

Kommunales Energiekonzept Boulaide

Redaktion

Julian Heinze

Umweltberater

Tel. +352 40 65 64 – 36

julian.heinze@energieagence.lu

22.04.2024

Inhalt

1.	Anlass & Zielsetzung	3
2.	Beschreibung & Bestandsaufnahme	5
2.1.	Stromverbrauch & Stromerzeugung	6
3.	Nutzung & Erzeugung regenerativer Energien	8
3.1.	Photovoltaik	8
3.1.1.	Aktuelle Produktion	8
3.1.2.	Potential	9
3.1.3.	Ausbauszenarien	12
3.2.	Solarthermie	15
3.3.	Biomasse	15
3.3.1.	Aktuelle Produktion	16
3.3.2.	Potential	16
3.4.	Geothermie	17
3.4.1.	Potential	19
4.	Renovierung Gebäudebestand & öffentliche Beleuchtung	21
4.1.	Wohngebäude	21
4.1.1.	Ausgangssituation	21
4.1.2.	Renovierungspotential & Ausbauszenarien	23
4.2.	Öffentliche Beleuchtung	25
5.	Energetische Bilanzierung	27
6.	Auswertung	32
6.1.	Ausbauziele	32
6.2.	Fazit	32
	Quellenverzeichnis	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtskarte Gemeinde Boulaide (Daten: Geoportail.lu & OpenStreetMap)	5
Abbildung 2: Bevölkerungswachstum Gemeinde Boulaide (Daten: Statec)	5
Abbildung 3: Stromverbrauchsdaten Gemeinde Boulaide (Daten: Creos Luxembourg s.a.)	6
Abbildung 4: Gegenüberstellung Stromverbrauch & -produktion Gemeinde Boulaide (Daten: Creos Luxembourg s.a.)	7
Abbildung 5: Strom-Autarkiegrad Gemeinde Boulaide	7
Abbildung 6: Entwicklung installierte PV-Gesamtleistung Gemeinde Boulaide (Daten: ILR)	9
Abbildung 7: Nationale Förderanträge für PV-Anlagen im Gemeindegebiet Boulaide (Daten: Data.public.lu)	10
Abbildung 8: Rechnerisch realisierbare PV-Leistung Ortszentrum Boulaide (Schraffiert: Nicht-Wohngebäude)	11
Abbildung 9: Verteilung realisierbare PV-Leistung auf Baujahr Bauwerk (nur Wohngebäude)	12
Abbildung 10: Zuwachsprognose PV-Gesamtleistung – Ausbauszenario 1 Gemeinde Boulaide	13
Abbildung 11: Zuwachsprognose PV-Gesamtleistung – Ausbauszenario 2 Gemeinde Boulaide	14
Abbildung 12: Installierte Gesamtfläche Solarthermie Gemeinde Boulaide	15
Abbildung 13: Darstellung Genehmigungsauflagen Geothermie-Bohrungen Gemeindegebiet Boulaide (Daten: Geoportail.lu)	17
Abbildung 14: Verortung Geothermie-Bohrungen Gemeindegebiet Boulaide (MMTP, 2022)	18
Abbildung 15: Geologische Karte Gemeindegebiet Boulaide (Daten: Geoportail.lu)	19
Abbildung 16: Ausschnitt Gebäudekataster Gemeinde Boulaide, Darstellung Konstruktionsjahr	21
Abbildung 17: Statistische Auswertung der Wohngebäude nach Baujahr Gemeinde Boulaide	22
Abbildung 18: Flächenbezogener Heizwärmebedarf (Heizung & Warmwasser) Wohngebäude Gemeinde Boulaide	23
Abbildung 19: Deckung Heizbedarf - Szenario 1	24
Abbildung 20: Deckung Heizbedarf - Szenario 2	24
Abbildung 21: Rechnerischer Jahresbedarf Heizöl Wohngebäude Gemeinde Boulaide – Szenario 2 ..	25
Abbildung 22: Stromverbrauch öffentliche Beleuchtung & Straßen (Daten: Creos)	25
Abbildung 23: Kartierung Laternen Ortsteil Boulaide (Ausschnitt) (Fa. Kaufman & Biesen s.a.)	26
Abbildung 24: Prognose Strombedarf & -produktion - Szenario 1 Gemeinde Boulaide	27
Abbildung 25: Prognose Strom-Autarkiegrad – Szenario 1 Gemeinde Boulaide	28
Abbildung 26: Prognose Strombedarf & -produktion - Szenario 1 Gemeinde Boulaide	28
Abbildung 27: Prognose Strom-Autarkiegrad – Szenario 1 Gemeinde Boulaide	29
Abbildung 28: Anteilige Monatsproduktion an Jahresproduktion durch PV-Anlagen im Gemeindegebiet Boulaide	29
Abbildung 29: Prognose Strom-Autarkiegrad in monatlicher Betrachtung– Szenario 2 Gemeinde Boulaide	30
Abbildung 30: Darstellung PV-Stromproduktion und Strombedarf (Haushalt) im Tag- & Nachtzyklus (Quelle: klima-agence.lu)	31

1. Anlass & Zielsetzung

Die Gemeinde Boulaide hat sich im Zuge des Klimapakts 2.0 verschiedene Maßnahmen als Ziel gesetzt, um Aspekte im Umfeld des Klimaschutzes künftig noch intensiver zu verfolgen. Diese sind im Einklang zu den nationalen sowie europäischen Zielsetzungen formuliert worden und umfassen die Kernbereiche:

- Klimaanpassung;
- Kreislaufwirtschaft;
- Ressourcenschonung;
- Suffizienz;
- Abfall- & Ressourcenmanagement;
- Wasserwirtschaft
- Luftqualität;
- Nachhaltige Digitalisierung.

Zusätzlich und über das nationale Bestreben hinausgehend wurde die regionale Absicht formuliert mittelfristig als **Netto-Stromexporteur** zu agieren (betreffend die Gemeinde Boulaide, Goesdorf, Wiltz, Winseler, Stauseegemeinde und Esch/Sauer) (Naturpark Öwersauer, 2022).

Maßgeblich für die luxemburgischen Zielsetzungen im Klimaschutz und der Energiewende ist der integrierte nationale Energie- und Klimaplan 2021 – 2030 (*Plan national intégré en matière d'énergie et de climat du Luxembourg pour la période 2021-2030*) (MEAT – MECDD, 2023). Mittels der 197 identifizierten Maßnahmen sollen vor allem drei Kernziele erreicht werden:

- **55 %**: Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Jahr 2005;
- **35 - 37 %**: Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch;
- **44 %**: Verbesserung der Energieeffizienz.

Als einer der sechs betroffenen Sektoren stellt der Gebäudebestand hierbei einen wesentlichen Ansatzpunkt zum Erreichen der Zielsetzungen dar. Umsetzungen fallen vor allem in Bereiche der Dekarbonisierung, der Energieeffizienz und der Versorgungssicherheit. Insbesondere die ländlichen Gemeinden sollten in ihrer Stellung gegenüber städtischen Regionen diese Zielwerte möglichst übererfüllen.

Inhalt und Anlass dieses Berichts ist die Bewertung der aktuellen Energienutzung (Strom & sonstige Energieträger) auf dem Gemeindegebiet und die Ausarbeitung eines Energiekonzepts als Baustein zum Erreichen der Klimaschutzabsichten. Den Betrachtungsraum stellt das gesamte Gemeindegebiet mit seinen Gebäuden und Infrastrukturen dar. Die kommunalen Bauwerke sind Gegenstand eines

weiteren, unabhängigen Gutachtens und sind nicht Bestandteil dieser Untersuchung. Die Nutzung erneuerbarer Energieträger wird in den Bereichen Biomasse / Holz, Sonnenenergie und Erdwärme untersucht.

Im Übergang zu einem nachhaltigeren Umgang mit Energie werden drei Ansätze untersucht:

- **Effizienz:** Steigerung der Produktivität im Verhältnis zur aufgewendeten Energie;
- **Konsistenz:** Optimierte und nachhaltigere Nutzung von Stoffen und Energie;
- **Suffizienz:** Verringerung des Verbrauchs durch Veränderung von Nutzungsverhalten bzw. Konsummustern.

Die Ausarbeitung dieses Energiekonzepts fand im engen Austausch zwischen dem Projektbearbeiter, dem technischen Dienst, dem Klimaschöffen und dem Büro, welches mit der Basisberatung im Klimapakt beauftragt wurde, statt. Zu diesem Zweck fanden Ortstermine in Boulaide an folgenden Tagen statt:

- 30.11.2023: Absteckung des Projektrahmens;
- 09.02.2024: Besprechung der Zwischenstände;
- 27.02.2024: Definition der Szenarien & Steigerungspfade;
- 18.03.2024: Präsentation Projektergebnisse & Fazit.

2. Beschreibung & Bestandsaufnahme

Die Gemeinde Boulaide befindet sich im Nordwesten Luxemburgs und besteht aus den Ortschaften Boulaide, Baschleiden und Surré. Die ländlich geprägte Gemeinde befindet sich zwischen dem Stausee und der belgischen Grenze im Ösling (Siehe Abbildung 1).

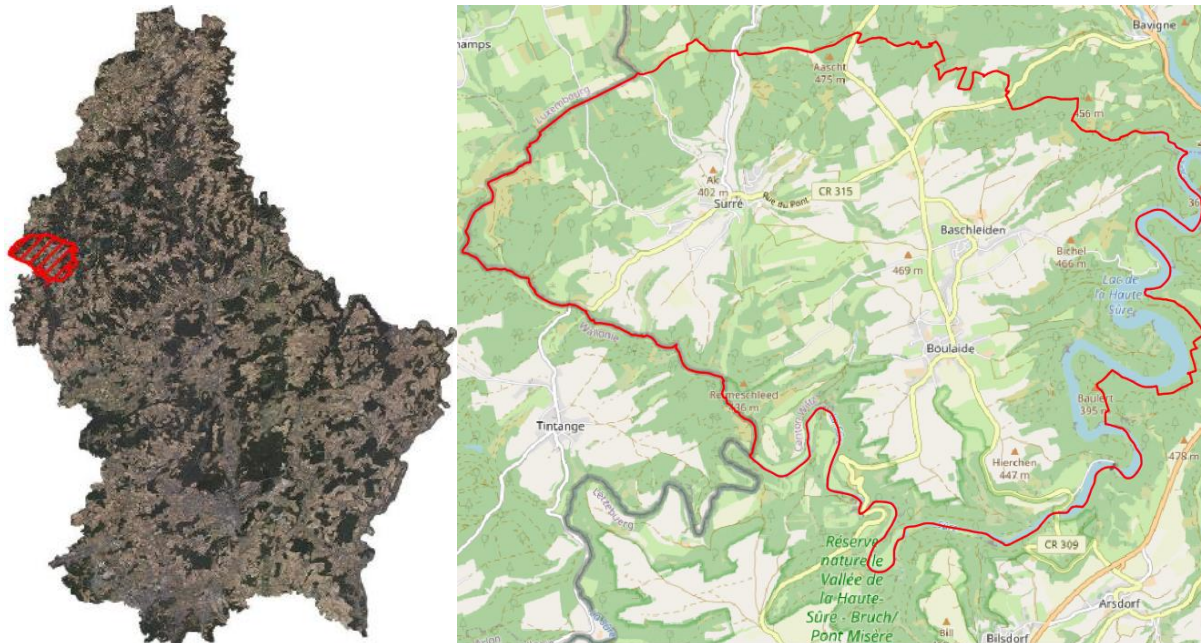


Abbildung 1: Übersichtskarte Gemeinde Boulaide (Daten: Geoportail.lu & OpenStreetMap)

Die Einwohnerzahl belief sich zum Beginn des Kalenderjahrs 2023 auf 1.499 und weist einen aktuellen Trend von ca. 45 Einwohnern Zuwachs pro Jahr bzw. ca. 4 % (seit 2015) auf (Siehe Abbildung 2).

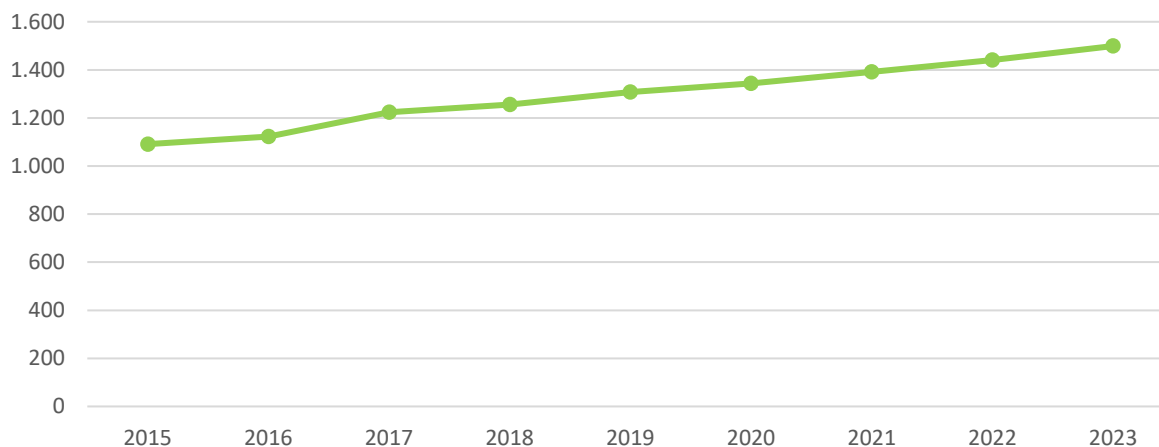


Abbildung 2: Bevölkerungswachstum Gemeinde Boulaide (Daten: Statec)

Zur Erstellung von Szenarien bezüglich der Energienutzung bzw. dem Verhältnis aus Energieerzeugung und -nutzung sind Prognosen über die Entwicklung der Bevölkerung notwendig.

Ein anhaltendes Bevölkerungswachstum von ca. 4 % (Landesdurchschnitt im Betrachtungszeitraum: ca. 2 %) ist als unwahrscheinlich zu erachten. Trotz der ländlichen Lage wird die Gemeinde Boulaide, durch ihre mittlere Nähe zu den zwei Regionalzentren Wiltz und Redange/Attert (*Centre de développement et d'attraction (CDA) d'importance régionale*) und dem Nationalzentrum Nordstadt (*CDA d'importance nationale*) auch in der zukünftigen Landesplanung (*Programme directeur d'aménagement du territoire - PDAT*) eine Attraktivität zum Zuzug aufweisen. Es existiert eine Vielzahl an Bevölkerungsprognosen für die Jahre 2030 bzw. 2050. Als mittleres Szenario wird ein Wachstum gemäß der Schätzung des PDAT genutzt, welches anteilig für die Gemeinde Boulaide eine rechnerische Bevölkerung von ca. 2.330 Anwohner für das Kalenderjahr 2050 ergibt (MEAT, 2023).

Die Analyse der Ist-Situation erfolgt auf den zur Verfügung gestellten und öffentlich zugänglichen Daten und nutzt für Vergleiche Datensätze aus den Kalenderjahren 2021, 2022 und 2023.

2.1. Stromverbrauch & Stromerzeugung

Die Stromverbrauchsanalyse basiert auf dem Datensatz, die den Gemeinden durch die Creos Luxembourg s.a. (Stromnetzbetreiber) zur Verfügung gestellt wird. Die monatlichen Verbrauchsdaten sind getrennt in die drei Verbrauchsgruppen „Haushalte“, „Gewerbe“ und „Beleuchtung (Public & Voirie)“.

In dem Kalenderjahr 2021 belief sich der Gesamtstromverbrauch auf ca. 5.058 MWh. In den Folgejahren war der Verbrauch rückläufig auf ca. 4.970 MWh im Jahr 2022 bzw. ca. 4.860 MWh im Jahr 2023. Annähernd verteilen sich die Verbrauchsdaten auf ca. 75 % Haushalte, 19 % Gewerbe und 6 % Beleuchtung.

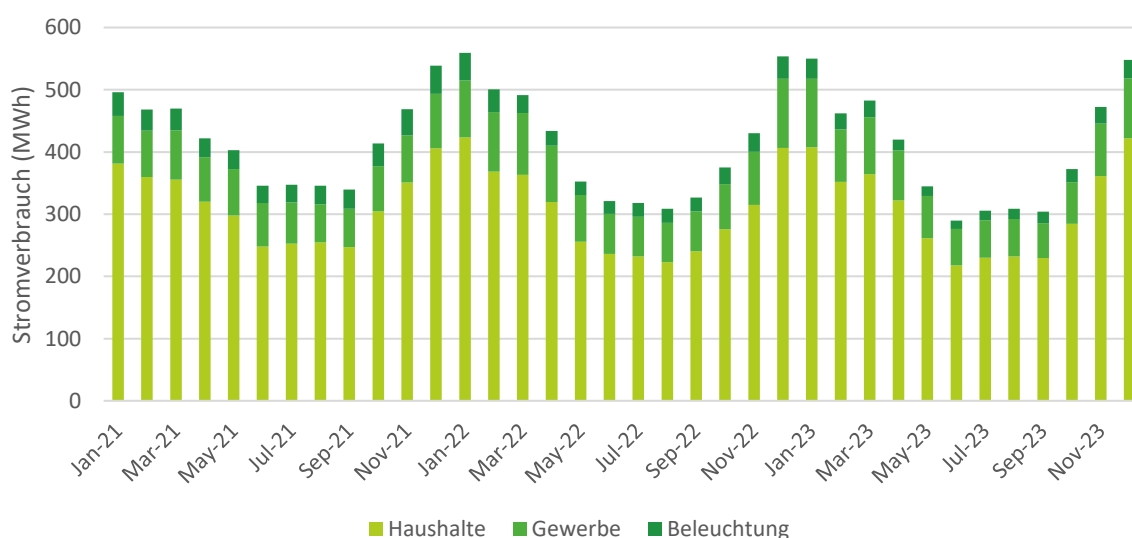


Abbildung 3: Stromverbrauchsdaten Gemeinde Boulaide (Daten: Creos Luxembourg s.a.)

Der aktuelle Trend der rückläufigen Verbrauchsdaten liegt vor allem im Sommerhalbjahr (April – September) vor. So wurden im Kalenderjahr 2022 ca. 6,5 % bzw. im Jahr 2023 ca. 10,5 % weniger Strom als im Jahr 2021 bezogen. Durch die zunehmende Elektrifizierung von Heizanlagen ist der

Stromverbrauch in den Wintermonaten zunehmend direkter an die Außentemperaturen bzw. den Heizbedarf gekoppelt und kann dementsprechend größeren Schwankungen unterliegen.

Seitens der Stromproduktion variiert der Wert, primär durch jahreszeitliche bzw. klimatische (v.a. Sonneneinstrahlung) Effekte, zwischen ca. 10 und 150 MWh pro Monat (Siehe Abbildung 4). In der Jahresbilanz entspricht die Produktion ca. 17 – 20 % des Stromverbrauchs im Gemeindegebiet.

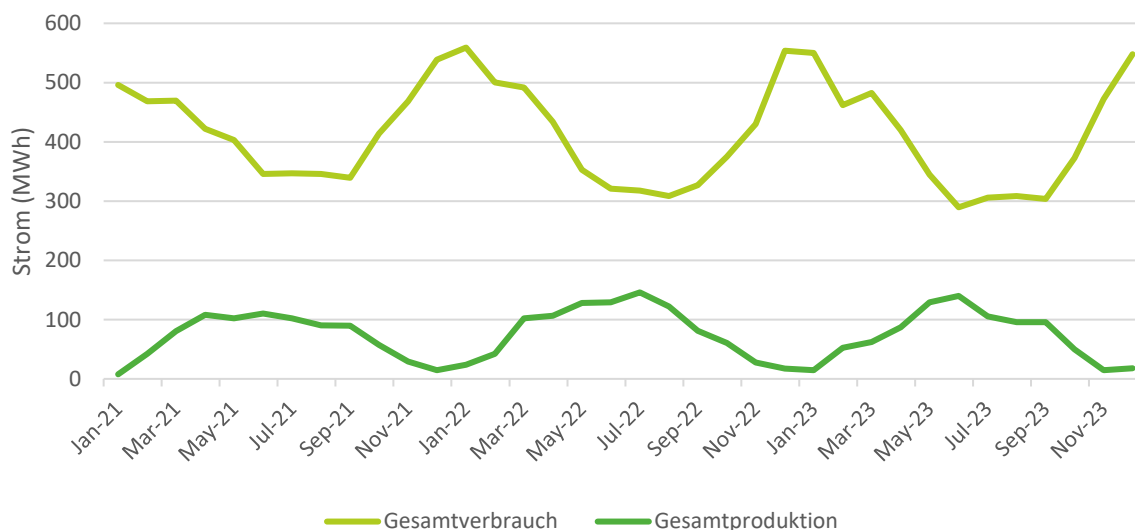


Abbildung 4: Gegenüberstellung Stromverbrauch & -produktion Gemeinde Boulaide (Daten: Creos Luxembourg s.a.)

In der monatlichen Gegenüberstellung des Autarkiegrads ist der Effekt zwischen dem Sommer- und Winterhalbjahr noch deutlicher erkennbar (Siehe Abbildung 5). Der Wert schwankt zwischen ca. 2 - 48 %, wobei sicher der Durchschnitt im Sommerhalbjahr bei ca. 32 % und im Winterhalbjahr bei ca. 9 % befindet. Von einem Autarkiegrad im Jahresdurchschnitt von ca. 16,5 % im Kalenderjahr 2021 ist dieser auf ca. 19,9 % im Folgejahr bzw. ca. 17,8 % im Jahr 2023 gestiegen.

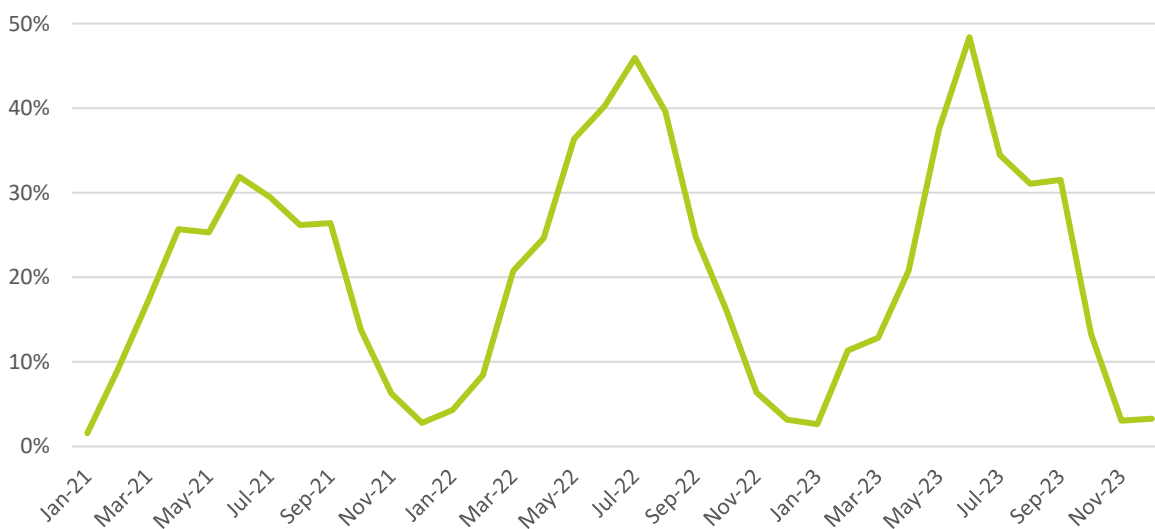


Abbildung 5: Strom-Autarkiegrad Gemeinde Boulaide

3. Nutzung & Erzeugung regenerativer Energien

3.1. Photovoltaik

Photovoltaik-Anlagen stellen die verbreitetste Form der dezentralen Stromerzeugung dar. Die Vorteile einer dezentralisierten Produktion sind vor allem die Verringerung etwaiger Übertragungsverluste durch die Nähe zwischen Stromerzeugung und den Verbrauchern und eine Steigerung der Versorgungssicherheit. Den Creos-Daten entsprechend findet aktuell die Stromerzeugung im Gemeindegebiet einzig mittels Photovoltaik statt.

3.1.1. Aktuelle Produktion

Die jährliche Gesamtproduktion durch Photovoltaik-Anlagen im Gemeindegebiet, die in das Stromnetz eingespeist wurde, befand sich im Kalenderjahr 2021 auf ca. 835 MWh und im darauffolgenden Jahr auf ca. 987 MWh bzw. im Jahr 2023 auf ca. 864 MWh (Siehe Tabelle 1). Den öffentlich zugänglichen Daten entsprechend beläuft sich die installierte Gesamtleistung aller PV-Anlagen im Gemeindegebiet auf 2.295,55 kW_p (Stand: Ende 2023) (ILR, 2023).

Monat	Kalenderjahr		
	2021	2022	2023
Januar	7,7	24,0	14,4
Februar	42,4	42,2	52,4
März	80,6	102,1	62,0
April	108,3	106,8	87,1
Mai	101,9	128,1	129,2
Juni	110,3	129,0	140,1
Juli	102,4	145,9	105,3
August	90,4	122,3	95,8
September	89,6	80,9	95,7
Oktober	57,1	60,6	49,6
November	29,4	27,4	14,4
Dezember	14,9	17,5	17,8
Gesamt	835,1	986,9	864,0

Tabelle 1: Erzeugter PV-Strom in MWh im Gemeindegebiet Boulaide

Mit den respektiven Leistungen aus dem entsprechenden Jahr ergeben sich Erträge von ca. 820 kWh/kW_p für das Kalenderjahr 2021 bzw. ca. 920 kWh/kW_p für das Jahr 2022. Für das Kalenderjahr 2023 ist, aufgrund des signifikanten Zubaus an Leistung im vierten Quartal, die respektive Leistung nicht aussagekräftig. Die durchschnittlichen Jahreserträge werden einerseits durch die installierten PV-Anlagen, andererseits durch die tatsächliche Sonneneinstrahlung (kWh/m²) bzw. die Wetterlage vor Ort (Bewölkung bzw. Sonnenstunden) beeinflusst. Zur Betrachtung der tatsächlichen Sonneneinstrahlung eignen sich die Wetterdaten der nächstgelegenen Station mit Erfassung der Sonnendaten in Eschdorf (ca. 8,7 km Entfernung zur Ortschaft Boulaide). So lassen sich

die hohen Produktionswerte aus dem Jahr 2022 anteilig auf die signifikant hohe Anzahl an Sonnenstunden von insgesamt 2.013 Stunden zurückführen (ca. 19 % über dem Durchschnitt) (Siehe Tabelle 2).

Kalenderjahr	2021	2022	2023	Langjähriger Durchschnitt
Sonnenstunden (h)	1.658	2.013	1.631	1.698
Durchschnittlicher Ertrag (kWh/kW _p)	912 - 921	1.036 - 1.049	924 - 937	933 - 964

Tabelle 2: Anzahl Sonnenstunden Wetterstation Eschdorf & durchschnittliche Stromerträge Großregion (Daten: Agrimeteo.lu; u.a. MEA, LWK Saarland, Ertragsdatenbank.de)

3.1.2. Potential

Die aktuell installierten Leistungen werden vom *Institut Luxembourgeois de Régulation* (ILR) erfasst und für jede Gemeinde zusammengestellt. Im Gemeindegebiet Boulaide sind zum Ende des Jahres 2023 insgesamt 2.295,55 kW_p installiert, die sich auf 115 Anlagen verteilen (Siehe Abbildung 6). Der Trend im erfassten Zeitraum bis Ende Q3 entspricht einem Zuwachs von ca. 58 kW_p pro Jahr. Im Q4 2023 fand ein massiver Leistungszuwachs durch 20 Anlagen mit insgesamt 1.125 kW_p (ca. 49 % der aktuellen Gesamtleistung). Der Wachstumstrend des Erfassungszeitraums (seit 2021) erhöht sich bei Berücksichtigung von Q4 2023 somit auf ca. 460 kW_p pro Jahr. Bei Erweiterung des Betrachtungszeitraums auf 2001 – 2023 ergibt sich ein Wachstumstrend von ca. 100 kW_p pro Jahr.

Im nationalen Vergleich befindet sich die Gemeinde Boulaide mit einer installierten Leistung von ca. 600 W_p/Einwohner im Kalenderjahr 2021 bzw. von ca. 685 W_p/Einwohner im Jahr 2022 über dem nationalen Durchschnitt von ca. 280 W_p/Einwohner bzw. ca. 420 W_p/Einwohner.

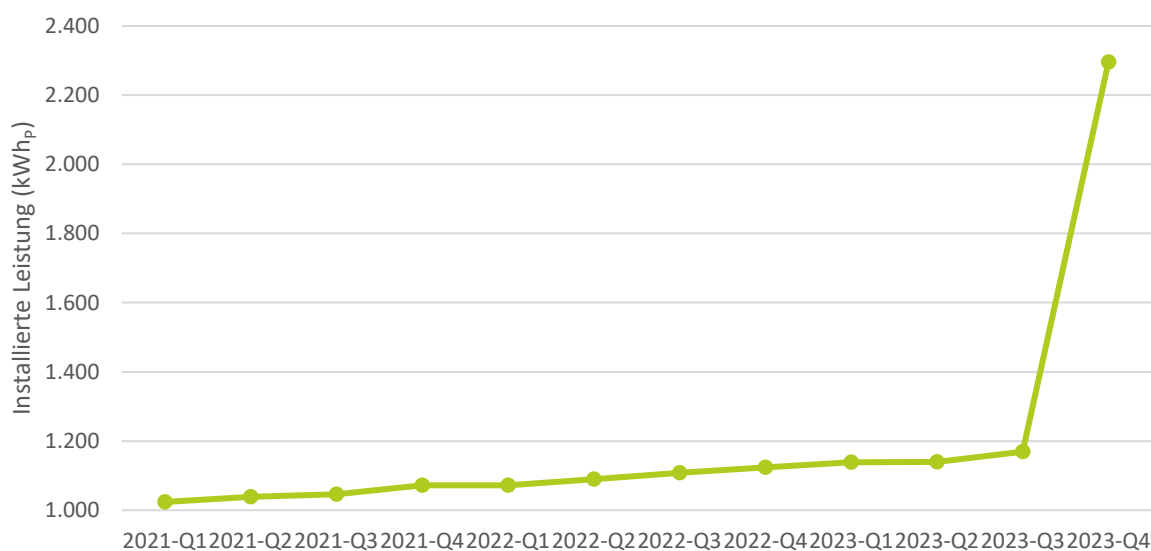


Abbildung 6: Entwicklung installierte PV-Gesamtleistung Gemeinde Boulaide (Daten: ILR)

In dem Zeitraum 2002 bis 2021 wurden Anlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 970 kW_p mit nationalen Förderungen bezuschusst (Siehe Abbildung 7). Dies entspricht einem jährlichen Zuwachs von ca. 49 kW_p im Trend der letzten 20 Jahre bzw. ca. 60 kW_p im Trend der letzten 10 Jahre. Informationen über die Anzahl der Einzelanlagen im jeweiligen Kalenderjahr liegen in diesem Datensatz nicht vor.

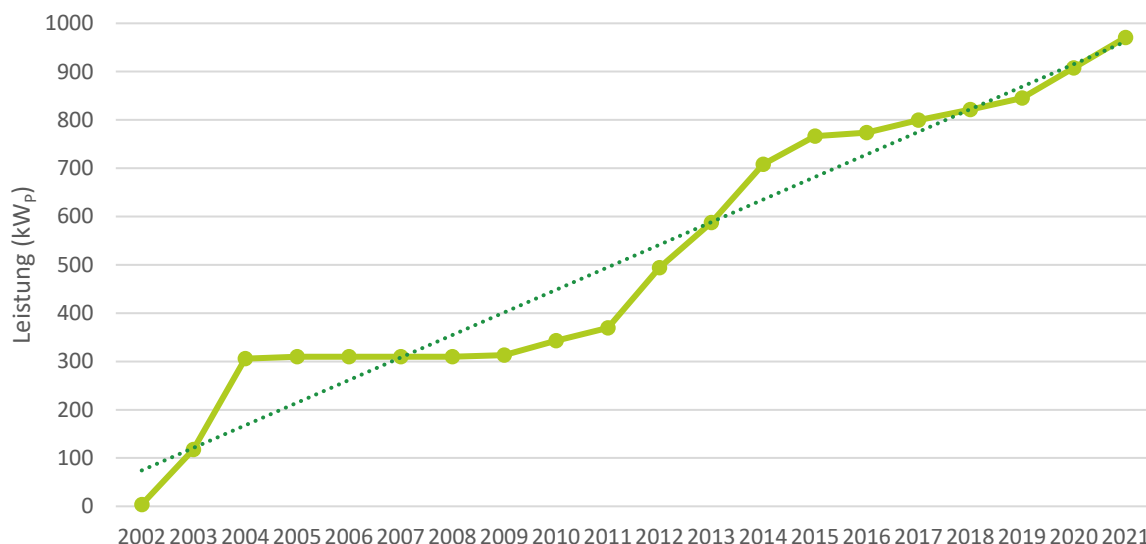


Abbildung 7: Nationale Förderanträge für PV-Anlagen im Gemeindegebiet Boulaide (Daten: Data.public.lu)

In dem Zeitraum 2021 bis 2023 wurden insgesamt 31 PV-Anlagen im Gemeindegebiet genehmigt. Der Großteil hiervon entfällt mit 20 Genehmigungen auf das Kalenderjahr 2023 (2021: 4 Genehmigungen, 2022: 7 Genehmigungen). Dieser Effekt ist wahrscheinlich auf die erhöhte nationale Förderung (temporäre Erhöhung der maximalen Förderung von bis zu 50 % auf bis zu 62,5 % der Kosten für Anlagen im Eigenverbrauch) sowie die bessere Verfügbarkeit von PV-Modulen und Wechselrichtern im Vergleich zu den Vorjahren zurückzuführen.

Einen entscheidenden Einfluss auf die Ausbaurate hat das geltende Förderprogramm. Das aktuelle nationale Förderprogramm *Klimabonus* enthält mit dem *Klimabonus 522* eine Fördermöglichkeit für PV-Anlagen. Zusätzlich existiert ein kommunales Programm, welches die nationalen Förderungen um weitere 25 % der Nationalförderung (bis maximal 1.250 €) unterstützt. Das Fortbestehen kommunaler Förderungen zur Steigerung der Ausbaurate ist als sinnvoll zu erachten.

Für das langjährige Mittel lassen sich die Jahreserträge für eine spezielle Lokation rechnerisch ermitteln. Die Ergebnisse für das Ortszentrum Boulaide (nutzbar für gesamtes Gemeindegebiet) sind in Tabelle 3 dargestellt. Das Maximum ergibt sich bei einer Dachausrichtung nach Süden (Azimuth: 0) und einer Dachneigung von 36° und beläuft sich auf ca. 1.051 kWh pro installiertem kW_p PV-Leistung. Bei neuen Anlagen sind in der Regel, in Abhängigkeit des Daches, jährliche Erträge **>900 kWh/kW_p im langjährigen Mittel** zu erwarten.

Dachneigung	Azimuth												
	90 (W)	75	60	45	30	15	0 (S)	-15	-30	-45	-60	-75	-90 (O)
0	904	904	904	904	904	904	904	904	904	904	904	904	904
10	898	918	936	951	963	970	972	970	963	951	937	919	899
20	884	921	954	982	1002	1015	1019	1016	1003	983	956	924	888
30	865	914	959	995	1022	1040	1046	1040	1024	998	963	919	870
40	836	896	948	990	1022	1041	1049	1043	1025	994	953	902	843
50	798	864	920	966	999	1021	1029	1024	1003	970	925	870	805

Tabelle 3: Rechnerischer Jahresertrag von PV-Modulen in kWh/kW_p, Gemeinde Boulaide (Verortung: Ortsmitte Boulaide, Rechnungsmethodik: PVGIS-SARAH2, angenommene Systemverluste: 14 %)

Das Ausbaupotential wurde mittels des Solarkatasters für alle Bauwerke im Gemeindegebiet aufgenommen (Siehe Abbildung 8). Die Daten stammen aus der öffentlich zugänglichen Solarpotential-Kalkulation, die aktuell im *Geoportal* hinterlegt ist. Für das gesamte Gemeindegebiet ergibt sich ein installierbares Gesamtpotential auf allen Dachflächen (Wohngebäude & restlicher Gebäudebestand) von ca. **22 MW_p** (PV-Modul: 320 W_p, 990 x 1.650 mm). Der rechnerische Ausbaustand beträgt somit ca. 5 %. Die theoretische Maximalleistung verteilt sich zu ca. 58 % auf den Wohngebäudebestand und zu ca. 42 % auf die sonstigen Bauwerke (v.a. Scheunen, Ställe, Hallen).



Abbildung 8: Rechnerisch realisierbare PV-Leistung Ortszentrum Boulaide (Schraffiert: Nicht-Wohngebäude)

Die angegebenen Daten stellen hierbei nur Orientierungswerte dar und fallen in Detailberechnungen oftmals geringer (v.a. reell nutzbare Dachfläche) aus. Eine Kompensation auf vergleichbare Leistungen pro Dachfläche erfolgen teilweise durch den Einsatz modernerer PV-Module (>200 W_p/m²_{Modulfläche}). Weiterhin wird das Gesamtpotential durch unwirtschaftliche Dachflächen (z.B. Nordausrichtung) und nicht-bebaubare Dachflächen (z.B. durch etwaige Denkmalschutzaufgaben) zusätzlich geringer ausfallen.

Im Wohngebäudebestand entfällt ungefähr die Hälfte der theoretisch ausbaubaren Leistung auf Gebäude mit einem Baujahr vor 1951 (ca. 39 % des Wohngebäudebestands) (Siehe Abbildung 9).

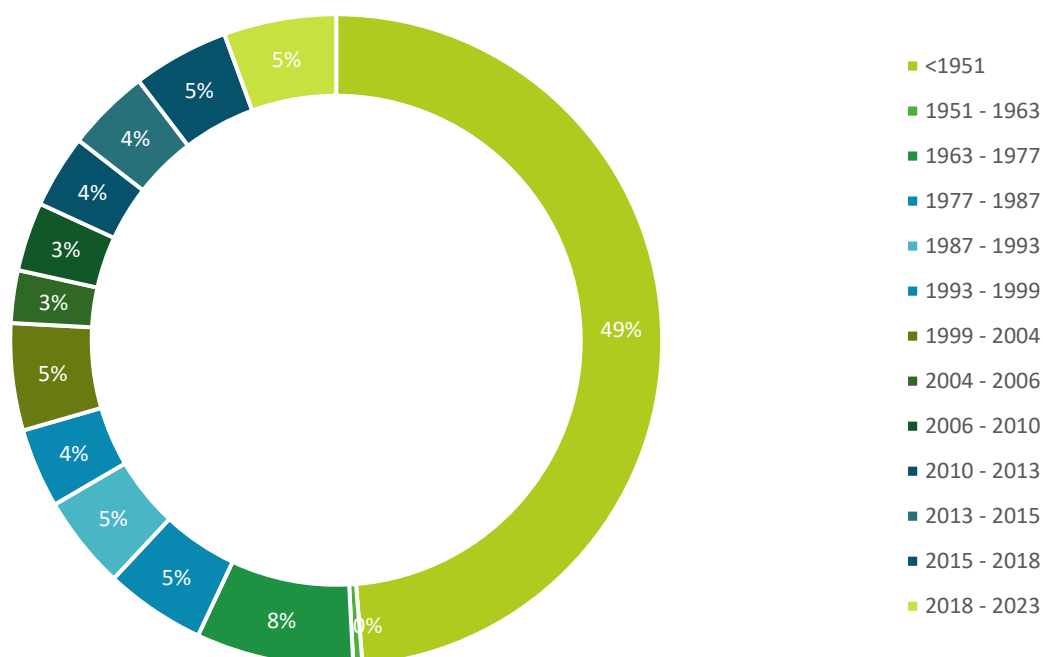


Abbildung 9: Verteilung realisierbare PV-Leistung auf Baujahr Bauwerk (nur Wohngebäude)

3.1.3. Ausbauszenarien

Für die Betrachtung zukünftiger Entwicklungsverläufe der zugebauten PV-Leistung und eine Festlegung von zu erreichenden Zielwerten werden zwei Szenarien entwickelt. Das erste Szenario bildet dabei die Fortführung der aktuellen Entwicklungstrends ab, wobei das zweite Szenario eine ehrgeizigere Entwicklung, z.B. realisierbar durch gesteigerte Bemühungen im Ausbau, enthält.

Auf Basis der aktuellen Stromproduktion ergibt sich eine Jahresproduktion im letzten Kalenderjahr von ca. **864 MWh**. Bedingt durch die Verdopplung der installierten Leistung im vierten Quartal, die jahreszeitenbedingt kaum zu der erzielten Jahresproduktion beigetragen hat, ist von einer aktuellen Jahresproduktion von ca. **1.900 MWh** auszugehen. Bei künftig installierten Anlagen wird von einem durchschnittlichen Ertrag von 900 kWh/kW_p ausgegangen (Durchschnitt der verschiedenen Dachneigungen bzw. -ausrichtungen).

Bei Ausbau des gesamten Ausbaupotentials von ca. 22 MW_p ergibt sich eine zusätzliche Stromerzeugung von ca. **18.700 MWh** bzw. eine Gesamterzeugung von ca. **19.600 MWh**. Bei Berücksichtigung des zukünftigen Bevölkerungswachstums (Siehe Kap. 2) ist mit einer weiteren Erhöhung des Potentials durch zugebaute Wohngebäude zu rechnen. Diese potentiellen Einwohner würden, bei vergleichbarer Anzahl von Personen pro Wohngebäude, zu einem Zubau von ca. 74 Wohngebäuden bis zum Jahr 2030 bzw. von ca. 339 Wohngebäuden bis zum Jahr 2050 führen. Das gesamte Ausbaupotential entspräche folgend ca. 27,4 MW_p und einer Gesamtstromproduktion von ca. **24.500 MWh**. Dieser Wert stellt dabei ein rechnerisches Maximum dar und wird, auf Basis von nicht realisierbaren bzw. sinnvollen Ausbaufächen und dem Verlust des Modulwirkungsgrads über die Zeit, geringer ausfallen.

Der aktuelle Jahresstromverbrauch beläuft sich auf ca. 5.000 MWh. Zum heutigen Stand wären demnach **weitere 3.400 kW_p** PV-Leistung (gesamt: ca. 5.700 kW_p-Gesamtleistung) notwendig, um den Eigenbedarf vollständig zu decken. Dies entspricht einem Gesamtausbaustand von ca. 25 % des theoretischen aktuellen Gesamtpotentials.

Szenario 1

Die Fortführung des aktuellen Wachstumstrends von ca. 100 kW_p/Jahr würde zu installierten Gesamtleistungen im Jahr 2030 von ca. 3.000 kW_p bzw. im Jahr 2050 von ca. 5.000 kW_p führen (Siehe Abbildung 10).

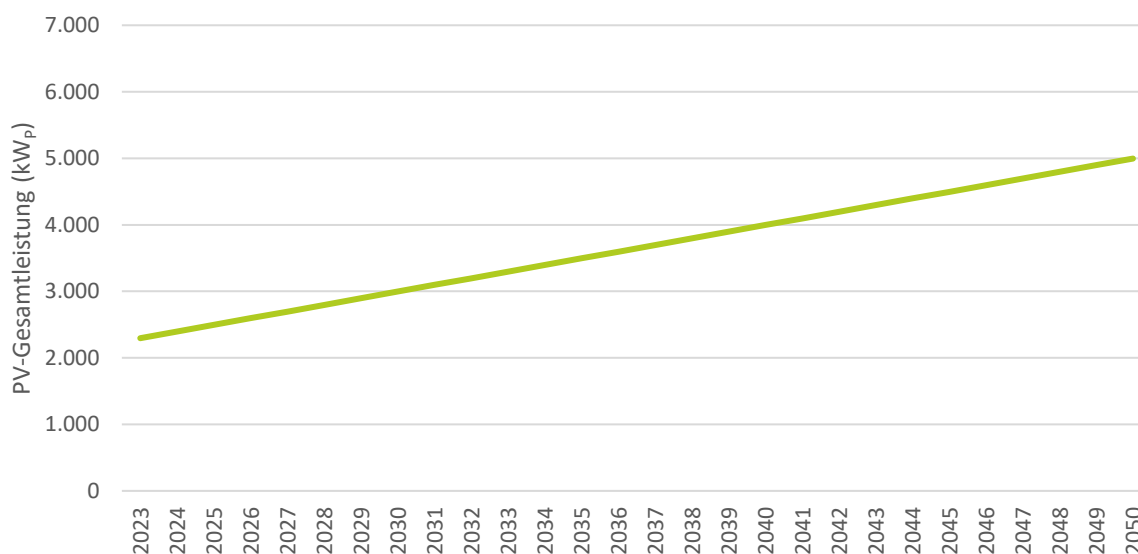


Abbildung 10: Zuwachsprgnose PV-Gesamtleistung – Ausbauszenario 1 Gemeinde Boulaide

Der Ausbau ergibt eine jährliche Gesamtstromproduktion von ca. 2.630 MWh bzw. ca. 4.430 MWh in den Jahren 2030 bzw. 2050. Der Ausbaustand erreicht bis zum Kalenderjahr 2050, trotz der Steigerung des Potentials durch Zubau an Wohngebäuden, ca. 18 %.

Parameter	2023	2030	2050
Installierte Gesamtleistung (kW _p)	2.296	3.000	5.000
Jährliche PV-Stromproduktion (MWh)	1.900	2.500	4.300
PV-Ausbaustand	10 %	13 %	18 %

Tabelle 4: Photovoltaik - Ausbauszenario 1 Gemeinde Boulaide.

Szenario 2

Im Erfassungszeitraum 2021 – 2023 der ILR-Daten beläuft sich die durchschnittliche nationale Zubaurate auf ca. 470 kW_p/Jahr bzw. der Median auf ca. 260 kW_p/Jahr (ILR, 2023). Entscheidenden

Einfluss auf die Höhe der Zubauraten haben vornehmlich Großanlagen (z.B. Freiflächen PV-Anlagen). Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten wird eine potentielle Zubaurate von 250 kW_p/Jahr genutzt, die als realistisch anzusehen ist.

Vor allem durch die verstärkte Nutzung von Dachflächen vornehmlich landwirtschaftlicher Bauwerke (v.a. Hallen, Ställe, Scheunen) ist eine substantielle Steigerung der installierten PV-Gesamtleistung erreichbar. Weiterhin wird eine Nutzung von 50 % der Dachflächen von zukünftigen Neubauten angenommen.

Innerhalb dieses Szenarios ist eine installierte PV-Gesamtleistung von ca. 4.600 kW_p bzw. ca. 11.700 kW_p bis zum Jahr 2030 bzw. 2050 rechnerisch zu erreichen (Siehe Abbildung 11).

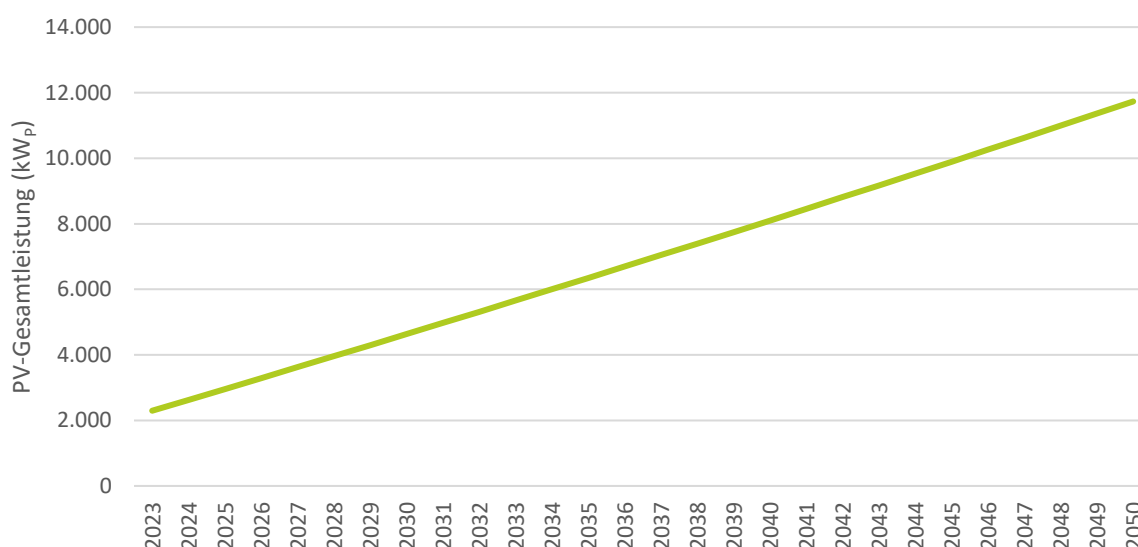


Abbildung 11: Zuwachsprgnose PV-Gesamtleistung – Ausbauszenario 2 Gemeinde Boulaide

Der hierdurch erzeugte Steigerungspfad führt für die Jahre 2030 bzw. 2050 zu einer totalen Stromproduktion von ca. 4.000 MWh bzw. 10.400 MWh. Das Szenario 2 führt demnach zu einem Stromertrag, der sich ca. um den Faktor 2,5 über der Produktion des Szenario 1 im Jahr 2050 befindet. Der Ausbaustand beträgt im Jahr 2050 ca. 43 % der rechnerisch möglichen Gesamtleistung.

Parameter	2023	2030	2050
Installierte Gesamtleistung (kW _p)	2.296	4.600	11.700
Jährliche PV-Stromproduktion (MWh)	1.900	4.000	10.400
PV-Ausbaustand	10 %	20 %	43 %

Tabelle 5: Photovoltaik - Ausbauszenario 2 Gemeinde Boulaide

3.2. Solarthermie

Solarthermie ist eine alternative Dachflächennutzung, die ebenfalls auf der Nutzung der Sonnenenergie basiert. Im Gegensatz zu Photovoltaik-Anlagen wird bei solarthermischen Anlagen die Energie in Form von Wärme zur Verfügung gestellt. Das durch die Anlagen zirkulierende Fluid kann anschließend zur Erwärmung des Warmwasser- und/ oder Heizkreislaufs genutzt werden.

Gemäß der vorliegenden Datenlage wurden seit dem Kalenderjahr 2001 insgesamt ca. 420 m² Solarthermie-Flächen bzw. 35 Einzelanlagen durch staatliche Fördermittel im Gemeindegebiet subventioniert (Siehe Abbildung 12). Die resultierende jährliche Produktion lässt sich dabei auf ca. **220 MWh_{thermisch}** bilanzieren.

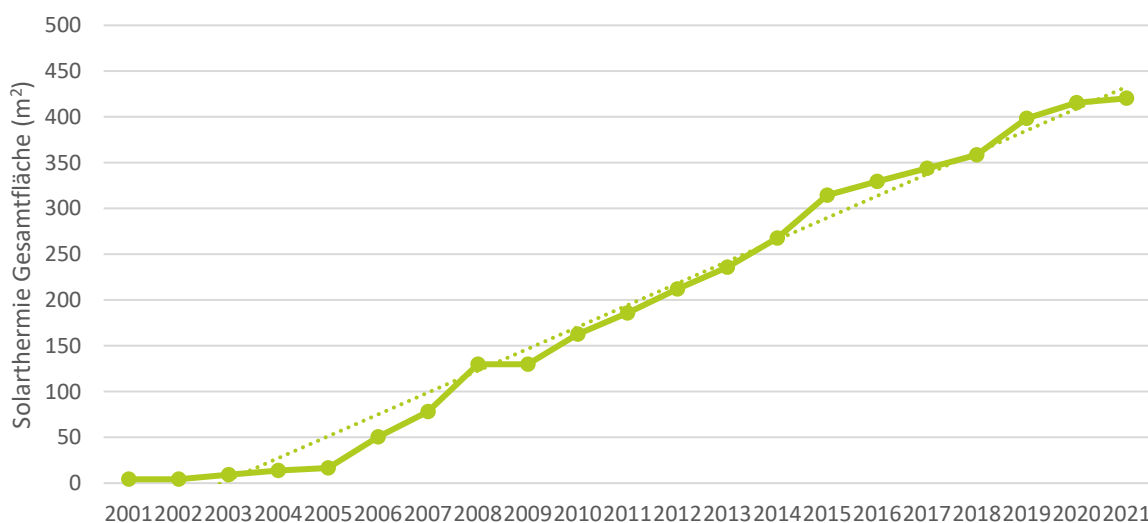


Abbildung 12: Installierte Gesamtfläche Solarthermie Gemeinde Boulaide

Aufgrund der steigenden Effizienz und Verfügbarkeit von Photovoltaik-Anlagen stehen Solarthermie-Anlagen zunehmend verstärkt in Konkurrenz um potentielle Dachflächen. In einigen Szenarien kann der Einsatz von Solarthermie eine wirtschaftliche Alternative bzw. Erweiterung darstellen. So kann beispielhaft in einem Wohngebäude mit verhältnismäßig ineffizienter Zentralheizung (v.a. fossil) der Einsatz von Solarthermie zur Warmwasseraufbereitung zu einer akzeptablen Amortisationszeit, zu einer Reduktion der Heizungslaufzeiten bzw. zu einem völligen Verzicht auf die Zentralheizung in den Sommermonaten führen und eine Kostenreduktion bzw. eine Lebenszeiterhöhung der Heizanlage bezwecken. Ein Zubau kann in diesen Szenarien als sinnvoll erachtet werden, sollte jedoch für den Einzelfall überprüft werden.

3.3. Biomasse

Biomasse stellt eine weitere nachhaltige Energieressource dar, die im Gemeindegebiet bereits genutzt wird. Die vorwiegende energetische Nutzung stellen hierbei die thermische Verwertung (z.B. Beheizen mittels Scheitholzes/ Pellets, Verbrennen Holzhackschnitzel) oder die Synthese von Biogas (z.B. Bioabfall, Gülle, Mist) dar.

Bezeichnend für Biomasse sind alternative Nutzungen (v.a. stoffliche Verwertungen), die ebenfalls berücksichtigt werden müssen und gegen die energetische Verwertung abzuwägen sind. So eignet sich Grünschnitt ebenfalls für die Kompostproduktion, Gülle als Düngemittel oder Starkholz zur Verwendung für Holzprodukte. Die energetische Verwendung steht dabei in den meisten Fällen als untergeordnete Nutzung gegenüber der stofflichen Verwendung und sollte nur für Fraktionen, die sich für keine andere Nutzung eignen oder ein Überschuss generiert wird, in Betracht gezogen werden.

3.3.1. Aktuelle Produktion

Im Gemeindegebiet werden im langjährigen Mittel 100 – 120 Festmeter Energieholz gewonnen, die den Anwohnern zum Ankauf zur Verfügung stehen. Die Gemeinde informiert mit einem Dokument über Aspekte des optimalen Heizens mittels Holzofens (z.B. vorangegangene Trocknung). Das gesamte jährliche Energieholzpotential entspricht einem Heizwert von **270 – 360 MWh**. Zusätzlich entsteht durch die Bewirtschaftung der Wälder Restholz (v.a. Rinde), welches anteilig im Wald belassen wird. Gemäß des Bewirtschaftungsplans des Jahres 2024 wird eine Gesamtmenge von ca. 1.120 m³ erwartet. Im Zuge einer thermischen Verwertung würde hierbei ein zusätzlicher potentieller Heizwert von bis zu **610 MWh** entstehen.

Die aktuelle Produktion von Bioabfall betrug in der Gemeinde Boulaide im Kalenderjahr 2021 ca. 76,1 t (AEV, 2021). Es liegen keine Analysen zu der genauen Zusammensetzung des Abfalls vor, so dass eine von einer ungefähr gleichmäßigen Verteilung zwischen Küchenabfällen und Grün-/ Rasenschnitt und sonstige holzige Abfälle ausgegangen wird. Hieraus ergibt sich ein Biogas-Potential von ca. 7.460 Nm³ bzw. ein thermisches Potential von **37 – 56 MWh**. Bei der zusätzlichen Berücksichtigung des Grünschnitts, der im Gemeindegebiet aufkommt, entstehen weitere ca. 225 t Material. Das Grüngut wird aktuell zur Erzeugung von Kompost genutzt, wodurch das Potential nicht der thermischen Betrachtung zuzurechnen ist. Weiterer Grünschnitt (z.B. Pflegeschnitte der öffentlichen Grünflächen durch Gemeindearbeiter) wird ebenfalls einer stofflichen Verwertung (v.a. Kompost) zugeführt und in den Berechnungen des thermischen Potentials nicht herangezogen.

3.3.2. Potential

Die Gewinnung von Brennholz aus den Forstflächen auf dem Gemeindegebiet erfolgt anhand einer nachhaltigen und naturschutzgerechten Bewirtschaftung. Die Entnahmemengen sind über die letzten 20 Jahre annähernd konstant, mit einer leichten Zunahme im Zuge der geopolitischen Energiekrise der letzten Jahre. Die künftigen Entnahmemengen werden dementsprechend ebenfalls als konstant ohne weiteren Steigerungspfad angenommen, um die nachhaltige Bewirtschaftung weiterhin zu gewährleisten.

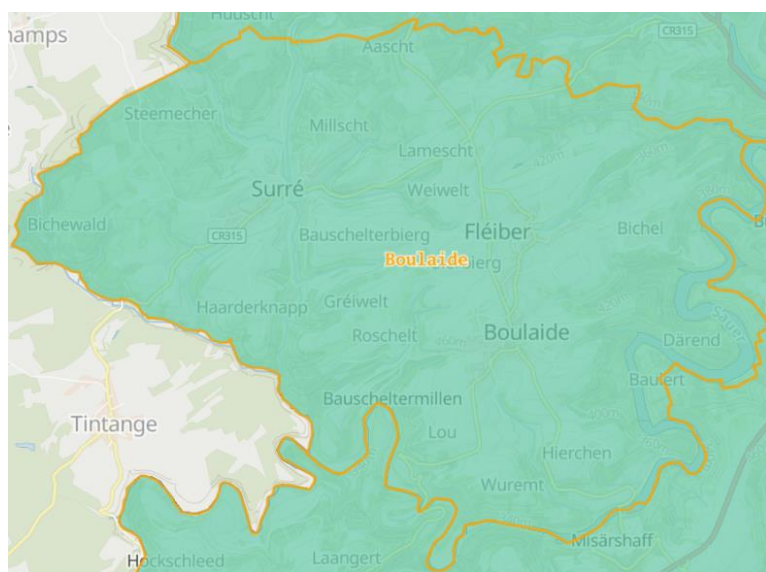
Im Gemeindegebiet fallen durch die landwirtschaftliche Haltung von Nutztieren Gülle und Mist an, die sich ebenfalls für eine energetische Nutzung eignen. Nicht genutzter Überschuss bzw. nicht für die Düngung genutzte Massen könnten mittels Biogas-Anlagen ebenfalls zu Biogas überführt werden.

Als weitere Biomassequelle können der Anbau von Energiepflanzen auf Ackerflächen oder Energiehecken und Agroforst dienen. All diese Quellen sind im Einzelfall auf wirtschaftliche Sinnhaftigkeit, Realisierbarkeit und Vereinbarkeit mit weiteren planungsrelevanten Aspekten (z.B. Preisdruck auf Ackerflächen, Naturschutz) zu prüfen.

3.4. Geothermie

Mit dem Begriff Geothermie wird die Nutzung der gespeicherten Wärme im Untergrund zusammengefasst. Für Privathaushalte ist die oberflächennahe Geothermie die relevanteste Nutzungsform. Hierbei werden vor allem Erdwärmesonden in Längen von ca. 80 – 140 Metern verwendet. Weitere Nutzungsformen bestehen in Erdwärmekollektoren (horizontal verlegte Sondenrohre, bis ca. 1,5 Meter Verlegetiefe) oder Erdwärmekörpern (kegelförmige Sondenrohre, bis ca. 5 Meter Verlegetiefe).

Das Abteufen von Geothermie-Bohrungen ist im Allgemeinen in Luxemburg genehmigungspflichtig und hängt dabei maßgeblich von Wasserschutzauflagen ab. Den öffentlich zugänglichen Informationen zufolge sind Geothermie-Anlagen im gesamten Gemeindeareal genehmigungsfähig. Einzig bei der Wahl des Wärmeträgers (zirkulierende Flüssigkeit innerhalb der Geothermie-Sonden) bestehen Anforderungen im Bezug zum Grund-/ Trinkwasserschutz (Siehe Abbildung 13), die mit der *Administration de la gestion de l'eau* bei jedem Vorhaben abzusprechen sind. Auch die sehr oberflächennahen geothermischen Installationen mit einer Maximaltiefe von <15 Metern (z.B. Erdwärmekollektoren, Erdwärmekörper) sind im gesamten Gemeindegebiet genehmigungsfähig, jedoch genehmigungspflichtig.



Machbarkeit für oberflächennahe geothermische Bohrungen

- Geothermische Bohrungen sind nicht erlaubt
- Geothermischen Bohrungen sind genehmigungspflichtig. Die Tiefe der Erdbohrung und die Wahl des Wärmeträgers ist mit der Wasserwirtschaftsverwaltung abzuklären (forages@eau.etat.lu)
- Geothermischen Bohrungen sind genehmigungspflichtig. Die Wahl des Wärmeträgers mit der Wasserwirtschaftsverwaltung abzuklären ist (forages@eau.etat.lu)
- Geothermischen Bohrungen sind genehmigungspflichtig. Die maximale Bohrtiefe ist auf 120 m beschränkt
- Geothermischen Bohrungen sind genehmigungspflichtig

Abbildung 13: Darstellung Genehmigungsauflagen Geothermie-Bohrungen Gemeindegebiet Boulaide (Daten: Geoportail.lu)

Einer Auswertung des *Service géologique (Administration des ponts et chaussées)* zufolge, wurden in dem Zeitraum 2011 – 2021 insgesamt an mindestens 8 Standorten Geothermie-Bohrungen in dem Gebiet der Gemeinde staatlich genehmigt (ohne Angabe der Anzahl von Einzelbohrungen) (Siehe Abbildung 14).



Abbildung 14: Verortung Geothermie-Bohrungen Gemeindegebiet Boulaide (MMTP, 2022)

Diese 8 Standorte verteilen sich in den jeweiligen Einzelorte wie folgt auf:

- Boulaide: 4 Standorte;
- Baschleiden: 3 Standorte;
- Surré: 1 Standort.

Die Maximaltiefe der Bohrungen pro Standort ist zweifach mit 110 – 150 Meter und sechsfach mit 80 – 110 Meter angegeben. Da die genauen Tiefen sowie die Anzahl der Einzelbohrungen unbekannt sind, können keine Aussagen über die Gesamtentnahmeleistungen bzw. die Leistungen der Heizanlagen getroffen werden. Daten bezüglich der Nutzung bzw. des Ausbaus anderer Geothermieformen (v.a. Erdwärmekollektoren, Erdwärmekörbe) stehen nicht zur Verfügung.

Der primäre Einflussfaktor auf das geothermische Potential entsteht durch die geologische Situation des Untergrunds. Im Gemeindeareal ist dieser primär aus Schiefen aufgebaut, die in gut geschichtete Schiefer (Einheit: *E1a*) und undeutlich geschichtete Schiefer (Einheit *Sg3*) unterschieden werden (Siehe Abbildung 15).



Abbildung 15: Geologische Karte Gemeindegebiet Boulaide (Daten: Geoportail.lu)

Die thermischen Kennwerte für Schiefer unterliegen einer großen Spannweite aufgrund verschiedener lithologischer Zusammensetzungen und der ausgeprägten Anisotropie (unterschiedliche Materialeigenschaften in und senkrecht zur Schieferungsebene). Relevant für eine geothermische Nutzung ist vor allem die spezifische Wärmeentzugsleistung in Watt pro Meter Bohrlänge, die zur anschließenden Dimensionierung der Gesamtanlage herangezogen wird. Als durchschnittliche Wärmeentzugsleistung aus Geothermie-Bohrungen in Luxemburg wird ein Wert 80 W/m Bohrung angegeben (MMTP, 2022), wohingegen in der Studie „Klimafreundliches Energieversorgungskonzept zur Gebäudebeheizung und Kühlung - Aménagements urbanisitiques Mairie de Boulaide“ ein Wert von 40 W/m genutzt wird (Heizung Barthel s.a., 2022). Einen weiteren relevanten Faktor stellen Grundwasserleiter (Aquifere) dar, da diese das geothermische Potential erheblich erhöhen können.

3.4.1. Potential

Aufgrund der Auslegung der Sonden, die keine thermischen Auswirkungen auf benachbarte Grundstücke bedingen soll, ist ein theoretischer Ausbau auf allen Grundstücken zur Beheizung von Wohngebäuden technisch möglich. Die Wirtschaftlichkeit hierbei hängt jedoch signifikant von der zu erwartenden realisierbaren Wärmeentzugsleistung am exakten Standort ab.

Zur besseren Vergleichbarkeit werden ähnliche Rahmenbedingungen zu dem kommunalem Fachgutachten gewählt (Wärmeentzugsleistung 40 W/m, geothermische Entzugsleistung 80 % der benötigten Heizlast, Wärmepumpe COP 5 bei B0/W35). So ergibt sich beispielhaft für eine Heizanlage mit einer Heizlast von 10 kW eine Gesamtsondenlänge von ca. 200 m, die auf zwei Geothermie-Sonden von jeweils 100 m aufgeteilt werden könnte (Siehe Tabelle 6).

Heizlast (kW)	Sondenlänge (m)
4	80
6	120
8	160
10	200
12	240
14	280
16	320
18	360
20	400

Tabella 6: Rechnerische Gesamtsondenlänge Geothermie-Anlage in Abhängigkeit der benötigten Heizlast

Die finanziellen Aspekte bezeichnend für Sole-Wasser-Wärmepumpen sind die höheren Initialkosten, die vor allem durch die Bohrungen entstehen. Im Vergleich zur häufiger verwendeten Luft-Wasser-Wärmepumpe weist das System mit Geothermienutzung eine höhere Jahresarbeitszahl (Bestandsbau: im Mittel ca. 3,6 zu 2,8) auf (Frauenhofer ISE, 2020). Hierdurch wird in der Nutzung weniger Strom benötigt, um die gleiche Wärmemenge bereitzustellen und es werden geringere laufende Kosten erzeugt.

Der aktuelle Ausbautrend wird auf ca. 1 Erdwärmeanlage pro Jahr (ca. 0,8 Geothermie-Bohrungen pro Jahr, angenommene 0,2 sonstige Geothermie-Anlagen) geschätzt. Hierdurch ergeben sich ca. 7 weitere Anlagen bis 2030 bzw. ca. 21 weitere Anlagen bis 2050. In einem ehrgeizigeren Szenario ist eine Ausbausteigerung auf ca. 3 Anlagen pro Jahr als realisierbar einzustufen. Dies würde für die Kalenderjahre 2030 bzw. 2050 zu weiteren ca. 21 bzw. ca. 63 geothermische Anlagen führen. Eine Ausbaurate ist nicht ausweisbar, da ein flächendeckender Ausbau denkbar ist.

Im Bereich der kommunalen Bauwerke wurden Studien durchgeführt, um eine künftige Wärmeversorgung mittels kaltem Nahwärmenetz (<15 °C) zu untersuchen. Die bevorzugte Variante enthält dabei eine Wärmeerzeugung mittels Geothermie-Sonden, die in einem Sondenfeld von 8 – 9 Bohrungen bis ca. 200 m angeordnet werden sollen. Mittels Nahwärmenetz würden die kommunalen Gebäude angeschlossen und durch Wärmepumpen im jeweiligen Bauwerk beheizt. Ein Anschluss nicht-kommunaler Bauwerke ist aktuell nicht vorgesehen.

Der Großteil des Gebäudebestands wurde vor dem Jahr 1951 errichtet (ca. 40 %) (Siehe Abbildung 17). Der Anteil der Wohngebäude, die unter Anforderungen der Energieeffizienz mittels Energiepass fallen (RGD 221, 2017), beträgt ca. 26 %.

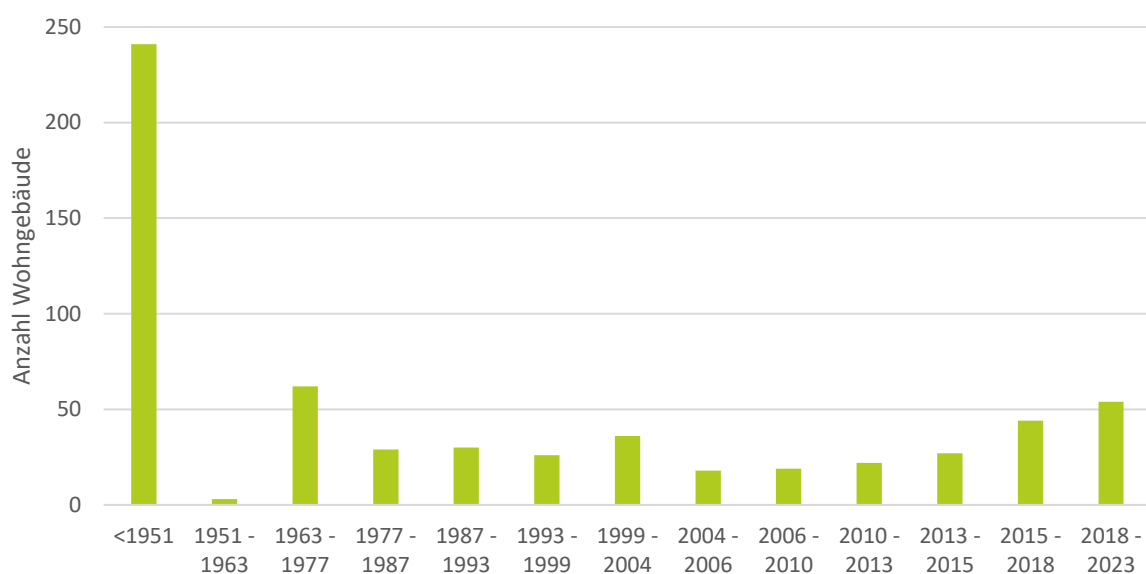


Abbildung 17: Statistische Auswertung der Wohngebäude nach Baujahr Gemeinde Boulaide

Das Konstruktionsjahr dient zur Abschätzung der Eigenschaften der thermischen Hülle des Bauwerks bzw. zur Ermittlung des flächenbezogenen Wärmebedarfs pro Jahr. So existieren mehrere statistische Datenbanken zu thermischen Eigenschaften von Bauwerkskomponenten in Abhängigkeit zum Baujahr des Gebäudes. Erweitert aus eigenen Energiepass- und Monitoring-Daten ergeben sich folgende spezifische flächengewichtete Wärmebedarfe (Heizen & Warmwasser):

Konstruktionsjahr	Jährlicher Wärmebedarf (kWh/m ² *a)
<1951	179
1951 - 1963	179
1963 - 1977	151
1977 - 1987	142
1987 - 1993	129
1993 - 1999	129
1999 - 2004	118
2004 - 2006	118
2006 - 2010	91
2010 - 2013	91
2013 - 2015	76
2015 - 2018	51
2018 - 2023	40
>2023	40

Tabelle 7: Jährlicher flächenspezifischer Wärmebedarf in Abhängigkeit des Konstruktionsjahrs

Da keine qualifizierten Daten über die Wohnflächen bzw. beheizte Fläche der einzelnen Wohngebäude vorliegen, werden Daten der nationalen Durchschnitts, in Abhängigkeit des Konstruktionsjahrs, herangezogen (Statec, 2015). Die Gesamtwohnfläche aller 611 Wohngebäude entspricht ca. 109.000 m². Zusätzlich werden Annahmen bezüglich der Heizsysteme aus nationalen Durchschnitts errechnet, wobei Gas-Heizungen, aufgrund des nicht vorhandenen Netzanschlusses der Gemeinde Boulaide an das Nationalnetz, den Heizöl-Heizungen vorrangig zugeschlagen werden.

4.1.2. Renovierungspotential & Ausbauszenarien

Die Zubaurate wird analog zum prognostizierten Bevölkerungswachstum (Siehe Kap. 2) angenommen. Hierbei entsprechen ca. 2,5 Einwohner einem neuen Wohngebäude (entspricht aktuellem Verhältnis). Die Abschätzung der thermischen Hülle wird analog zu der Konstruktionsjahrkategorie 2018 – 2023 gewählt.

Entscheidend für die Veränderung der thermischen Hülle der Wohngebäude ist zusätzliche die Rate an thermischen Vollsanierungen. Gemäß einer nationalen Schätzung wird eine aktuelle vorherrschende Sanierungsrate von ca. 0,7 % für den Wohngebäudebestand vor 1999 und ein aktueller Sanierungsstand von ca. 12 % zum Bezugsjahr 2020 angenommen (MEAT, 2020). Die Sanierungsrate für das Szenario 2 wird, in Anlehnung an realisierbare Werte, wirtschaftlich sinnvolle Werte gemäß luxemburgischer Renovierungsstrategie und der notwendigen Werte für die europäischen Klimaziele gemittelt auf 3 % festgesetzt.

Unter Anwendung der szenarienspezifischen Parameter ergibt sich ein Absenkepfad, der sich beispielhaft in der Reduktion des durchschnittlichen Wärmebedarfs (Heizen & Warmwasser) des Wohngebäudebestands abzeichnet. So findet bis zum Kalenderjahr 2050 eine Reduktion des durchschnittlichen jährlichen Wärmebedarfs des Gesamtgebäudebestands von aktuell ca. 123 kWh/m²*a auf ca. 88 (Szenario 1) bzw. 77 kWh/m²*a (Szenario 2) statt (Siehe Abbildung 18).

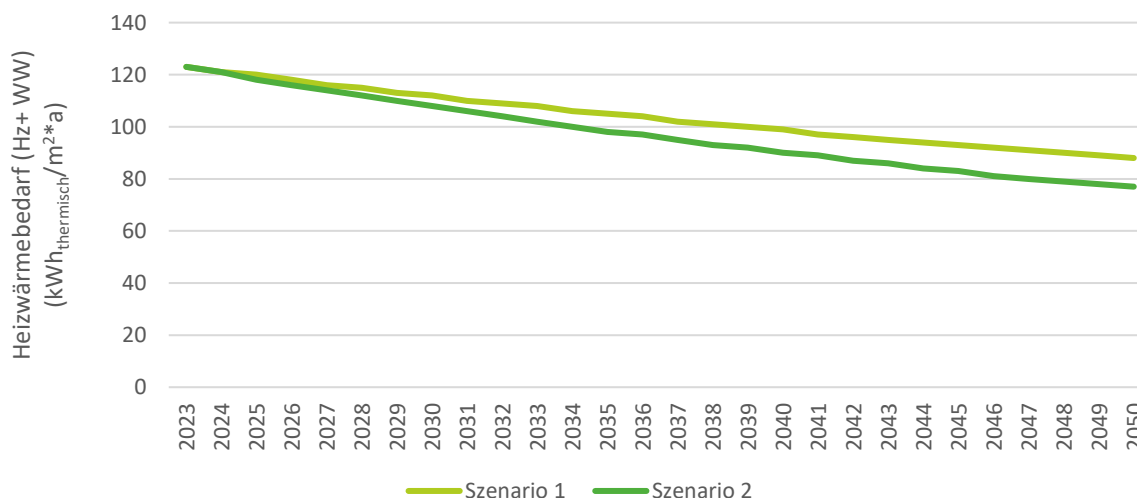


Abbildung 18: Flächenbezogener Heizwärmebedarf (Heizung & Warmwasser) Wohngebäude Gemeinde Boulaide

Den thermischen Vollsaniierungen folgend, ist auch ein fortschreitender Übergang von fossilen Wärmeerzeugern (Heizöl-Heizungen) auf regenerative Wärmeerzeuger (v.a. Luft-Wärmepumpe, Wasser-Wärmepumpe, Holz-Zentralheizungen) anzunehmen. Gemäß der ermittelten aktuellen Verteilung findet eine Veränderung von ca. 88 % fossilen Heizungen hin zu ca. 47 % (Szenario 1) bzw. ca. 8 % fossilen Heizungen im Jahr 2050 statt, sofern keine zusätzlichen rechtlichen Auflagen einen schnelleren Wechsel bedingen (Siehe Abbildung 19& Abbildung 20).

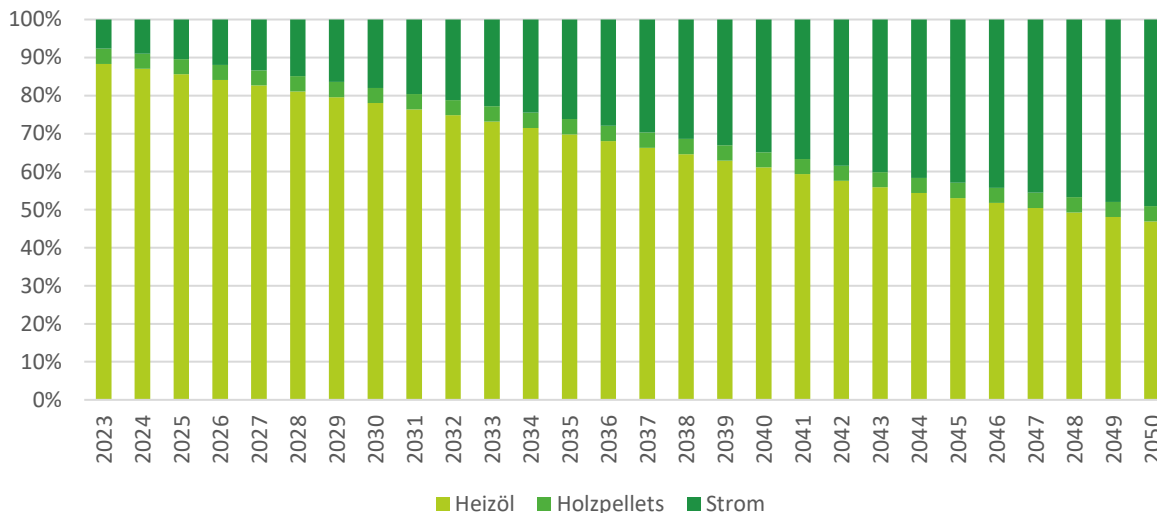


Abbildung 19: Deckung Heizbedarf - Szenario 1

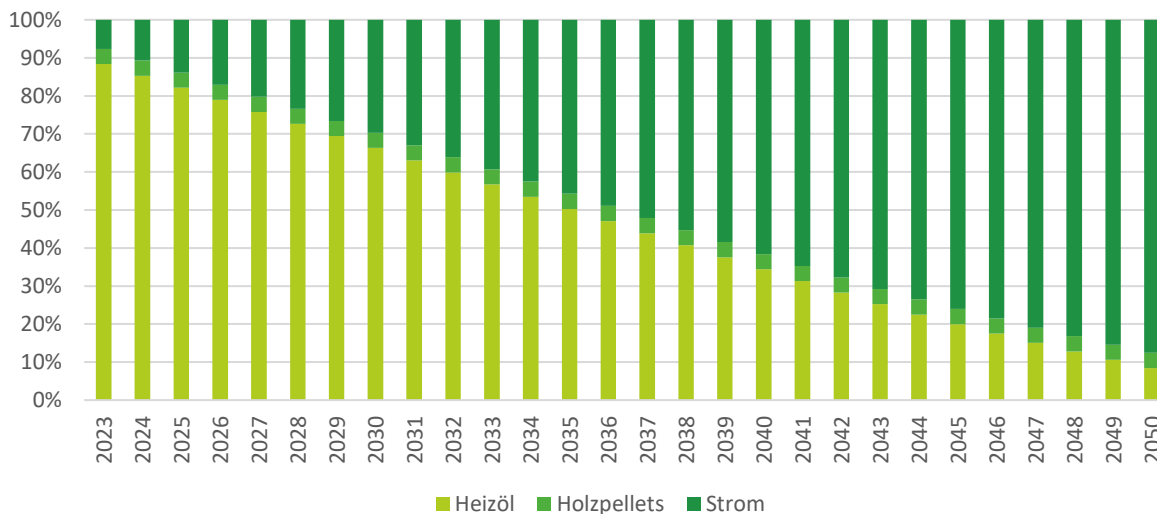


Abbildung 20: Deckung Heizbedarf - Szenario 2

Der Übergang der Heizsystem auf nachhaltige Rohstoffe bedingt zusätzlich eine Reduktion des jährlichen Heizölbedarfs für Privathaushalte von aktuell ca. 1,3 Millionen Litern auf ca. 0,8 Millionen Liter (-39 %) (Szenario 1) bzw. auf ca. 0,13 Millionen Liter (-90 %) (Szenario 2) für das Jahr 2050 (Siehe Abbildung 21). Zusätzliche Positiveffekte entstehen weiterhin beispielsweise durch die Reduktion der Lagermengen von Heizöl im Gemeindegebiet bedingt durch die Lage in der engeren und weiteren

Wasserschutzzone des Obersauer-Stausees bzw. die Minimierung potentieller Umweltauswirkungen (Daten: Geoportail.lu).

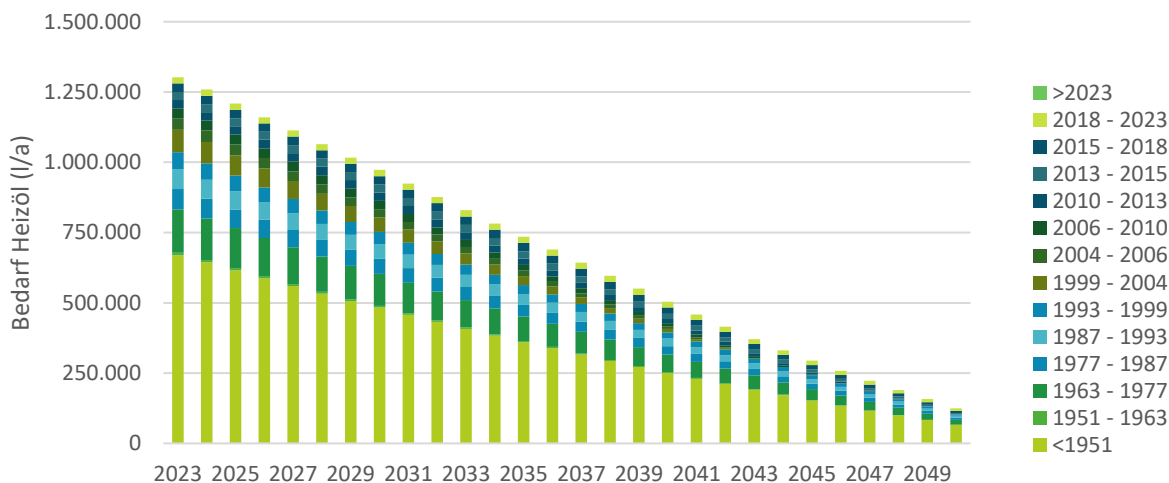


Abbildung 21: Rechnerischer Jahresbedarf Heizöl Wohngebäude Gemeinde Boulaide – Szenario 2

4.2. Öffentliche Beleuchtung

Die Daten zur aktuell verbauten öffentlichen Straßenbeleuchtung basieren auf der gemeindeeigenen „Streetlighting-Auswertung“. Der Stromverbrauch der öffentlichen Beleuchtung („Eclairage Public & Voirie“) weist einen klaren Reduktionstrend in den drei betrachteten Jahren auf (Siehe Abbildung 22). So ist der Verbrauch im Kalenderjahr 2021 von ca. 408 MWh auf ca. 259 MWh im Jahr 2023 gefallen (ca. 63 %). Der Rückgang ist dabei primär auf die verstärkten Energiesparbemühungen durch Nachabschaltung der Beleuchtung zurückzuführen.

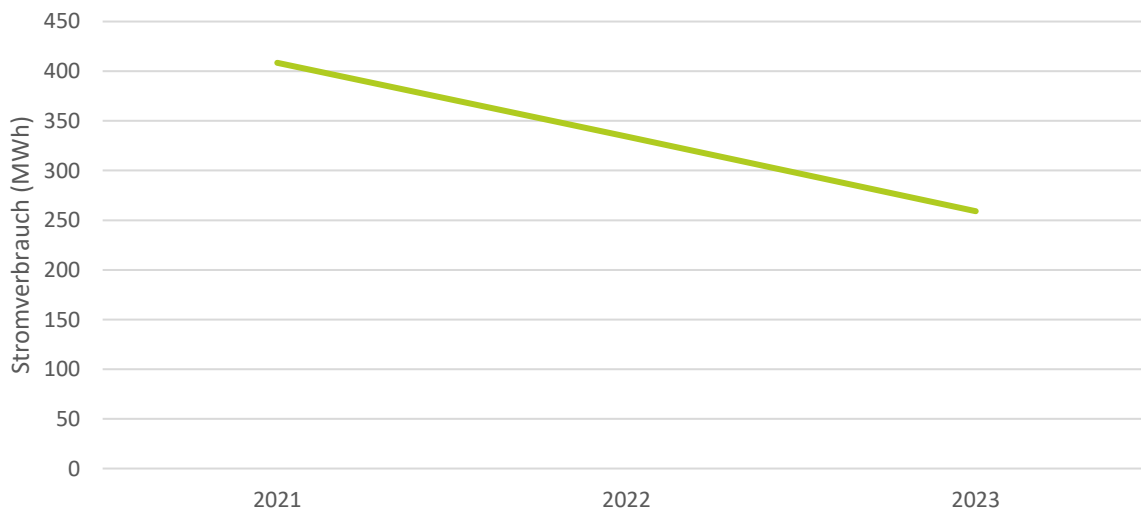


Abbildung 22: Stromverbrauch öffentliche Beleuchtung & Straßen (Daten: Creos)

Die Gemeinde plant aktuell mehrere Erneuerungs- und Austauscharbeiten an der öffentlichen Beleuchtung (Siehe Abbildung 23). Eine Auflistung der Anzahl und der Typen der verbauten

Leuchtmittel liegt nicht vor, große Teile der Beleuchtung sind jedoch noch nicht auf LED-Leuchtmittel umgestellt. In der aktuellen Planung ist ein verstärkter Umstieg beabsichtigt. Durch den Wechsel sind weitere Stromersparnisse $>50\%$ (in Abhängigkeit der aktuell verwendeten Leuchtmittel) realisierbar. Eine etwaige Auslegung (z.B. Farbtemperatur, Beleuchtungsstärke) gemäß den Forderungen des Klima- sowie Naturpakts ermöglicht die Nutzung von Fördermitteln und einen klima-/ naturschutzgerechtere Betrieb.



Abbildung 23: Kartierung Laternen Ortsteil Boulaide (Ausschnitt) (Fa. Kaufman & Biesen s.a.)

5. Energetische Bilanzierung

Gemäß der prognostizierten Energieverbräuche durch die Renovierung, der Veränderung des Wohngebäudebestands durch Neubau und der prognostizierten Entwicklung der Energieproduktion lassen sich die energetischen Verbräuche und die Produktion bilanzieren. Als Bewertungsmaßstab wird vor allem der Energieträger Strom im Detail betrachtet. Zusätzlich zu berücksichtigen sind die sonstigen Energieträger, die sich im Gemeindegebiet primär auf Heizöl und Biomasse beschränken. Die Verringerung des Heizölbedarfs ist genauer in Kap. 4.1.2 aufgeschlüsselt, in dem ein Rückgang um bis zu 90 % des aktuellen Verbrauchs (Szenario 2) aufgeführt wird. Die Biomasse wird seitens der Produktion und des Verbrauchs als annähernd konstant angenommen.

Für die Kalkulation des Stromverbrauchs werden das Bevölkerungswachstum proportional und zusätzlich der gesteigerte Strombedarf durch fortschreitende Elektrifizierung der Heizsysteme berücksichtigt. Etwaige Steigerungseffekte (z.B. Ausbau Gewerbesektor im Gemeindegebiet) können durch qualifizierte Daten bzw. Schätzungen dem Szenario ggf. zukünftig beigefügt werden, um den kommunalen Strom-Autarkiegrad zu modifizieren. Zur Betrachtung des Autarkiegrads als Bewertungsmaßstab des Wohngebäudebestands wird deshalb das Verhältnis aus dem Strombedarf der Haushalte (aktuell: ca. 3.700 MWh pro Jahr) und der Stromproduktion herangezogen.

Szenario 1

Im Szenario 1 ist eine Zunahme des Strombedarfs von Privathaushalten auf ca. 7.300 MWh pro Jahr (+100 %) im Kalenderjahr 2050 zu erwarten. Demgegenüber steht im Jahr 2050 eine rechnerische Stromproduktion von ca. 4.300 MWh pro Jahr (+130 %) (Siehe Abbildung 24).

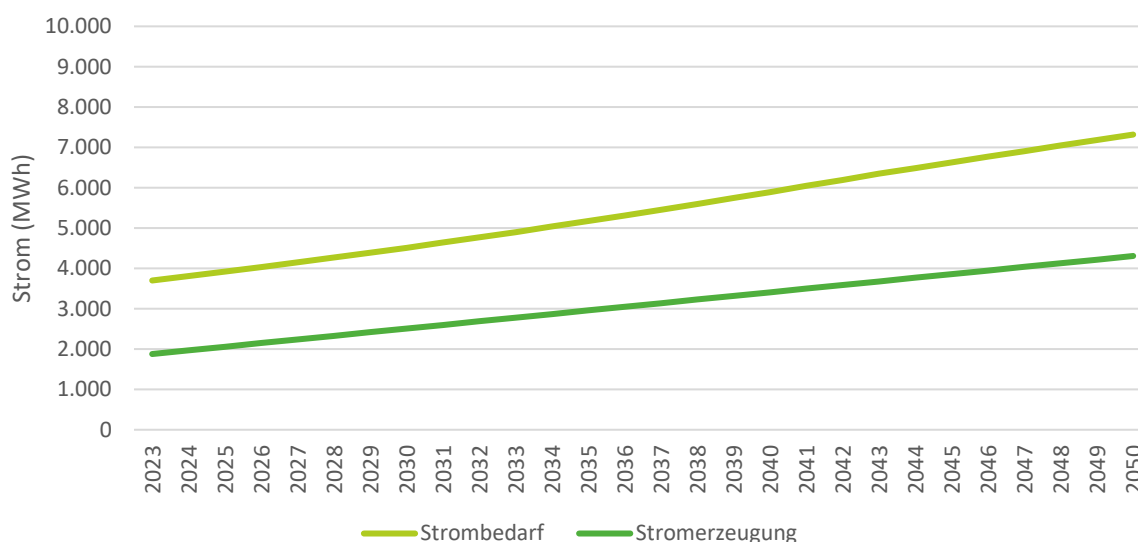


Abbildung 24: Prognose Strombedarf & -produktion - Szenario 1 Gemeinde Boulaide

Aufgrund des geringfügig steileren Steigungspfads der Stromproduktion nimmt der Autarkiegrad ebenfalls zu. So findet eine Steigerung von aktuell ca. 23,4 % bzw. ca. 50,7 % rechnerische Autarkie

mit dem Leistungszubau aus Q4 2023 bis zu den Jahren 2030 bzw. 2050 auf ca. 55,6 % bzw. ca. 58,9 % statt (Siehe Abbildung 25).

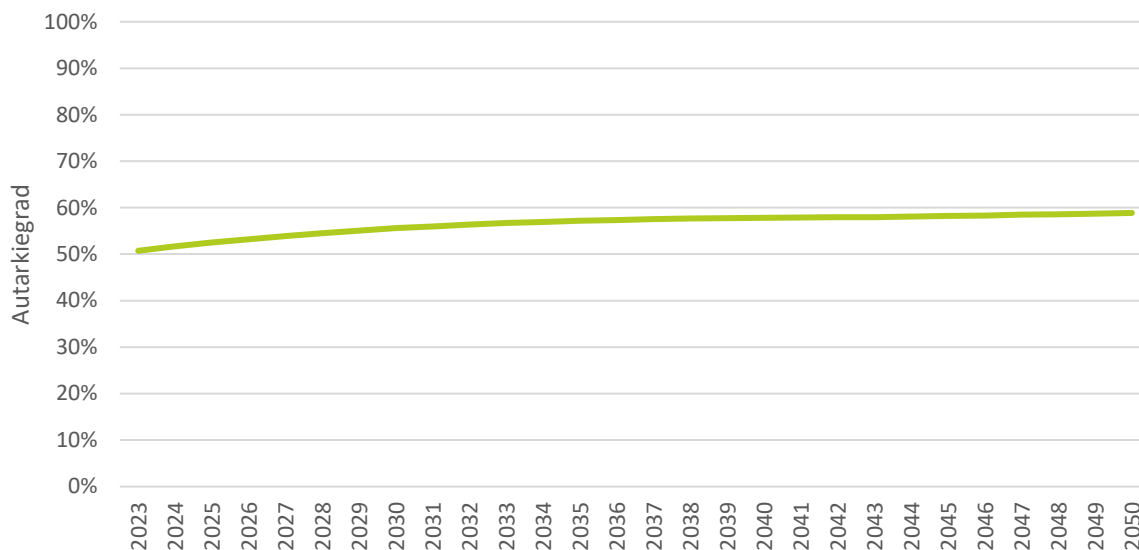


Abbildung 25: Prognose Strom-Autarkiegrad – Szenario 1 Gemeinde Boulaide

Szenario 2

Im zweiten Szenario entsteht ein gesteigerter Strombedarf im Kalenderjahr 2050 von ca. 8.400 MWh pro Jahr (+130 %) (Siehe Abbildung 26). Der höhere Bedarf, im Vergleich zu Szenario 1, basiert hierbei auf der gesteigerten Vollsanierungsrate der Wohngebäude und dem damit verbundenen schnelleren und flächendeckenderen Umstieg auf Wärmepumpen.

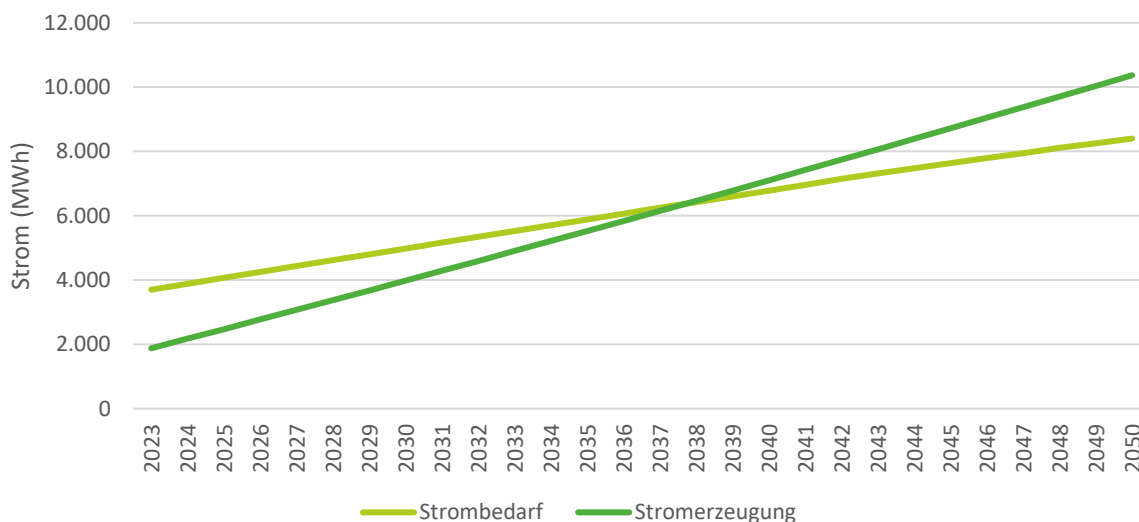


Abbildung 26: Prognose Strombedarf & -produktion - Szenario 1 Gemeinde Boulaide

In Szenario 2 wird von einer gesteigerten Zubaurate von Photovoltaik-Anlagen ausgegangen, so dass trotz der höheren Stromverbräuche die einhergehende Strom-Autarkie ebenfalls steigt und ab dem

Jahr 2038 rechnerisch ein Jahresüberschuss generiert wird. So beträgt der Autarkiegrad für die Jahre 2030 bzw. 2050 ca. 79,9 % bzw. ca. 123,5 % (Siehe Abbildung 27).

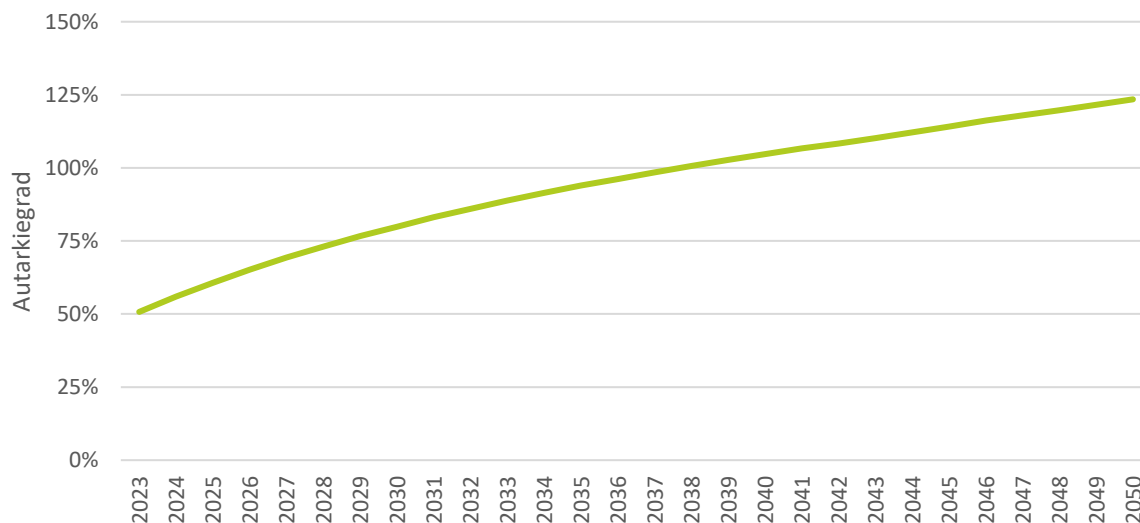


Abbildung 27: Prognose Strom-Autarkiegrad – Szenario 1 Gemeinde Boulaide

Saisonalität

Die energetische Bilanzierung im Jahresdurchschnitt bietet eine Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Jahren bzw. bildet den Steigerungspfad deutlich ab. Hierbei geht jedoch der Einfluss der Saisonalität auf das Verhältnis zwischen Stromproduktion zu Strombedarf verloren. Im Gemeindegebiet findet die aktuelle Stromproduktion einzig mittels Photovoltaik statt, die primär in den Sommermonaten hohe Erträge aufweist (Siehe Abbildung 28). Demgegenüber steht der Strombedarf, dessen Maxima vor allem in den Wintermonaten, durch den gesteigerten Wärmebedarf, liegen.

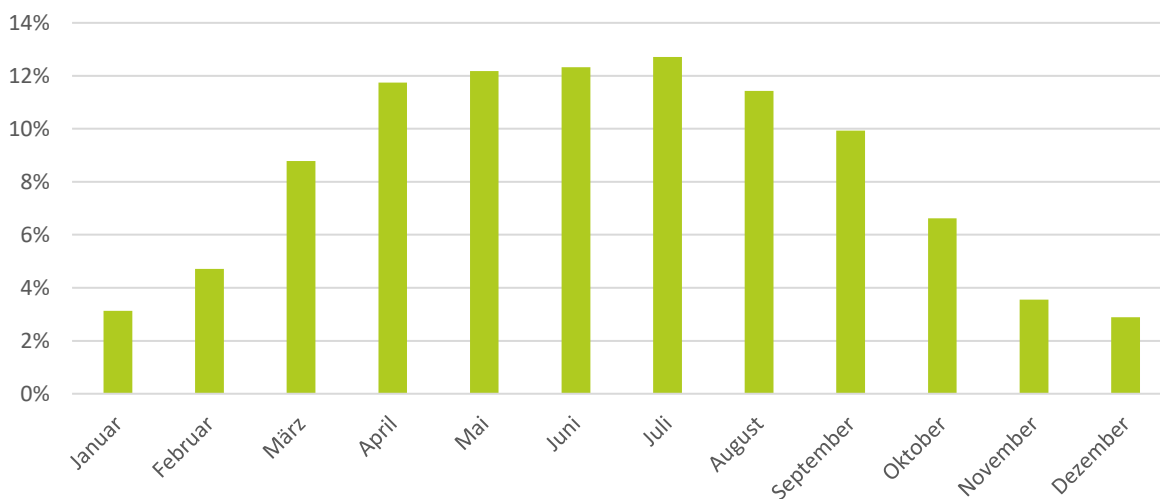


Abbildung 28: Anteilige Monatsproduktion an Jahresproduktion durch PV-Anlagen im Gemeindegebiet Boulaide

Der Effekt des saisonalen Zyklus beläuft sich aktuell auf einen Unterschied im Strom-Autarkiegrad (Betrachtung Haushalte) von ca. 43 % (Sommerhalbjahr) zu 12 % (Winterhalbjahr) (Siehe Kap. 2.1).

Gemäß beider Ausbauszenarien ist mit einer Zunahme des Autarkiegrads zu rechnen. Hierbei tritt die Steigerung aber vor allem in den Sommermonaten auf, welche den Gesamtjahresdurchschnitt signifikant hebt. So ist im zweiten Szenario eine Steigerung des Autarkiegrads von aktuell ca. 23,4 % (Haushalte) auf ca. 123,5 % (Steigerung um Faktor 5,3). Die entsprechende Autarkie im Sommer beträgt 221 % und ca. 59 % im Winterhalbjahr (Siehe Abbildung 29). Um eine Autarkie von 100 % in jedem Kalendermonat zu erreichen, wäre im Szenario 2 eine zusätzliche Steigerung der installierten Leistung um den Faktor 5 notwendig.

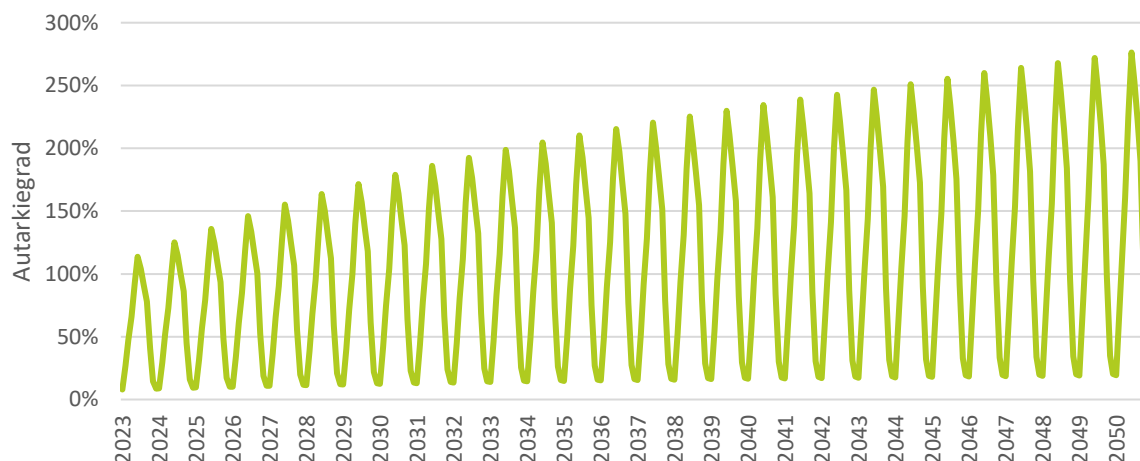


Abbildung 29: Prognose Strom-Autarkiegrad in monatlicher Betrachtung– Szenario 2 Gemeinde Boulaide

Bei einer weiteren Steigerung des Detailgrads der Betrachtung auf den Tag- & Nachtzyklus entsteht ein vergleichbares Bild der Diskrepanz zwischen Produktion und Bedarf. Die Hauptproduktion im Tagesverlauf steht hier dem Hauptbedarf in den Morgen-, Abendstunden und über den Nachtverlauf (v.a. beim Einsatz eines elektrischen Heizsystems) gegenüber (Siehe Abbildung 30). Die Effekte in diesem Zyklus lassen sich jedoch, im Gegensatz zum saisonalen Zyklus, technisch weitestgehend minimieren. So kann durch den Einsatz eines Photovoltaik-Speichers der Produktionsüberschuss des Tages für die Nacht nutzbar gemacht werden.

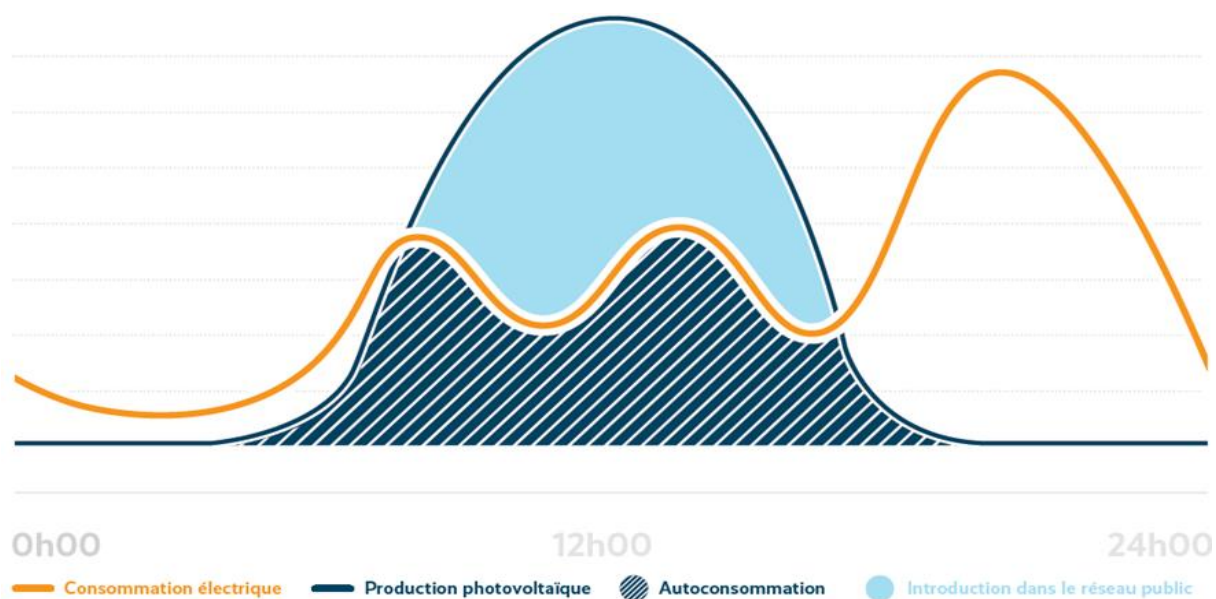


Abbildung 30: Darstellung PV-Stromproduktion und Strombedarf (Haushalt) im Tag- & Nachtzyklus (Quelle: klima-agence.lu)

6. Auswertung

6.1. Ausbauziele

Aus den abgesteckten Szenarien ergeben sich zusammenfassend für alle Energieträger folgende Zielwerte:

Energieform	Szenario 1 (Aktueller Trend)	Szenario 2 (Gesteigerte Bemühungen)
Photovoltaik	100 kW _p /Jahr	250 kW _p /Jahr +50 % Ausbaupotential bei Neubauten
Geothermie	1 Anlage/Jahr	3 Anlagen/Jahr
Holz	Gleichbleibend	Gleichbleibend
Sonstige Biomasse	Gleichbleibend	Gleichbleibend
Windkraft	Nicht bestimmt	Nicht festgesetzt

Tabella 8: Ausbauziele Energieerzeugung Gemeinde Boulaide.

Weiterhin ist eine Reduktion des Wärmebedarfs durch energetische Renovationen des Wohngebäudebestands ein zentraler Baustein des energetischen Konzepts. Die aktuelle durchschnittliche Tiefensanierungsrate von ca. 0,7 % dient dabei als Szenario 1 und eine gesteigerte Rate von 3,0 % als Szenario 2. Zusätzlich zu der Bestandserfassung der Wohngebäude erarbeitet die Gemeinde aktuell ein Konzept zur Bestandsaufnahme und Formulierung von Zielwerten für den kommunalen Gebäudebestand, der aufgrund der öffentlichkeitswirksamen Vorbildfunktion eine essentielle Rolle spielt.

Die realen Ausbauzahlen sollten fortwährend mit den Zielsetzungen abgeglichen werden und ggf. zur Verbesserung dieser dienen.

6.2. Fazit

Die aktuellen Energieverbräuche (Strom & sonstige Energieträger) wurden ermittelt oder aus regionalen/ nationalen Daten geschätzt. Aktuell weist die Gemeinde Boulaide eine Strom-Autarkie von ca. 17,8 % (gesamter Strombedarf im Gemeindegebiet) bzw. 23,4 % (Verbraucher: Wohngebäude) auf. Als klares Ziel wurde die Steigerung des Autarkiegrads bzw. die Entwicklung zum Netto-Stromexporteur (regionale Zielsetzung) formuliert. Dementsprechend wurden primär Wege zur Produktionssteigerung und zur Bedarfssenkung analysiert und ausgewiesen.

Eine Deckung des Energiebedarfs im Gemeindegebiet einzig mittels Photovoltaik, Erdwärme (private Anlagen für Wohnhäuser) und Biomasse (v.a. Pellet- & Stückholzheizungen für Wohnhäuser) ist nur schwierig realisierbar. Nichtsdestotrotz umfassen die erstellten Szenarien eindeutige Verbesserungen hinsichtlich der Strom-Autarkie. Als Nebeneffekt der primären Stromerzeugung mittels Photovoltaik

entsteht bei Verringerung des Betrachtungszeitraums auf Jahreszeiten oder Tageszeiten eine erhebliche Verlagerung, die sich in Jahresdurchschnitten nicht wiederfindet. Die saisonalen Effekte lassen sich ohne die Nutzung weiterer Formen der Energieproduktion nicht ausgleichen. Die tageszeitlichen Effekte hingegen können beispielhaft durch eine zusätzliche Nutzung von Stromspeichern von Photovoltaik-Anlagen zur Eigennutzung minimiert werden.

Die Rolle als Netto-Stromexporteur in einer monatlichen Betrachtung muss auf einem regionalen Betrachtungsmaßstab verbleiben, da einzig mittels großer Produktionsanlagen diese Zielsetzung realisierbar ist. Vor allem Windkraftanlagen, die Wasserkraftanlage am Obersauer-Stausee und etwaige Großanlagen zur Biomasse-Nutzung bilden hier den zentralen Baustein.

Die energetische Bilanz der Gemeinde wurde in zwei Szenarien (Basispfad: aktuelle Entwicklungszahlen; Zielpfad: ehrgeizigere Entwicklungszahlen) für den Zeitraum bis zum Jahr 2050 betrachtet. Beide potentiellen Entwicklungen weisen auf, dass der Autarkiegrad der Gemeinde, durch ein Zusammenspiel der Steigerung der Energieproduktion sowie Reduktion des Energiebedarfs, deutlich optimiert wird. So ist eine Steigerung der **Strom-Autarkie** (Verbraucher: Wohngebäude) bis 2050 auf **58,9 %** (Szenario 1) bis **123,5 %** (Szenario 2) auch ohne Großanlagen als realisierbar zu erachten.

Vor allem zwei Aspekten ist eine Schlüsselrolle in den zukünftigen Bestrebungen zuzusprechen. Einerseits kann durch thermische Vollsanierungen des Wohngebäudebestands der Energiebedarf deutlich gesenkt werden. Andererseits kann die Stromproduktion mittels Photovoltaik-Anlagen (präferabel mit der Nutzung von Stromspeichern) effizient ausgebaut werden.

Ein Großteil der Wohngebäude im Gemeindegebiet weist Konstruktionsjahre vor 1951 auf (ca. 40 %) und nur ca. 26 % der Wohngebäude wurden unter den rechtlichen Anforderungen der Energieeffizienz mittels Energiepass errichtet. Dementsprechend liegt ein erhebliches Potential zur Verbesserung der Energieeffizienz bzw. einer Reduktion des Wärmebedarfs vor. Durch realisierbare Vollsanierungsraten (Verbesserung der thermischen Hülle & Wechsel auf regenerative Wärmeerzeuger) wurden Reduktionen des aktuellen **durchschnittlichen spezifischen Wärmebedarfs** von Wohngebäuden von ca. 123 kWh/m²*a bis zum Jahr 2050 auf ca. **88 kWh/m²*a** (Szenario 1) bzw. ca. **77 kWh/m²*a** (Szenario 2) aufgewiesen. Damit einher geht weiterhin eine Reduktion des aktuellen jährlichen Gesamtbedarfs an Heizöl von ca. 1,3 Millionen Liter auf ca. 0,8 Millionen (Szenario 1) bzw. ca. 0,13 Millionen Liter (Szenario 2), welche eine erhebliche CO₂-Reduktion des Gebäudesektors im Gemeindegebiet bedingt.

Der Ausbau der Stromproduktion mittels Photovoltaik führt zu einer Steigerung der aktuellen Produktion von aktuell ca. 2.296 kW_p im Gemeindegebiet auf eine **installierte Gesamtleistung** im Jahr 2050 von ca. **5.000 kW_p** (Szenario 1) bzw. ca. **11.700 kW_p** (Szenario 2).

In enger Zusammenarbeit zwischen dem Projektbearbeiter, dem technischen Dienst, dem Klimaschöffen und dem Büro, welches mit der Basisberatung im Klimapakt beauftragt wurde, wurden zusätzliche Maßnahmen identifiziert, die zur Erfüllung der Zielsetzung zukünftig beitragen sollen (Siehe Anhang 1).

Quellenverzeichnis

- Administration de l'environnement, 2021: Datensatz: "Waste and Ressources" (<https://data.public.lu/fr/datasets/?organization=56f3f191855e9b1ceb21068b>).
- Frauenhofer ISE, 2020: Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt "WP_{SMART} im Bestand".
- Heizung Barthel s.a., 2022: Klimafreundliches Energieversorgungskonzept zur Gebäudebeheizung und Kühlung – Aménagements urbanistiques Marie de Boulaide.
- Institut luxembourgeois de régulation, 2023: Datensatz: „La production d'énergie électrique au Luxembourg“ (<https://data.public.lu/fr/datasets/la-production-denergie-electrique-au-luxembourg-1/>).
- Ministère de l'énergie et de l'aménagement du territoire, 2023: Programme directeur d'aménagement du territoire (PDAT).
- Ministère de l'énergie et de l'aménagement du territoire, 2020: Langfristige Renovierungsstrategie Luxemburg (LTRS – Long terme renovation strategie).
- Ministère de l'énergie et de l'aménagement du territoire & Ministère de l'environnement, du climat et du développement durable, 2023: Plan national intégré en matière d'énergie et de climat du Luxembourg pour la période 2021-2030 (PNEC) – Projet de mise à jour.
- Ministère de la mobilité et des travaux publics, 2022: Présentation (28.02.2022) – "Möglichkeiten der Erdwärme-Nutzung in Luxemburg: aktueller Stand und Projekte" (https://www.meco.lu/wp-content/uploads/2022/03/Waermeversorgung_pres_RC_20220228.pdf).
- Naturpark Öewersauer, 2022: Klimaschutzstrategie 2030 + - Naturpark Öewersauer (Leitbild) – Bestandteil der regionalen Klimaschutzstrategie.
- SATEC Luxembourg, 2015: Regards 06 – sur le stock des bâtiments et logements.

Anhang 1: Vorschläge Umsetzungsmaßnahmen

Bereich	Maßnahme	Beschreibung
Allgemein & Renovierung	Informationsmaterial	Erstellung Informationsmaterial (energetische Renovierung, Photovoltaik, Wärmepumpen), z.B. als Beilage zu Baugenehmigungen
Allgemein & Renovierung	Klima-Agence Aktionswoche	Aktives Bewerben (z.B. Gemeindeseite, Social Media) der Klima-Agence Aktionswoche zu energetischen Beratungen
Allgemein & Renovierung	Evaluierung kommunale/regionale Förderungen	Regelmäßige Evaluierung (Aspekte: zeitgemäß, Förderhöhe, Statistik) zu ausgezahlten Förderungen
Allgemein & Renovierung	Monitoring Bauvorhaben	Monitoring der durchgeführten Bauvorhaben (z.B. energet. Renovierung, Geothermie) auf Gemeindegebiet
Biomasse & Holz	Information, Beratung & Sensibilisierung	Information, Beratung & Sensibilisierung: z.B. Mülltrennung (v.a. Bioabfall-Anteil in Restabfall) in Privathaushalten; Privatwaldbesitzer (z.B. nachhaltige Bewirtschaftung)
Biomasse & Holz	Projekte	Machbarkeitsstudie: Energetische Gülle-/ Mistverwertung, Energiehecken, Energiepflanzen, Agroforst
Solarenergie	Information, Beratung & Sensibilisierung	Information, Beratung & Sensibilisierung: z.B. regionale Angebote (Naturpark Öewersauer); Landwirte (PV-Anlagenbau auf Hallen, Ställen, Scheunen)
Solarenergie	PAG/PAP/BR	Anpassung PAG/PAP/BR zur Einführung von PV-Zielsetzungen (z.B. Vorgabe für Neubauten)
Solarenergie	Regionale Initiativen	Unterstützung regionaler Initiativen (z.B. EnerCoop Naturpark Öewersauer)
Umweltwärme	Information, Beratung & Sensibilisierung	Information, Beratung & Sensibilisierung: z.B. Wärmepumpen im Bestand, Geothermie
Umweltwärme	Vorbildfunktion	Öffentlichkeitswirksame Kommunikation & Erläuterung Bauvorhaben Kommunalgebäude