

- Administration communale de Niederanven -

STRATEGIEPLAN FÜR DEN AUSBAU DER ERNEUERBAREN ENERGIEN UND DIE STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ

ENDBERICHT



August 2021

Bearbeitung

MARTIN Olivier, Energipark Réiden S.A.

SCHEITLER Ben, Energipark Réiden S.A.

POPESCU Adrian Liviu, Energipark Réiden S.A.

HENNICO Laurent, Energipark Réiden S.A.

MORIS Luca, Energipark Réiden S.A.



6, Jos Seylerstroos

L-8522 Beckerich

Tel: 268818

Fax: 268819

www.energiepark.lu

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	III
TABELLENVERZEICHNIS	V
1 HINTERGRUND	7
2 ANALYSE DER IST-SITUATION	8
2.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes	8
2.2 Entwicklung der Bevölkerung in der Gemeinde Niederanven	9
2.3 Energiebilanz in der Gemeinde	10
2.3.1 Stromversorgung	10
2.3.2 Wärmeversorgung	17
2.3.3 CO ₂ Bilanz	24
3 EINHALTUNG DER ZIELSETZUNGEN DER GEMEINDE	27
4 ANALYSE DER POTENTIALE ERNEUERBARER ENERGIEN	29
4.1 Biomasse – Zusammenfassung und Bewertung	29
4.2 Solarenergie	30
4.2.1 Vorgehensweise	30
4.2.2 Solaranlagenbestand	31
4.2.3 Theoretisches Ausbaupotential	34
4.2.4 Umsetzbares Solarpotential	37
5 POTENTIAL ZUR STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ	40
5.1 Wohngebäude	40
5.1.1 Energiekataster	40
5.1.2 Potential zur Steigerung der Energieeffizienz der Stromversorgung in den Haushalten	45
5.2 Zusammenfassung des Potentials zur Steigerung der Energieeffizienz	48
5.2.1 Strom	48
5.2.2 Wärme	48
6 ENERGIEPLANUNG	49
7 ZIELSETZUNGEN DER GEMEINDE	50
8 UMSETZUNGSSZENARIOEN UND BEWERTUNG DER ZIELSETZUNGEN	51

8.1	Annahmen.....	51
8.1.1	Stromversorgung.....	53
8.1.2	Wärmeversorgung	57
8.1.3	CO ₂ -Bilanz.....	60
	LITERATURVERZEICHNIS.....	61

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Orthofoto des Gemeindegebietes (LUXCAD).	8
Abbildung 2: Entwicklung der Bevölkerung in der Gemeinde Niederanven (STATEC).	9
Abbildung 3: Aufteilung der Stromproduktion in 2015 (Creos, 2015).	10
Abbildung 4: Verlauf der Stromproduktion in Niedervanven im Zeitraum 2018-2020.	10
Abbildung 5: Photovoltaikanlage in Niederanven.	11
Abbildung 6: Stromproduktion in MWh nach Erzeugerart in der Gemeinde Niederanven für die Jahre 2020 (o.l.), 2019 (o.r.), 2018 (u.l.) und 2015 (u.r.).	11
Abbildung 7: Verteilung des Stromverbrauchs nach Ortschaft in 2015 (Creos, 2015).	12
Abbildung 8: Verlauf des Stromverbrauchs in der Gemeinde Niederanven (Enovos, 2020).	12
Abbildung 9: Aufteilung des Stromverbrauchs nach Verbrauchergruppe in 2020 (Creos, 2020).	13
Abbildung 10: Aufteilung des Stromverbrauchs nach Verbrauchergruppen im Jahr 2015 und im Jahr 2020 (Creos 2015 und 2020).	13
Abbildung 11: Aufteilung des Stromverbrauchs nach Stromquelle und Stromtarif 2020 (ENOVOS, 2020).	14
Abbildung 12: Deckungsgrad mit erneuerbaren Energien der Stromversorgung im Gemeindegebiet in 2015.	15
Abbildung 13: Verteilung der Stromproduktion nach Energiequelle in der Gemeinde Niederanven in 2020.	16
Abbildung 14: Entwicklung der Nennwärmeleistung der geförderten Biomassekleinanlagen bei den Privatpersonen in der Gemeinde (MECDD, 2020).	17
Abbildung 15: Holzhackschnitzel.	17
Abbildung 16: Verlauf der Wärmeproduktion über kommunales Holzhackschnitzel-Heizkraftwerk. .	18
Abbildung 17: Anzahl an geförderten Außenluft-Wärmepumpen und Erwärmepumpen [MECDD, 2020]	19
Abbildung 18: Aufteilung der erneuerbaren Energieträger für die Wärmeversorgung in 2020.	19
Abbildung 19: Gesamter Gasverbrauch in der Gemeinde Niederanven (ENOVOS/CREOS).	20
Abbildung 20: Aufteilung des Wärmeverbrauchs in der Gemeinde Niederanven nach Verbrauchergruppen (2020).	21
Abbildung 21: Aufteilung des Wärmeverbrauchs in der Gemeinde Niederanven nach Verbrauchergruppen (2015).	21

Abbildung 22: Vergleich des Wärmeverbrauchs nach Sektor für die Jahre 2015 und 2020.....	22
Abbildung 23: Verteilung des Energieverbrauchs für die Wärmeversorgung auf dem Gemeindegebiet nach Energieträger in 2020.....	22
Abbildung 25: Aufteilung der Emissionen nach Strom- und Wärmeversorgung in 2020.....	24
Abbildung 24: Aufteilung der Emissionen nach Verbrauchssektor in 2020.	24
Abbildung 26: Treibhausgasemissionen nach Verbrauchssektor in der Gemeinde Niederanven.	26
Abbildung 27: Auszug QGIS.....	31
Abbildung 28: Entwicklung der installierten Leistung der subventionierten Photovoltaikanlagen in der Gemeinde Niederanven von 2010 bis 2020 (MECDD, 2020).....	32
Abbildung 29: Entwicklung der Anzahl der geförderten thermischen Solaranlagen im Zeitraum von 2010 bis 2020 (MECDD).	33
Abbildung 30: Zwei Szenarien für die Nutzung der freien Dachfläche für Solarenergie	35
Abbildung 31: Ausbau der Wärmebereitstellung durch solarthermische Anlagen.....	38
Abbildung 32: Ausbau der Stromproduktion durch Photovoltaikanlagen.	39
Abbildung 33: Auszug aus dem Energiekataster.....	40
Abbildung 34: Entwicklungen des Wärmeverbrauchs der Haushalte nach Ortschaft.....	43
Abbildung 35: Vergleich des Stromverbrauchs in den Haushalten in der Gemeinde Niederanven zwischen 2015 und 2020 (Enovos).....	45
Abbildung 36: Stromeinsparmaßnahmen und Stromeinsparungen in den Privathaushalten	47
Abbildung 39: Potentials zur Senkung des Stromverbrauchs nach Sektor.....	48
Abbildung 40: Einsparpotentiale nach Verbrauchergruppe bei der Wärmeversorgung.....	48
Abbildung 41: Energieplanung der Gemeinde Niederanven	49
Abbildung 42: Vergleich des Deckungsgrades des Stromverbrauchs von 2020 mit erneuerbaren Energien in 2025 und 2030 für die Szenarien 1 und 2.	53
Abbildung 43: Entwicklung des Stromverbrauchs und der erneuerbaren Stromproduktion im Szenario 1.....	55
Abbildung 44: Entwicklung des Stromverbrauchs und der erneuerbaren Stromproduktion im Szenario 2.....	56
Abbildung 45: Vergleich des Deckungsgrades des Wärmeverbrauchs von 2015 mit erneuerbaren Energien in 2020 und 2025 für die Szenarien 1 und 2.....	57

Abbildung 46: Entwicklung des Wärmeverbrauchs und der erneuerbaren Energieträger im Szenario 1	58
Abbildung 47: Entwicklung des Wärmeverbrauchs und der erneuerbaren Energieträger im Szenario 2	59
Abbildung 48: Vergleich des CO ₂ -Minderung gegenüber 2014 in 2014, 2020 und 2025 für die Szenarien 1 und 2 mit/ohne den Windpark.....	60

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Bilanz der Stromversorgung im Gemeindegebiet in 2015.	15
Tabelle 2: Bilanz der Stromversorgung im Gemeindegebiet in 2020.	16
Tabelle 3: Anzahl und Nennwärmeleistung der subventionierten Biomassekleinanlagen in der Gemeinde (MECDD, 2020).	17
Tabelle 4: Endenergieverbrauch aus erneuerbaren Energien für die Wärmeversorgung in 2020.....	19
Tabelle 5: Aufteilung des Endenergieverbrauchs für die Wärmeversorgung nach Verbrauchergruppe in 2020.	20
Tabelle 6: Bilanz der Wärmeversorgung der Gemeinde Niederranven in 2020.	23
Tabelle 7: CO ₂ -Bilanz der Energieversorgung auf dem Gemeindegebiet in 2020.	25
Tabelle 8: Zusammenfassung des Energiepotentials der festen brennbaren Biomassefraktionen	29
Tabelle 9: Zusammenfassung des Energiepotentials der vergärbaren Biomassefraktionen.....	30
Tabelle 10: Photovoltaikanlagenbestand in der Gemeinde Niederranven 2015.....	31
Tabelle 11: Photovoltaikanlagenbestand in der Gemeinde Niederranven 2020.....	32
Tabelle 12: Bestand an solarthermischen Anlagen in der Gemeinde Niederranven.....	34
Tabelle 13: Genutzte und verfügbare Dachflächen für die Nutzung von Solarenergie	34
Tabelle 14: Szenario 1: Theoretisches Potential.....	36
Tabelle 15: Szenario 2: Solare Warmwasserbereitung und Photovoltaik.	37
Tabelle 16: Endenergieverbrauch nach Baujahr und für die Wärmeversorgung der Haushalte in der Gemeinde Niederranven.....	41
Tabelle 17: Durchschnittlicher Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung pro Haushalt nach Baujahr und Ortschaft.....	41
Tabelle 18: Aufteilung des Wärmeverbrauchs der Haushalte nach Baujahr der Gebäude	42
Tabelle 19: Energieeinsparpotentiale in den Haushalten nach Sanierungsmaßnahme	43
Tabelle 20: Energieeinsparpotentiale nach Sanierungsmaßnahme	44

Tabelle 21: Potentielle CO₂-Einsparungen durch die Umsetzung der Energieeinsparpotentiale in den Haushalten 45

1 HINTERGRUND

Die Gemeinde Niederaanven setzt sich bereits längere Zeit aktiv für den Klimaschutz ein. Seit 2013 ist die Gemeinde Mitglied des Klimabündnisses Luxemburg. Im November 2012 unterschrieb die Gemeinde den Klimapakt.

In den vergangenen Jahren wurden in der Gemeinde bereits verschiedene Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienz und der Nutzung von erneuerbaren Energien realisiert. So wurde z.B. neue Subventionsgesetze von der Gemeinde verabschiedet um die Energieeffizienz in den Privathaushalten zu steigern. Des Weiteren wurde die SIAS gegründet, ein interkommunales Syndikat mit dem Ziel die Verschmutzung der Gewässer im Tal der Syre zu bekämpfen.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die im Leitbild festgehaltenen Zielsetzungen und Handlungsprioritäten zu konkretisieren und der Gemeinde für die nächsten Jahre ein energiepolitisches Handlungsinstrument zu liefern. Das Energiekonzept besteht aus einer detaillierten Analyse der Energieversorgung und der Potentiale für die Nutzung der erneuerbaren Energien (Biomasse, Solarenergie) und zur Steigerung der Energieeffizienz auf dem Gemeindeterritorium. Auf Basis der Potentialanalysen wurden konkrete Umsetzungsstrategien und -szenarien in den verschiedenen Bereichen erarbeitet. Der Bereich Mobilität wurde nicht in diesem Konzept behandelt.

Dabei wird in einer Analyse der IST-Situation die aktuelle Energieversorgung in der Gemeinde im Detail untersucht. Der Endenergieverbrauch auf dem Gemeindegebiet wird nach Sektor und Energieträger aufgeteilt. Die bestehenden Energieproduktionsanlagen werden erfasst und dokumentiert. Auf Basis dieser Daten werden die CO₂-Emissionen der aktuellen Energieversorgung berechnet. Um eine möglichst aussagekräftige Analyse zu erstellen sollten die Daten von mindestens 3 aufeinanderfolgenden Jahren zur Verfügung stehen (2018, 2019 und 2020). Es sollten im Idealfall keine Lücken in den Daten vorhanden sein um die historische Entwicklung der IST-Situation der letzten Jahre, lückenlos erfassen zu können.

Der Umsetzungsgrad der Maßnahmen des bestehenden Energie- und Klimaschutzkonzepts wird ebenfalls im Rahmen der Aktualisierung untersucht. Als Grundlage, dient der Endbericht des Klimaschutzkonzeptes vom Januar 2017 mit dem Bilanzierungsjahr (Referenzjahr 2015). Hiermit soll geprüft werden in wie fern die Projektskizzen zur Aktivierung der quantifizierten Potentiale in den letzten Jahren umgesetzt wurden.

2 ANALYSE DER IST-SITUATION

2.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Die Gemeinde Niederanven liegt im Südosten des Großherzogtums Luxemburg im Kanton Luxemburg.

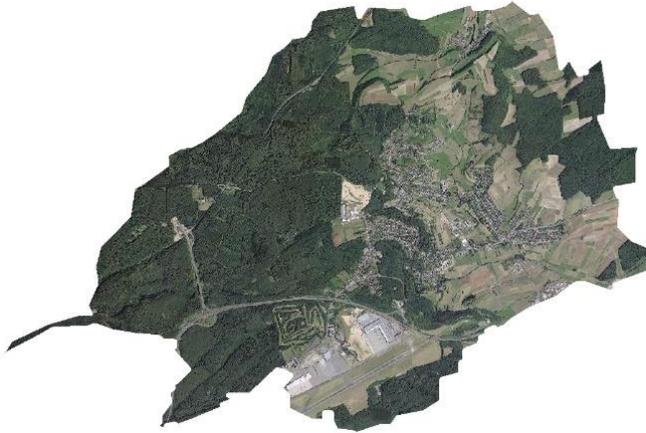


Abbildung 1: Orthofoto des Gemeindegebietes (LUXCAD).
Breedewues.

Die Gemeinde umfasst 8 Ortschaften: Oberanven, Niederanven, Ernster, Rameldange, Senningerberg, Senningen, Hostert, Waldhaff (1 Einwohner), Staffelstein (0 Einwohner). Das Gemeindegebiet erstreckt sich auf einer Fläche von 41 km² (Abbildung 1). Sie zählte im Jahr 2021 insgesamt 6.376 Einwohner. Die Einwohnerdichte lag bei 153 Einwohner/km² (A.C. Niederanven). In der Gemeinde Niederanven gibt es zwei Industriezonen, Z.I. Bombicht und Z.I.

2.2 Entwicklung der Bevölkerung in der Gemeinde Niederranven

Für die Analyse der IST-Situation der Gemeinde Niederranven bezüglich des Energieverbrauchs, ist zunächst eine Betrachtung der Evolution der Bevölkerung notwendig. Da ein Zuwachs der Einwohnerzahlen ebenfalls eine Veränderung des Energieverbrauchs, sowie eine Veränderung im Bereich des Solarpotentials durch Neubauten bewirkt, stellt die Anzahl der Einwohner eine wichtige Rahmenbedingung dar.

Die Entwicklung der Bevölkerung in der Gemeinde Niederranven ist der Abbildung 2 zu entnehmen. Die Daten zu den Einwohnerzahlen stammen von der STATEC. Seit 2013 ist ein steigender Trend der Einwohnerzahl zu verzeichnen.

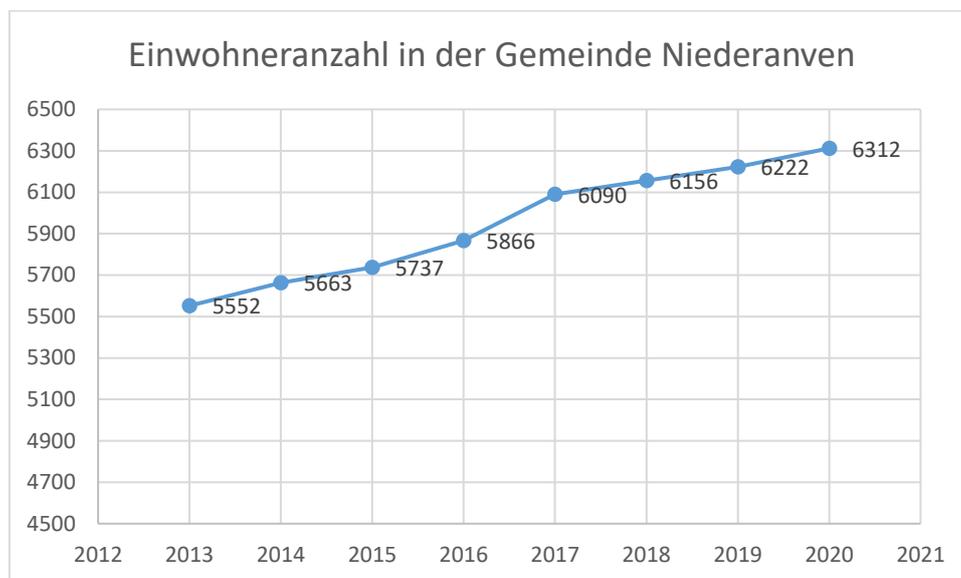


Abbildung 2: Entwicklung der Bevölkerung in der Gemeinde Niederranven (STATEC).

Verglichen mit dem Jahr 2013 kann eine Steigerung der Bevölkerungsanzahl um ca. 14 % beobachtet werden, bzw. ein Bevölkerungszuwachs von 760 Personen.

Das Verhältnis von Einwohnern zu Haushalten nimmt geringfügig zu. Im Jahr 2020 liegt das Verhältnis bei 2,7 Einwohnern pro Haushalt, während es in 2015 bei 2,5 lag.

2.3 Energiebilanz in der Gemeinde

2.3.1 Stromversorgung

2.3.1.1 Stromproduktion

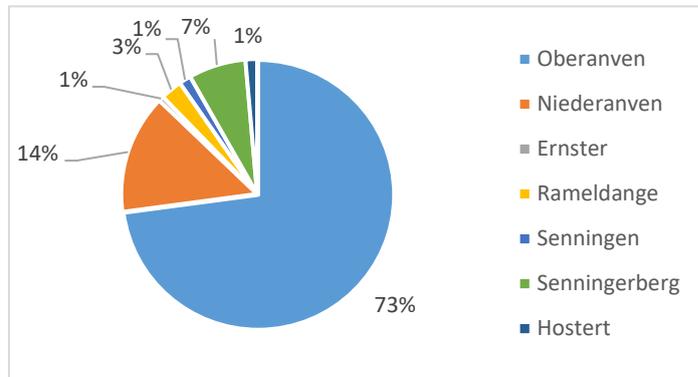


Abbildung 3: Aufteilung der Stromproduktion in 2015 (Creos, 2015).

Auf dem Gemeindegebiet wird Strom durch Photovoltaikanlagen und durch fossile/erneuerbare KWK-Anlagen produziert. Laut dem Netzbetreiber CREOS lag die Stromproduktion im Jahr 2015 auf dem Gemeindegebiet bei insgesamt 2.943 MWh. Mehr als 73% des Stroms wurde in der Ortschaft Oberanven produziert (Abbildung 3). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die KWK-Anlage sich in Oberanven befindet.

Die Stromproduktion und -verteilung

wurde bis zum Jahr 2015 von dem Netzbetreiber Creos erfasst. Daraufhin wurden ab 2016 die Daten durch Enovos geliefert. Mit den Enovos-Daten wird keine Aufteilung auf die einzelnen Ortschaften mehr geliefert, sondern nur noch die gesamte Produktion. In den Jahren 2018-2020 ist ein Rückgang in der Stromproduktion zu beobachten, was anhand der Abbildung 4 deutlich wird.

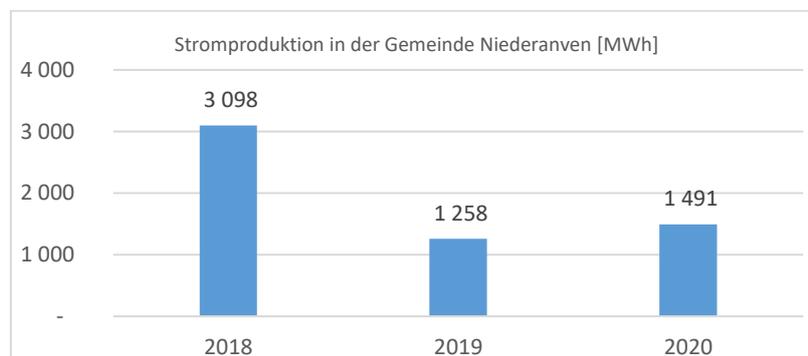


Abbildung 4: Verlauf der Stromproduktion in Niederanven im Zeitraum 2018-2020.

Dies ist auf das in Oberanven betriebene Blockheizkraftwerk zurückzuführen. Dieses wird mit dem Energieträger Erdgas betrieben. Die Stromproduktion beider Anlagen lag laut ENOVOS im Jahr 2015 bei 2.314 MWh und verlief bis 2018 relativ konstant (2.058 MWh). Laut Angaben der Gemeinde wurde das Blockheizkraftwerk „Am Sand“ im Jahr 2018 vom Netz genommen, da es nicht mehr wirtschaftlich gearbeitet hat. Die Anlage hat nämlich seit 2019 keine Einspeisevergütung mehr erhalten, da diese nur für einen bestimmten Zeitraum (idR. 15 Jahre) gegeben wird. Seitdem agiert das BHKW nur noch als Heizanlage zwecks Wärmeversorgung. Die Stromproduktion über KWK liegt im Jahr 2020 nur noch bei 56 MWh und wird über eine weitere Anlage mit geringerer Leistung geliefert. Über diese Anlage sind jedoch, außer den jährlichen Produktionswerten, keine Angaben bekannt. In der Bilanzierung wird daher angenommen, dass diese Anlage mit einem konventionellen, fossilen Brennstoff betrieben wird.

Neben der KWK-Anlage werden in der Gemeinde Niederranven viele Photovoltaikanlagen betrieben. Die bestehenden Photovoltaikanlagen wurde mit Hilfe der Statistik vom *Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable (MECDD)* über die kumulierten subventionierten Anlagen bis 2020 ermittelt. In der Gemeinde gibt es laut MECDD insgesamt 91 Photovoltaikanlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 887 kW_p (Abbildung 5). Die Anlagen produzieren schätzungsweise 763 MWh/a Strom bei 950 kWh/kW_p (siehe Kapitel 4.2.2). Die ermittelte Stromproduktion weicht jedoch deutlich, um 65%, von den ENOVOS Daten ab. Die ENOVOS-Daten ergeben somit eine höhere Produktion. Die Daten aus der MECDD-Statistik berücksichtigen allerdings nur die subventionierten und auch privaten Anlagen und somit ist dieses Inventar nicht zwangsläufig vollständig. Da jedoch auch Anlagen ohne Subventionen von Privatpersonen und Anlagen auf öffentlichen Gebäuden installiert werden, müssen verlässlichere Daten für die Bilanzierung herangezogen werden. Die Photovoltaikproduktion lag, gemäß den ENOVOS-Daten, bei 1.260 MWh/a. Die in Kapitel 4.2.2 durchgeführte Bestandsaufnahme ergab eine solare Stromerzeugung von 1.910 MWh, welche als Wert für die Bilanzierung aufgenommen wird. Im Vergleich zur Ausgangslage ist ein stetiger Zuwachs der Stromproduktion über Photovoltaikanlagen zu verzeichnen (siehe Abbildung 6).



Abbildung 5: Photovoltaikanlage in Niederranven.

Weiterhin befindet sich in der Gemeinde ein kleines Wasserkraftwerk, das seit Jahren Strom produziert. Im Jahr 2015 lag die Produktion bei 61 MWh. In den folgenden Jahren ist ein positiver Trend zu beobachten; 2018 lag die Produktion bei 136 MWh, 2019 bei 116 MWh und 2020 sogar bei 175 MWh (siehe Abbildung 6). Das kleine Wasserkraftwerk befindet sich in Senningerberg, wo eine damalige Mühle durch eine Turbine ersetzt wurde, die nun Strom produziert.

Zusammenfassend wird die Verteilung der Stromproduktion auf die unterschiedlichen Erzeuger für Jahre 2020, 2019, 2018 und das Referenzjahr 2015 in Abbildung 6 dargestellt (ENOVOS, eigene Daten).

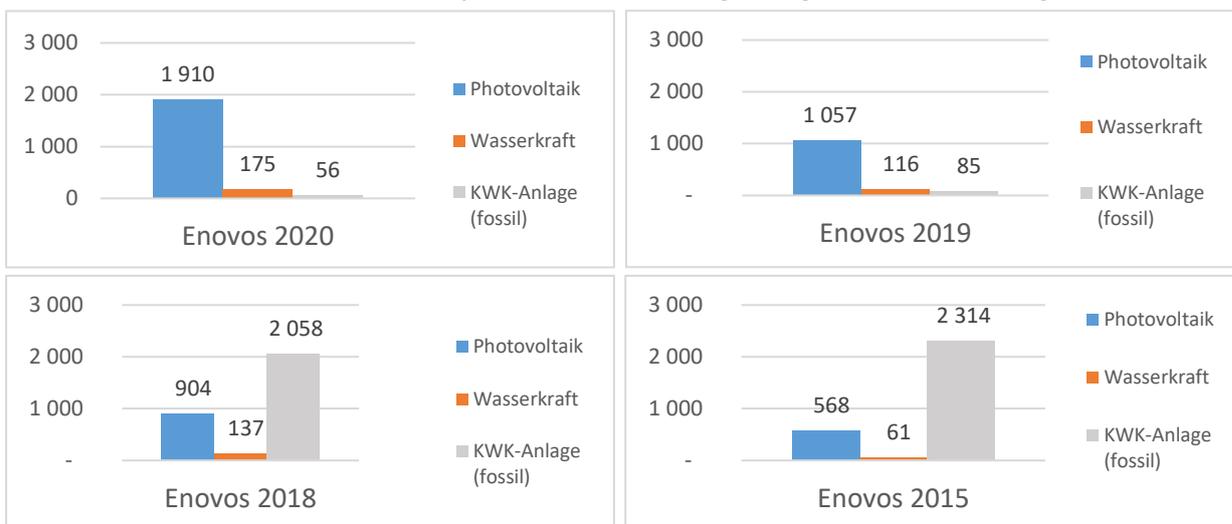


Abbildung 6: Stromproduktion in MWh nach Erzeugerart in der Gemeinde Niederranven für die Jahre 2020 (o.l.), 2019 (o.r.), 2018 (u.l.) und 2015 (u.r.).

2.3.1.2 Stromverbrauch

Für die Analyse des Stromverbrauchs wurden Daten bei dem Stromnetzbetreiber *CREOS* und dem Stromlieferanten *ENOVOS* beantragt und ausgewertet. Diese Daten wurden durch Verbrauchsdaten von den kommunalen Infrastrukturen ergänzt. Die Gemeinde Niederanven grenzt an die Ortschaft Munsbach (Gemeinde Schuttrange). Hier befindet sich die Industriezone Syrdall. Einige Betriebe dieser Industriezone gehören zur Gemeinde Niederanven. Da es jedoch nicht möglich war den Verbrauch dieser Betriebe zu ermitteln und das Gebiet in Munsbach bereits in der Bilanz der Gemeinde Schuttrange berücksichtigt wird, wurde der Stromverbrauch der Industriezone Syrdall in dieser Bilanz nicht berücksichtigt.

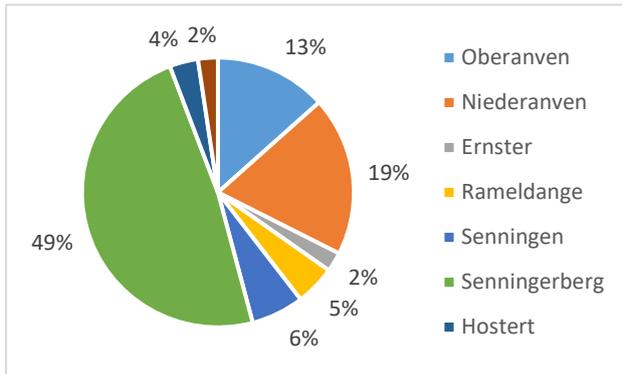


Abbildung 7: Verteilung des Stromverbrauchs nach Ortschaft in 2015 (Creos, 2015).

In der Gemeinde Niederanven lag der Stromverbrauch im Jahr 2015 bei 40.569 MWh. Bezieht man den gesamten Stromverbrauch auf die Anzahl der Einwohner (5.866), erhält man einen spezifischen Stromverbrauch von 6.916 kWh/EW.a. Der Großteil des Stroms wurde in Senningerberg verbraucht (Abbildung 7). Diese Ortschaft kennzeichnet sich nicht nur die höchste Einwohnerzahl, sondern auch viele Gewerbe- und Industriebetriebe. Im Jahr 2015 wurden in Senningerberg fast 15.000 MWh Strom für die Strombereitstellung der Betriebe

benötigt. Seitdem die Daten vom Stromlieferanten *ENOVOS* stammen, ist eine innerörtliche Aufteilung auf die einzelnen Ortschaften nicht mehr möglich. Daher wird für die Aufteilung des Stromverbrauchs auf die Ortschaften die Grafik von 2015 (Abbildung 7) zurückbehalten.

Im Jahr 2020 beträgt der Stromverbrauch in der Gemeinde Niederanven 47.083 MWh. Damit hat sich der gesamte Stromverbrauch im Vergleich zu 2015 um **16%** erhöht. Über die letzten drei Jahre ist der Stromverbrauch jedoch relativ konstant geblieben, was auf der Abbildung 8 zu beobachten ist. Im Vergleich zum Vorjahr 2019 ist sogar eine geringe Absenkung von 852 kWh zu verzeichnen.

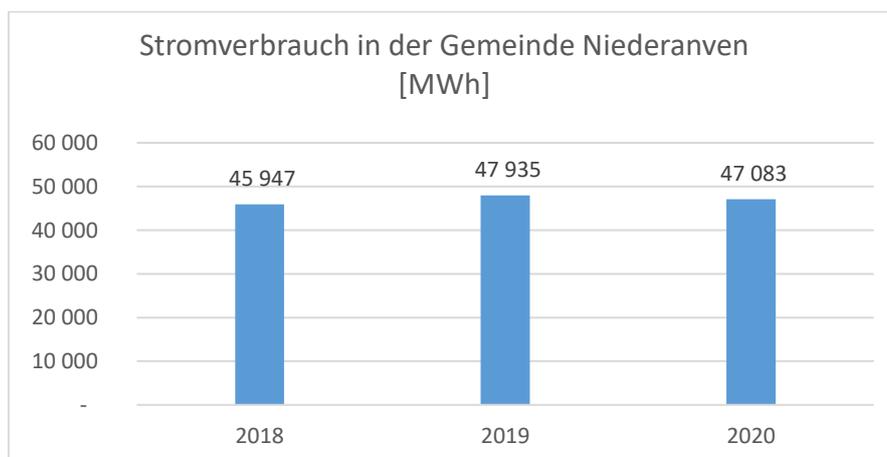


Abbildung 8: Verlauf des Stromverbrauchs in der Gemeinde Niederanven (Enovos, 2020).

Der Stromverbrauch in der Gemeinde wird stark von den Industriebetrieben beeinflusst. 68% des Stromverbrauchs entfallen auf die Gewerbe- und Industriebetriebe (Abbildung 9). Der Einfluss der Betriebe hat sich gegenüber 2015 vergrößert, da damals 63% des verbrauchten Stromes auf die Betriebe angefallen waren. Der Stromverbrauch der Haushalte macht 27% aus. Der durchschnittliche Stromverbrauch pro Haushalt lag in der Gemeinde bei 5.287 kWh/a und somit deutlich über dem

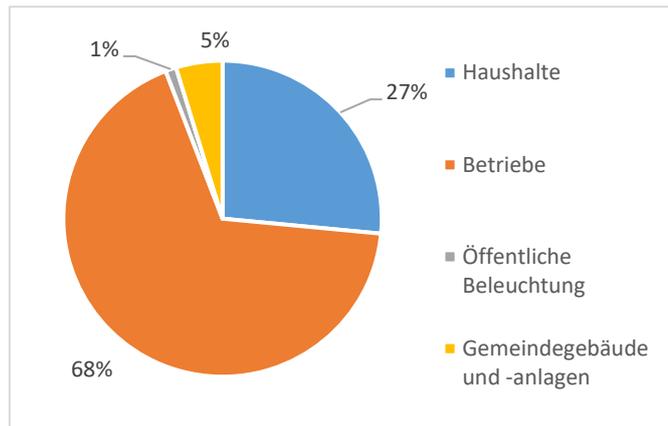


Abbildung 9: Aufteilung des Stromverbrauchs nach Verbrauchergruppe in 2020 (Creos, 2020).

nationalen jährlichen durchschnittlichen Verbrauch von 4.114 kWh/Haushalt. Gegenüber der Ausgangslage 2015 haben die Haushalte jedoch anteilig an Relevanz verloren, da die Betriebe vergleichsweise mehr Strom verbraucht haben. In 2015 wurden 29% des Stromes in den Haushalten verbraucht. Pro Haushalt ist der Stromverbrauch leicht angestiegen. Mit 5.127 kWh/Haushalt (2015) lag der spezifische Verbrauch 160 kWh/Haushalt unter dem Wert von 2020. Der Verbrauch der kommunalen Infrastrukturen (5%) und die Straßenbeleuchtung (1%) spielen eine untergeordnete Rolle und haben sich über die Jahre ebenfalls konstant verhalten. Dieser Verbrauch ist gegenüber 2015 konstant geblieben. Der Stromverbrauch der Gemeindegebäude hat sich von 2.457 MWh (2015) auf 2.222 MWh (2020) reduziert, obwohl die Fläche der kommunalen Gebäude mit Stromanschluss von 37.671 m² (2015) auf 42.913 m² angestiegen ist. Der spezifische Stromverbrauch ist somit sogar um 21% gegenüber 2015 gesunken.

Der Vergleich in absoluten Zahlen zwischen der aktuellen Situation und den Referenzwerten wird in der Abbildung 10 dargestellt.

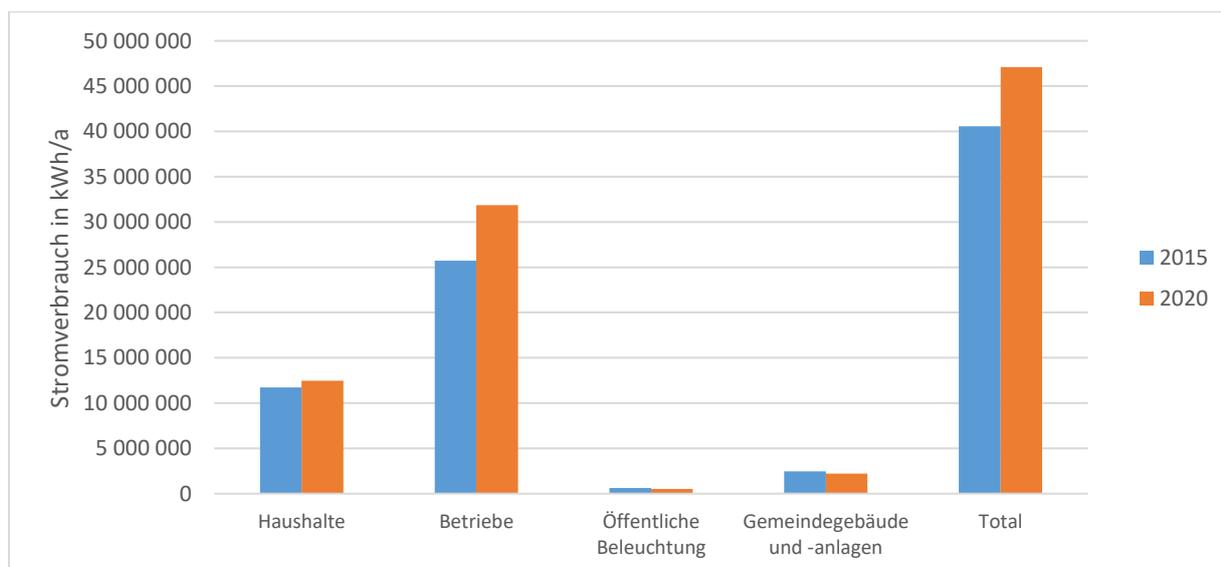


Abbildung 10: Aufteilung des Stromverbrauchs nach Verbrauchergruppen im Jahr 2015 und im Jahr 2020 (Creos 2015 und 2020).

Die Dominanz der Industriebetriebe und anderer Großabnehmer wird nochmals in der Abbildung 10 deutlich. Sie verfügen in der Regel über einen Hoch-/Mittelspannungsanschluss, was den hohen Stromverbrauch in diesem Bereich erklärt. In der Gemeinde wurden in den Betrieben und bei anderen Großabnehmern (Mittel-/Hochspannung) 29,7 GWh Strom verbraucht (ENOVOS, 2020). Dies entspricht dem jährlichen Stromverbrauch von 5.622 Haushalten, dem doppelten Wert der aktuellen Anzahl an Haushalten (Stand 2020). Werden die Betriebe, die auf Niederspannungsebene angeschlossen sind, mitberücksichtigt, so werden insgesamt 31.861 MWh (31,9 GWh) in den Betrieben der Gemeinde Niederaanven verbraucht. In 2015 belief sich dieser Wert auf 25.742 MWh. Somit hat der Stromverbrauch in den Betrieben um 23,8% zugenommen.

Im Rahmen des Klimapaktes ist der Verbrauch von klimafreundlichem Strom ein wichtiger Indikator für die Bewertung der Gemeinde. Die Ermittlung des Ökostromverbrauchs auf dem Gemeindegebiet erfolgt anhand einer Auswertung der ENOVOS-Daten.

Die Aufteilung des Stromverbrauchs aus der Gemeinde Niederaanven ist in der Abbildung 11 dargestellt. Der größte Anteil des verbrauchten Stromes stammt mit 53,28% aus dem *Naturstrom*-Tarif des Hauptstromlieferanten in Luxemburg, wobei es sich um Ökostrom handelt. 18,81% des verbrauchten Stromes wurde aus Wasserkraftwerken gewonnen, welches ebenfalls eine erneuerbare Energiequelle darstellt. Mit 10,8% und 8,14% stellen der *Nova Naturstrom* und der Strom aus Windenergie die restlichen Anteile an verbrauchtem grünem Strom dar. Der *Nova Naturstrom* stellt den einzigen Stromtarif der ENOVOS dar, welcher laut Klimapakt als „grüner Strom“ angerechnet werden kann. Mit 0,01% nimmt der Photovoltaikstrom eine vernachlässigbare Rolle ein.

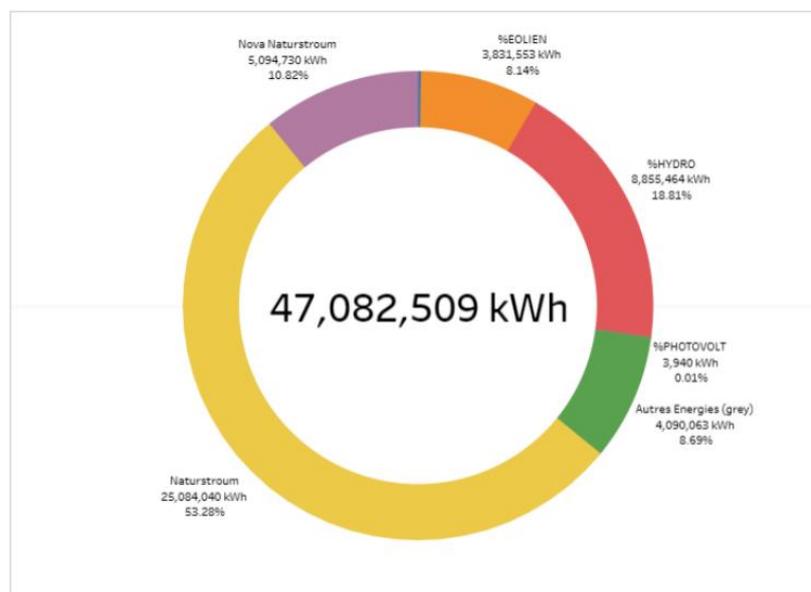


Abbildung 11: Aufteilung des Stromverbrauchs nach Stromquelle und Stromtarif 2020 (ENOVOS, 2020).

Damit werden 91,31% des verbrauchten Stromes in der Gemeinde Niederaanven über regenerative Erzeuger bereitgestellt. Die restlichen 8,69% stammen aus „grauen“ Energiequellen und werden in den Industriebetrieben der Gemeinde verbraucht.

2.3.1.3 Energiebilanz der Stromversorgung

In 2015 wurden in der Gemeinde 1,5% des gesamten Stromverbrauchs durch lokal erzeugte regenerative Energien gedeckt (Abbildung 12).

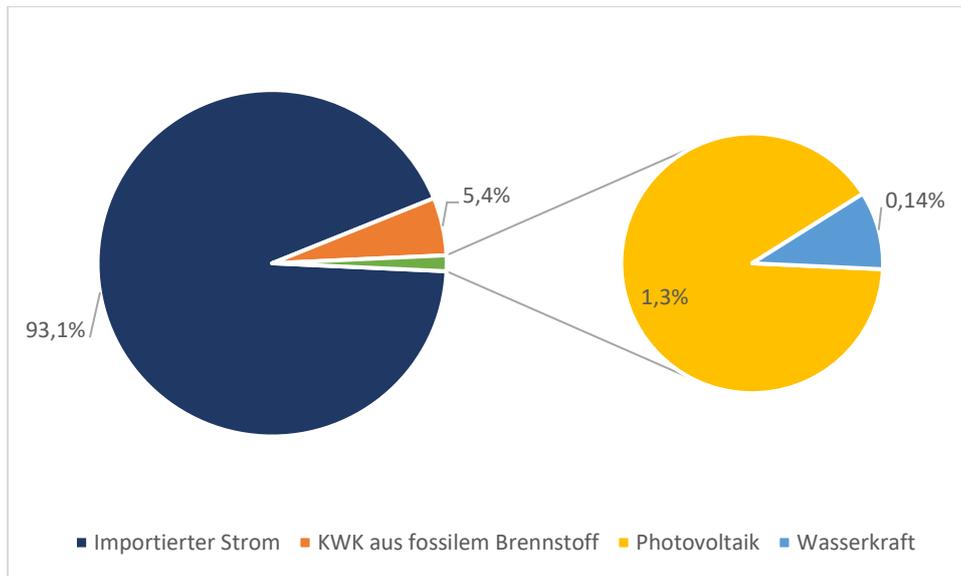


Abbildung 12: Deckungsgrad mit erneuerbaren Energien der Stromversorgung im Gemeindegebiet in 2015.

In der Tabelle 1 ist die Bilanz der Stromversorgung für das gesamte Gemeindegebiet im Jahr 2015 dargestellt.

Tabelle 1: Bilanz der Stromversorgung im Gemeindegebiet in 2015.

	kWh/a	%
LOKALE STROMPRODUKTION		
Photovoltaik	567 631	19,3%
Wasserkraft	61 066	2,1%
Windkraft	-	0,0%
Biogasanlage	-	0,0%
KWK aus fossilem Brennstoff	2 313 891	78,6%
Gesamt	2 942 588	100,0%
STROMVERBRAUCH		
	40 569 274	
BILANZ		
	37 626 686	
DECKUNGSGRAD ERNEUERBAR		1,5%
DECKUNGSGRAD LOKAL		7,3%

Im Jahr 2020 ist der Strom aus KWK im Vergleich zu 2015 deutlich zurückgegangen, da die Anlage „Am Sand“ seit der fehlenden Einspeisevergütung seit 2018/2019 keinen Strom mehr produziert. Somit nimmt der lokale Deckungsgrad von 7,3% auf 4,5% ab.

In 2020 ist der erneuerbare Deckungsgrad auf 4,4% (siehe Tabelle 2) angestiegen. Die Aufteilung der Stromproduktion des Jahres 2020 ist der Abbildung 13 zu entnehmen.

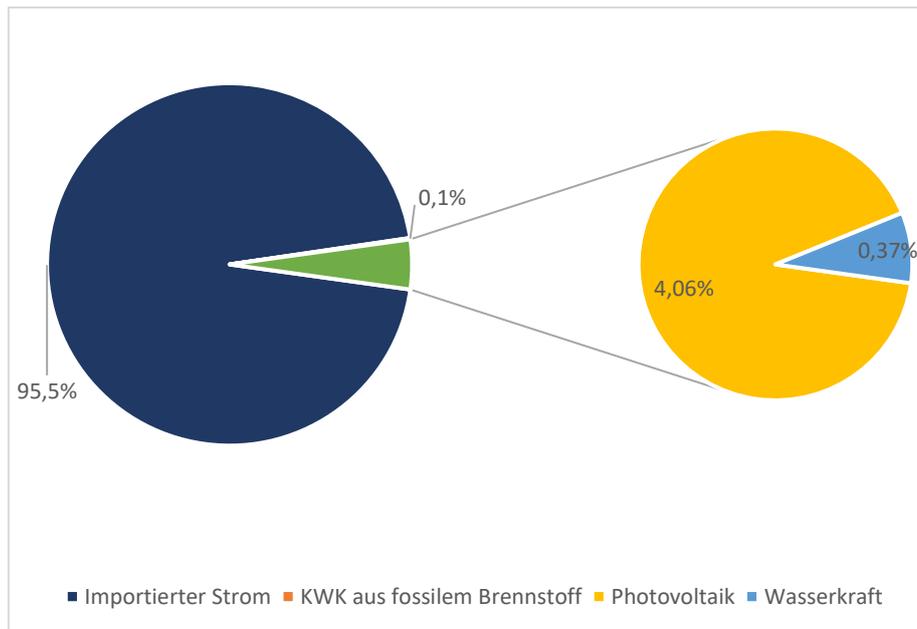


Abbildung 13: Verteilung der Stromproduktion nach Energiequelle in der Gemeinde Niederranven in 2020.

Bei einem Vergleich der Abbildung 13 (2020) mit der Abbildung 12 (2015) ist der starke Rückgang der Produktion des Blockheizkraftwerks ebenfalls auffällig. Während im Jahr 2015 noch 5,4% des verbrauchten Stromes durch die KWK-Anlage gedeckt werden konnten, kann die Produktion aus KWK in 2020 nur noch 0,1% des Stromverbrauchs bereitstellen. Im Jahr 2020 besteht der größte Anteil an erneuerbarem Strom aus Photovoltaik (4,1% des gesamten Verbrauchs). In absoluten Zahlen hat sich die solare Stromproduktion im Jahr 2020 gegenüber 2015 mehr als verdreifacht (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2). Anteilig macht die Photovoltaik 89% des lokal produzierten Stromes aus. Dieser deutliche Anstieg lässt sich ebenfalls in den Abbildungen 12 und 13 erkennen.

Tabelle 2: Bilanz der Stromversorgung im Gemeindegebiet in 2020.

	kWh/a	%
LOKALE STROMPRODUKTION		
Photovoltaik	1 910 348	89,2%
Wasserkraft	175 407	8,2%
Windkraft	-	0,0%
Biogasanlage	-	0,0%
KWK aus fossilem Brennstoff	56 142	2,6%
Gesamt	2 141 897	100,0%
STROMVERBRAUCH		
	47 082 508	
BILANZ		
	44 940 611	
DECKUNGSGRAD ERNEUERBAR		4,4%
DECKUNGSGRAD LOKAL		4,5%

2.3.2 Wärmeversorgung

2.3.2.1 Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung aus erneuerbaren Energieträgern

In der Gemeinde Niederanven werden regenerative Energieträger für die Wärmeversorgung genutzt. Es werden unterschiedliche erneuerbare Energiequellen eingesetzt. Im Bereich Biomasse kommen Biomassekleinanlagen in den Wohngebäuden zum Einsatz, welche Scheitholz und Holzpellets als Brennstoff beziehen. Die Anzahl und die Nennwärmeleistung der subventionierten Biomassekleinanlagen bei den Privatpersonen sind in der Tabelle 3 aufgeführt. Die Berechnung der Wärmeproduktion der Biomasseanlagen erfolgte über die Nennwärmeleistung und über angenommene Jahresvolllaststunden.

Tabelle 3: Anzahl und Nennwärmeleistung der subventionierten Biomassekleinanlagen in der Gemeinde (MECDD, 2020).

	Anzahl	Nennwärmeleistung kW
Scheitholzvergaser/-kessel	7	214,0
Pelletkessel/-ofen	19	367,1
Hackschnitzelkessel	-	-
Gesamt	26	581,1

In der Abbildung 14 ist die Entwicklung der Nennwärmeleistung über die letzten 10 Jahre der staatlich geförderten Anlagen in der Gemeinde dargestellt. Seit dem Jahr 2014 fällt auf, dass die Anzahl an subventionierter Biomassekleinanlagen nahezu konstant verbleibt. Einzig im Jahr 2017 wurden zwei neue Anlagen vom Ministerium staatlich unterstützt. In Jahren 2011-2013 war hingegen ein starker Zuwachs zu verzeichnen.

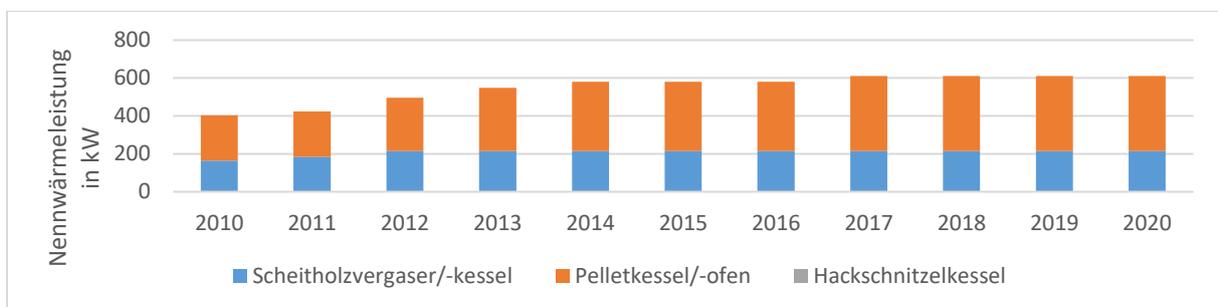


Abbildung 14: Entwicklung der Nennwärmeleistung der geförderten Biomassekleinanlagen bei den Privatpersonen in der Gemeinde (MECDD, 2020).



Abbildung 15: Holz hackschnitzel.

Die Daten der subventionierten Scheitholzvergaser/-kessel wurden durch die Brennholzmenge aus dem kommunalen Forst, die an die Einwohner verkauft wurde, ergänzt. Es wurden laut den Angaben des zuständigen Revierförsters rund 600 Raummeter (Ster) Brennholz an die Einwohner verkauft (2015). Im Jahr 2020 hat die verkaufte Brennholzmenge verglichen mit 2015 deutlich abgenommen. Diese betrug, laut Angaben des Revierförsters, nur noch 333 Raummeter. Es wird angenommen, dass das Brennholz in den Scheitholzvergäsern verwertet wurde.

In der *Hall Kneip* in Oberanven befindet sich außerdem ein Heizkraftwerk, welches mit Holzhackschnitzeln betrieben wird (Abbildung 15). Diese stellte in 2015 1.568.331 kWh Wärme aus Holzhackschnitzeln bereit und heizt einige kommunale Gebäude über ein Nahwärmenetz. Im Jahr 2020 lag die Produktion mit 973.167 kWh etwas niedriger.

Auf die verschiedenen Biomasseströme wird in *Kapitel 4.1* näher eingegangen.

Weiterhin stellt das kommunale Blockheizkraftwerk „Am Sand“ einen wesentlichen Bestandteil der Wärmeproduktion dar. Dieses nutzt Erdgas als Brennstoff und dient neben der Wärme- auch der Stromproduktion (siehe Kapitel 2.3.1.3). Seit 2019 wird das BHKW „Am Sand“ jedoch nur als Heizzentrale genutzt. Über das Heizkraftwerk werden mehrere Gebäude über ein Nahwärmenetz mit Wärme versorgt. Das Heizkraftwerk stellte im Jahr 2020 insgesamt 3.933 MWh an Wärme bereit. Der Verlauf der Wärmeproduktion über die letzten 5 Jahre wird in der Abbildung 16 dargestellt. Die Daten stammen aus dem *Enercoach*-Berichten der Gemeinde Niederanven.

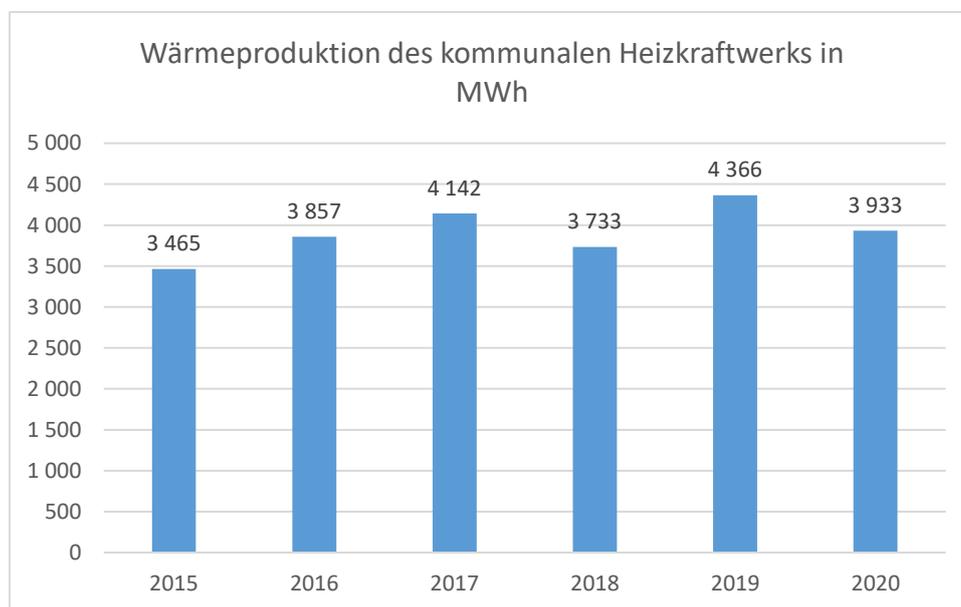


Abbildung 16: Verlauf der Wärmeproduktion über kommunales Holzhackschnitzel-Heizkraftwerk.

Im Vergleich zum Vorjahr 2019 (4.366 MWh) hat die Wärmeproduktion etwas abgenommen. Die Wärmeproduktion der Anlage ist jährlichen Schwankungen ausgesetzt und folgt keinem spezifischen Trend. Im Vergleich zum Jahr 2015 (3.465 MWh) hat die Produktion nahezu konstant geblieben. Der Brennstoff Erdgas stellt somit einen wesentlichen Beitrag der kommunalen Wärmeversorgung dar.

Neben der Bioenergie spielt die Solarenergie bei den erneuerbaren Energiequellen eine wichtige Rolle. Die solarthermischen Anlagen können über die subventionierten Anlagen des *MECDD* abgeschätzt werden. Insgesamt haben 202 Anlagen die staatliche Förderung erhalten. Anhand der *MECDD*-Statistik wurden schätzungsweise 614.584 kWh/a Wärme produziert (*siehe Kapitel 4.2.2*). Aus der in *Kapitel 4.2.2* durchgeführten Analyse des Solarpotentials wird allerdings eine höhere Wärmeproduktion über Solarthermie berechnet. Dabei wurden die solarthermischen Anlagen auf den Dächern der Gemeinde erfasst. Hierbei geht hervor, dass insgesamt 1.228.460 kWh an Wärmeenergie über Solarkollektoren produziert wurden. Diese Angabe wird für die weitere Analyse verwendet, da über die *MECDD*-Statistik nur geförderte, private Anlagen berücksichtigt werden und diese daher nicht vollständig ist.

In den Wohngebäuden werden zudem Wärmepumpen als Wärmerzeuger genutzt. In den vergangenen Jahren wurden 24 Außenluft-Wärmepumpen sowie 21 Erdwärmepumpen gefördert (MECDD, 2020). Zudem ist anhand der Abbildung 17 ein steigender Trend bei den subventionierten Wärmepumpen über die letzten Jahre zu beobachten. Die gesamte Leistung der geförderten Wärmepumpen ist nicht bekannt. Die Wärmeproduktion wurde über Kennwerte hergeleitet.

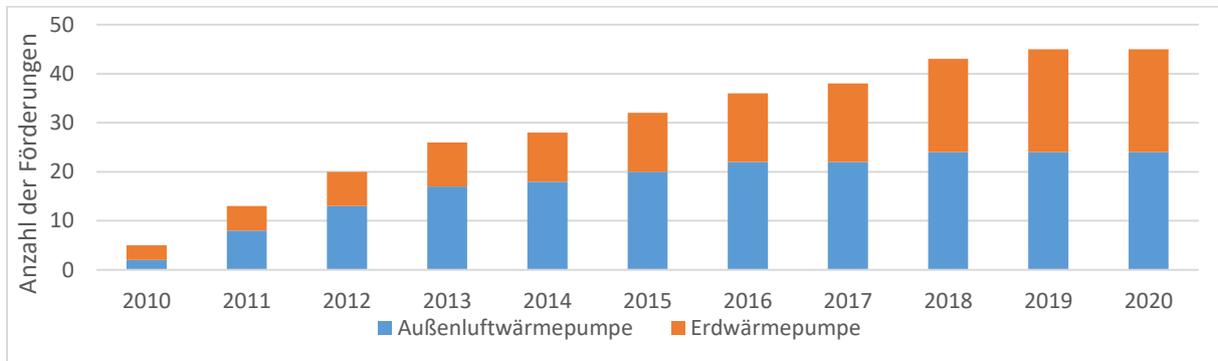


Abbildung 17: Anzahl an geförderten Außenluft-Wärmepumpen und Erdwärmepumpen [MECDD, 2020]

Der gesamte Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung aus erneuerbaren Energiequellen belief sich in 2020 auf schätzungsweise 3.933 MWh/a. In der Tabelle 4 ist der Energieverbrauch aus erneuerbaren Energien für die Wärmeversorgung nach Energieträger aufgeführt.

Tabelle 4: Endenergieverbrauch aus erneuerbaren Energien für die Wärmeversorgung in 2020.

	kWh/a	%
ENERGIEVERBRAUCH ERNEUERBAR	kWh/a	%
Fern-/Nahwärme aus Heizwerk mit erneuerbarem Brennstoff	973 167	25%
Holzpellets	550 650	14%
Brennholz	852 135	22%
Solarthermie	1 228 460	31%
Luftwärme	171 429	4%
Erdwärme	157 500	4%
Gesamt	3 933 341	100%

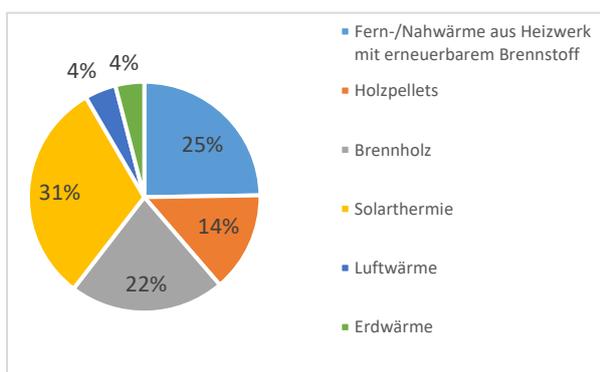


Abbildung 18: Aufteilung der erneuerbaren Energieträger für die Wärmeversorgung in 2020.

Aus einer Betrachtung der Aufteilung von den verschiedenen erneuerbaren Energieträgern, lässt sich schließen, dass Solarthermie mit 31% den größten Anteil an erneuerbarer Wärme darstellt. An zweiter Stelle kommt die Wärmeversorgung über die kommunale Heizzentrale, welche mit einem erneuerbaren Brennstoff versorgt wird. Die Verbrennung von Brennholz in den Biomassekleinanlagen befindet sich mit 22% an dritter Stelle, gefolgt von Holzpellets.

2.3.2.2 Gesamter Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung

Der Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung in der Gemeinde wurde aus verschiedenen Datenquellen ermittelt. Der Endenergieverbrauch der Haushalte wurde abschätzt (*siehe Kapitel 5.1.1.2*). Über eine visuelle Begutachtung, wurden die Gebäude in Alterskategorien eingeteilt und der Verbrauch wurde über den spezifischen Verbrauch basierend auf Erfahrungswerten abgeschätzt. Neben den Daten aus den Berechnungen für den Endenergieverbrauch der Haushalte wurde der Erdgasverbrauch von 2020 auf dem Gemeindegebiet in die Bilanzierung mit aufgenommen. Die Verbrauchsdaten stammen von dem Hauptenergielieferanten *ENOVOS*. Auch die Verbrauchsdaten der kommunalen Gebäude wurden in die Bilanz integriert. Diese stammen aus der Energiebuchhaltungssoftware der Gemeinde (*Enercoach*). Für die Ermittlung des Wärmeverbrauchs in den Betrieben konnte nur der Gasverbrauch laut Energieversorger *ENOVOS* bezogen werden.

In der Gemeinde Niederranven lag der gesamte Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung bei schätzungsweise 126.883 MWh/a für das Jahr 2020. Bezieht man diesen Wert auf die Anzahl der Einwohner erreicht man einen spezifischen Verbrauch von 20.102 kWh/EW.a. In der Tabelle 5 ist der Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung nach Verbrauchergruppe aufgeführt.

Tabelle 5: Aufteilung des Endenergieverbrauchs für die Wärmeversorgung nach Verbrauchergruppe in 2020.

	kWh/a
Haushalte	97 567 016
Betriebe/Sonstige	23 266 590
Gemeindegebäude- und anlagen	6 049 773
Gesamt	126 883 379

Im Vergleich zum Vorjahr 2019 hat der Gasverbrauch in der Gemeinde Niederranven um 11% abgenommen (*ENOVOS*). Im Jahr 2015 wurde allerdings ein ungewöhnlich hoher Wert im Erdgasverbrauch der Großkunden festgestellt. Dieser lag mit 49.120 MWh an Gasverbrauch für Großkunden viel höher als die 20.175 MWh aus dem Vorjahr 2014. Der hohe Gasverbrauch von 2015 sticht auch im gesamten Gasverbrauch der Gemeinde heraus, welches in Abbildung 19 dargestellt ist. Für die Jahre 2016 und 2017 liegen keine Daten vor.

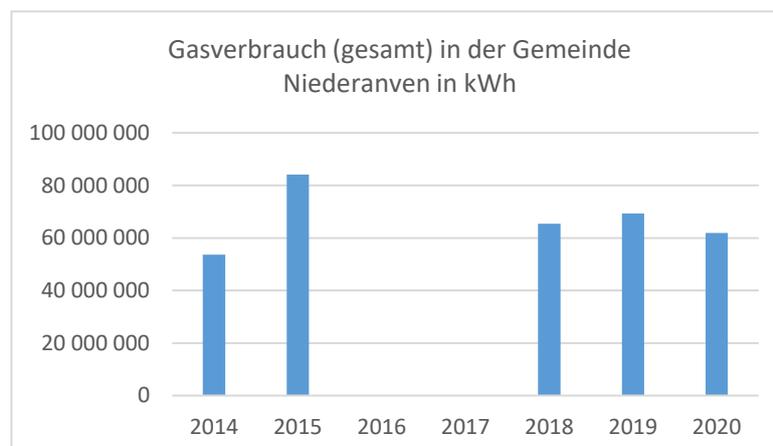


Abbildung 19: Gesamter Gasverbrauch in der Gemeinde Niederranven (*ENOVOS/CREOS*).

Im Jahr 2015 lag demnach der gesamte Wärmeverbrauch in der Gemeinde Niederranven bei 148.234 MWh. Damit hat der Wärmeverbrauch im Vergleich zu 2015 um 15,4% abgenommen (*siehe Abb. 22*).

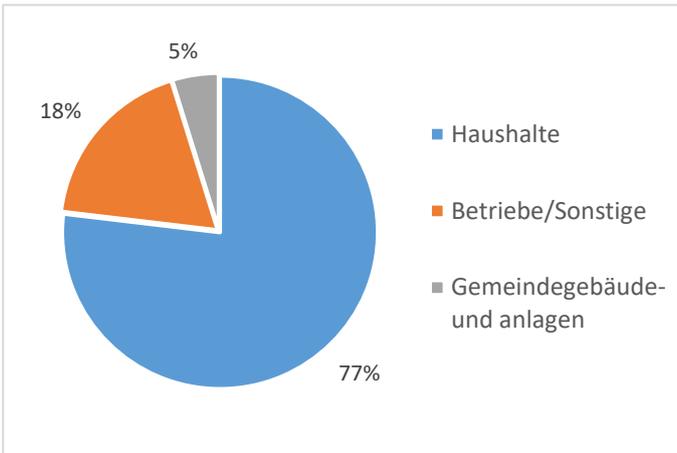


Abbildung 20: Aufteilung des Wärmeverbrauchs in der Gemeinde Niederanven nach Verbrauchergruppen (2020).

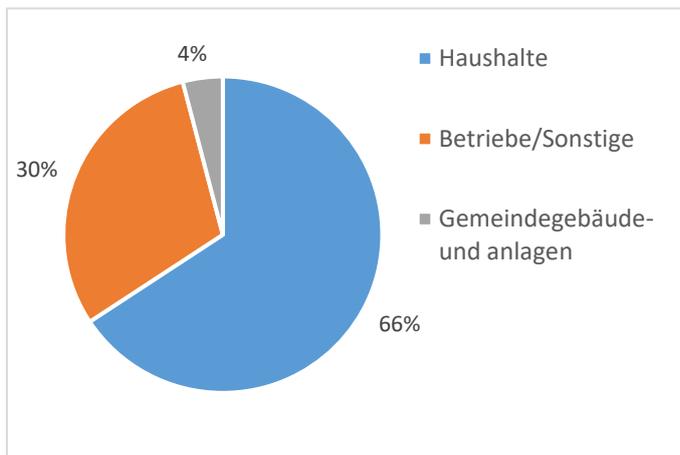


Abbildung 21: Aufteilung des Wärmeverbrauchs in der Gemeinde Niederanven nach Verbrauchergruppen (2015).

Eine anteilige Aufteilung auf die verschiedenen Verbrauchergruppen liefern die Abbildungen 20 und 21. Im Jahr 2020 wurden 77 % der Endenergie für die Wärmeversorgung in den Haushalten verbraucht. Daraus lässt sich, unter ausschließlicher Berücksichtigung der in den Haushalten verbrauchten Wärme, ein durchschnittlicher Wärmeverbrauch pro Haushalt von schätzungsweise 41.324 kWh/a (siehe Kapitel 5.1.1.2) herleiten.

Im Vergleich zum Referenzjahr 2015 wurde in den Haushalten im Jahr 2020 anteilig um 11% mehr Wärme benötigt. Wird allerdings der spezifische Verbrauch pro Haushalt betrachtet, lässt sich feststellen, dass dieser gegenüber 2015 abgenommen hat. In 2015 lag der spezifische Wärmeverbrauch pro Haushalt noch bei 42.582 kWh/Haushalt, daher hat dieser um 1.258 kWh abgenommen. Dies ist vor allem auf die höhere Energieeffizienz der Neubauten zurückzuführen. Der Einfluss der Betriebe auf die Wärmebilanz ist mit 18%, im Gegensatz zur Stromversorgung, in 2020 nicht so dominant. In 2015 machten

die Betriebe jedoch 30% des Wärmeverbrauchs aus. Damit hat der Wärmeverbrauch der Betriebe anteilig gegenüber 2015 um 12% abgenommen. Die Gemeindegebäude belasten die Bilanz der Wärmeversorgung nur mit 5%, resp. 4% (2015) und spielen daher in der Gesamtbilanz eine untergeordnete Rolle. Der Wärmeverbrauch der Gemeindegebäude ist von 6.046 MWh (neue *Enercoach*-Werte) auf 6.050 MWh angestiegen. Eine detaillierte Betrachtung lässt jedoch erkennen, dass aufgrund der Zunahme der beheizten Fläche gegenüber 2015 spezifisch Wärme eingespart wurde. Die beheizte Fläche beträgt im Jahr 2020 42.913 m² und hat sich somit gegenüber 2015 (37.671 m²) um 14% erhöht (*Enercoach*). Der spezifische Verbrauch hat somit gegenüber 2015 um 12% abgenommen.

Abbildung 22 zeigt den Vergleich des Wärmeverbrauchs je Sektor für das Jahr 2020 und das Referenzjahr 2015 in absoluten Zahlen.

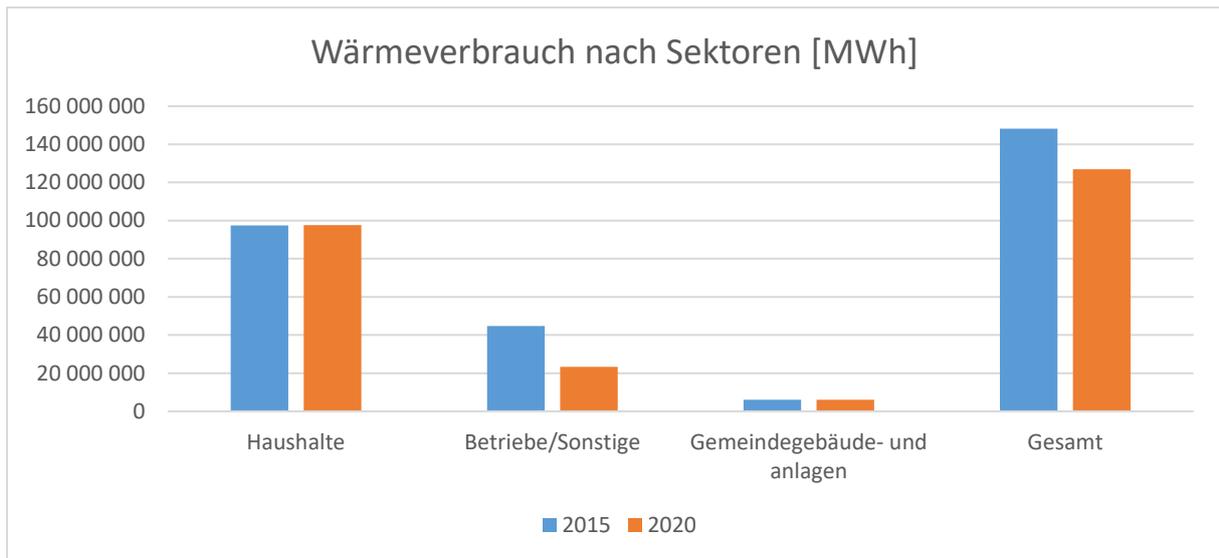


Abbildung 22: Vergleich des Wärmeverbrauchs nach Sektor für die Jahre 2015 und 2020.

2.3.2.3 Bilanz der Wärmeversorgung

Im Jahr 2020 beträgt der erneuerbare Deckungsgrad 3,1%. Die Wärmeversorgung in der Gemeinde basiert zu 49,5 % auf dem Energieträger Erdgas und zu 44,2 % auf dem Energieträger Heizöl. Unter Berücksichtigung der Nahwärme aus Heizzentralen mit fossilen Brennstoffen und des verbrauchten Flüssiggases basieren 96,9 % der Wärmeversorgung auf fossilen Energieträgern.

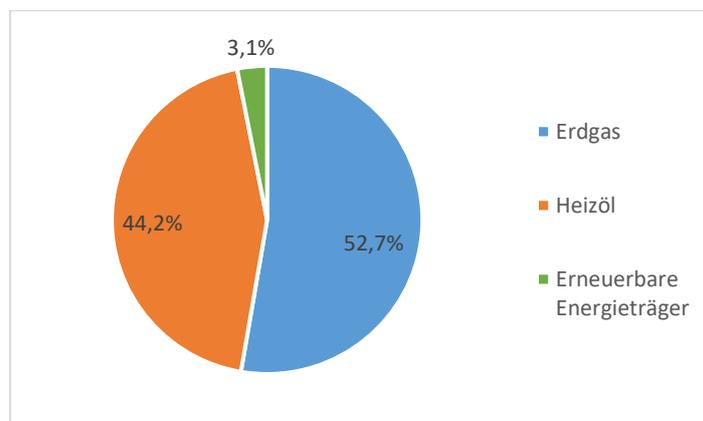


Abbildung 23: Verteilung des Energieverbrauchs für die Wärmeversorgung auf dem Gemeindegebiet nach Energieträger in 2020.

In der Tabelle 6 ist die Energiebilanz der Wärmeversorgung für die Gemeinde dargestellt. Dabei wurde bei der Wärmebereitstellung über Wärmepumpen nur die aus der Umgebung (Luft/Erdreich) stammende Energie angerechnet.

Tabelle 6: Bilanz der Wärmeversorgung der Gemeinde Niederranven in 2020.

	kWh/a	%
ENERGIEVERBRAUCH ERNEUERBAR	kWh/a	%
Fern-/Nahwärme aus Heizwerk mit erneuerbarem Brennstoff	973 167	25%
Fern-/Nahwärme aus KWK mit erneuerbarem Brennstoff		0%
Rapsöl	-	0%
Holz hackschnitzel		0%
Holz pellets	550 650	14%
Brennholz	852 135	22%
Solarthermie	1 228 460	31%
Luftwärme	171 429	4%
Erdwärme	157 500	4%
Gesamt	3 933 341	100%
GESAMTENERGIEVERBRAUCH	126 883 379	
BILANZ	122 950 039	
DECKUNGSGRAD ERNEUERBAR		3,1%

2.3.3 CO₂ Bilanz

Die CO₂-Emissionen im Untersuchungsgebiet wurden auf Basis der Daten der Energieversorgung ermittelt. Bei der Berechnung handelt es sich um eine endenergiebasierte Bilanz der Emissionen. Die Emissionen aus der Mobilität wurden dabei nicht berücksichtigt. Für den Strom wurde ein lokaler Emissionsfaktor für das Gemeindegebiet berechnet. Dieser Emissionsfaktor berücksichtigt die lokale Stromproduktion. Der Bezug von Ökostrom wurde nicht in der Bilanz berücksichtigt.

Die Emissionsfaktoren für Strom beziehen sich auf das *Règlement ILR/E20/30 du 10 juillet 2020 portant fixation des valeurs par défaut de l'impact environnemental*. Der Emissionsfaktor für den nationalen Strommix lag in 2019 bei 182 g CO₂/kWh (Institut Luxembourgeois de Régulation, 2020). Für die Berechnung der CO₂-Emissionen für die Wärme wurde ähnlich vorgegangen. Die Emissionen wurden mit den spezifischen Emissionsfaktoren der Energieträger berechnet. Die Emissionsfaktoren beziehen sich auf das *Règlement grand-ducal du 9. Juin concernant la performance énergétique des bâtiments fonctionnels et d'habitation*.

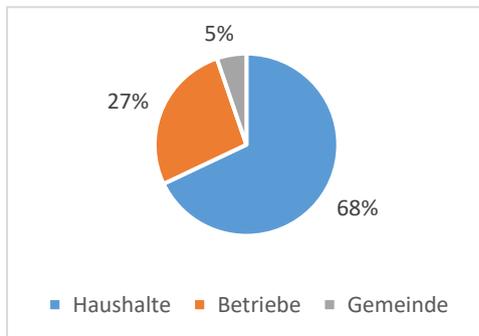


Abbildung 244: Aufteilung der Emissionen nach Verbrauchssektor in 2020.

In 2020 wurden durch den Verbrauch von Strom und Wärme in der Gemeinde Niederaanven 41.953 t CO₂ Äq. ausgestoßen. Aus den errechneten Gesamtemissionen folgt ein jährlicher Pro-Kopf-CO₂-Ausstoß von 6,6 Tonnen. Die Emissionen verteilen sich auf die folgenden Verbrauchssektoren: Gemeinde, Haushalte und Betriebe. Die anteilige Darstellung des Verbrauchs ist aus Abbildung 24 zu entnehmen. Der Emissionsschwerpunkt lag mit einem Anteil von 68 % bei den Haushalten, was auf den bedeutenden Endenergieverbrauch dieses Sektors zurückzuführen ist. Damit hat der Haushalts-Anteil im

Vergleich zu 2015 (62%) nochmals an Bedeutung gewonnen. Dies ist größtenteils dadurch bedingt, dass im Jahr 2015 mehr Emissionen in den Betrieben emittiert wurden als in 2020 und daher die Haushalts-bedingten Emissionen anteilig an Signifikanz gewinnen. Neben den Haushalten haben die Betriebe einen bedeutenden Einfluss auf den CO₂-Ausstoß. Mit 27% an den gesamten CO₂-Emissionen

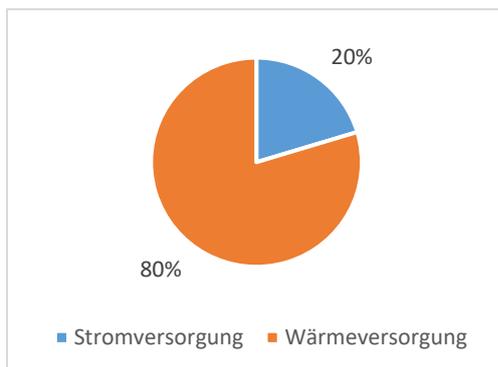


Abbildung 255: Aufteilung der Emissionen nach Strom- und Wärmeversorgung in 2020.

haben die in den Betrieben verursachten Emissionen im Vergleich zu den 36% in 2015 an Gewicht verloren. Der öffentliche Verbrauchssektor hat im Vergleich zu den anderen Verbrauchssektoren mit 5% den geringsten CO₂-Ausstoß in der Gesamtbilanz zu verzeichnen. Insgesamt haben die Emissionen gegenüber 2015 (47.313 tCO₂ Äq.) um 11,3% abgenommen. Der absolute Ausstoß an CO₂-Äquivalent ist, aufgeteilt auf die einzelnen Verbrauchergruppen, in Abbildung 26 dargestellt.

Der Ausstoß von Emissionen wurde auch differenziert nach Energieträger betrachtet. Durch die Stromversorgung wurden rund 8.569 t CO₂ Äq./a emittiert (Tabelle 7). Durch die angewandte Bilanzierungsmethodik können durch die Stromproduktionsanlagen 365 t CO₂ Äq. gutgerechnet werden. Der Betrieb der KWK-Anlage führt jedoch zu zusätzlichen 14 t Emissionen pro Jahr. Unter Berücksichtigung dieser Anlagen ergeben sich bei der Bilanzierung Emissionen von 8.204 t CO₂ Äq. pro

Jahr. Neben der Stromversorgung wurden auch die von der Wärmeversorgung verursachten Emissionen bilanziert. Die Emissionen lagen bei 33.749 t CO₂ Äq./a. Mehr als 99 % der Emissionen wurden durch die Nutzung von Erdgas und Heizöl als Energieträger verursacht. Demnach sind 80 % der Gesamtemissionen auf die Wärmeversorgung und nur 20% auf die Stromversorgung zurückzuführen (Abbildung 25). Anteilig sind die Gesamtemissionen nach Wärme-/Stromversorgung gegenüber 2015 konstant geblieben.

Der CO₂-Ausstoß der Gemeindegebäude beträgt in 2020 insgesamt 2.180 t CO₂ (2020).

Tabelle 7: CO₂-Bilanz der Energieversorgung auf dem Gemeindegebiet in 2020.

		Endenergie kWh/a	Emissionsfaktor kg CO ₂ Äq./kWh	Emissionen t CO ₂ Äq./a
STROM	ENERGIEVERBRAUCH			
	Strommix 2020 ILR	47 082 508	0,182	8 569
	ENERGIEPRODUKTION			-
	Photovoltaik	1 910 348	- 0,182	- 348
	Wasserkraft	175 407	- 0,182	- 32
	Windkraft		- 0,182	-
	Biogasanlage	-	- 0,182	-
	KWK aus fossilem Brennstoff	56 142	0,258	14
	Gesamt	2 141 897		- 365
	BILANZ	44 940 611	0,174	8 204
WÄRME	ENERGIEVERBRAUCH			
	Erdgas	62 870 505	0,246	15 466
	Heizöl	56 077 707	0,300	16 823
	Flüssiggas	68 616	0,270	19
	Fern-/Nahwärme aus KWK aus fossilem Brennstoff	-	0,309	-
	Fern-/Nahwärme aus Heizwerk mit fossilem Brennstoff	3 933 210	0,328	1 290
	Fern-/Nahwärme aus Heizwerk mit erneuerbarem Brennstoff	973 167	0,131	127
	Fern-/Nahwärme aus KWK mit erneuerbarem Brennstoff	-	0,131	-
	Biomethan Gutschrift	-	0,011	-
	Rapsöl	-	0,157	-
	Holzhackschnitzel	-	0,035	-
	Holzpellets	550 650	0,021	12
	Brennholz	852 135	0,014	12
	Solarthermie	1 228 460		-
	Luftwärme	171 429	-	-
	Erdwärme	157 500,00	-	-
Gesamt	126 883 379	0,266	33 749	
TOTAL			41 953	

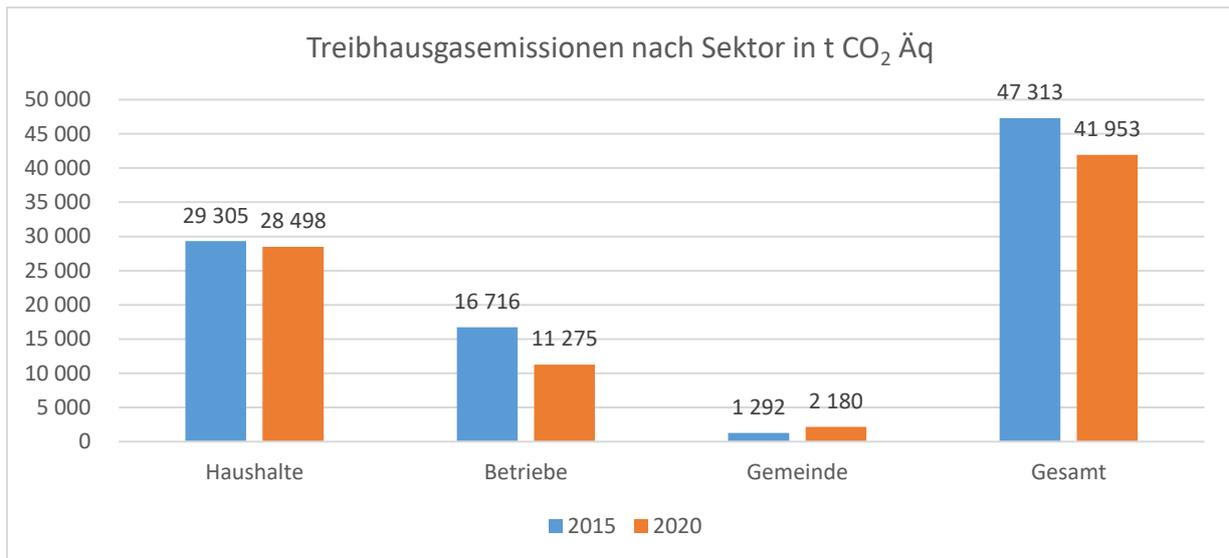


Abbildung 26: Treibhausgasemissionen nach Verbrauchssektor in der Gemeinde Niederranven.

3 EINHALTUNG DER ZIELSETZUNGEN DER GEMEINDE

Zielsetzung 1:

Die Gemeinde will bis 2020 den Stromverbrauch um 4% und den Wärmeverbrauch um 12% gegenüber dem Referenzjahr 2015 reduzieren indem unter anderem 75% des Energieeinsparpotentials aktiviert wird und der spezifische Endenergieverbrauch (Strom und Wärme) in den kommunalen Liegenschaften um mindestens 20% reduziert werden. Das Jahr 2013 konnte nicht als Referenzjahr gewählt werden, da nicht ausreichend Daten über den Wärmeverbrauch verfügbar waren.

Diese Zielsetzung der Gemeinde wurde zum Teil eingehalten. Der Wärmeverbrauch hat gegenüber 2015 um 15,4% abgenommen, womit dieser Teil der Zielsetzung erfüllt wurde. Dies ist teilweise auch dadurch bedingt, dass in 2015 ein ungewöhnlich hoher Wärmeverbrauch der Betriebe in der Gemeinde festgestellt wurde. Auf der anderen Seite hat der Stromverbrauch um 16% zugenommen, was vor Allem auf den erhöhten Stromverbrauch der Betriebe zurückzuführen ist. Auf Seite der kommunalen Liegenschaften wurde diese Zielsetzung eingehalten. Die kommunalen Gebäude benötigen im Jahr 2020 spezifisch 20% weniger Strom und 12% weniger Wärme auf den Quadratmeter Gebäudefläche bezogen. Auf Haushalts-Ebene hat der Stromverbrauch um 6,4% zugenommen. Dies ist hauptsächlich durch die 73 hinzugekommenen Haushalte bedingt. Eine spezifische Betrachtung pro Haushalt ergibt eine Zunahme von 5.127 kWh/Haushalt auf 5.287 kWh/Haushalt, also ein Anstieg um 3%. Der Stromverbrauch der kommunalen Gebäude hat hingegen um 9,6% gegenüber 2015 abgenommen, obwohl die mit Strom versorgte Gebäudefläche von 37.671 m² auf 42.913 m² angestiegen ist. Der spezifische Verbrauchswert pro Quadratmeter hat somit signifikant um 21% abgenommen. Wärmeseitig hat der Verbrauch der Haushalte um 0,1% zugenommen. Dabei wurde der Wärmeverbrauch der hinzugekommenen Haushalte, sowie eine mittlere Sanierungsrate der Gebäude berücksichtigt. Auf den Haushalt gemittelt hat der Wärmeverbrauch um 3% gegenüber 2015 abgenommen. Der kommunale Wärmeverbrauch hat von 6.046 MWh auf 6.050 MWh, um 0,1%, zugenommen. Da, wie bereits erwähnt, die beheizte Gebäudefläche deutlich zugenommen hat, hat der spezifische Verbrauch pro Quadratmeter um 12% abgenommen.

Zielsetzung 2:

Neben den Anstrengungen im Energiesparbereich soll durch die Umsetzung von 50% des Biomassepotentials und des Solarenergiepotentials ein Deckungsgrad von 5% des Stromverbrauchs und von 15% des Wärmeverbrauchs erreicht werden.

Dieses Ziel wurde nicht erreicht. Obwohl viele Photovoltaik-Anlagen in den letzten 5 Jahren in Betrieb genommen wurden und die solare Stromproduktion sich, laut Bestandsanalyse, mehr als verdreifacht hat, konnte der erneuerbare Deckungsgrad in 2020 die anvisierten 5% knapp verfehlt und liegt bei 4,5%. Da jedoch, laut Gemeinde, eine Erneuerung mit Umrüstung der Anlage vorgesehen ist, wird der angestrebte erneuerbare Deckungsgrad nach deren Inbetriebnahme mit sehr großer Wahrscheinlichkeit deutlich übertroffen. Wärmeseitig beträgt der erneuerbare Deckungsgrad von 3,1%. Diese liegen deutlich unter den anvisierten 15%. Die vorgesehene Erneuerung des BHKW wird auch den wärmeseitigen erneuerbaren Deckungsgrad deutlich erhöhen, da die 3.933 MWh an kommunaler Nahwärme demnach über einen regenerativen Brennstoff bereitgestellt werden. Für den

Sektor der Haushalte ist es weder strom- noch wärmeseitig möglich, einen belegbaren erneuerbaren Deckungsgrad herzuleiten. Auf kommunaler Ebene ist es stromseitig ebenfalls nicht möglich, einen exakten erneuerbaren Deckungsgrad zu bestimmen. Von der kommunalen Wärmeversorgung werden ca. 16% über einen regenerativen Brennstoff (Holzhackschnitzel mit Nahwärme) bereitgestellt.

Zielsetzung 3:

Mit der dritten Zielsetzung soll der CO₂-Ausstoß bis 2020 um mindestens 20% gegenüber der Ausgangssituation reduziert werden. Der Umstieg der Stromversorgung auf erneuerbare Energien und die Ausnutzung von Energieeinsparpotentialen soll einen entscheidenden Beitrag zum Erreichen dieser Einsparziele beitragen.

Dieses Ziel wurde zwar nicht erreicht, die Menge an Treibhausgasemissionen wurde dennoch mit 11% nennenswert reduziert. Hauptfaktor war die Abnahme des Wärmeverbrauchs im industriellen Sektor. Die Treibhausgasemissionen der Haushalte sind von 29.305 t CO₂ auf 28.494 t CO₂, also um ca. 3%, abgesunken. Pro Haushalt entspricht dies einer Reduktion von 5,6%.

4 ANALYSE DER POTENTIALE ERNEUERBARER ENERGIEN

Bei der Abschätzung der Potentiale im Bereich erneuerbarer Energien wurde das realisierbare Potential dargestellt. Es wurden je nach Technologie verschiedene Ansätze zur Ermittlung der Potentiale herangezogen. Die Potentialermittlung konzentriert sich auf folgende Bereiche:

- *Biomasse*
- *Solarenergie*

4.1 Biomasse – Zusammenfassung und Bewertung

Das Potential der Energiegewinnung über die Nutzung verschiedener Biomassen ist in einer bestehenden Gemeinde quasi unveränderlich. Da im Jahr 2015 eine ausführliche Untersuchung des Biomassepotentials in Zusammenarbeit mit L.E.E sàrl. für die Gemeinde Niederanven durchgeführt wurde, wird für detailliertere Angaben und Erläuterungen auf den Endbericht 2015 verwiesen. Im nachfolgenden Teil wird nochmals die Zusammenfassung aus der Studie von 2015 hervorgehoben.

Die Energiepotentiale sowie eine Einstufung der Umsetzungsempfehlungen der festen brennbaren Biomassefraktionen sind zusammenfassend in der Tabelle 8 dargestellt. Das Energiepotential des restlichen Schwachholzes, des Altholzes und des Landschaftspflegewaldes könnte in einem Biomasseheizwerk mit Rostfeuerung umgesetzt werden. Der größte Teil des vorhandenen Potentials ist jedoch bereits ausgeschöpft. Alternativ zu dem Energieholz aus dem Wald könnten Landschaftspflegematerial und Altholz als Festbrennstoffe genutzt werden. Das Umweltministerium hat eine Studie in Auftrag gegeben, mit dem Ziel ein Netzwerk für die Sammlung, Lagerung und Verwendung des Landschaftspflegewaldes als Energieressource aufzubauen. Von Februar bis April 2017 wird eine kostenlose Zwischenlösung in Zusammenarbeit mit dem MBR Luxemburg/ Servert s.à r.l. den Land-/Forstwirten und Wein- und Obstbauer angeboten (Ministère de l'Environnement, 2017). Momentan gibt es jedoch nur wenige Anlagen (u.a. Beckerich) die das Material verwerten könnten. Durch den Bau und den Betrieb einer geeigneten kommunalen oder regionalen Anlage mit Nahwärmenetz könnte das Material vor Ort verwertet werden. Zusätzlich könnte das Altholz, je nach Schadstoffbelastung, durch entsprechende Genehmigungen mit verheizt werden, was zu einer Senkung der Entsorgungskosten führen würde.

Von einer Nutzung des Getreidestrohs sowie von der Bergung des Waldrestholzes wird in dieser Studie aufgrund der Risiken für die Bodenfruchtbarkeit und Interessenskonflikten abgesehen.

Tabelle 8: Zusammenfassung des Energiepotentials der festen brennbaren Biomassefraktionen

Biomassefraktion	Energiepotential kWh/a	Umsetzungs- empfehlung
Waldholz: 50% Schwachholz	394.577	●
Waldholz: 100% Schwachholz	1.079.107	●
Waldrestholz	2.685.328	●
Heckenschnitt Sammelstelle	484.500	●
Strassen- und Schienenbegleitholz	76.520	●
Baumschnitt von Streuobstwiesen	321.800	●
Heckenschnitt von Landschaftsstrukturelementen	212.925	●
Altholz	728.700	●
Getreidestroh	2.126.732	●

Neben den brennbaren festen Biomassen besteht ebenfalls Potential in der Verwertung von landwirtschaftlichen, vergärbaren Biomassen. Neben den finanziellen Anreizen würden sie einen hochwertigen Dünger erhalten. Die verfügbaren Biomassen in der Gemeinde würden für eine Kleinbiogasanlage von 100 kW_e reichen. Durch die Miteinbeziehung von Landwirten aus den Nachbargemeinden könnte eine größere Anlage realisiert werden. Die Biogasanlage könnte ähnlich wie in Gonderange oder in Beckerich mit einem Biomasseheizwerk intelligent kombiniert werden und ein gesamtes Gebiet über ein Nahwärmeverbund mit nachhaltiger Wärme versorgen. Durch die Nutzung der lokalen Ressourcen und die Beteiligung der lokalen Akteure am Projekt würde dies zu einer Maximierung der regionalen Wertschöpfung führen. Alternativ zur Nutzung des Biogases zur Strom- und Wärmeproduktion könnte das Rohbiogas zu Biomethan aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist.

Bei der Erweiterung der Kläranlage in Uebersyren sollte nach den technischen Möglichkeiten eine anaerobe Stufe mit Klärgasnutzung vorgesehen werden. Durch die Strom- und Wärmeproduktion aus dem Klärgas vor Ort könnte die Energiebilanz der Anlage verbessert werden.

Die Energiepotentiale sowie eine Einstufung der Umsetzungsempfehlungen der vergärbaren Biomassefraktionen sind in der Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Zusammenfassung des Energiepotentials der vergärbaren Biomassefraktionen.

Biomassefraktion	Stromprod. kWh/a	Wärmeüberschuss kWh/a	Biomethaneinspeisung kWh/a	Umsetzungsempfehlung
Straßen- und Schienenbegleitgrün	14.453	12.507	31.500	●
Klärschlamm	83.231	96.035	181.400	●
Bioabfall	82.647	71.522	180.129	●
Wirtschaftsdünger	426.871	369.408	930.360	●
Energiepflanzen: Szenario 10%	164.489	142.346	358.501	●
Energiepflanzen: Szenario 20%	328.977	284.692	717.001	●
Grünland: Szenario 10%	17.906	15.496	39.026	●
Grünland: Szenario 20%	35.812	30.991	78.052	●

4.2 Solarenergie

4.2.1 Vorgehensweise

Im Rahmen dieser Studie wurde eine Abschätzung des Solarpotentials für die Gebäude in der Gemeinde Niederanven erstellt. Um sich einen Überblick über den aktuellen Solaranlagenbestand zu verschaffen, wurde über die Statistik des *Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable (MECDD)* die Anzahl der subventionierten Solaranlagen erfasst. Zudem wurde für die gesamte Dachlandschaft das Solarpotential in Abhängigkeit der Dachfläche, Dachneigung, -orientierung und solaren Einstrahlung mit Hilfe von Kennwerten berechnet.

Die Daten können über eine Excel-basierte Datenbank auf verschiedenen Ebenen ausgewertet werden. Die Abschätzung des Solarpotentials kann über Geoinformationssysteme visualisiert werden. Die Abbildung 27 zeigt beispielsweise die Eignung der Dachflächen (Ost-Süd-West) für die Nutzung von Solarenergie.

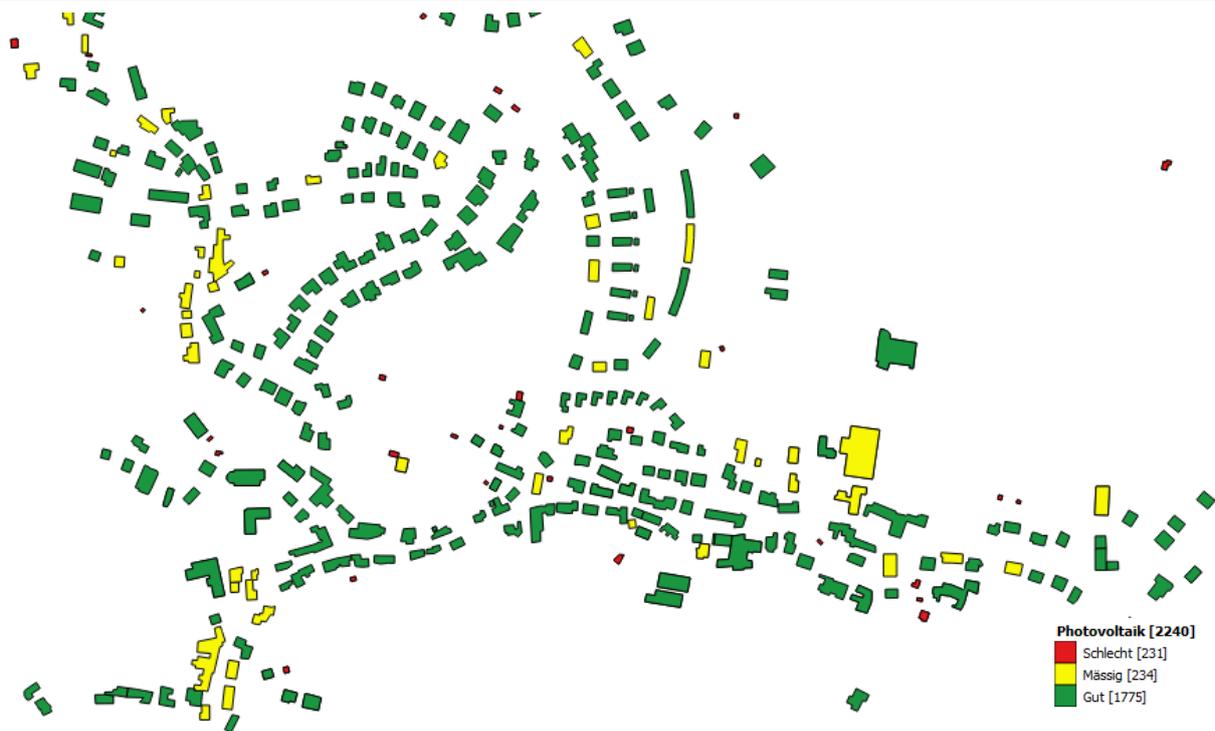


Abbildung 27: Auszug QGIS

4.2.2 Solaranlagenbestand

Es wurden während der Bestandsaufnahme insgesamt 68 Anlagen verzeichnet, die vor 2015 in Betrieb genommen wurden (siehe Tabelle 10). Diese nehmen eine Modulfläche von insgesamt 5.519 m² ein, mit einer Leistung von ca. 759 kW_p. Damit konnten ca. 118 t CO₂/Jahr eingespart werden.

Tabelle 10: Photovoltaikanlagenbestand in der Gemeinde Niederanven 2015.

PHOTOVOLTAIK-BESTAND VOR 2015						
	Anzahl Installationen	Anzahl Module	Modulfläche m ²	Gesamtleistung kW	Gesamtproduktion kWh/a	Eingesparte Emissionen t CO ₂ / Jahr
Ernster	4	181	303	42	36 260	7
Hostert	2	64	107	15	12 158	2
Niederanven	25	1 666	2 787	383	328 393	60
Oberanven	11	495	828	114	97 990	18
Rameldange	11	343	574	79	65 864	12
Senningen	6	220	368	51	42 122	8
Senningerberg	9	330	552	76	63 629	12
Gesamt	68	3 299	5 519	759	646 416	118

Während des Inventars 2020 wurden 122 Photovoltaikanlagen mit einer Fläche von ca. 13.628 m² aufgenommen. Tabelle 11 gibt eine Übersicht über das Inventar. Die installierte elektrische Leistung der Anlagen liegt bei 2.230 kW_p. Damit hat sich die installierte Leistung seit 2015 (759 kW_p) fast verdreifacht. Dies liegt daran, dass in den Jahren 2015-2020 im Ganzen 54 neue Anlagen mit einer insgesamt größeren Fläche von 8.109 m² in Betrieb genommen wurden. Außerdem besitzen neu installierte Anlagen, aufgrund der kontinuierlichen Weiterentwicklung dieser Technologie, eine höhere spezifische Peak-Leistung pro Modul. Für Anlagen, die nach 2015 in Betrieb genommen wurden, wird mit einer durchschnittlichen Modulleistung von 300 W_p gerechnet, während Anlagen vor 2015 eine mittlere Modulleistung von 230 W_p zugewiesen wird.

Die Stromproduktion im Jahr 2020 wurde auf 1.910.348 kWh/a ermittelt (Tabelle 11). Durch die Anlagen können jährlich ca. 348 t CO₂ Äq. eingespart werden. Die ermittelte Produktion liegt somit deutlich über den real aufgezeichneten Produktionsdaten der ENOVOS (1.259.576 kWh/a).

Tabelle 11: Photovoltaikanlagenbestand in der Gemeinde Niederanven 2020.

PHOTOVOLTAIK-BESTAND IN 2020						
	Anzahl Installationen	Anzahl Module	Modulfläche m ²	Gesamtleistung kW	Gesamtproduktion kWh/a	Eingesparte Emissionen t CO ₂ / Jahr
Ernster	10	433	724	117	98 810	18
Hostert	9	279	467	79	63 804	12
Niederanven	42	4 057	6 787	1 117	984 679	180
Oberanven	15	786	1 315	201	169 864	31
Rameldange	20	840	1 405	228	187 224	34
Senningen	9	326	545	82	68 541	12
Senningerberg	17	1 425	2 384	404	337 426	62
Gesamt	122	8 146	13 628	2 230	1 910 348	348

Die höhere, verzeichnete Produktion aus dem Inventar ist möglicherweise auf die Anlage auf dem „Tramsschapp“ zurückzuführen. Dabei handelt es sich um ein „Bâtiment publique“, welches innerhalb des Gemeindegebiets von Niederanven liegt, sich jedoch rechtlich auf staatlichem Grundstück befindet. Dabei ist unsicher, auf welche Gemeinde diese Produktion anzurechnen ist. Die Anlage besitzt eine Leistung von 530 kW_p und produziert jährlich 481.770 kWh (Angabe 2020). Abzüglich dieser Produktion werden in der Gemeinde jährlich 1.428.578 kWh/a produziert. Dieser Wert liegt immer noch über, aber deutlich näher an der aufgezeichneten Produktion der ENOVOS (1.259.576 kWh/a), was die von ENOVOS gelieferten Werte plausibilisiert.

Laut MECDD wurden im Zeitraum von 2002 bis 2020 insgesamt 91 Förderanträge für Photovoltaikanlagen von Privatpersonen eingereicht. Diese Anlagen haben eine Leistung von 887 kW_p. Die Entwicklung der installierten Leistung der Photovoltaikanlagen in der Gemeinde ist in Abbildung 28 dargestellt. Dabei fällt ein kontinuierlicher Anstieg über die Jahre auf.

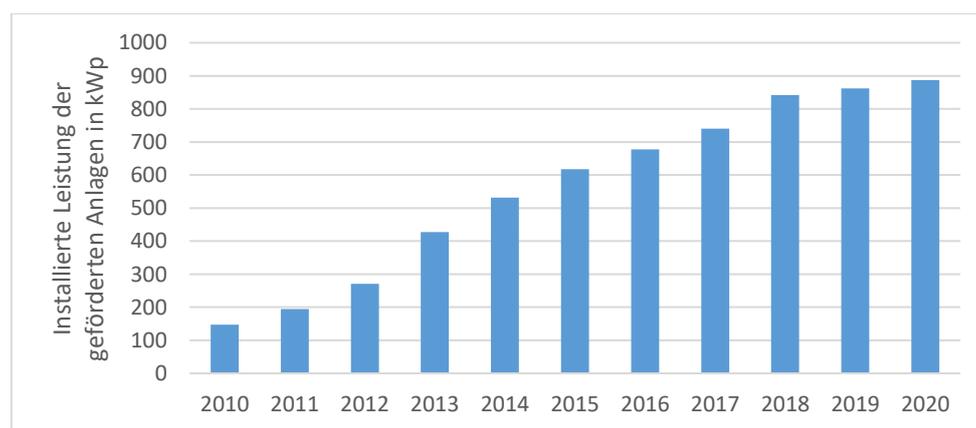


Abbildung 28: Entwicklung der installierten Leistung der subventionierten Photovoltaikanlagen in der Gemeinde Niederanven von 2010 bis 2020 (MECDD, 2020).

Die Anzahl der thermischen Solaranlagen lag in 2020 bei 202 (MECDD). Hier wird in der MECDD-Statistik zwischen thermischen Solaranlagen für die Warmwasseraufbereitung und Kombianlagen unterschieden. Die Anzahl der thermischen Solaranlagen für die Warmwasseraufbereitung beläuft sich

auf 117 und 85 Kombianlagen. Die Anlagen sind auf einer Fläche von 1.592 m² installiert. Die solarthermischen Anlagen substituierten schätzungsweise 614.584 kWh/a Wärme aus fossilen Energieträgern für die Warmwasserbereitung und für die Heizungsunterstützung. Durch die Substitution von Heizöl können jährlich 184 t CO₂ eingespart werden. Die Entwicklung der Förderanträge von Privatpersonen im Zeitraum 2010 bis 2020 ist in Abbildung 29 dargestellt. In der Gemeinde Niederanven wurden insgesamt 202 Förderanträge für solarthermische Anlagen gestellt.

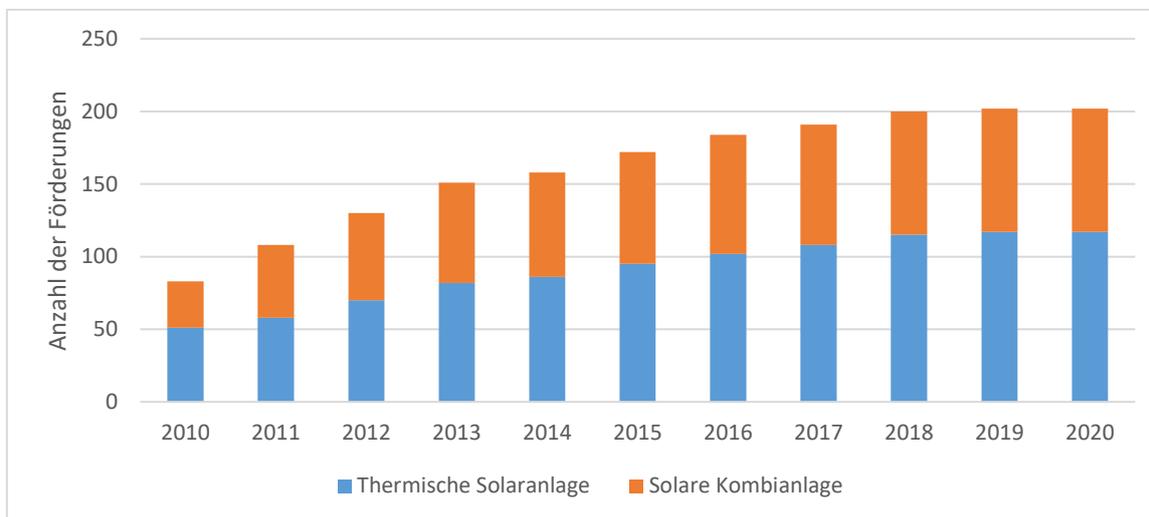


Abbildung 29: Entwicklung der Anzahl der geförderten thermischen Solaranlagen im Zeitraum von 2010 bis 2020 (MECDD).

Während des Inventars wurde ebenfalls der Bestand der solarthermischen Anlagen in der Gemeinde Niederanven analysiert. Dabei wurden im Jahr 2020 insgesamt 323 installierte Anlagen mit einer Fläche von 3.145 m² festgestellt. Diese produzieren 1.228.460 kWh/a an Wärmeenergie und ermöglichen bei einer Substitution von Heizöl eine Einsparung von 369 t CO₂/a. Der ermittelte Wert liegt auch bei den solarthermischen Anlagen deutlich über den subventionierten Anlagen; die ermittelte Kollektorfläche ist nahezu doppelt so groß wie die, die vom MECDD eine Förderung erhalten haben. Dies ist ebenfalls darauf zurückzuführen, dass die solarthermische Anlage auf dem neuen „Tramsschapp“ mitberücksichtigt wurde und diese eine Fläche von 76 m² einnimmt. Weiterhin wird nicht für jede Anlage eine Subvention angefragt. Deshalb sind die Zahlen des MECDD nie vollständig und für die Bilanzierung wird die ermittelte solarthermische Wärmeproduktion aus dem Inventar herangezogen.

Tabelle 12: Bestand an solarthermischen Anlagen in der Gemeinde Niederranven.

SOLARTHERMIE-BESTAND IN 2020					
	Anzahl Installationen	Anzahl Kollektoren	Kollektorfläche m ²	Gesamtproduktion kWh/a	Eingesparte Emissionen t CO ₂ / Jahr
Ernster	19	63	196	75 841	23
Hostert	28	92	256	96 104	29
Niederranven	70	246	660	258 147	78
Oberanven	37	150	418	170 095	51
Rameldange	60	203	629	247 349	74
Senningen	41	133	358	138 799	42
Senningerberg	68	233	629	242 125	73
total =	323	1 120	3 145	1 228 460	369

In der Gemeinde Niederranven wurden insgesamt 16.773 m² Dachfläche für die aktive Nutzung von Sonnenenergie genutzt. Von dieser Dachfläche wurden 19% für thermischen Solaranlagen und 81% für Photovoltaik genutzt.

4.2.3 Theoretisches Ausbaupotential

Die Abschätzung des Solarpotentials hat ergeben, dass sich zusätzlich noch 32 ha Dachfläche für die Sonnenenergienutzung eignen würden. Das größte Dachflächenpotential findet man auf Dächern von Nichtwohngebäuden (Tabelle 13). Etwa 53% des Solarpotentials der Gemeinde Niederranven kann auf Nichtwohngebäuden installiert werden.

Tabelle 13: Genutzte und verfügbare Dachflächen für die Nutzung von Solarenergie

	Fläche m ²	THEORETISCH Geeignete Fläche m ²
EFH	408 355	147 448
MFH	5 404	3 932
NWG	370 522	169 625
Total	784 281	321 005

Die noch verfügbare Dachfläche kann entweder für Photovoltaik, Solarthermie oder beide Technologien gleichzeitig genutzt werden.

Es sind zwei Szenarien für die Untersuchung der Nutzung solarer Energie auf verfügbaren Dachflächen möglich (Abbildung 30).

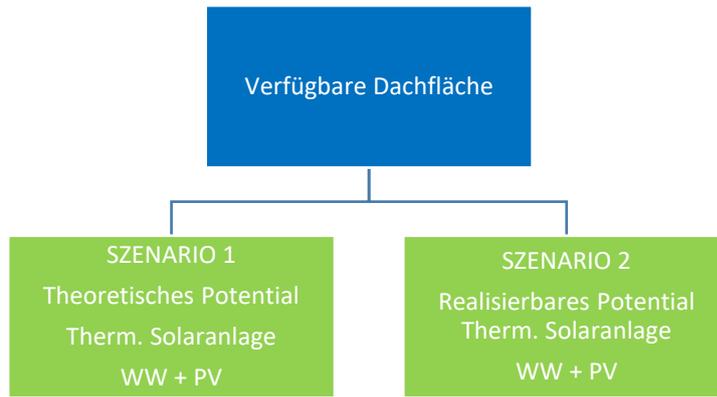


Abbildung 30: Zwei Szenarien für die Nutzung der freien Dachfläche für Solarenergie

4.2.3.1 Szenario 1: Theoretisches Potential – Therm. Solaranlage WW + PV

Im 1. Szenario wurde davon ausgegangen, dass die gesamte verfügbare Dachfläche für Photovoltaikanlagen und solarthermische Anlagen für die Warmwasserbereitung genutzt werden könnte. Photovoltaikanlagen haben in den letzten Jahren aufgrund der staatlichen Fördermaßnahmen einen wahren Boom erlebt. Sie können problemlos nachträglich bei bestehenden Gebäuden in Aufdach-Montage oder Indach-Montage realisiert werden. Es besteht auch die Möglichkeit die Photovoltaikanlagen in andere Gebäudeteile zu integrieren. In dieser Studie wurde eine erneute Erfassung des realisierbaren Potentials durchgeführt (siehe Kapitel 4.2.3.2), da dieses aussagekräftiger ist und eine ausführliche Bestimmung des theoretischen Potentials bereits in 2017 unternommen wurde. Hierzu werden die Ergebnisse der durchgeführten Potentialanalyse für Gebäude bis inklusive 2015 nochmals in der Tabelle 32 aufgelistet.

Tabelle 14: Szenario 1: Theoretisches Potential.

THEORETISCHES POTENTIAL									
	Solarthermie WW				Photovoltaik				
	Fläche m ²	Kollektoren Anzahl	Produktion kWh/a	Emissionen t CO ₂ Äq./a	Fläche m ²	Module Anzahl	Leistung kW	Produktion kWh/a	Einsparung t CO ₂ Äq./a
EFH	8 101	3 104	3 147 364	944	139 346	86 274	19 843	16 120 825	3 698
MFH	339	130	129 352	39	3 593	2 238	515	412 432	95
NWG	-	-	-	-	169 625	105 847	24 345	19 567 898	4 489
Total	8 441	3 234	3 276 716	983	312 565	194 359	44 703	36 101 155	8 282

Auf den freien Dachflächen in der Gemeinde könnte man theoretisch insgesamt Photovoltaikanlagen mit einer gesamten elektrischen Leistung von 44,7 MW_p installieren. Insgesamt könnten diese Anlagen 36.102 MWh/a Strom produzieren. Durch den Ausbau der Photovoltaik könnten in diesem Szenario zusätzlich 8.282 t CO₂ Äq. weniger emittiert werden.

Ein Teil der verfügbaren Dachfläche soll jedoch für thermische Solaranlagen zur Warmwasseraufbereitung zur Verfügung gestellt werden. Hier wurde identisch wie bei der Photovoltaik vorgegangen und das zusätzliche Potential neuer Dachflächen berücksichtigt. Theoretisch könnte man auf diesem Weg 3.277 MWh Wärme für die Warmwasseraufbereitung zur Verfügung stellen. Dies würde ein Äquivalent von 330.981 Liter Heizöl substituieren und somit zu einer Einsparung von ca. 983 t CO₂ Äq. führen (Tabelle 14).

4.2.3.2 Szenario 2: Realisierbares Potential – Therm. Solaranlage WW + PV

In dem 2. Szenario wurde mit konservativeren Kriterien gerechnet um das realisierbare Potential zu ermitteln. Ähnlich wie im ersten Szenario wurde auf der freien Dachfläche zuerst das Potential einer solaren Warmwassererzeugung untersucht, da für eine Unterstützung der Heizung nur wenige Paneele notwendig sind. Die Warmwasserversorgung in den Haushalten ist ein ideales Einsatzgebiet für die Nutzung von Solarthermie.

In den Sommermonaten entfällt in konventionellen zentralen Heizungssystemen die Raumheizung und die Heizungsanlage des Gebäudes läuft ausschließlich für die Warmwasserbereitstellung. Dies führt dazu, dass in den Sommermonaten der spezifische Brennstoffverbrauch der Heizungsanlage höher ausfällt als während der Heizperiode. Durch die Errichtung einer thermischen Solaranlage kann der sommerliche Brennstoffverbrauch fast gänzlich reduziert werden. Die Anlagen können ohne Probleme in bestehende Gebäude integriert werden.

Zusätzlich zur Potentialanalyse des Gebäudebestandes bis 2015 wurde das Potential der neuen Bauten über die gleiche Methodik ermittelt. Die Herangehensweise ist in Kapitel 4.2.4 ausführlich beschrieben.

Die Ergebnisse der durchgeführten Potentialanalyse für den Gebäudebestand bis inklusive 2020 sind in der Tabelle 33 aufgeführt.

Tabelle 15: Szenario 2: Solare Warmwasserbereitung und Photovoltaik.

REALISIERBARES POTENTIAL									
	Solarthermie WW				Photovoltaik				
	Fläche m ²	Kollektoren Anzahl	Produktion kWh/a	Emissionen t CO ₂ Äq./a	Fläche m ²	Module Anzahl	Leistung kW	Produktion kWh/a	Einsparung t CO ₂ Äq./a
EFH	7 392	2 832	2 900 767	870	141 258	87 414	20 670	16 748 936	3 842
MFH	392	150	149 343	45	3 239	2 012	509	407 799	94
NWG	-	-	-	-	104 884	67 529	15 042	12 380 988	2 840
Total	7 783	2 982	3 050 110	915	249 380	156 955	36 221	29 537 724	6 776

In der Gemeinde könnte eine gesamte Kollektorfläche von 7.783 m² für thermische WW-Solaranlagen eignen. Durch die Installation von Sonnenkollektoren könnten 3.050 MWh/a Wärme aus fossilen Energieträgern substituiert werden. Zusätzlich könnten durch die Verdrängung von Erdgas bei der Wärmeversorgung 915 t CO₂ Äq eingespart werden. Auf den restlichen freien Dachflächen könnten Photovoltaikanlagen mit einer elektrischen Leistung von 36,2 MW_p installiert und die aktuelle jährliche Stromproduktion aus erneuerbaren Energieträgern um 29.538 MWh gesteigert und parallel 6.776 t CO₂ Äq. weniger emittiert werden. (Tabelle 15).

4.2.4 Umsetzbares Solarpotential

In Luxemburg haben Photovoltaikanlagen bis 2013 einen wahren Boom erlebt. Die Anzahl der Photovoltaikanlagen ist stark angestiegen. Aufgrund der sinkenden staatlich garantierten Einspeisevergütung für Strom lässt sich jedoch ein Rückgang des Photovoltaikanlagenzuwachses in den letzten Jahren feststellen. Die thermischen Solaranlagen haben unter der starken Attraktivität der Photovoltaikanlagen gelitten. Sie können zur Warmwasserbereitung und zur solaren Heizungsunterstützung in Kombisystemen eingesetzt werden. Solaranlagen für die Warmwasserbereitung bieten den Vorteil gegenüber von Kombisystemen, dass sie sich ohne Probleme bei einer Heizungsmodernisierung in bestehende Gebäude einbinden lassen. Die Integration von solaren Kombisystemen im Gebäudebestand ist schwieriger. Um einen signifikanten Anteil an der Raumheizung zu liefern soll bei Kombisystemen das Heizungssystem eine niedrige Heizungsvorlauftemperatur haben. Besonders eignen sich Gebäude mit Fußbodenheizungen oder großflächigen Plattenheizkörpern.

Um sowohl die Nutzung von Photovoltaik als auch der solaren Warmwasserbereitung auf dem Gemeindegebiet auszubauen wurde das Szenario 2 als Basis für die weiteren Berechnungen angenommen.

Im Kapitel 4.2.3.1 wurde das theoretische Potential der Dachflächen aus der Gemeinde hergeleitet. Wirtschaftliche oder technische Randbedingungen wurden nicht bei dieser theoretischen Potentialermittlung berücksichtigt. Um das realisierbare Potential zu ermitteln, wurden für beide Technologien ökonomische Randbedingungen festgelegt. Die Ergebnisse wurden in Kapitel 4.2.3.2 vorgestellt.

Bei der Ermittlung des realisierbaren Solarpotentials wurde davon ausgegangen, dass die thermischen Solaranlagen für die Warmwasserbereitung jährlich mindestens 1.800 kWh an fossilen Energieträgern substituieren müssen. Die restliche Fläche von den betroffenen Gebäuden kann noch zusätzlich für Photovoltaik genutzt werden. Auf Dächern von Wohngebäuden, die nicht diesem Kriterium entsprechen, wurde davon ausgegangen, dass die gesamte zur Verfügung stehende Fläche für Photovoltaik genutzt werden könnte. Bei den Photovoltaikanlagen wurden als

Wirtschaftlichkeitskriterien ein Mindestertrag von 700 kWh/kW_p und eine Mindestgröße von 2 kW_p angenommen. Als Maximalleistung wurde nach Abzug der bestehenden Anlagen 30 kW_p festgelegt, um die Förderfähigkeit der Anlagen zu gewährleisten. Für Nichtwohngebäude insbesondere Produktionshallen oder landwirtschaftliche Gebäude, wurde im Hinblick des *Projet de règlement grand-ducal modifiant 1. le règlement grand-ducal du 1er août 2014 relatif à la production d'électricité basée sur les sources d'énergie renouvelables et le règlement grand-ducal modifié du 31 mars 2010 relatif au mécanisme de compensation dans le cadre de l'organisation du marché de l'électricité* die Obergrenze auf 200 kW_p festgelegt. Die Netzkapazität für stromeinspeisende Photovoltaikanlagen und die Tragfähigkeit der Dächer wurden nicht berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung dieser Annahmen liegt das realisierbare Potential für die Nutzung von Solarwärme für die Warmwasserbereitung bei 3.050 MWh/a (Gebäudebestand 2020). Durch den Ausbau der Solarthermie könnten 915 t CO₂-Äq. eingespart werden. Die Umsetzung des realisierbaren Potentials wird in der Abbildung 31 anhand eines linearen Verlaufs veranschaulicht. Dabei lässt sich feststellen, dass die bestehende solarthermische Wärmeerzeugung um den Faktor 2,5 gesteigert werden kann.

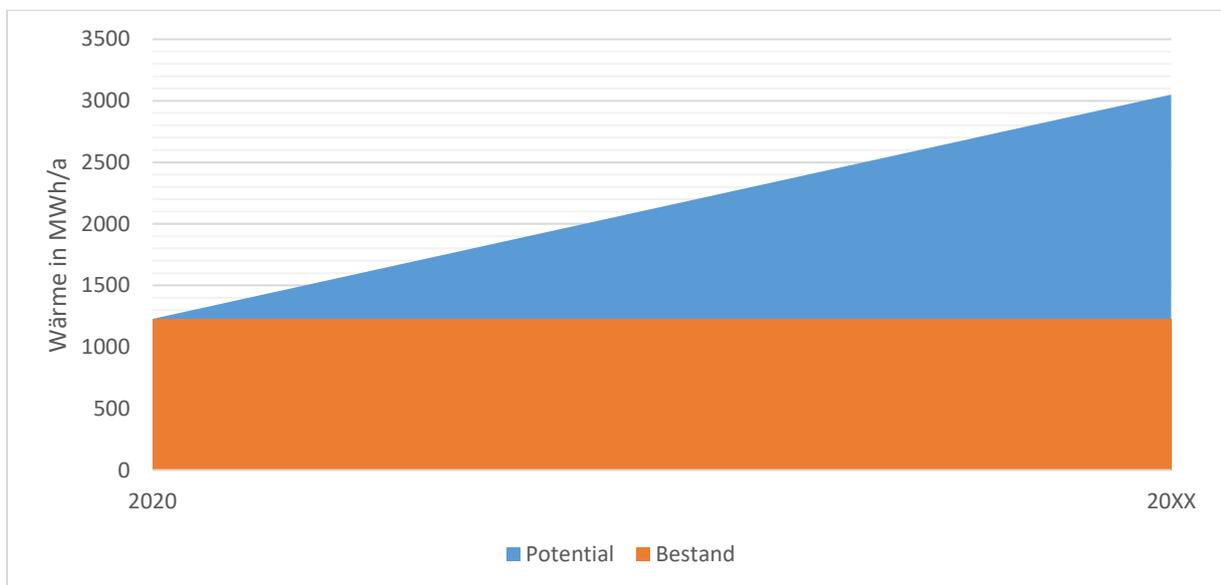


Abbildung 31: Ausbau der Wärmebereitstellung durch solarthermische Anlagen.

Die potentielle Stromerzeugung über Photovoltaikanlagen fällt nochmals deutlich höher aus. Die Stromproduktion kann auf 29.538 MWh/a gegenüber der ermittelten Ausgangslage von 1.910 MWh/a ausgebaut werden (Abbildung 32) und die CO₂-Emissionen der Stromversorgung um 6.776 t pro Jahr verringert werden. Die solare Stromproduktion kann somit, unter finanziell lukrativen Randbedingungen, nochmals um den Faktor 15,5 gesteigert werden.

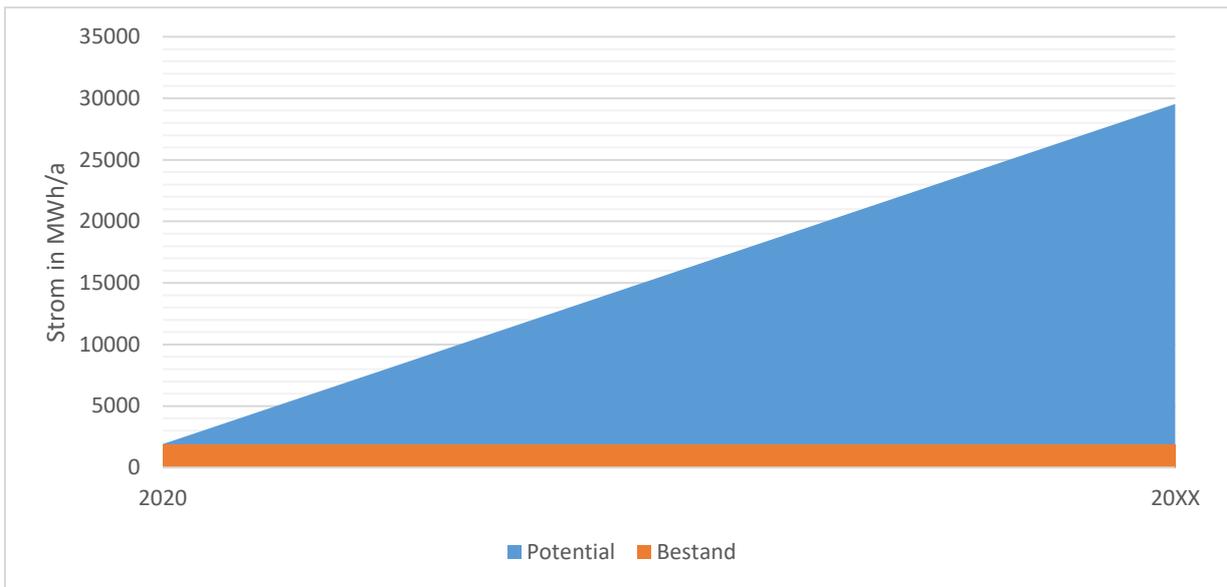


Abbildung 32: Ausbau der Stromproduktion durch Photovoltaikanlagen.

5 POTENTIAL ZUR STEIGERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ

5.1 Wohngebäude

5.1.1 Energiekataster

5.1.1.1 Vorgehensweise

Der Energiekataster basiert auf einer Vorortbegehung der Straßen, in der alle Wohngebäude in Bezug auf ihren energetischen Zustand bewertet werden. Für die Gemeinde Niederranven wurde keine Begehung der Straßen durchgeführt. Der Energiekataster basiert auf einer Abschätzung auf Basis von Fotos. Die Wohngebäude wurden nach Baujahr in mehrere energetisch relevante Altersklassen eingeteilt. Um die energetische Qualität der Gebäude zu erfassen wurde die Gebäudehülle visuell begutachtet. Die Energiebezugsfläche wurde über die Grundrissfläche der Gebäude und die Anzahl der Etagen geschätzt. Unbeheizte Gebäudeflächen wurden ebenfalls berücksichtigt.

Auf Basis der erhobenen Daten wurde für jedes Wohngebäude der Wärmeverbrauch und die Wärmeeinsparpotentiale durch Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle und -technik abgeschätzt. Die Einsparpotentiale für die Gebäude können beispielsweise als Anhaltspunkt für Energieberater genutzt werden, ersetzen jedoch keine detaillierte Energieberatung vor Ort. Ein anderer Anwendungsbereich ist die Ermittlung des Wärmeverbrauchs von Straßenzügen bei der Dimensionierung und Machbarkeitsberechnungen von Nahwärmenetzen. Die Abbildung 33 zeigt einen Auszug aus dem Energiekataster. Die Farbwahl der Punkte zeigt in diesem Fall das Energieeinsparpotential der Wohngebäude.



Abbildung 33: Auszug aus dem Energiekataster

5.1.1.2 Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung in den Haushalten

Die Auswertung der Abschätzung des Wärmeverbrauchs (Endenergie) in den Haushalten ergab einen Gesamtverbrauch von 97.428 MWh/a. Etwa 9% des Wärmeverbrauchs in den Wohngebäuden wurde für die Warmwasserbereitung und 91% des Wärmeverbrauchs für Raumwärme genutzt. Betrachtet man den Wärmeverbrauch nach Baujahr der Wohngebäude erkennt man, dass der Großteil der Wärme in den Gebäuden, die zwischen 1981 und 1995 gebaut wurden, verbraucht wurde (Tabelle 16).

Tabelle 16: Endenergieverbrauch nach Baujahr und für die Wärmeversorgung der Haushalte in der Gemeinde Niederanven

ENDENERGIEVERBRAUCH			
Bauperiode	Heizung kWh/a	WW kWh/a	Total kWh/a
<1940	2 331 714	123 322	2 455 036
1941-1970	31 050 556	1 970 675	33 021 232
1971-1980	8 226 296	722 881	8 949 177
1981-1995	40 595 104	4 781 594	45 376 698
1995-2006	4 414 472	769 324	5 183 797
2007-2015	1 767 330	674 337	2 441 667
2016-2020	292 000	292 000	584 000
Total	88 677 472	9 334 134	98 011 606

Der Wärmeverbrauch für Haushalte, die seit 2015 neu hinzugekommen sind, wurde ebenfalls berücksichtigt. Hierzu wurde für die 73 weiteren Haushalte eine durchschnittliche Energiebezugsfläche von 200 m² mit einem spezifischen Wärmeverbrauch (Raumwärme und Warmwasser) von 40 kWh/m² angenommen. Daraus resultieren 584.000 kWh Wärmeverbrauch für Gebäude von 2016-2021 und somit insgesamt 98.011.606 kWh/a. Bei der Bilanzierung des Endenergieverbrauchs für die Wärmebereitstellung (siehe Kapitel 2.3.2.2) wurde für die Haushalte bereits eine mittlere Sanierungsrate berücksichtigt, daher beläuft sich der Endenergieverbrauch in diesem Kapitel auf 97.567.016 kWh.

Der durchschnittliche Wärmeverbrauch pro Haushalt der Wohngebäude liegt bei 41.389 kWh/a. In der Tabelle 17 sind die durchschnittlichen Wärmeverbräuche nach Baujahr aufgeführt. In der Regel steigt der durchschnittliche Verbrauch mit zunehmendem Alter an.

Tabelle 17: Durchschnittlicher Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung pro Haushalt nach Baujahr und Ortschaft

Bauperiode	Heizung kWh/H.a	WW kWh/H.a	Total kWh/H.a
<1940	137 160	7 254	144 414
1941-1970	122 729	7 789	130 519
1971-1980	66 880	5 877	72 758
1981-1995	38 736	4 563	43 298
1995-2006	35 035	6 106	41 141
2007-2015	19 858	7 577	27 434
2016-2020	4 000	4 000	8 000
Total	420 399	39 166	41 389

Berechnet man den spezifischen flächenbezogenen Heizwärmeverbrauch für die Wohngebäude nach Baujahr stellt man fest, dass der spezifische Verbrauch zwischen 40 und 300 kWh/m².a variiert (Tabelle 18). Die Wohngebäude, die vor 1940 errichtet wurden, weisen den höchsten spezifischen Heizwärmeverbrauch auf.

Tabelle 18: Aufteilung des Wärmeverbrauchs der Haushalte nach Baujahr der Gebäude

HEIZWÄRMEBEDARF			
Bauperiode	EBF m²	Bedarf kWh/a	Spez. Bedarf kWh/m².a
<1940	5 182	1 554 476	300
1941-1970	82 801	20 700 371	250
1971-1980	30 373	5 466 437	180
1981-1995	200 907	26 037 897	130
1995-2006	32 325	3 531 052	109
2007-2015	28 333	1 387 179	49
2016-2020	14 600	584 000	40
Total	394 522	59 261 411	150

5.1.1.3 Potential zur Steigerung der Energieeffizienz bei der Wärmeversorgung in den Haushalten

Die Berechnungen ergaben ein Wärmeeinsparpotential von schätzungsweise 44.856 MWh/a in den Wohngebäuden (Tabelle 19). Der ermittelte Wärmeverbrauch könnte um 46% in den Wohngebäuden gesenkt werden. Da die Neubauten (ab 2007) alle der Passivbauweise entsprechen, können diese für das Wärmeeinsparpotential vernachlässigt werden.

Tabelle 19: Energieeinsparpotentiale in den Haushalten nach Sanierungsmaßnahme

EINSPARUNG ENDENERGIE						
Bauperiode	Aussenwand kWh/a	Dach kWh/a	Keller kWh/a	Fenster kWh/a	Gesamt kWh/a	Restverbrauch kWh/a
<1940	746 149	606 246	139 903	349 757	1 842 054	612 982
1941-1970	9 936 178	6 520 617	1 863 033	3 726 067	22 045 895	10 975 337
1971-1980	1 309 228	1 309 228	557 033	967 016	4 142 505	4 806 672
1981-1995	6 068 464	4 871 412	2 837 497	2 038 076	15 815 449	29 561 248
1995-2006	350 693	350 693	264 047	44 966	1 010 398	4 173 398
2007-2015	-	-	-	-	-	2 441 667
2016-2021	-	-	-	-	-	584 000
Gesamt	18 410 711	13 658 196	5 661 513	7 125 882	44 856 302	53 155 303

In der Abbildung 34 ist eine mögliche Entwicklung (linear) des Wärmeverbrauchs der Haushalte für die Gemeinde Niederranven durch die sukzessive Steigerung der Energieeffizienz dargestellt.

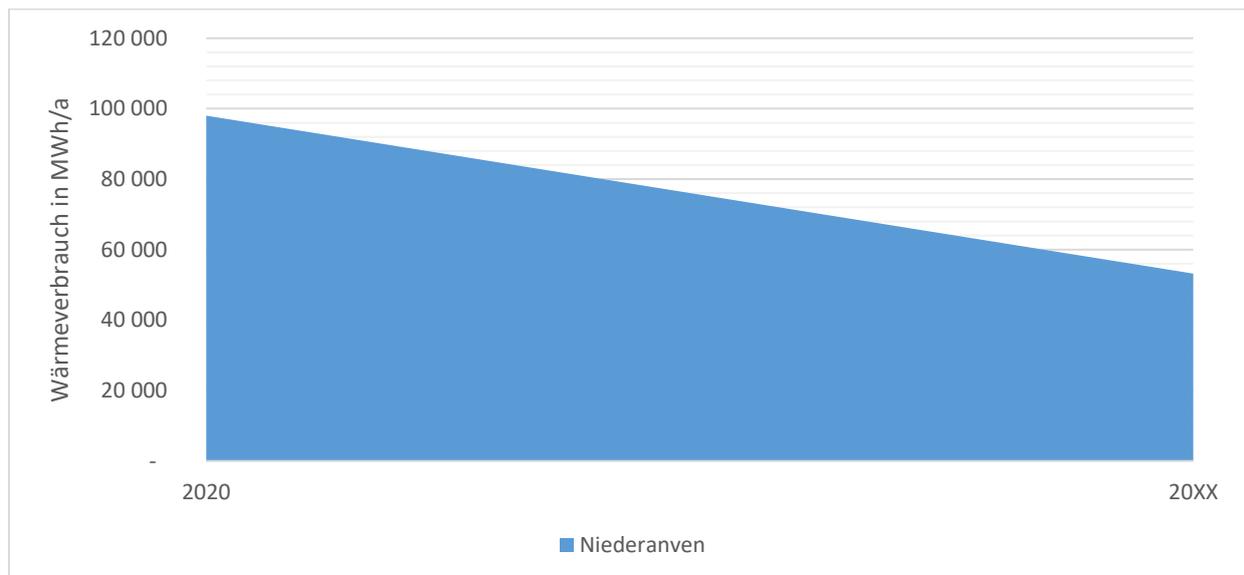


Abbildung 34: Entwicklungen des Wärmeverbrauchs der Haushalte nach Ortschaft

Betrachtet man das Einsparpotential nach Baujahr erkennt man, dass die Einsparpotentiale zwischen 0% und 75% variieren (Tabelle 20). In den Wohngebäuden, die vor 1940 errichtet wurden, sind die Einsparpotentiale am höchsten.

Tabelle 20: Energieeinsparpotentiale nach Sanierungsmaßnahme

POTENTIAL ZUR REDUZIERUNG DES HEIZWÄRMEBEDARFS					
Bauperiode	Aussenwand	Dach	Keller	Fenster	Total
<1940	30%	25%	6%	14%	75%
1941-1970	30%	20%	6%	12%	67%
1971-1980	15%	15%	6%	12%	47%
1981-1995	13%	11%	6%	5%	35%
1995-2006	7%	7%	5%	1%	20%
2007-2015	0%	0%	0%	0%	0%
2016-2021	0%	0%	0%	0%	0%
Total	19%	14%	6%	7%	46%

Das größte Einsparpotential liegt in der Verbesserung des Wärmeschutzes der Außenfassade. Die Fassade trägt aufgrund seiner großen Fläche zu einem großen Teil der Heizwärmeverluste eines Wohngebäudes bei. In den Wohngebäuden sind je nach Baujahr Wärmeeinsparungen durch den Einbau einer Dämmung oder eine Verbesserung der Dämmung der Außenfassade von bis zu 30% möglich. Die Dämmung der Fassade ist somit eine wichtige und effektive Sanierungsmaßnahme, die sich jedoch nur mit einem verhältnismäßig großen Aufwand bewerkstelligen lässt.

Neben der Fassade trägt das Dach zu einem erheblichen Teil an den Wärmeverlusten eines Wohngebäudes bei. Aus technischer Sicht kann jedes Dach wärmegeklämt werden. Alle Dächer müssen früher oder später erneuert werden, um das Gebäude kontinuierlich vor Witterungsschäden zu schützen. Steht die Sanierung eines Daches an, so sollte dieses im gleichen Schritt gedämmt werden, um die Wärmeverluste zu reduzieren.

Die Kellerdecke in bestehenden Wohngebäuden ist meist nicht oder nur mäßig gedämmt. Die Decken über unbeheizten Kellerräumen sind oft Schwachpunkte und können in der Energiebilanz eines Gebäudes einen beträchtlichen Anteil der Verluste ausmachen. Auf der Unterseite ebener Kellerdecken können Dämmplatten angebracht werden. Das Raumklima wird durch den wärmeren Fußboden erheblich verbessert, kalte Füße und Energiebedarf werden verringert. Mit handwerklichem Geschick kann die Maßnahme in Eigenleistung durchgeführt werden. Da die Gebäude nur von außen bewertet wurden, war es schwierig zu bewerten ob die Kellerdecke gedämmt ist. Um trotzdem die Wärmeeinsparungen abzuschätzen, wurden für die verschiedenen Alterskategorien theoretische Annahmen getroffen. Durch die Dämmung der Kellerdecke könnten knapp 6% der Wärme in den Privathaushalten der Gemeinde Niederanven eingespart werden.

Fenster sind in Altbauten oft energetische Schwachstellen. Die Fensterfläche ist das verhältnismäßig kleinste Bauteil eines Gebäudes, so dass die Energieeinsparungen gegenüber von anderen Bauteilen gering ausfallen. Das Einsparpotential bei den Fenstern liegt im Mittel bei 7% des ermittelten Wärmeverbrauchs. In den Gebäuden die vor 1940 errichtet wurden, besteht das größte Einsparpotential. In diesen Gebäuden sind oft noch Fenster mit Einfachverglasung und undichten Holzrahmen verbaut. Bei den Gebäuden die nach 1995 gebaut wurden bewirken das geringe Einsparpotential und der verhältnismäßig hohe Preis je m² ein niedriges PreisLeistungsverhältnis. Das hat zur Folge, dass sich die neuen Fenster nicht in ihrer Lebensdauer amortisieren. Sinnvoll ist der Fensteraustausch in diesen Fällen nur zur Verbesserung des Komforts und bei offensichtlichen Schäden der Fenster.

Neben der Reduzierung des Energieverbrauchs können die CO₂-Emissionen in den Wohngebäuden gesenkt werden. Unter der Annahme, dass Erdgas eingespart wird, könnten durch die Realisierung des gesamten Energiepotentials 11.035 t CO₂ Äq. eingespart werden (Tabelle 39).

Tabelle 21: Potentielle CO₂-Einsparungen durch die Umsetzung der Energieeinsparpotentiale in den Haushalten

EINSPARUNG ENDENERGIE					
Bauperiode	Aussenwand t CO ₂ Äq./a	Dach t CO ₂ Äq./a	Keller t CO ₂ Äq./a	Fenster t CO ₂ Äq./a	Gesamt t CO ₂ Äq./a
<1940	184	149	34	86	453
1941-1970	2 444	1 604	458	917	5 423
1971-1980	322	322	137	238	1 019
1981-1995	1 493	1 198	698	501	3 891
1995-2006	86	86	65	11	249
2007-2015	-	-	-	-	-
2016-2021	-	-	-	-	-
Gesamt	4 529	3 360	1 393	1 753	11 035

5.1.2 Potential zur Steigerung der Energieeffizienz der Stromversorgung in den Haushalten

In den Haushalten wurden 12.483 MWh Strom im Jahr 2020 verbraucht. Der Stromverbrauch in den Haushalten ist zwischen 2015 und 2020 um 6,4 % gestiegen. Die Bevölkerung ist innerhalb dieses Zeitraums um 8 % angestiegen (Statec, 2020). Diese Tendenz wird bei der Berechnung des spezifischen Verbrauchs pro Einwohner deutlich. Der Stromverbrauch in den Haushalten hat sich von 2.000 kWh/E.a in 2015 auf 1.977 kWh/E.a in 2020 reduziert, was einer Absenkung von 1,1% entspricht.

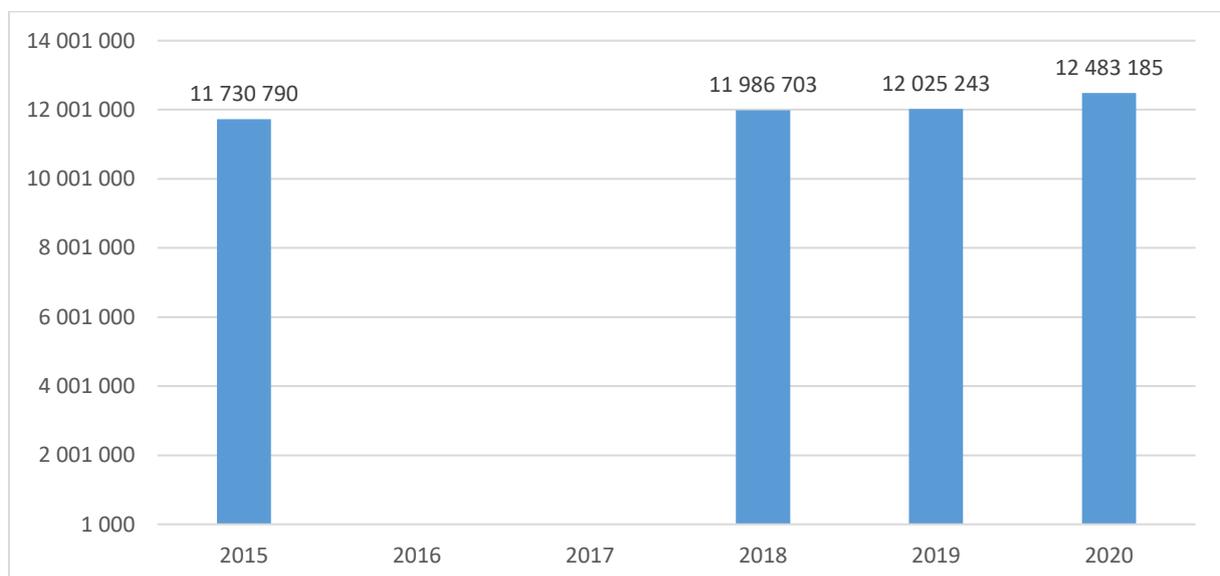


Abbildung 35: Vergleich des Stromverbrauchs in den Haushalten in der Gemeinde Niederranven zwischen 2015 und 2020 (Enovos).

Betrachtet man den gesamten Stromverbrauch, so machten die Haushalte 27 % des gesamten Stromverbrauchs in 2020 aus. Der Großteil des Stromverbrauchs ist auf die Gewerbe- und Industriebetriebe zurückzuführen. Da es schwieriger ist den Stromverbrauch in den Betrieben zu reduzieren, spielen die Haushalte eine wichtige Schlüsselrolle bei der Reduzierung des Stromverbrauchs auf dem Gemeindegebiet. Der spezifische Stromverbrauch pro Haushalt stellt somit ein wichtiger Indikator dar.

In den Haushalten gibt es viele Möglichkeiten, ohne große Investitionen den Stromverbrauch zu senken. Viele Elektrogeräte verbrauchen Strom, obwohl sie nicht benutzt werden, man spricht dabei von Leerlaufverlusten. Sie können bis zu 10% des Stromverbrauchs eines Haushaltes ausmachen und können verschiedene Ursachen haben. Gegen Energieverschwendung durch Leerlaufverluste hilft letztlich nur das Abschalten der betreffenden Geräte. Lassen sich die Geräte nicht ausschalten, stehen alternativ schaltbare Steckdosen und Steckdosenleisten oder Vorschaltgeräte mit Fernbedienung zur Verfügung.

Eine weitere Einsparmöglichkeit bietet der Austausch von alten Haushaltsgeräten durch modernere, die eine höhere Energieeffizienz aufweisen. Europaweit gibt es eine einheitliche Kennzeichnung (Label) für den Energieverbrauch von Haushaltsgeräten. Beim Neukauf von Geräten sollten energieeffiziente Geräte der Energieeffizienzklasse A, die auf die tatsächlichen Bedürfnisse der Nutzer angepasst sind, angeschafft werden. Bei Kühl- und Gefriergeräten lohnt sich oft sogar schon der vorzeitige Austausch. Der höhere Kaufpreis effizienter Geräte gleicht sich oft durch die niedrigeren Stromkosten aus. Geräte die älter als 10 Jahre sind sollten durch energieeffizientere Modelle ersetzt werden. Bei Spülmaschinen besteht die Möglichkeit, wenn das Gerät nicht vorzeitig ausgetauscht werden soll, den Stromverbrauch durch den Anschluss des Gerätes an die zentrale Warmwasserversorgung zu senken. Diese Maßnahme ist nur sinnvoll, wenn das Wasser nicht elektrisch aufgeheizt wird. Wäschetrockner verbrauchen besonders viel Strom. Wenn nicht auf einen Wäschetrockner verzichtet werden kann, sollte bei einer Neuanschaffung auf einen Wärmepumpentrockner der Effizienzklasse A zurückgegriffen werden. Sie sind zwar in der Anschaffung teurer, aber im Betrieb sparsamer als andere Geräte.

Ein weiterer großer stiller Stromverbraucher im Haushalt stellen die Umwälzpumpen des Heizungssystems dar. Die älteren Standardpumpen arbeiten mit konstanter Drehzahl und können sich nicht dem tatsächlichen Leistungsbedarf anpassen. Ein weiteres Problem ist, dass bei vielen Heizungssystemen die Pumpen falsch eingestellt oder überdimensioniert sind. Im Gegensatz zu den Standardpumpen, passen stromsparende Hocheffizienzpumpen ihre Leistung dem tatsächlichen Bedarf an (Leistungsregelung). Außerhalb der Heizperiode wird die Pumpe automatisch abgeschaltet. Seit 2005 werden neue Umwälzpumpen mit dem Energielabel gekennzeichnet. Im Januar 2013 wurde dieses Label durch einen Energie-Effizienz-Index *EEI* ersetzt. Diese Orientierungsgröße für den Stromverbrauch darf bei Umwälzpumpen maximal 0,27 betragen. Besonders energieeffiziente Geräte haben einen *EEI* kleiner als 0,20.

Eine weitere Möglichkeit den Stromverbrauch im Haushalt zu senken stellt der Austausch der alten Beleuchtung durch energieeffizientere Technik dar. Zu den energieeffizienten Lampen gehören Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit die Beleuchtung mit Bewegungsmeldern und Helligkeitssensoren auszustatten. Sie schalten das Licht aus, wenn über längere Zeit keine Bewegung im Raum stattgefunden hat oder regeln die Helligkeit in Abhängigkeit vom einfallenden Sonnenlicht.

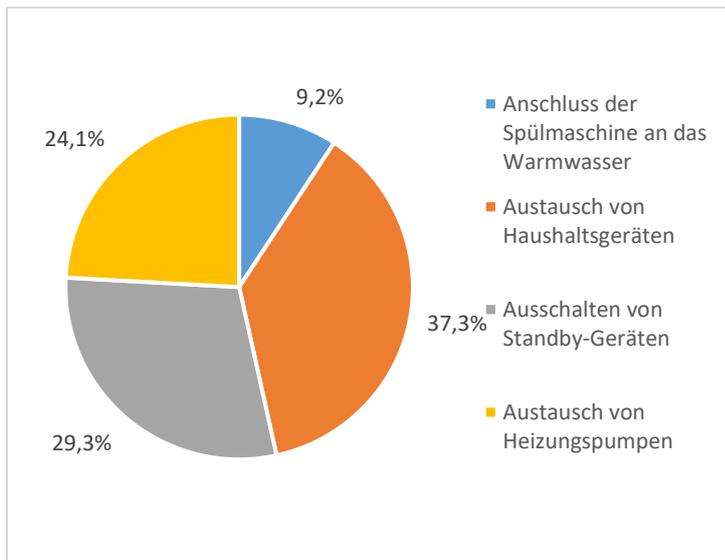


Abbildung 36: Stromeinsparmaßnahmen und Stromeinsparungen in den Privathaushalten

In dieser Studie wurde von einem Einsparpotential von durchschnittlich 10% des Stromverbrauchs von 2020 ausgegangen. Diese Annahmen basieren auf statistisch fundierten Erfahrungswerten aus Audits in Wohngebäuden von dem Stromlieferanten *EIDA*. In der Abbildung 36 ist die Verteilung des Stromeinsparpotentials nach Maßnahme dargestellt. Unter Berücksichtigung dieser Hypothese könnte in den Wohngebäuden 1.173 MWh/a Strom eingespart werden. Gleichzeitig könnte die CO₂-Bilanz um 282 t CO₂ Äq. entlastet werden.

5.2 Zusammenfassung des Potentials zur Steigerung der Energieeffizienz

5.2.1 Strom

In der Gemeinde Niederanven könnten insgesamt 1.300 MWh/a Strom eingespart werden. Der gesamte Stromverbrauch könnte gegenüber von 2020 um 2,8% gesenkt werden. Das größte Einsparpotential im Bereich Strom liegt bei der Steigerung der Energieeffizienz der Wohngebäude. Somit können bei den Haushalten in Summe 1.248 kWh eingespart werden. Unter Berücksichtigung dieser Annahme könnte der Stromverbrauch sich auf 45.782 MWh/a einpendeln (Abbildung 39). Das für die Gemeinde aktivierbare Potential zur Steigerung der Energieeffizienz im Stromverbrauch ist also stark limitiert.

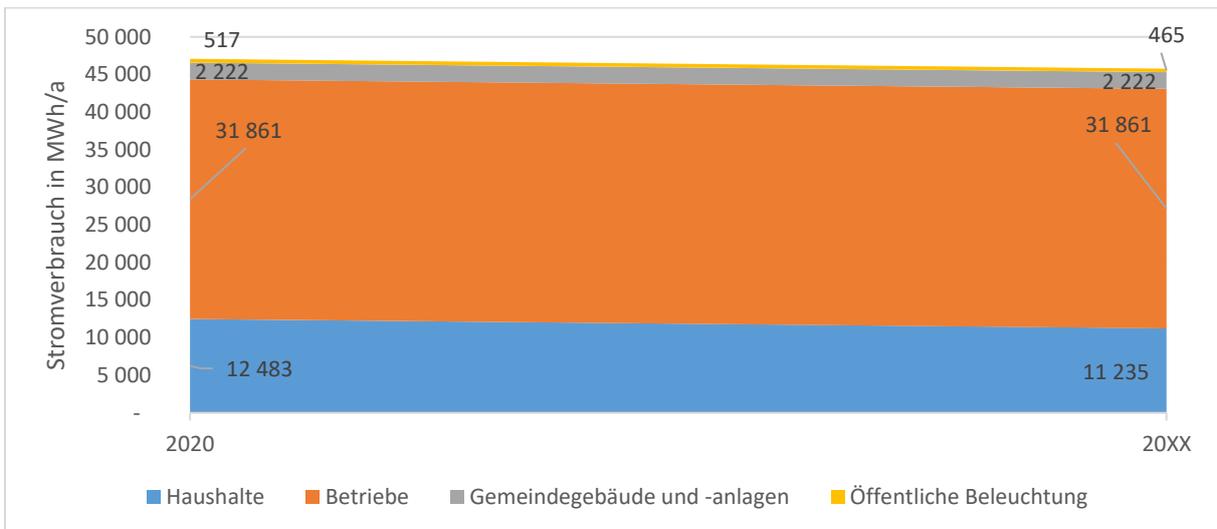


Abbildung 37: Potentials zur Senkung des Stromverbrauchs nach Sektor.

5.2.2 Wärme

In der Gemeinde Niederanven könnten insgesamt 44.856 MWh/a bei der Wärmeversorgung eingespart werden. Der Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung könnte gegenüber 2020 auf dem Gemeindegebiet um 35,3% gesenkt werden. Das größte Einsparpotential liegt ähnlich wie bei der Stromversorgung bei den Haushalten (Abbildung 38).

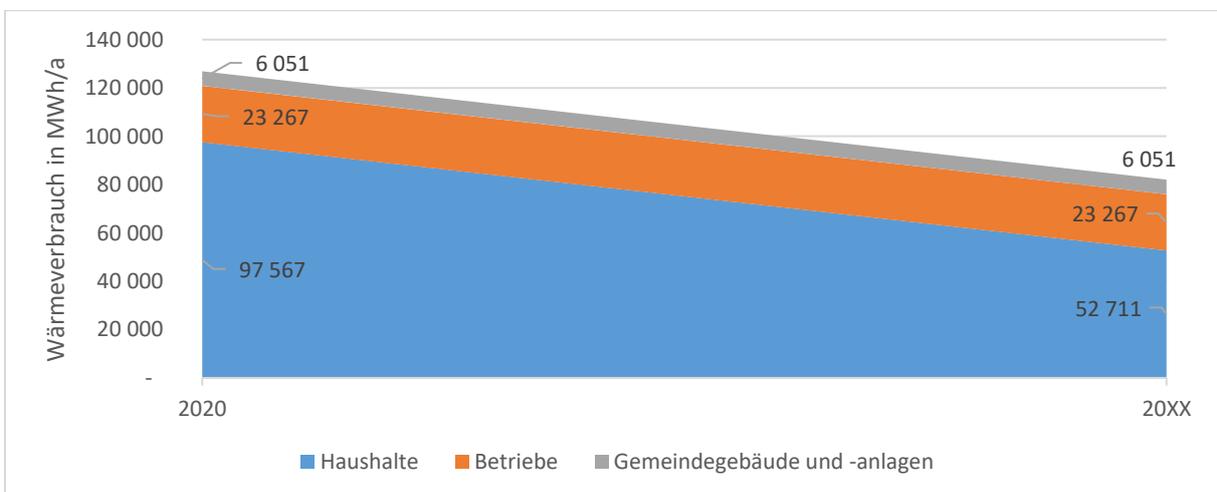


Abbildung 38: Einsparpotentiale nach Verbrauchergruppe bei der Wärmeversorgung

6 ENERGIEPLANUNG

Die ermittelten Energiepotentiale ermöglichen eine Energieplanung auf dem Gemeindegebiet. Es wurde eine Karte mit den Vorzugsgebieten für die Nutzung von erneuerbaren Energieträgern erstellt. Die bestehenden und potentiellen erneuerbaren Energieanlagen wurden kartiert. Neben den Produktionsanlagen wurden auch die Energieverbräuche der Gebäude eingetragen. Über die Auswahl der verschiedenen Layer können im Geoinformationssystem die verschiedenen Potentiale visualisiert werden (Abbildung 39). Die Energieplanung erlaubt es, bei der Planung von neuen Projekten, Synergien zwischen verschiedenen Akteuren in der Gemeinde zu schaffen und Energiepotentiale möglichst effizient zu nutzen.

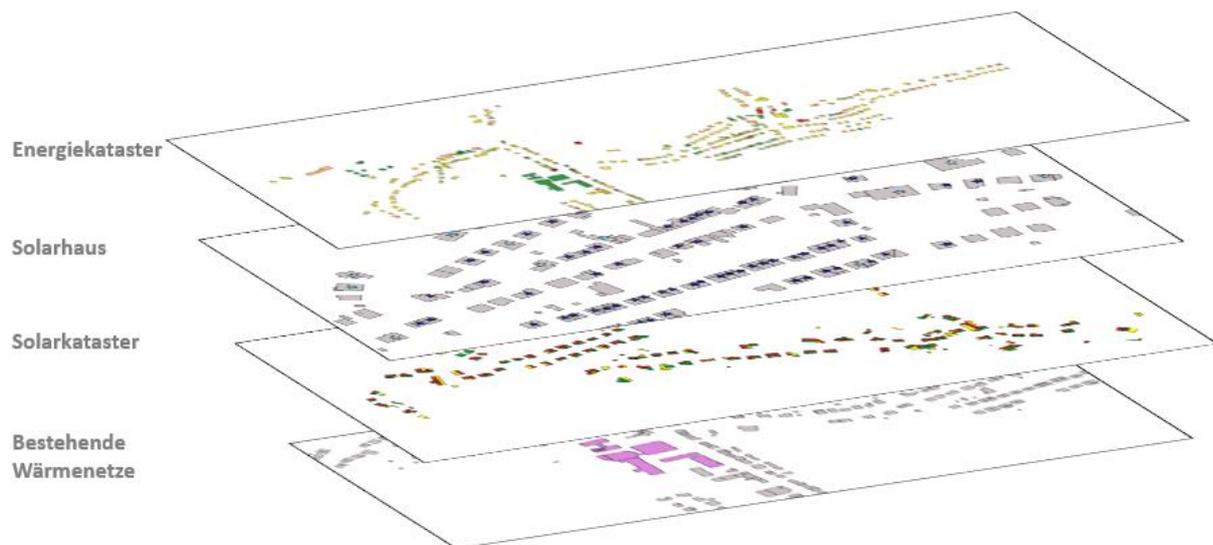


Abbildung 39: Energieplanung der Gemeinde Niederranven

Es besteht z.B. die Möglichkeit über die vorhandene Kartierung, selektiv vorzugehen und gezielt das Solarpotential für ein bestimmtes Gebiet zu erschließen. Das Geoinformationssystem kann ebenfalls als Basis genutzt werden zur Planung eines neuen Wärmenetzes. Des Weiteren kann die Gemeinde bei einer regelmäßigen Aktualisierung der bestehenden Karte den Fortschritt der Energieplanung und dessen Umsetzung verfolgen und visualisieren.

7 ZIELSETZUNGEN DER GEMEINDE

Die Gemeinde könnte in ihrem neuen Leitbild folgende Ziele bis 2030 festlegen:

- Den Stromverbrauch um 2% und den Wärmeverbrauch um 8% gegenüber dem Referenzjahr 2020 reduzieren indem unter anderem 25% des Energieeinsparpotentials aktiviert wird. Auf kommunaler Ebene wird keine neue Zielsetzung formuliert, da keine Besichtigung der Gemeindegebäude unternommen wurde und daher das Potential auf keiner ausreichenden Grundlage abgeschätzt werden kann. Außerdem wurde in den Gemeindegebäuden bereits ein großer Anteil an Wärme (ca. 12%) und Strom (ca. 21%) gegenüber 2015 eingespart. Daraus lässt sich schließen, dass bereits mehrere energetische Sanierungsmaßnahmen in diesem Zeitraum umgesetzt wurden und weiteres Einsparpotential limitiert ist.
- Neben den Anstrengungen im Energiesparbereich soll durch die sukzessive Umsetzung des Biomassepotentials und des Solarenergiepotentials, sowie der Erneuerung des Blockheizkraftwerks „Am Sand“ ein Deckungsgrad von 10% des Stromverbrauchs und von 12% des Wärmeverbrauchs erreicht werden.
- Der CO₂-Ausstoß soll bis 2030 um mindestens 14% gegenüber der Ausgangssituation reduziert werden. Der Umstieg der Stromversorgung auf erneuerbare Energien und die Ausnutzung von Energieeinsparpotentials soll einen entscheidenden Beitrag zum Erreichen dieser Einsparziele beitragen.

8 UMSETZUNGSSZENARIEN UND BEWERTUNG DER ZIELSETZUNGEN

8.1 Annahmen

Für die Simulation der Entwicklung des Energieverbrauchs und der Nutzung von erneuerbaren Energien wurden zwei Szenarien untersucht. Als Zeitrahmen wurde beide Male 10 Jahre festgelegt.

Folgende Annahmen wurden für **das erste Szenario** in den verschiedenen Bereichen angenommen:

Biomasse

- Das restliche Biogaspotential in der Landwirtschaft soll durch den Bau einer Biogasanlage oder durch die Lieferung der Biomassen in eine bereits bestehende Biogasanlage bis 2030 zur Hälfte ausgeschöpft werden.
- Neben dem Biogaspotential in der Landwirtschaft soll die Verwertung des Biomülls in der Biogasanlage kontinuierlich gesteigert werden bis 2030.
- Der Anteil an Klärschlamm, der in der Gemeinde anfällt soll durch anaerobe Behandlung zu Klärgas umgewandelt werden und vor Ort in einem BHKW verstromt werden.
- Energetische Nutzung des Landschaftspflegeholz und des Schwachholzpotentials in einer Holzverbrennungsanlage.
- Die Nutzung von Pellets in dem Bestand soll sukzessive ausgebaut werden. Es wird angenommen, dass bis zu 15% des aktuellen Heizölverbrauchs in den Haushalten bis 2030 durch diesen Energieträger verdrängt werden kann.

Solarenergie

- Die Hälfte des realisierbaren Solarpotentials soll kontinuierlich bis 2030 umgesetzt werden. Es soll insbesondere ein Schwerpunkt auf den Ausbau der solaren Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen gelegt werden.

Steigerung der Energieeffizienz

- In den Haushalten sollen 40% des Energieeinsparpotentiale in den Bereichen Strom und Wärme bis 2030 umgesetzt werden.
- Durch die Umrüstung der Straßenbeleuchtung auf energieeffiziente Leuchtmittel soll bis 2030 10% Strom im Bereich der Straßenbeleuchtung eingespart werden.
- Bei Heizungssanierungen soll auf erneuerbare Energien (Wärmepumpe mit PV oder solarthermischer Unterstützung) in Kombination mit entsprechenden energetischen Sanierungen und bei den Altbauten ohne Sanierung auf Erdgas mit Brennwerttechnik gesetzt werden. Es wurde angenommen, dass bis 2030 bis zu 30% des aktuellen Heizölverbrauchs in den Haushalten durch Erdgas verdrängt wird.
- Um die Energiebilanz nicht weiter zu belasten sollen die Neubaugebiete möglichst energieeffizient und -autark geplant werden. Konzepte mit einer Versorgung über Wärmenetze zeigen aktuell großes Potential für einen umweltfreundlichen und wirtschaftlichen Betrieb in Neubaugebieten.

Im **zweiten Szenario** wurden ähnliche Annahmen wie im zweiten Szenario getroffen. Das zweite Szenario wurde defensiver als das erste angesetzt. Folgende Annahmen wurden gegenüber dem Szenario 1 geändert.

Biomasse

- Die Nutzung von Pellets in dem Bestand soll ähnlich wie im Szenario bis 2030 ausgebaut werden. Es sollen bis zu 5% des aktuellen Heizölverbrauchs in den Haushalten verdrängt werden.

Solarenergie

- Ein Viertel des realisierbaren Solarpotentials soll kontinuierlich bis 2030 umgesetzt werden. Es soll insbesondere ein Schwerpunkt auf den Ausbau der solaren Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen gelegt werden.

Steigerung der Energieeffizienz

- Bei Heizungssanierungen soll auf erneuerbare Energien (Wärmepumpe mit PV oder solarthermischer Unterstützung) in Kombination mit entsprechenden energetischen Sanierungen und bei den Altbauten ohne Sanierung auf Erdgas mit Brennwerttechnik gesetzt werden. Es wurde angenommen, dass bis 2030 bis zu 15% des aktuellen Heizölverbrauchs in den Haushalten durch Erdgas verdrängt wird.
- Um die Energiebilanz nicht weiter zu belasten sollen die Neubaugebiete möglichst energieeffizient und -autark geplant werden. Konzepte mit einer Versorgung über Wärmenetze zeigen aktuell großes Potential für einen umweltfreundlichen und wirtschaftlichen Betrieb in Neubaugebieten.

Auf Basis dieser Annahmen wurden die Auswirkungen dieser Szenarien auf die Energiebilanzen und CO₂-Emissionen der Gemeinde untersucht. Parallel wurden die von der Gemeinde festgelegten Zielsetzungen bewertet.

8.1.1 Stromversorgung

Durch die Umsetzung der Energiepotentiale könnte in dem ersten Szenario die Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen bis 2030 auf 17.334 MWh/a ansteigen. Im zweiten Szenario könnte eine Stromproduktion aus erneuerbaren Energien von 9.610 MWh/a bis 2030 erreicht werden. In den beiden Szenarien spielt die kontinuierliche Umsetzung des Solarpotentials eine tragende Rolle. Geht man davon aus, dass ein gewisser Anteil der Anlagen aus statischen Gründen, sowie durch Engpässe bei der Stromnetzkapazität nicht realisiert werden kann, so lässt sich trotzdem erkennen, dass der Solarstrom eine Schlüsselrolle bei der zukünftigen Stromversorgung und gegeben falls Wärmeversorgung in der Gemeinde spielen könnte. Neben der Solarenergie könnte das Biogaspotential die Energiebilanz der Gemeinde positiv beeinflussen. Durch den Bau einer Biogasanlage könnten 396 MWh/a Strom produziert werden. Die energetische Verwertung des Klärgases trägt nur einen geringen Beitrag zur Stromproduktion bei.

Durch die Steigerung der Energieeffizienz in den Haushalten und in der Straßenbeleuchtung könnte der Stromverbrauch von 2020 im ersten Szenario um 1,2% bis 2030 gesenkt werden. Der Stromverbrauch würde ein Niveau von 46.531 MWh/a erreichen. Bei einer geringen Umsetzung der Einsparpotentiale, wie im zweiten Szenario angenommen, könnte bis 2030 der Stromverbrauch um 0,8% gesenkt werden. Die Anstrengungen in den Haushalten und bei der Gemeinde reichen somit nicht aus, um die vorgeschlagenen Zielsetzungen zu erreichen. Nur mit Hilfe eines Rückgangs des Stromverbrauchs in den Betrieben könnten die Ziele erreicht werden.

In der Abbildung 41 und Abbildung 42 wurden die Entwicklung der erneuerbaren Stromproduktion sowie des Stromverbrauchs bis 2030 für beide Szenarien anhand eines linearen Verlaufs projiziert.

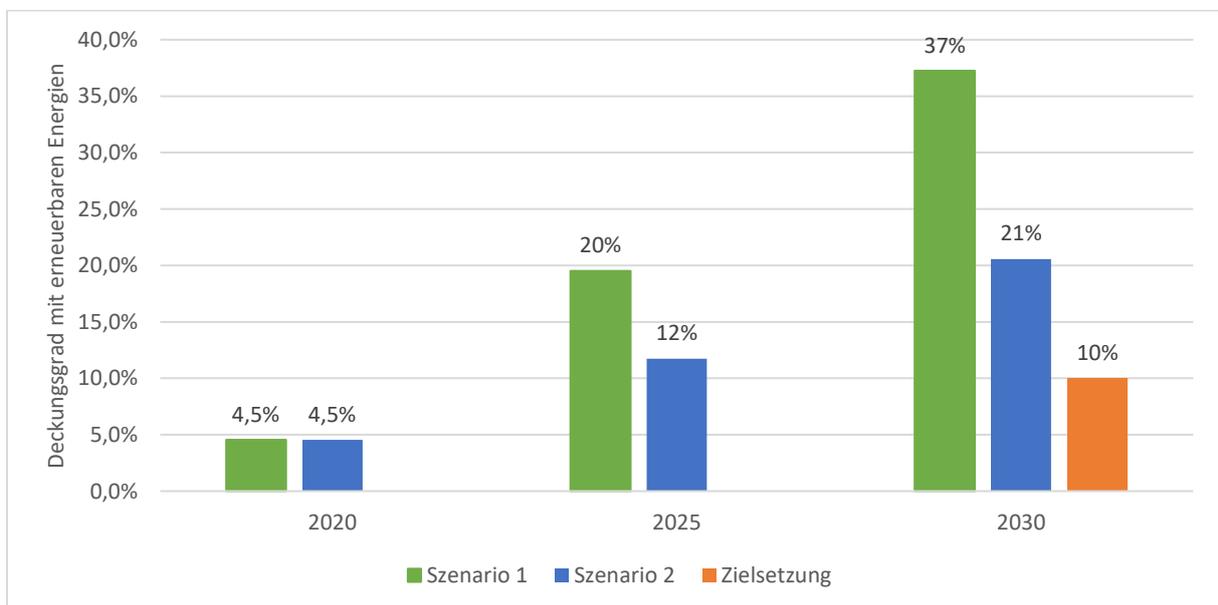


Abbildung 40: Vergleich des Deckungsgrades des Stromverbrauchs von 2020 mit erneuerbaren Energien in 2025 und 2030 für die Szenarien 1 und 2.

Durch den Ausbau der lokalen Stromproduktion sowie die Steigerung der Energieeffizienz im Bestand könnte in 2030 ein Deckungsgrad mit erneuerbaren Energien von 37% des Stromverbrauchs im ersten Szenario und von 21% im zweiten Szenario erreicht werden (Abbildung 40). Die Zielsetzung der Gemeinde eine Deckung von 10% des Stromverbrauchs bis 2020 zu erreichen können somit mit beiden Szenarien erreicht werden.

Mit dem Szenario 1 können die nationale Zielsetzung eines Deckungsgrads von 25% erneuerbaren Energien sowie die europäische Zielsetzung (32%) erreicht werden. Das Szenario 2 schafft es nicht, diese Zielsetzung einzuhalten.

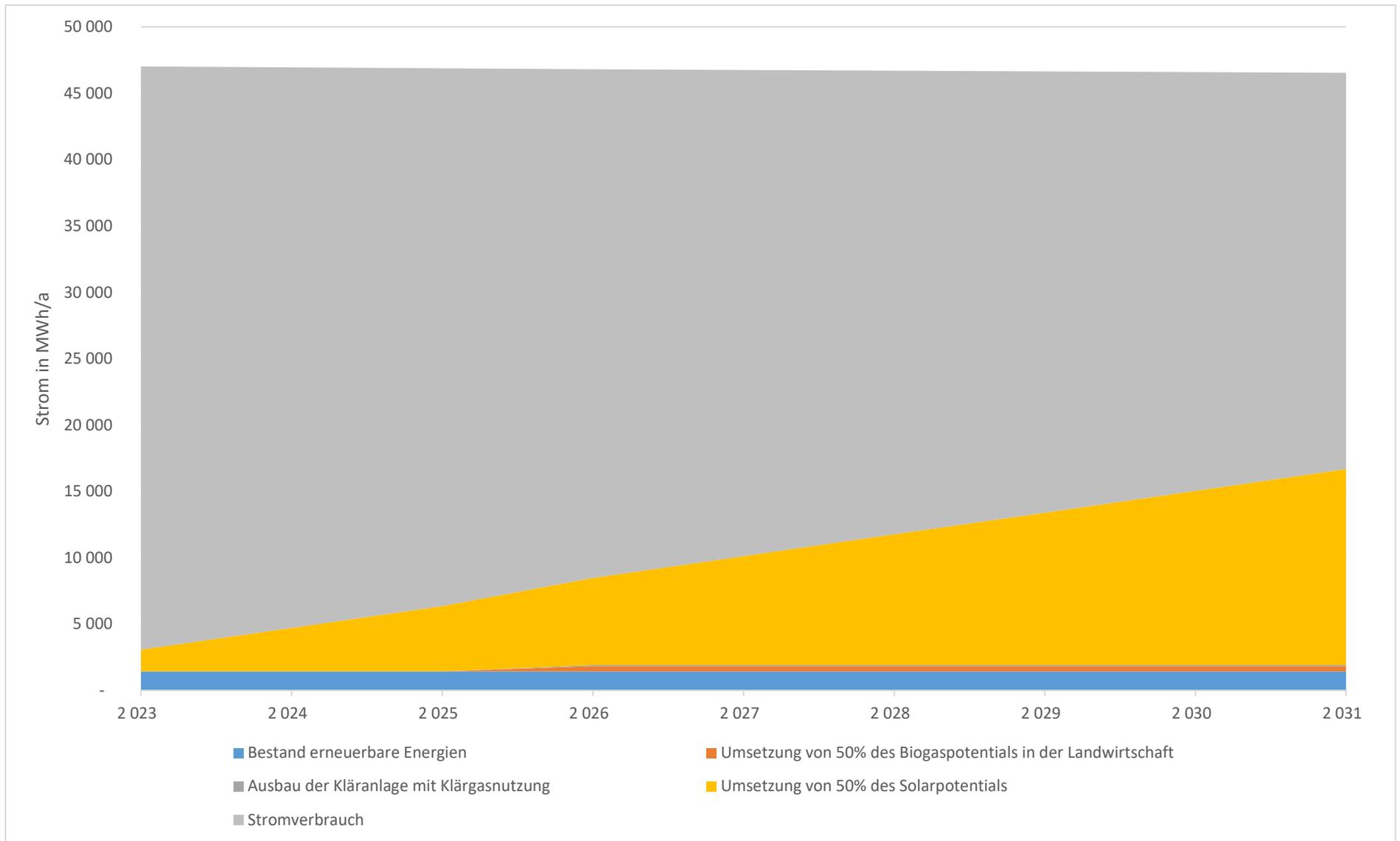


Abbildung 41: Entwicklung des Stromverbrauchs und der erneuerbaren Stromproduktion im Szenario 1.

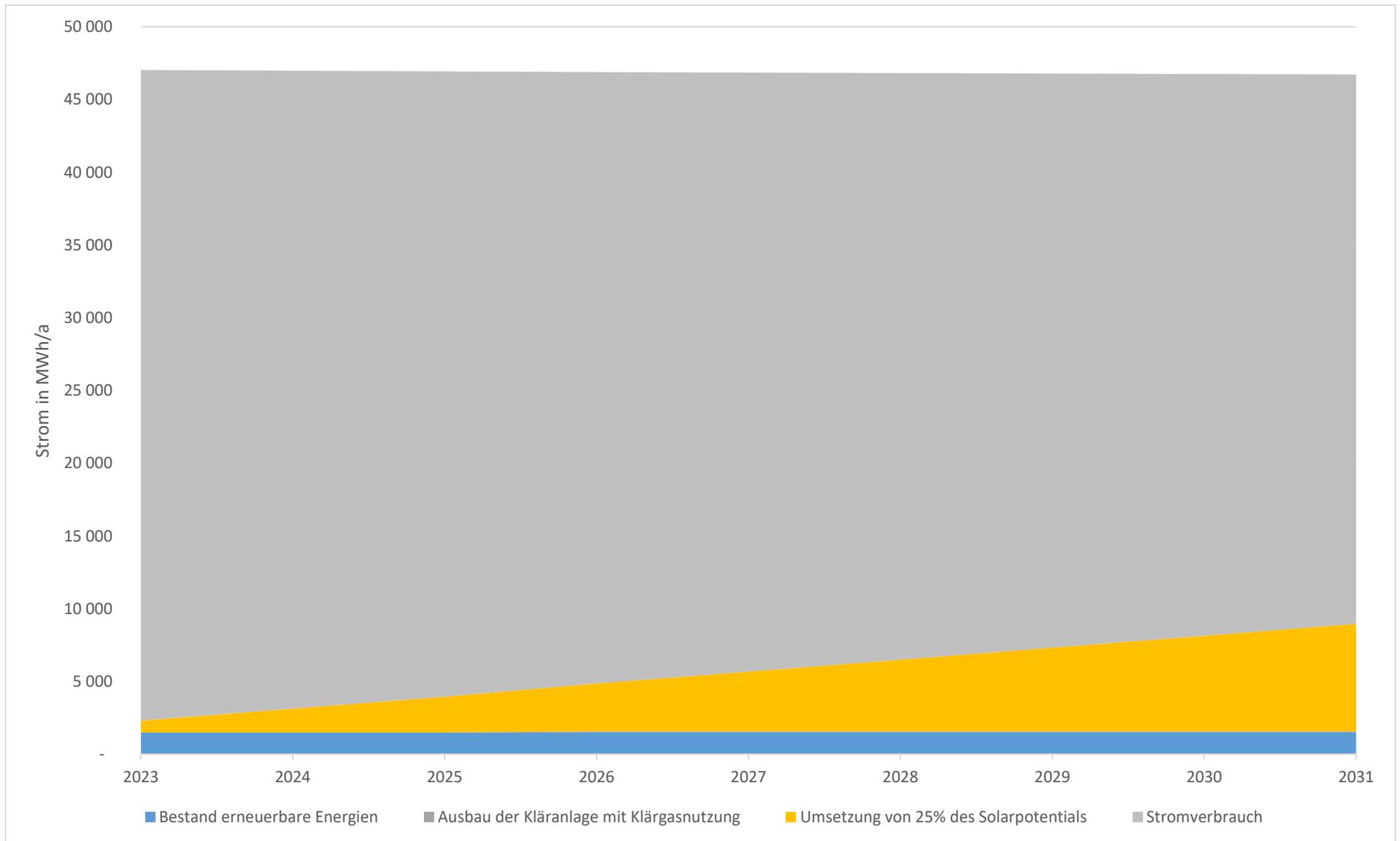


Abbildung 42: Entwicklung des Stromverbrauchs und der erneuerbaren Stromproduktion im Szenario 2.

8.1.2 Wärmeversorgung

Bei der Wärmeversorgung könnte durch Aktivierung der Energiepotentiale des Wärmeverbrauchs aus erneuerbaren Energieträgern zu Lasten des fossilen Wärmeverbrauchs bis 2030 auf 15.983 MWh/a im ersten Szenario ausgebaut werden. Im zweiten Szenario ist nur ein Ausbau auf 9.263 MWh/a möglich. In beiden Szenarien spielt der sukzessive Umstieg von Heizöl auf Pellets in den privaten Haushalten eine wichtige Rolle. Eine weitere Schlüsselrolle spielen der Ausbau der Solarthermie. Beide Technologien lassen sich bei einer Heizungssanierung auch gut kombinieren.

Neben dem Ausbau des Anteils an erneuerbaren Energieträgern im Wärmemix könnten durch die Umsetzung der im Energiekataster identifizierten Energieeinsparpotentiale der Wärmeverbrauch bis 2030 um 35% reduziert werden. Da eine vollständige Sanierung sämtlicher Haushalte unrealistisch ist, wurde analog zum Stromverbrauch eine Umsetzung von 40% in Szenario 1 und 25% in Szenario 2 des Einsparungspotentials angenommen. Der angenommene Sanierungsplan der Gemeindegebäude wird nicht durchgeführt, daher wurde kein Einsparpotential in den kommunalen Gebäuden berechnet. Allerdings wurde in 2020 gegenüber der Ausgangssituation 2015 bereits eine große Einsparung des spezifischen Wärmeverbrauchs erzielt (*siehe Kapitel 2.3.2.2*).

Im Szenario 1 kann der Wärmeverbrauch rund um 14% und im Szenario 2 rund 9% gegenüber der Ausgangslage gesenkt werden. Eine wichtige Schlüsselrolle beim Erreichen der Zielsetzungen spielen die Haushalte. Die Resultate des Energiekatasters zeigen das nicht unerhebliche Einsparpotential bei dieser Verbrauchergruppe.

In der Abbildung 44 und der Abbildung 45 sind die angenommene Entwicklung der erneuerbaren Energien und der Rückgang des Energieverbrauchs bis 2030 dargestellt.

Durch den Rückgang des Verbrauchs und den gleichzeitigen Ausbau der erneuerbaren Energien könnte ein Deckungsgrad von 15% im Szenario 1 und von 8% im Szenario 2 bis 2030 mit regenerativen Energieträgern erreicht werden (Abbildung 43). Betrachtet man den Zeitraum bis 2030 könnten bis 2020 die Zielsetzungen der Gemeinde mit beiden Szenarien erreicht werden.

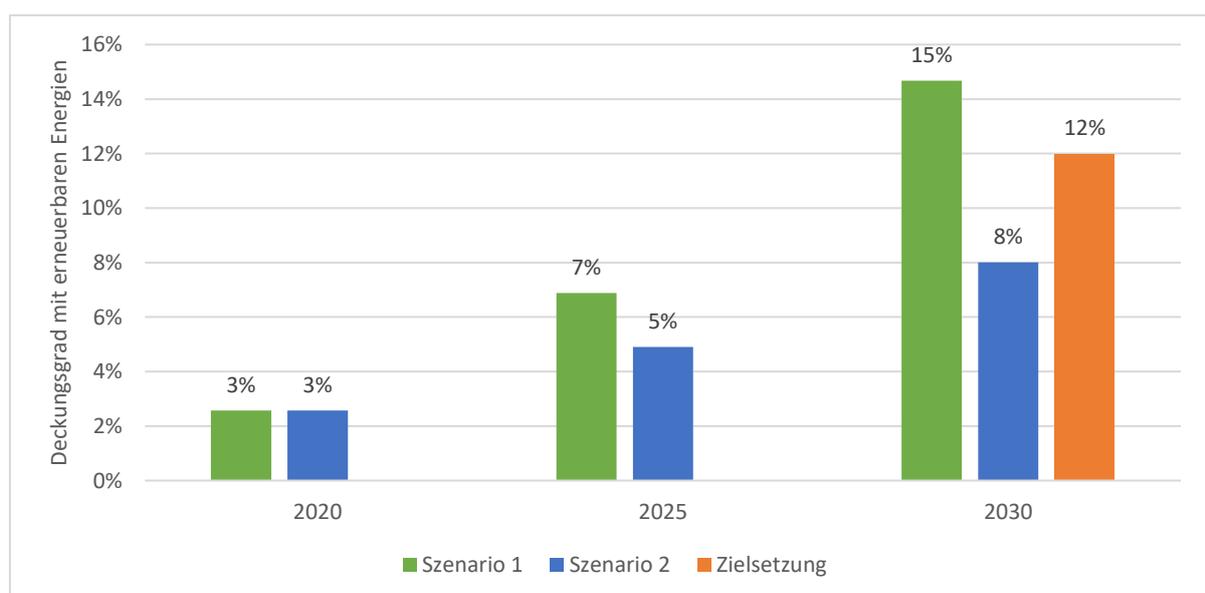


Abbildung 43: Vergleich des Deckungsgrades des Wärmeverbrauchs von 2015 mit erneuerbaren Energien in 2020 und 2025 für die Szenarien 1 und 2.

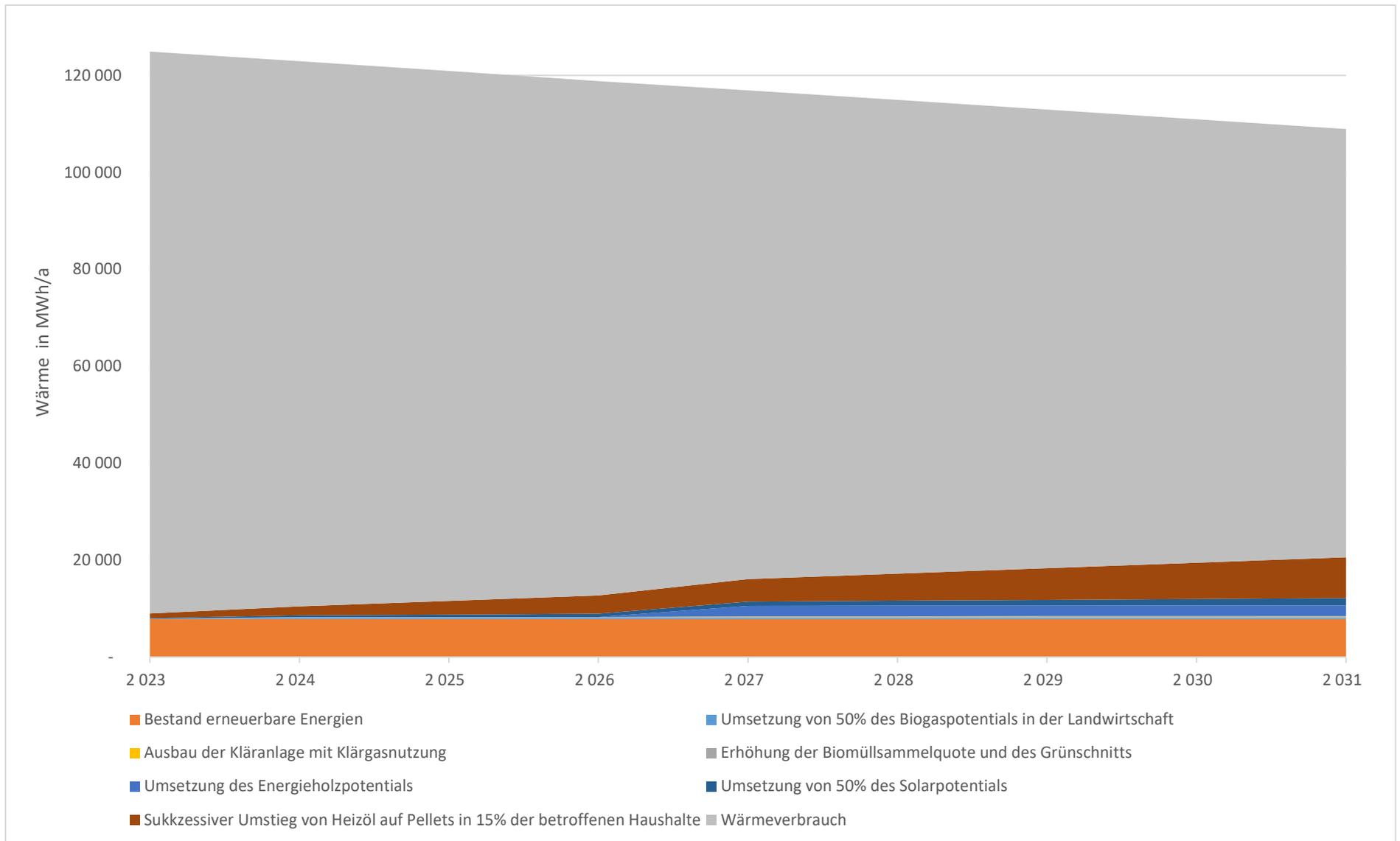


Abbildung 44: Entwicklung des Wärmeverbrauchs und der erneuerbaren Energieträger im Szenario 1

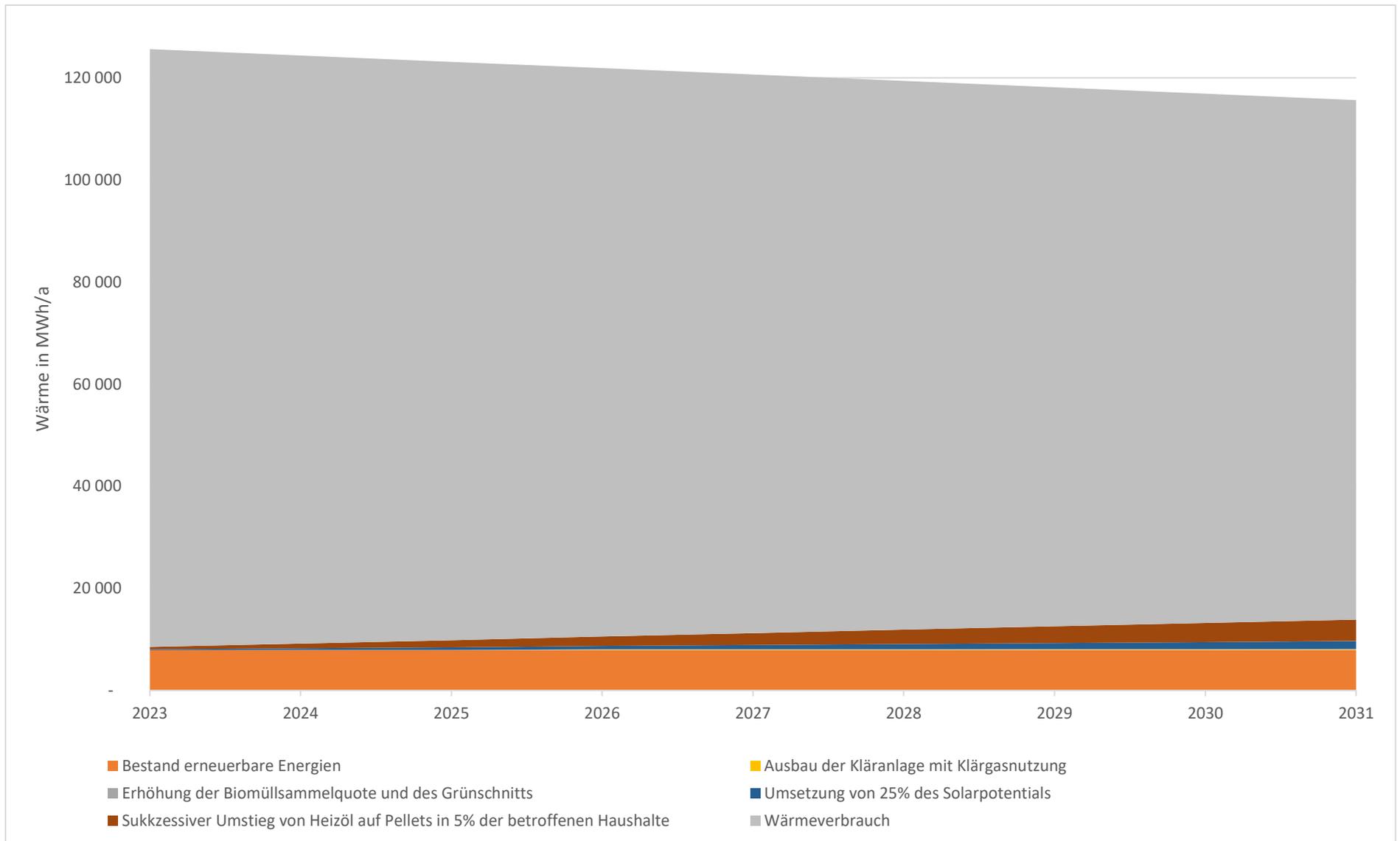


Abbildung 45: Entwicklung des Wärmeverbrauchs und der erneuerbaren Energieträger im Szenario 2

8.1.3 CO₂-Bilanz

Durch den Rückgang des Energieverbrauchs und den Ausbau der erneuerbaren Energien könnte im ersten Szenario die CO₂-Emissionen um 43% und im zweiten Szenario um 17% bis 2030 gesenkt werden (Abbildung 46).

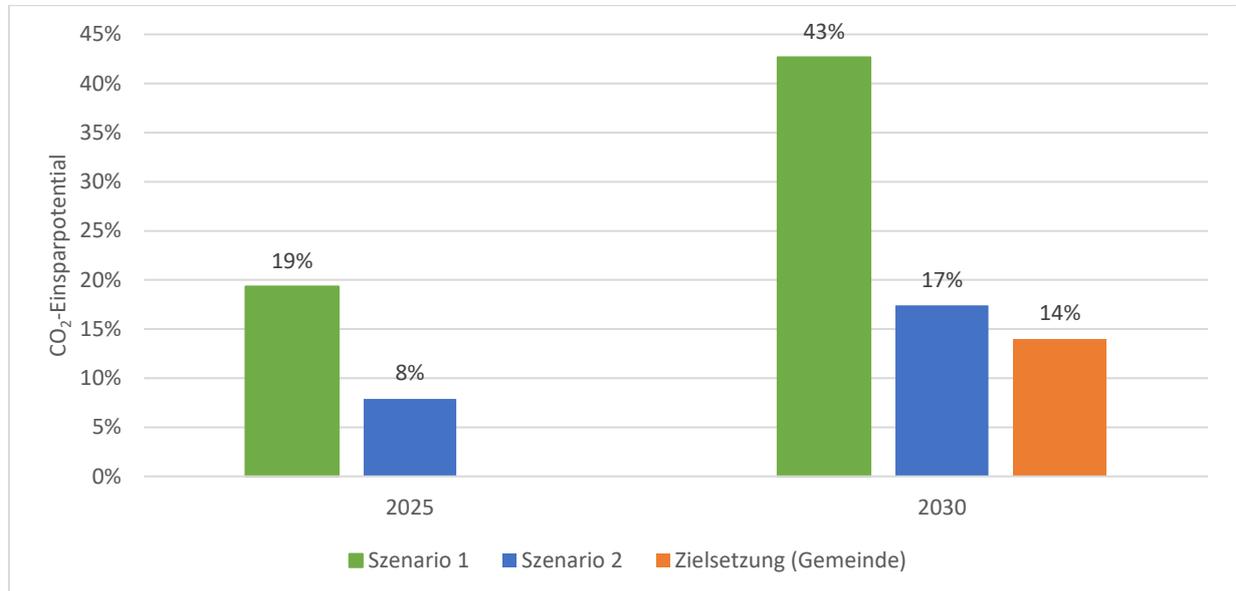


Abbildung 46: Vergleich des CO₂-Minderung gegenüber 2014 in 2014, 2020 und 2025 für die Szenarien 1 und 2 mit/ohne den Windpark

Die Zielsetzungen der Gemeinde, die CO₂-Emissionen um 14% gegenüber 2020 zu erreichen kann somit mit beiden Szenarien erreicht werden.

LITERATURVERZEICHNIS

Administration de l'Environnement (2010): Restabfallanalyse 2009/10 im Großherzogtum Luxemburg, Abfallwirtschaft im Großherzogtum Luxemburg, Band 2, Anhang, Luxemburg;
http://www.environnement.public.lu/dechets/statistiques_indicateurs/anal_dech_ultimes_2009_10_annexe1.pdf

Administration de l'Environnement (2010): Rohstoff Abfall-Vorkommen und Erschließung in Luxemburg; http://www.environnement.public.lu/dechets/publications/Abfall_Rohstoffquelle_D/Abfall_PDF_D.pdf

Administration de l'Environnement (2012): Daten zur Abfallwirtschaft im Großherzogtum Luxemburg 2012, Hausmüll und hausmüllähnliche Abfälle, Luxemburger Abfallwirtschaftsdatenbank, Luxemburg;
http://www.environnement.public.lu/dechets/statistiques_indicateurs/LUXUS_Daten_2012.pdf

Creos (2015): Données de consommation de gaz naturel, Commune de Niederanven 2013 bis 2015

Enovos (2020): Données de consommation de gaz naturel, Commune de Niederanven 2013 bis 2015

Enovos (2020) Bilan énergétique communal Niederanven 2020 Version 1.0.

Hartmann H. (2001): Grundlagen der Feststoffverbrennung: Brennstoffzusammensetzung und Eigenschaften. In: Kaltschmitt, M., Hartmann H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse, Berlin Heidelberg, S. 248-272.

Imhoff K. & Imhoff K. R. (1993): Taschenbuch der Stadtentwässerung, 28. verbesserte Auflage, Oldenbourg Verlag, München

Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (2007): Anhang 3 und Anhang 4 des 2. Zwischenberichtes für das Projekt, Regionale Strategie zur nachhaltigen Umsetzung der Biomasse-Nutzung (RUBIN) im Rahmen des Interreg III A Programm De Lux, Birkenfeld

Institut Luxembourgeois de Régulation (2014): Mix national et son impact environnemental pour l'année 2014, Luxembourg

Institut Luxembourgeois de Régulation (2010): Règlement E10/23/ILR du 21 septembre 2010 concernant la détermination de la composition et de l'impact environnemental de l'électricité fournie - Secteur Electricité.

Règlement grand-ducal du 9 juin 2021 concernant la performance énergétique des bâtiments.

Institut Luxembourgeois de Régulation (2019): Règlement ILR/E20/30 du 10 juillet 2020 portant fixation des valeurs par défaut de l'impact environnemental.

KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.) (2007): Faustzahlen Biogas, Darmstadt

MECDD (*Ministère de l'environnement, du climat et du développement durable*) (2020): Liste des installations subventionnées, Commune de Niederanven

Ministère de l'Economie et du Commerce extérieur (2010): Luxemburger Aktionsplan für erneuerbare Energien, Luxemburg, URL:

http://www.eco.public.lu/documentation/rapports/Luxemburger_Aktionsplan_f__r_erneuerbare_Energie.pdf

MECDD (*Ministère de l'environnement, du climat et du développement durable*) (2012): Jahresbericht der Kläranlagen-spezifischen Abfälle, Berichtsjahr 2014, Luxemburg.

http://www.environnement.public.lu/dechets/statistiques_indicateurs/boues_d_epuration_2015.pdf

Service d'économie rurale (2013): Produzierte Mengen Marktfrucht- und Futterbau, Luxemburg

Statec (*Institut national de la statistique et des études économiques du Grand-Duché du Luxembourg*) (2020): Population par canton et commune 1821 – 2021, Luxemburg

Statec (*Institut national de la statistique et des études économiques du Grand-Duché du Luxembourg*) (1995): Superficie forestière par canton et commune 1995.

AEV (*Administration de l'environnement*) (2014): Restabfallanalyse 2013/2014 im Großherzogtum Luxemburg, Band 2, Ausgewählte Resultate für die abfallwirtschaftliche Praxis, Esch-sur-Alzette

AEV (*Administration de l'environnement*) (2015): Jahresbericht der Kläranlagenspezifischen Abfälle Berichtsjahr 2015, Esch-sur-Alzette

AEV (*Administration de l'environnement*) (2016): Daten zur Abfallwirtschaft im Großherzogtum Luxemburg 2014, Hausmüll und hausmüllähnliche Abfälle, Esch-sur-Alzette

ANF (*Administration de la nature et des forêts*) (2014): La forêt luxembourgeoise en chiffres, résultat de l'inventaire forestier national au Grand-duché du Luxembourg 2009-2011, Luxemburg

FNR (*Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe*) (2015): Heizen mit Stroh, Wertschöpfung für Landwirtschaft und Kommunen, 1. Auflage, Gülzow-Prüzen

FSC Luxemburg a.s.b.l. (1996): FSC-Standard für Luxemburg, Luxemburg

Fsh-ISI (*Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung*) (2007): Bestimmung der Potenziale und Ausarbeitung von Strategien zur verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energien in Luxemburg, Karlsruhe

Köhl M. & Plugge D. (2016): Forstwirtschaftlich produzierte Biomasse. In: Kaltschmitt M., Hartmann H., Hofbauer H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 125-166

KTBL (*Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.*) (2013): Faustzahlen Biogas, 3. Ausgabe, Darmstadt

KTBL (*Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.*) (2006): Energiepflanzen, Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus, Darmstadt

LFL Bayern (*Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft*) (2016): Biogasausbeuten verschiedener Substrate, Fresing

MECDD (*Ministère de l'environnement, du climat et du développement durable*) (2017): Kostenlose Zwischenlösung für die Verwertung von größeren Mengen an Grünschnitt.

Statec (*Institut national de la statistique et des études économiques du Grand-Duché du Luxembourg*) (2007): Viehzählung, provisorische Resultate

Thrän D., Arendt O., Adwiraah H. & Kaltschmitt M. (2016): Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle. In: Kaltschmitt M., Hartmann H., Hofbauer H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 273-324