



Potenzialanalyse

Gemeinde Bestwig



Projektpartner

Dieses Projekt wurde unter Zusammenarbeit der Gemeinde Bestwig und der energielenker projects GmbH durchgeführt.

Auftraggeber

Gemeinde Bestwig

Rathausplatz 1

59909 Bestwig

Ansprechpartner: Alexander Böer

Auftragnehmer

energielenker projects GmbH

Hüttruper Heide 90

48268 Greven

Ansprechpartner: Christian Korte



1 Potenzialanalyse

Aufbauend auf den Ergebnissen der Energie- und THG-Bilanz, die im Rahmen der Fortschreibung des Klimaschutzkonzeptes für den Hochsauerlandkreis angefertigt wurde, wird zur weiteren Spezifikation der Ergebnisse eine Potenzialanalyse für die Gemeinde Bestwig angefertigt. Dabei werden die Potenziale für Energieeinsparung sowie -effizienz in den Sektoren private Haushalte, Wirtschaft (Zusammenfassung aus GHD und Industrie) und Verkehr dargestellt und zum Teil bereits Szenarien herangezogen:

- Das „Trend“-Szenario, welches keine bis lediglich geringfügige Veränderungen in der Klimaschutzarbeit vorsieht
- Das „Klimaschutz“-Szenario, welches mittlere bis starke Veränderungen in Richtung Klimaschutz prognostiziert

Des Weiteren werden innerhalb der Potenzialanalyse die Potenziale im Ausbau der erneuerbaren Energien dargestellt.

Grundlage dieser Annahmen sind bundesweite Studien, die Prognosen für die Sektoren private Haushalte, Wirtschaft und Verkehr treffen. Die entsprechenden Studien der Potenzialanalyse werden nachfolgend in einer Übersicht dargestellt:

In der Potenzialanalyse verwendete Studien:

Sektor Private Haushalte

- **Mehr Demokratie e.V., BürgerBegehren Klimaschutz (2020):** Handbuch Klimaschutz, Wie Deutschland das 1,5-Grad-Ziel einhalten kann.
- **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.

Sektor Wirtschaft (Zusammenfassung von Industrie und GHD)

- **Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (2021):** Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2018 bis 2020 für die Sektoren Industrie und GHD, Studie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB).
- **Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, Technische Universität München, IREES GmbH Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (2015):** Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013, Schlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).
- **Solar-Institut Jülich der FH Aachen in Koop. mit Wuppertal Institut und DLR (2016):** Handbuch methodischer Grundfragen zur Masterplan-Erstellung, Kommunale Masterpläne für 100 % Klimaschutz, Aachen 2016.

Sektor Verkehr

- **Öko-Institut e.V., Fraunhofer ISI (2015):** Klimaschutzszenario 2050, 2. Endbericht, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
- **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.

Die Potenzialanalyse wird nach dem folgenden Schema durchgeführt:

- Abschätzung der Einsparpotenziale für die jeweiligen Sektoren nach Trend- und Klimaschutzszenario bis zum Zieljahr,
- Ermittlung der Potenziale erneuerbarer Energien zur Substitution von Energieverbräuchen
- und in Kapitel 2 werden die ermittelten Einsparpotenziale sowie die Potenziale zum Ausbau der Erneuerbaren Energien zusammengebracht und dienen als Basis für die Erreichung der THG-Minderungspfade.

Damit bietet die Potenzialanalyse wichtige Ansatzpunkte zur Entwicklung von weiteren möglichen Klimaschutzmaßnahmen.

Nachfolgend werden die Einsparpotenziale der Gemeinde Bestwig in den Bereichen private Haushalte, Wirtschaft und Verkehr sowie die erneuerbaren Energien betrachtet und analysiert.

1.1 Private Haushalte

Gemäß der Treibhausgasbilanz aus dem Klimaschutzkonzept des Hochsauerlandkreises dargestellten Energie- und THG-Bilanz der Gemeinde Bestwig entfallen im Jahr 2019 rund 28 Prozent der Endenergie auf den Sektor der privaten Haushalte. Während rund 16 Prozent davon auf den Strombedarf der privaten Haushalte zurückzuführen sind, nimmt der Wärmebedarf mit rund 84 Prozent den proportional größten Anteil am Endenergieverbrauch ein und weist somit ein erhebliches THG-Einsparpotenzial auf.

Wärmebedarf

Durch die energetische Sanierung des Gebäudebestands können der Endenergieverbrauch und damit die THG-Emissionen im Bereich der privaten Haushalte erheblich reduziert werden. Von zentraler Bedeutung sind dabei zum einen die Verbesserung der Effizienz der Gebäudehüllen sowie die Umstellung der Wärmeversorgung hin zu erneuerbaren Energieträgern, wie etwa Wärmepumpen und Solarthermie (Prognos; Öko-Institut; Wuppertal Institut, 2021).

In der nachfolgenden Abbildung 1-1 sind fünf unterschiedliche Sanierungsszenarien und der jeweilige Anteil sanierter Gebäude im Zieljahr abgebildet:

- **Trendszenario:** Hier wird eine lineare Sanierungsrate von 0,8 % p. a. angenommen.
- **Klimaschutzszenario Handbuch Klimaschutz:** Hier steigt die Sanierungsrate von 0,8 % p. a. jährlich um 0,1 % auf maximal 2,8 % p. a. und ist danach gleichbleibend.
- **Klimaschutzszenario Klimaneutrales Deutschland 2045:** Hier steigt die Sanierungsrate ausgehend von 0,8 % p. a. auf 1,8 % p. a. und ist danach gleichbleibend.
- **Klimaschutzszenario Ariadne-Report:** Hier wird eine variable, stark schwankende Sanierungsrate angenommen, die im Maximum 2,3 % p. a. erreicht.
- **Klimaschutzszenario dena-Leitstudie:** Hier steigt die Sanierungsrate ausgehend von 0,8 % p. a. zu Beginn stark an auf 2,4 % p. a. und ist danach gleichbleibend.

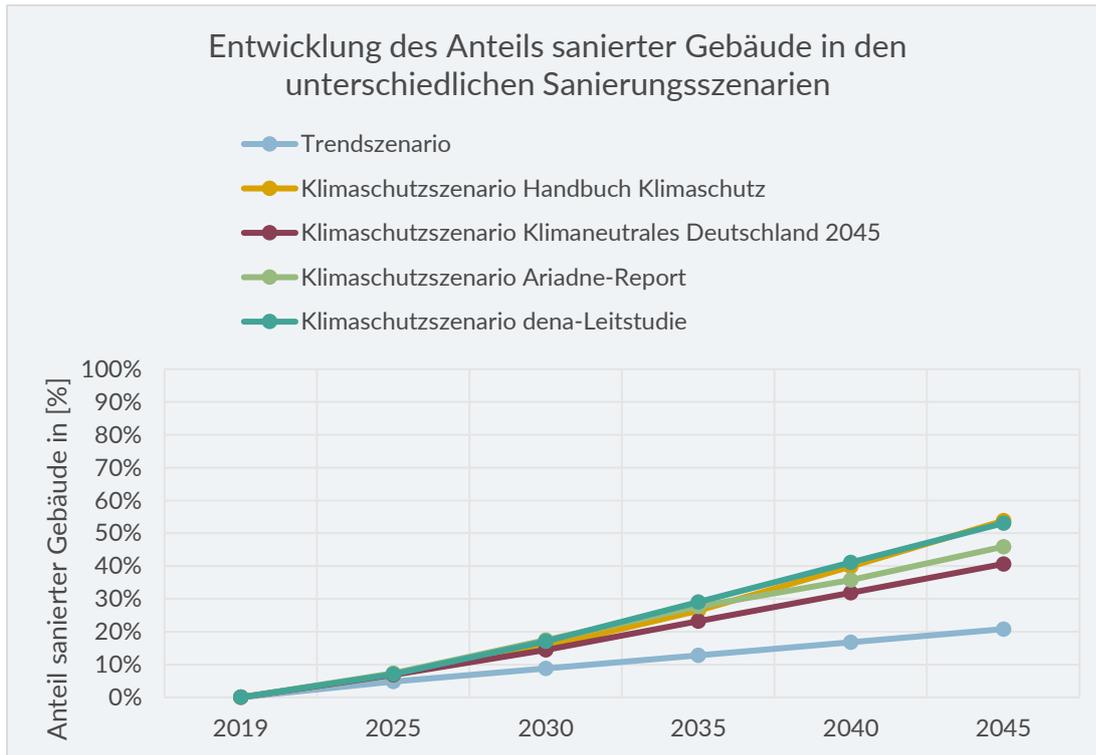


Abbildung 1-1: Entwicklung des Anteils sanierter Gebäude in den unterschiedlichen Sanierungsszenarien (Eigene Darstellung)

Wie der vorangestellten Abbildung zu entnehmen ist, können auf Grundlage dieser Annahmen und Studien im Trendszenario bis zum Zieljahr 2045 lediglich 20,8 Prozent der Gebäude saniert werden, während nach dem Sanierungspfad des Handbuchs Klimaschutz 53,8 Prozent der Gebäude saniert wären. Die anderen Studien prognostizieren dagegen Werte innerhalb dieses Korridors.

Neben der Sanierungsrate spielt zudem die Sanierungstiefe eine entscheidende Rolle. Für die Szenarien wurden dabei folgende Annahmen getroffen:

- Trendszenario: Sanierungstiefe nach GEG-Standard (50 kWh/m²)
- Klimaschutzszenario: Sanierungstiefe nach EH55-Standard (21 kWh/m²) zwischen 2020 und 2030 sowie EH40-Standard (16 kWh/m²) nach 2030

Die nachfolgende Abbildung 1-2 zeigt die möglichen Einsparpotenziale der unterschiedlichen Sanierungsszenarien. Als Referenzgröße werden hier zudem die maximalen Einsparmöglichkeiten bei Vollsanierung (Sanierung aller Gebäude) des Gebäudebestands im Trend- sowie im Klimaschutzszenario aufgezeigt. Bei einer Vollsanierung im Klimaschutzszenario können bestenfalls 80 Prozent des Wärmebedarfs im Bereich der privaten Haushalte eingespart werden (100 Prozent saniert bis 2045). Im Trendszenario würde eine Sanierungsrate von 100 Prozent dagegen lediglich zur Einsparung in Höhe von 64 Prozent führen. Grund hierfür sind die unterschiedlichen Annahmen bzgl. der Sanierungstiefe (siehe oben).

Erfolgt die Sanierung nach dem Sanierungspfad Handbuch Klimaschutz, können rund 43 Prozent des Wärmebedarfs eingespart werden (siehe oben: 53,8 Prozent der Gebäude sind bis zum Jahr 2045 saniert).

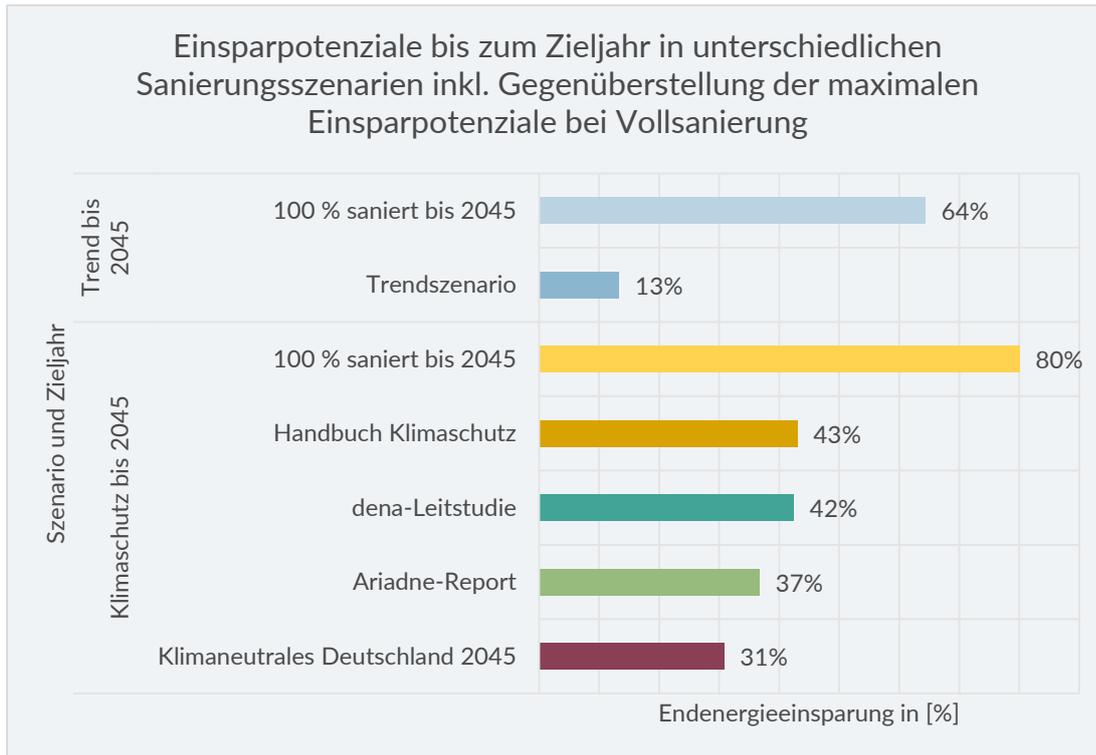


Abbildung 1-2: Einsparpotenziale bis zum Zieljahr in den unterschiedlichen Sanierungsszenarien inkl. Gegenüberstellung der maximalen Einsparpotenziale bei Vollsanierung (Eigene Darstellung)

Strombedarf

Grundlage für die Berechnung des Strombedarfs sind die Berechnungen der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“. Hier wird von einem Strombedarf von 127 TWh deutschlandweit im Jahr 2018 und 114 TWh im Jahr 2045 ausgegangen (Prognos; Öko-Institut; Wuppertal Institut, 2021). Mithilfe dieser Basiswerte wurde ein prozentualer Absenkpfad in 5-Jahres-Schritten berechnet. Damit nimmt der Strombedarf nach eigenen Berechnungen von 2.916 kWh pro Haushalt im Jahr 2020 um etwa 15 Prozent bis 2045 ab, sodass dieser einen Wert von 2.490 kWh pro Haushalt erreicht. Berücksichtigt sind hierbei etwa eine Effizienzsteigerung von Elektrogeräten und der Beleuchtung (Prognos; Öko-Institut; Wuppertal Institut, 2021).

Einfluss des Nutzerverhaltens (Suffizienz)¹

Im Besonderen das Nutzerverhalten (Suffizienz) nimmt einen wesentlichen Einfluss auf das Endenergieeinsparpotenzial im Bereich der privaten Haushalte. Die Effizienzsteigerung der Geräte kann durch die Ausstattungsraten und das Nutzerverhalten begrenzt werden. Eine rein technische Betrachtung führt stets zu einer starken Verminderung des Haushaltsstrombedarfs.

In der Realität zeigt sich, dass besonders effiziente Geräte zu sogenannten Rebound-Effekten führen. Das bedeutet, dass mögliche Stromeinsparungen durch neue Geräte, beispielsweise durch die stärkere Nutzung dieser oder durch die Anschaffung von Zweitgeräten (Beispiel: der alte Kühlschrank wandert in den Keller und wird dort weiterhin genutzt), begrenzt oder sogar vermindert werden (Sonnberger, 2014).

¹ Suffizienz steht für das „richtige Maß“ im Verbrauchsverhalten der Nutzenden und kann auf alle Lebensbereiche übertragen werden.

Andererseits kann auch das Gegenteil eintreten, wobei energieintensive Geräte weniger genutzt werden. Des Weiteren ist es bei einigen Geräten auch schlichtweg nicht möglich, große Effizienzsteigerungen zu erzielen. Deshalb ist der Strombedarf in der Zielvision für 2045 nicht um ein Vielfaches geringer als in der Ausgangslage.

Um Einfluss auf das Nutzerverhalten zu nehmen, kann die Kommune etwa Aufklärungsarbeit leisten und die Einwohnerinnen und Einwohner für Reboundeffekte sensibilisieren.

Endenergieverbrauch

Für die Gemeinde Bestwig wird nach Abstimmung für die weitere Berechnung des Klimaschutzenszenarios die Sanierungsrate nach dem Handbuch Klimaschutz gewählt, sodass sich der ursprüngliche Wärmebedarf in Höhe von 75.563 MWh auf 43.023 MWh im Jahr 2045 reduziert. Der Strombedarf sinkt von 14.840 MWh auf 12.675 MWh. Die nachfolgende Abbildung 1-3 gibt – aufgeteilt nach Trend- und Klimaschutzszenario – einen vollständigen Überblick über die möglichen Entwicklungen des Endenergieverbrauchs im Sektor private Haushalte in Bestwig. **Demnach kann der Endenergieverbrauch von insgesamt 90.403 MWh im Klimaschutzszenario auf 55.699 MWh reduziert werden; im Trendszenario dagegen ist lediglich eine Reduzierung auf 78.126 MWh möglich.**

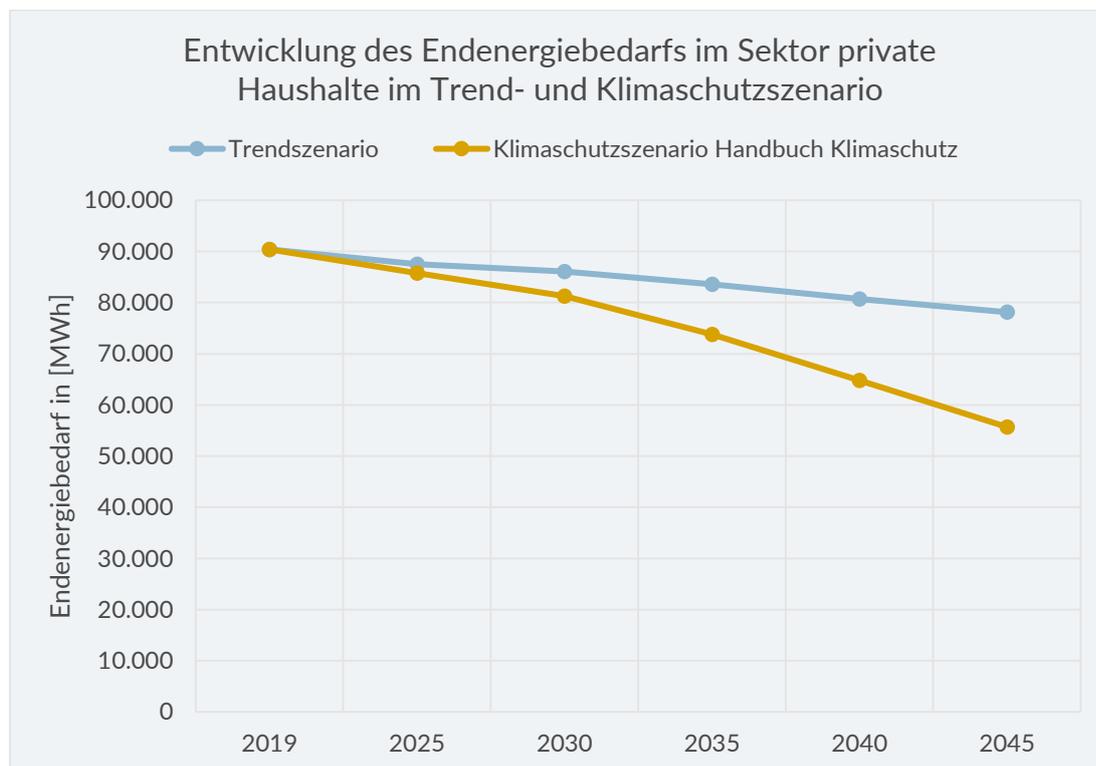


Abbildung 1-3: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor private Haushalte im Trend- und Klimaschutzszenario (Eigene Darstellung)

Einflussbereich der Kommune

Um die Potenziale zu heben, muss die Sanierungsquote stark gesteigert werden. Da hier kein direkter Zugriff durch die Gemeindeverwaltung möglich ist, müssen die Eigentümerinnen und Eigentümer zur Sanierung motiviert werden. Dies geht vor allem über Öffentlichkeits- und Netzwerkarbeit sowie über die Ansprache von Akteuren (Handwerker, Berater, Wohnungsgesellschaften). Einen weiteren Ansatzpunkt stellt die finanzielle Förderung von privaten Sanierungsvorhaben dar. In diesem Bereich sind jedoch eher Land oder Bund (über das BAFA) tätig und zur Absenkung bürokratischer Hürden bei Antragstellung und Förderung gefordert.

1.2 Wirtschaft

Die Energie- und THG-Bilanz hat ergeben, dass 46 Prozent (149.120 MWh) des gesamten Endenergieverbrauchs auf den Sektor Wirtschaft (Zusammenfassung aus GHD und Industrie sowie kommunale Einrichtungen, die zum Sektor GHD zählen) entfallen.

Im industriellen Bereich liegen die Einsparpotenziale vor allem im effizienteren Umgang mit Prozesswärme (Brennstoffe) und mechanischer Energie (Strom). Im Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) wird dagegen ein großer Teil der Energie zur Bereitstellung von Raumwärme sowie zur Beleuchtung und Kommunikation eingesetzt. Abbildung 1-4 zeigt die unterschiedlichen Einsparpotenziale nach Querschnittstechnologien.

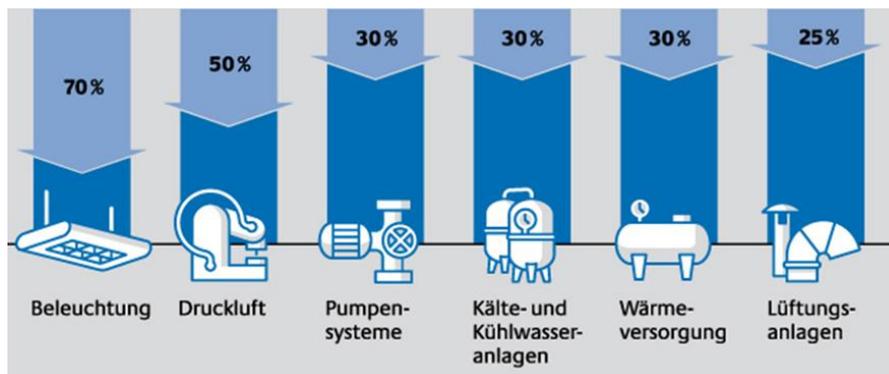


Abbildung 1-4: Energieeinsparpotenziale in der Wirtschaft nach Querschnittstechnologien (dena, 2014)

Für die Ermittlung der Einsparpotenziale von Industrie und GHD wird auf das Handbuch methodischer Grundfragen zur Masterplan-Erstellung zurückgegriffen (Solar Institut Jülich der FH Aachen in Kooperation mit Wuppertal Institut und DLR, 2016).² Hier werden Potenziale für die Entwicklung des Energieverbrauchs von Gewerbebetrieben ausgewiesen.

Für die Berechnung werden folgende Größen verwendet:

- **Spezifischer Effizienzindex:** Entwicklung der Energieeffizienz der entsprechenden Technologie (technischer Fortschritt) bzw. der Effizienzpotenziale im spezifischen Einsatzbereich (Verbesserung in der Prozessführung).
- **Nutzungsintensitätsindex:** Intensität des Einsatzes einer bestimmten Technologie bzw. eines bestimmten Einsatzbereiches. Hier spiegelt sich in starkem Maße auch das Nutzungsverhalten oder die technische Entwicklung hin zu bestimmten Anwendungen wider. Zudem werden hier die Verbesserung der Gebäudeenergieeffizienz durch energetische Sanierung (Einfluss auf Laufzeiten von Heizungen und Klimaanlage) sowie der Klimawandel (steigender Kühlungsbedarf) berücksichtigt.
- **Resultierender Energiebedarfsindex:** Aus der Multiplikation von spezifischem Effizienzindex und Nutzungsintensitätsindex ergibt sich der Energiebedarfsindex. Mit Hilfe dieses Wertes lassen sich nun Energieverbräuche für zukünftige Anwendungen berechnen. Dies geschieht, indem der heutige Energieverbrauch mit dem resultierenden Energiebedarfsindex für 2045 multipliziert wird.

² Für weitere Nebenrechnungen wurden zudem die Studie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, 2021) sowie der Schlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (IREES, 2015) genutzt.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Grundlagendaten der Studie (etwa der Energiebedarfsindex 2010 sowie der spezifische Effizienzindex und der Nutzungsintensitätsindex 2050) dargestellt. Auf Grundlage dieser Werte wurde der resultierende Energiebedarfsindex für das Zieljahr 2045 ermittelt.

Tabelle 1-1: Grundlagendaten und resultierender Energiebedarfsindex für Trend- und Klimaschutzszenario

Trendszenario				
	Energiebedarfsindex 2010	Spezifischer Effizienzindex 2050	Nutzungsintensitätsindex 2050	Resultierender Energiebedarfsindex 2045
Prozesswärme	100 %	95 %	90 %	88 %
Mech. Energie	100 %	80 %	90 %	76 %
IKT	100 %	67 %	151 %	101 %
Kälteerzeuger	100 %	75 %	100 %	79 %
Klimakälte	100 %	75 %	100 %	79 %
Beleuchtung	100 %	55 %	100 %	63 %
Warmwasser	100 %	95 %	100 %	96 %
Raumwärme	100 %	60 %	100 %	67 %
Klimaschutzszenario				
	Energiebedarfsindex 2010	Spezifischer Effizienzindex 2050	Nutzungsintensitätsindex 2050	Resultierender Energiebedarfsindex 2045
Prozesswärme	100 %	95 %	90 %	88 %
Mech. Energie	100 %	67 %	90 %	67 %
IKT	100 %	67 %	151 %	101 %
Kälteerzeuger	100 %	67 %	100 %	72 %
Klimakälte	100 %	67 %	100 %	72 %
Beleuchtung	100 %	55 %	100 %	63 %
Warmwasser	100 %	95 %	90 %	88 %
Raumwärme	100 %	45 %	100 %	56 %

Wie der vorangestellten Tabelle 1-1 zu entnehmen ist, werden – mit Ausnahme von IKT – in sämtlichen Bereichen hohe Effizienzgewinne angesetzt. Dies impliziert, dass – bis auf im Anwendungsbereich Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) – alle Energieverbräuche abnehmen. Der steigende Energieverbrauch im Bereich IKT ist darauf zurückzuführen, dass hier eine weiterhin stark steigende Nutzungsintensität prognostiziert wird.

Die oben dargestellten Parameter werden nachfolgend auf die Jahre 2019 bis 2045 in 5-Jahres-Schritten hochgerechnet. Die nachfolgende Grafik zeigt die Ergebnisse der Berechnungen für den gesamten Wirtschaftssektor. **Dabei wird erkenntlich, dass im Klimaschutzszenario bis zu 15 Prozent Endenergie eingespart werden können. Das Trendszenario führt zu einer Einsparung des Endenergieverbrauchs von lediglich 13 Prozent.**

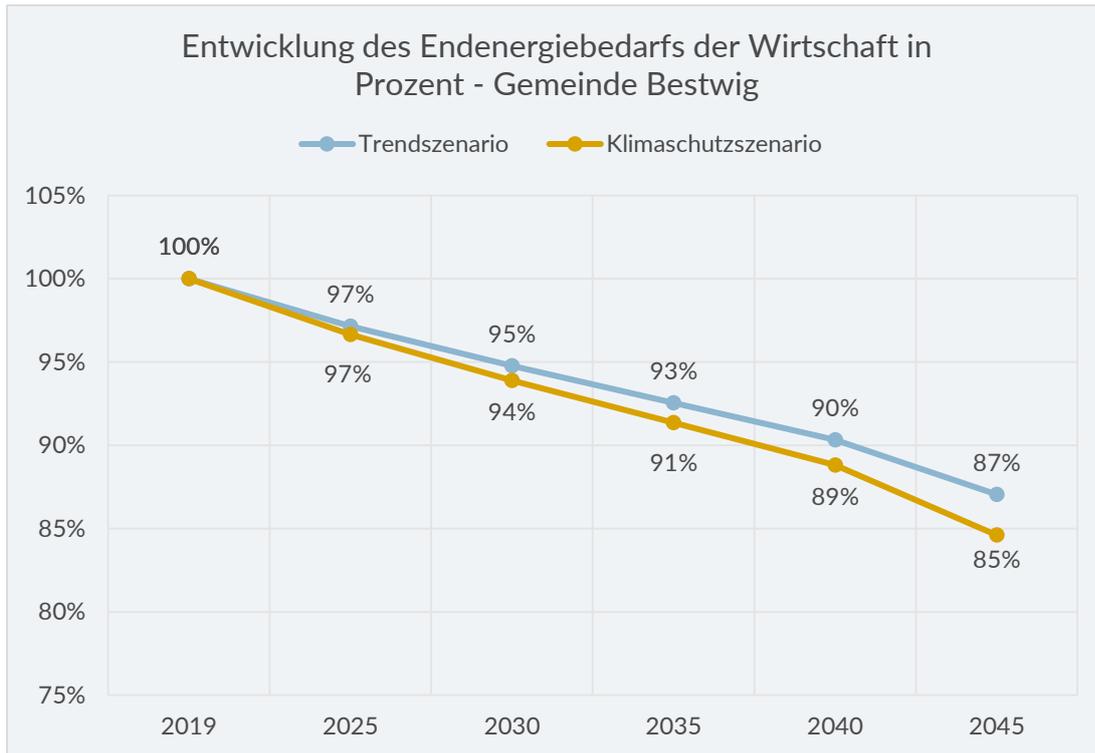


Abbildung 1-5: Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Wirtschaft

Endenergieverbrauch der Wirtschaft

Die Potenziale werden in der nachfolgenden Abbildung 1-6 nach Anwendungsbereichen aufgeteilt dargestellt. Dabei erfolgt eine getrennte Betrachtung des Ausgangsjahres sowie der beiden Szenarien (Trend und Klimaschutz).

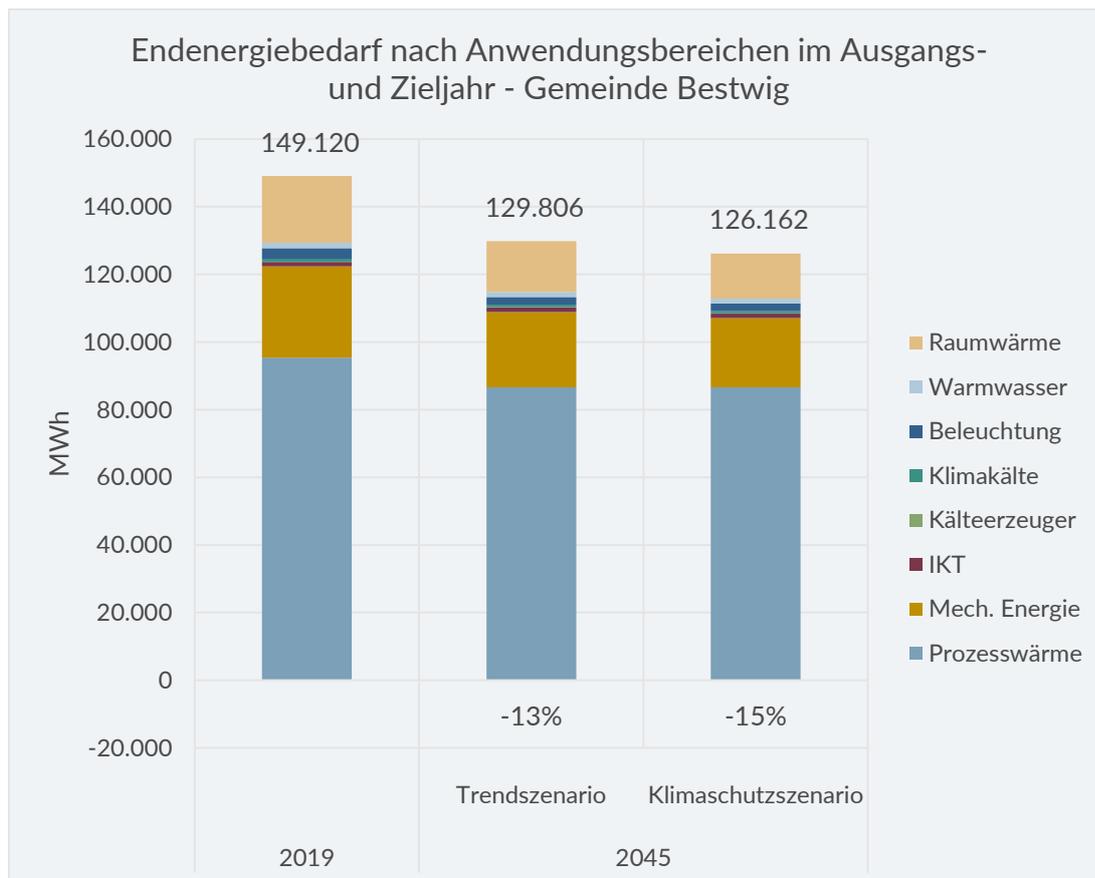


Abbildung 1-6: Strom- und Wärmebedarf nach Anwendungsbereichen im Ausgangs- und Zieljahr (Eigene Berechnung)

Es wird ersichtlich, dass in der Gemeinde Bestwig auch im Wirtschaftssektor verhältnismäßig große Einsparpotenziale im Bereich der Raumwärme und der Prozesswärme liegen. So können im Klimaschutzzenario im Jahr 2040 rund 6.478 MWh Raumwärmebedarf im Vergleich zum Bilanzjahr 2019 eingespart werden; dies entspricht einer Einsparung von rund 23 %. Im Bereich Strom zeigen sich mit 6.528 MWh möglicher Reduktion vor allem Einsparpotenziale im Bereich der mechanischen Energie. Dies wird vor allem durch den Einsatz effizienterer Technologien ermöglicht. Insgesamt lässt sich der Endenergiebedarf im Klimaschutzzenario um 15 % im Zieljahr senken.

Einflussbereich der Kommune

Wie auch im Sektor der privaten Haushalte, gilt im Wirtschaftssektor dasselbe: Um insbesondere das Potenzial der Räumwärme zu heben, sollte die Sanierungsquote gesteigert werden. Da auch für diesen Sektor kein direkter Zugriff durch die Verwaltung der Gemeinde Bestwig möglich ist, müssen die Unternehmen zur Sanierung motiviert werden. Dies geht vor allem über Öffentlichkeits- und Netzwerkarbeit sowie Ansprache von Akteuren. Ein weiterer Ansatzpunkt wäre die finanzielle Förderung von Sanierungsvorhaben. In diesem Bereich sind jedoch eher Land oder Bund (über das BAFA) tätig und zur Absenkung bürokratischer Hürden bei Antragstellung und Förderung gefordert.

Über gesetzgeberische Aktivitäten ließen sich zudem Standards für Energieeffizienzen anheben. Auch hier sind Land, Bund oder EU aufgefordert, aktiv zu werden.

Ein zusätzlicher Anreiz zu energieeffizienter Technologie und rationellem Energieeinsatz können weitere künftige Preissteigerungen im Energiesektor sein. Dies wird jedoch entweder über

die Erhebung zusätzlicher bzw. Anhebung von bestehenden Energiesteuern erreicht oder über Angebot und Nachfrage bestimmt.

1.3 Verkehr

Der Sektor Verkehr hat mit einem Anteil von 26 Prozent am Endenergieverbrauch ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf die THG-Emissionen der Gemeinde Bestwig. Da in diesem Sektor der Anteil erneuerbarer Energien bzw. alternativer Antriebe nach wie vor sehr gering ist, bietet dieser langfristig hohe Einsparpotenziale. Bis zum Zieljahr 2045 ist davon auszugehen, dass ein Technologiewechsel auf alternative Antriebskonzepte (z. B. E-Motoren und Brennstoffzellen) aber auch eine Verkehrsverlagerung Richtung Umweltverbund stattfinden wird. In Verbindung mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien im Stromsektor (entweder auf Gemeindegebiet gewonnen oder von außerhalb zugekauft) kann dadurch langfristig von einem hohen THG-Einsparpotenzial ausgegangen werden.

Aufbauend auf den Studien „Klimaschutzszenario 2050“ (Öko-Institut / Fraunhofer ISI, 2015) und „Klimaneutrales Deutschland 2045“ (Prognos; Öko-Institut; Wuppertal Institut, 2021) wurden die Entwicklungen der Fahrleistung sowie die Entwicklungen der Zusammensetzung der Verkehrsmittel für zwei unterschiedliche Szenarien hochgerechnet (Trend und Klimaschutz). Dabei wurden vorhandene Daten, wie z. B. zurückgelegte Fahrzeugkilometer und der Endenergieverbrauch verwendet.

Basis für das **Trendszenario** sind Werte aus dem „Aktuelle-Maßnahmen-Szenario“ der Studie „Klimaschutzszenario 2050“ (Öko-Institut / Fraunhofer ISI, 2015). Das **Klimaschutzszenario** basiert dagegen auf der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ (Prognos; Öko-Institut; Wuppertal Institut, 2021) und stellt eine maximale Potenzialausschöpfung dar.

Entwicklung der Fahrleistungen

Nachfolgend sind die Fahrleistungen für das Trend- und das Klimaschutzszenario bis 2045 berechnet worden. Daran schließen sich die Ergebnisse der Endenergieverbrauchs- und Potenzialberechnungen für den Sektor Verkehr an.

Wie der nachfolgenden Abbildung 1-7 zu entnehmen ist, zeigt sich für das Trendszenario bis 2045 insgesamt eine leichte Zunahme der Fahrleistungen. Während der motorisierte Individualverkehr um rund 1 Prozent ansteigt, steigen die Verkehrsmittel leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und Lastkraftwagen (LKW) um rund. 15 Prozentpunkte an. Bei den Bussen ist mit einer Abnahme der Fahrleistung von 7 Prozent zu rechnen.

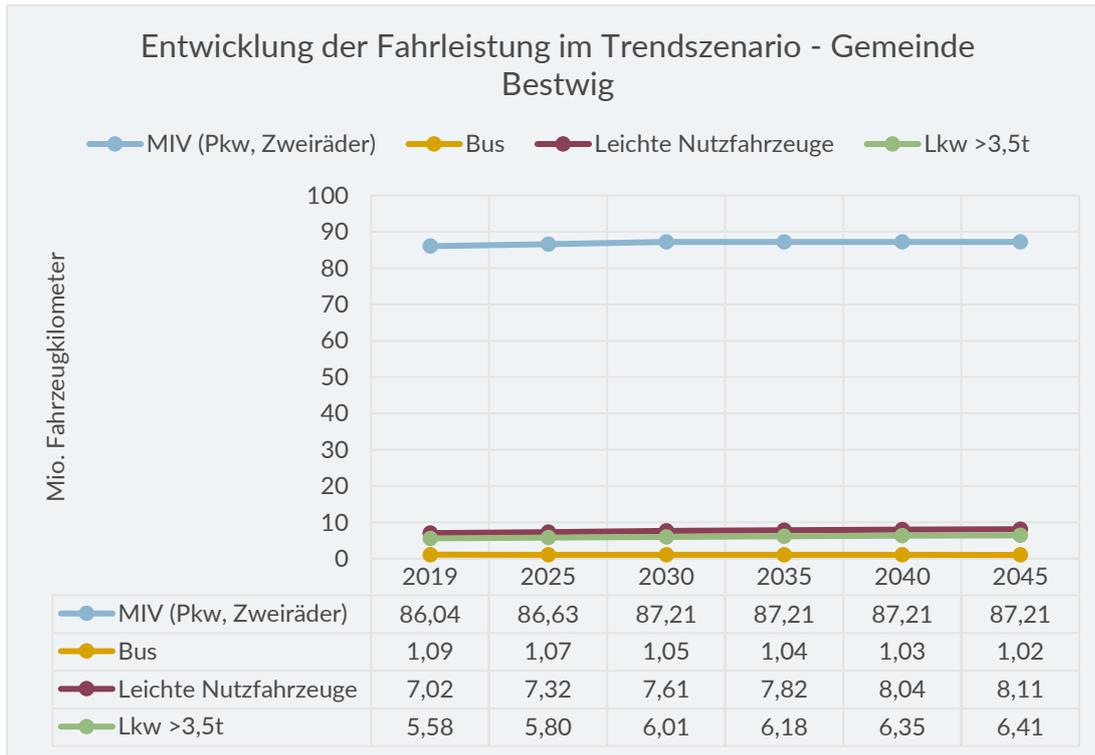


Abbildung 1-7: Entwicklung der Fahrleistungen im Trendszenario (Eigene Berechnung)

Die Entwicklungen der Fahrleistungen im Klimaschutzscenario sind in der Abbildung 1-8 dargestellt und zeigen bis 2045 eine Abnahme der gesamten Fahrleistung um rund 20 Prozent. Der MIV sinkt um rund 27 Prozent. Die Fahrleistung der Busse verdoppelt sich in etwa (Zunahme in Höhe von 102 Prozent). Für die verbleibenden Verkehrsmittel (LNF und LKW) wird eine leichte Zunahme von jeweils 13 Prozent prognostiziert.

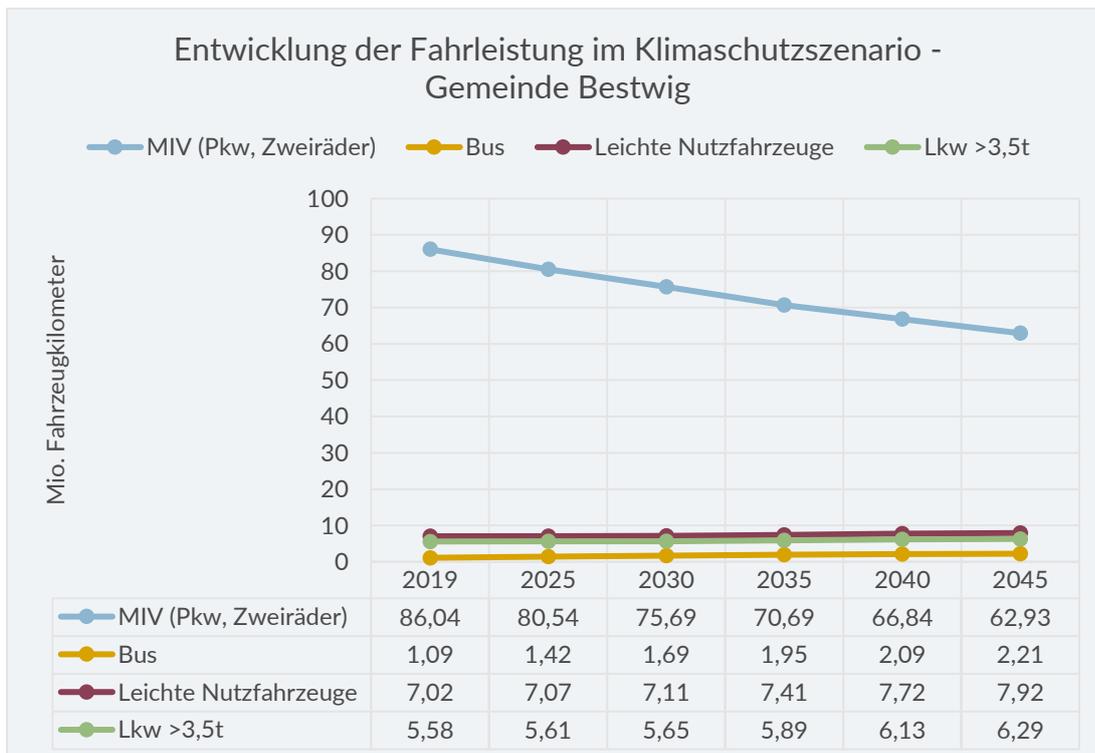


Abbildung 1-8: Entwicklung der Fahrleistungen im Klimaschutzscenario (Eigene Berechnung)

Wie der nachfolgenden Abbildung 1-9 zu entnehmen ist, verschiebt sich neben der Veränderung der Gesamtfahrleistung auch der Anteil der Fahrzeuge mit konventionellen Antrieben zugunsten von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben. Im Klimaschutzszenario ist zu erkennen, dass bereits vor 2035 die Fahrleistung der Fahrzeuge mit alternativen Antrieben die Fahrleistung der fossil betriebenen Fahrzeuge übertrifft. Für das Trendszenario gilt dies nicht. Hier dominieren weiterhin deutlich die konventionellen Antriebe, wobei auch hier der Anteil der alternativen Antriebe aufgrund sich andeutender Marktdynamiken steigen wird – allerdings nur moderat.

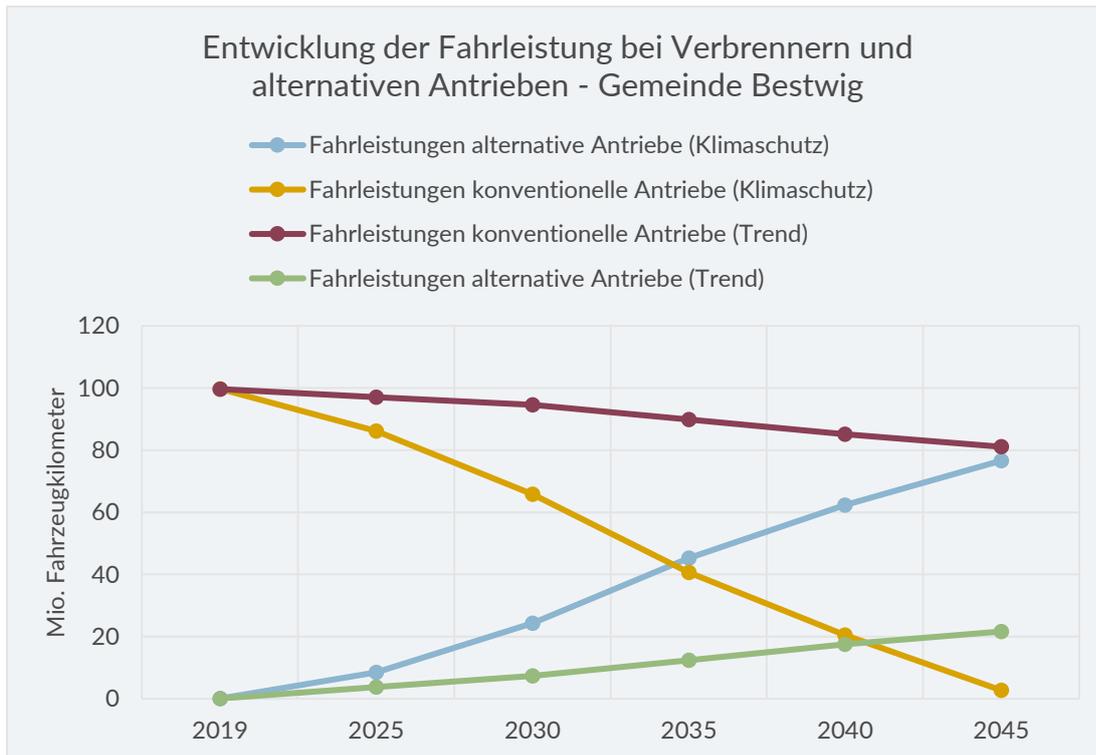


Abbildung 1-9: Entwicklung der Fahrleistung bei fossilen und alternativen Antrieben (Eigene Berechnung)

Entwicklung des Endenergieverbrauchs

Auf Grundlage der dargestellten Fahrleistungen werden in der nachfolgenden Abbildung 1-10 die Endenergieeinsparpotenziale für beide Szenarien (Trend und Klimaschutz) berechnet. An dieser Stelle sind neben der Veränderung der Gesamtfahrleistung sowie der Zusammensetzung der unterschiedlichen Antriebsarten auch Effizienzsteigerungen einbezogen worden.

Im Trendszenario wird ein Einsparpotenzial von 30 Prozent erreicht. Im Zieljahr 2045 beträgt der Endenergieverbrauch für den Sektor Verkehr demnach noch 70 Prozent des heutigen Endenergieverbrauchs. Im Klimaschutzszenario können dagegen rund 69 Prozent der Endenergie eingespart werden, sodass vom ursprünglichen Endenergieverbrauch lediglich 31 Prozent erhalten bleiben.

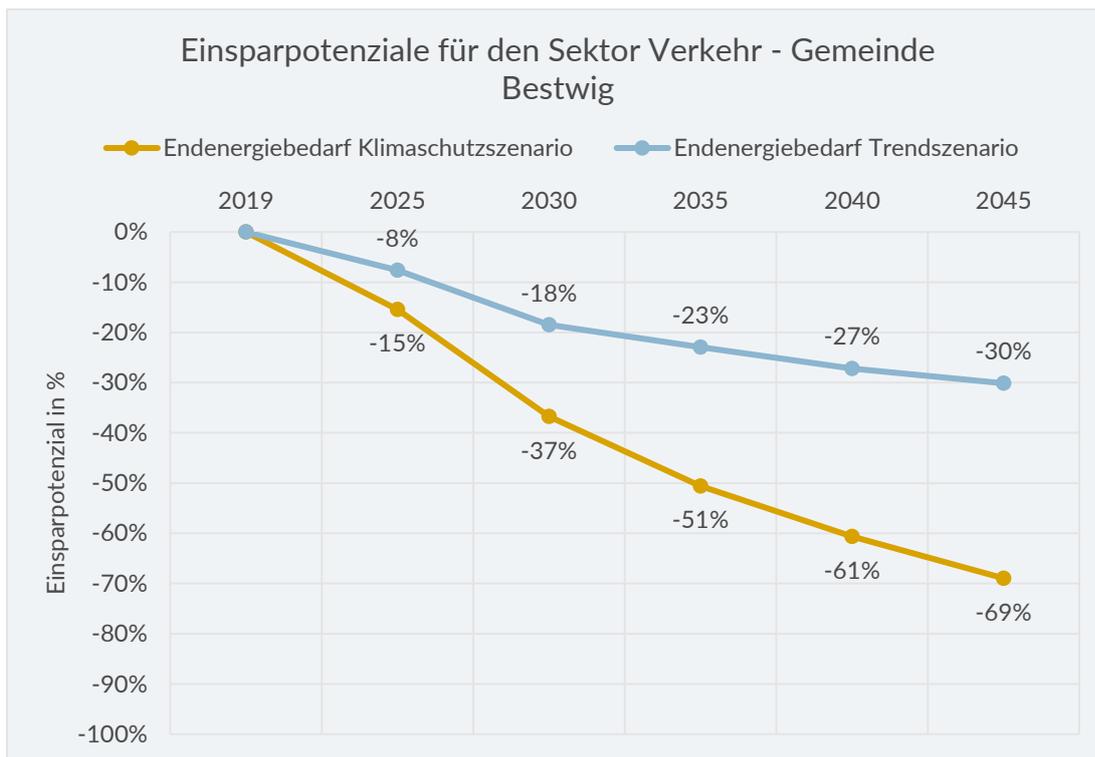


Abbildung 1-10: Einsparpotenziale für den Sektor Verkehr (Eigene Berechnung)

Einflussbereich der Kommune

Die Gemeinde Bestwig kann neben der Öffentlichkeitsarbeit zur Nutzung des ÖPNV und einer höheren Auslastung von Pendlerfahrzeugen sowie der Schaffung planerischer und struktureller Rahmenbedingungen zur Umgestaltung des inner- und außerörtlichen Verkehrs (z. B. Verbesserung Radverkehrsinfrastruktur) kaum direkten Einfluss auf die Entwicklungen in diesem Sektor nehmen. **Eine Verlagerung des MIV in Richtung des Rad- bzw. Fußverkehrs könnte allerdings große Auswirkungen auf den Ausstoß von Triebhausgasen haben. So können Berufspendlerinnen und Berufspendler, welche einen Arbeitsweg von insgesamt 10 Kilometern mit dem Rad oder zu Fuß zurücklegen, rund 300 kg CO²-Emissionen pro Jahr einsparen. (Umweltbundesamt, 2022).**

Im Rahmen der Potenzialanalyse wird daher im Sektor Verkehr lediglich der Straßenverkehr ohne den Autobahnanteil betrachtet.

1.4 Erneuerbare Energien

Nachfolgend werden die berechneten Potenziale für regenerative Energien dargestellt. Dabei stellen die Potenziale theoretische Maximalwerte dar, deren Umsetzbarkeit im Einzelfall zu prüfen und weiter zu konkretisieren ist.

Um die Potenziale im Sektor Erneuerbare Energien zu ermitteln, wurden verschiedene LANUV-Potenzialstudien sowie der LANUV-Energieatlas verwendet. Die ermittelten Potenziale werden in den nachfolgenden Unterabschnitten je Energieträger genannt. Für weitere Details wird auf die Potenzialstudien und das Solarkataster verwiesen.

1.4.1 Windenergie

Wie der nachfolgenden Abbildung 1-11 zu entnehmen ist, existieren mit Stand 2022 im südlichen Bereich des Gemeindegebiets Bestwig acht Windenergieanlagen, die in den Jahren 2002 bis 2014 in Betrieb genommen wurden und eine Leistung von 1,25 bis 2 MW aufweisen (LANUV, 2022). Im Bilanzjahr 2019 haben diese Windenergieanlagen einen Stromertrag von 23.457 MWh geliefert (vgl. Klimaschutzkonzept Hochsauerlandkreis 2023). Somit spielt die Windenergie anteilig die größte Rolle bei der Stromerzeugung durch erneuerbare Energien in Bestwig.

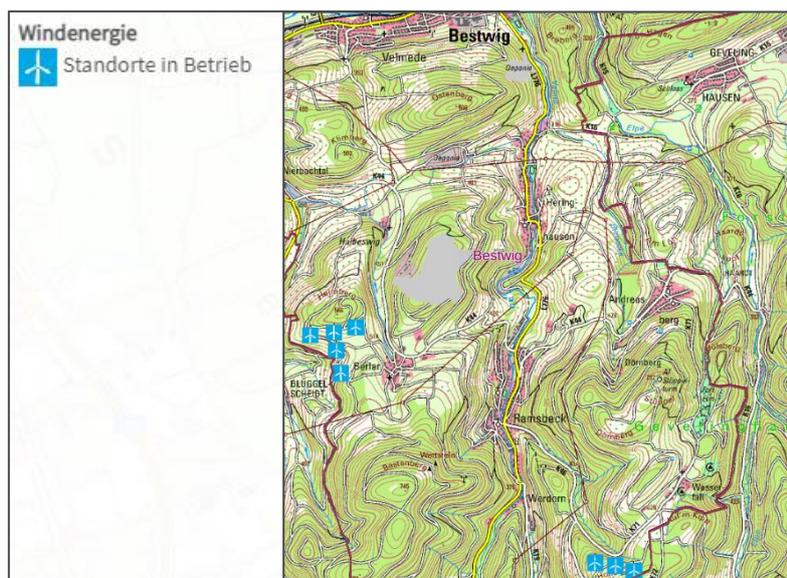


Abbildung 1-11: Windenergieanlagen Gemeindegebiet Bestwig - Auszug Energieatlas NRW (LANUV, 2022)

Für den Energieträger Windenergie werden in der Potenzialstudie (LANUV, 2022) im Maximalszenario die nachfolgenden Potenziale genannt:

- 768 ha Fläche
- 32 mögliche Anlagen
- 158 MW installierbare Leistung
- 446.000 MWh/a Ertrag

Nach § 6 des EEG können Anlagenbetreiber der Gemeinde einen freiwilligen Betrag von bis zu **0,2ct/kWh** des tatsächlich eingespeisten Stroms zahlen. So wären in der Gemeinde Bestwig bei Ausnutzung des vollen Potenzials allein durch den durch Windenergie eingespeisten Strom Einnahmen von **880.000 bis zu 900.000 € pro Jahr** möglich.

1.4.2 Sonnenenergie

Nach der Windenergie spielt die Stromerzeugung durch Solarenergie eine wichtige Rolle. So beläuft sich die eingespeiste Strommenge im Bilanzjahr 2019 auf 2.346 MWh (vgl. Klimaschutzkonzept Hochsauerlandkreis 2023). Des Weiteren wurde im Jahr 2019 ein Wärmeertrag von rund 1.270 MWh durch Solarthermie gewonnen. Nachfolgend wird das Potenzial der Sonnenenergie in Dachflächen- und Freiflächenphotovoltaik sowie Solarthermie unterteilt.

Dachflächenphotovoltaik

Gemäß des durch das LANUV ermittelten Potenzials gibt es in der Gemeinde Bestwig eine geeignete Dachfläche mit einer installierbaren Modulfläche von 279.000 m², einer installierbaren Gesamtleistung von 50 MWp und einem möglichen Stromertrag von 40.000 MWh/a (LANUV, 2022).

Die nachfolgende Abbildung 1-12 zeigt einen Ausschnitt der Gemeinde Bestwig. Dabei handelt es sich um einen Auszug aus dem Energieatlas NRW (LANUV, 2021). Verzeichnet sind entsprechend der dargestellten Legende die Potenziale für Photovoltaik-Dachflächenanlagen.

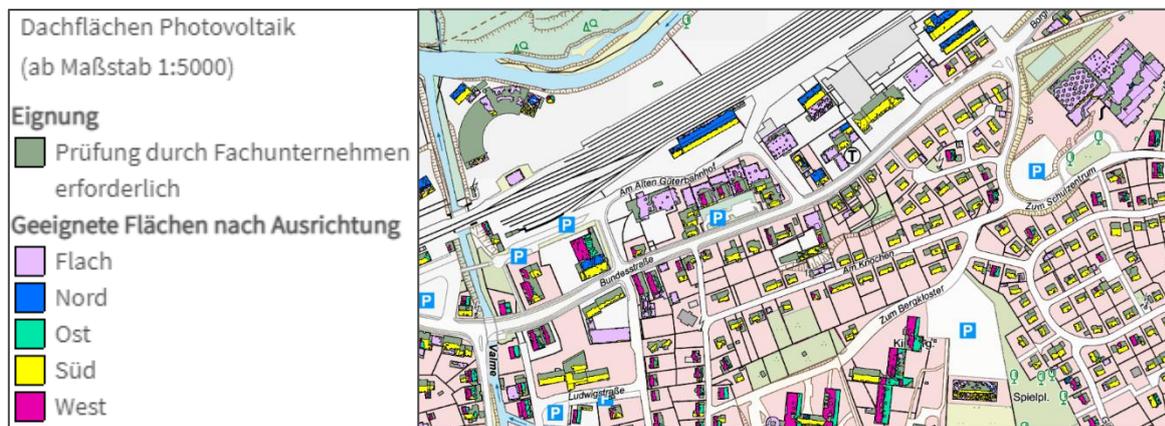


Abbildung 1-12: Photovoltaik-Potenziale Dachflächen Ausschnitt Gemeinde Bestwig - Auszug Energieatlas NRW (LANUV, 2022)

Freiflächenphotovoltaik

Im Rahmen des EEG 2023 werden die Randstreifen entlang von Autobahnen und Schienenwegen vom Gesetzgeber als förderungswürdige Standorte für PV-Freiflächenanlagen festgelegt. In diesen Randstreifen sollen große Freiflächenanlagen ab dem Jahr 2023 in einem Korridor von 500 m errichtet werden. Die Flächen entlang der Autobahnen und Schienenwege eignen sich vor allem deshalb, da das Landschaftsbild bereits vorbelastet ist, es kaum Nutzungskonkurrenz gibt und die Flächen häufig geböscht sind, sodass die Module in einem günstigen Neigungswinkel stehen und daher mit weniger Abstand zueinander aufgestellt werden können als auf ebenen Flächen. Prinzipiell sind folgende Flächen unproblematisch als Potenzialflächen für Solarfreiflächenanlagen geeignet:

500 m Randstreifen von Autobahnen oder Bundesstraßen (beidseitig, gemessen vom äußeren Rand der Fahrbahn), welche als Acker- oder Grünland ausgewiesen sind.

500 m Randstreifen von Bahntrassen (beidseitig), welche als Acker- oder Grünland ausgewiesen sind.

Siedlungs- und Waldflächen sowie folgende Schutzgebiete werden als ungeeignet für die Solar-Freiflächen bewertet: Naturschutzgebiete, Biotope, Naturdenkmale, Fauna-Flora-Habitat-Gebiete (FFH), Wasserschutzgebiete (Zone I u. II), Überschwemmungsgebiete, Vogelschutzgebiete.

Gemäß der durch das LANUV durchgeführten „Potenzialstudie Solarenergie NRW“ beträgt die installierbare Modulfläche in der Gemeinde Bestwig 759.000 m²; dies entspricht einer installierbaren Leistung von 129 MWp sowie einem möglichen jährlichen Stromertrag von 114.000 MWh (LANUV, 2022).³ Wird das maximale Potenzial an PV-Freiflächenanlagen bis 2045 erreicht, machen diese 2 Prozent der gesamten Fläche der Gemeinde aus.

Gemäß des § 6 EEG könnte die Gemeinde durch die volle Ausnutzung des vorhandenen PV-Potenzials zwischen **200.000 und 230.000 €** durch die Anlagenbetreiber erhalten (vgl. Abschnitt 1.4.1).

Seit dem 01.01.2023 sind PV-Freiflächenanlagen gemäß § 35 Abs. 1 Nr. 8 BauGB bis zu 200 m Entfernung vom Fahrbahnrand von Autobahnen und Schienenwegen des übergeordneten Netzes mit mindestens zwei Hauptgleisen privilegiert. Darüber hinaus ist derzeit eine Bauleitplanung erforderlich.

Agri-PV

Neben herkömmlichen PV-Freiflächenanlagen können auch PV-Anlagen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen installiert werden. Diese sogenannte Agri-PV bezeichnet damit ein Verfahren zur gleichzeitigen Nutzung von Flächen für die Landwirtschaft und die Solarstromproduktion. Damit steigert Agri-PV die Flächeneffizienz und ermöglicht den Ausbau der PV-Leistung bei gleichzeitigem Erhalt fruchtbarer Acker- oder Weideflächen für die Landwirtschaft.

Agri-PV-Systeme lassen sich als bodennahe (landwirtschaftlicher Betrieb zwischen den PV-Modulen) und hoch aufgeständerte Anlagen (mindestens 2,1 m Höhe, landwirtschaftlicher Betrieb unter den PV-Modulen) realisieren. Der Flächenbedarf von hoch aufgeständerten Agri-PV-Systemen liegt im Normalfall 20 bis 40 Prozent über dem von herkömmlichen Freiflächenanlagen (12 m²/kWp (Fraunhofer ISE, 2022)). Daraus ergibt sich ein gemittelter Flächenfaktor von 1,3. Der Flächenbedarf von bodennahen Agri-PV-Systemen ist etwa drei Mal so hoch wie bei PV-Freiflächenanlagen, woraus ein Flächenfaktor von 3,0 resultiert (Fraunhofer ISE, 2022).

Im Bilanzjahr 2019 beträgt die Größe der landwirtschaftlichen Flächen in der Gemeinde Bestwig laut statistischem Landesamt Nordrhein-Westfalen 16.114.000 m². Es ergeben sich die in der Tabelle 1-2 aufgeführten Maximalpotenziale für bodennahe und hoch aufgeständerte Agri-PV-Anlagen. Da auf landwirtschaftlich genutzten Flächen jeweils lediglich eine der beiden Anlagenarten installiert werden kann, sind die Potenziale alleinstehend zu betrachten und können nicht addiert werden. Die Angaben zur Fläche beziehen sich zudem lediglich -wie bereits erwähnt - auf Werte des Regionalatlas Deutschland. Somit ist der Anlagenstandort und die Anlagenart, welche tatsächlich installiert werden kann, im Einzelfall zu überprüfen.

³ Da die letzte Untersuchung des PV-Freiflächen-Potenzials im Jahr 2020 stattgefunden hat, wurden hier die zuvor gültigen 110 m² Randstreifen als Berechnungsgrundlage genutzt.

Tabelle 1-2: Agri-PV Potenziale

Agri-PV-Anlagenart	Fläche [m ²]	Flächenfaktor	Stromertrag [MWh/a]
Bodennah	16.114.000	3,0	493.167
Hoch aufgeständert		1,3	1.034.615

Agri-PV-Anlagen sind derzeit tendenziell teurer als die konventionelle Freiflächenanlagen, welche im vorherigen Abschnitt beschrieben wurden. Gleichzeitig kann in diesen weniger Leistung pro Fläche installiert werden. Dies führt zu höheren Stromgestehungskosten bei Agri-PV. Zudem werden für die Montagesysteme Flächenanteile benötigt, welche die verfügbare landwirtschaftliche Nutzung reduzieren. Diese nicht mehr landwirtschaftlich nutzbaren Flächenanteile machen je nach Anlagendesign 8 bis 15 Prozent Fläche der Anlage aus (Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe TFZ, 2021). Die Technologie ist deshalb bislang noch nicht weit verbreitet und mögliche Ausbauraten können somit nur schwer abgeschätzt werden. Für Bestwig ergibt sich außerdem die Problematik, dass die landwirtschaftlichen Flächen nicht im direkten Einflussbereich der Gemeindeverwaltung liegen. Die Errichtung der PV-Module muss deshalb immer einzelfallspezifisch gemeinsam mit den Landwirtinnen und Landwirten geplant und umgesetzt werden.

Doch bringt die Technologie auch weitreichende Vorteile mit sich. Wie einleitend schon dargestellt wurde, erhöht sich bei einer gleichzeitigen Nutzung der Flächen für die Landwirtschaft und für die Solarstromproduktion die Landnutzungseffizienz insgesamt erheblich.

Wird der Solarstrom direkt vor Ort gespeichert und genutzt, ergeben sich für die landwirtschaftlichen Betriebe Energiekostensparnisse oder sogar eine weitere Einkommensquelle durch die Einspeisung des überschüssigen Stroms.

Im Hinblick auf die sich verändernde Witterung birgt die Agri-PV außerdem noch weitere Potenziale. Wie Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in Abbildung 1-13 aufzeigen, entwickelt sich der Trend zu einer Abnahme der Niederschlagsmengen und zu höheren Temperaturen. Insbesondere die hoch aufgeständerte Agri-PV bietet hier den Vorteil, dass sich die landwirtschaftlichen Ernteerträge durch die Teilverschattung unter den Solarmodulen sogar steigern können.

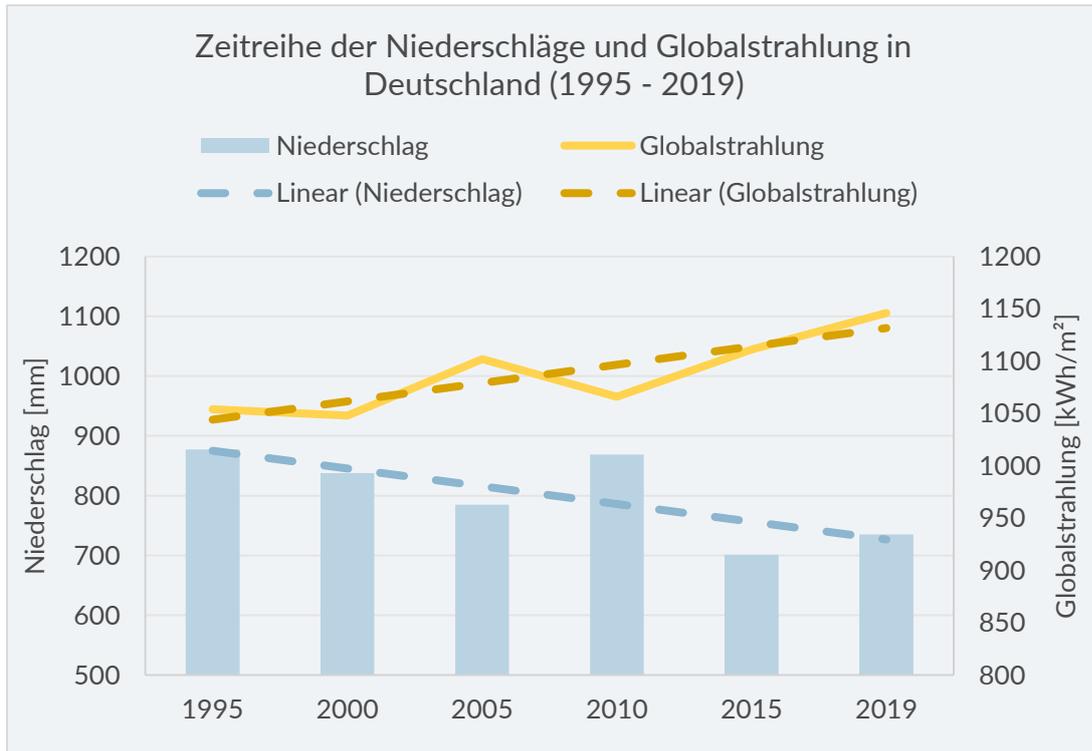


Abbildung 1-13: Zeitreihe der Niederschläge und Globalstrahlung in Deutschland (1995 - 2019) (Deutscher Wetterdienst DWD, 2020)

Das Verbundprojekt »Agrophotovoltaik – Ressourceneffiziente Landnutzung« (APV-RESOLA) erprobt die Kombination von Solarstromproduktion und Landwirtschaft auf der gleichen Fläche.

Im Jahr 2018 konnten bei drei von vier angebauten Kulturen unter den Anlagen höhere Erträge als auf der Referenzfläche ohne Solarmodulen erzielt werden. Im Ergebnis wird davon ausgegangen, dass einige Fruchtarten in den von Trockenheit geprägten Hitzesommern durch die Verschattung unter den semitransparenten Solarmodulen sogar profitieren (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2019).

Vor dem Hintergrund dieser weitreichenden Vorteile ist der Ruf nach einer politischen Förderung dieser Form der Stromerzeugung gewachsen. Als Reaktion haben Bundestag und Bundesrat mit der Novelle des EEG im Dezember 2020 erstmals eine reguläre Förderung für Agri-PV auf den Weg gebracht. Im Zuge der sogenannten Innovationsausschreibungen wird seit 2022 die Förderung von 150 MW/a in Form einer EEG-Marktpremie für „besondere“ Solaranlagen (Agri-PV-Projekte und PV-Anlagen auf Gewässern und Parkplätzen) gewährleistet (Fraunhofer ISE, 2022). Es ist künftig also mit einem schnelleren und weitreichenderen Ausbau von Agri-PV-Anlagen zu rechnen. Aus diesem Grund wurde sich in der vorliegenden Potenzialanalyse und der Berechnung der Entwicklungsszenarien dazu entschlossen, die Potenziale der Agri-PV in der Gemeinde Bestwig teilweise zu berücksichtigen.

Allerdings ist der aktuelle Spielraum für Agri-Anlagen aufgrund der gemeindlichen Struktur der Landwirtschaft sehr gering und davon abhängig, ob eine Umstellung auf die Produktion von Obst und Gemüse zukünftig beabsichtigt ist.

Solarthermie

Neben der Stromerzeugung ist die Sonnenenergie auch für die Warmwasserbereitung durch Solarthermie geeignet. Ein 4-Personen-Haushalt benötigt etwa 4-6 m² Kollektorfläche zur Deckung des Warmwasserbedarfes außerhalb der Heizperiode (Mai bis September). Insgesamt können so über das Jahr gesehen rund 60 Prozent des Warmwasserbedarfes durch Solaranlagen abgedeckt werden.

In sogenannten Kombi-Solaranlagen kann darüber hinaus, neben der Warmwasserbereitung, auch Energie zum Heizen der Wohnfläche genutzt werden. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichend große Dachfläche, da die Kollektorfläche ungefähr doppelt so groß sein muss, wie bei reinen Solaranlagen für die Warmwasserbereitung. Dies führt zu einer Flächenkonkurrenz mit Photovoltaikanlagen. Ein Speicher im Keller sorgt durch seine Pufferwirkung dafür, dass die Solarwärme auch nutzbar ist, wenn die Sonne nicht scheint. Im Vergleich zu Anlagen, die lediglich der Warmwasserbereitung dienen, ist das Speichervolumen bei Kombi-Anlagen zwei- bis drei-mal so groß. Zudem ist der Speicher im Gegensatz zu einfachen Anlagen zum überwiegenden Teil mit Heizungswasser gefüllt.

Durch Kombi-Solaranlagen lassen sich rund 25 Prozent des jährlichen Wärmeenergiebedarfs decken. Eine zusätzliche herkömmliche Heizung ist in jedem Fall erforderlich. Die Kombination von Solaranlagen mit einem herkömmlichen Heizungssystem ist vom Fachmann durchzuführen, da Solaranlagen, bestehende Heizung und Wärmeenergiebedarf aufeinander abgestimmt sein müssen, um eine optimale Effizienz zu erzielen.

Für die Gemeinde Bestwig weist das LANUV eine theoretisch maximal erzeugbare Wärmemenge in Höhe von 120.000 MWh/a aus, wovon etwa 3.000 MWh als nutzbare Wärmemenge für die Warmwasseraufbereitung ausgewiesen werden. Dies entspricht einem Deckungsanteil des Warmwasser-Wärmebedarfs von rund 29 Prozent. Die Diskrepanz zwischen der theoretischen und der technisch nutzbaren Wärmemenge kommt durch mehrere Einschränkungen zustande:

- Es werden nur Wohngebäude berücksichtigt (Flächenkorrekturfaktor)
- Eine geometrische Korrektur bezüglich der Modulgröße wird vorgenommen
- Die Dimensionierung erfolgt nicht so groß wie möglich, sondern aus Gründen der Wirtschaftlichkeit entsprechend 60 Prozent des Warmwasser-Bedarfs des Gebäudes
- Nur die Wohngebäude mit zentraler Warmwasserbereitung werden berücksichtigt, dies sind in NRW ca. 50 Prozent.

1.4.3 Biomasse

Unter den erneuerbaren Energien ist die Biomasse die Technologie, die am flexibelsten eingesetzt werden kann. Im Gegensatz zu Wind und Sonne kann die Biomasse „gelagert“ bzw. gespeichert werden und folglich als Puffer eingesetzt werden, wenn Sonne und Wind zu wenig Energie liefern. Dabei kann Biomasse sowohl bei der Strom- als auch bei der Wärmeerzeugung zum Einsatz kommen.

Biomasse ist allerdings mit Abstand die flächenintensivste unter den erneuerbaren Energien. Die Energieerträge aus verschiedenen Substraten variieren dabei zum Teil stark, z. B.:

- 5 MWh/(ha a) aus extensivem Grünland,
- 20 MWh/(ha a) aus Zuckerrüben,
- 60 MWh/(ha a) aus Silomais.

Zudem gibt es viele kritische Stimmen zur Nutzung von Biomasse als Energielieferant. Hier ist beispielsweise die „Teller oder Tank“-Debatte zu nennen, in der häufig kritisiert wird, dass Biomasse nicht primär zur energetischen Nutzung angebaut, sondern eher auf Reststoffe zurückgegriffen werden sollte. Zukünftig wird vor allem die verstärkte stoffliche Nutzung von Biomasse, beispielsweise zur Herstellung von Biokunststoffen, gegen den Einsatz dieser zur Energiegewinnung sprechen. Im Rahmen dieses Konzeptes wird daher nur ein geringes Potenzial für Biomasse als Brückentechnologie in der Szenarien-Berechnung berücksichtigt.

Um Flächen zu sparen, sollten vor allem auch Reststoffe genutzt werden, die in der Land- und Forstwirtschaft ohnehin anfallen, z. B. Waldrestholz, Landschaftspflegeholz, organische Abfälle und Gülle.

Die nutzbaren biogenen Abfallströme weisen ebenfalls ein signifikantes Potenzial zur Strom- bzw. Wärmeerzeugung auf. Auf das Land NRW bezogen liegen die Potenziale hauptsächlich in den Bereichen Altholz sowie Hausmüll, Sperrmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle. Daneben kommen unter anderem Klärgas/Klärschlamm und Landschaftspflegematerial als erneuerbare Rohstoffe infrage. Im Allgemeinen sind die Potenziale zur erneuerbaren Energieerzeugung in der Abfallwirtschaft in NRW bereits heute zu großen Teilen ausgeschöpft. Zu beachten ist auch, dass die Energieerzeugung oftmals nicht auf dem Gebiet der Kommune erfolgt, in der der Abfall anfällt (LANUV, 2014).

In der Gemeinde Bestwig werden im Bilanzjahr 2019 bereits 9.797 MWh Wärme gewonnen, jedoch kein Strom (vgl. Treibhausgasbilanz der Gemeinde Bestwig im Klimaschutzkonzept Hochsauerlandkreis).

Das LANUV weist auf Kreisebene Biomassepotenziale für die Bereiche Forstwirtschaft, Landwirtschaft und Abfallwirtschaft aus (LANUV, 2014). Unter Berücksichtigung der Land- und Forstwirtschaftsflächen auf dem Gemeindegebiet sowie der Bevölkerungszahlen wurden die entsprechenden Potenziale für die Gemeinde Bestwig ermittelt. Diese werden in der nachfolgenden Tabelle 1-3 dargestellt:

Tabelle 1-3: Potenzielle Erträge aus Forstwirtschaft, Abfallwirtschaft und Landwirtschaft

	Potenzielle Stromerträge [MWh/a]	Potenzielle Wärmeerträge [MWh/a]
Forstwirtschaft	876	17.985
Landwirtschaft	3.196	4.248
Abfallwirtschaft	10.706	32.718
Summe	14.778	54.951

Der potenzielle Stromertrag aus Biomasse beträgt für die Gemeinde Bestwig demnach rund 14.778 MWh/a und der potenzielle Wärmeertrag 54.951 MWh/a.

1.4.4 Umweltwärme

Die Nutzung von Umweltwärme für die Energieversorgung wird in Zukunft eine entscheidende Rolle auf dem Weg zur Klimaneutralität spielen. Als Wärmequellen kommen etwa Erdwärme (Geothermie) oder auch die z. B. in der Umgebungsluft, dem Grundwasser oder dem Abwasser gespeicherte Wärme infrage. Die etablierte Technologie zur Umweltwärmenutzung ist die Wärmepumpe. Derzeit werden in Deutschland v. a. Luft/Wasser-Wärmepumpen installiert (Bundesverband Wärmepumpe e. V., 2022), welche jedoch zumindest aus technischer Sicht

eine weniger effiziente Art der Wärmeversorgung darstellen als erdgekoppelte Wärmepumpen. Der Hauptvorteil bei der Nutzung der Erdwärme gegenüber der Umgebungsluft liegt in dem höheren Temperaturniveau während der Heizperiode.

Bei der Betrachtung der Potenziale für die Nutzung von Umweltwärme in der Gemeinde Bestwig soll das erzielbare Maximum für den jährlichen Energieertrag angegeben werden. Da dieser bei der Nutzung von Geothermie als Wärmequelle im Allgemeinen am höchsten ist, wird im Folgenden das Potenzial der erdgekoppelten Wärmepumpen näher betrachtet.

Die in der Erde gespeicherte Wärme kann zur Wärmeversorgung der Gebäude in der Gemeinde Bestwig genutzt werden. Grundsätzlich wird zwischen oberflächennaher Geothermie und Tiefengeothermie unterschieden:

- Oberflächennahe Geothermie (bis 400 m Tiefe) kommt zur Anwendung, um einzelne Gebäude mit Wärme zu versorgen.
- Tiefengeothermische Kraftwerke mit Bohrungen bis in 5.000 m Tiefe liefern sowohl Strom als auch Wärme.

Der große Vorteil von Geothermie gegenüber Wind- und Sonnenenergie ist die meteorologische Unabhängigkeit. Die Wärme in der Erde ist konstant vorhanden, ab 5 m Tiefe gibt es keine witterungsbedingten Temperaturveränderungen mehr. Jahreszeitenunabhängig können 24 Stunden am Tag Strom und Wärme produziert werden.

Die Nutzung oberflächennaher Geothermie ist besonders für die partikulare, gebäudebezogene Wärmeversorgung (Niedertemperatur-Heizsysteme) geeignet. Erdwärmekollektoren, Erdwärmesonden oder Wärmepumpen werden vor allem im Rahmen von Neubau und Gebäudesanierung installiert.

Neben Erdwärmesonden besteht die Möglichkeit, Erdwärmekollektoren zur Nutzung von Erdwärme einzusetzen. Erdwärmekollektoren zeichnen sich durch einen höheren Flächenbedarf als Erdwärmesonden aus, da sie horizontal im Boden unterhalb der Frostgrenze bis zu einer Einbautiefe von 1,5 Metern verlegt werden. Da sie das Grundwasser nicht gefährden, können Erdwärmekollektoren eine Alternative zu möglicherweise nicht genehmigungsfähigen Erdwärmesonden darstellen.

Für die Gemeinde Bestwig wird gemäß der durch das LANUV durchgeführten „Potenzialstudie Geothermie NRW“ ein technisches Potenzial von 136.700 MWh/a als Wärmeertrag für oberflächennahe Geothermie ausgewiesen (LANUV, 2015). Dabei sind bereits gewisse Einschränkungen durch Wasser- bzw. Heilquellenschutzgebiete berücksichtigt. Die tatsächliche Ausnutzung dieser ausgewiesenen Potenziale bleibt zu prüfen. Auch Potenziale im Bereich Tiefengeothermie wären weitergehend zu prüfen und werden in diesem Konzept vor dem Hintergrund komplexer Planungsprozesse und Akzeptanzfragen an dieser Stelle ausgeklammert.

1.4.5 Industrielle Abwärme

Das Land NRW hat in seiner Studie zur industriellen Abwärmenutzung (LANUV NRW, 2019) für die Gemeinde Bestwig ein Unternehmen mit einem Abwärmepotenzial von 1.100 MWh/a identifiziert.

1.4.6 Wasserkraft

Gemäß der durch das LANUV durchgeführten „Potenzialstudie Wasserkraft NRW“ besteht in der Gemeinde Bestwig ein theoretisches Erzeugungspotenzial von 905 MWh/a bei einem Lei-

tungspotenzial von 420 kW. Da zum aktuellen Zeitpunkt der Erstellung der Energie- und Treibhausgasbilanz für das Klimaschutzkonzept Hochsauerlandkreis in Bestwig bereits 1.585 MWh im Jahr 2019 erzeugt wurden, ist das theoretische Potenzial der LANUV-Studie gegenwertig bereits deutlich übertroffen. Das Potenzial für Wasserkraft in der Gemeinde wird demnach als ausgeschöpft betrachtet.

1.4.7 Zusammenfassung der Potenziale erneuerbarer Energien

Nachfolgend werden die ermittelten Potenziale erneuerbarer Energien zusammenfassend dargestellt. Diese sind differenziert nach Strom- und Wärmeertrag (vgl. Tabelle 1-4) abgebildet. Der Vergleich zeigt, dass zur Stromerzeugung insbesondere im Bereich Windenergie und Freiflächenanlagen ein großes Potenzial liegt. Der Wärmebedarf kann bei entsprechender Ausschöpfung der Potenziale insbesondere durch oberflächennahe Geothermie, aber auch Solarthermie, abgedeckt werden. Wie bereits in den einzelnen Unterabschnitten erläutert, handelt es sich bei den angegebenen Potenzialen um die Maximalpotenziale in der Gemeinde Bestwig, deren Hebung im Einzelfall zu prüfen ist.

Tabelle 1-4: Potenzieller Strom- und Wärmeertrag durch erneuerbare Energien

Potenzieller Stromertrag durch erneuerbare Energien		
	Stromertrag im Bilanzjahr (2019) in MWh	Maximaler Stromertrag nach LANUV in MWh/a
Windenergie	23.457	446.000
Dachflächenphotovoltaik	2.346	40.000
Freiflächenphotovoltaik	0	114.000
Biomasse	0	14.778
Wasserkraft	1.585	905
Potenzieller Wärmeertrag durch erneuerbare Energien		
	Wärmeertrag im Bilanzjahr in MWh	Maximaler Wärmeertrag nach LANUV in MWh/a
Solarthermie	1.270	120.000
Biomasse	9.779	38.605
Geothermie/Umweltwärme	1.229	136.700
Industrielle Abwärme	1.100	1.100

2 Szenarien zur Energieeinsparung und THG-Minderung

Nachfolgend werden zu den Schwerpunkten Wärme, Mobilität und Strom jeweils ein Trend- und ein Klimaschutzszenario dargestellt. Dabei werden mögliche zukünftige Entwicklungspfade für die Endenergieeinsparung und Reduktion der Treibhausgase in der Gemeinde Bestwig aufgezeigt. Die Szenarien beziehen dabei die in Kapitel 1 berechneten Endenergieeinsparpotenziale für die Sektoren private Haushalte, Wirtschaft (Industrie und GHD) und Verkehr sowie die Potenziale zur Nutzung Erneuerbarer Energien mit ein.

Daran anschließend werden alle aufgestellten Trend- und Klimaschutzszenarien der vorangehenden Kapitel zusammengefasst als „End-Szenarien“ dargestellt, indem die verschiedenen Bereiche (Wärme, Mobilität und Strom) in Summe betrachtet werden. Dabei werden die zukünftigen Entwicklungen des Endenergieverbrauchs sowie der THG-Emissionen bis zum Jahr 2045 differenziert betrachtet.⁴

2.1 Differenzierung Trend- und Klimaschutzszenario

Wie bereits in der Einleitung zur Potenzialanalyse kurz beschrieben, werden in der vorliegenden Ausarbeitung zwei unterschiedliche Szenarien betrachtet: Das Trend- und das Klimaschutzszenario (vgl. Kapitel 1). Nachfolgend werden die Annahmen und Charakteristiken dieser beiden Szenarien etwas detaillierter erläutert.

Im **Trendszenario** wird das Vorgehen beschrieben, wenn keine bzw. gering klimaschutzfördernde Maßnahmen umgesetzt werden. Die Effizienzpotenziale in den Sektoren Wirtschaft und private Haushalte werden hier nur in geringem Umfang gehoben. Im Verkehrssektor greifen jedoch bis 2045 die Marktanreizprogramme für Elektromobilität und damit sinkt der Endenergieverbrauch in diesem Sektor ab. Die übrigen Sektoren erreichen auch bis 2045 keine hohen Einsparungen des Energieverbrauches, da Maßnahmen der Beratung bezüglich Sanierung und Nutzungsverhalten nur eingeschränkt greifen. Effizienzpotenziale werden auch aufgrund fehlender Wirtschaftlichkeit nicht umgesetzt.

Im **Klimaschutzszenario** hingegen werden vermehrt klimaschutzfördernde Maßnahmen mit einbezogen. Hier wird davon ausgegangen, dass Maßnahmen der Beratung bezüglich Sanierung, Effizienztechnologien und Nutzungsverhalten erfolgreich umgesetzt werden und eine hohe Wirkung zeigen. Effizienzpotenziale können, aufgrund der guten Wirtschaftlichkeit, verstärkt umgesetzt werden. Die Effizienzpotenziale in den Sektoren Wirtschaft und private Haushalte werden in hohem Umfang gehoben. Im Verkehrssektor greifen auch hier bis 2045 die Marktanreizprogramme für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben und damit sinkt der Endenergieverbrauch in diesem Sektor stark ab. Zusätzlich wird das Nutzungsverhalten positiv beeinflusst, wodurch die Fahrleistung des motorisierten Individualverkehrs sinkt und der Anteil der Nahmobilität am Verkehrssektor steigt. Und auch Erneuerbare-Energien-Anlagen werden mit hohen Zubauraten errichtet. Die Annahmen des Klimaschutzszenarios setzen dabei zum Teil Technologiesprünge und rechtliche Änderungen voraus.

⁴ Bei den verwendeten Zahlen für das Ausgangsjahr handelt es sich um witterungskorrigierte Werte. Diese können nicht eins zu eins mit den Werten aus der Energie- und THG-Bilanz des Klimaschutzkonzeptes Hochsauerlandkreis verglichen werden, da dort, konform zur BSKO-Systematik, alle Werte ohne Witterungskorrektur angegeben sind. Für die Betrachtung der Potenziale und Szenarien wird dagegen eine Witterungskorrektur berücksichtigt, um etwa den Einfluss besonders milder sowie besonders kalter Temperaturen, die ggf. im Bilanzjahr vorgelegen haben, auszuschließen.

2.2 Schwerpunkt: Wärme

Nachfolgend wird die Entwicklung des Wärmebedarfs in den beiden Szenarien Trend und Klimaschutz dargestellt. Die Verwendungskonzepte für die zukünftig verfügbaren Brennstoffe sind sektorenübergreifend und umfassen die Brennstoffbedarfe der Sektoren private Haushalte, GHD und Industrie. Für das Klimaschutzenszenario werden die Sektoren private Haushalte und Wirtschaft zudem zusätzlich getrennt dargestellt, um die Ausprägung der verschiedenen Energieträger in den unterschiedlichen Sektoren aufzuzeigen.

Trendszenario

Die nachfolgende Abbildung 2-1 zeigt den zukünftigen Brennstoff- bzw. Wärmebedarf der Gemeinde Bestwig im Trendszenario:

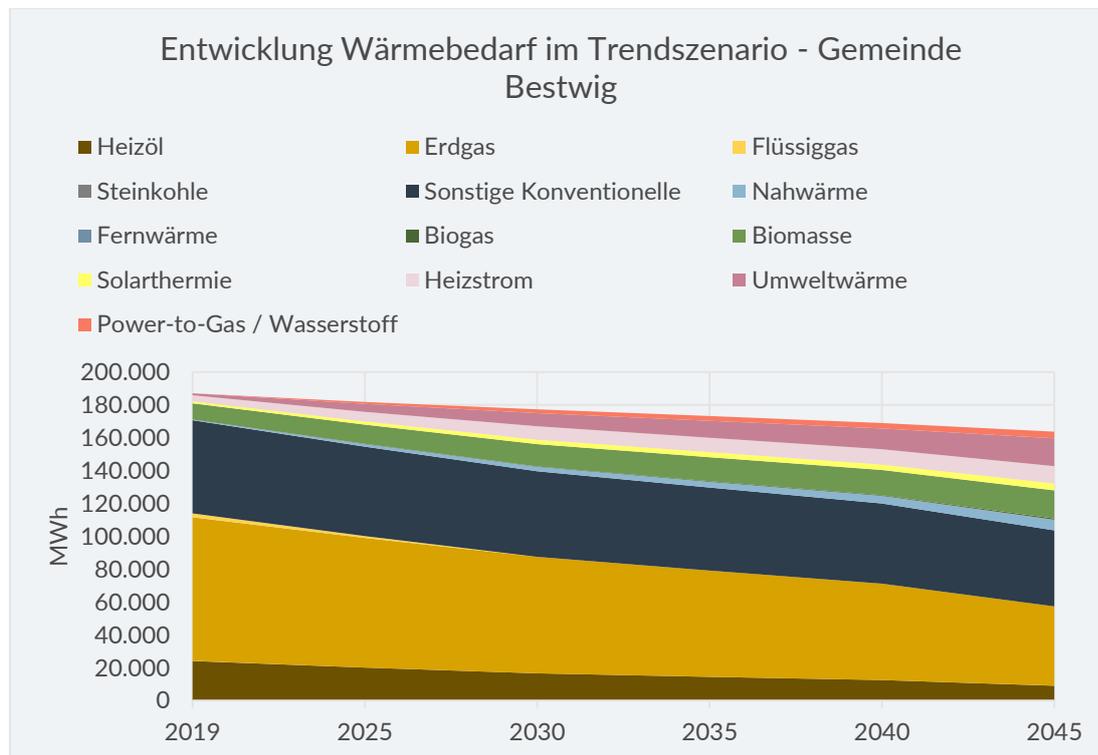


Abbildung 2-1: Entwicklung Wärmebedarf im Trendszenario (Quelle: Eigene Berechnung)

Im Trendszenario nimmt der Endenergieverbrauch bis zum Jahr 2045 leicht ab. Dies liegt etwa an einer angenommenen Effizienzsteigerung sowie der im Trendszenario angenommenen Sanierungsrate und -tiefe im Bereich der privaten Haushalte (vgl. Abschnitt 1.1). Bis zum Jahr 2030 wird dabei der Energieträger Flüssiggas vollständig durch andere Energieträger substituiert. Erdgas und Heizöl werden bis zum Jahr 2045 deutlich reduziert. Auch im Trendszenario steigen demnach die Anteile an erneuerbaren Energien (Biomasse, Umweltwärme sowie Solarthermie). Das Trendszenario unterliegt jedoch der Annahme, dass der Energieträger Erdgas auch im Jahr 2045 den größten Anteil ausmacht, da die Synthese von Methan aus Strom mit dem im Trendszenario hinterlegten Strommix zu einem höheren Emissionsfaktor als dem von Erdgas führt und damit keine Vorteile gegenüber dem Einsatz von Erdgas bestehen.⁵

⁵ Der Emissionsfaktor von synthetischen Kraft-/Brennstoffen hängt vom eingesetzten Strommix ab. Da etwa zwei kWh Strom für die Synthese einer kWh Methan eingesetzt werden, hat synthetisches Methan in etwa einen doppelt so hohen Emissionsfaktor wie der des eingesetzten Stroms und liegt im Jahr 2045 bei 666 gCO₂e/kWh gegenüber 236 gCO₂e/kWh für Erdgas.

Klimaschutzszenario

Der Brennstoffbedarf im Klimaschutzszenario dagegen unterscheidet sich fundamental und ist in der nachfolgenden Abbildung 2-2 dargestellt. Ergänzend zur grafischen Darstellung der Wärmemix-Entwicklung im Klimaschutzszenario sind die prozentualen Anteile der Energieträger in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

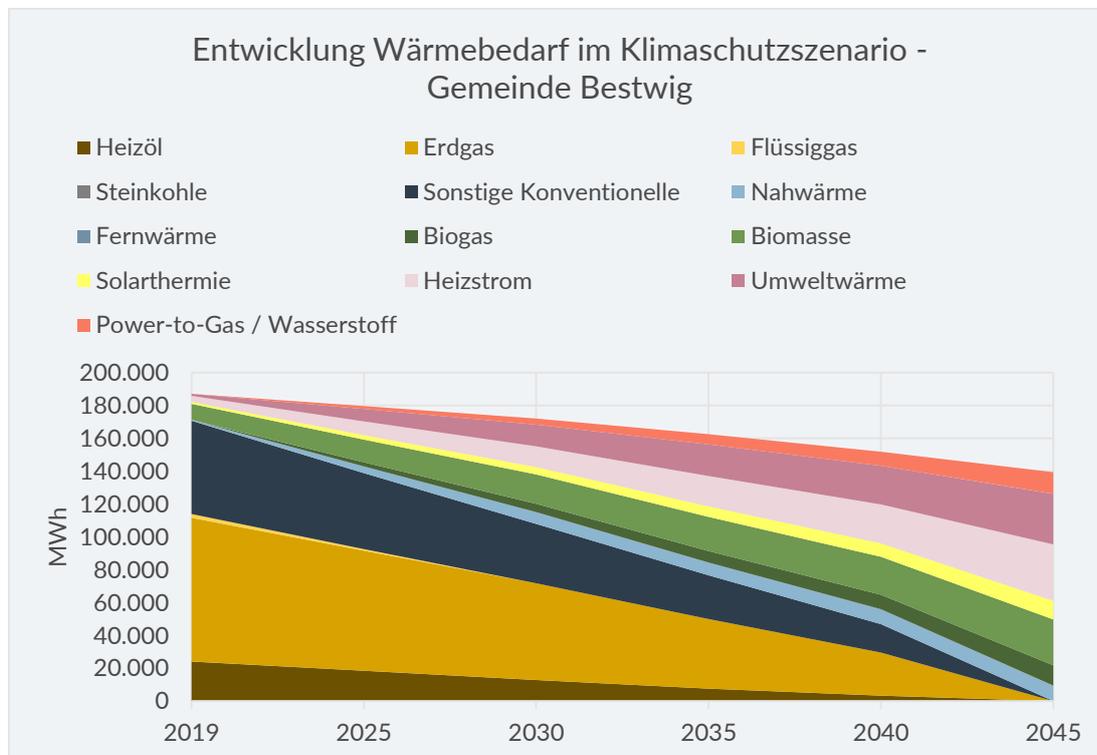


Abbildung 2-2: Zukünftiger Wärmebedarf im Klimaschutzszenario (Eigene Berechnung)

Tabelle 2-1: Prozentuale Verteilung der Energieträger im Klimaschutzszenario (Eigene Berechnung)

	2019	2025	2035	2045
Heizöl EL	13 %	10 %	5 %	0 %
Erdgas	47 %	41 %	26 %	0 %
Flüssiggas	1 %	1 %	0 %	0 %
Sonstige Konventionelle	30 %	25 %	16 %	0 %
Biomasse	5 %	8 %	13 %	20 %
Biogas	0 %	1 %	4 %	9 %
Nah- & Fernwärme	0 %	2 %	5 %	7 %
Solarthermie	1 %	2 %	4 %	8 %
Umweltwärme	1 %	4 %	12 %	22 %
Heizstrom/PtH	2 %	5 %	11 %	25 %
PtG	0 %	1 %	4 %	9 %
Gesamt	100 %	100 %	100 %	100 %

Durch die höheren Effizienzgewinne in allen Sektoren sowie die deutlich höhere Sanierungsrate und -tiefe im Sektor private Haushalte sinken die Energieverbräuche im Klimaschutzszenario deutlich stärker. Dadurch sinkt der Brennstoffbedarf im Klimaschutzszenario um rund 26 Prozent auf 139.300 MWh im Jahr 2045. Im Besonderen die konventionellen Energieträger

nehmen stark ab, sodass der Wärmemix im Zieljahr 2045 ausschließlich aus erneuerbaren Energieträgern besteht. Es wird lediglich von einem geringen Anteil nicht substituierter konventioneller Energieträger ausgegangen (Prognos; Öko-Institut; Wuppertal Institut, 2021).

Wie in Abschnitt 1.4.4 herausgestellt, besteht in der Gemeinde Bestwig ein gewisses Potenzial an Umweltwärme. Und auch die Energieträger Heizstrom bzw. Power-to-Heat (PtH) sowie Biomasse spielen im Klimaschutzszenario eine große Rolle und komplettieren die drei größten Energieträger im Jahr 2045.

Vergleich der Einspeisemengen durch Kraft-Wärme-Kopplung 2019 bis 2021

Die nachfolgende Abbildung 2-3 zeigt die Einspeisemengen durch Kraft-Wärme-Kopplung in den Jahren 2017 bis 2021 im Vergleich. **Die eingespeiste Menge hat über alle Jahre hinweg zugenommen**, wobei der größte Sprung von 2017 auf 2018 stattfand. Im Jahr 2021 fiel die eingespeiste Menge mit 100 MWh jedoch noch gering aus.

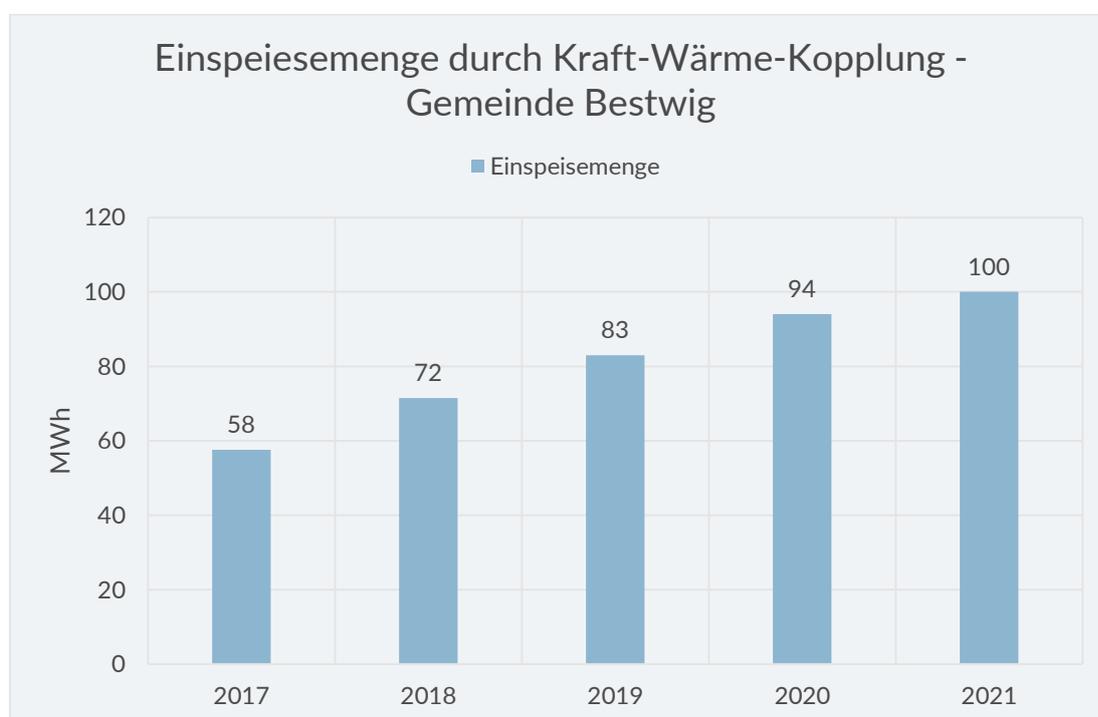


Abbildung 2-3: Einspeisemengen durch Kraftwärmekopplung (Eigene Darstellung, Quelle: Westenergie)

2.3 Schwerpunkt: Verkehr

Aufbauend auf der Potenzialanalyse des Verkehrssektors in Abschnitt 1.3 wird nachfolgend die Entwicklung des Kraftstoffbedarfs nach Antriebsarten bis 2045 für das Trend- und das Klimaschutzszenario dargestellt. Die Szenarien basieren jeweils auf den Potenzialberechnungen des Straßenverkehrs ohne Autobahn und den damit verbundenen Annahmen und Studien.

Trendszenario

Die nachfolgende Abbildung 2-4 zeigt den zukünftigen Kraftstoffbedarf im Trendszenario. Dabei ist zu erkennen, dass auch im Zieljahr 2045 ein Großteil des Kraftstoffbedarfs auf die konventionellen Antriebe im Straßenverkehr zurückzuführen ist. Wie bereits in der Energie- und THG-Bilanz im Klimaschutzkonzept des HSK dargestellt, betrifft dies im Wesentlichen die Energieträger Diesel und Benzin. Wie bereits in Abschnitt 1.3 erläutert steigt zudem der Anteil der alternativen Antriebe im Straßenverkehr dagegen nur moderat an.

Des Weiteren wird angenommen, dass der bestehende Schienenverkehr in der Gemeinde Bestwig im Trendszenario weiterhin über konventionelle Antriebe fortgeführt wird und somit der Energieträger Diesel zum Einsatz kommt. Insgesamt nimmt der Kraftstoffbedarf im Trendszenario um rund 26 Prozent ab. Es wird davon ausgegangen, dass die THG-Minderungen in erster Linie über Effizienzgewinne, Veränderungen der Fahrleistung und verändertes Nutzerverhalten erfolgen.

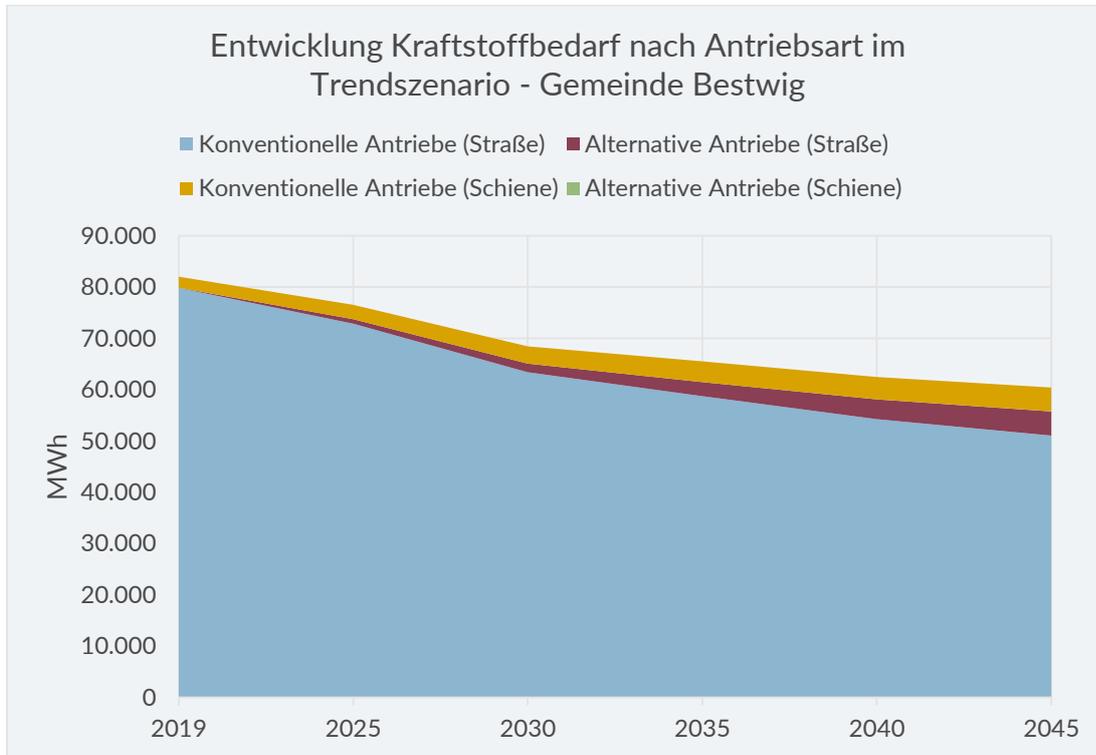


Abbildung 2-4: Zukünftiger Kraftstoffbedarf im Trendszenario (Eigene Berechnung auf Grundlage witterungskorrigierter Bilanzdaten)

Klimaschutzszenario

Im in der nachfolgenden Abbildung 2-5 dargestellten Klimaschutzszenario nimmt der Endenergieverbrauch im Verkehrssektor bis zum Jahr 2045 um ca. 64 Prozent ab. Im Gegensatz zum Trendszenario findet hier zudem eine umfassende Umstellung auf alternative Antriebe statt – sowohl im Straßen- als auch im Schienenverkehr. Im Zieljahr 2045 machen die alternativen Antriebe im Straßenverkehr rund 79 Prozent am Endenergieverbrauch aus, während der Schienenverkehr vollständig alternativ betrieben wird (Umstellung von Diesel auf Brennstoffzellentechnik). Im Klimaschutzszenario wird also davon ausgegangen, dass die THG-Minderungen über Effizienzgewinne, Veränderungen der Fahrleistung und verändertes Nutzerverhalten erfolgen, jedoch auch der Energieträgerwechsel hin zu erneuerbaren Antrieben eine erhebliche Rolle spielt.

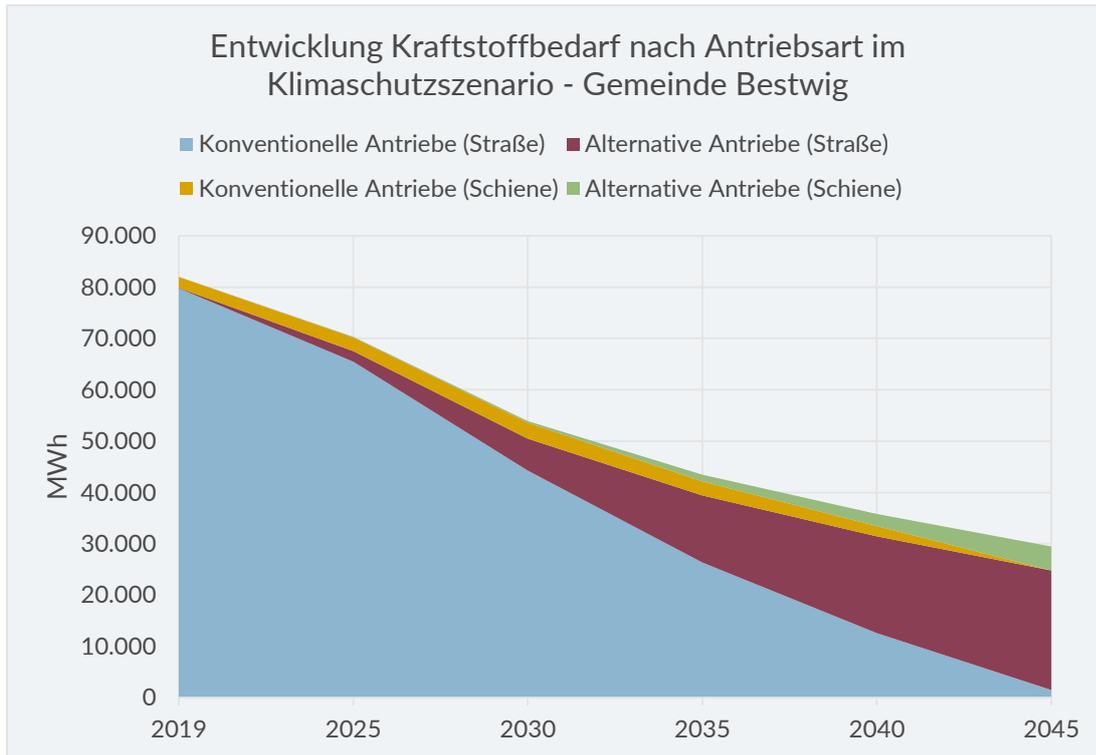


Abbildung 2-5: Zukünftiger Kraftstoffbedarf im Klimaschutzscenario (Eigene Berechnung auf Grundlage witterungskorrigierter Bilanzdaten)

2.4 Schwerpunkt: Strom und erneuerbare Energien

Um zu beurteilen, ob Bestwig ein Überschuss- oder Importstandort wird, werden nachfolgend die ermittelten Erneuerbare Energien (EE)-Potenziale mit den Strombedarfen bis 2045 im Klimaschutzscenario abgeglichen. Dabei wird zunächst der Strombedarf von Bestwig im Trend- und Klimaschutzscenario betrachtet und daraufhin die ermittelten EE-Potenziale dargestellt.

Der nachfolgenden Tabelle 2-2 sind die Entwicklungen des Strombedarfs in den beiden Szenarien (Trend und Klimaschutz) zu entnehmen. Während der Strombedarf im Trendszenario bis zum Jahr 2045 lediglich auf 130 Prozent ansteigt, steigt der Strombedarf im Klimaschutzscenario auf 255 Prozent an und ist damit um ein Vielfaches größer als im Bilanzjahr. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Stromsystem in Zukunft nicht nur den klassischen Strombedarf, sondern auch den zukünftig anzunehmenden Strombedarf für die Sektoren Wärme und Verkehr ausgleichen muss (Stichwort Sektorenkopplung). Dies wird auch in den nachfolgenden Abbildungen Abbildung 2-6 und Abbildung 2-7 deutlich, die die Entwicklung des Strombedarfs im Trend- und Klimaschutzscenario aufgeteilt nach Sektoren zeigen.

Tabelle 2-2: Entwicklung des Strombedarfes in den Szenarien (Eigene Berechnung)

Szenario	Bilanzjahr	2025	2030	2035	2040	2045
Trend	100%	109 %	120 %	123 %	125 %	130 %
Klimaschutz 2045	100%	119 %	144 %	178 %	208 %	255 %

Trendszenario

Wie bereits in der vorangegangenen Tabelle 2-2 dargestellt sowie in der nachfolgenden Abbildung 2-6 zu erkennen, steigt der Strombedarf im Trendszenario um 30 Prozent an und beträgt im Zieljahr 2045 rund 73.287 MWh.

Der Großteil des Strombedarfs ist dabei dem Sektor Wirtschaft zuzuschreiben, da auch im Trendszenario von einer gewissen Elektrifizierung von Prozessen ausgegangen wird (Einsatz von Heizstrom und PtG).

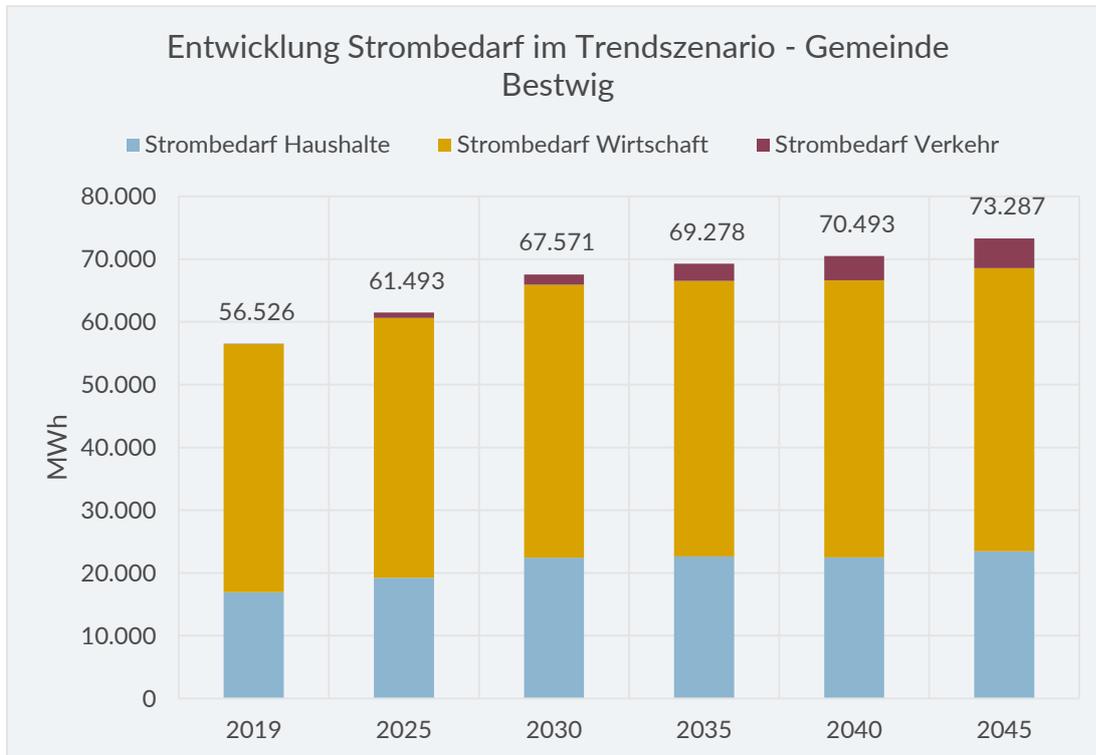


Abbildung 2-6: Entwicklung des Strombedarfs im Trendszenario (Eigene Berechnung)

Klimaschutzszenario

Im Klimaschutzszenario ist die Elektrifizierung bzw. Sektorenkopplung dabei noch deutlicher zu erkennen. Wie der nachfolgenden Abbildung 2-7 zu entnehmen, weist der Strombedarf im Sektor der privaten Haushalte nur wenige Unterschiede zum Trendszenario aus. Der Strombedarf im Sektor Wirtschaft dagegen steigt um ein Vielfaches an, was an der bereits beschriebenen Elektrifizierung der Bereiche Wärme und Verkehr liegt. In der Wirtschaft werden – anstelle von etwa Erdgas – zukünftig vor allem Heizstrom (PtH) und PtG-Anwendungen erwartet, die einen wesentlichen Anstieg des Strombedarfs implizieren.

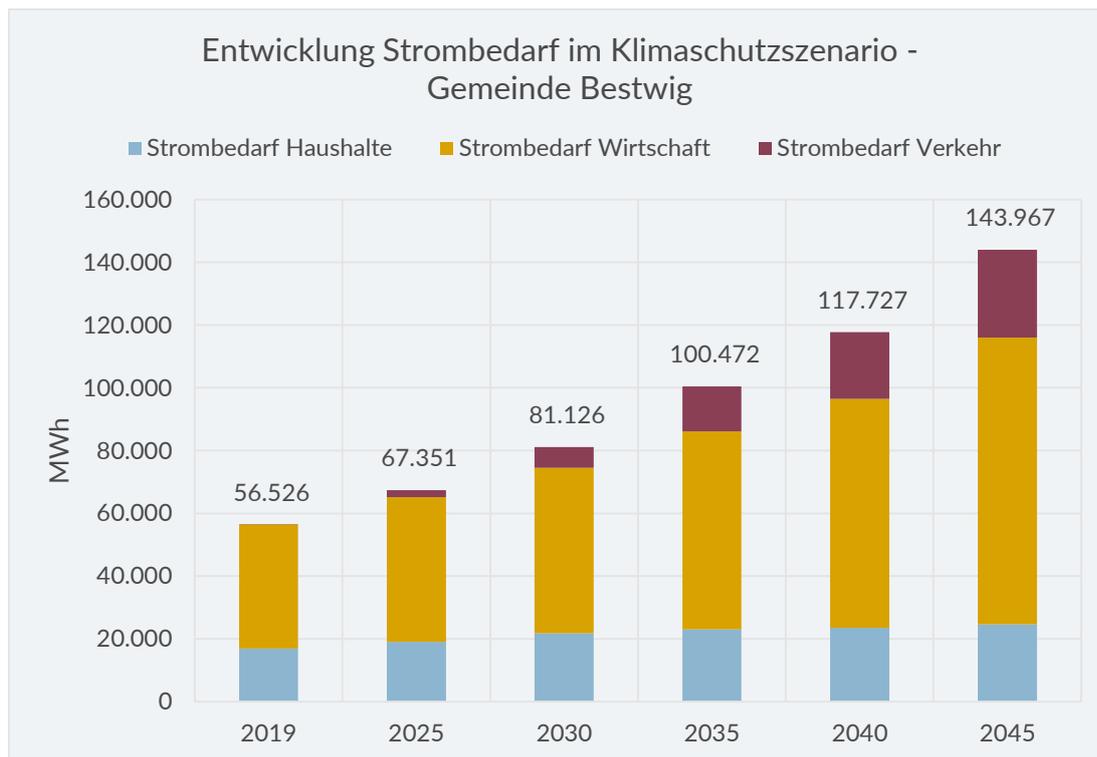


Abbildung 2-7: Entwicklung des Strombedarfs im Klimaschutzscenario (Eigene Berechnung)

Erneuerbare Energien

Um die Dimensionen des zukünftigen Strombedarfs besser vorstellbar zu machen, wurden für Dach- und Freiflächen-PV sowie Windenergie äquivalente Flächen bzw. Anlagenzahlen berechnet, die bilanziell zur Deckung des gesamten Strombedarfs nötig wären. **Dabei wird jeweils nur eine einzelne Anlagenart betrachtet und Kombinationen aus PV und Wind oder Dach- und Freiflächen-PV werden außen vorgelassen.** Eine Übersicht der Äquivalente ist in Abbildung 2-8 dargestellt. In Tabelle 2-3 finden sich die Äquivalente aufgeteilt nach den Sektoren Haushalte, Wirtschaft sowie Verkehr. Der Strombedarf für die PtG-Herstellung sowie Wärmenetze wurde auf die entsprechenden Sektoren aufgeteilt, in denen der Energieverbrauch auftritt. Bei den Windenergie-Anlagen wurde auf ganze Anlagen aufgerundet. Für die Abschätzung der Äquivalente wurde auf gängige Werte für Anlagenleistungen, Flächenbedarfe und Energieerträge zurückgegriffen. Dabei handelt es sich um grobe und eher konservative Annahmen.

Folgende Quellen wurden verwendet:

- Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland (Wirth, 2022) – Fraunhofer ISE
- Performance of roof-top PV systems in selected European countries from 2012 to 2019 (Schardt & te Heesen, 2021) – Umwelt-Campus Birkenfeld
- Durchschnittliche Photovoltaik-Leistung & PV-Erträge in Deutschland (E.ON Energie Deutschland GmbH, 2022)
- Rahmenbedingungen für PV-Freiflächenanlagen (Synwoldt, 2021) – Energieagentur Rheinland-Pfalz
- Bericht über die Flächeninanspruchnahme für Freiflächenanlagen (Bundesnetzagentur, 2016)
- Der Photovoltaik-Ertrag (ESS Kempfle GmbH, 2022)
- Wie viel Fläche wird für eine 1-kWp-PV-Anlage benötigt? (Dachgold e.U., 2022)
- Volllaststunden von Windenergieanlagen an Land (Borrmann, Rehfeldt, & Kruse, 2020) – Deutsche WindGuard
- Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland –Erstes. Halbjahr 2022 (Deutsche WindGuard GmbH, 2022)
- Funktionsweise von Windenergieanlagen (Bundesverband WindEnergie e.V., 2022)

Tabelle 2-3: Erneuerbare-Energien-Äquivalente für den Strombedarf nach Sektoren in den Jahren 2019 und 2045 gemäß Klimaschutzszenario

		Strombedarf [MWh/a]	Freifläche [ha]	Dachfläche [m ²]	Windenergieanlagen [Anzahl]
2019	Haushalte	16.965	17	99.791	2 x 4 MW
	Wirtschaft	39.503	40	232.373	4 x 4 MW
	Verkehr	58	0	340	0 x 4 MW
	Summe	56.526	57	332.504	6 x 4 MW
2045	Haushalte	24.653	25	123.266	1 x 7 MW
	Wirtschaft	107.978	107	539.893	6 x 7 MW
	Verkehr	27.973	28	139.867	2 x 7 MW
	Summe	160.604	160	803.026	9 x 7 MW

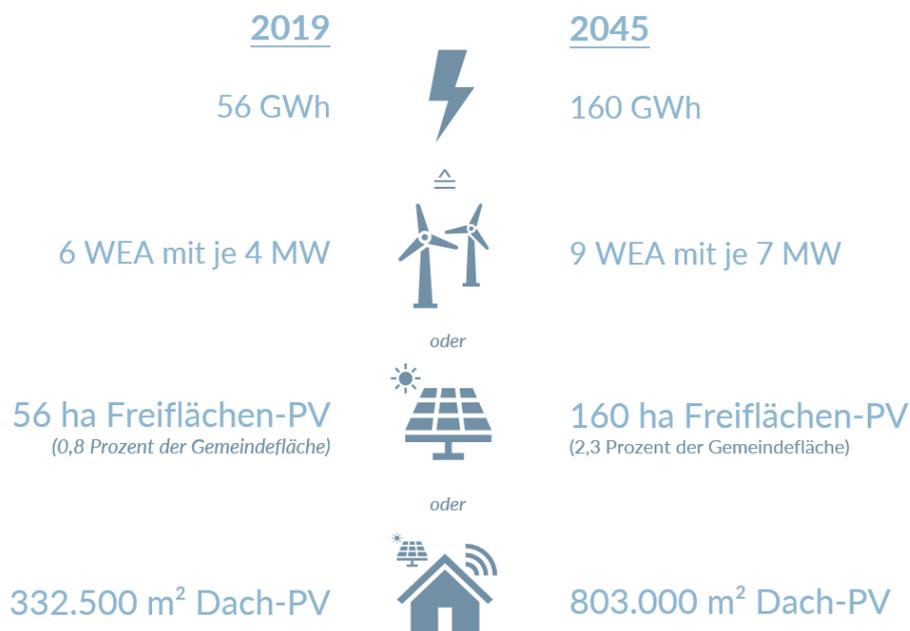


Abbildung 2-8: Erneuerbare-Energien-Äquivalente für den Strombedarf in den Jahren 2019 und 2045 gemäß Klimaschutzenszenario

Die größten Strombedarfe liegen aktuell wie auch in Zukunft im Wirtschaftssektor. Bei einer Betrachtung der theoretischen EE-Äquivalente hat dieser folglich mit 70 Prozent bzw. 63 Prozent den größten Anteil an den benötigten Anlagen zur Strombereitstellung. Das relativ gesehen größte Wachstum an Strombedarf tritt im Verkehrssektor auf, während es im Sektor Haushalte am geringsten ausfällt.

Aufgrund der technologischen Entwicklung in der Windenergie mit steigenden Nennleistungen und entsprechenden Stromerträgen wäre in Zukunft eine Anlagenzahl von neun, mit einer Leistung von 7 MW, bis zum Jahr 2045 notwendig (8 Anlagen mit je 1,25-2 MW im Jahr 2019 vorhanden). Das relative Wachstum der PV-Flächen fällt höher aus, da das Potenzial für die Verbesserung der Technologie hier in Zukunft geringer ist. Im Jahr 2019 würde das Äquivalent der Freiflächen-PV bereits 0,6 Prozent der Gesamtfläche bzw. 3,4 Prozent der Landwirtschaftsfläche beanspruchen, während diese Werte im Jahr 2045 voraussichtlich bei 2,3 Prozent bzw. 8,8 Prozent liegen.

Für die vereinfachte Abschätzung wurden bestehende Anlagen nicht mitberücksichtigt, sondern nur neue Anlagen entsprechend des aktuellen bzw. in Zukunft zu erwartenden Standes der Technik angenommen.

Die ermittelten EE-Potenziale beruhen auf den in Kapitel 1.4 dargestellten Inhalten. Insgesamt besitzt die Gemeinde Bestwig ein erhebliches Potenzial an erneuerbaren Energien im Bereich Photovoltaik. Für das in Abschnitt 1.4.2 ermittelte Potenzial für Dachflächen-Photovoltaik wird jedoch angenommen, dass lediglich 95 Prozent des Maximalpotenzials ausgeschöpft werden können (etwa aufgrund begrenzender Faktoren wie Statik, Verschattung oder Denkmalschutz). Das Potenzial in den Bereichen Bioenergie, Wasserkraft sowie KWK ist verhältnismäßig eher gering bzw. bereits ausgeschöpft (vgl. Abbildung 2-9).

Wie beschrieben, muss das Stromsystem zukünftig nicht nur die Fluktuationen durch den klassischen Strombedarf, sondern auch den zukünftig anzunehmenden Strombedarf für die Sektoren Wärme und Verkehr ausgleichen und somit die benötigten Strombedarfe für E-Mobilität, Umweltwärme und vor allem für Power-to-X-Anwendungen liefern.

Wie der nachfolgenden Abbildung 2-9 zu entnehmen ist, reicht das Gesamtpotenzial dabei aus, um den im Klimaschutzscenario prognostizierten Strombedarf der Gemeinde Bestwig vollständig abzudecken. Der Deckungsanteil beträgt im Zieljahr 2045 431 Prozent

Insgesamt können bei Hebung aller EE-Potenziale (mit Ausnahme der Restriktionen im Bereich Dach-PV) 621.083 MWh Strom im Zieljahr 2045 auf Gemeindegebiet erzeugt werden. Dies entspricht einem Anteil am Maximalpotenzial von nahezu 100 Prozent.

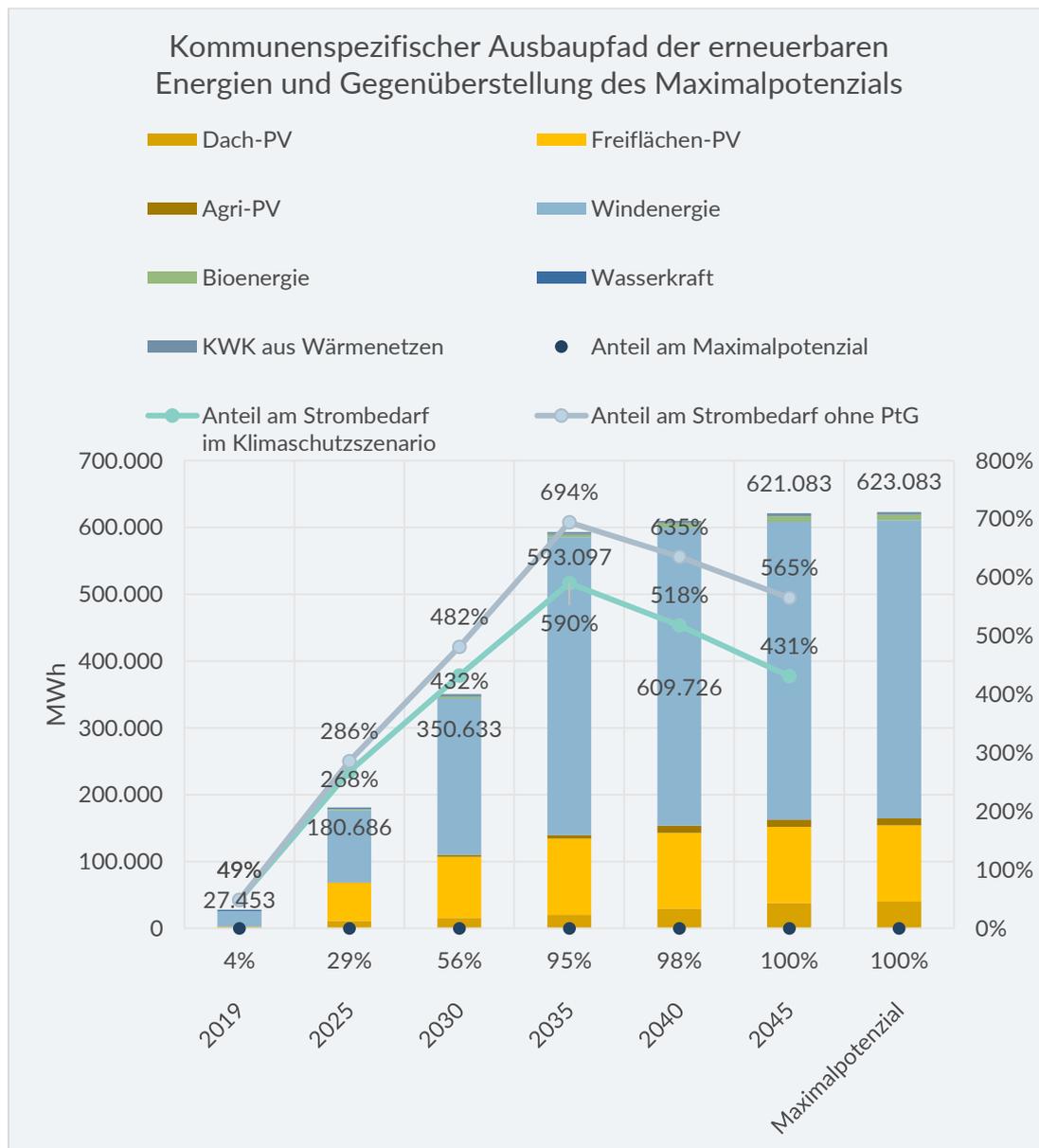


Abbildung 2-9: Kommunenspezifischer Ausbaupfad der Erneuerbaren Energien und Gegenüberstellung des Maximalpotenzials bis zum Zieljahr 2045(Eigene Berechnung)

Vergleich der Einspeisemengen 2019 bis 2021

Wie der nachfolgenden Abbildung 2-10 zu entnehmen ist, hat sich die Anzahl der Erneuerbaren-Energien-Anlagen von 2017 bis 2021 in der Gemeinde stetig erhöht (um insgesamt rund 37 %). Die eingespeiste Menge an Strom nahm von 2018 auf 2019 am deutlichsten zu (ca. 1.650 MWh). Der Höchststand der Einspeisemenge liegt im Jahr 2020 bei 28.137 MWh. Im Jahr 2021 ist die eingespeiste Strommenge, trotz der größten Zahl an Erneuerbare-Energien-Anlagen aller Jahre, jedoch um rund 5.161 MWh gesunken. Die Reduktion resultiert aus einer geringeren Erzeugung von Windkraft im Jahr 2021. Erklärung hierfür ist die gegebenenfalls geringe Windausbeute in dem Jahr (Umweltbundesamt, 2021); ein anderer möglicher Grund können der Ausfall oder Wartungsarbeiten an einer der acht WEA sein.

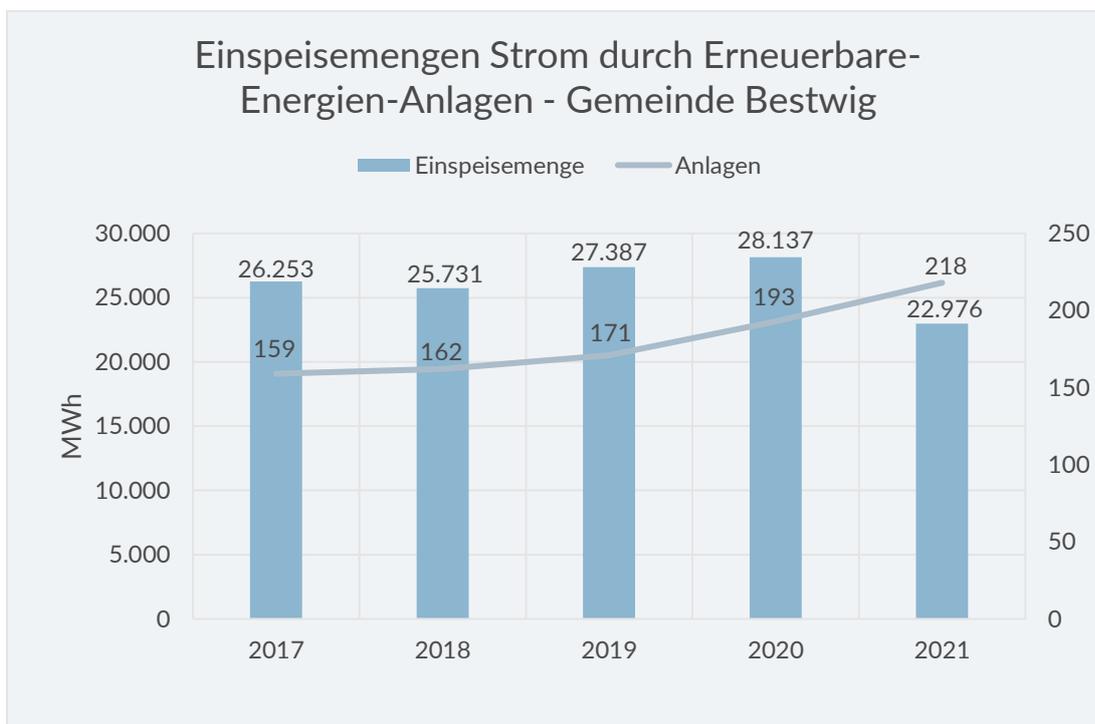


Abbildung 2-10: Einspeisemengen Strom durch Erneuerbare-Energien-Anlagen (Eigene Darstellung, Quelle: Westenergie)

2.5 End-Szenarien: Endenergieverbrauch gesamt

Nachfolgend werden alle vorangehenden Berechnungen in den beiden Szenarien (Trend und Klimaschutz) zusammengefasst als „End-Szenarien“ dargestellt. Dabei wird zunächst die zukünftige Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach den Sektoren private Haushalte, Wirtschaft und Verkehr in 5-Jahres-Schritten bis zum Jahr 2045 aufgezeigt.

Trendszenario

In der nachfolgenden Abbildung 2-11 ist die Entwicklung des Endenergieverbrauchs, ausgehend vom Basisjahr 2019, dargestellt. Die Einsparpotenziale stammen dabei aus den vorangegangenen Potenzialanalysen. Es zeigt sich, dass bis 2045 (bezogen auf das Bilanzjahr 2019) 17 Prozent des Endenergieverbrauchs eingespart werden können. Die größten Einsparungen sind dabei im Bereich Mobilität zu erzielen, die wenigsten im Bereich der privaten Haushalte.

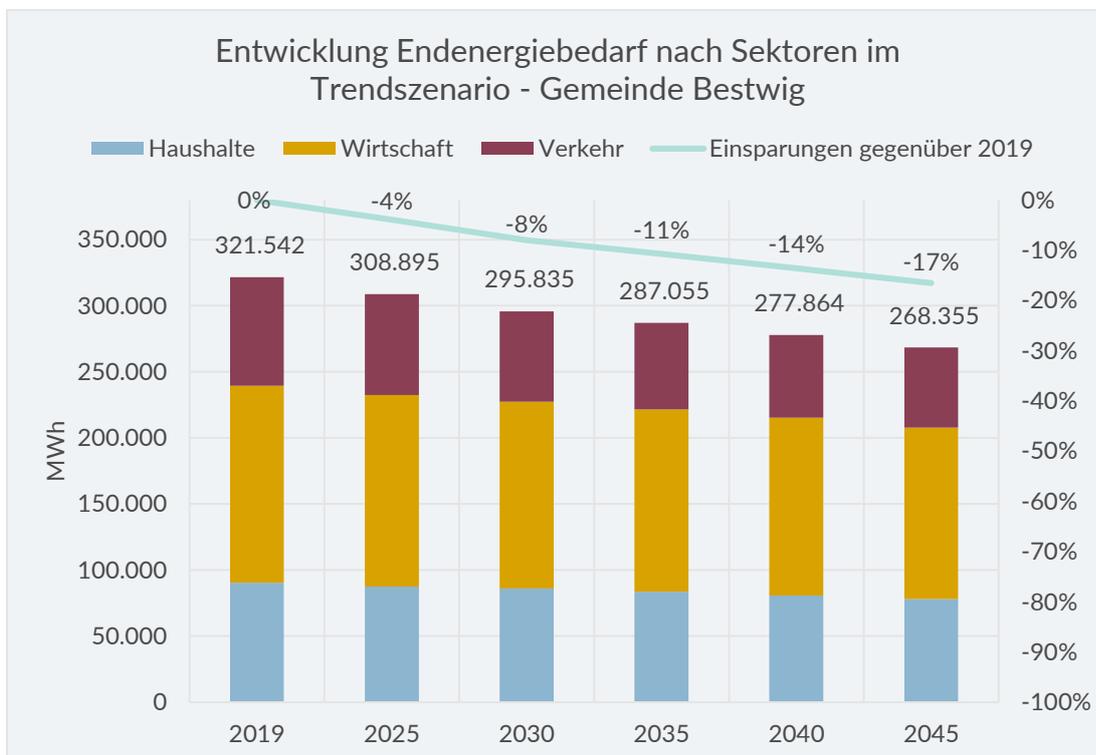


Abbildung 2-11: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Trendszenario (Eigene Berechnung)

Klimaschutzszenario

Im Klimaschutzszenario zeigt sich, dass bis 2030 (bezogen auf das Bilanzjahr 2019) 14 Prozent und bis zum Zieljahr 2045 34 Prozent des Endenergieverbrauchs eingespart werden können. Dabei sind die größten Einsparungen in den Bereichen Mobilität gefolgt vom Bereich der privaten Haushalte zu erzielen (vgl. Abbildung 2-12). Insgesamt geht der Endenergieverbrauch auf 211.313 MWh zurück.

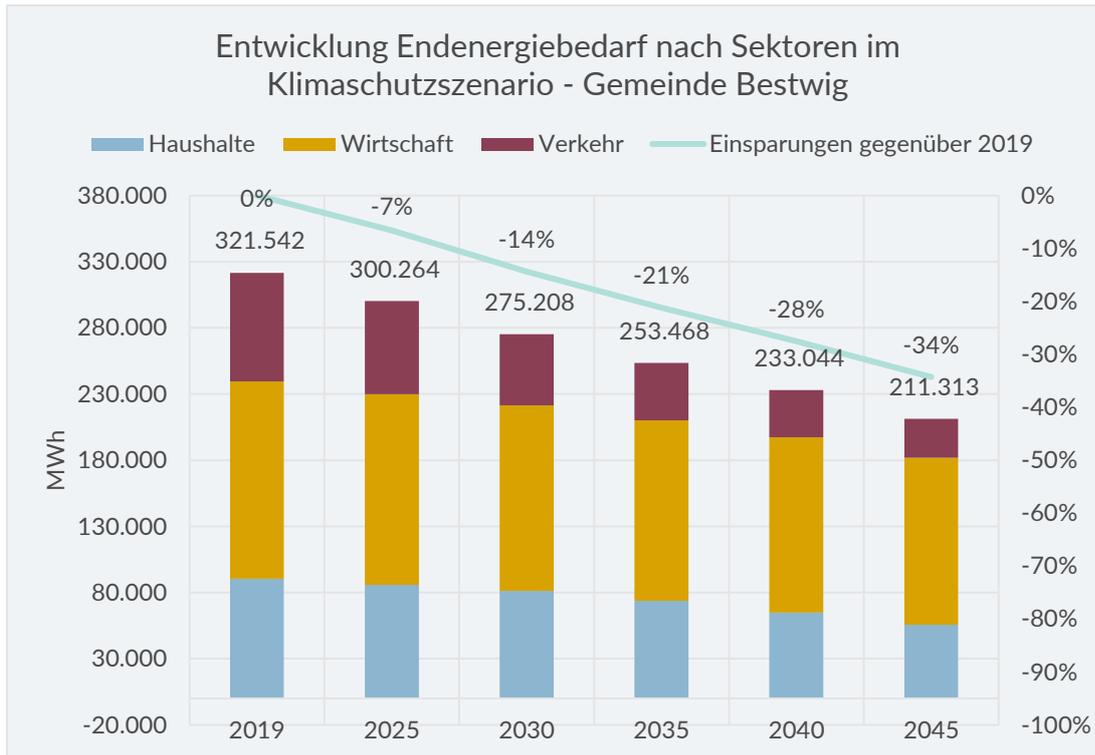


Abbildung 2-12: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Klimaschutzscenario (Eigene Berechnung)

2.6 End-Szenarien: THG-Emissionen gesamt

Nachfolgend wird die zukünftige Entwicklung der THG-Emissionen nach den Sektoren private Haushalte, Wirtschaft und Verkehr in 5-Jahres-Schritten bis zum Jahr 2045 aufgezeigt.

Zum Verständnis der unterschiedlichen Emissionsfaktoren in den Szenarien wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Szenarien auf unterschiedlichen Emissionsfaktoren für den Energieträger Strom basieren. Während im Trendszenario nur ein geringer EE-Anteil am Strommix und damit ein höherer Emissionsfaktor angenommen wird, ist der Emissionsfaktor im Klimaschutzscenario geringer, da hier ein höherer EE-Anteil am Strommix angenommen wird. Dies bedeutet, dass die THG-Emissionen für die Gemeinde Bestwig nicht mit dem lokalen Strommix bilanziert werden, sondern mit einem prognostizierten Bundesstrommix. Dieses Vorgehen ist mit der BSKO-Methodik konform.

Trendszenario

Für die Berechnung des Trendszenarios der THG-Emissionen wird im Jahr 2045 ein Emissionsfaktor von 333 g CO₂e/kWh angenommen (Angabe ifeu und ÖKO-Institut). In der nachfolgenden Abbildung 2-13 ist die Entwicklung der THG-Emissionen, ausgehend vom Basisjahr 2019, dargestellt. Die Einsparpotenziale stammen dabei aus den vorangegangenen Potenzialanalysen. Die THG-Emissionen sinken laut dem Trendszenario ausgehend vom Ausgangsjahr 2019 um rund 28 Prozent bis 2045.

Umgerechnet auf die Einwohnerinnen und Einwohner der Gemeinde Bestwig entspricht dies 8,5 t pro Einwohner und Jahr im Jahr 2030 und 7,07 t pro Einwohner und Jahr im Jahr 2045. Im Ausgangsjahr 2019 betragen die THG-Emissionen pro Einwohner und Jahr dagegen rund 9,59 t (vgl. Treibhausgasbilanz der Gemeinde Bestwig im Klimaschutzkonzept Hochsauerlandkreis 2023), sodass auch im Trendszenario mit einer Reduktion der THG-Emissionen zu rechnen ist. Diese ist jedoch nicht ausreichend, um die Klimaziele zu erreichen.

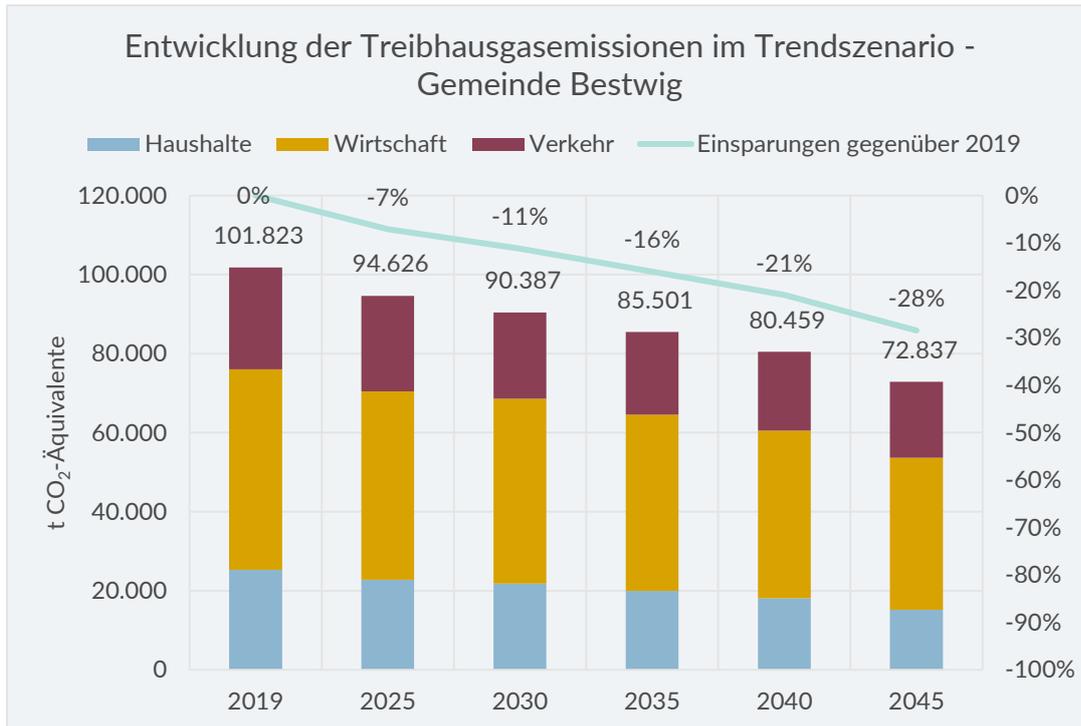


Abbildung 2-13: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Trendszenario (Eigene Berechnung)

THG-Emissionen im Klimaschutzszenario

Für die Berechnung der durch importierten Strom verursachten Emissionen innerhalb des Klimaschutzszenarios wird im Jahr 2045 ein LCA-Faktor von 72 g CO₂e/kWh angenommen (Angabe ifeu und ÖKO-Institut). In der nachfolgenden Abbildung 2-14 ist die Entwicklung der THG-Emissionen, ausgehend vom Basisjahr 2019, dargestellt. Die Einsparpotenziale stammen dabei aus den vorangegangenen Potenzialanalysen. Die THG-Emissionen sinken laut dem Klimaschutzszenario vom Ausgangsjahr 2019 um 43 Prozent bis 2030 und 92 Prozent bis 2045. Das entspricht 5,42 t pro Einwohner und Jahr in 2030 und 0,74 t pro Einwohner und Jahr in 2045.

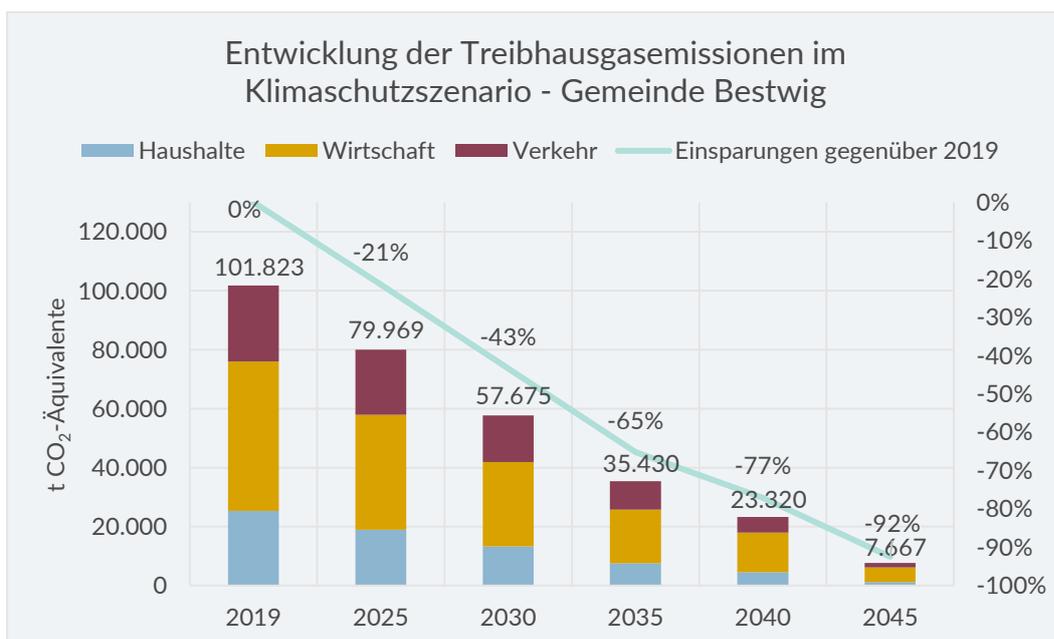


Abbildung 2-14: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Klimaschutzszenario (Eigene Berechnung)

2.7 Treibhausgasneutralität

Wie dem Abschnitt 2.6 zu entnehmen ist, werden in keinem der Szenarien null Emissionen (tatsächlich null Tonnen THG-Emissionen pro Einwohner erreicht. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass nicht in allen Sektoren vollständig auf fossile Energieträger verzichtet werden kann (z. B. Verkehr und Wirtschaft), aber auch darauf, dass selbst für erneuerbare Energieträger Emissionen anfallen (bspw. Photovoltaik verfügt über einen Emissionsfaktor von 40 g CO₂e/kWh). Dies ist auf die aus der Bilanz bekannte BSKO-Systematik zurückzuführen, welche nicht nur die direkten Emissionen, sondern auch die durch die Vorkette entstandenen Emissionen mit einbezieht. Eine bilanzielle Treibhausgasneutralität ist mit dieser Systematik also nicht möglich.

Eine Treibhausgasneutralität im jeweiligen Zieljahr kann nur erreicht werden, wenn „...ein Gleichgewicht zwischen Treibhausgas-Emissionen und deren Abbau herrscht“ (Bundesregierung, 2021). Verbleibende (energetische) Emissionen sollen also über die Senkenfunktion natürlicher Kohlenstoffspeicher wieder der Atmosphäre entzogen werden. Umsetzungsmöglichkeiten dafür sind zum einen die Vernässung von Mooren und Feuchtgebieten, aber auch eine Aufforstung und Renaturierung von Waldgebieten. Weiterhin besteht die Möglichkeit von Humusaufbau in der Landwirtschaft. Um verbleibende Treibhausgasemissionen abzubauen, müssen also natürliche Senken genutzt werden. Weitere Kompensationsmöglichkeiten könnten kommunal diskutiert werden.

Klimaneutralität, als die höchste Neutralitätsform, zu erlangen, erfordert weitergehende Anstrengungen, von denen viele nicht im Handlungsbereich der Kommune liegen. Im Vergleich zur Treibhausgasneutralität bedeutet Klimaneutralität nicht nur Netto-Null-Emissionen, sondern auch, dass sämtliche Einflüsse auf das Klima zu vermeiden bzw. auszugleichen sind. Im strengen Sinne würden dazu auch Kondensstreifen, Abwärme, Albedo-Effekte, nicht energetische Emissionen aus Landnutzung und dergleichen gehören. Eine Feinsteuerung scheint hier, genauso wie eine bilanzielle Erfassung dieser Einflüsse, schier unmöglich. Zu beachten ist, dass im Alltagsgebrauch aktuell zwischen Treibhausgas- und Klimaneutralität terminologisch häufig nicht unterschieden wird. Fachlich sind darunter aber zwei verschiedene Neutralitätsformen zu verstehen, die es zu trennen gilt (Luhmann & Obergassel, 2020).

2.8 Zusammenfassung: Instruktionen aus den Potenzialen und Szenarien

Die nachfolgende Tabelle stellt eine Zusammenfassung der Instruktionen aus den aufgezeigten Potenzialen und Szenarien dar. Dabei werden die Instruktionen nach den folgenden Handlungsfeldern bzw. Sektoren aufgeteilt:

- 1. Sanierung und Entwicklung Wärmemix:** Bis zum Zieljahr 2045 sind gemäß des Klimaschutzenszenarios 53,8 Prozent des Gebäudebestands der Gemeinde Bestwig saniert, was zu Endenergieeinsparungen in Höhe von 43 Prozent führt. Die Sanierungsrate steigt im Klimaschutzenszenario im Laufe der Zeit von 0,8 Prozent auf bis zu 2,8 Prozent und stagniert dann bis zum Jahr 2045. Neben der Sanierung des Gebäudebestands bedarf zudem der Wärmemix einer entsprechenden Veränderung: Im zentralen Klimaschutzenszenario ist der fossile Energieträger Flüssiggas bis zum Jahr 2030 durch andere Energieträger substituiert. Die Energieträger Heizöl, sonstige Konventionelle und Erdgas müssen spätestens bis zum Jahr 2045 durch erneuerbare Energieträger substituiert werden. Für die Substitution wird vor allem auf Biomasse, Umweltwärme, Heizstrom/PtH und den Aufbau eines Nahwärmenetzes (mit Geothermie) gesetzt. Kleinere Mengen werden durch Biogas, Sonnenkollektoren sowie Power-to-Gas gedeckt.
- 2. Mobilität und Verkehr:** Im Bereich Mobilität und Verkehr wird die notwendige Minderung der Fahrleistung des motorisierten Individualverkehrs (MIV) sowie der notwendige Anteil alternativer Antriebe an der Fahrleistung dargestellt. Der MIV muss um rund 27 Prozent gesenkt werden (etwa durch Stärkung des Umweltverbunds und weitere entsprechende Maßnahmen). Der Anteil der alternativen Antriebe an der verbleibenden Fahrleistung muss rund 97 Prozent betragen (auch hier sind entsprechende Maßnahmen zu entwickeln und umzusetzen).
- 3. Erneuerbare Energien:** Insgesamt besitzt die Gemeinde Bestwig ein erhebliches Potenzial an erneuerbaren Energien in den Bereichen Windenergie und Photovoltaik. Andere Energieerzeugungsarten aus den Bereichen Klär-, Deponien- und Grubengas sowie KWK sind im Verhältnis zu vernachlässigen. Für das Zieljahr 2045 ergibt sich aus den Erzeugungsarten Wind und Sonne ein möglicher Stromertrag von 621.083 MWh. Inklusiv der Berücksichtigung des Strombedarfs zur Herstellung von Power-to-Gas (PtG) entspricht dies einem Deckungsanteil von 431 Prozent der erforderlichen Energie im Klimaschutzenszenario - der Anteil am Strombedarf ohne PtG beträgt im Jahr 2045 565 Prozent. Da seitens der Gemeinde Bestwig von einer Flächenkonkurrenz der landwirtschaftlichen Nutzflächen und Freiflächen-PV ausgegangen wird, könnte der Deckungsanteil sowie der Stromertrag insgesamt auch deutlich geringer ausfallen.

Tabelle 2-4: Zusammenfassung: Instruktionen aus den Potenzialen und Szenarien für die Gemeinde Bestwig

Gemeinde Bestwig	
Klimaschutzszenario 2040	
Sanierung und Entwicklung Wärmemix	
Sanierungsrate	0,8 % – 2,8 % pro Jahr (steigend bis 2045); Energieeinsparung von rund 43 % im Bereich der Wohngebäude in 2045 (53,8 % saniert);
Rolle der fossilen Energieträger	Heizöl und sonstige Konventionelle: Vollständige Reduktion bis 2045 Erdgas: Reduktion der Verbräuche um 64 % bis 2040, vollständiger Ausstieg bis 2045 Flüssiggas: Ausstieg bis 2030
Alternative zu den fossilen Energieträgern	Substitution durch: Biomasse, Umweltwärme, Heizstrom/PtH; kleinere Mengen durch Nahwärme, Solarthermie, Biogas sowie Power-to-Gas
Mobilität und Verkehr	
Minderung Fahrleistung MIV	27 %
Anteil alternativer Antriebe an der verbleibenden Fahrleistung	97 %
Erneuerbare Energien	
Maximaler Deckungsanteil am Strombedarf	Inklusive der Berücksichtigung des zukünftigen Strombedarfs (z. B. zur Herstellung von Power-to-Gas (PtG)) ergibt sich ein Deckungsanteil von 431 % im Jahr 2045. Sollten zukünftig alle Bedarfe an PtG importiert werden und die Produktion nicht auf dem Gemeindegebiet stattfinden, könnte Bestwig den eigenen Strombedarf in 2045 zu 565 % selbst decken.
Wesentliche Erneuerbare Energien	PV-Freifläche, PV-Dach, Windenergie; Bioenergie Theoretisches Potenzial 2045 an EE: 621.083 MWh

Literaturverzeichnis

- BMWi. (2014). *Die Energie der Zukunft. Erster Fortschrittsbericht zur Energiewende*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin.
- Bundesregierung. (2021). *Klimaschutzgesetz 2021, Generationenvertrag für das Klima*. Abgerufen am 24. März 2022 von Die Bundesregierung: <https://www.bundesregierung.de/bregde/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672?view=renderNewsletterHtml>
- Bundesverband Wärmepumpe e. V. (20. Januar 2022). *Starkes Wachstum im Wärmepumpenmarkt*. Von <https://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/starkes-wachstum-im-waermepumpenmarkt/#content> abgerufen
- dena. (Juni 2014). *Initiative Energieeffizienz, Deutsche Energie-Agentur, Mediathek, Infografiken*. (Deutsche Energie-Agentur GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 27. Juli 2021 von <https://www.dena.de/en/newsroom/infographics/>
- Deutscher Wetterdienst DWD. (2020). *Zeitreihen und Trends*. Abgerufen am 15. 06 2022 von <https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html?nn=344886>
- Fraunhofer ISE. (2022). *Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende*. Freiburg: Fraunhofer ISE.
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. (12. 04 2019). *Agrophotovoltaik: hohe Energieerträge im Hitzesommer*. Abgerufen am 15. 06 2022 von <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2019/agrophotovoltaik-hohe-ernteertraege-im-hitzesommer.html>
- Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung. (2021). *Erstellung von Anwendungsbilanzen für die Jahre 2018 bis 2020*. Karlsruhe.
- ifeu. (2019). *BISKO - Bilanzierungs-Systematik Kommunal - Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland*. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu).
- ifeu. (2022). *TREMODO*. Abgerufen am 24. März 2022 von ifeu: <https://www.ifeu.de/methoden-tools/modelle/tremod/>
- IREES. (2015). *Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2011 bis 2013*. Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien, Karlsruhe, München, Nürnberg.
- IWU. (2015). *„TABULA“ - Entwicklung von Gebäudetypologien zur energetischen Bewertung des Wohngebäudebestands in 13 europäischen Ländern*. (IWU - Institut Wohnen und Umwelt, Herausgeber) Abgerufen am 27. Juli 2021 von <http://www.iwu.de/forschung/energie/abgeschlossen/tabula/>
- Klima-Bündnis e.V. (2022). *Klimaschutz-Planer*. Von <https://www.klimaschutzplaner.de/index.php> abgerufen
- LANUV. (2013). *Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 2 - Solarenergie, LANUV-Fachbericht 40*. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.

- LANUV. (2014). *Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 3 - Biomasse-Energie*, LANUV-Fachbericht 40. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV).
- LANUV. (2015). *Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 4 - Geothermie*, LANUV-Fachbericht 40. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV).
- LANUV. (2021). *Bestandskarte*. (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen) Abgerufen am 28. Februar 2023 von Energieatlas NRW: <https://www.energieatlas.nrw.de/site/bestandskarte>
- LANUV. (2022). *Planungskarte Windenergie*. (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen) Abgerufen am 28. Februar 2023 von Energieatlas NRW: <https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarten/wind>
- LANUV. (2022). *Solarkataster*. Abgerufen am 28. Februar 2023 von Energieatlas NRW: https://www.energieatlas.nrw.de/site/karte_solarkataster
- LANUV NRW. (2019). *Potenzialstudie Industrielle Abwärme*. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz.
- Luhmann, H.-J., & Obergassel, W. (27. 01 2020). Klimaneutralität versus Treibhausgasneutralität-Anforderungen an die Kooperation im Mehrebenensystem in Deutschland. *GAiA*, S. 27-33.
- Mehr Demokratie e.V. (2020). *Handbuch Klimaschutz. Wie deutschland das 1,5 Grad-Ziel einhalten kann*. München: oekom Verlag.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2022). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide, Recent Monthly Average Mauna Loa CO2*. Abgerufen am 24. August 2021 von <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html>
- Öko-Institut / Fraunhofer ISI. (2015). *Klimaschutzszenario 2050, 2. Endbericht, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit*. Öko-Institut e.V. und Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Berlin und Karlsruhe.
- Prognos; Öko-Institut; Wuppertal Institut. (2021). *Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann*. Berlin: Prognos; Öko-Institut; Wuppertal Institut;.
- Solar Institut Jülich der FH Aachen in Kooperation mit Wuppertal Institut und DLR. (2016). *Handbuch methodischer Grundfragen zur Masterplan-Erstellung, Kommunale Masterpläne für 100 % Klimaschutz*. Aachen.
- Sonnberger, M. (2014). *Weniger provoziert Mehr. Energieeffizienz bei Gebäuden und der Rebound-Effekt*. Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau, Stuttgart.
- Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe TFZ. (2021). *Agri-Photovoltaik - Stand und offene Fragen*. Straubing.
- UBA. (09. August 2021). *IPCC-Bericht: Klimawandel verläuft schneller und folgenschwerer*. Abgerufen am 16. März 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/ipcc-bericht-klimawandel-verlaeuft-schneller>

Umweltbundesamt. (2021). Radverkehr. Abgerufen am 08.März.2023 von
<https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/deutlich-weniger-erneuerbarer-strom-im-jahr-2021>

Umweltbundesamt. (2022). *umweltbundesamt.de.* Abgerufen am 08.März.2023 von
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/radverkehr#gtgt-umweltfreundlich-und-klimaschonend> abgerufen

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
A	Autobahn
BISKO	Bilanzierungs-Standard Kommunal
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CH ₄	Methan
CNG	Compressed Natural Gas
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ e	CO ₂ -Äquivalente
CO ₂ e/kWh	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent pro Kilowattstunde
DWD	Deutscher Wetterdienst
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
FFH	Flora, Faune und Habitate
g	Gramm
GEMIS	Global Emissions-Modell integrierter Systeme
GHD	Gewerbe-Handel-Dienstleistungen
ha	Hektar
ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kWh	Kilowattstunden
kWh/Besch.	Kilowattstunden pro Beschäftigter
kWh/EW	Kilowattstunden pro Einwohner
kWh/m ²	Kilowattstunden pro Quadratmeter
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
LCA	Life Cycle Analysis
LKW	Lastkraftwagen
LNF	leichte Nutzfahrzeuge
LPG	Liquefied Petroleum Gas
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ² /kWp	Quadratmeter pro Kilowattpeak
MIV	motorisierter Individualverkehr
MW	Megawatt
MW/a	Megawatt pro Jahr

MWh	<i>Megawattstunden</i>
MWh/(ha a)	<i>Megawattstunden pro Hektar Jahr</i>
MWh/a	<i>Megawattstunden pro Jahr</i>
MWp	<i>Megawattstundenpeak</i>
N ₂ O	<i>Distickstoffmonoxid</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NRW	<i>Nordrhein-Westfalen</i>
ÖPFV	<i>öffentliche Personenfernverkehr</i>
ÖPNV	<i>öffentlicher Personennahverkehr</i>
ppm	<i>Parts per million</i>
PtG	<i>Power-to-Gas</i>
PtH	<i>Power-to-Heat</i>
PV	<i>Photovoltaik</i>
SF ₆	<i>Schwefelhexafluorid</i>
t	<i>Tonnen</i>
t/a	<i>Tonnen pro Jahr</i>
t/EW	<i>Tonnen pro Einwohner</i>
tCO ₂ e	<i>Tonnen CO₂-Äquivalente</i>
THG	<i>Treibhausgas</i>
TREMOD	<i>Transport Emission Modell</i>
TWh	<i>Terawattstunden</i>