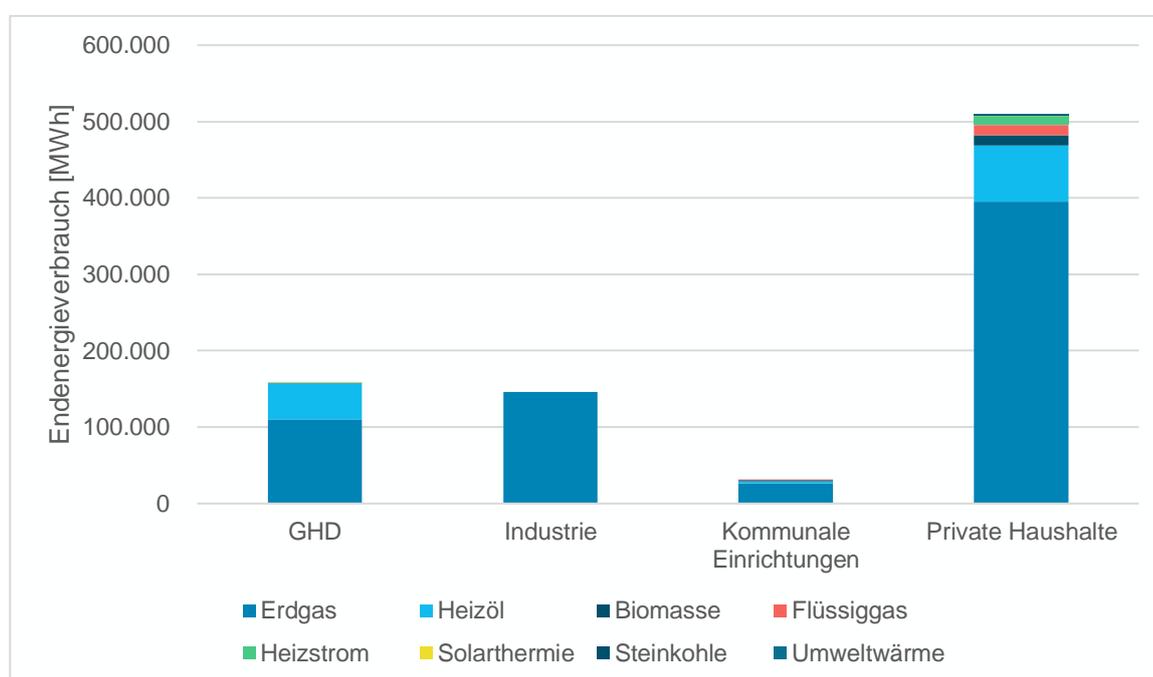


Abbildung 11: Verteilung der Wärmebereitstellung in 2018 (eigene Darstellung auf Basis des Klimaschutzplans, Velbert 2018),

In der bundesweiten Entwicklung konnte durch energetische Gebäudesanierung der spezifische⁹ Endenergieverbrauch für Raumwärme im Wohngebäudebestand seit dem Jahr 1990 um gut 25 % gesenkt werden (vgl. BMWK 2021).

Seit etwa zehn Jahren stagniert jedoch der spezifische Wärmebedarf bei etwa 130 kWh/m² - trotz umfangreicher Förderprogramme für den Gebäudebestand (siehe Abbildung 12).

⁹ Der spezifische Endenergieverbrauch ist der Verbrauch normiert auf die beheizte Wohnfläche eines Gebäudes und gibt an wie viel Energie zur Bereitstellung der Nutzenergie benötigt wird. Beispiel: der Gasverbrauch entspricht der Endenergie, die zur Erwärmung der Räume (Nutzenergie) benötigt wird inkl. der Umwandlungsverluste durch die Gastherme und Verteilverluste.

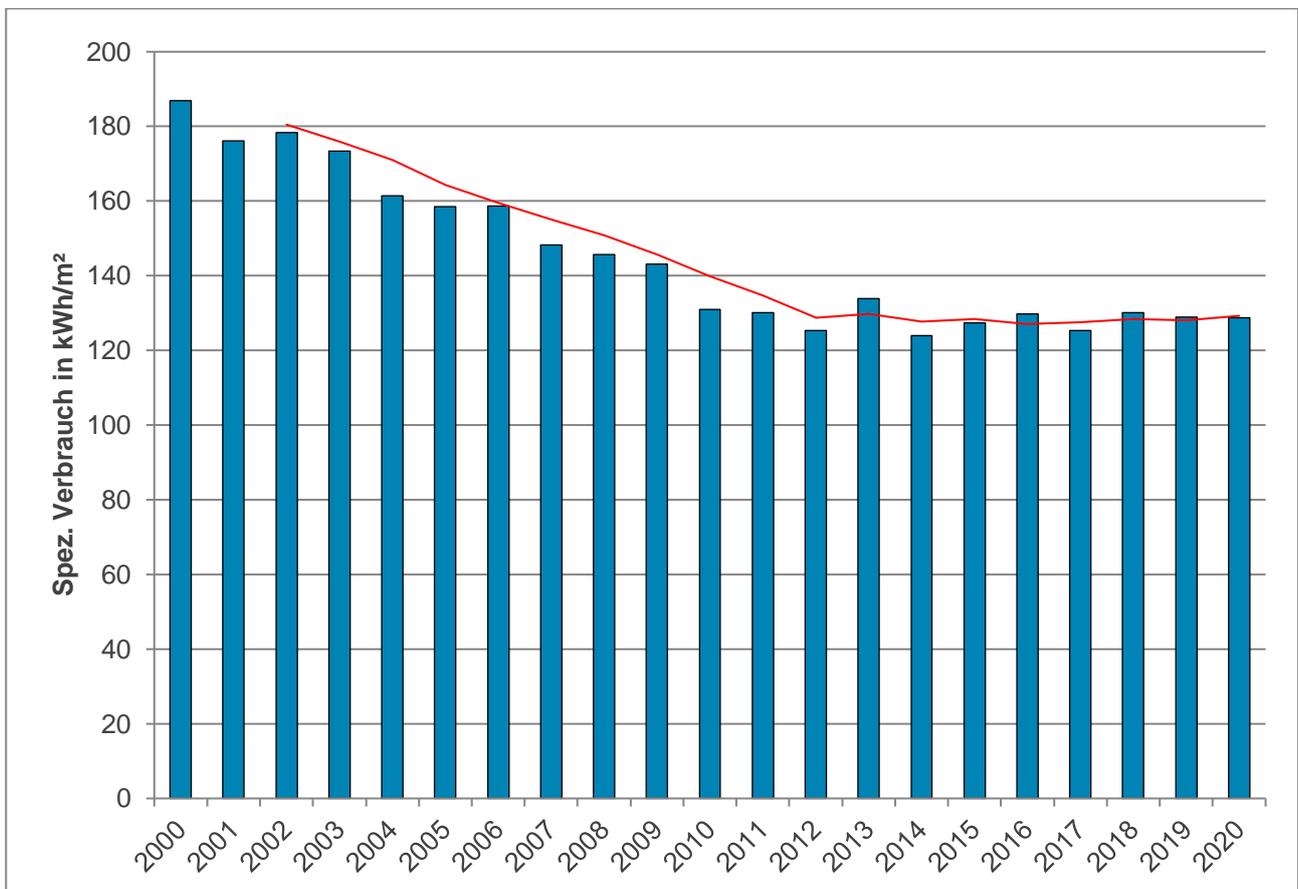


Abbildung 12: Spezifischer Endenergieverbrauch Raumwärme je m² Wohnfläche, (temperaturbereinigt) (Quelle: eigene Darstellung auf Basis von BMWK 2021).

Da zusätzlich neue Wohnungen gebaut werden, um den steigenden Bedarf an Wohnraum zu decken, war in den letzten Jahren auch absolut betrachtet keine Reduktion möglich.

Im Ergebnis ist der Endenergieverbrauch an Wärme im Gebäudesektor in den letzten zehn Jahren nur sehr wenig gesunken. Gegenüber dem Jahr 2008 hat sich der Raumwärmebedarf im Jahr 2018 nur um etwa 5 % verringert (temperaturbereinigt) (siehe Abbildung 13). Der Warmwasserbedarf ist leicht angestiegen (vgl. BMWK 2021). Die Vergangenheit hat gezeigt, dass Effizienzgewinne durchaus einen Effekt haben, aber nicht unbedingt die nötige Geschwindigkeit mit sich bringen, wenn das Ziel ist, die Emissionen so schnell wie möglich zu senken.

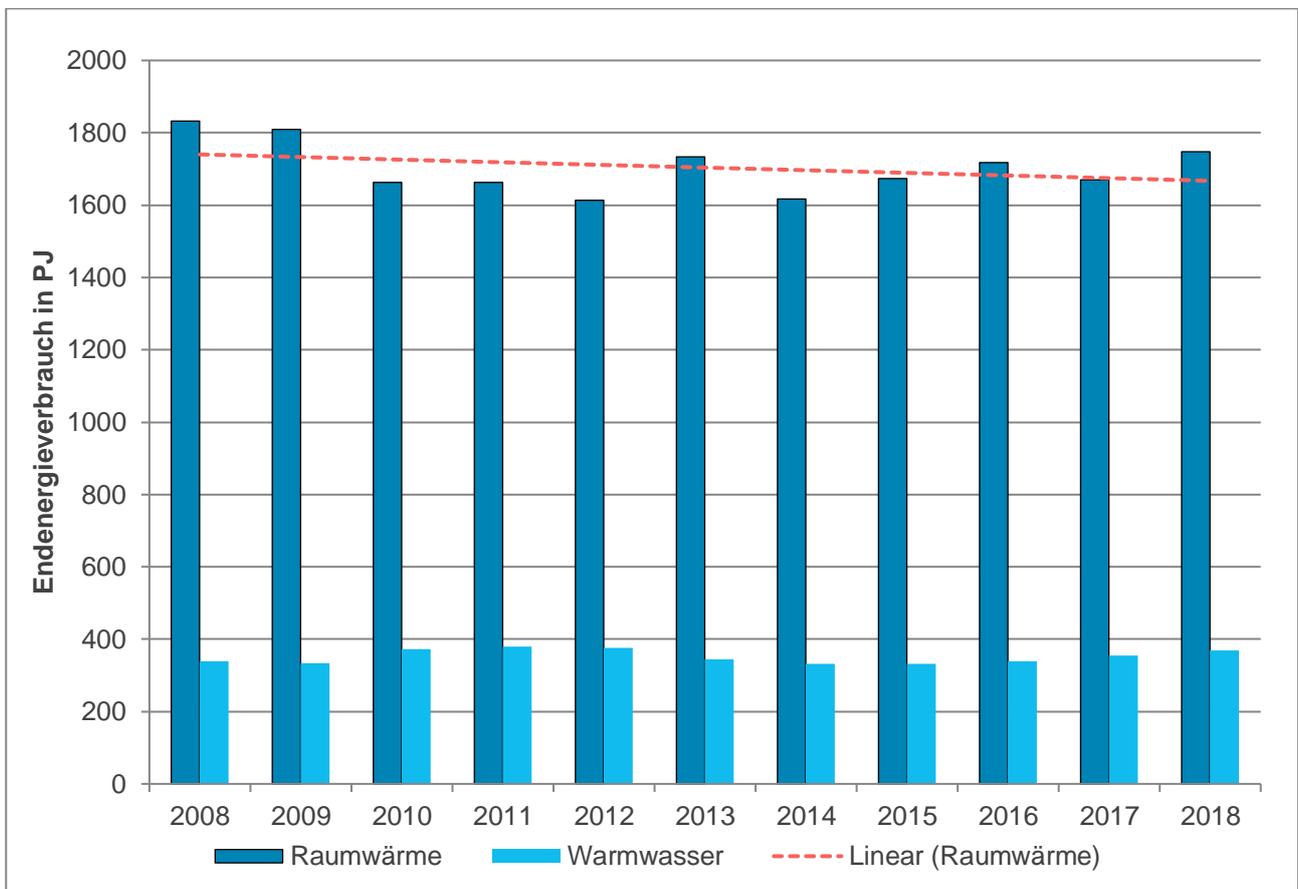


Abbildung 13: Absoluter Endenergieverbrauch Raumwärme und Warmwasser (eigene Darstellung auf Basis von BMWK 2021).

Im bestehenden Integrierten Energie- und Klimakonzept wurde das [Potenzial des Energieträgerwechsels](#) nicht näher untersucht. Auf Basis des historisch gestiegenen Bedarfs wird in der Potenzialanalyse vor allem darauf fokussiert, wie der Bedarf klimaneutral gedeckt werden kann und welche Rolle die Effizienzsteigerung bzw. Sanierung als ergänzende Maßnahme einnimmt, um diese Potenziale erschließen zu können. Eine reine Fokussierung auf die Effizienzsteigerung durch Sanierungserwartungen würde die Ziele sehr wahrscheinlich verfehlen.

Der Fokus sollte dabei auf den Einfamilienhäusern (EFH) und Zweifamilienhäusern (ZFH) liegen, da diese gemeinsam den größten Anteil am Gesamtwohnhausbestand abdecken (siehe Abbildung 14). Die Mehrfamilienhäuser (ab drei Wohnungen) bilden rund ein Viertel des Gesamtwohngebäudebestands ab. Hier können besonders gut Multiplikator*innen- und Skaleneffekte genutzt werden, wenn Wohnungsbauunternehmen Gebäude mit teils sehr ähnlicher Gebäudestruktur unterhalten und ganze Quartiere mit einer Maßnahme wie einer seriellen Sanierung oder einem grünen Wärmenetz in Richtung nachhaltigerer Wärmeversorgung bringen können.

Verteilung der Wohnungen nach Gebäudetyp in Velbert

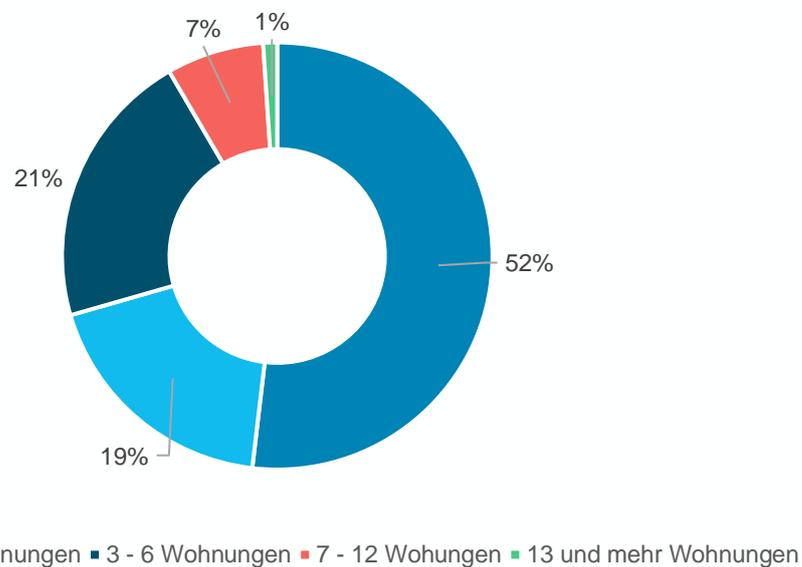


Abbildung 14: Verteilung der Wohnungen nach Gebäudetyp in Velbert (eigene Darstellung auf Basis von Landesamt für Statistik Nordrhein-Westfalen 2011).

In einer ähnlichen Größenordnung liegt auch der Anteil an Wohnungen, die bis 1978 gebaut wurden (siehe Abbildung 15). Der Hebel im Gebäudesektor ist damit bei den EFH und ZFH anzusetzen und Gebäuden, die mittlerweile über 45 Jahre alt sind und auf Basis der Energiedaten bis auf einige Ausnahmen noch fossil versorgt werden. Um eine effektive Emissionsminderung im Gebäudesektor zu erreichen, müssen die Maßnahmen später vor allem auf diese Gebäudetypen abzielen.

Verteilung der Wohnungen nach Baujahr in Velbert

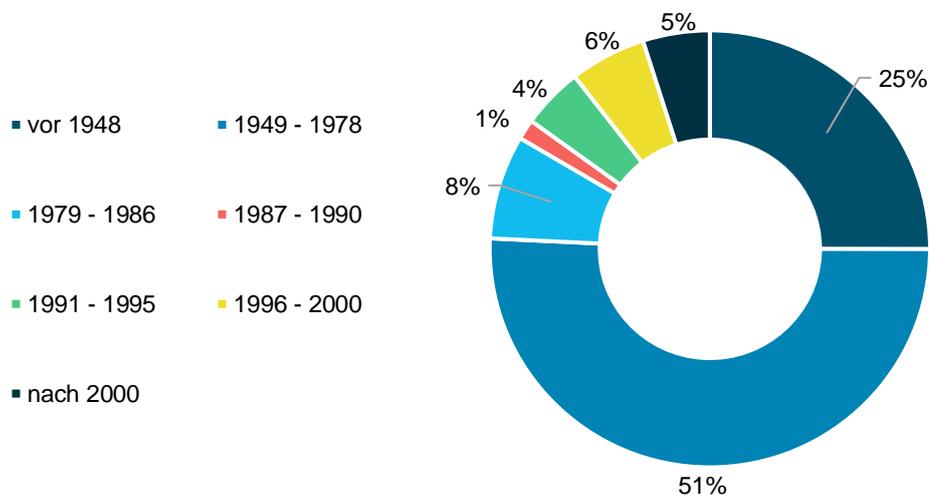


Abbildung 15: Verteilung der Wohnungen nach Baujahr in Velbert (eigene Darstellung auf Basis von Statistisches Landesamt Nordrhein-Westfalen 2011).

3.2.1. Suffizienz

Eine wesentliche klimarelevante Maßnahme aus dem Bereich der Suffizienz ist die effiziente Nutzung der Wohnflächen. Je mehr Menschen sich Wohnraum teilen, desto weniger Fläche muss pro Kopf beheizt werden. Das Potenzial wird sich nur schwer in geregelter Weise heben lassen, da man Menschen nicht vorschreiben kann, wie viel Wohnraum je Person angemessen ist. Allerdings ist ein häufiges Phänomen, dass ältere Personen in großen Wohnungen und Häusern wohnen, die einst von der gesamten Familie bewohnt waren. Dies erfordert viel Wärmebedarf pro Kopf und behindert zudem Sanierungsmaßnahmen oder Heizungsaustausch. Durch die Schaffung von **seniorengerechtem Wohnraum** in der Innenstadt oder in Mehrgenerationenhäusern kann ein Teil dieses Potenzials gehoben und der notwendige Neubau für Zugezogene verringert werden, wenn einzelbewohnte Häuser frei werden, weil den Lebensumständen besser angepasste Wohnformen zur Verfügung stehen. Der Wechsel der Bewohner:innen von Älteren auf Jüngere schafft eine passende Gelegenheit zur Sanierung und zu einem Wechsel der Heizungstechnologie.

Individuelle Suffizienzpotenziale ergeben sich u.a. durch eine Anpassung bzw. Verringerung der Raumtemperatur, um Verluste an die Umgebung zu verringern, und die Optimierung und regelmäßige Kontrolle der Heizungsanlage.

Das umsetzbare Potenzial der Suffizienz wird als gering eingeschätzt. Es lässt sich aufgrund der vielen Einflussparameter nicht quantifizieren und wird u.a. deswegen in vielen Systemstudien auch nicht beziffert. Das theoretische Potenzial, das unter anderem voraussetzt, dass die steigende Wohnfläche pro Person begrenzt wird und Rebound-Effekte eingedämmt werden, ist nach dem Kopernikus-Projekt Ariadne (2021) durchaus als relevant einzuschätzen. Die Grenzen einer spezifischen Wohnfläche pro Person werden beim zukünftigen Neubaubedarf berücksichtigt. Eine Übertragbarkeit bezüglich der Eindämmung von Rebound-Effekten auf Velbert wird sich allerdings erst in den nächsten Jahren herausarbeiten lassen, wenn erste Pilotprojekte nach deren Umsetzung evaluiert werden können.

3.2.2. Neubau

Der zukünftige Bedarf an Wohnraum durch Neubauten wird über die Bevölkerungsentwicklung in Velbert abgeschätzt. Laut der aktuell prognostizierten Bevölkerungsentwicklung der Stadt Velbert wird die Bevölkerung sich bis 2035 um 2,8 % verringern im Vergleich zu 2018 (vgl. Handlungskonzept Wohnen Stadt Velbert, 2020).

Auf Grund der sinkenden Anzahl an Einwohnenden gibt es voraussichtlich keinen starken Druck auf den Bau von neuen Wohnungen. Da aber tendenziell die Wohnfläche pro Person steigt (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021), und die Personenzahl pro Haushalt sinkt (vgl. Statistisches Bundesamt, 2020), wird es voraussichtlich auch weiterhin Neubauten geben. Derzeit befinden sich einige Wohnneubauprojekte in Velbert in der Umsetzung, und auch die Wohnungsbautätigkeit der letzten 14 Jahre zeigt einen zunehmenden Trend. So ließ sich in dem Zeitraum 2015-2020 eine höhere Wohnungsbautätigkeit feststellen als im Vergleich zum Zeitraum 2009-2013, da inzwischen mehr Ein- und Zweifamilienhäuser als Mehrfamilienhäuser gebaut werden. So kamen in den letzten fünf Jahren jährlich ca. 140 neue Wohnungen dazu, wobei 73 Ein- und Zweifamilienhäuser zuzuordnen sind (vgl. Handlungskonzept Wohnen Stadt Velbert, 2020). Im Bereich des Neubaus zeigt sich also ein verstärkter Bedarf an Ein- und Zweifamilienhäusern, welches sich durch einen verhältnismäßig geringen Anteil an EFH und ZFH im Vergleich zu anderen Kommunen erklären lässt. Dieser wachsende Bedarf führt zu einem höheren Wärmebedarf aufgrund der steigenden Wohnfläche. Für die Wohnfläche je Person wird ein Bedarf von 48 qm pro Kopf angesetzt (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021). In anderen Szenarien wird davon ausgegangen, dass sich die Wohnfläche pro Kopf

bis 2050 durch Wohlstandseffekte um 15 % erhöhen wird (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021)¹⁰. Um den Bau- und Energiesektor nicht stärker zu belasten als nötig, sollte seitens der Stadt darauf geachtet werden, dass der Wohnraum effizient genutzt werden kann. Eine Vorgehensweise wäre, Neubaugebiete nur noch als Wohnkomplexe zu denken und keine weiteren EFH mehr zuzubauen. Wenn der Nachfrage nach EFH und ZFH nachgegangen werden möchte, kann auch der Ansatz verfolgt werden, dass gezielt älteren, alleinstehenden Menschen, die in EFH wohnen, Unterstützung angeboten wird, in für sie passende Wohnräume umzuziehen, sofern der Wunsch besteht (siehe 3.2.1). Hierdurch wird Wohnraum in Form von bestehenden EFH für Familien frei. Dies führt zu einer effizienteren Nutzung des Wohnraums und kann somit den Bedarf an Neubauten senken. Zusätzlich könne man auch über die Aufstockung von Reihenhaushausquartieren nachdenken, um Bodenversiegelung und Wärmeverluste beim Zubau von Wohnraum einzudämmen.

Geht man davon aus, dass die durchschnittliche Wohnbautätigkeit wieder abnimmt und sich bei 100 Wohnungen pro Jahr im Schnitt einpendelt, dann ergibt sich bis zum Jahr 2045 eine Neubaupläche von 223.600 m² im Vergleich zu 2018, die beheizt werden müsste. Diese Schätzung beinhaltet die Annahme, dass die Wohnfläche der neugebauten EFH und ZFH zwischen 100-119 m², und die der restlichen Wohnungen wie im aktuellen Schnitt zwischen 60-79 m² liegen (40:60 Verhältnis EFH/ZFH zu MFH entsprechend der Wohnungsnachfrageprognose bis 2035 im Handlungskonzept Wohnen Stadt Velbert 2020). Wird für alle Neubauten der KfW-Effizienzhausstandard 40 angelegt, kann von einem spezifischen Wärmebedarf von 32,4 kWh/m²a (inkl. Warmwasser) ausgegangen werden (vgl. [Tabelle 8](#)). Würden die Neubauten alle im Passivhausstandard gebaut, kann der Bedarf zusätzlich um 5 kWh/m²a gesenkt werden, in dem z.B. eine Lüftung mit Wärmerückgewinnung eingebaut wird (vgl. Kleinertz et al. 2021).

Im Bereich der [Gewerbebauten](#) befindet sich seit 2022 der Bau eines Hotels sowie die Verlagerung bzw. Erweiterung eines Transportunternehmens und eines Maschinentransportunternehmens in der Umsetzung, welche in den nächsten Jahren zusätzlich mit Wärme versorgt werden müssen.

Daneben existieren sieben weitere Bauprojekte auf Gewerbeflächen, die teils schon begonnen haben. Darunter befindet sich z.B. der Bau eines Gewerbehofes, sowie die Revitalisierung alter Gewerbeimmobilien.

Im Neubau birgt die Verwendung von Holz als Primärbaumaterial Potenziale zur langfristigen Kohlenstoffspeicherung und besitzt daher Potenzial, die Graue Energie bei Neubauten zu senken.

Eine Leichtbauweise in Holzständerbauweise (Skelettbauweise) mit Dämmung mit Zellulose weist deutlich geringere „Graue“-Emissionswerte auf als eine klassische Massivbauweise (vgl. Mahler et al. 2019). Mit Blick auf das Ziel der Klimaneutralität bietet es sich hier besonders bei Modulbauweisen an eine Versorgung mit Solarenergie vom Dach frühzeitig mitzudenken.

Auch die Bauweise mit Brettspertholz weist deutliche Reduktionspotenziale auf (vgl. Committee on Climate Change 2018). Mit einem Restanteil von 12 % für Stahlbeton für die Gebäudegründung führen alternative Holzbauweisen gegenüber einer Massivbauweise zu einer Reduktion von insgesamt 70 % der CO₂-Emissionen in der Herstellungsphase (vgl. Mahler et al. 2019).

Für die quantitative Szenarienrechnung ist nur der Wärmebedarf der Neubauten entscheidend.

¹⁰ Aufgrund der abnehmenden mittleren Haushaltsgröße und von Wohlstandseffekten steigt die Pro-Kopf-Wohnfläche von 45 m² im Jahr 2018 auf 52 m² im Jahr 2050. Die Gesamtwohnfläche steigt von 3.885 Millionen m² im Jahr 2018 über 4.132 Millionen m² im Jahr 2030 auf 4.271 Millionen m² im Jahr 2050.

Tabelle 8: Auswirkung des Neubaus auf den Wärmebedarf bis 2045.

AUSWIRKUNG DES NEUBAUS BIS 2045	Zubau [m ²]	Wärmebedarf [kWh/m ² a]	Wärmebedarf [GWh/a]
PRIVATHAUSHALTE	223.600	32,4	7,2

3.2.3. Sanierung

Konventionelle Sanierung

Durch die Dämmung der Außenwand, des Daches oder der Kellerdecke und dem Austausch der Fenster, lässt sich der Heizwärmebedarf der Gebäude senken. In den vergangenen Jahren überwogen die Ansätze, die Emissionen vor allem durch die Reduktion des Raumwärmebedarfs zu verringern. Trotz der Förderprogramme konnte die Sanierungsrate auf Bundesebene in den letzten Jahren nicht merklich gesteigert werden und stagniert weiterhin auf einem Niveau von 1 % pro Jahr (vgl. Cischinsky und Diefenbach 2018). Der Bau-sektor und das Handwerk werden in den nächsten Jahren einen enormen Markthochlauf erfahren (müssen), wenn die angestrebten Sanierungsraten in unterschiedlichen Klimaszenarien erreicht werden sollen. Bis 2045 müssten sich laut Agora Energiewende die Kapazitäten auf 1,75 % pro Jahr steigern, um Klimaneutralität zu erreichen (vgl. Prognos, Öko-institut, Wuppertal Institut 2021). Insofern ist die größte Herausforderung für die Wärmewende im Gebäudesektor, begrenzte Sanierungskapazitäten auf der Zeitachse bis 2045 klug zu verteilen und die Sanierung zusammen mit der Umrüstung auf erneuerbare Wärme zu kombinieren. Dies sollte auch in Velbert mittels einer Progressivitätsanalyse so angegangen werden.

Der Sanierungsstand der Wohngebäude ist in Velbert nicht bekannt. Im weiteren Verlauf wird die Sanierungsrate als Prozentsatz der jährlichen Vollmodernisierungsäquivalente im Wohngebäudebestand nach Walberg und Gniechwitz (2016) bezeichnet. Sie ist das Produkt aus der Sanierungsquote in Zusammenspiel mit der Sanierungseffizienz bezogen auf eine Referenzsanierungstiefe. Über die Umrechnung in Vollmodernisierungsäquivalente lässt sich der Einfluss des Verhältnisses der Anteile zwischen Vollmodernisierungen und Teilsanierungen in einem Wert abbilden. Die aktuell realisierte Sanierungseffizienz in Deutschland wird bei 35 % angesetzt und gibt das Verhältnis zwischen Wärmebedarf vor der Sanierungsmaßnahme und dem Wärmebedarf nach erfolgter Sanierung an (vgl. BCG 2021). Bis 2040 sollte dieser Wert in Deutschland auf 50 % steigen (vgl. Tschimpke et al. 2011).

Um 2045 klimaneutral zu werden, wird eine Sanierungseffizienz von 50 % angesetzt. Dies entspricht in der Regel einer Sanierung auf das Niveau des Effizienzstandards KfW 55 bis KfW 70 (vgl. Luderer 2021).

Alle Gebäude, die aufgrund der Eigentümer:innenstruktur mittelfristig keine tiefgreifenden Sanierungen erfahren werden, sollten durch minimalinvasive und minimalinvestive Maßnahmen energetisch verbessert werden. Wenn durch das fortgeschrittene Alter der Bewohner:innen oder Eigentümer:innen keine großen Sanierungsmaßnahmen mehr finanzierbar sind und die Personen keine anderen Wohnformen wie z.B. senioren-gerechtes Wohnen wünschen, kann durch minimalinvestive Maßnahmen dennoch ein Reduktionspotenzial gehoben werden. Dazu zählt unter anderem der hydraulische Abgleich der Heizungsanlage oder Einbau von Heizungsventilen, die diesen Abgleich automatisch vornehmen können. Durch smarte Heizungsthermostate kann die Raumtemperatur komfortabel geregelt werden und durch die präzise Erfassung der Temperaturen und entsprechende Steuerung der Heizung zusätzlich Energie gespart werden.

Eine Quantifizierung dieses Potenzials in Bezug auf die Einspareffekte wird nicht vorgenommen, da ohne Daten auf Einzelgebäudeebene nicht erfassbar ist, wie viele Gebäude unter diese Maßnahme fallen.

Im Rahmen einer stadtweiten [Progressivitätsanalyse](#) sollte ermittelt werden, welche Gebäude den höchsten Anteil an den CO₂-Emissionen haben und damit unter begrenzten Sanierungskapazitäten zuerst saniert werden sollten. Durch die Clusterung in verschiedene Typengebäude nach Ausgangszustand, Gebäudetyp und Gebäudealtersklasse können auf dieser Basis serielle Sanierungsfahrpläne entwickelt werden, die den effektivsten Weg zur Senkung des Nutzwärmebedarfs aufzeigen und das Potenzial vollständig heben lassen.

Da davon ausgegangen wird, dass in Velbert keine deutlich höheren Sanierungsraten als im Rest von Deutschland umgesetzt werden können, werden die Sanierungsraten aus dem bereits genannten Szenario für ein klimaneutrales Deutschland 2045 verwendet (vgl. Prognos, Öko-institut, Wuppertal Institut 2021) (vgl. [Tabelle 9](#)). Durch den Einsatz [serieller Sanierungspläne](#) lässt sich das Potenzial bei sinnvoller Umsetzung gegebenenfalls etwas steigern. Wie hoch das Steigerungspotenzial der Sanierungsquote durch serielle Sanierungsansätze über ein gesamtes Stadtgebiet ist, lässt sich nicht beziffern. Durch die Vorgabe von beispielhaften Zielzuständen kann allerdings auf eine höhere Sanierungstiefe hingewirkt werden. Statt von 35 % Minderung wird deswegen in der Potenzialanalyse von einer Minderung um 50 % ausgegangen, die in etwa dem Effizienzhaus 55-70 Standard entspricht (Luderer et al. 2021). Dass von keiner tiefergehenden Sanierung auf z.B. den Effizienzhaus 40 Standard ausgegangen wird, liegt daran, dass dieser Zielzustand aus Kosten-Nutzen-Sicht nicht zu präferieren ist (Luderer et al. 2021).

Auswirkungen der Sanierungsaktivitäten lassen sich nicht auf Gebäudeebene aufschlüsseln, da die entsprechenden Daten des Bestands nicht vorliegen. Die Sanierungsquote wird daher gemittelt über die Sanierungstiefe auf den Velberter Wärmebedarf angewandt. Werden im Rahmen der Progressivitätsanalyse Gebäude oder Gebäudecluster gefunden, die überproportionalen Anteil am Wärmebedarf haben, kann die entsprechende Reduktion auch dann erreicht werden, wenn in den ersten Jahren noch keine ausreichenden [Handwerkskapazitäten](#) zur Verfügung stehen. Für den gesamten Gebäudesektor werden die gleichen Sanierungsraten angenommen.

[Tabelle 9: Zusammenfassung von Sanierungseffekten in privaten Haushalten und Gewerbe von 2023 bis 2045](#)

	Mittlere Sanierungsrate [%/a]	Sanierungseffizienz
2023 - 2030	1,5	50 %
2031 - 2045	1,75	50 %

In [Abbildung 16](#) ist veranschaulicht, wie groß das Potenzial durch Sanierungsaktivitäten bis 2045 ist. Auch wenn die Sanierungsrate in den nächsten Jahren deutlich gesteigert wird und die Sanierung nicht nur Teil-sanierungen umfasst, wird sich der Wärmebedarf kaum unter 78 % des IST-Niveaus senken lassen.

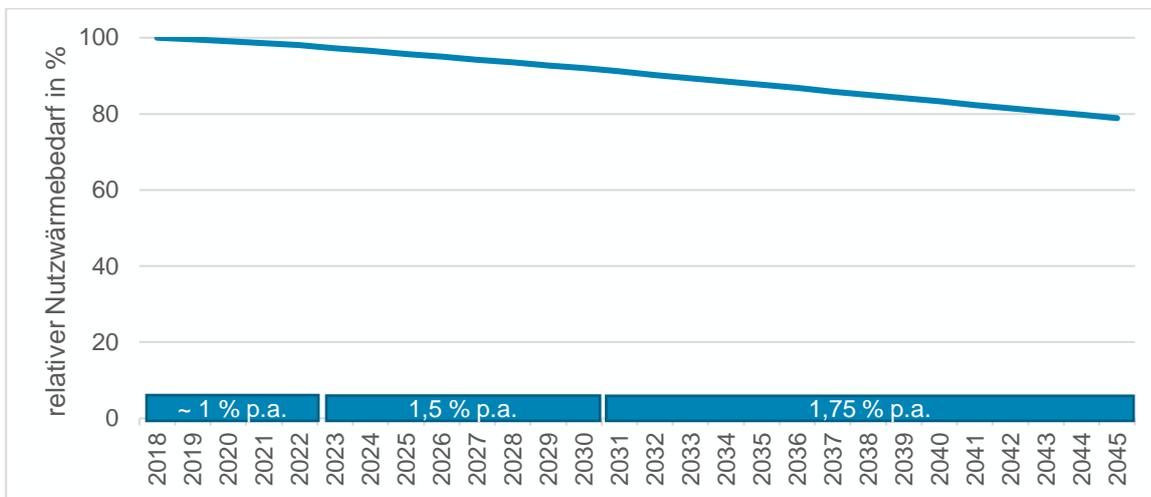


Abbildung 16: Relativer Einfluss der Sanierungsraten auf den Nutzwärmebedarf (eigene Darstellung).

3.2.4. Erzeugung

Welche **Potenziale zur Wärmeversorgung** genutzt werden können, hängt maßgeblich davon ab, ob die Wärme über ein Warmwassernetz an einen Quartiersverbund, bestehend aus mehreren Häusern, geliefert wird oder ob jedes Haus eine eigene Erzeugungseinheit besitzt.

Die leitungsgebundene Wärmeversorgung durch ein Wärmenetz bietet im Vergleich zur dezentralen Objektversorgung gleich mehrere Vorteile:

- Der Effekt der Gleichzeitigkeit führt zu geringerer Installation von Gesamtkapazitäten.
- Skaleneffekte sorgen zudem für eine bessere Wirtschaftlichkeit (wenige große Anlagen im Vergleich zu vielen dezentralen Wärmeerzeugern).
- Möglichkeiten der Diversifizierung der Erzeugungseinheiten und Nutzung von Synergien
- Raumgewinn in Gebäuden durch Ersatz der Erzeugungsanlagen durch eine kleinere Wärmeübergabestation
- Geringere Instandhaltungskosten und wartungsärmerer Betrieb
- Hoher Komfort für Verbraucher:innen

Der größte Vorteil ist jedoch, dass mit einem Wärmenetz eine größere Hebelwirkung bei der Umstellung hin zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung geschaffen wird.

Auch die Nachteile der leitungsgebundenen Wärmeversorgung sollten angesprochen werden:

- Zusätzliche Investitionen in den Trassenbau (der allerdings sehr gut gefördert wird)
- Baumaßnahmen im öffentlichen Raum
- Zusätzliche Wärmebedarfe durch Wärmetransportverluste
- Netze sind stets natürliche Monopole, so dass Monopolrenditen zu Lasten der Verbraucher:innen vermieden werden müssen.
- Wärmenetze sind vor allem dann wirtschaftlich, wenn möglichst viele Nutzer:innen angeschlossen werden.

Bei guten Rahmenbedingungen erzielen Wärmenetze gegenüber dezentraler Versorgung durch Skaleneffekte deutlich geringere Wärmeentstehungskosten. Zudem kann das System

Erzeugungsanlagen mit hohen Leistungsdichten (z.B. Industrieabwärme oder Tiefengeothermie) einbinden, die in einer dezentralen Versorgung nicht eingesetzt werden können.

Entscheidender Faktor für die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes ist neben dem verfügbaren Potenzial an günstigen Wärmequellen die Wärmedichte in einem Gebiet. Die Wärmedichte gibt an, wie hoch der Wärmeabsatz auf einer bestimmten Fläche ist und bietet sich daher als erster Indikator dafür an, ob der Neubau eines Wärmenetzes näher geprüft werden sollte. Ist die Wärmedichte zu gering, steigen die Verluste aufgrund der langen Leitungen an und das Vorhaben wird eventuell unwirtschaftlich. Bei hohen Wärmedichten ist das Verhältnis von Leitungslänge zu Wärmeabsatz deutlich vorteilhafter und die Wärmeverluste sind nicht mehr so ausschlaggebend.

In Velbert wurde das Potenzial von Wärmenetzen auf Basis eines Wärmealanten überschlägig abgeschätzt und eingeordnet. Hier liegen die Potenziale vor allem in der Innenstadt inkl. anschließender Gebiete von Velbert-Mitte, sowie in Teilen entlang der Heidestr./Heiligenhauser Str. südwestlich der Innenstadt, in welcher eine ausreichende Wärmedichte vorliegt, um ein Wärmenetz wirtschaftlich zu realisieren.

In den auf [Abbildung 17](#) dunkelrot eingefärbten Bereichen in Velbert-Mitte ist eine Wärmedichte von über 80 kWh/m² auf Basis von Bedarfsprognosen errechnet worden (vgl. sEEnergies 2021). Diese sind grob abgeschätzt und müssten konkret überprüft bzw. ermittelt werden. Um ein Wärmenetz zu realisieren, ist eine minimale Wärmedichte von 70 kWh/m² notwendig, um die Leitungsverluste aufgrund der Streckenlänge einzudämmen (vgl. C.A.R.M.E.N. e.V. 2017). Durch einen Verschnitt des potenziellen Netzgebiets mit den Wohnflächen der Gebäude im Netzbereich, lässt sich das Potenzial einordnen. Es wird überschlägig davon ausgegangen, dass in den Potenzialgebieten ein Anschluss von Gebäuden erreicht werden kann, der einem vollständigen Anschluss aller Gebäude entspricht. Die realen Anschlussquoten werden in der Umsetzung sehr wahrscheinlich vor allem in den ersten Jahren geringer ausfallen, da Alter der Gebäudeheizanlagen (technische Lebensdauer) und Anschluss nicht in allen Fällen abgestimmt werden können, da Heizanlagen teilweise noch kurz vor Projektbeginn eingebaut wurden. Es wird davon ausgegangen, dass in den Randbereichen weitere Gebäude erschlossen werden können, die nicht im konkret eingegrenzten Bereich liegen und damit zu fehlenden Anschlussmengen ausgleichen können.

Die Stadtbezirke Velbert-Langenberg und Velbert-Neviges weisen auf Basis einer überschlägigen Betrachtung auf Basis der Wärmedichte keine hohen Potenziale für Wärmenetze auf (siehe [Abbildung 18](#)). Im Rahmen der Wärmeplanung ist zu prüfen, ob in den Bereichen Wärmequellen sehr wirtschaftlich genutzt werden könnten, die ein Wärmenetz auch bei geringen Wärmedichten wirtschaftlich umsetzen lassen oder Wärmequellen aus technisch/rechtlichen Gründen nicht am Gebäude erschlossen werden können und den Bau eines Wärmenetzes notwendig scheinen lassen.

Zusätzliches Potenzial ergibt sich im Bereich von Ankerkunden wie zum Beispiel Schulkomplexen, die sich auf Grund der hohen Belegungsdichte und der konzentrierten Eigentumsverhältnisse sehr gut für Netzlösungen eignen. Ein erstes etabliertes Nahwärmenetz betrieben durch die Stadtwerke Velbert versorgt zudem bereits zwei Schulen in Velbert-Mitte. Prüfungen für weitere Nahwärmenetze finden bereits statt, z. B. für die Schlossanlage Hardenberg in Velbert-Neviges und den Schulstandort Schwanefeld in Velbert-Mitte.

Auf dieser Basis wird in Velbert die Hebelwirkung bei einer Umsetzung von Wärmenetzen in den potenziellen Netzgebieten als eher gering eingeschätzt, da sich im relevanten Innenstadtbereich nur rund 8 % und in den zu prüfenden Bereichen entlang der Heidestr./Heiligenhauser Str. lediglich 0,6 % der Gebäude Velberts befinden. Der restliche Bereich der Gebäude, außerhalb der potenziellen Wärmenetzgebiete, wird auch in Zukunft sehr wahrscheinlich über Einzellösungen am Gebäude versorgt werden müssen.

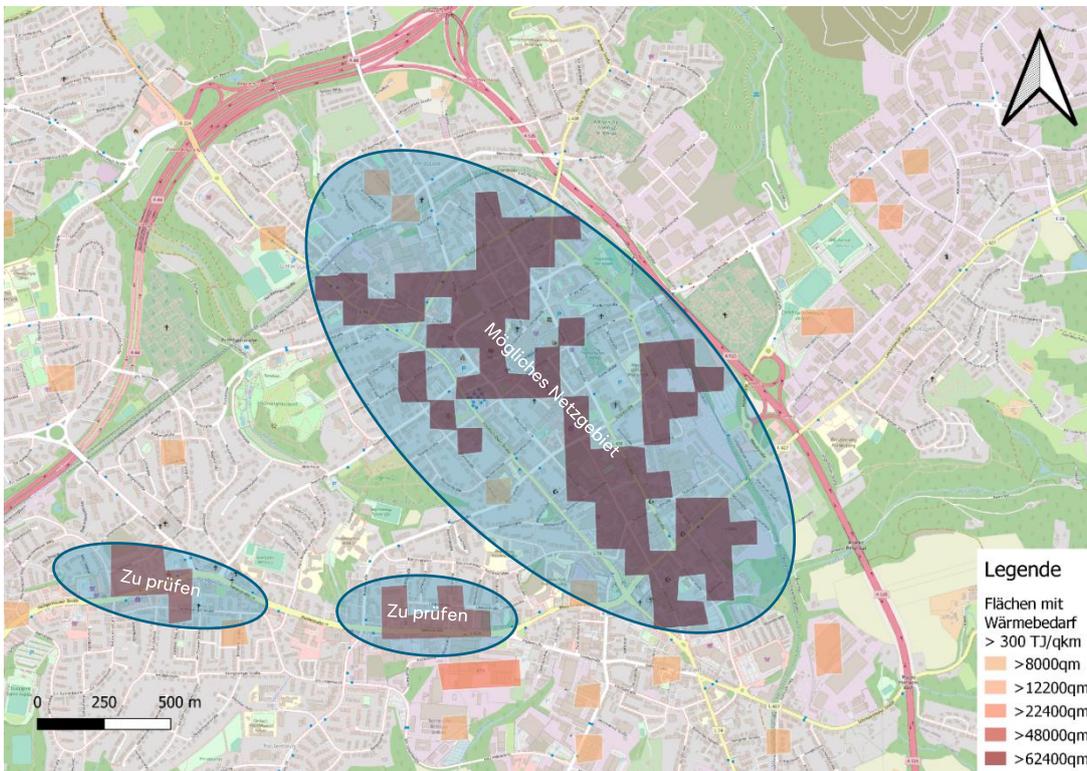


Abbildung 17: Karte der Wärmedichten und potenziellen Wärmenetzgebiete in Velbert-Mitte (Quellen: Hintergrundbild: Pan-European Thermal Atlas 5.2 (arcgis.com)).

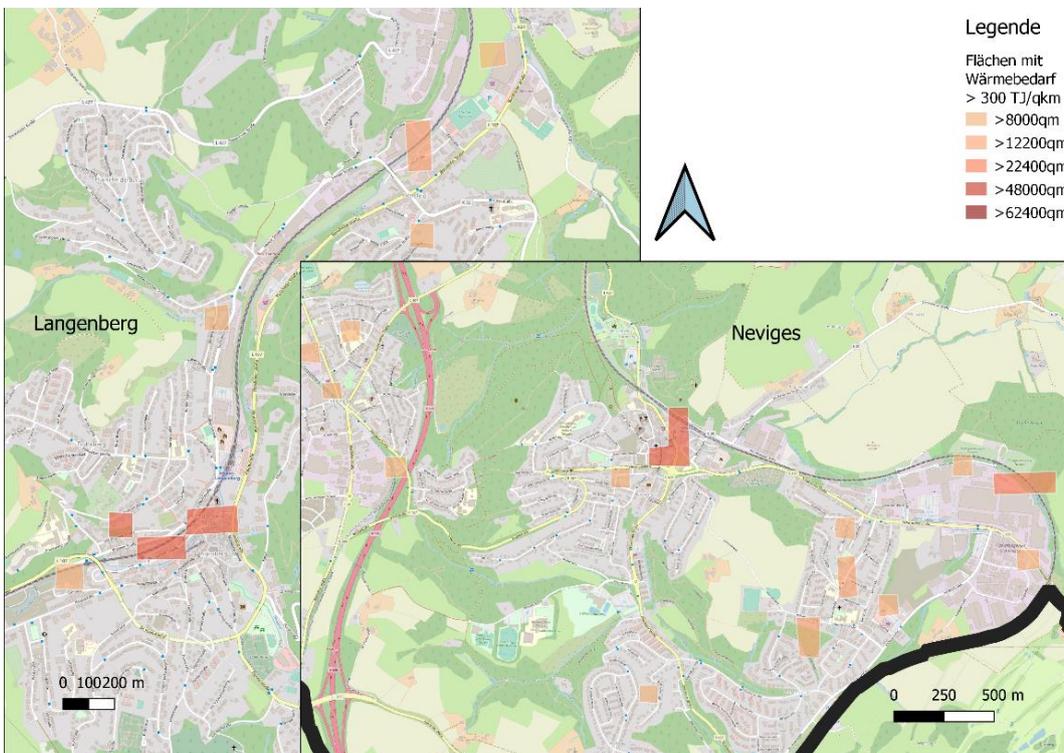


Abbildung 18: Karte der Wärmedichten in Velbert-Nevigis und Velbert-Langenberg (Quellen: Hintergrundbild: Pan-European Thermal Atlas 5.2 (arcgis.com)).

Neben konventionellen Wärmenetzen, die die Temperatur direkt auf dem Niveau der Vorlauftemperatur der Heizkörper ins Haus liefern, gibt es auch Niedertemperaturwärmenetze, die sehr gut in Verbindung mit Flächenheizkörpern funktionieren. Mit dem Hochlauf von Wärmepumpen ist in den letzten Jahren auch das Konzept der kalten Nahwärme immer öfter als Art der Wärmeversorgung umgesetzt worden, wobei sich die Umsetzung bisher vor allem auf Neubaugebiete konzentriert. Die kalte Nahwärme kann aufgrund der geringen Temperaturen (5-25°C) nicht direkt in den Heizkörpern genutzt werden, sondern muss erst über Wärmepumpen auf das entsprechende Niveau gehoben werden. Diese Art der Versorgung bietet den Vorteil, dass die Umweltwärmequellen (wie u.a. Luft oder Geothermie) nicht direkt am Haus erschlossen werden müssen, was im dichten Bestand aufgrund mangelnder Flächen nicht immer möglich ist. Durch den Einsatz kalter Nahwärme kann unter anderem die Wärme aus einem Erdkollektorenfeld in etwas Entfernung zum Quartier genutzt werden. Dem Wärmeträgermedium wird durch die Wärmepumpe Energie entzogen, wodurch es abkühlt. Durch die anschließende Zirkulation im Erdkollektor erwärmt sich das Medium wieder, indem es dem Boden die Umweltwärme entzieht. Kalte Nahwärme sollte individuell geprüft werden, wenn die Erschließung anderer Quellen aufgrund lokaler Gegebenheiten nicht möglich ist.

Abwärme

Gewerbliche Abwärme kann je nach Temperaturniveau entweder direkt ins Wärmenetz eingespeist werden oder muss bspw. durch eine elektrische Wärmepumpe auf ein entsprechendes Temperaturniveau angehoben werden. Eine sinnvolle Nutzung von Abwärme im Energiesystem lässt sich in der Regel am besten im Rahmen von [Quartierslösungen](#) realisieren. Für die wirtschaftliche Integration der Abwärme ist neben einem räumlichen Zusammenhang vor allem die zeitliche Verfügbarkeit der Abwärme relevant.

Im Rahmen von Wärmenetzplanungen sollten umliegende Betriebe wie BHKW, Biogasanlage, Autolackierer und Schweißbetriebe auf ihr Abwärmepotenzial detailliert geprüft werden. Eine schnelle Übersicht hierfür liefert der Energieatlas von NRW (www.energieatlas.nrw.de).

Solarthermie

Mit Hilfe von Solarkollektoren kann aus der Sonnenenergie Wärme für eine Bereitstellung von Wärme und Trinkwarmwasser verfügbar gemacht werden. Dabei zirkuliert Wasser in den Kollektoren, das über die an der Oberfläche absorbierte Solarstrahlung erwärmt und durch Pumpen in die Energieversorgung des Gebäudes eingebunden wird. Bei Solarthermie-Kollektoren wird je nach Anwendungsfall insbesondere zwischen Flach- und Vakuumröhrenkollektoren unterschieden.

Solarthermie-Kollektoren werden innerhalb von Quartieren auf Dachflächen vorgesehen. Neben Aufdachanlagen gibt es auch die Möglichkeit der Errichtung auf der Freifläche. Zudem sind weitere Nutzungskombinationen z.B. in Verbindung mit Gewächshäusern denkbar, was ein interessantes Leuchtturmprojekt darstellen könnte. Dahinter steckt das vom Hamburg Institut entwickelte Konzept der solaren Nachbarschafts-Gewächshäuser, das insbesondere für Wohnungsbauunternehmen, die auch die Lebensqualität im Wohnumfeld im Blick haben, geeignet ist und in enger Zusammenarbeit mit der Stadtplanung zu erstellen ist. Es stellt darauf ab, Solarkollektoren in einem multi-funktionalen Kontext zu errichten. Dabei greift es aktuelle gesellschaftliche Entwicklungen – das sog. „Urban Gardening“ auf. Das Konzept verknüpft die Solarkollektoren bautechnisch mit eigens dafür konstruierten Gewächshäusern (Abbildung 19). Neben der solarthermisch erzeugten Wärme bietet es den Mehrwert, dass es Nachbarschaften zur nachhaltigen Nahrungsmittelproduktion aktiviert und den gesellschaftlichen Zusammenhalt in urbanen Räumen stärkt.



Abbildung 19: Solare Nachbarschafts-Gewächshäuser (Quelle: Hamburg Institut).

Solarthermieanlagen benötigen einen hohen Anteil direkter Strahlung zur Wärmegewinnung, weshalb die Kollektoren in einem Neigungswinkel von 30° bis 45° zur Sonne ausgerichtet werden. Dies macht bei Flachdächern ein Aufständern der Kollektoren erforderlich.

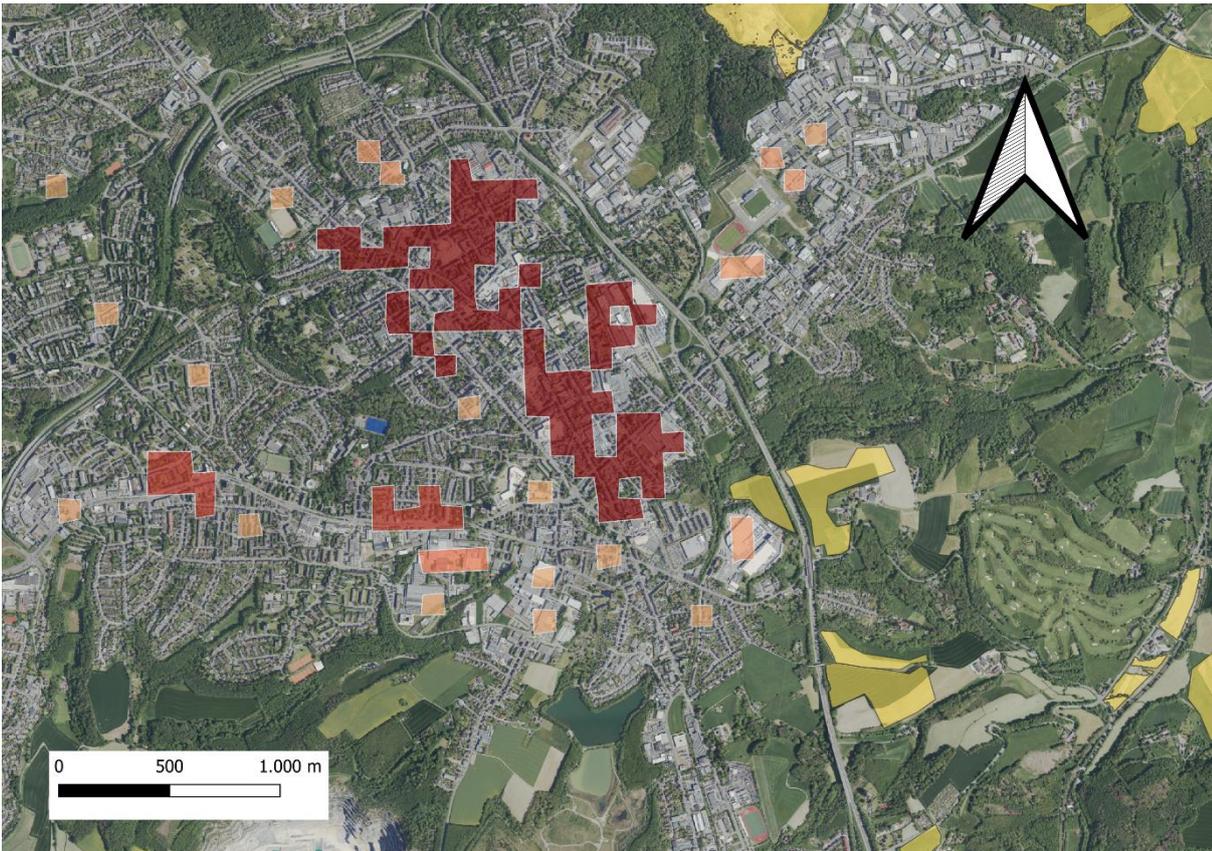
In der Regel kann in der Einzelgebäudeversorgung ein Deckungsbeitrag zur Wärmeversorgung von bis zu 20 % erreicht werden. Höhere Deckungsbeiträge sind durch die saisonale Verteilung und den Tagesgang der Sonne meistens nicht wirtschaftlich darstellbar.

Bei der Belegung der Dachflächen ist darauf zu achten, dass durch die Solarthermie keine mögliche PV-Flächen verlorengehen. Mit Blick auf eine bevorstehende Elektrifizierung des Wärme- und Mobilitätssektors ist die Belegung mit PV-Modulen die Option, die in Zukunft den überwiegenden Teil an solaren Aufdachanlagen ausmachen wird (Dunkelberg, Weiß, Möhring, Maaß, & Sakhel, 2021).

Im Einzelfall kann eine Unterstützung durch Solarthermie am Einzelgebäude sinnvoll sein, wenn z.B. auch auf lange Sicht noch mit (biogenen) Brennstoffen geheizt wird (bspw. Pellets oder Scheitholz). In den Sommermonaten kann dadurch Brennstoff gespart werden. Da das Potenzial an Biomasse zur Raumwärmenutzung sehr begrenzt ist und die Solarthermie nur rund 20 % des Wärmebedarfs decken kann, ist das Potenzial im unteren einstelligen Prozentbereich anzusiedeln und wird in der vorliegenden Untersuchung für Velbert daher vernachlässigt.

Wesentlich erfolgversprechender ist der Einsatz der Solarthermie in Wärmenetzen, weil durch die Skaleneffekte wirtschaftliche Vorteile gegenüber Einzellösungen genutzt werden können. Die Wärme aus **Freiflächensolarthermieanlagen** kann sehr günstig und vor allem zu sehr stabilen Preisen in den Netzen genutzt werden. In Kombination mit anderen Nutzungen (auch Multicodierung genannt), kann die Fläche neben der Energiegewinnung zum Beispiel auch für urbane Gärten genutzt werden (siehe Abbildung 19). Aber auch hier konkurriert die Solarthermie mit der PV. Letztere sollte in der Freifläche in Velbert vorerst den Vorzug vor der Solarthermie bekommen, solange es noch keine konkreten Umsetzungspläne für Wärmenetze gibt.

In 2018 wurden auf dem Stadtgebiet Velbert 1.657 MWh durch Solarthermie zur Wärmeerzeugung produziert, welches lediglich 0,2 % des derzeitigen Wärmeverbrauches entsprach. Mehrere Wärmenetze sind in Velbert derzeit in Planung oder werden geprüft. In unmittelbarer Nähe zum potenziellen Wärmenetzgebiet der Innenstadt Velbert sind vier potenzielle PV-Freiflächen ausgewiesen, welche theoretisch auch für Solarthermie genutzt werden können (siehe [Abbildung 20](#)). Somit besteht zumindest bedingt ein Potenzial bei der Solarthermie. Das nähere Potenzial kann im Rahmen der Wärmeplanung ermittelt werden.



[Abbildung 20](#): Karte der Wärmedichten und potenziellen Wärmenetzgebiete in Velbert-Mitte (dunkelrot) zusammen mit den Potenzialflächen für PV-Freiflächenanlagen, die ebenfalls für Solarthermie genutzt werden können (gelb).

Falls die Prüfung für den Neubau von Wärmenetzen positiv verläuft, sollte die Nutzung von Solarthermie bei zukünftigen Flächennutzungen neu geprüft werden. Auf Flächen, die sich auch für eine EEG-Vergütung eignen, ist auch eine Doppelnutzung durch PVT-Kollektoren (Photovoltaik & Solarthermie) denkbar und die konkrete Umsetzung zu prüfen.

Geothermie

Tiefengeothermie bezeichnet die Nutzung von Erdwärme bei einer Tiefe von über 400 m. Sie zeichnet sich gegenüber der oberflächennahen Geothermie vor allem durch deutlich höhere Temperaturen aus und kann damit direkt, d.h. ohne vorherige Aufbereitung durch eine Wärmepumpe, zu Heizzwecken genutzt werden. Neben der Nutzung als Wärmequelle kann Tiefengeothermie auch bei der Stromerzeugung zum Einsatz

kommen, erfordert hierfür aber Tiefen von 2.000 Metern und mehr, um realistischerweise auf über 100 Grad zu kommen.

Da der Ertrag der Tiefengeothermie nicht maßgeblich vom Wetter abhängig ist, weist diese erneuerbare Technologie eine sehr hohe Verfügbarkeit auf. Die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Tiefengeothermie hängt maßgeblich von der Beschaffenheit des Untergrundes ab, welche oftmals in den relevanten Tiefen von großer Unsicherheit gekennzeichnet ist.

Damit birgt die Nutzung von Tiefengeothermie große wirtschaftliche Risiken. Sinnvoll ist die Erschließung besonders, wenn es zu der Wärmequelle auch eine ausreichend große Senke in Form eines Wärmenetzes gibt, die eine ausreichend hohe und kontinuierliche Nachfrage bietet, um auch in den Sommermonaten die Wärme abzunehmen.

Im Zuge von Potenzialstudien zu Quartiersnetzen sollte die Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit von tiefer Geothermie in der Potenzialanalyse näher geprüft werden. Eine Quantifizierung und Einordnung der Daten in den Kontext eines möglichen Wärmenetzes ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Die Stadt Velbert sollte sich zur näheren Prüfung des Potenzials unterstützend einbringen und zum Beispiel bei der Suche nach geeigneten Grundstücken Hilfestellung leisten.

Wasserstoff

Wasserstoff gilt als zukünftig wichtiger Baustein und bedeutender Energieträger für eine erfolgreiche Umsetzung der Energiewende, sofern er mit erneuerbaren Energien erzeugt und hierdurch als klimaneutral eingestuft wird. Als gasförmiger Brennstoff lässt er sich gut, wenn auch aufwändiger als andere Gase, speichern, transportieren und soll überall dort Kohle und Erdgas verdrängen, wo sehr hohe Temperaturen erzeugt werden müssen, die mit Hilfe anderer Technologien nicht erreichbar sind.

Der Einsatz von erneuerbaren Energien für Wasserstoff betrifft sowohl den Energieeinsatz im Elektrolyseur selbst als auch die vorgelagerten Prozesse wie z.B. Wasseraufbereitung und Entsalzung.

Der große Nachteil besteht in dem niedrigen Wirkungsgrad, also den hohen Verlusten bei der Umwandlung von Strom und Wasser in Wasserstoff und von dort wieder in Strom oder Wärme. Für 1 kg Wasserstoff mit einem Heizwert von 33 kWh müssen 50 kWh Strom eingesetzt werden. Deshalb erfordert der Einsatz von Wasserstoff einen umso höheren Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten, weshalb davon auszugehen ist, dass der benötigte Wasserstoffbedarf nur mit massiven Importen aus dem Ausland gedeckt werden kann. Wasserstoff wird in Pipelines vermutlich nur bis ca. 4.000 km wirtschaftlich vorteilhafter gegenüber dem Schiff transportiert werden können. Insofern werden große Mengen per Schiff nach Europa importiert, wofür der Wasserstoff teilweise zunächst in Ammoniak umgewandelt werden muss, um dann am Zielort wieder in Wasserstoff umgewandelt zu werden. Vielleicht setzt sich das Schiff auch auf kürzeren Strecken durch, weil der Pipelinebau, aber auch eine mögliche Umrüstung bestehender Erdgasleitungen sehr viel Zeit in Anspruch nehmen wird

Für den Zeitraum bis zur Klimaneutralität, bundesweit 2045, wird Wasserstoff ein sehr knappes Gut sein. Die Kapazitäten für Elektrolyseure sind noch nicht gebaut, die globale Transportlogistik fehlt ebenso wie die notwendigen erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten, um grünen Wasserstoff in großen Mengen zu erzeugen. Vor diesem Hintergrund wird der Einsatz von Wasserstoff einer strengen Priorisierung folgen, wo keine adäquaten Alternativen zur Verfügung stehen und der Infrastrukturbedarf für den Wasserstoffeinsatz zudem möglichst gering ist. Dazu gehören die industrielle Anwendung und Bereitstellung von Hochtemperatur-Prozesswärme, die Nutzung in Kraftwerken zur Gewährleistung der elektrischen Versorgungssicherheit, die Mobilität (insb. Schiffs- und Luftverkehr) sowie nicht-energetischer Verbrauch (siehe Abbildung 21). Gerade im Bereich der Gebäudewärme gibt es mit Wärmepumpen deutlich effizientere Alternativen, die vorrangig genutzt werden sollten (siehe Abbildung 22).

Leiter der Einsatzbereiche sauberen Wasserstoffs



*Sehr wahrscheinlich in Form von Ammoniak oder E-Fuels, nicht als gasförmiger oder flüssiger Wasserstoff

Quelle: Liebreich Associates (concept credit: Adrian Hiel/Energy Cities) @mliebreich under a CC-BY 3.0 license; Übersetzung: Wolf-Peter Schill und Martin Kittel

Abbildung 21: Priorisierung der Einsatzbereiche grünen Wasserstoffs (Quelle: Liebreich Associates 2022).

Für die kommunale Ebene bedeutet dies den Vorzug der direkten Elektrifizierung von Anwendungen, weil die Umwandlungsverluste geringer sind und elektrische Lösungen wie die Wärmepumpe zunehmend günstiger werden (vgl. Ueckerdt et al. 2021). Dies gilt insbesondere im Bereich der Gebäudewärme, wo Wasserstoff – gäbe es ihn - heute schon der hocheffizienten Wärmepumpen unterlegen ist.

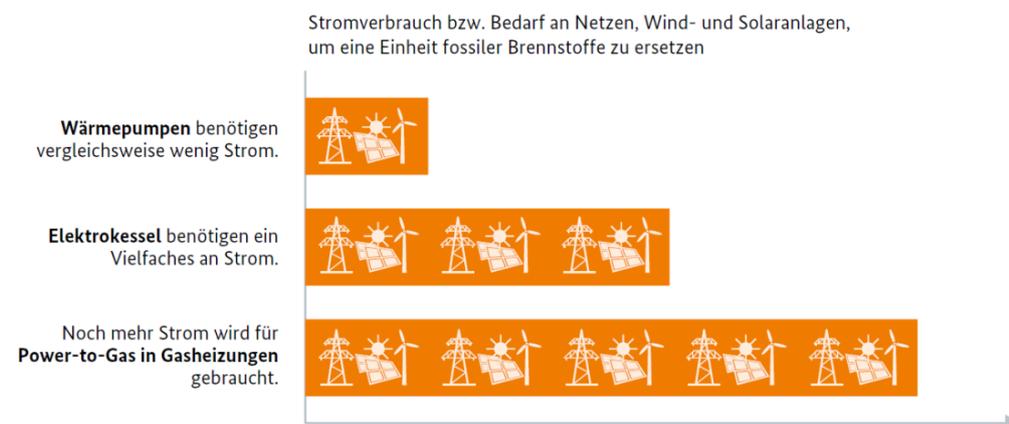


Abbildung 22: Vergleich des erneuerbaren Strombedarfs für verschiedene Technologien für die dezentrale Gebäudewärme (Quelle: Gerhardt et al. 2020).

Biomasse

Derzeit wird der maßgebliche Anteil der erneuerbaren Wärme (86,5 % in 2019) unter Einsatz von Biomasse erzeugt (vgl. BMWK 2020a). Durch vielfältige Einsatzmöglichkeiten kann Biomasse einen wichtigen Beitrag zur Treibhausgas-Reduktion in allen Energiesektoren liefern. Neben der aktuell dominierenden Bereitstellung von Niedertemperaturwärme zur Gebäudeheizung ist mittel- bis langfristig auch eine hohe Nachfrage in anderen Bereichen zu erwarten, wo Erdgas ersetzt werden muss. Dazu gehören vor allem biogene

Grundstoffe in der chemischen Industrie, der Flug- und Luftverkehr sowie die Industrie zur Bereitstellung von Prozesswärme auf hohem Temperaturniveau (vgl. Bürger et al. 2021).

Demgegenüber steht ein begrenztes Potenzial an nachhaltig erzeugter Biomasse, welches – ähnlich wie beim Wasserstoff in der Zukunft - eine klare Priorisierung des Einsatzes unausweichlich macht. Die schlechte Flächeneffizienz beim Anbau von Biomasse erlaubt dabei keine nennenswerte Steigerung der verfügbaren Kapazitäten. Es ist daher wichtig zu entscheiden, in welchem Umfang und in welchen Anwendungen die Biomasse als knappe Ressource im Wärmesektor eingesetzt werden sollte (vgl. Bürger et al. 2021).

Die Ergebnisse verschiedener Energiesystemstudien zeigen, dass Biomasse aus systemischer Sicht am kostengünstigsten für die industrielle Prozesswärme oder Herstellung von Biogas eingesetzt werden sollte. Der effizienteste Wärmemarkt kommt dabei ohne die Nutzung von Biomasse für die dezentrale Wärmeversorgung aus (vgl. Hamburg Institut und Bodensee Stiftung 2021).

Falls Biomasse dezentral sowie auch in der Nahwärme zur Niedertemperatur-Wärmeversorgung eingesetzt wird, sollte sie vorrangig zur Abdeckung von Lastspitzen dienen, die nicht effizient durch Wärmepumpen oder andere erneuerbare Wärmeerzeuger abgedeckt werden können. Im Rahmen der Wärmenetzplanung sollte also das Potenzial von Biomethan-BHKW ebenfalls geprüft werden. Ein Einsatz in monovalenten Systemen, also als alleinstehende Wärmeerzeuger, sollte nach Möglichkeit vermieden werden. Dezentrale Biomasseheizungen sollten nur dort eingesetzt werden, wo andere erneuerbare Optionen wirtschaftlich nicht vertretbar sind. Dazu können unter anderem ältere Gebäude im ländlichen Raum mit hohem Energiebedarf und hohen Sanierungskosten zählen.

Nach Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut (2021) sind bis 2045 bis zu 10 % der Gesamtwohnfläche in Deutschland über Biomasse beheizbar. Im THG-Bericht Velberts von 2018 machte die Biomasse mit 15.133 MWh gerade mal einen Anteil von 2 % an dem gesamten Wärmebedarf aus. Das Potenzial zur Umrüstung von bestehenden fossilen Versorgungseinheiten, wie Ölkessel oder Gasheizungen, auf Biomasse sollte nur im Einzelfall in Betracht gezogen werden, wenn aufgrund individueller Beschränkungen wie z.B. Denkmalschutz ein Einbau von Wärmepumpen nicht sinnvoll ist. Das Potenzial sollte nur in Einzelfällen genutzt werden und wird für Velbert daher bei 5% in 2045 angesetzt.

Im Bereich GHD kann das Potenzial etwas höher angesetzt werden, da es im Gewerbe Prozesse geben kann, die sich wirtschaftlicher über Biomasse mit Wärme versorgen lassen als mit Hochtemperaturwärmepumpen. Bis 2045 sind bis zu 22 % der Gebäudefläche über Biomasse zu beheizen (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021). Es wird vereinfacht davon ausgegangen, dass sich der Wärmebedarf gleichmäßig über die Gebäudefläche verteilt. Ausgehend von 2 % Anteil in 2018, wird ein linearer Hochlauf angesetzt (vgl. [Tabelle 10](#)). Da wie bei den Wärmepumpen kein vorfälliger Austausch der Gasheizungen angenommen wird, teilt sich die Austauschquote bzw. Energieträgerwechselquote entsprechend zwischen Wärmepumpen und Biomasse auf. Besonders Ölkessel könnten in den kommenden 10 Jahren durch Biomasseheizungen ersetzt werden.

Grundsätzlich sollte immer im Einzelfall entschieden werden, ob Biomasse die einzige Möglichkeit zur Versorgung ist, um das bundesweite Potenzial an Biomasse zu schonen und nicht unnötig im Bereich geringer Temperaturniveaus einzusetzen, wenn alternativ dazu vor allem auch Wärmepumpen eingesetzt werden können.

Tabelle 10: Biomassepotenzial für die Wärmeversorgung für das Jahr 2045 in den Sektoren Private Haushalte, und GHD in Velbert.

BIOMASSEPOTENZIAL	Anteil in 2045 [%]	Hochlauf
PHH	5	linear
GHD	20	linear

Wärmepumpen und Umweltwärme

Wärmepumpen, die mittels Strom die Wärme aus der Umgebungsluft oder dem Boden entziehen und komprimiert auf höhere Temperaturen bringen, haben das mit weitem Abstand größte Potenzial zur Klimaneutralität in Velbert. Voraussetzung ist der Betrieb mit Ökostrom, wofür jedoch häufig die ebenso hohen Potenziale eigengenutzter Erzeugung von PV-Strom nutzbar sind.

Die Jahresarbeitszahl ist das Maß dafür, wie viele Einheiten Umweltwärme je eingesetzter Einheit Strom in das System gehoben werden können. Bei einer Jahresarbeitszahl von 3 können durch 1 kWh Strom 3 kWh Wärme zur Raumbeheizung verwendet werden. 2 kWh Energie werden dabei der Umgebung entzogen, in dem z.B. die Außenluft oder das Erdreich abgekühlt werden. Je nach Flächenverfügbarkeit und Konzept kann sich das Erdreich von selbst regenerieren oder es wird im Sommer aktiv regeneriert durch die Zufuhr von (meist niedrigkalorischer) Wärme über u.a. Luftabsorber, die Strahlungs- und Umgebungswärme aufnehmen. Die Umweltwärme steht kostenlos und emissionsfrei zur Verfügung.

Im Szenario zur Klimaneutralität Deutschlands 2045 wird die Wärmepumpe neben dem Ausbau der Fernwärme/ Wärmenetzen als Schlüsseltechnologie zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung gesehen (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut 2021). In Kombination mit Wärmespeichern und Heizstäben können Spitzenlasten abgefangen und hohe Volllaststunden erreicht werden, um die Investitionskosten gering zu halten.

Wärmepumpen und Umgebungsluft (Luftwärmepumpen)

Neben der Geothermie kann die Außenluft als Wärmequelle durch Wärmepumpen nutzbar gemacht werden. Luftwärmepumpen entziehen der Umgebungsluft Wärme auf Außenlufttemperaturniveau und „pumpen“ diese Wärmeenergie auf ein für die Gebäudebeheizung und/oder Trinkwarmwasserbereitstellung nutzbares Temperaturniveau.

Nachteilig an einer Wärmeversorgung mit Luftwärmepumpen sind die niedrigeren Außentemperaturen während der Heizperiode in den Wintermonaten, da bei einem größeren Temperaturunterschied zwischen Ausgangsniveau und gewünschter Heiztemperatur mehr elektrische Energie notwendig ist. Dadurch ist die Effizienz von Luftwärmepumpen an kalten Tagen vermindert. Luftwärmepumpen werden daher häufig in einem Bivalenzbetrieb mit einem weiteren Wärmeversorger, wie z.B. einem Gaskessel oder einem Heizstab eingesetzt. In einem derartigen Bivalenzbetrieb werden die Luftwärmepumpen bis zu einer Außentemperatur z.B. zwischen 5 - 0°C betrieben. An den wenigen kälteren Tagen im Jahr übernimmt der Zweitwärmeerzeuger. Insgesamt würde die Wärmeversorgung zu einem großen Teil durch den Einsatz der Luftwärmepumpen erfolgen (vgl. Günther et al. 2020).

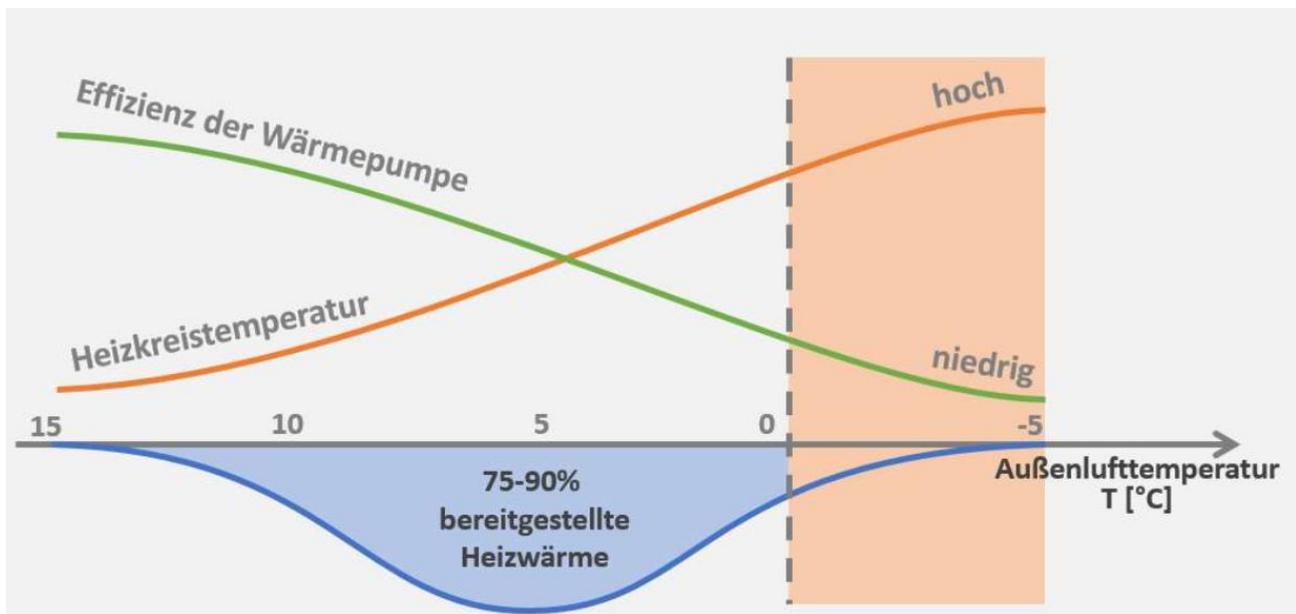


Abbildung 23: Verteilung des Heizwärmebedarfs über die Außentemperatur (Quelle: Günther et al. 2020).

Ferner bieten sich Wärmepumpen insbesondere bei niedrigen Ziel- bzw. Heiztemperaturen an, womit der Temperaturhub besonders gering ausfallen kann. Eine geringe Temperaturspreizung zwischen Quell- und Zieltemperatur wirkt sich positiv auf die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe aus und führt damit zu einem geringeren Stromeinsatz in der Wärmebereitstellung. Durch einen Abgleich der Heizkurve auf den Wärmepumpenbetrieb, also einen Abgleich der Heizungsvorlauftemperatur auf die Außentemperatur bzw. auf die Heizlast, kann die Effizienz der Wärmepumpe erhöht werden (siehe Abbildung 23).

Wärmepumpen und oberflächennahe Geothermie

Unter den Begriff der oberflächennahen Geothermie fallen die energetischen Nutzungen des Erdreichs bei Temperaturen bis 25°C und einer Tiefe bis zu 400 m.

Üblicherweise wird zur Nutzung der Erdwärme auf Kollektorenfelder oder Erdsonden zurückgegriffen. Kollektorenfelder eignen sich vor allem in Neubaugebieten oder im Zuge von Umbaumaßnahmen, bei denen das Erdreich sowieso großflächig geöffnet wird.

Erdsonden haben einen geringeren Platzbedarf an der Oberfläche und entziehen dem Boden in vertikaler Ausdehnung die Wärme. Besonders gut eignen sich Grün- und Freiflächen für eine geothermische Erschließung, da unter anderem durch Regenwasser eine thermische Regeneration stattfinden kann. Über den [Geologischen Dienst NRW](#) kann die Wärmeleitfähigkeit der Bodenzusammensetzung an verschiedenen Standorten ermittelt werden. Auf Basis der Wärmeleitfähigkeit, der maximalen Entzugszeiten und möglicher Bohrtiefen kann die benötigte Fläche ausgelegt werden. In Velbert wird die Wärmeleitfähigkeit allgemein als gut eingestuft.

Bei zu hoch angesetzten jährlichen Entzugszeiten wird dem Boden zu viel Wärme entzogen, so dass der Boden nicht ausreichend regenerieren kann. In vereinzelt Fällen kommt es zum Einfrieren der Erdwärmesonden und des umgebenden Erdreichs. Durch eine sorgfältige Planung kann dieses Problem umgangen werden. Steht nicht genügend Fläche zur Verfügung oder ist die Wärmeleitfähigkeit sehr gering, kann der Boden auch über die Einleitung von solarer Wärme durch Solarthermie oder Solarluftabsorber regeneriert werden, was vor allem in den Übergangszeiten dazu führt, dass der Boden früher wieder auftaut und der Bereich um die Sonden schneller regeneriert, da das Eis isolierend wirkt.

In Velbert wird ein technisches Potenzial von 835,1 GWh/a angenommen mit einem prozentualen Deckungsanteil von gut 55 % gemessen am entsprechenden Wärmebedarf (vgl. Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, LANUV 2015).

Aktuell wird in Velbert bereits mit Geothermie geheizt, so z.B. der Betriebsstandort Lindenkamp 30 der TBV (Technische Betriebe Velbert), und die Neubauten der Kitas Fontanestr. und Nordstr. Auch für die Neubauten der Grundschule Grünstr. und der Gesamtschule Neviges ist die Beheizung durch Geothermie geplant. Zudem errichtet die Stadt Velbert zusammen mit den Stadtwerken in zwei Neubaugebieten Nahwärmenetze auf der Basis von Geothermie. Ferner wird bei Neubaumaßnahmen der Stadt die Errichtung von Geothermie-Anlagen geprüft.

Einsatz im Bestand

Während Wärmepumpen im Neubau die am häufigsten eingebaute Heiztechnologie darstellt, fehlen zum Einsatz von Wärmepumpen im Bestand noch langfristige Erfahrungen. Die Sorge bestand bis vor Kurzem darin, dass Wärmepumpen die Heizkreisläufe nicht mit ausreichend hohen Temperaturen versorgen können. Aufgrund der technischen Weiterentwicklung der letzten Jahre und Bestätigung durch Feldtests auf Basis bestehender Anlagen können diese Zweifel ausgeräumt werden. Jedoch ist eine jeweilige Einzelfallprüfung notwendig.

Der Erfolgsschlüssel beim Rollout von Wärmepumpen im Bestand ist die Abstimmung zwischen Vorlauftemperaturen und individuellen Heizlasten in den Räumen eines jeden Gebäudes. Durch Teilsanierungen bzw. den Austausch einzelner Elemente wie Fenster oder Türen kann die Heizlast und folglich auch die Vorlauftemperatur abgesenkt werden, um einen effizienten Betrieb der Wärmepumpe zu ermöglichen.

Da die Heizkörperflächen in alten Systemen meistens überdimensioniert sind, kann die Wärmepumpe mit geringeren Vorlauftemperaturen betrieben werden als das alte Kesselsystem. In Einzelfällen müssen einige kritische Heizkörper getauscht werden, die die erforderliche Heizlast nicht mehr liefern können. Ein Austausch oder Umstellung des gesamten Heizkörpersystems kann in der Regel aber vermieden werden (vgl. Günther et al. 2020). Wenn aus bestimmten Gründen wie u.a. Denkmalschutz keine (Teil-)Sanierung oder Umstellung der Heizkörper möglich ist, kann auf [Hochtemperaturwärmepumpen](#) zurückgegriffen werden, die auch Vorlauftemperaturen über 65°C erreichen und damit wie konventionelle (fossile) Erzeuger im bestehenden Verteilsystem eingesetzt werden können.

Aus den Ergebnissen breit angelegter Feldtests von Wärmepumpen im Bestand lässt sich ableiten, dass es technisch wenig Begrenzungen für den Einsatz von Wärmepumpen im Bestand gibt. Auch in Gebäuden mit einem Heizenergieverbrauch von 140 kWh/m² (Baujahr 1981 unsaniert) konnte für die Luftwärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von 2,7 ermittelt werden. Elektroheizstäbe werden oft als Leistungsreserven eingesetzt, die im Mittel in den betrachteten Praxisprojekten keinen relevanten Einfluss auf den Stromverbrauch hatten (<3 % bei Luft-WP; <1,2 % bei Sole-WP). Ein signifikanter Einsatz von Heizstäben fand in der Praxis nur statt, wenn das System falsch parametrierbar war oder der Einsatz im *Legionellenmodus* nötig war (vgl. Günther et al. 2020). Die Stromkosten, die durch den Einsatz des Heizstabs entstehen, wirken sich bei richtiger Parametrierung nur unwesentlich auf die jährlichen Kosten aus. Eine sorgfältige individuelle Planung des Systems ist auch hier der entscheidende Faktor, um die Heizkosten so gering wie möglich zu gestalten.

Da die Sanierungskapazitäten stark begrenzt sind, werden viele Gebäude erst die Art der Versorgung umstellen müssen und nachträglich zum Einbau einer Wärmepumpe sanieren. Auch wenn es in der Regel

besser ist, zuerst zu sanieren und die Verluste im Haus und damit die Heizkreistemperaturen zu senken, ist ein vorgeschalteter Einbau nicht grundsätzlich auszuschließen. Findet die Sanierung nachträglich statt, können die Effizienz bzw. die Jahresarbeitszahl erhöht und Betriebskosten im Nachhinein weiter gesenkt werden.

Der Einbau von Wärmepumpen wird vor allem dann stattfinden, wenn die alte Heizungsanlage das Ende ihrer technischen Lebensdauer erreicht hat. Für Gas- und Ölheizungen wird üblicherweise ein Austausch nach 20 Jahren angesetzt. Da die Erdgas- und Erdölpreise schon heute auf einem historischen Hoch liegen und die CO₂-Preise bis 2030 sehr wahrscheinlich stark steigen werden, wird davon ausgegangen, dass der Austausch von Ölheizungen auch vorfällig (vor Ende der technischen Lebensdauer) stattfinden kann. Hinzu kommt die aktuelle politische Diskussion um das Gebäudeenergiegesetz, das vorsieht, dass jede neu eingebaute Heizung *im Regelfall* mit mind. 65 % erneuerbaren Energie beheizt werden soll. Bleibt das Ziel der Klimaneutralität 2045 auf Bundesebene bestehen, wird der Betrieb von Anlagen mit fossilen Brennstoffen bis 2045 verboten werden müssen.

Bis spätestens 2045 wären damit keine fossilen Ölheizungen mehr im Bestand, die aktuell in Velbert noch 15 % der fossilen Brennstoffe im Wärmesektor stellen (Stand 2018).

Bei gleichmäßiger Verteilung der Austauschrate über die technische Lebensdauer von 20 Jahren legen wir für die Gasheizungen eine Austauschrate von 4 % pro Jahr zu Grunde. Die Versorgung der Gebäude im Bereich GHD mit Wärme gestaltet sich ähnlich wie im Wohngebäudebereich (vgl. [Tabelle 11](#)).

Wärmepumpen im Bestand bieten das größte Potenzial, um die Emissionen im Bereich der Wärmeversorgung zu mindern. Wie auch im Wohngebäudebereich wird davon ausgegangen, dass der vorfällige Austausch nur bei Ölheizungen bis 2033 stattfindet. Für Gasheizungen wird kein vorfälliger Austausch angenommen. Jeder Ausbau einer Heizung am Ende ihrer Lebensdauer führt potenziell daher zum Einbau einer Wärmepumpe, wenn aufgrund sehr hoher Temperaturen nicht zwingend Biomasse eingesetzt werden muss (restliche 1 % des jährlichen Austauschs).

Tabelle 11: Mittlere Einbauraten für Wärmepumpen im Sektor Private Haushalte, und GHD von 2023 bis 2045.

HOCHLAUF WP	Mittlere Einbaurate PHH [%/a]	Mittlere Einbaurate GHD [%/a]
2023 - 2033	4	4
2034 - 2045	3	3

Der Endenergiebedarf ergibt sich aus den zukünftigen Bedarfen und der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen. Ob Luft oder oberflächennahe Geothermie als Umweltwärme genutzt wird, hängt von den lokalen Gegebenheiten und der individuellen Entscheidung der jeweiligen Investitionsentscheider ab. Erdsonden bieten sich besonders in Quartieren an, die im Verbund gebaut sind und im Umkreis der Gebäude ausreichend Freiflächen bieten. Die höheren Investitionskosten im Vergleich zu Luft-WP können u.a. durch Contracting-Modelle gleichmäßig auf die Warmmiete verteilt werden, während die hohe Jahresarbeitszahl geringe verbrauchsgebundene Kosten sicherstellt.

Soll dieses Potenzial gehoben werden, bedeutet es ganz konkret, dass bis 2033 alle Ölheizungen durch Wärmepumpen oder Biomasse ersetzt werden müssen und jede Gastherme, die das Ende ihrer technischen Lebensdauer erreicht, ebenso durch nicht-fossile Erzeugungstechnologien ersetzt wird. In den dicht

bebauten Bereichen der Innenstadt müssen Wärmenetze zugebaut werden, um Umweltwärmequellen etwas abseits der Bebauung zu erschließen, wenn es direkt an den Gebäuden keine nutzbaren Flächen gibt. Wie der Austausch von Heizungen und die Reduktion des Nutzwärmebedarfs durch Sanierungen zusammenwirken und darüber in die CO₂-Bilanz einfließen, wird im Rahmen der Szenarienrechnung errechnet.

Die Annahmen zur Umsetzbarkeit des schnellen Hochlaufs von Wärmepumpen basieren auf der Erwartung des Erreichens sogenannter Tipping Points in der Produktion in den kommenden Jahren. Bei der gesteigerten Nachfrage, und der GEG-Novelle, welche den Einbau neuer fossiler Heizungen für den Regelfall verbieten wird und diese sich auch nicht mehr wirtschaftlich darstellen lassen, werden rasant neue Produktionskapazitäten geschaffen, die die beschleunigte Umstellung des Wärmesektors auf strombasierte Wärmeerzeugung ermöglichen werden. Aufgabe der Stadtwerke als Netzbetreiber ist es den Hochlauf der Wärmepumpen zu antizipieren und die Kapazitäten im Netz zielgerichtet auszubauen. Durch eine angepasste Steuerung oder Anreize zum netzdienlichen Heizen auf der Nachfrageseite ist dafür zu sorgen, dass Netzengpässe vermieden werden können.

3.2.5. Zusammenfassung der Potenziale

Tabelle 12: Zusammenfassung der mittleren Sanierungsquote sowie der Einbaurrate für Wärmepumpen und Biomasse im Sektor Private Haushalte und GHD für die Jahre 2023 bis 2045.

	PHH	GHD
2023 - 2030	Mittlere Sanierungsquote [%/a]	Mittlere Sanierungsquote [%/a]
	1,5 (50% Effizienz)	1,5 (50% Effizienz)
2023 - 2033	Einbaurrate Wärmepumpen [%/a]	Einbaurrate Wärmepumpen [%/a]
	4	4
	Einbaurrate Biomasse [%/a]	Einbaurrate Biomasse [%/a]
	0,2	2
2031 - 2045	Mittlere Sanierungsquote [%/a]	Mittlere Sanierungsquote [%/a]
	1,75 (50% Effizienz)	1,75 (50% Effizienz)
2034 - 2045	Einbaurrate Wärmepumpen [%/a]	Einbaurrate Wärmepumpen [%/a]
	3	3
	Einbaurrate Biomasse [%/a]	Einbaurrate Biomasse [%/a]
	0	0

Wie schon in Kapitel 3.2.3 erläutert, ist der Beitrag der Sanierung zur Klimaneutralität sehr begrenzt, da das Sanierungspotenzial an die Kapazitätsgrenzen des Baugewerbes und Handwerks gekoppelt ist. (Teil-)Sanierungen werden daher vor allem als begleitende Maßnahme zur Umstellung auf Wärmepumpen eingesetzt werden müssen. In der Umstellung auf Wärmepumpen bei Austausch der Gas- oder Ölheizung liegt daher das größte Potenzial.

3.3. Handlungsfeld Verkehr

Mit knapp 252.409 Tonnen CO₂e ist der Verkehrssektor für einen Anteil von 29 % an den Gesamtemissionen der Stadt Velbert verantwortlich (vgl. Integriertes Energie- und Klimakonzept 2015). Um diesen Sektor klimaneutral zu gestalten, werden vor allem eine ambitionierte technologische Entwicklung hin zu emissionsfreien Antrieben, eine Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) zum öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) und zur aktiven Mobilität als Schlüsselfaktoren gesehen (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021).

Die Stadt Velbert liegt im Landkreis Mettmann und wird als sogenannte Mittelstadt im städtischen Raum eingestuft (vgl. BMDV 2021a). Die Stadt liegt zwischen Essen und Wuppertal, und liegt rund 20 Kilometern entfernt des Landeshauptstadt Düsseldorf.

Die letzte Haushaltsbefragung zum Modal Split in Velbert erfolgte im Jahr 2013. Derzeit wird ein aktualisierter Modal Split durch die Durchführung der Haushaltsbefragung im Rahmen des Systems repräsentativer Verkehrsbefragungen 2023 (SrV) durch die TU Dresden ermittelt. Das Klimaschutzteilkonzept Fuß- und Radverkehr wurde im Jahr 2019 veröffentlicht, und das ÖPNV-Konzept für die Stadt Velbert in 2022. Im Rahmen des ÖPNV-Konzeptes wurde zudem eine Online-Bürgerbeteiligung durchgeführt, welche als wichtige Informationsquelle hierfür genutzt wurde.

Die Haushaltsbefragung aus dem Jahr 2013 ergab einen Anteil des Kraftfahrzeugverkehrs von über 63 % an allen Wegen, die von Velberter:innen zurückgelegt werden – siehe Abbildung 24. Der Anteil der öffentlichen Verkehrsmittel liegt bei 10 %. Das Fahrrad wird für 2 % aller Wege genutzt und 24 % der Wege werden zu Fuß zurückgelegt.

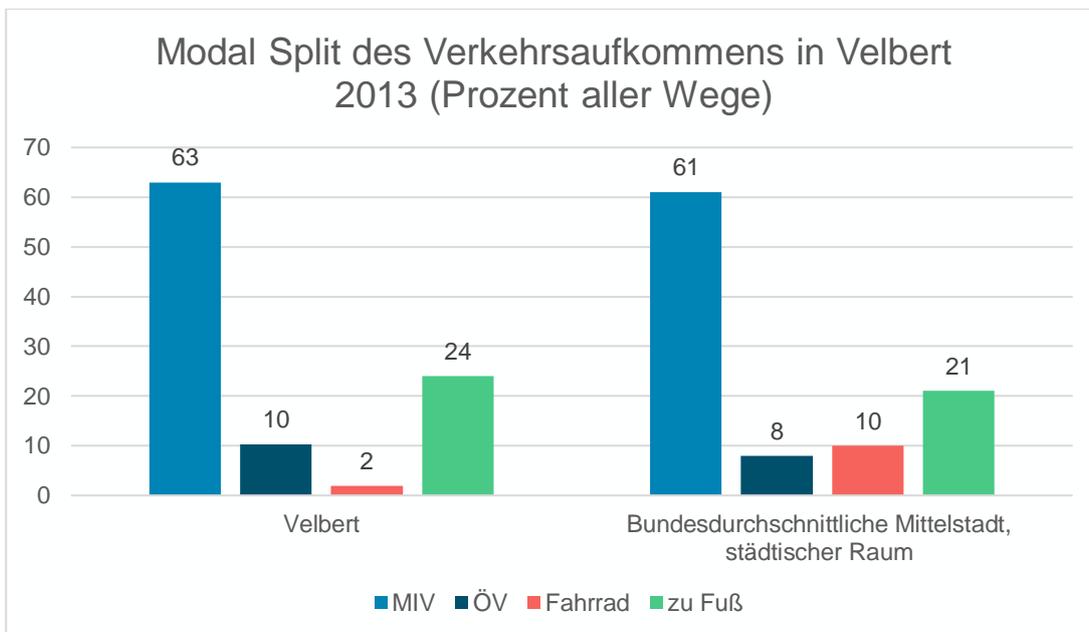


Abbildung 24: Modal Split des Verkehrsaufkommens in Wegen (eigene Darstellung nach Verkehrsbefragung SrV (2013) und Mobilität in Deutschland (2017)).

Nach Verkehrszwecken gegliedert entfallen 30 % aller Wege auf Freizeitbeschäftigungen, dicht gefolgt mit 26,6 % für Einkaufswege und Dienstleistungen. Weitere wichtige Verkehrszwecke sind der Weg zum Arbeitsplatz (22,2 %), sowie der Weg zur Kita/Schule/Ausbildung (16,1 %) (vgl. Verkehrsbefragung SrV 2013).

Durch die nur leicht sinkende prognostizierte Bevölkerungszahl Velberts ist davon auszugehen, dass die Verkehrsbelastung in Velbert größtenteils gleich bleibt bzw. durch den wachsenden Anteil an der Altersgruppe „80 und mehr“ leicht zurückgeht (vgl. Handlungskonzept Wohnen Stadt Velbert).

Aufgrund der teils veralteten Datengrundlage konnten die Potenziale im Folgenden teilweise nur grob eingeschätzt werden. Als Basis für die Umsetzung von Maßnahmen im Handlungsfeld Verkehr empfehlen wir die derzeit ausstehende Aktualisierung des Modal Split abzuwarten und die Erkenntnisse hieraus, in die Maßnahmen mit einfließen zu lassen. Die Potenziale für das Handlungsfeld Verkehr wurden in Bezug auf ihren Anteil am Modal Split der Wege quantifiziert.

3.3.1. Verkehrsvermeidung

Ein wesentliches Potenzial für eine klimafreundliche Mobilität liegt in der Strategie der Verkehrsvermeidung. Sie dient insbesondere der Reduktion der motorisiert zurückgelegten Kilometer.

Ein Aspekt hierbei ist der Ausbau **digitaler Infrastruktur** und der Verbreitung von mobilem Arbeiten sowie virtuellen Konferenzen und Veranstaltungen in diesem Kontext. So können Pendlerverkehr und Dienstreisen reduziert werden. Die Stadtwerke Velbert werden bis 2025 96 % der Velberter Haushalte mit Breitband erschließen. Derzeitige Bestandsnetzte werden derzeit im Stadtgebiet von Telekom, NetCologne, Vodafone und Kabel Deutschland betrieben. Zudem sind der Stadtbezirk Velbert-Nevigles, sowie ca. ein Drittel von Velbert-Mitte bereits ans Glasfasernetz angeschlossen. Der Stadtbezirk Velbert-Langenberg sowie die restlichen zwei Drittel von Velbert-Mitte befinden sich derzeit in der Umsetzung bzw. in der Planung des Glasfasernetzes (vgl. Ausbaustatus Glasfaser, Stadtwerke Velbert 2023). Somit besteht in naher Zukunft eine sehr gute digitale Versorgung, die ebengenannte Potenziale gut realisierbar macht.

Sharing-Konzepte wie Carsharing, Ridesharing und Ridepooling vermeiden durch eine höhere Auslastung bzw. häufigere Nutzung der Fahrzeuge zusätzlichen Verkehr und reduzieren den Parkraumbedarf. Durch die Digitalisierung werden diese Modelle populärer – jedoch spielen sie für eine Mittelstadt wie Velbert eine weniger wichtige Rolle als für Großstädte (vgl. Agora Verkehrswende, Agora Energiewende, Regulatory Assistance Project 2019).

In deutschlandweiten Szenarien wird nicht von einem allgemeinen Rückgang der Mobilität bis 2045 ausgegangen (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021). Da in Velbert keine außergewöhnliche Verkehrssituation gegeben ist, wird auch hier mit einer gleichbleibenden Verkehrsnachfrage gerechnet.

3.3.2. Fußverkehr

Im Vergleich mit weiteren Mittelstädten werden in Velbert überdurchschnittlich viele Wege zu Fuß zurückgelegt: Während in Velbert 24 % aller Wege zu Fuß erfolgen, sind dies in einer Mittelstadt im städtischen Raum im Bundesdurchschnitt 21 % (vgl. Mobilität in Deutschland 2017). Vergleicht man diesen Anteil allerdings mit Städten ähnlichen Charakters (Mittelzentren, Topografie: hügelig) liegt der Durchschnitt teils bei bis zu 40% (Median 28,4%, vgl. Verkehrsbefragung SrV 2013). Die Velberter Bürger:innen legen durchschnittlich 1,2 km zu Fuß pro Tag zurück (vgl. Verkehrsbefragung SrV 2013).

Attraktive Gehwege können als zentraler Erfolgsfaktor für die weitere Steigerung des Anteils von Fußverkehr angesehen werden. Dies schließt bspw. eine ausreichende Breite der Wege ein, welche nicht durch auf dem Gehweg parkende Fahrzeuge eingeschränkt ist. Weitere zentrale Bestandteile von attraktiven Gehwegen sind Barrierefreiheit und Sicherheit – etwa durch angenehme Gehwegoberflächen, Beleuchtung der Wege und Befreiung von Schnee und Eis durch den Winterdienst.

Ein wichtiger Erfolgsfaktor ist dementsprechend eine auf den Fußverkehr ausgerichtete Stadtplanung.

In nachstehender Tabelle wird das Potenzial des Fußverkehrs für Velbert in Bezug auf den Modal Split abgeschätzt (**Tabelle 13**). Studien prognostizieren eine durchschnittliche Erhöhung um 28 % des Fußverkehrsanteils am Modal Split bis 2050 in Deutschland (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021). Für die Stadt Velbert wird ein ähnliches Potenzial angenommen, auch aufgrund des aktuellen Fußverkehrsanteils von ca. 28 % von Vergleichsstädten mit ähnlicher Topografie. Dies kann in erster Linie durch eine Steigerung der Attraktivität der Gehwege erreicht werden. MIV-reduzierende Maßnahmen in der Velberter Innenstadt sowie die Beseitigung von unklaren Verkehrsverhältnissen können zudem für eine Steigerung der Attraktivität des Fußverkehrs sorgen.

Tabelle 13: Potenzial des Fußverkehrs für Velbert dargestellt anhand des Modal Splits der Wege.

POTENZIAL FUßVERKEHR	
MODAL SPLIT	Anteil der Wege: <ul style="list-style-type: none"> • 2013: 24 % (vgl. Verkehrsbefragung SrV 2013) • 2045: 29 %

3.3.3. Fahrradverkehr

Im Bereich Fahrradverkehr liegt Velbert mit rund 2 % der zurückgelegten Wege unter dem Durchschnitt und zeigt hier klares Ausbaupotenzial. In Mittelstädten mit ähnlicher Topographie liegt der Anteil des Fahrradverkehrs bei 13 % und mehr (vgl. Verkehrsbefragung SrV 2013). Velbert ist an den Ruhrtalradweg über mehrere Punkte verbunden (überregionales Radverkehrsnetz der Euroga, Radverkehrsnetz NRW, Radweg Deilbachroute). Zudem wurde im Jahr 2011 der steigungsarme „Panorama-Radweg niederbergbahn“ eröffnet, welches den Radverkehr spürbar hat ansteigen lassen (Klimaschutzteilkonzept Fuß- und Radverkehr 2019). Insgesamt sind dem Fahrradverkehr in Velbert natürliche Grenzen gesetzt durch die Topographie des Stadtgebietes. In vielen Bereichen der Stadt sind eine ungenügende Anzahl an Fahrradstellplätzen vorhanden. Dies betrifft auch Bus- und Bahnhöfe sowie diverse publikumswirksame Einrichtungen. Die vorhandenen Fahrradstellplätze entsprechen insgesamt nicht dem aktuellen Stand der Technik.

Die Stadt Velbert verfügt über das „Klimaschutzteilkonzept Fuß- und Radverkehr“ aus dem Jahr 2019, welches die örtlichen Potenziale ausführlich behandelt. Potenziale werden hier hauptsächlich in der Verbesserung der Verkehrssicherheit sowie Barrierefreiheit gesehen sowie im Ausbau und der Erneuerung der Fahrradstellplätze, wobei ersteres besondere Priorität erhalten sollte. Das Konzept zeigt hierfür detaillierte Maßnahmen auf.

Bundesweit zeichnet sich ein wachsender Trend bei der Nutzung von E-Bikes und Pedelecs ab. Diese Form von Rädern ermöglicht das Verschieben der natürlichen Grenzen in Velbert durch seine hügelige Topographie. Hierfür ist es aber ausschlaggebend, die hierfür nötige Infrastruktur (Ladestationen sowie entsprechend

für E-Bikes und Pedelecs zugelassene Wege) zu schaffen und zu fördern (vgl. Klimaschutzteilkonzept Fuß- und Radverkehr 2019).

Im Radverkehrskonzept werden als wesentliche Hemmnisse für den Fahrradverkehr die zu schmalen Wege, und die u.a. daraus resultierende mangelnde Verkehrssicherheit genannt. Die unklare Verkehrsführung sowie die teils fehlenden Radwege werden ebenfalls als Aspekte hierfür genannt - dies beinhaltet auch die fehlende konsequente Anbindung des Stadtbezirks Velbert-Langenberg durch Fahrradwege. Zudem sind die außerörtlichen Radwege allgemein in einem schlechteren Zustand als die innerörtlichen.

In nachfolgender Tabelle wird das Potenzial des Fahrradverkehrs für Velbert in Bezug auf den Modal Split abgeschätzt (Tabelle 14). Dafür wurde der Städtevergleich von Mittelstädten mit hügeliger Topografie, welcher einen Modal Split Anteil von bis zu 13,4 % und einen Durchschnittswert bei ca. 6 % aufzeigt, als Grundlage genutzt, sowie die Angabe der Stadt, dass sich der Fahrradanteil in den letzten zehn Jahren bereits signifikant erhöht hat – nicht zuletzt durch die verstärkte Nutzung von E-Bikes und Pedelecs. Diese Erhöhung des Modal Split Anteils setzt voraus, dass die Fahrradinfrastruktur gravierend verbessert wird, vor allem die Vernetzung zwischen den Stadtbezirken. Die „Präambel Fahrrad- und Nahmobilitätsgesetz des Landes Nordrhein-Westfalen (FaNaG 2021)“ sieht einen Fahrradanteil von 25% beim Modal Split in NRW vor. Dies betont ebenfalls die Wichtigkeit, das Potenzial des Fahrradverkehrs soweit wie möglich zu heben. Durch die steigende Beliebtheit von E-Bikes/Pedelecs entsteht im Bereich der Fahrradmobilität ein neuer Energiebedarf, welcher aber im Kontext des Stromverbrauchs der gesamten Kommune vernachlässigbar ist.

Tabelle 14: Potenzial des Fahrradverkehrs für Velbert dargestellt anhand des Modal Splits der Wege.

POTENZIAL FAHRRADVERKEHR	
MODAL SPLIT	Anteil der Wege: <ul style="list-style-type: none"> • 2013: 2 % (vgl. Verkehrsbefragung SrV 2013) • 2045: 18 %

3.3.4. Öffentlicher Personenverkehr

Potenziale zur Steigerung des ÖV-Anteils im Modal Split sind klassischerweise eine hohe Auslastung bzw. eine höhere Taktung der Verkehrsmittel. Dadurch und durch weitere Instrumente wie die Förderung von Intermodalität soll eine Verlagerung des MIV auf öffentliche Verkehrsmittel erfolgen.

Die Stadt Velbert ist derzeit nur durch Velbert-Nevigens und Langenberg an den Schienenpersonennahverkehr (SPNV) nach Essen und Wuppertal angebunden - allerdings fehlt die Anbindung des Zentralorts Velbert. Die vorhandenen Busverbindungen aus Velbert-Mitte ermöglichen nur eine zeitintensive Verbindung zu den umliegenden Großstädten. Eine Anbindung zum Düsseldorfer Raum fehlt komplett. Velbert selbst verfügt über ein Angebot von Ortslinien, sogenannten OV-Linien, und ist stark verflochten mit den ÖPNV-Netz der Nachbarregionen. Die Erschließungsqualität innerhalb Velberts ist generell gut mit weniger als 300 m zur nächsten Haltestation für 85 % der Stadtbevölkerung (vgl. ÖPNV-Konzept). Ein Klimaschutzpotenzial liegt auf der Verlagerung des Pendelverkehrs vom MIV zum ÖPNV, welcher insgesamt aktuell ca. 35.000 Ein- und Auspendler umfasst (vgl. Velbert, Pendleratlas 2023), auf emissionsarme Verkehrsmittel. Die Pendlerströme betreffen vor allem die Städte Essen, Wuppertal, Düsseldorf und Heiligenhaus.

Allgemeine Schwächen, die im ÖPNV-Konzept herausgearbeitet wurden, sind die mangelnde zeitliche Verknüpfung und Integration, welche teils zu langen Umsteigezeiten führt, die lange Beförderungszeit zu den Bahn-Haltestellen, die lange Reisezeit von Velbert-Mitte zu umliegenden Städten, und das Fehlen von attraktivem Nachtverkehr.

Schienenpersonennahverkehr (SPNV)

Velbert-Nevigés und Velbert-Langenberg sind mit ihrer Lage entlang der Talachse Wuppertal – Essen gut mit vier S-Bahnhöfen an den SPNV angebunden, allerdings nicht Velbert-Mitte, welches der Stadtbezirk mit den meisten Einwohnenden ist.

Im ÖPNV-Konzept wurde vor allem auf die folgenden Schwächen hingewiesen: Die Taktung von 30 bzw. 60 Minuten, lange Beförderungszeiten zu den Bahn-Haltepunkten, die bereits erwähnte fehlende Direktverbindung nach Düsseldorf, sowie funktionale und gestalterische Defizite insbesondere der SPNV-Verknüpfungspunkte.

Busverkehr

Das Stadtbussystem OV-Linien ist mit seinen acht Linien vor allem in Velbert-Mitte gut ausgebaut, und schließt ebenfalls an die beiden S-Bahnhöfe in Velbert-Langenberg an. Durch den 2015 eröffneten ZOB gibt es in Velbert-Mitte einen zentralen ÖPNV-Knotenpunkt, welcher Schnell-, Regional und OV-Linien verbindet. Zudem werden die OV-Linien durch ehrenamtliche Bürgerbusse ergänzt, welche eine gravierende Rolle einnehmen in Nevigés und Langenberg.

Insgesamt 13 Regionalbusse verkehren durch Velbert im 20-, 30- und 60-Minuten-Takt, wovon sieben Linien an den ZOB angeschlossen sind.

Im ÖPNV-Konzept wurden u.a. die unübersichtlichen Linienangebote auf den Achsen Innenstadt – Langenberg – Klinikum Niederberg benannt sowie, dass größere Wohngebiete bislang nicht erschlossen sind.

Zur Steigerung des ÖPNV im Model Split ergeben sich die Potenziale bei der Umstellung der Taktung des innerstädtischen OV-Verkehrs, und die Anpassung der Fahrpläne an den Taktknoten „Velbert ZOB“ entsprechend des Rendezvous-Prinzips wie im ÖPNV-Konzept ausgeführt. Zudem wird die Schaffung von Subknoten empfohlen und die Einführung von neuen Direktverbindungen für Klinikum Niederberg – Langenberg, und Hattingen – Langenberg – Velbert. Auch ergänzende Produkte wie Quartiersbusse, OnDemand-Ergänzungsverkehr, und XBus werden nahegelegt zum Heben des Potenzials (vgl. ÖPNV-Konzept).

Im SPNV wird von einer vollständigen Elektrifizierung des Schienennetzes ausgegangen, da bundesweit eine weitestgehende Elektrifizierung des Schienennetzes geplant ist (vgl. BMDV 2021b). Im Busverkehr wird von einem Austausch der Busse durch E-Fahrzeuge ausgegangen. Derzeit liegen keine konkreten Pläne zur Umstellung auf Busse mit Elektroantrieb in Velbert vor, im ÖPNV-Konzept wird aber auf die alternativen Antriebsarten hingewiesen mit dem Zusatz, dass die Wahl der geeigneten Antriebstechnik auch von der gesamtstädtischen Strategie abhängt sowie die Entwicklungen diesbezüglich der benachbarten ÖPNV-Betriebe, um Synergien zu ermöglichen.

Das ÖPNV-Konzept sieht eine Steigerung auf 20 % des ÖPNV-Anteils im Modal Split – also eine Verdoppelung - vor, um den MIV-Anteil entsprechend auf unter 50 % zu reduzieren. Dies wird allerdings auch im ÖPNV-Konzept selbst als durchaus ambitioniert eingeordnet. Da in dieser Potenzialanalyse ein größeres Potenzial zur Erhöhung des Fahrradverkehrs identifiziert wird als im ÖPNV-Konzept, wird das Potenzial des ÖPNV insgesamt auf einen Modal Split Anteil von 15 % bis 2045 geschätzt (vgl. [Tabelle 15](#)).

Tabelle 15: Potenzial des ÖPNVs für Velbert dargestellt anhand des Modal Splits der Wege.

POTENZIAL ÖPNV	
MODAL SPLIT	Anteil der Wege: <ul style="list-style-type: none"> • 2013: 10 % (vgl. Verkehrsbefragung SrV 2013) • 2045: 15 %

Der **Personenfernverkehr** wird aufgrund der sehr eingeschränkten kommunalen Einflussmöglichkeiten in der Potenzialanalyse nicht näher beleuchtet.

3.3.5. Motorisierter Individualverkehr

Die Stadt Velbert verfügt über eine gute Anbindung an das überregionale Straßennetz und das Bundesfernstraßennetz. Eine wichtige Rolle spielen besonders die west-nördlich verlaufenden Autobahn A 44, welche im Westen Heiligenhaus, sowie Düsseldorf (allerdings in Kombination mit Landstraße) und im Norden Essen zusammen mit der B 227 anbindet. Auch die B 224 bindet Velbert an Essen an und die durch Velbert verlaufende A 535 verbindet die Stadt mit Wuppertal. Mit ähnlichem Zeitaufwand lässt sich Düsseldorf auch über diese Anbindung nach Wuppertal und anschließend der A 46 erreichen. Das Velberter Stadtgebiet wird von einem innerhalb der Stadtbezirke flächendeckenden Straßennetz erschlossen, welches die drei Stadtbezirke auch gut vernetzt sowie angrenzende Gemeinden verbindet. Mehr als die Hälfte der Wege des MIV werden innerhalb der Stadtgrenzen zurückgelegt. Die mittlere Wegelänge, die innerhalb der Stadtgrenzen von Velbert mit dem Auto zurückgelegt wird, liegt bei 4,0 Kilometern (vgl. Verkehrsbefragung SrV 2013).

In Velbert sind knapp 47.900 PKW, 4.500 Krafträder und 2.600 LKW gemeldet (Stand Januar 2019, vgl. Kraftfahrtbundesamt 2019). Hinsichtlich der PKW liegt die Stadt damit leicht unter dem Durchschnitt für westdeutsche Mittelstädte im städtischen Raum (574 PKW pro 1.000 Einwohner:innen; vgl. Mobilität in Deutschland 2017). In Velbert sind derzeit 3.629 Elektrofahrzeuge zugelassen (Erfassung durch die Stadt Velbert, Stand Januar 2023).

E-Mobilität

Wo eine Vermeidung (siehe Kapitel 3.3.1) oder Verlagerung zum Umweltverbund (siehe Kapitel 3.3.2-3.3.4) des MIV nicht möglich ist, sollte dieser sich nach Klimaschutz Gesichtspunkten weg von Verbrennern hin zu emissionsfreien Fahrzeugen entwickeln. Durch eine weitgehend klimaneutrale Stromerzeugung in einem zu definierenden Zieljahr fahren elektrisch betriebene Fahrzeuge zu diesem Zeitpunkt emissionsfrei. Nichtsdestotrotz steht aufgrund anderer Nachhaltigkeitsaspekte (bspw. Luftverschmutzung, Gesundheit, Verkehrssicherheit) der Umstieg auf den Umweltverbund – sofern möglich – an erster Stelle. Zudem lassen sich mit zeitnah ergriffenen Maßnahmen, die den Umstieg auf den Umweltverbund anreizen, THG-Emissionen in wesentlichem Umfang einsparen, welche bis zu einer vollständig erneuerbaren Elektrifizierung des MIV angefallen wären.

Um Klimaneutralität im Jahr 2045 zu erreichen, sollten in Deutschland aufgrund der durchschnittlichen Lebensdauer von PKW von rund 14 Jahren laut Fachstudien ab 2032 nur noch batterieelektrische Fahrzeuge zugelassen werden (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021). Das auf EU-Ebene beschlossene Verbrenner-Aus sieht die ausschließliche Zulassung emissionsfreier Fahrzeuge ab dem Jahr 2035 vor.

Aus den gestiegenen Anteilen des Umweltverbunds am Modal Split in Bezug auf das Zieljahr ergibt sich ein geringerer Anteil des MIV am Modal Split. Besonders für kürzere Wege besteht das Potenzial, dass diese statt mit dem Auto zu Fuß oder vor allem mit dem Fahrrad zurückgelegt werden.

Bundesweit wird in Klimaschutzszenarien eine Abnahme der Verkehrsnachfrage im PKW-Segment um knapp 26 % bis 2045 im Vergleich zu 2016 zu Gunsten des Umweltverbands prognostiziert (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021). Für die Stadt Velbert ergibt sich aus der Neuverteilung des Modal Split ein Rückgang von rund 26 % bis 2045 im Vergleich zu 2013 (vgl. [Tabelle 16](#)). Dieser stellt unter den derzeitigen Rahmenbedingungen ein maximales Potenzial dar, welches nur durch die konsequente Förderung von ÖPNV, Fahrrad- und Fußverkehr sowie durch MIV-reduzierende Maßnahmen erreicht werden kann. Eine regelmäßige Neubewertung des Potenzials erscheint aufgrund der sich rasch ändernden Rahmenbedingungen sinnvoll. Eine Erhöhung der Fahrzeugauslastung wird für Velbert nicht als wesentliches Potenzial eingestuft, da Sharing-Modelle in Mittelstädten derzeit eine weniger wichtige Rolle spielen werden als in Großstädten (siehe Kapitel 3.3.1).

Für die Quantifizierung des Energiebedarfs des MIV im Jahr 2045 wurden die in „Klimaneutrales Deutschland 2045“ prognostizierten Werte je Antriebsart verwendet:

- 0 % Diesel,
- 3 % Benzin,
- 92 % BEV und
- 5 % Hybrid (PHEV) (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021).

Andere Energieträger wie Gase und Biotreibstoffe spielen in Zukunft eine untergeordnete Rolle und werden hier nicht weiter betrachtet.

Tabelle 16: Potenzial des motorisierten Individualverkehrs für Velbert dargestellt anhand des Modal Splits der Wege.

POTENZIAL MOTORISIERTER INDIVIDUALVERKEHR	
MODAL SPLIT	Anteil der Wege: <ul style="list-style-type: none"> • 2013: 63 % (vgl. Verkehrsbefragung SvR 2013) • 2045: 37%

Für den Bereich des [Güterverkehrs](#) werden im Rahmen der Szenarienrechnung für die Zieldefinition Annahmen getroffen – an dieser Stelle soll der Güterverkehr aufgrund von sehr geringen kommunalen Einflussmöglichkeiten in diesem Bereich nicht weiter diskutiert werden. Laut bundesweiten Szenarien erhöht sich der Güterverkehr analog zum prognostizierten wachsenden Bruttoinlandsprodukt (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021). Für Velbert wird von einer leichten Zunahme des Straßengüterverkehrs ausgegangen.

3.3.6. Zusammenfassung der Potenziale

Zusammenfassend lässt sich folgendes Fazit aus der Abschätzung der Potenziale im Handlungsfeld Verkehr für die Stadt Velbert ziehen:

- Potenzial für Velbert als Kommune besteht hauptsächlich in der Steigerung von Fahrrad-, aber auch Fußverkehr durch Bereitstellung attraktiver Infrastruktur, um den MIV in der Kurzstrecke bis 5 km zu ersetzen.
- ÖPNV: Potenzialsteigerung über höhere und effizientere Taktung möglich;

- Der Umstieg vom MIV auf den ÖPNV ist für weite Strecken (hier vor allem effizientere Anbindung von Velbert nach Düsseldorf, aber auch Essen und Wuppertal für den Pendlerverkehr) besonders wichtig
- Im Busverkehr besteht Potenzial bei der Schaffung von Subknotenpunkten sowie der Elektrifizierung der Flotten.
- E-Mobilität wird den Verbrennermotor verdrängen. Um die notwendigen Voraussetzungen für den Hochlauf zu schaffen, ist der Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur essenziell.

Abbildung 25 zeigt das Potenzial für den Modal Split der Wege für Velbert für das Jahr 2045 im Vergleich zu 2013.

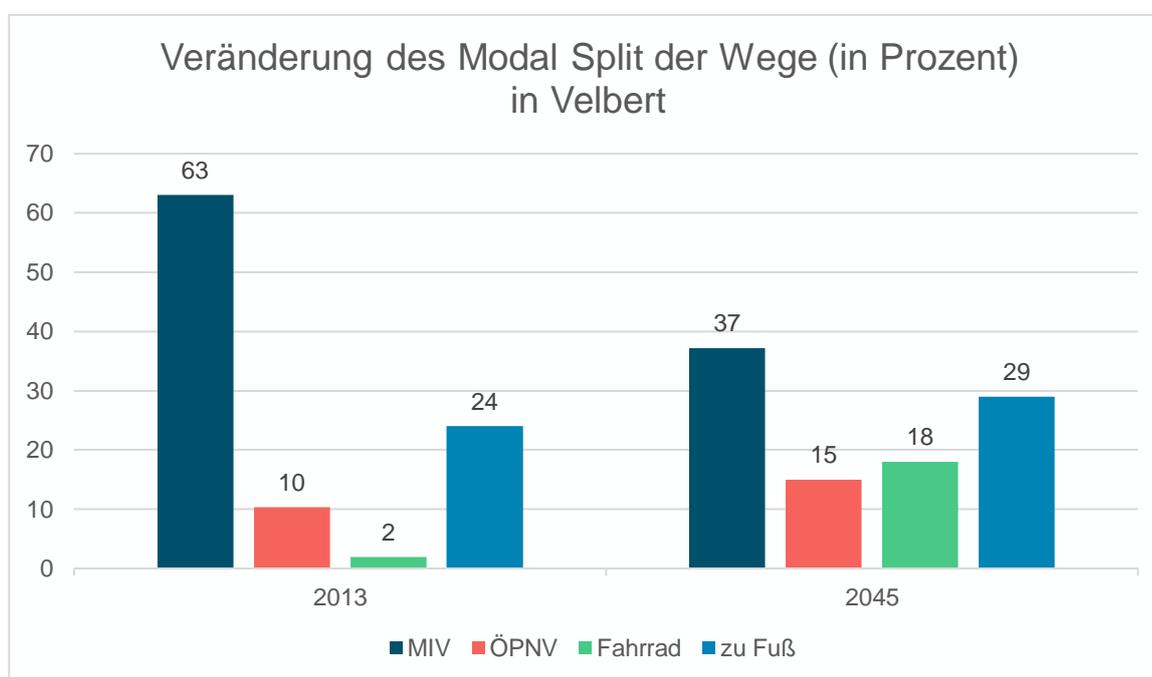


Abbildung 25: Veränderung des Modal Split der Wege (in Prozent) in Velbert von 2013 bis 2045 (Eigene Darstellung).

3.4. Handlungsfeld Wirtschaft

Die Stadt Velbert verfügt über knapp 29.580 sozialversicherungspflichtig Beschäftigte (Stand 2021) und verzeichnet seit 2018 einen stetigen Rückgang der Wirtschaftskraft (vgl. Wirtschaftsförderung Velbert). Die Stadt ist wirtschaftlich durch seine Kernkompetenz im Bereich der Schließ- und Sicherheitstechnik geprägt mit 4.747 Beschäftigten in insgesamt 70 Betrieben im Bereich „Schloss und Beschlag“ (vgl. Verein Schlüsselregion e.V., Stand 2016). In der Innenstadt im Bezirk Velbert-Mitte befinden sich mehrere Einzelhandelsstandorte, u.a. mit dem Einkaufszentrum StadtGalerie Velbert. In Bezug auf den Energieverbrauch beanspruchen der Sektor Industrie und der Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) den Wirtschaftsbereich mit jeweils 26 % und 10,8 % des gesamten Endenergieverbrauchs der Stadt deutlich (vgl. THG-Bilanz 2018).

Für das Handlungsfeld Wirtschaft wurden Potenziale in den fünf Bereichen Strom, Wärme/Gebäude, Mobilität, Beschaffung sowie Unternehmenskultur und -organisation beleuchtet. Aufgrund des hier gewählten akteursbezogenen Handlungsfeldes überlappen sich die definierten Bereiche inhaltlich erheblich mit den anderen Handlungsfeldern, was so weitgehend wie möglich an den entsprechenden Textstellen vermerkt wird.

Eine Quantifizierung der Potenziale wird für dieses Handlungsfeld nicht vorgenommen, da die entsprechenden Werte bereits in andere Handlungsfelder einfließen.

3.4.1. Strom

Ein wesentliches Potenzial im Handlungsfeld Wirtschaft im Bereich Strom liegt in der **Stromeffizienz**. Die Umsetzung von Stromeffizienzmaßnahmen im Betrieb wie etwa der Einsatz von LED-Beleuchtung in Gebäuden oder der Austausch von Altgeräten gegen neue effizientere Geräte führt zu einem geringeren Energieverbrauch und erzeugt damit einen Klimaschutznutzen.

Die **Eigenerzeugung** von erneuerbarem Strom ist für die Wirtschaft eines der höchsten Klimaschutzpotenziale. So können vor allem PV-Anlagen auf den Gewerbedächern zur Eigenstromversorgung beitragen. Für neue Gewerbebauten **gilt in Nordrhein-Westfalen voraussichtlich ab 2024 eine Solarpflicht** (vgl. Koalitionsvereinbarung CDU & Grünen 2022-2027). Seit dem 01.01.2022 gilt bereits die Solarpflicht auf Parkplätzen mit mind. 35 Stellplätzen in NRW (vgl. Landesbauordnung NRW). Im Integrierten Energie- und Klimakonzept 2015 wird dieser Aspekt bereits thematisiert und im Rahmen der Maßnahme 3.3 „Photovoltaik auf Gewerbeflächen“ behandelt. Durch die Stadtwerke steht in Velbert seit 2018 ein Pachtmodell für Unternehmen zur Verfügung, die an der Eigenerzeugung von Strom mithilfe von PV-Anlagen interessiert sind (vgl. Umsetzungsbericht 2022). Hierdurch wurden bis August 2022 zehn Anlagen gebaut bzw. unter Vertrag genommen, welche insgesamt eine Leistung von über 1.315 kWp (ca. 1.153.000 kWh) besitzen.

Weiteres Klimaschutzpotenzial für die Wirtschaft im Bereich Strom liegt in der **Ökostrombeschaffung**. Durch den Bezug von zertifiziertem Ökostrom können Unternehmen einen Klimaschutznutzen und gleichzeitig einen Imagegewinn für den Betrieb erzeugen. Aufgrund der Bilanzierungsmethodik des BSKO-Standards für Kommunen, hat eine Realisierung dieses Potenzials keine Auswirkung auf die Klimabilanz der Stadt Velbert, kann jedoch ergänzend ausgewiesen werden.

Seit 2021 veranstaltet die Koordinierungsstelle Klimaschutz zusammen mit der Wirtschaftsförderung online bzw. seit Mai 2023 in Präsenz Veranstaltungen für Velberter Unternehmen unter dem Namen „Energie- und Klima-Lunch“, welches auch Energieeffizienzthemen abdeckt. Zudem kooperiert die Koordinierungsstelle mit der Schlüsselregion e.V., welche ebenfalls Energieeffizienz-Maßnahmen auf ihrer Agenda führt und u.a. beim mehrmals im Jahr stattfindenden Schlüsselregion-Energienetzwerk aktiven Austausch zwischen Betrieben ermöglicht. Diese durch die Maßnahme 3.1 „Energieeffizienznetzwerke für Unternehmen“ im Integrierten Energie- und Klimakonzept angeregte Vernetzung von Unternehmen und die damit entstehenden Synergien, sind zu begrüßen und weiter zu stärken.

3.4.2. Wärme & Gebäude

Im Bereich Wärme und Gebäude bieten die erneuerbare Wärmeversorgung und die energetische Gebäudesanierung die größten Potenziale für die Wirtschaft.

Im Bereich der **erneuerbaren Wärmeversorgung** stellen Quartierslösungen wie Wärmenetze für Gewerbegebiete und die Innenstadt ein großes Potenzial dar (siehe Kapitel 2.2).

Zudem bietet die Nutzung von Umweltwärme über Wärmepumpen und die Nutzung eigener Abwärme (z.B. von Servern) für die Wirtschaft ein theoretisches Potenzial. Allerdings sind die Prognosen des Energiebedarfs für Gewerbe ungenau schätzbar, da der zeitliche Verlauf der Ansiedlung und die Entwicklung des Geschäfts schwer vorhersagbar sind.

Das Potenzial der Wärmeeffizienz kann über energetische **Gebäudesanierung** (Gebäudesanierung des Bestands auf Effizienzhaus (EH)-55/70-Standard) bzw. über die Errichtung effizienter Neubauten nach EH 40 bzw. EH 40+ realisiert werden. Im Gebäudebereich ist zudem die effiziente Nutzung vorhandener Flächen und damit die Reduktion des Neubaubedarfs entscheidend bspw. für den Erhalt von Grünland als Kohlenstoffsenken (siehe Kapitel 3.5). Zwischen den Sektoren PHH und GHD wird keine Differenzierung der Sanierungsrate angesetzt, da beide Sektoren auf die gleichen Kapazitäten im Baugewerbe angewiesen sind. Eine Steigerung des Potenzials lässt sich auch hier ggfs. durch serielle Sanierungskonzepte bei ähnlichen Gebäudetypen erreichen.

Die **Wärmeversorgung** der Betriebsgebäude gestaltet sich ähnlich wie im Wohngebäudebereich. Wärmepumpen im Bestand bieten das größte Potenzial, die THG-Emissionen zu mindern (siehe Kapitel 3.2.4). Wie schon in Kapitel 3.2.4 erläutert, wird auch der Einsatz von Abwärme zur Dekarbonisierung des Wärmesektors beitragen. Voraussetzung dafür ist, dass das dafür notwendige Wärmenetz in den nächsten Jahren geplant und umgesetzt wird. Die Rolle und Sinnhaftigkeit der Biomasse zur Bereitstellung von Raumwärme im Gebäudesektor wurden auch bereits in Kapitel 3.2.4 beleuchtet.

Ein weiteres Klimaschutzpotenzial stellt die Kombination von Gründächern und PV-Anlagen dar, die gleichzeitig der Dämmung, der Klimaanpassung und der erneuerbaren Stromerzeugung dient. Eine Verwendung der Holzbauweise wird in Kapitel 3.2.2 diskutiert. Dieses Potenzial ist auch für die Wirtschaft relevant. Das bereits in 1.4.1 genannte Energieeffizienznetzwerk kann an dieser Stelle Potenziale heben, indem gezielt Themen im Bereich Wärme anvisiert werden in Kombination mit Fördermittelberatung. Die bisher angebotenen Erstberatungen im Anschluss an das Energie- und Klimalunch (Teil der Maßnahme 3.2 „Vermittlung von Energieberatern“, vgl. Integriertes Energie- und Klimakonzept 2015), haben bisher keine Wärmethemen im Konkreten behandelt.

3.4.3. Mobilität

Auch im Bereich Mobilität bestehen für Unternehmen Klimaschutzpotenziale. So können für kürzere Strecken anstelle von motorisierten Fahrzeugen für den Wirtschaftsverkehr Pedelecs und Lastenpedelecs eingesetzt werden. Das **Mobilitätsverhalten** der Mitarbeitenden kann zudem über Anreize wie ein Job-Ticket oder Fahrradleasing weg vom MIV und hin zum Umweltverbund gelenkt werden. Die Stadt Velbert als Arbeitgeberin macht es hier vor mit dem Angebot des Fahrradleasings, welches bereits nach einem Jahr Laufzeit ca. 8 % der Mitarbeitenden in Anspruch nehmen.

Sind motorisierte Fahrzeuge im Bereich des **Fuhrparks** notwendig, können Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor auf Fahrzeuge mit klimafreundlichen oder klimaneutralen Energieträgern umgestellt werden. Für Dienstwagen liegt ein besonders hohes Potenzial in der E-Mobilität (siehe Kapitel 3.3.5). Um dieses Potenzial zu realisieren, ist die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur entscheidend. Diese kann nicht nur für den unternehmenseigenen Fuhrpark, sondern auch für die Fahrzeuge der Mitarbeitenden genutzt werden. BEV tagsüber zu laden ist auch im Sinne der effizienten Stromnutzung im Gesamtsystem (durch die Überschneidung von

Solarstromerzeugung und -verbrauch) sinnvoll. Zudem können Sharing-Modelle im Fuhrpark eingesetzt werden.

Im Bereich der [Logistik](#) stellen innovative Projekte wie etwa E-Logistik, Wasserstoff-Lkw und die kooperative Umsetzung von Logistikaufträgen Potenziale dar.

3.4.4. Beschaffung

Über die Beschaffung von Gütern und Material mit niedrigem CO₂-Fußabdruck können Unternehmen einen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Dies gilt sowohl für die Rohstoffe und Vorprodukte eigener Güter als auch für Investitionsgüter, Bürobedarf oder z.B. Kantinenessen. Die lokale Beschaffung trägt über eine Reduktion von Transportwegen ebenfalls zum Klimaschutz bei. Dies gilt auch für die Reduktion von Verpackungsmaterial.

Ein wichtiger Gesichtspunkt ist auch die [Kreislaufwirtschaft](#): Güter mit hoher Recyclingfähigkeit belasten das Klima üblicherweise weniger als andere Produkte. Ein Instrument zur Realisierung der Klimaschutzpotenziale im Bereich Beschaffung ist die Erstellung von Beschaffungsleitlinien, bei denen Klimafreundlichkeit und Recyclingfähigkeit im Fokus stehen.

Zentrale Grundlage einer THG-Reduktion in Unternehmen ist die Erstellung einer THG-Bilanz. Mit ihr wird deutlich, wo im Unternehmen die höchsten Emissionen entstehen bzw. zugeordnet werden müssen. Daraus lassen sich Maßnahmenpläne ableiten, die – ähnlich denen der hier vorbereitenden Klimastrategie für Velbert – auf konkrete Maßnahmen zur THG-Reduktion abstellen.

3.4.5. Unternehmenskultur und -organisation

Auf übergeordneter Ebene stellt die Integration von Klimaschutz in die Unternehmensstrategie ein wesentliches Potenzial dar. So können Unternehmen ein Angebot von Schulungen für Energie, Klima- und Nachhaltigkeitsmanager bereitstellen und ihre Mitarbeitenden zu klimafreundlichem Verhalten motivieren. Hier nehmen Unternehmen eine Rolle als [Multiplikatoren](#) ein.

[Kooperative Maßnahmen](#) bieten ein weiteres übergeordnetes Potenzial. Wissensaustausch zum Klimaschutz, Beschaffung von Ökostrom und gemeinsame Projekte zur Umsetzung von Kompensationsmaßnahmen sind Beispiele für solche Maßnahmen. Auf Kreisebene stellt die Initiative „Ökoprofit“ ein solches Netzwerk dar, an welchem die Stadt Velbert selbst bereits teilgenommen, und im Rahmen des Energie- und Klimalunches auch für Unternehmen thematisiert hat. Abseits des bereits etablierten Energie- und Klimalunches, welches vor allem dem Wissensgewinn und -austausch dient, kann die Umsetzung eines gemeinsamen [Bündnisses der Velberter Wirtschaft](#) in Betracht gezogen werden. In einem solchen Bündnis, welches von der Stadt mit initiiert werden könnte, würden gezielt Synergien bei der Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen erzielt werden, indem sich viele Unternehmen und Gewerbetreibende zusammenschließen. Das kann bei der gemeinsamen Erstellung von THG-Bilanzen beginnen und über die gemeinschaftliche Umstellung von nachhaltigen Wärmesystemen reichen.

3.4.6. Zusammenfassung der Potenziale

Die Potenziale des Handlungsfeldes Wirtschaft überschneiden sich aufgrund des hier gewählten aktorsbezogenen Fokus inhaltlich teilweise mit den anderen Handlungsfeldern – so liegen die größten Potenziale der Wirtschaft u.a. in den Bereichen Strom, Wärme und Mobilität.

- Mit einer Eigenerzeugung von PV-Strom können Unternehmen wesentlich zum Erreichen des Velberter Klimaziels beitragen. Auch Energieeffizienzmaßnahmen bieten ein Klimaschutzpotenzial.
- Der Umstieg auf erneuerbare Wärmeversorgung ist auch im Bereich Wirtschaft ein wesentliches Potenzial auf dem Weg zur Klimaneutralität. In den Gewerbegebieten sollte das Potenzial von Wärmenetzen genauer untersucht werden.
- Im Bereich Mobilität können Unternehmen ihre Logistik klimafreundlich ausrichten, sowie ihren eigenen Fuhrpark bspw. auf Lastenräder und E-PKW umstellen und die Mitarbeitenden zu klimafreundlicher Mobilität motivieren, indem entsprechende Infrastruktur (Fahrradstellplätze, Ladesäulen) bereitgestellt wird.
- Eine klimafreundliche Beschaffung wirkt sich nicht direkt auf die gemessene Velberter Klimabilanz aus, jedoch auf die Klimabilanz der Unternehmen. Mit entsprechenden Leitlinien kann eine Orientierung für den Einkauf von bspw. kreislauffähigen Materialien geschaffen werden.
- Eine wichtige Rolle können Unternehmen auch in ihrer Rolle als Multiplikatoren und Kooperationspartner spielen, in welcher sie Mitarbeitende und Geschäftspartner zu klimafreundlichem Verhalten motivieren.

3.5. Handlungsfeld Landnutzung & Ernährung

In diesem Handlungsfeld werden die Bereiche Landwirtschaft sowie Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (Land Use, Land Use Change, and Forestry, LULUCF) beleuchtet. Jedoch fließen die Daten NICHT in die Szenarien ein, da einerseits keine THG-Bilanzen der Stadt für diese Bereiche vorliegt, andererseits die Annahmen so vage sind, dass man sie nicht seriös auf 2045 projizieren kann. Dennoch sollte dieses Handlungsfeld der **nicht-energetischen THG-Emissionen** und die möglichen Potenziale von **Kohlenstoffsenken** mehr Beachtung finden.

Zudem wird das Thema Ernährung analysiert, deren Emissionen zwar größtenteils außerhalb der Velberter Bilanzgrenzen entstehen, welches jedoch auch mit Maßnahmenvorschlägen adressiert werden soll.

3.5.1. Landwirtschaft

Etwa ein Drittel der Gesamtbodenfläche der Stadt Velbert wird landwirtschaftlich genutzt. Für die Bewirtschaftung der rund 2.483 Hektar Acker- und Grünlandflächen sind 68 Betriebe verantwortlich. 33 der 68 Betriebe betreiben Futterbau sowie weitere 17 Ackerbau, und machen somit 74 % aller landwirtschaftlichen Betriebe aus (vgl. Landwirtschaftskammer NRW 2020). Rund 227 Hektar (9,1 %) der landwirtschaftlich genutzten Fläche werden von der Stadt Velbert als Eigentümer verpachtet (Angabe der Stadt Velbert).

Der Bereich Landwirtschaft ist maßgeblich mitverantwortlich für das Erreichen von Klimaneutralität. In diesem Sektor entsteht ein Großteil der THG-Emissionen üblicherweise im Bereich der landwirtschaftlichen Erzeugung, etwa durch die Produktion von mineralischen Dünge- und Pflanzenschutzmitteln. Ebenfalls stark ins Gewicht fallen die Lachgasemissionen, die in der konventionellen Landwirtschaft beim Stickstoffeintrag in den Boden entstehen. Daneben lassen sich erhebliche THG-Emissionen auf die Verdauung der Wiederkäuer und die Lagerung des anfallenden Wirtschaftsdüngers zurückführen. Die Veränderung des Bodenkohlenstoffs in Folge intensiver Bewirtschaftung ist ebenfalls eine bedeutende Größe in der THG-Bilanz (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021; Hülsbergen et al. 2022). Die Landwirtschaft spielt neben der direkten Emissionsreduktion eine wichtige Rolle für die Stärkung und den Ausbau natürlicher Kohlenstoffsenken (vgl. UBA 2018).

Für die Bewertung der Potenziale im Bereich Landwirtschaft ist entscheidend, dass sich die Agrarproduktion im Wesentlichen an der Nachfrage orientiert. Die Reduktion der THG-Emissionen im Agrarsektor (bspw. durch geringere Tierbestände) wird daher nur über eine gleichzeitige Transformation des Ernährungsverhaltens zu erreichen sein. Eine isolierte Betrachtung würde zu Verlagerungs- und Verdrängungseffekten führen (vgl. UBA 2021b; Strefler et al. 2021).

Tierhaltung: Reduktion der Nutztierbestände

Das größte Reduktionspotenzial im Bereich Landwirtschaft, welches auch innerhalb der Klimabilanz von Velbert berücksichtigt werden kann, hätte eine Reduktion der Nutztierbestände. Derzeit gibt es in Velbert 53 Betriebe mit Viehhaltung. 34 dieser Betriebe halten u.a. Rinder (Bestand: 1.895 Tiere), und acht Betriebe Schweine (Bestand: 275 Tiere). Dies ist lediglich ein Anteil von 0,8 % der Rinderbestände, und 0,05 % der Schweinebestände des Regional-Bezirks Düsseldorf (vgl. Landwirtschaftszählung NRW 2020). Somit fallen die Nutztierbestände in Velbert gering aus. Grundsätzlich gehen Szenarien von einem Rückgang der Tierbestände in Deutschland aus (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut, 2021). Folglich wird in diesem Szenario für Velbert ein Rückgang der Tierbestände als Potenzial angenommen, welches dem Szenario für

Deutschland entspricht. Die THG-Einsparungen liegen hier konkret bei der Reduzierung der Methanemissionen aus der Verdauung von Wiederkäuern, sowie dem Rückgang der Wirtschaftsdüngeremenge.

Im Bereich **Ackerbau** ist eine Bindung von Kohlenstoff in organischer Bodensubstanz (Humus) eine Grundvoraussetzung für Emissionsvermeidung und -reduktion (vgl. Strefler et al. 2021). Bei der Bodenbewirtschaftung sollte der Humusaufbau bzw. -erhalt beachtet werden, da die Böden ansonsten zur Kohlenstoffquelle werden (vgl. Chen et al. 2019).

Ökolandbau

In Velbert werden durch zehn Betriebe 456 ha Landwirtschaftliche Fläche ökologisch bewirtschaftet, welches 18 % des gesamten landwirtschaftlichen Fläche ausmacht. Zudem weisen neun Betriebe eine ökologische Viehhaltung auf (vgl. Landwirtschaftskammer NRW, 2020). Der Ökolandbau verbindet mehrere Klimaschutzpotenziale in der Landwirtschaft und ist ein wesentliches Instrument zur Realisierung der Klimaschutzpotenziale in der Landwirtschaft. Entscheidend sind dabei die Förderung geschlossener Nährstoffkreisläufe (möglich durch Flächenbindung der Tierhaltung und Verzicht auf leicht lösliche mineralische Düngemittel) und der Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität sowie die Zufuhr von organischer Substanz (vgl. Sykes et al. 2020; Thünen Institut für Agrarklimaschutz 2018; UBA 2018) durch:

- den Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten für eine nahezu ganzjährige Bodenbedeckung,
- den Anbau von mehrjährigen Kulturen wie z.B. Klee gras,
- die organische Düngung und zielgerichtete Ausbringung mit Effizienzsteigerungseffekten und
- den Verbleib von Ernteresten auf dem Acker.

Die Potenziale zur Steigerung der Bodenkohlenstoffvorräte im Ökolandbau liegen bei rund 11 bis 15 t CO₂ pro Hektar im Vergleich zu konventionell genutzten Ackerflächen (vgl. Gattinger et al. 2012). Dabei wird über organischen Dünger Kohlenstoff im Boden gebunden (vgl. Rumpel et al. 2020). Es ist jedoch zu betonen, dass die Senkenleistung organischer Böden nur solange anhält, bis sich das Fließgleichgewicht aus Kohlenstoffeintrag und Kohlenstoffaustrag aufgrund angepasster landwirtschaftlicher Praktiken auf ein höheres Niveau stabilisiert hat und damit eine Sättigung erreicht ist. Der langfristige Erhalt des dazugewonnenen Bodenkohlestoffs setzt voraus, dass die Praktiken beibehalten werden. Ein Abziehen der Praktiken würde den Boden erneut zur CO₂-Quelle werden lassen (vgl. Strefler et al. 2021)

Insgesamt sind flächenbezogen gegenüber konventionellen Betrieben wesentlich niedrigere Gesamt-THG Emissionen im Ökolandbau zu erwarten (vgl. Hülsbergen et al. 2022). Auch unter Berücksichtigung geringerer Erträge stellen sich verringerte produktbezogene THG-Emissionen ein (bezogen auf Energiebindung und auf Getreideeinheit). Insgesamt würde die weitere Umstellung auf Ökolandbau zu einer Einsparung fossiler Energie und THG-Emissionen führen, jedoch einhergehend mit einem deutlichen Rückgang der pflanzlichen und tierischen Produktion (vgl. Tilman et al. 2002; Banwart, 2011).

Bis zum Jahr 2030 soll auf 20 % der landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland Ökolandbau betrieben werden (vgl. BMEL 2019). Im Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung wurde sogar das Ziel gesetzt 30 % Ökolandbau zu erreichen. Mit seinen derzeitigen 18 % (bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche) ist Velbert zumindest für Ersteres auf einen guten Kurs, zumal der Anteil in NRW bei gerade mal 4,2 % liegt (vgl. Agrarstrukturerhebung 2016, IT.NRW). Die Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ geht davon aus, dass eine Reduktion der THG-Emissionen in der Landwirtschaft bis zum Jahr 2045 durch die Ausweitung des Ökolandbaus und effiziente Gülle nutzung um 11 % im Vergleich zu 2018 möglich ist (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021).

Die THG-Emissionen aus der Landwirtschaft werden für Velbert derzeit noch nicht erhoben.

Aufgrund der nur im geringen Ausmaß vorliegenden Daten ist eine Abschätzung der Minderungspotenziale im Bereich der Landwirtschaft derzeit nur unter verschiedenen Annahmen möglich. Laut des LANUV NRW (2022a) emittierte die Landwirtschaft in NRW rund 6,9 Millionen CO₂-Äquivalente im Jahr 2020. Auf die landwirtschaftliche Fläche der Stadt Velbert runtergerechnet, ergibt sich hieraus ein Anteil von gut 11.592 t CO₂e. Dies entspricht in etwa der THG-Emission, welche durch kommunale Einrichtungen in Velbert entstehen.

Agroforstsysteme

Ein weiteres Potenzial zum Bodenkohlenstoffaufbau bieten sogenannte Agroforstsysteme – die Anlage von Gehölzen in Kombination mit Ackerkulturen oder Tierhaltung. Die Integration von Gehölzen (Hecken- und Strauchflächen, Feldgehölze sowie Bäumen) in landwirtschaftliche Flächen dient neben weiteren ökologischen Zwecken der Anreicherung des Bodenkohlenstoffs (bis zu 18 % mehr Kohlenstoff im Vergleich zu Ackerböden ohne Agroforst) sowie der CO₂-Bindung in der oberirdischen Biomasse. Untersuchungen zeigen, dass der durch Agroforstgehölze beanspruchte Flächenanteil oftmals durch höhere Ackerfruchterträge teilweise oder sogar vollständig kompensiert werden kann (vgl. Böhm et al. 2020).

Derzeit sind auf dem Stadtgebiet von Velbert keine Agroforstsysteme im größeren Maßstab bekannt (vgl. Landwirtschaftskammer NRW 2020). Die Ausweitung von Agroforstsystemen und die Umwandlung und Nutzung der verfügbaren Holzbiomasse in Form von [Pflanzenkohle](#) sind potenzielle Instrumente für Klimaschutz. Alternativ bietet sich eine energetische Verwertung der festen Biomasse an (vgl. Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut 2021). Im Vergleich zur Kohlenstoffspeicherung in langlebigen Holzprodukten oder der Umwandlung in Pflanzenkohle, fällt die energetische Nutzung aus Sicht des Klimaschutzes jedoch schlechter aus (vgl. Tsonkova & Böhm 2020).

Wissenschaftliche Studien quantifizieren das Potenzial für Kohlenstoffspeicherung im Boden durch Agroforstsysteme auf 2,5 bis 5 t CO₂ pro Hektar pro Jahr (vgl. Tsonkova & Böhm 2020; Wiesmeier et al. 2020). Das Sequestrierungspotenzial der oberirdischen Holzbiomasse wird mit 2 bis 12 t CO₂ pro Hektar pro Jahr im europäischen Raum angegeben (vgl. Cardinael et al. 2018; Tsonkova & Böhm 2020). Die Werte variieren in Abhängigkeit von der Baumart, der Baumdichte und der Umtriebszeit.

Ein hohes Potenzial zur Vermeidung von Emissionen auf landwirtschaftlichen Flächen bietet die [Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten Moorflächen](#) (siehe Kapitel 3.5.2). Ebenfalls einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz bietet die duale Flächennutzung durch Landwirtschaft und erneuerbarer Stromerzeugung in sogenannten [Agri-PV-Systemen](#), wie in Kapitel 3.1.1 erläutert. Darüber hinaus bietet die Ausbringung von Pflanzenkohle in landwirtschaftlichen Böden hohes Potenzial zur Speicherung von Kohlenstoff (siehe Kapitel 3.5.4).

3.5.2. Landnutzung und Landnutzungsänderung

Die Art der Bewirtschaftung von Flächen (intensiv oder extensiv) bestimmt darüber, ob Wälder, Böden und Vegetation Kohlenstoff speichern oder diesen abgeben (vgl. UBA 2021). Durch intensive Bewirtschaftung sowie bestimmte Landnutzungsänderungen (z.B. Umwandlung von Grünland zu Ackerland) werden THG-Emissionen freigesetzt. Der Bereich Landnutzung nimmt daher eine bedeutende Rolle im Klimaschutz ein.

Ein übergeordnetes Potenzial im Bereich der Landnutzung und Landnutzungsänderung liegt in der [Reduktion der Flächeninanspruchnahme durch Versiegelung](#). Werden Grünland- oder Waldflächen durch Siedlungserweiterungen und Infrastrukturprojekte versiegelt, verlieren diese Flächen ihre Senkenwirkung und der im Boden gespeicherte Kohlenstoff wird in Form von CO₂ freigesetzt. Ein weiteres Potenzial birgt der [Erhalt](#)

von Dauergrünland. Generell weisen Grünlandflächen deutlich höhere Kohlenstoffvorräte auf als Ackerflächen. Die Umwandlung von Grünland zu Ackerland führt daher zum Kohlenstoffabbau und zur Freisetzung von CO₂-Emissionen. Die Umwandlung von Grünland zu Ackerland führt im Schnitt zu einer CO₂-Emission von 4,89 t CO₂e je Hektar und Jahr (vgl. dena 2021). Gleichzeitig können bis zu 4,33 t CO₂e pro Hektar und Jahr aufgenommen werden, sollte Ackerland zu Grünland umgewandelt werden.

Auf dem Gebiet der Stadt Velbert liegen verschiedene Naturschutzgebiete. Der Erhalt dieser ist zu betonen. Darüber hinaus sind der Schutz der vorhandenen Grünlandflächen sowie die Verhinderung weiterer Flächenversiegelungen wesentliche Erfolgsfaktoren. Dagegen steht oft das Hemmnis des zunehmenden Flächenbedarfs für zukünftige Stadtgebietsentwicklungen. Um dem entgegenzuwirken, gilt es die Bedeutung des flächensparenden Bauens sowie der Städteverdichtung zu betonen.

Renaturierung von Mooren

Die Renaturierung von trockengelegten Moorböden besitzt ein hohes Minderungspotenzial (vgl. Tanneberger et al. 2021). Bei der künstlichen Entwässerung von Mooren (bspw. für die landwirtschaftliche Nutzung) entweicht neben CO₂ auch Lachgas (Stickstoffoxid, N₂O) (vgl. Myhre et al. 2014). Eine Wiedervernässung der Moorflächen trägt zur Vermeidung von Kohlenstoffverlusten bei (vgl. Abel et al. 2019; NABU 2012). Je nach Bewirtschaftung und Tiefe des Wasserstandes können Emissionen im Bereich von 14-32 t CO₂e pro Hektar eingespart werden. Die höchsten THG-Einsparungen können bei der Wiedervernässung von Ackerland erzielt werden. Ein damit verbundenes Potenzial liegt auch in der Nutzung der auf Mooren aufwachsenden Biomasse (Paludikultur) und der damit verbundenen Bindung von Kohlenstoff (vgl. Dahms et al. 2017).

Aufgrund der nicht vorhandenen trockengelegten Moorflächen innerhalb des Stadtgebiets sind in Velbert keine Potenziale für eine mögliche Moorrenaturierung vorhanden (vgl. GEOportal.NRW). Derzeit ist die Erstellung eines Moorbodenkatasters durch die Landesregierung in NRW in Vorbereitung. Sobald hierdurch eine Grundlage geschaffen wurde für Maßnahmen zur Wiedervernässung in NRW, kann die Stadt Velbert in Betracht ziehen, [gemeinsame Renaturierungsprojekte](#) mit umliegenden Städten und Gemeinden zu nutzen, sofern diese relevante Flächen besitzen, um über die Stadtgrenze Velberts hinaus den Klimaschutz voranzutreiben¹¹. Da dies außerhalb des Stadtgebiets von Velbert geschehen würde, könnte die Stadt ein solches Projekt als Klimafinanzierungsmaßnahme deklarieren.

3.5.3. Forstwirtschaft

Mit dem Wachstum der Bäume binden Wälder große Mengen an CO₂, sowohl in lebender Biomasse als auch im Boden. Mit zunehmendem Alter der Bäume nimmt jedoch das CO₂-Entnahmepotenzial der Wälder ab. Zwar sind die deutschen Wälder aktuell durch eine verhältnismäßig junge Altersstruktur gekennzeichnet, jedoch wird eine deutliche Abnahme dieser CO₂-Senke bei Trendfortschreibung der aktuellen Nutzung in Deutschland prognostiziert (vgl. Oehmichen et al. 2018).

Mit 1.900 Hektar (Stand 2020) und einem Waldflächenanteil von etwa 25 % liegt das Stadtgebiet unter dem Bundesdurchschnitt von 32 % (vgl. Flächennutzungsplan 2020, S. 102, Teil A). Der Großteil der Waldflächen liegt in privater Hand. 73 Hektar der Waldfläche (2,8%) werden von der Stadt verwaltet.

Die Intensität der Holzentnahme hat einen wesentlichen Einfluss auf die Kohlenstoffspeicherung im Wald (vgl. Pilli et al. 2016). Übersteigt die jährliche Netto-Zunahme (Zuwachs minus natürlicher Mortalität) des

¹¹ Eine Übersicht der Landesmoorkulisse bietet das GEOportal.NRW. URL: <https://www.geoportal.nrw/?activetab=map#/datasets/iso/3E7CC528-6560-4BBE-AAB0-7DE2417EF993>

Waldes die jährliche Holzentnahme und kommt es darüber hinaus zu keinen einschneidenden Waldschäden, kann sich der Kohlenstoffspeicher im Wald kontinuierlich erhöhen (vgl. dena 2021). Um die Senkenleistung des Waldes zu erhalten, bedarf es einer **Extensivierung der Holzentnahme** und Renaturierung der Waldstruktur (vgl. Oehmichen et al. 2018). Ob und in welchem Umfang Waldumbaumaßnahmen, die den Wald ebenfalls klimaresilienter werden lassen, sinnvoll sind, hängt von der Ausgangssituation des gegebenen Waldes ab. Vor allem Monokulturen wie z.B. Kiefernwälder haben einen höheren Bedarf für Waldumbaumaßnahmen hin zu Laub-Mischwäldern, da u.a. eine höhere Biodiversität zu einer höheren Resilienz führt (vgl. Buma & Wessman, 2013; Zhang et al. 2012). Wie hoch das Potenzial für den Waldbau in Velbert liegt, hängt dementsprechend von der aktuellen Waldstruktur ab. Der direkte Einfluss der Stadt auf die Umsetzung ist oft begrenzt durch den geringen Anteil der gesamten Waldfläche im Besitz der Stadt. Das Potenzial für Waldflächen in privater Hand zur Stärkung der Waldsenke durch eine Extensivierung der Holzentnahme und Förderung natürlicher Strukturen ist wesentlich größer. Darüber hinaus gibt es zumeist eine Konkurrenz zwischen extensiver Waldnutzung und dem Holzbau (siehe Kapitel 3.2.2).

Eine Erhöhung der Senkenleistung über das aktuelle Maß hinaus, bedarf wiederum der Bereitstellung weiterer Flächen zur **(Wieder)-Aufforstung**. Das CO₂-Abscheidungspotenzial neu gepflanzter und junger Wälder im gemäßigten Klima liegt bei etwa 7,3 t CO₂ pro Hektar und Jahr (vgl. Doelman et al. 2020). Zusätzlich werden mit einer Aufforstung die Bodenkohlenstoffvorräte erhöht (vgl. dena 2021). Besonders effektiv bei der CO₂-Sequestrierung sind Laub- und Mischwälder (vgl. Seidl et al. 2017; IPCC 2019), vor allem auch im Hinblick auf stark vom Borkenkäfer befallende Waldflächen. Die im Flächennutzungsplan als „für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft“ markierten Flächen sollten für mögliche Aufforstung geprüft werden, sofern diese nicht bereits bewaldet sind. Auch die im FNP als Reserveflächen für Aufforstung ausgewiesenen Flächen, sollten mit ihren insgesamt 23,7 ha auf 6 Einzelflächen bedacht werden. Das Anpflanzen von Stadtbäumen ist aus Sicht von Klimaschutz und Klimaanpassung zu befürworten, jedoch birgt dieses kein wesentliches quantifizierbares Potenzial.

Pflanzenkohle

Bei der Umwandlung pflanzlicher Biomasse in sogenannte Pflanzenkohle (engl. Biochar) wird pflanzliche Biomasse mittels Pyrolyse-Verfahren thermisch zersetzt. Dabei werden 30-50 % des Kohlenstoffgehalts der Biomasse in Form stabiler Pflanzenkohle abgeschieden und damit langfristig (bei konservativer Berechnung ca. 0,3% Abbaurate pro Jahr; ca. 230 Jahre) im Boden gespeichert (vgl. Schmidt et al. 2019). Verschiedene Arten von Biomasse können dabei als Ausgangsstoffe für die Herstellung von Pflanzenkohle dienen. Zur Erlangung des European Biochar Certificates (EBC)¹² dürfen ausschließlich organische Reststoffe für die Herstellung von Pflanzenkohle verwendet werden. Der Einsatz von Grünabfällen der Stadt für die Herstellung von Pflanzenkohle sollte geprüft werden.

Über eine gezielte Kaskadennutzung der Pflanzenkohle in der Landwirtschaft können große Mengen an Kohlenstoff langfristig im Boden gespeichert werden. Daneben hat die Pflanzenkohle zahlreiche weitere Anwendungsmöglichkeiten, wie z.B. im urbanen Bereich, der Umwelttechnik und als Zusatz in Werkstoffen (vgl. Schmidt et al. 2021). Vor allem der Einsatz von Pflanzenkohle in Substraten für Stadtbäume findet vermehrt Anwendung (vgl. Schmidt et al. 2021). In der Praxis gibt es bereits erste Anwendungen von Pflanzenkohle in Baums substraten. Bei Baumpflanzungen und Standortsanierungen in Stockholm wird Pflanzenkohle schon

¹² Dies ist ein freiwilliger Industriestandard in Europa. Das EBC wird vom Ithaka Institut ausgestellt. Durch das EBC-Kontrollzertifikat soll die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle sichergestellt werden und die Produzenten gegenüber Anwender:innen und Behörden die Möglichkeit erhalten, die Qualität der Pflanzenkohle nachweisbar zu garantieren.

seit 2009 als Substratbestandteil eingesetzt (vgl. Embren, 2016). Aber auch in Freiburg wird die lokal hergestellte Pflanzenkohle unter anderem für Stadtbäume genutzt. In Darmstadt gibt es ebenfalls eine Pyrolyseanlage des städtischen Betriebs EAD, welche pflanzenkohlehaltige Bodensubstrate herstellt, um damit die Stadtbäume zu versorgen. Insgesamt reagieren Bäume positiv auf die Einbringung von Pflanzenkohle in den Boden. Eine Metaanalyse von Thomas und Gale (2015) zeigt eine mittlere Zunahme des Baumwachstums von 41 % in den Varianten mit Pflanzenkohle im Vergleich zu Varianten ohne Pflanzenkohle. Neben der langfristigen Kohlenstoffspeicherung durch die Umwandlung von pflanzlicher Biomasse in Pflanzenkohle führt die Zunahme des Baumwachstums gleichzeitig zu einer zusätzlichen CO₂-Entnahme und Speicherung in der Holzbiomasse.

Laut dem Dashboard URBANE BIOMASSE in Deutschland liegt das technische Biomassepotenzial im Kreis Mettmann bei jährlich durchschnittlich etwa 30.500 Tonnen Frischmasse Bioabfall. Auf die Einwohnerzahl der Stadt Velbert heruntergerechnet, fallen auf dem Stadtgebiet Velbert knapp 5.000 Tonnen Bioabfall an. Hinzu kommen Garten- und Parkabfälle, dessen technisches Biomassepotenzial für den Kreis Mettmann auf jährlich durchschnittlich 22.500 t Frischmasse geschätzt wird (vgl. Dashboard Urbane Biomasse). Anteilig für Velbert ergeben sich hierbei ca. 3.690 t. Auch Klärschlamm kann zur Pflanzenkohleherstellung genutzt werden. Für den Kreis Mettmann beträgt die Menge hier ca. 3.500 t Trockenmasse jährlich, welches einem Anteil von 574 t Trockenmasse für Velbert entspricht.

Die Errichtung einer Pyrolyseanlage für Velbert ggf. im Zusammenschluss mit anliegenden Kommunen, stellt ein zu prüfendes Potenzial dar. Diese Anlagen bieten zudem die Möglichkeit das hierbei entstehende Pyrolyseöl, sowie die entstehende Abwärme ebenfalls zu nutzen.

3.5.4. Ernährung

Bei einem durchschnittlichen jährlichen Lebensmittelverbrauch von 500 kg pro Kopf und Jahr werden THG-Emissionen in Höhe von rund 2 t THG-Emissionen freigesetzt. Damit entfallen etwa ein Fünftel der gesamten jährlichen Pro-Kopf-Emissionen in Deutschland auf den Bereich der Ernährung (vgl. Bzfe 2020). Wie in Kapitel 3.5.1 diskutiert, sind bspw. der Rückgang der Tierbestände oder der ökologische Landbau wesentliche Stellschrauben für die Reduktion der landwirtschaftlichen THG-Emissionen, welche sich jedoch im Wesentlichen an der Nachfrage orientieren. Daher ist die Umstellung auf eine klimafreundliche Ernährung die Voraussetzung für eine klimafreundliche Landwirtschaft.

Ein wesentliches Potenzial im Bereich Ernährung stellt die [Vermeidung von Lebensmittelverschwendung](#) dar. Jährlich werden mehr als 2,6 Mio. Hektar in Deutschland „für die Tonne“ bewirtschaftet, was für rund 48 Mio. t THG-Emissionen (bspw. für Anbau, Transport und Produktion der Lebensmittel) verantwortlich ist (vgl. WWF 2015). Die Lebensmittelabfälle entstehen an sämtlichen Punkten entlang der Lebensmittelversorgungskette, aber der größte Anteil fällt in Privathaushalten an mit 52%. Die restlichen Verluste teilen sich auf die Verarbeitung (18 %), die Außer-Haus-Verpflegung (14 %), die Landwirtschaft (Nachernteverluste, 12 %), und den Handel (4 %) auf (vgl. Schmidt et al. 2019).

Rund 70 % der THG-Emissionen im Bereich der Ernährung entfallen auf die Produktion von tierischen Lebensmitteln (vgl. WWF 2012). Eine [pflanzenbasierte Ernährung](#) trägt somit erheblich zum Klimaschutz bei (vgl. Öko-Institut 2021). Wissenschaftliche Untersuchungen ergeben eine Reduktion der THG-Emissionen im Bereich Ernährung pro Person und Jahr von 28,2 % bei deutlich reduziertem Fleischkonsum, von 47,7 % bei vegetarischer Ernährung und von 70,1 % bei veganer Ernährung (vgl. Schlatzer & Lindenthal 2020). Der [Konsum saisonaler, regionaler und ökologischer Lebensmittel](#) birgt ebenfalls ein Potenzial zur

Emissionsreduktion – etwa durch Verkürzung von Lagerzeiten und Transportwegen. Die Vorteile ökologischer Lebensmittel für den Klimaschutz werden in Kapitel 3.5.1 dargestellt. Die positiven Klimaeffekte einer weitgehend pflanzenbasierten Ernährung werden durch den Konsum ökologischer Lebensmittel gesteigert: Die THG-Emissionen pro Person und Jahr gehen bei veganer Bio-Ernährung um 76 % zurück, bei vegetarischer Bio-Ernährung um 57 %, und bei Bio-Ernährung mit reduziertem Fleischkonsum um 41 % im Vergleich zur gegenwärtigen Ernährung (vgl. Schlatzer & Lindenthal 2020). Das Bewusstsein für umwelt- und klimafreundliche Ernährung wächst in Deutschland (vgl. BMEL 2021). So nimmt auch die Zahl der Vegetarier:innen und Veganer:innen stetig zu. Im Zeitraum von 2016 bis 2020 wuchs die Zahl der Vegetarierinnen um 23 % auf 6,5 Mio. und die Anzahl der Veganer:innen um 38 % auf 1,1 Mio. in Deutschland (vgl. IfD Allensbach 2021). Von 2016 bis 2019 wuchs der Marktanteil der Bio-Lebensmittel von 5 % auf 6,4 %, noch bevor die Branche während der Corona-Pandemie einen Boom erlebte (vgl. BÖLW 2022).

Das hohe Potenzial der klimafreundlichen Ernährung wirkt sich nicht auf die THG-Bilanz der Stadt Velbert aus. Durch den territorialen Ansatz des BSKO-Standards werden Emissionen dort bilanziert, wo sie entstehen.

3.5.5. Zusammenfassung der Potenziale

Im Folgenden werden die zentralen Erkenntnisse der Potenzialanalyse im Handlungsfeld Landnutzung und Ernährung zusammengefasst:

- Landwirtschaft: Rückgang der Tierbestände mit größtem Einfluss – allerdings gesteuert durch Nachfrage. Erhöhung des Anteils von Ökolandbau und Einsatz von Agroforstsystemen als weitere Potenziale.
- Landnutzung: Potenzial zur Wiedervernässung von Mooren auf dem Velberter Stadtgebiet nicht vorhanden. Reduktion der Flächenversiegelung (durch Siedlungs- und Infrastrukturbau) zentral für den Erhalt von Bodenkohlenstoff.
- Forstwirtschaft: Erhalt von Waldflächen, extensive Bewirtschaftung und ggf. Waldumbau hin zu resilienter Struktur als wesentliche Potenziale. Herstellung von Pflanzenkohle als Kohlenstoffsенke als weiteres Potenzial; ggf. Nutzung von Grünschnitt der Stadt/des Landkreises
- Ernährung: Hauptpotenziale: pflanzenbasierte, ökologische, saisonale und regionale Ernährung, sowie die Vermeidung von Lebensmittelverschwendung

LITERATUR

- Abel, S., Barthelmes, A., Gaudig, G., Joosten, H., Nordt, A. & Peters, J. 2019. Klimaschutz auf Moorböden: Lösungsansätze und Best-Practice-Beispiele. Greifswald Moor Centrum. URL: https://greifswald-moor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/201908_Broschuere_Klimaschutz%20auf%20Moorb%C3%B6den_2019.pdf (abgerufen am 29.11.2021).
- Agora Energiewende 2022. Photovoltaik- und Windflächenrechner. URL: <https://www.agora-energie-wende.de/service/pv-und-windflaechenrechner/> (abgerufen am 31.01.2022).
- Agora Verkehrswende, Agora Energiewende, Regulatory Assistance Project (RAP). 2019. Verteilnetzausbau für die Energiewende – Elektromobilität im Fokus. URL: https://static.agora-energie-wende.de/fileadmin/Projekte/2018/Netzausbau_Elektromobilitaet/Agora-Verkehrswende_Agora-Energiewende_EV-Grid_WEB.pdf (abgerufen am 05.01.2022).
- Banwart, S. (2011) Save our soils. *Nature* 474:151-152. URL: <https://www.nature.com/articles/474151a> (abgerufen am 29.04.2022).
- BMWK. 2020a. Erneuerbare Energien in Zahlen: Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2019. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (abgerufen am 28.04.2023).
- BMWK. 2021. Energieeffizienz in Zahlen Entwicklungen und Trends in Deutschland 2021. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-entwicklungen-und-trends-in-deutschland-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (abgerufen am 05.04.2023).
- BMWK. 2021. Gesamtausgabe der Energiedaten - Datensammlung des BMWi. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt-xls.html> (abgerufen am 05.04.2023).
- BMWK 2022. Eröffnungsbilanz Klimaschutz. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/220111_eroeffnungsbilanz_klimaschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=22 (abgerufen am 31.03.2023).
- BMWK 2022b. Überblickspapier Osterpaket. URL: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/0406_ueberblickspapier_osterpaket.html (abgerufen am 31.03.2023).
- Böhm, C., Kanzler, M. & Pecenka, R. 2020. Untersuchungen zur Ertragsleistung (Land Equivalent Ratio) von Agroforstsystemen. Loseblatt 35. URL: <https://agroforst-info.de/fachinformationen/loseblattsammlung/> (abgerufen am 21.12.2021).
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) 2021a. Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR). URL: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/regionalstatistische-raumtypologie.html> (abgerufen am 14.01.2022).
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) 2021b. Mit der Elektrobahn klimaschonend in die Zukunft – Das Bahn-Elektrifizierungsprogramm des Bundes. URL: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/schiene-aktuell/elektrobahn-klimaschonend-zukunft-bahn-elektrifizierungsprogramm.html> (abgerufen am 04.02.2022).
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). 2019. Zukunftsstrategie Ökologischer Landbau. URL: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/oekologischer-landbau/zukunftsstrategie-oekologischer-landbau.html#:~:text=%2220%20Prozent%20%C3%96ko%2DLandbau%20bis,res-sourcenschonende%2C%20umweltvertr%C3%A4gliche%20und%20nachhaltige%20Wirtschaftsform> (abgerufen am 8.12.2021).

- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). 2021. Deutschland, wie es isst - der BMEL-Ernährungsreport 2021. URL: <https://www.bmel.de/DE/themen/ernaehrung/ernaehrungsreport2021.html> (abgerufen am 09.02.2022).
- Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE). 2020. Grundsatzstudie Energieeffizienz. URL: https://www.bfee-online.de/SharedDocs/Downloads/BfEE/DE/Effizienzpolitik/grundsatzstudie_energieeffizienz.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen am 02.02.2022).
- Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI). 2018. Klimapfade für Deutschland. URL: <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland/> (abgerufen am 02.02.2022).
- Bundeszentrum für Ernährung (Bzfe, Hrsg.) (2020): Ernährung und Klimaschutz. Klima schützen im Alltag. URL: <https://www.bzfe.de/nachhaltiger-konsum/orientierung-beim-einkauf/ernaehrungund-klimaschutz/> (abgerufen am 06.12.2021).
- Bürger, V., Braungardt, S., Maaß, C., Sandrock, M. und Möhring, P. 2021. Agenda Wärmewende 2021. Studie im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität und Agora Energiewende. URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Partnerpublikationen/2021/Agenda_Waermewende_2021/2021-06-10_Waermewende_2021.pdf (abgerufen am 31.01.2022).
- BWE 2022. Windenergie in Deutschland - Zahlen und Fakten. URL: <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/deutschland/> (abgerufen am 31.01.2022).
- C.A.R.M.E.N. e.V. 2017 Nahwärmenetze und Bioenergieanlagen. Ein Beitrag zur effizienten Wärmenutzung und zum Klimaschutz. URL: https://www.energiesystemtechnik.de/images/pdf/Merkblatt_Nahwaerme_CARMEN.pdf (abgerufen am 10.11.2022).
- Cardinael, R., Umulisa, V., Toudert, A., Olivier, A., Bockel, L. & Bernoux M. 2018. Revisiting IPCC Tier 1 coefficients for soil organic and biomass carbon storage in agroforestry systems. Environ Research Letter, 13(12):124020. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aab5f> (abgerufen am 15.12.2021).
- Chen, S., Arrouays, D., Angers, D. A., Martin, M. P. & Walter, C. 2019. Soil carbon stocks under different land uses and the applicability of the soil carbon saturation concept. In: Soil and Tillage Research 188, S. 53–58. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198718308493> (abgerufen am 29.11.2021).
- Cischinsky, H. und Diefenbach, N. 2018. Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016: Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Institut für Wohnen und Umwelt (IWU). URL: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/2018_IWU_CischinskyEtDiefenbach_Datenerhebung-Wohngeb%C3%A4udebestand-2016.pdf (abgerufen am 31.01.2022).
- Claußner, M., Brinkhaus, M., Troost, C. 2020. Chancen einer Verdreifachung des PV-Kleinanlagenanteils am Strommix bis 2030. URL: <https://www.ews-schoenau.de/export/sites/ews/ews/presse/.files/energy-brainpool-studie-pv-kleinanlagen-ews.pdf> (abgerufen am 02.02.2022).
- Dahms, T., Oehmke, C., Kowatsch, A., Abel, S., Wichmann, S., Wichtmann, W. & Schröder, C. 2017. Paludi-Pellets-Broschüre: Halmgutartige Festbrennstoffe aus nassen Mooren. 68 S. Greifswald: Universität Greifswald. URL: [https://www.moorwissen.de/doc/publikationen/paludi_pellets_broschuere/downloads/Dahms%20et%20al.%20\(2017\)%20Paludi-Pellets-Brosch%C3%BCre.pdf](https://www.moorwissen.de/doc/publikationen/paludi_pellets_broschuere/downloads/Dahms%20et%20al.%20(2017)%20Paludi-Pellets-Brosch%C3%BCre.pdf) (abgerufen am 29.11.2021).
- Dashboard Urbane Biomassen in Deutschland (BETA). o.D. URL: <https://dbfz.maps.arcgis.com/apps/dashboards/bfb8f43123343e6a74f4746bc3ae1c8> (abgerufen am 26.04.2023).

- Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena) 2021. „Natürliche Senken –Kurzgutachten im Rahmen der dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität“, erstellt vom Ökoinstitut e. V. URL: <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/kurzgutachten-im-rahmen-der-dena-leitstudie-aufbruch-klimaneutralitaet-oeko-institut-e-v/> (abgerufen am 29.11.2021).
- Deutsche Energie-Agentur (dena). 2017. Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor. Berlin. URL: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9220_Gebaeudestudie_Szenarien_Klima-_und_Ressourcenschutzpolitik_2050.pdf (abgerufen am 27.05.2023).
- Doelman JC., Stehfest E., Vuuren DP van., Tabeau A., Hof AF., Braakhekke MC., Gernaat DEHJ., Berg M van den., Zeist W-J van., Daioglou V, et al., 2020. Afforestation for climate change mitigation: Potentials, risks and trade-offs. *Global Change Biology*, 26(3):1576–1591. URL: <https://doi.org/10.1111/gcb.14887> (abgerufen am 29.11.2021).
- Dunkelberg, Weiß, Möhring, Maaß, & Sakhel. 2021. Entwicklung einer Wärmestrategie für das Land Berlin. Berlin: Land Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz. URL: <https://www.berlin.de/sen/uvk/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/waermewende-im-land-berlin/waermestrategie/> (abgerufen am 27.05.2023).
- Energieatlas NRW. URL: <https://www.energieatlas.nrw.de/site/karten> (abgerufen am 12.04.2023).
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE). 2022. Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. URL: <https://www.agri-pv.org/de/> (abgerufen am 03.02.2022).
- Gattinger, A., Muller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., Mäder, P., Stolze, M., Smith, P., Scialabba, N. E.-H., Niggli, U. 2012. Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. In: *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109 (44), S. 18226–18231. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1209429109> (abgerufen am 29.11.2021).
- Geologischer Dienst NRW. Oberflächennahe Geothermie. URL: <https://www.geothermie.nrw.de/oberflaechennah> (abgerufen am 26.04.2023).
- GEOportal.NRW URL: <https://www.geoportal.nrw/?activetab=map> (abgerufen am 27.04.2023)
- Gerhardt, N., Bard, J., Schmitz, R., Beil, M., Pfennig, M und Kneiske, T. 2020. Wasserstoff im zukünftigen Energiesystem: Fokus Gebäudewärme, 2020. URL: https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/de/Dokumente/Studien-Reports/FraunhoferIEE_Kurzstudie_H2_Gebaeudewaerme_Final_20200529.pdf (abgerufen am 31.01.2022).
- Günther, D., Wapler, J., Langner, R., Helmling, S., Miara, M., Fischer, D., Zimmermann, D., Wolf, T. und Wille-Hausmann, B. 2020. Wärmepumpen in Bestandsgebäuden. Abschlussbericht. URL: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/downloads/pdf/Forschungsprojekte/BMWi-03ET1272A-WPsmart_im_Bestand-Schlussbericht.pdf (abgerufen am 31.01.2022).
- Hamburg Institut, Bodensee Stiftung 2021. Naturschutzaspekte bei zukünftigen Regelungen zur Wärme- und Kälteerzeugung. Zweiter Zwischenbericht.
- Hülsbergen K-J, Schmid H, Paulsen HM (Hrsg.) (2022) Steigerung der Ressourceneffizienz durch gesamtbetriebliche Optimierung der Pflanzen- und Milchproduktion unter Einbindung von Tierwohlaspekten – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 540 p, Thünen Rep 92. URL: <http://www.pilotbetriebe.de/> (abgerufen am 29.04.2022).
- IfD Allensbach. 2021. Rund 8 Millionen Deutsche essen kein Fleisch. URL: <https://de.statista.com/infografik/24000/anzahl-der-vegetarier-und-veganer-in-deutschland/> (abgerufen am 22.02.2022).

- Kleinertz, B. von Roon, S., Djamali, A., Ferstl, J., Freiberger, L., Greif, S., Harper, R., Portune, M. Schmidt, T., Timpe, C., Bürger, V., Cludius, J., Wingenbach, M., 2021. Klimaneutrale Wärme München 2035. Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, Öko-Institut e. V. München. URL: https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2020/05/280921_Klimaneutrale-Waerme-Muenchen-1.pdf (abgerufen am 10.11.2021).
- Koalitionsvereinbarung von CDU und GRÜNEN. 2022. ZUKUNFTSVERTRAG FÜR NORDRHEIN-WESTFALEN. URL: https://gruene-nrw.de/dateien/Zukunftsvertrag_CDU-GRUeNE_Vorder-und-Rueckseite.pdf (abgerufen am 26.04.2023).
- Kopernikus-Projekt Ariadne. 2021. Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich. URL: <https://ariadneprojekt.de/publikation/deutschland-auf-dem-weg-zur-klimaneutralitaet-2045-szenarienreport/> (abgerufen am 03.02.2022).
- Koscher, R. 2021. Photovoltaik-Freiflächenanlagen in der Raumplanung. Diplomarbeit. Fakultät für Architektur und Raumplanung an der Technischen Universität Wien. URL: <https://repositum.tu-wien.at/bitstream/20.500.12708/17107/1/Koscher%20Raffael%20-%202021%20-%20Photovoltaik%20Freiflaechenanlagen%20in%20der%20Raumplanung.pdf> (abgerufen am 31.01.2022).
- Krafftahrt-Bundesamt (KBA). 2019. Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Gemeinden, 1. Januar 2019 (FZ 3). URL: https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ3/fz3_2019_xlsx.html (abgerufen am 26.04.2023).
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). 2015. Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 4 – Geothermie LANUV-Fachbericht 40. URL: https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/Fachbericht_40-Teil4-Geothermie_web.pdf (abgerufen am 26.04.2023).
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). 2022a. Treibhausgasemissionen. URL: <https://umweltindikatoren.nrw.de/klima-energie-effizienz/treibhausgasemissionen> (abgerufen am 26.04.2023).
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). 2022b. Potenzialstudie Windenergie NRW. LANUV-Fachbericht 124. URL: https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/Potenzialstudie-Windenergie-NRW.pdf (abgerufen am 24.04.2023).
- Landesamt für Statistik Nordrhein-Westfalen. 2011. Gebäude- und Wohnungszählung 2011 (Zensus). URL: <https://www.landesdatenbank.nrw.de/ldb NRW/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1682687363194&code=31211#abreadcrumb> (abgerufen am 26.04.2023).
- Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen (IT.NRW). 2020. Landwirtschaftszählung 2020. Ausgewählte Merkmale für landwirtschaftliche Betriebe 2020 nach Gemeinden.
- Landesregierung Nordrhein-Westfalen. 2021. Gesetz zur Änderung der Landesbauordnung 2018 Vom 30. Juni 2021. URL: https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_vbl_de-tail_text?anw_nr=6&vd_id=19609&vd_back=N822&sg=1&menu=1#NORMFUSS (abgerufen am 26.04.2023).
- Luderer, G., Günther, C., Sörgel, D., Kost, C., Blesl, M., Haun, M., Kattelmann, F., Pietzcker, R., Rottoli, M., Schreyer, F., Sehn, V. und Sievers, L. 2021. Gesamtsystemtransformation und Emissionspfade zur Klimaneutralität. In: Luderer, G., Kost, C. & Sörgel, D. 2021 (Hrsg.): Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 Szenarien und Pfade im Modellvergleich. Kopernikus-Projekt Ariadne. URL: https://ariadneprojekt.de/media/2021/10/Ariadne_Szenarienreport_Oktober2021_lowres.pdf (abgerufen am 31.01.2022).

- Mahler, B., Idler, S., Nusser, T. & Gantner, J. 2019. Energieaufwand für Gebäudekonzepte im gesamten Lebenszyklus. Abschlussbericht. Umweltbundesamt (UBA). URL: http://digital.bib-bvb.de/view/bvb_single/single.jsp?dvs=1682671525204~677&locale=de&VIEWER_URL=/view/bvb_single/single.jsp?&DELIVERY_RULE_ID=39&bfe=view/action/singleViewer.do?dvs=&frameId=1&usePid1=true&usePid2=true (abgerufen am 05.04.2023).
- Miskin, C. K., Li, Y., Perna, A., Ellis, R. G., Grubbs, E. K., Bermel, P., & Agrawal, R. (2019). Sustainable co-production of food and solar power to relax land-use constraints. *Nature Sustainability*, 2(10), 972-980.
- Mobilität in Deutschland 2017. Nobis, C., Kuhnimhof, T. 2018. Mobilität in Deutschland– MiD: Ergebnisbericht. URL: http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf (abgerufen am 14.01.2022).
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon F.-M. et al. 2013. Anthropogenic and natural radiative forcing. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, ed. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 659 – 740.
- NABU 2012. Entwicklung und Schutz unserer Moore. Zum Nutzen von Mensch, Natur und Klima. URL: <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/naturschutz/moorschutz/190502-broschuere-moorschutz-2017.pdf> (abgerufen am 29.11.2021).
- Oehmichen K, Klatt S, Gerber K, 2018. Die alternativen WEHAM-Szenarien: Holzpräferenz, Naturschutzpräferenz und Trendfortschreibung - Szenarienentwicklung, Ergebnisse und Analyse. Johann Heinrich von Thünen-Institut, URL: <https://doi.org/10.3220/REP1527686002000> (abgerufen am 19.05.2022).
- Öko-Institut. 2021. Nachhaltige Ernährung oder: wer isst Erdbeeren im Winter? URL: <https://www.oeko.de/forschung-beratung/themen/konsum-und-unternehmen/nachhaltigeernaehrung-oder-wer-isst-erdbeeren-im-winter/> (abgerufen am 06.12.2021).
- Pendleratlas. 2023. Pendlerströme und Statistiken für Deutschland, Velbert. URL: <https://www.pendleratlas.de/nordrhein-westfalen/kreis-mettmann/velbert/> (abgerufen am 26.04.2023). Pilli, R., Grassi, G., Kurz, W., A., Jose V.M, Abad Viñas, R. 2016. Modelling forest carbon stock changes as affected by harvest and natural disturbances. II. EU-level analysis. In: *Carbon Balance Manage* 11 (1), S. 1–19. URL: <https://cbmjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13021-016-0059-4> (abgerufen am 29.11.2021).
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut. 2021. Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_231_KNDE2045_Langfassung_DE_WEB_2.pdf (abgerufen am 30.11.2021).
- Rumpel, C., Amiraslani, F., Chenu, C. et al. 2020. The 4p1000 initiative: Opportunities, limitations and challenges for implementing soil organic carbon sequestration as a sustainable development strategy. In: *Ambio* 49 (1), S. 350–360. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-019-01165-2> (abgerufen am 29.11.2021).
- Schatzler, M., Lindenthal, T. 2020. Großes Einsparpotential durch Ernährung für den Klimawandel. URL: <https://science.apa.at/power-search/18166524119958158225> (abgerufen am 09.02.2022).

- Schmidt, H.-P., Anca-Couce, A., Hagemann, N., Werner, C., Gerten, D., Lucht, W., Kammann, C. 2019. Pyrogenic carbon capture and storage. *GCB Bioenergy* 11(4), 573-591. URL: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12553> (abgerufen am 29.11.2021).
- Schmidt, H.-P., Hagemann, N., Abächerli, F., Leifeld, J. & Bucheli, T. 2021. Pflanzenkohle in der Landwirtschaft: Hintergründe zur Düngertilassung und Potenzialabklärung für die Schaffung von Kohlenstoff-Senken. *Agroscope Science*. URL: <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/46567> (abgerufen am 29.11.2021).
- Schmidt, T., Schneider, F., Leverenz, D., Hafner, G. 2019. Lebensmittelabfälle in Deutschland – Baseline 2015 (Thünen Report 71). Johann Heinrich von Thünen-Institut. Braunschweig. URL: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ernaehrung/Lebensmittelverschwendung/TI-Studie2019_Lebensmittelabfaelle_Deutschland-Langfassung.pdf?__blob=publication-File&v=3 (abgerufen am 24.04.2023).
- sEnergies 2021. Pan european thermal atlas. URL: <https://www.seenergies.eu/peta5/> (abgerufen am 03.04.2023).
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D. et al. 2017. Forest disturbances under climate change. In: *nature climate change* 7, S. 395–402. URL: <https://doi.org/10.1038/nclimate3303> (abgerufen am 13.12.2021).
- Stadt Velbert. 2018. Energie- und Treibhausgasbilanz der Stadt Velbert 2018.
- Stadt Velbert. 2006. Fachbeitrag zur Ermittlung von Konzentrationszonen für Windkraftanlagen im FNP der Stadt Velbert.
- Stadt Velbert. 2020. Handlungskonzept Wohnen Stadt Velbert. URL: https://www.velbert.de/fileadmin/user_upload/Rathaus_und_Politik/Stadtentwicklung_und_Bauen/Stadtplanung/Handlungskonzept_Wohnen_Fortschreibung.pdf (abgerufen am 26.04.2023).
- Stadt Velbert 2015. Integriertes Energie- und Klimakonzept für die Stadt Velber im Rahmen der BMUB-Klimaschutzinitiative – Abschlussbericht.
- Stadtwerke Velbert. 2023. Stadtwerke Velbert Ausbaustatus Glasfaser. URL: <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1-neNm2qCml-wZ1of5OS1HJvjnia0qnh2&ll=51.34088014259529%2C7.093441711899522&z=12> (abgerufen am 26.04.2023).
- Statistisches Bundesamt. 2020. Entwicklung der Privathaushalte bis 2040. Ergebnisse der Haushaltsvorausberechnung 2020.
- Strefler, J., Merfort, A., Fuss, S. & Kalkuhl, M. 2021. CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre. In: Luderer, G., Kost, C. & Sörgel, D. 2021 (Hrsg.): *Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 Szenarien und Pfade im Modellvergleich*. Kopernikus-Projekt Ariadne-Report. URL: https://ariadneprojekt.de/media/2021/10/Ariadne_Szenarienreport_Oktober2021_lowres.pdf (abgerufen am 13.10.2021).
- Sykes, A. J., Macleod, M., Eory, V., Rees, R. M., Payen, F., Myrgiotis, V., Williams, M., Sohi, S., Hillier, J., Moran, D., Manning, D. A. C., Goglio, P. & Segheta, M. 2020. Characterising the biophysical, economic and social impacts of soil carbon sequestration as a greenhouse gas removal technology. In: *Global change biology* 26 (3), S. 1085–1108. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.14844> (abgerufen am 29.11.2021).
- Technische Betriebe Velbert AöR. 2019. Stadt Velbert. Klimaschutzteilkonzept Fuß- und Radverkehr.

- Thomas, S.C. & Gale, N., 2015. Biochar and forest restoration: a review and meta-analysis of tree growth responses. *New For.* 46, 931–946. URL: <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9491-7> (abgerufen am 29.11.2021).
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., & Mosseler, A. 2009. Forest resilience, biodiversity, and climate change. In A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series, Vol. 43, No. 1, 1-67,. URL: <https://www.sierraforestlegacy.org/Resources/Conservation/Biodiversity/BD%20Thompson%20et%20al%20Forest%20Resilience%20%26%20Biodiversity%202009.pdf> (abgerufen am 30.05.23).
- Thünen Institut für Agrarklimaschutz, 2018. Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands, Ausgewählte Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. BMEL (Hrsg.). Bonn, 2018. URL: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Bodenzustandserhebung.html> (abgerufen am 29.11.2021).
- Tilman, D., Cassman, KG., Matson, PA., Naylor, R., Polasky, S. (2002) Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418:671-677. URL: <https://www.nature.com/articles/nature01014> (abgerufen am 29.04.2022).
- Tschimpke, O., Seefeldt, F., Thamling, N., Kemmler, A., Claasen, T., Gaßner, H., Neusüß, P., Linde, E.. 2011. Anforderungen an einen Sanierungsfahrplan. NABU. Berlin.
- Tsonkava, P. und Böhm, C. 2020. CO₂-Bindung durch Agroforst-Gehölze als Beitrag zum Klimaschutz, „Innovationsgruppe AUFWERTEN – Agroforstliche Umweltleistungen für Wertschöpfung und Energie“. Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Sanftleben (Hrsg.). Cottbus, 2020. URL: https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/02/06_CO2-Bindung.pdf (abgerufen am 15.12.2021).
- TU Dresden, Verkehrs- und Infrastrukturplanung. 2015. Sonderauswertung zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2013). Städtevergleich. URL: https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/2013/uebersichtsseite/SrV2013_Staedtevergleich.pdf?lang=de (abgerufen am 20.03.2023)
- Ueckerdt, F., Bauer, C., Dirnau, A., Everall, J., Sacchi, R. und Luderer, G. 2021. Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. *nature climate change.* 11, 384–393. URL: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01032-7> (abgerufen am 31.01.2022).
- Umweltbundesamt (UBA) 2019. Stromverbrauch senken URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-05_texte_103-2019_energieverbrauchsreduktion_ap1_strom_final.pdf (abgerufen am 02.02.2022).
- Umweltbundesamt (UBA) 2021. Treibhausgasminderung um 70 Prozent bis 2030: So kann es gehen! URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/treibhausgasminderung-um-70-prozent-bis-2030> (abgerufen am 29.11.2021).
- Umweltbundesamt (UBA), Transport Emission Model (TREMOM). 2021. Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr in Deutschland. URL: https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#verkehrsmittelvergleich_personenverkehr_grafik (abgerufen am 04.01.2022).
- Umweltbundesamt (UBA). 2018. Umwelt und Landwirtschaft. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/uba_dzu2018_umwelt_und_landwirtschaft_web_bf_v7.pdf (abgerufen am 08.12.2021).

- Verkehrsgesellschaft der Stadt Velbert mbH (VGV). 2022. Ergebnisbericht. ÖPNV-Konzept für die Stadt Velbert.
- Walberg, D. und Gniechwitz, T. (2016). Wohngebäude- Fakten 2016: Eine Analyse des Wohngebäudebestandes in Deutschland. URL: <https://docplayer.org/38142867-Wohngebäude-fakten-2016.html> (abgerufen am 31.01.2022).
- Wiesmeier, M., Mayer, S., Burmeister, J., Hübner, R., Kögel-Knabner, I. 2020. Feasibility of the 4 per 1000 initiative in Bavaria, A reality check of agricultural soil management and carbon sequestration scenarios. In: *Geoderma* 369, S. 114333. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706119324450> (abgerufen am 29.11.2021).
- Wirtschaftsförderung Velbert. Daten & Fakten. URL: <https://wirtschaftsfoerderung.velbert.de/standort/daten-fakten/> (abgerufen am 26.04.2023).
- WWF. 2012. Klimawandel auf dem Teller. Studie. URL: https://www.wwf.de/fileadmin/fmwwf/Publikationen-PDF/Klimawandel_auf_dem_Teller.pdf (abgerufen am 06.12.2021).
- WWF. 2015. Das Große Wegschmeißen: Vom Acker bis zum Verbraucher: Ausmaß und Umwelteffekte der Lebensmittelverschwendung in Deutschland. URL: https://www.wwf.de/fileadmin/user_upload/WWF_Studie_Das_grosse_Wegschmeissen.pdf (abgerufen am 06.12.2021).
- Zhang, Y., Chen, H. Y., & Reich, P. B. 2012. Forest productivity increases with evenness, species richness and trait variation: a global meta-analysis. *Journal of ecology*, 100(3), 742-749. URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/j.1365-2745.2011.01944.x> (abgerufen am 30.05.23).

KONTAKT

Marleen Greenberg

HIC Hamburg Institut Consulting GmbH
Paul-Neumann-Platz 5
22765 Hamburg

Tel.: +49 (0)40-39106989-34
greenberg@hamburg-institut.com
www.hamburg-institut.com