

G E M E N G



BIEKERECH

Strategieplan für den Ausbau der Erneuerbaren Energien und die Steigerung der Energieeffizienz der Gemeinde Beckerich

Juli 2018

Muhamed Sabovic

I Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Analyse der Ausgangssituation	6
2.1	Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	6
2.2	Analyse.....	7
2.2.1	Stromversorgung	7
2.2.2	Wärmeversorgung	11
2.2.3	CO2-Bilanz.....	14
3	Potenzial der Nutzung von erneuerbaren Energien	16
3.1	Solarenergie.....	16
3.1.1	Bestandsaufnahme.....	16
3.1.2	Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	19
3.1.3	Strategieplan zur Nutzung der solaren Energie	20
3.2	Holzartiger Biomasse	23
3.3	Geothermie	26
3.4	Windenergie	28
3.5	Vergärbare Biomasse	30
3.5.1	Bestandsaufnahme der bestehenden Biogasanlagen.....	30
3.5.2	Landwirtschaftliche Struktur	31
3.5.3	Potenzial der Bioabfälle	34
4	Energieeinsparpotenzial	36
4.1	Bestandsaufnahme.....	36
4.1.1	Strategie zur Minderung des Energieverbrauchs.....	38
4.1.2	Energieschule Beckerich	38
4.1.3	Subventionierung von smarten Steckdosenleisten	39
5	Zukunftsszenarien	41
5.1	Szenario 1: Wandel in der Elektromobilität	41
5.2	Szenario 2: Bau von Photovoltaikkoooperativen	43
5.3	Szenario 3: Neubauprojekt „Bei Meimerich“.....	45
6	Zusammenfassung	47
	Quellenverzeichnis	48
	Anhang 1: Rentabilitätsrechnung zu PV-Anlagen und Solarthermieanlagen.....	49

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Karte der Gemeinde Beckerich (Quelle: Geoportail.lu)	6
Abbildung 2: Links Erdwärmesonde, Rechts Flächenkollektor	26
Abbildung 3: Autorisierte Zonen für Tiefenbohrungen	27
Abbildung 4: Natura 2000 Vogelschutzzone in der Gemeinde Beckerich	28
Abbildung 5: Karte des Kantons mit den geplanten Standorten der 6 Windkraftanlagen	29
Abbildung 6: Organische Abfälle nach Gemeinden dargestellt	34
Abbildung 7: Auswertung der Restabfallanalyse von 2013/2014	35
Abbildung 8: Smarte Steckdosenleiste (Bildquelle: Vivlykoo)	39
Abbildung 9: App zur Steuerung der Steckdosenleiste (Bildquelle: Revogi)	40
Abbildung 10: Potenzielle Photovoltaikkooperative in Oberpallen	44
Abbildung 11: Wohnreservegebiet in der Gemeinde Beckerich	45
Abbildung 12: Solardach mit Wärmenutzung	46
Abbildung 13: Das Prinzip der Aquaponik	Fehler! Textmarke nicht definiert.

III Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Stromverbrauch nach Sektor im Niederspannungsnetz fürs Jahr 2017	7
Diagramm 2: Gesamter Stromverbrauch nach Sektor und Wasserfabrik für das Jahr 2017	8
Diagramm 3: Stromverbrauch nach Ortschaft für das Jahr 2017	8
Diagramm 4: Stromerzeugung für das Jahr 2017	10
Diagramm 5: Wärmeverbrauch nach Sektor für das Jahr 2017	12
Diagramm 6: Wärmeerzeugung	13
Diagramm 7: CO ₂ Produktion 2017 der Wärme- und Stromversorgung auf dem gesamten Gemeindegebiet Beckerich	15
Diagramm 8: Entwicklung der solaren Anlagen in der Gemeinde Beckerich zwischen 2014 und 2017	16
Diagramm 9: Energieproduktion durch solare Anlagen in der Gemeinde Beckerich zwischen den Jahren 2014 und 2017	17
Diagramm 10: Verlauf der Rentabilitätsfunktion für PV-Anlagen	20
Diagramm 11: Realisierbare Energieproduktion nach Ortschaft	21
Diagramm 12: Realisierbarer Nutzungsgrad der solaren Flächen	21
Diagramm 13: Aufteilung der Besitzverhältnisse der Wälder der Gemeinde Beckerich	23
Diagramm 14: Deckungsgrad des Holzverbrauchs der kommunalen Holzhackschnitzelanlage	25
Diagramm 15: Bewilligte Regenwasseranlagen-Beihilfen zwischen 2013 bis 2018	36
Diagramm 16: Bewilligte Solarthermieanlagen zwischen 2013 und 2018	37
Diagramm 17: Bewilligte Zuschüsse für energetischen Sanierungen	37
Diagramm 19: Entwicklung der Elektromobilität	41
Diagramm 20: Rentabilitätskurve für PV-Kooperativen	43
Diagramm 21: Preisvariation von Photovoltaikanlagen	49

IV Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stromertrag aus erneuerbaren Ressourcen für das Jahr 2017	9
Tabelle 2: Zusammenfassung des Stromverbrauchs für das Jahr 2017	10
Tabelle 3: Zusammenfassung der Wärmeerzeugung der Haushalte mit erneuerbaren Energien	13
Tabelle 4: CO ₂ -Bilanz für die Energieversorgung der Gemeinde Beckerich	14
Tabelle 5: Mittlerer CO ₂ -Ausstoss im Jahr 2017	15
Tabelle 6: Solare Nutzung der theoretisch verfügbaren Dachflächen	18
Tabelle 7: CO ₂ Einsparung durch Nutzung von Sonnenenergie	22
Tabelle 8: Auswertung des Biomassepotenzials	24
Tabelle 9: Verbrauch der Holzhackschnitzelanlage	24
Tabelle 10: Zusammensetzung der Gärsubstrate in den Biogasanlagen (Jahr: 2017)	30
Tabelle 11: Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen	31

<i>Tabelle 12: Stickstoffbilanz</i>	31
<i>Tabelle 13: Viehbestand der Gemeinde Beckerich (Stand: 2016, Quelle: Landwirtschaftsministerium)</i>	32
<i>Tabelle 14: Jährlicher Gülle- und Mistanfall</i>	33
<i>Tabelle 15: Vergleich des Energieverbrauchs von 2009/10 und 2017</i>	38
<i>Tabelle 16: Auswirkung der Elektromobilität auf den Stromverbrauch</i>	42
<i>Tabelle 17: Ermittlung der zusätzlichen Anlagen um den erhöhten Stromverbrauch zu kompensieren</i>	42
<i>Tabelle 18: Zusammenfassung der PV-Kooperativen</i>	44
<i>Tabelle 19: Vergleich zwischen Solardach und PV-Anlagen</i>	46
<i>Tabelle 20: Kostenübersicht einer PV-Anlage</i>	49
<i>Tabelle 21: Rentabilitätsrechnung einer PV-Anlage</i>	50
<i>Tabelle 22: Kostenübersicht einer Solarthermieanlage</i>	50
<i>Tabelle 23: Rentabilitätsrechnung einer Solarthermieanlage</i>	51

1 Einleitung

Seit nun mehr als 20 Jahren betreibt die Gemeinde Beckerich eine nachhaltige Energie- und Umweltpolitik. Dabei nimmt die Gemeinde sowohl eine Vorbildfunktion für die Bürger wie auch für die anderen Nachbargemeinden ein. Seit 1995 ist Beckerich Mitglied im Klimabündnis Luxemburg und seit 2008 Mitglied beim Konvent der Bürgermeister.

Im Rahmen der gemeinsamen Europäischen Energiepolitik, hat sich Luxemburg zum Ziel gesetzt den Anteil an erneuerbaren Energien auf 11% des Bruttoenergieverbrauchs von 2005 zu erhöhen und den Ausstoß von Treibhausemissionen um 20% zu reduzieren, sowie die Energieeffizienz um 20% zu erhöhen. Zum Erreichen dieser Ziele spielen die einzelnen Gemeinden eine wichtige Rolle, deshalb ist Beckerich seit dem 27. November 2013 eine Klimapaktgemeinde. Die Ziele der Gemeinde sind jedoch ehrgeiziger als die des Staats, denn die Gemeinde beabsichtigt bis 2030 energieautark zu werden.

In den letzten Jahrzehnten hat die Gemeinde verschiedene Maßnahmen im Bereich der Nutzung von erneuerbaren Energien und der Erhöhung der Energieeffizienz unternommen. 2008 wurde eine Holzhackschnitzel Anlage gebaut, die zusammen mit der gemeinschaftlichen Biogasanlage die Ortschaften Beckerich, Noerdingen, Hovelange und Elvange mit Fernwärme versorgen. Um den Nutzungsgrad von Photovoltaikstrom zu erhöhen stellte die Gemeinde die Dachflächen von öffentlichen Gebäuden kostenlos zur Verfügung, um gemeinschaftliche Photovoltaikanlagen zu betreiben. Dadurch können auch Bürger, die keine geeigneten Dächer besitzen dennoch ihren Beitrag zum Ausbau der erneuerbaren Energien leisten. Durch verschiedene Kampagnen versucht die Gemeinde die Einwohner zum Thema Energiesparen und erneuerbare Energien zu informieren und zu sensibilisieren.

1995 wurde ein erstes Energiekonzept erstellt, 2012 wurde dieses aktualisiert. Da dies letzteres in der Zwischenzeit nicht mehr der Realität entspricht, hat sich der Gemeinderat dazu entschlossen ein neues Energiekonzept zu erstellen. Um einen geeigneten Strategieplan zu erarbeiten muss als erstes der Istzustand der Gemeinde festgehalten werden. Anschließend wurden die Potenziale der erneuerbaren Energien sowie der Einsparung ermittelt und mit diversen Strategien abzuschließen.

2 Analyse der Ausgangssituation

2.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Die Gemeinde Beckerich befindet sich im Westen des Landes an der Grenze zu Belgien. Die Gemeinde setzt sich aus den Ortschaften Beckerich, Elvange, Hovelange, Hüttingen, Levelange, Noerdingen, Oberpallen und Schweich zusammen. Das Gemeindegebiet erstreckt sich über eine Fläche von 28,4km² und zählt 2518 Einwohner (STATEC Stand 1. Januar 2018).

Neben dem ländlichen Charakter kennzeichnet sich das Gebiet durch verschiedene Gewerbe und Betriebe aus. Zu den größeren Betrieben in der Gemeinde gehören die Mineralwasserfabrik in Beckerich, das Einkaufszentrum Pallcenter in Oberpallen und das Landwirtschaftsunternehmen Wolff Weyland, welche ebenfalls zu den größten Betrieben dieser Region gehören.

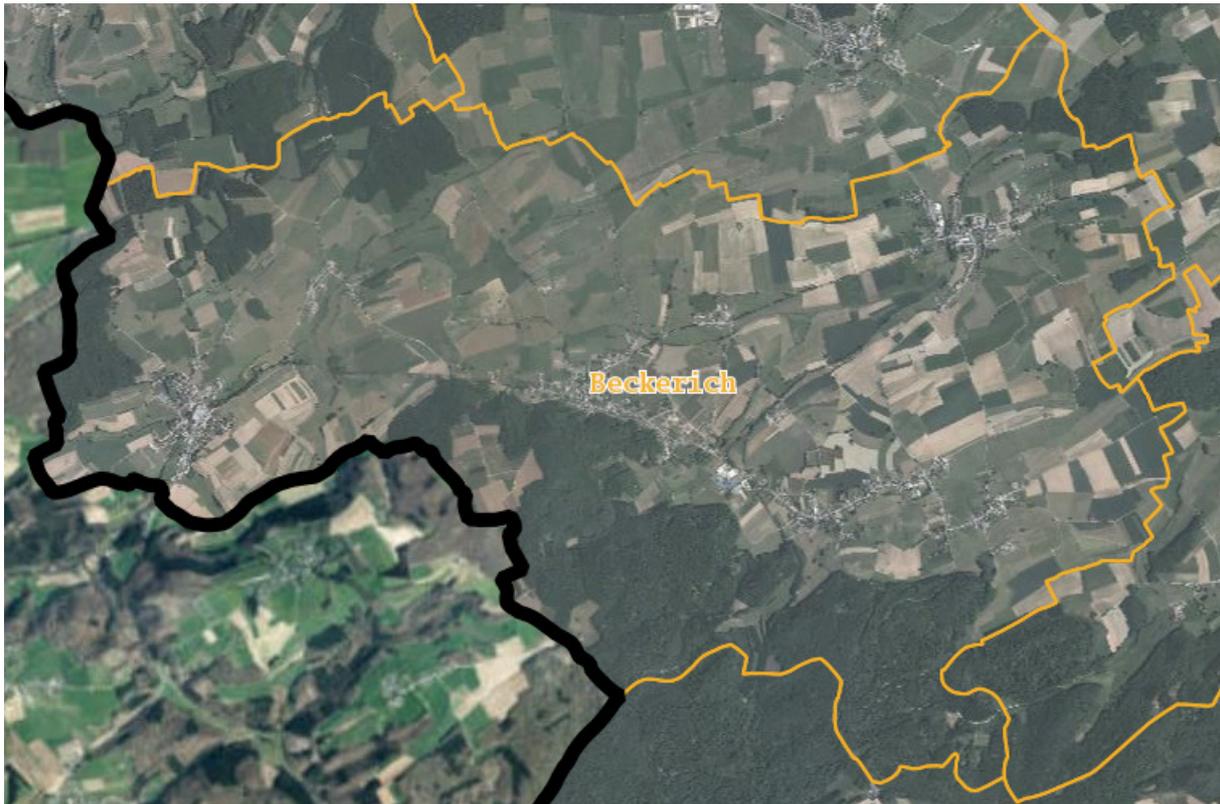


Abbildung 1: Karte der Gemeinde Beckerich (Quelle: Geoportail.lu)

2.2 Analyse

2.2.1 Stromversorgung

Die Daten zum Stromverbrauch stammen vom Netzbetreiber *CREOS* und beziehen sich auf das Jahr 2017.

Die Haushalte, einige kleinere Betriebe, die öffentlichen Gebäude und die öffentliche Beleuchtung werden alle aus dem Niederspannungsnetz gespeist, die Wasserpumpen der Pumpenstation wurden 2017 noch aus dem Mittelspannungsnetz gespeist, werden aber 2018 auf Niederspannung umgestellt. Auf **Diagramm 1** sind die einzelnen Verbräuche im Niederspannungsnetz dargestellt. Hier erkennt man, dass die Haushalte rund $\frac{2}{3}$ des Stromverbrauchs ausmachen, die Betriebe kommen erst an zweiter Stelle und machen rund $\frac{1}{4}$ des Stromverbrauchs aus, gefolgt von der öffentlichen Beleuchtung.

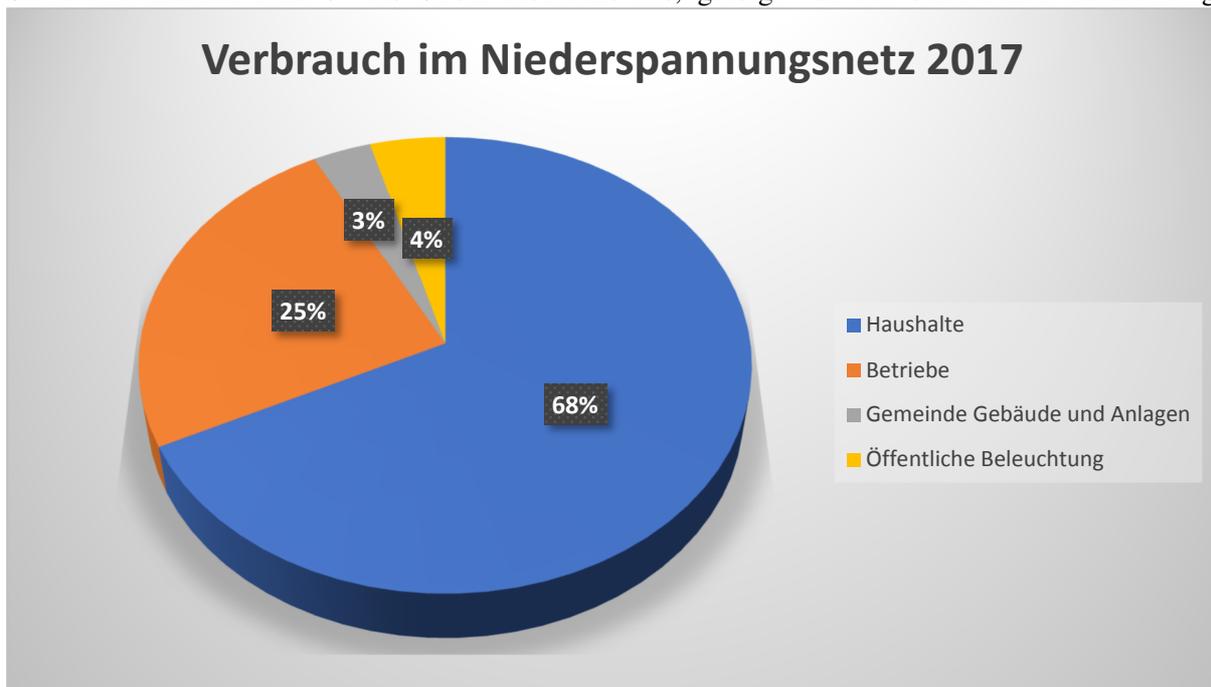


Diagramm 1: Stromverbrauch nach Sektor im Niederspannungsnetz fürs Jahr 2017

Betrachtet man jedoch den Gesamtverbrauch, also den Verbrauch im Niederspannungsnetz sowie im Mittel/Hochspannungsnetz, ergibt sich ein völlig anderes Bild. Auf **Diagramm 2** sieht man, dass die Wasserfabrik allein über die Hälfte des kommunalen Stromverbrauchs ausmacht, gefolgt von den Betrieben und den Haushalten. Der Verbrauch der Gemeindegebäude und der öffentlichen Beleuchtung spielen hier eine eher untergeordnete Rolle.

Gesamter Stromverbrauch 2017

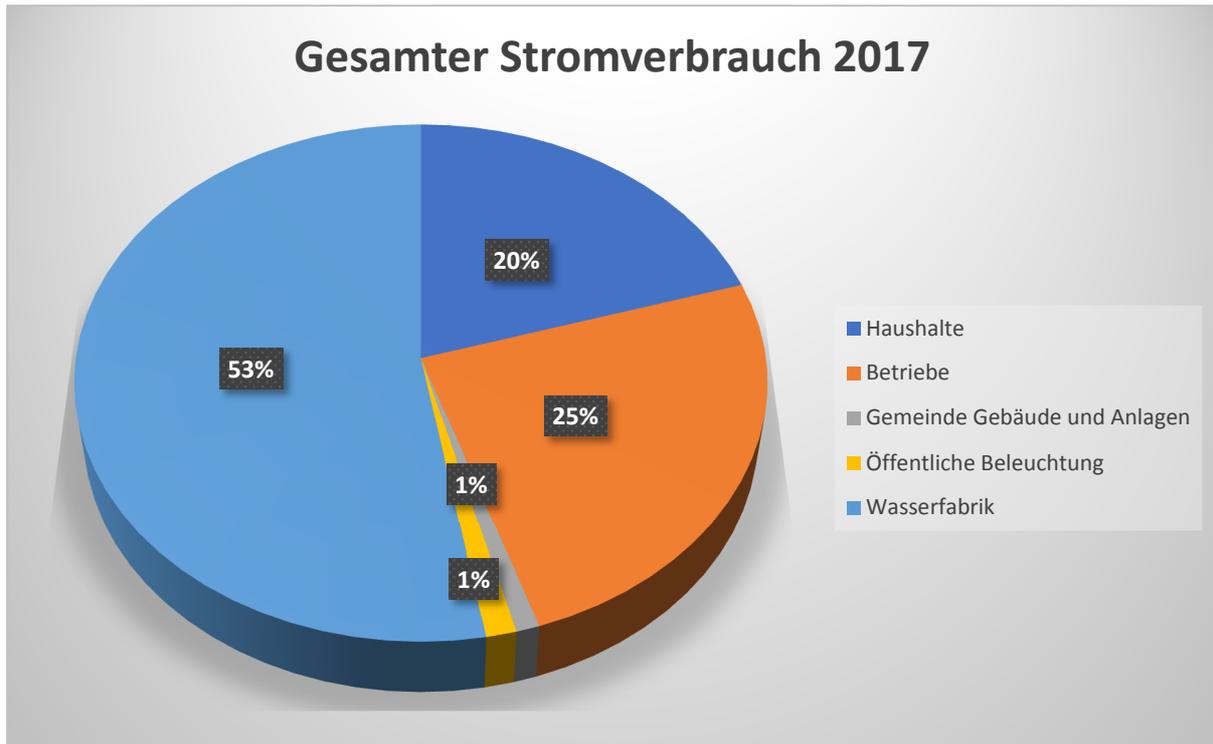


Diagramm 2: Gesamter Stromverbrauch nach Sektor für das Jahr 2017

Wenn man den Verbrauch den verschiedenen Ortschaften zuteilt, sieht man, dass in Beckerich der meiste Strom verbraucht wird, das liegt daran, dass sich die Wasserfabrik in diesem Ort befindet. An zweiter Stelle liegt Oberpallen, was sich durch die Lage des Pallcenters erklären lässt. Die Gemeinden Hovelange und Noerdange teilen sich den dritten Platz. Der Stromverbrauch nach Ortschaft ist auf **Diagramm 3** dargestellt.

Stromverbrauch nach Ortschaft 2017

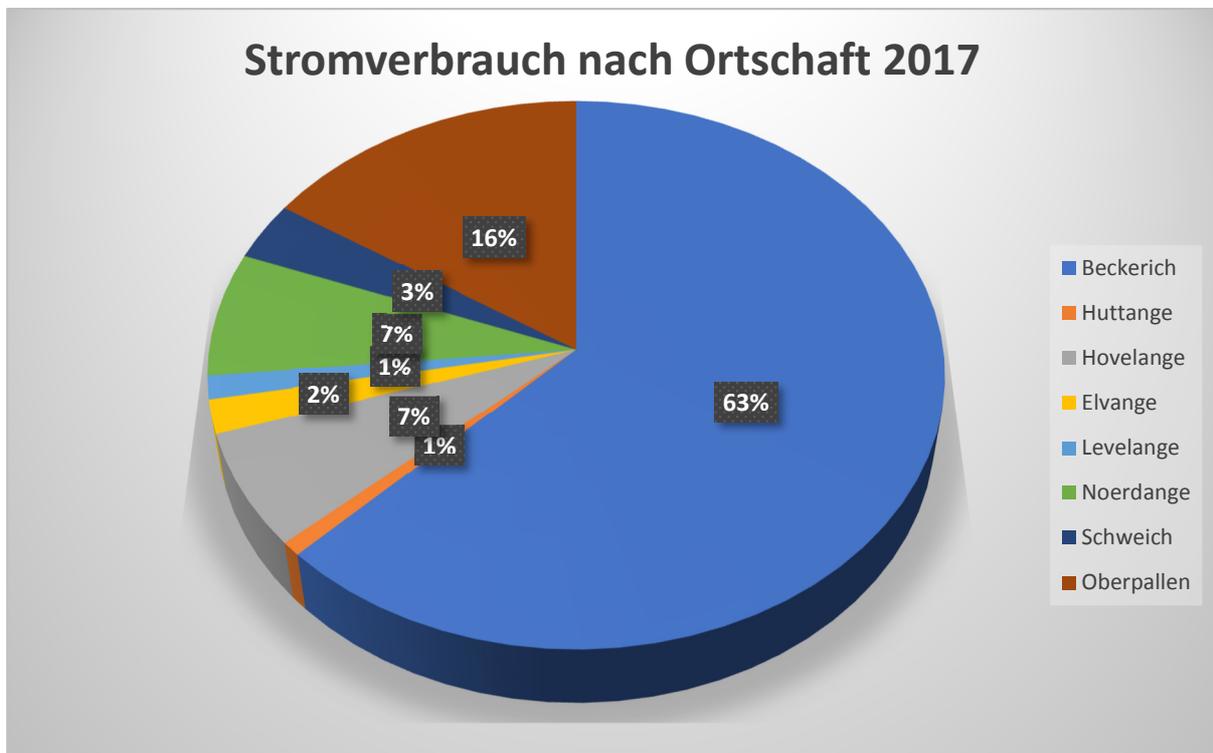


Diagramm 3: Stromverbrauch nach Ortschaft für das Jahr 2017

Auf dem Gemeindegebiet wurden 2017 insgesamt 7.615.537 kWh Strom mit erneuerbaren Rohstoffen produziert. Den größten Anteil liefert die gemeinschaftliche Biogasanlage (BGA) in Hovelange mit rund 82%. Diese Anlage wird gemeinschaftlich von den Bauern der Gegend betrieben, als Ausgangsmaterial der Biogasproduktion dienen deshalb pflanzliche Substrate, die im alltäglichen Betrieb anfallen und Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung. Ab und zu wird die Anlage auch mit Frachtcontainern von holländischen Häfen beliefert, die Pflanzen beinhalten, die während dem Transport verdorben sind und nicht mehr von den Händlern angenommen wurden. Das Biogas wird dann genutzt um Motoren anzutreiben, die wiederum einen Generator antreiben. Die Abwärme wird von der Holzhackschnitzanlage abgekauft um das Wasser im Fernwärmekreislauf zu erwärmen. Die private Biogasanlage wird nur von einem Bauern betrieben, deshalb fällt der Ertrag eher gering im Vergleich mit der gemeinschaftlichen Anlage aus.

Der Ertrag der Photovoltaikanlagen setzt sich teils aus privaten Anlagen und teils aus den gemeinschaftlich genutzten PV-Anlagen zusammen. Es ist eine Gesamtleistung von 1133 kWp angeschlossen, womit sich ein Ertrag von 1.019.700 kWh pro Jahr ergibt. Die Erträge aus erneuerbaren Ressourcen sind in Tabelle 1 festgehalten.

Stromlieferant	Produktion (kWh/a)	Anteil (%)
<i>BGA privat</i>	332.689	4,37
<i>BGA gemeinschaftlich</i>	6.263.148	82,24
<i>Photovoltaikanlage</i>	1.019.700	13,39
Total	7.615.537	100,00

Tabelle 1: Stromertrag aus erneuerbaren Ressourcen für das Jahr 2017

Auf **Diagramm 4** ist die Aufteilung der Stromproduktion dargestellt, 34% des Stroms werden in der Gemeinde selbst hergestellt. Alle Stromlieferanten des Landes haben 2011 beschlossen die konventionelle Stromversorgung (Niederspannung) auf Ökostrom umzustellen, d.h. dass alle privaten Haushalte mit zertifiziertem grünen Strom beliefert werden. Der Strom für die Gebäude und Anlagen der Gemeinde und für die öffentliche Beleuchtung wird von einem lokal ansässigen Stromversorger geliefert, der auch nur zertifizierten Ökostrom anbietet (Eida). Die Wasserfabrik und das PallCenter, beide Mittelspannungskunden, beziehen ebenfalls grünen Strom.

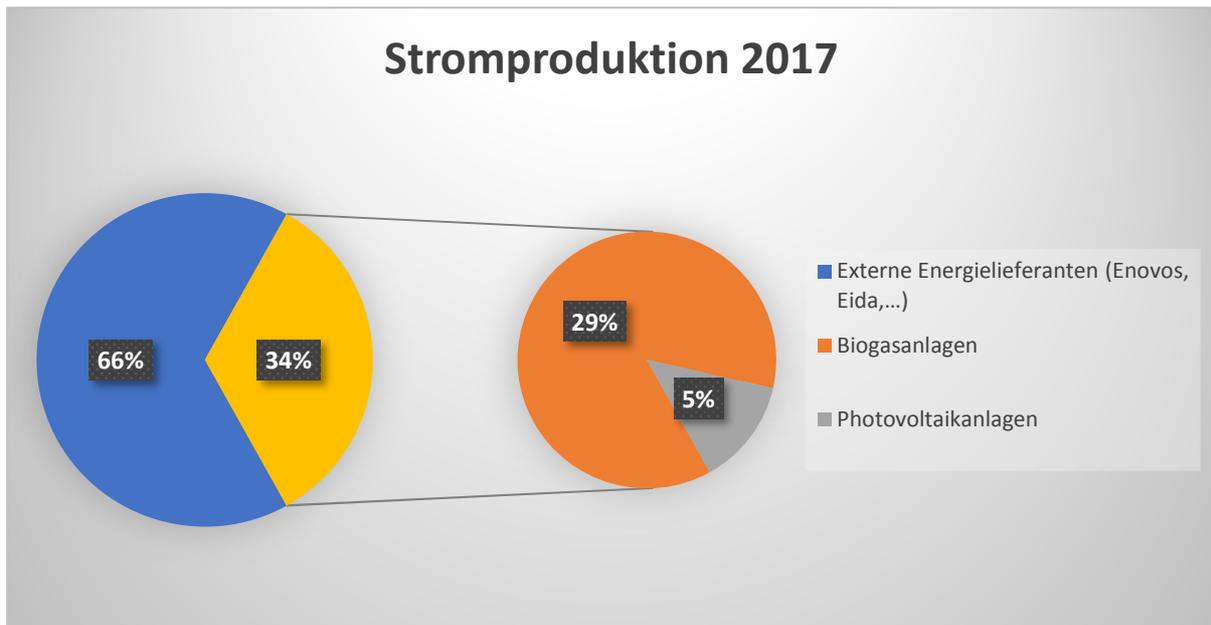


Diagramm 4: Stromerzeugung für das Jahr 2017

Der kommunale Stromverbrauch ist nochmals in **Tabelle 2** zusammengefasst, auf den Gesamtverbrauch bezogen wird lediglich ein Deckungsgrad von rund 34% erreicht. Betrachtet man nur den Deckungsgrad am Niederspannungsnetz, an dem die Haushalte und Gemeinde angeschlossen sind, werden 113% erreicht. Ohne die Wasserfabrik würde man immerhin noch 72% Deckungsgrad erreichen.

	Verbrauch (kWh/a)	Anteil (%)
Haushalte	4.556.793	20,2
Gemeinde	276.686	1,2
Betriebe und Industrie	17.381.152	77,2
öffentliche Beleuchtung	292.440	1,3
Gesamtverbrauch	22.507.071	100,0
Stromproduktion	7.615.537	33,8
Deckungsgrad Niederspannung		113,3
Deckungsgrad (Nieder- & Mittelspannung) ohne Wasserfabrik		71,6

Tabelle 2: Zusammenfassung des Stromverbrauchs für das Jahr 2017

2.2.2 Wärmeversorgung

Die Datenerfassung zur Wärmeversorgung hat sich als ziemlich schwierig gestaltet, da hier nur wenige Daten zur Verfügung stehen. Ein Teil der Haushalte nutzt fossile Brennstoffe wie Heizöl und in seltenen Fällen auch Erdgas. Diese lassen sich nur schwer erfassen, da es keinen zentralen Lieferanten für die Gemeinde gibt. Ein Teil der Einwohner wird aber auch von der kommunalen Holzhackschnitzel- & Biogasanlage mit Fernwärme versorgt, diese Daten stehen der Gemeinde zur Verfügung. Mit diesen Daten wurde als erst der Pro-Kopfverbrauch in der Gemeinde ermittelt und dann auf die Anzahl der Einwohner hochgerechnet. Die Verbräuche der Gemeindegebäude stehen auch zur Verfügung, da sich die Gemeinde dazu verpflichtet hat ihren Verbrauch mit dem Enercoach-Tool festzuhalten. Die Daten zum Verbrauch der Betriebe waren teils bekannt, weil auch einige Betriebe am Fernwärmenetz angeschlossen sind. Die Daten der nicht angeschlossenen Betriebe wurde einerseits durch Befragungen ermittelt, teilweise auch geschätzt, da nicht alle Betriebe ihren Verbrauch kannten.

Um den Energieverbrauch in der Gemeinde zu ermitteln wurde eine Umfrage gestartet, jedoch gab es nur sehr wenig Resonanz, nur 20 der 880 Haushalte haben darauf reagiert (2,3%). Obwohl die Umfrage nicht repräsentativ ist wurden die Daten ausgewertet um eine Referenz für die Schätzung der Verbräuche zu haben. Der Pro-Kopf-Verbrauch beträgt laut Umfrage 7900kWh, geschätzt wurden 8600kWh. Dieser liegt in einem Toleranzbereich von 10%, was sehr zulässig ist. Des Weiteren ließ sich der spezifische Durchschnittswärmebedarf ermitteln, dieser beträgt rund 103kWh/m², dies würde theoretisch einer Effizienzklasse E entsprechen. Der Pro-Kopf-Stromverbrauch beträgt rund 1700 kWh, laut den Daten des Netzbetreibers sollte dieser 1800 kWh betragen. Auch dieser Verbrauch liegt innerhalb des 10% Toleranzbereichs.

Auf **Diagramm 5** sieht man, dass die Haushalte mit 82% den größten Anteil am Wärmeverbrauch ausmachen. Der Betriebssektor liegt mit 13% an zweiter Stelle, und die öffentlichen Gebäude der Gemeinde an dritter Stelle mit 5%.

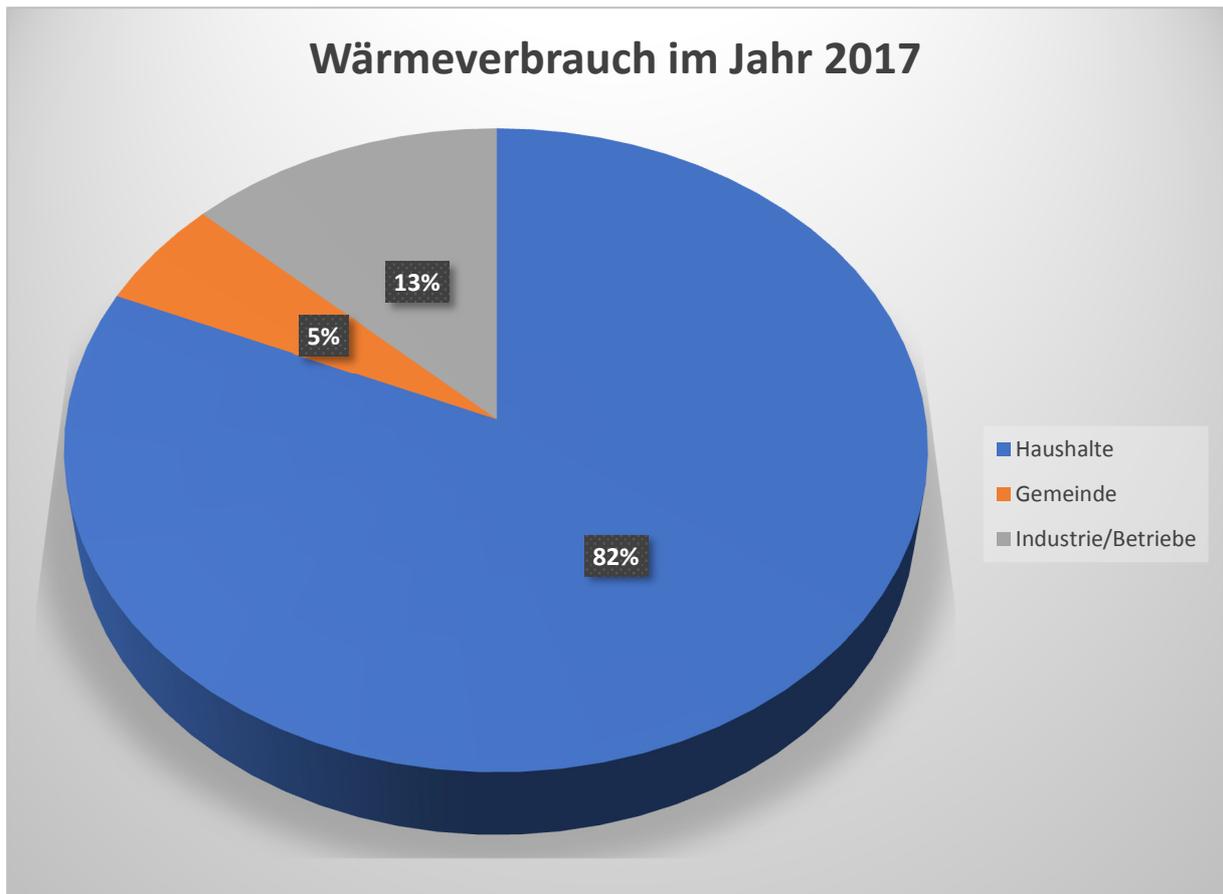


Diagramm 5: Wärmeverbrauch nach Sektor für das Jahr 2017

Die Wärmeproduktion der Gemeindegebäude setzt sich aus verschiedenen Prozessen zusammen. Wie bereits erwähnt sind einige Haushalte und Betriebe in den Ortschaften Beckerich und Noerdingen, Elvange und Hovelange ans Fernwärmenetz angeschlossen. Andere Haushalte besitzen Solarthermieanlagen zum Erwärmen von Heiz- und Sanitärwasser, es soll aber angemerkt werden, dass Solarthermieanlagen lediglich zur Heizunterstützung genutzt werden können und eine sekundäre Heizanlage benötigt wird. Einige Haushalte haben ihren alten Heizkessel durch Holzöfen ersetzt, die entweder Holzhackschnitzel, Holzpellets oder Holzscheite verfeuern. Andere Haushalte besitzen eine Wärmepumpe, die entweder die Umgebungstemperatur oder Erdwärme zum Heizen nutzen. Die meisten Wärmepumpen werden mit Strom angetrieben, da aber alle Haushalte zertifizierten Ökostrom beziehen wird hier auch Wärme mit erneuerbaren Ressourcen erzeugt. Diese Daten stammen aus den Statistiken der Umweltbehörde, die für die Zwecke dieser Arbeit zur Verfügung gestellt wurden.

Auf **Diagramm 6** ist die Verteilung der Wärmeproduktion dargestellt. Man sieht, dass nur 40% der Wärme von Heizöl stammt, die restlichen 60% wurden durch erneuerbare Energiequellen erzeugt. Der größte Teil der Wärme wird durch die Fernwärme (Holzhackschnitzelanlage + Biogasanlage) geliefert, sie macht rund 52% der gesamten Wärmeproduktion der Gemeinde aus.

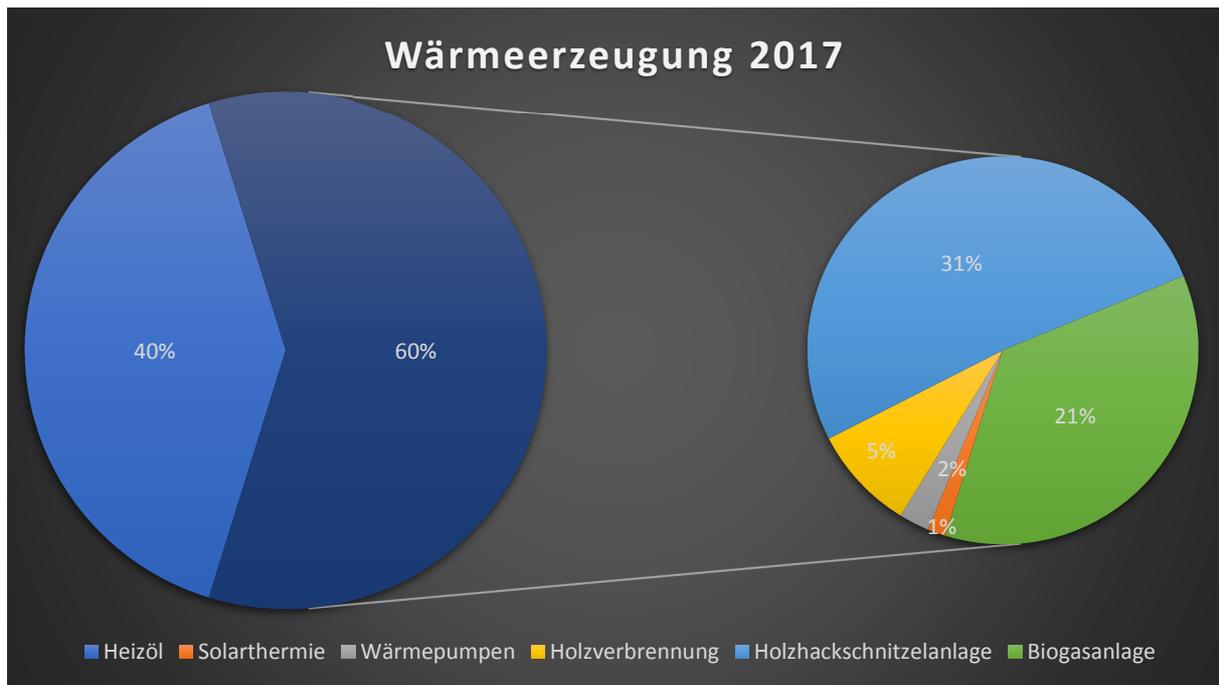


Diagramm 6: Wärmeerzeugung auf dem Gemeindegebiet Beckerich 2017

In **Tabelle 3** ist die in den Privathaushalten erzeugte Wärme aus erneuerbaren Energieträgern zusammengefasst. Bei den Solarthermieanlagen ist nur die Fläche der installierten Anlagen bekannt, durch Kennwerte lässt sich daraus die produzierte Wärme errechnen. Bei den Wärmepumpen war nur die Anzahl gegeben, deshalb wurden hier die Energiepässe, die den Baugenehmigungen beilagen zu Rate gezogen, durch den Heizwärmebedarf und die Energiebezugsfläche konnte auch hier die produzierte Wärme ermittelt werden. Bei den Anlagen die Wärme durch Holzverbrennung produzieren war nur die Nennleistung gegeben, deshalb wurde die Wärmeproduktion hier mit der Betriebsdauer (1440h) ermittelt. Bei der Wärme, die in den Haushalten mittels erneuerbaren Energien erzeugt wurde, stammt der Großteil durch die Verbrennung von Holz.

	Fläche (m ²)	Gesamtleistung (kW)	Anzahl	Produktion (kWh/a)
Solarthermieanlagen	778,57		105	236.729
Wärmepumpen			64	399.587
Holzvergaserkessel		100	3	144.000
Holz hackschnitzelheizungen		405	8	583.200
Holzpellettheizungen		410,1	16	590.544
Holzessel		42	1	60.480
			Gesamtproduktion	2.014.540

Tabelle 3: Zusammenfassung der Wärmeerzeugung der Haushalte mit erneuerbaren Energien

2.2.3 CO₂-Bilanz

Zur Berechnung der CO₂ Emissionen der Gemeinde wurden verschiedene Gesetzestexte und Datenblätter zu Rate gezogen. Es wurde nur der CO₂-Ausstoss berechnet, der durch die Produktion der genutzten Wärme und Elektrizität entsteht. Der Emissionsfaktor für den Strom bezieht sich auf das *Règlement E11/14/ILR du 29 mars 2011 portant fixation des valeurs par défaut de l'impact environnemental* und betrug 2017 0,599 kg CO₂/kWh (Institut Luxembourgeois de Régulation - Règlement ILR/E18/9 du 23 mars 2018 - Secteur électricité). Die Berechnung der CO₂-Emissionen für die Wärme erfolgte ähnlich, die Emissionen wurden mit den spezifischen Emissionsfaktoren der einzelnen Energieträger errechnet. Diese Faktoren beziehen sich auf das *Règlement ministériel du 21 septembre 2016 fixant les facteurs de correction climatique annuels prévus à l'annexe du règlement grand-ducal modifié du 30 novembre 2007 concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation*.

Stromversorgung	Endenergie (kWh/a)	CO ₂ -äquivalent (kg CO ₂ /kWh)	CO ₂ -Ausstos (kg CO ₂ /a)
Grüner Strom	18.595.756,00	0	-
Strommix	1.824.353,00	0,599	1.092.787,45
PV-Strom	-	-	-
Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung (Biogasanlagen)	1.019.700,00	0,569	580.209,30
	6.595.837,00	0	-
Wärme	Endenergie (kWh/a)	CO ₂ -äquivalent (kg CO ₂ /kWh)	CO ₂ -Ausstos (kg CO ₂ /a)
Heizöl	10.766.662,28	0,306	3.294.598,66
Holz hackschnitzel	583.200,00	0,035	20.412,00
Brennholz	204.480,00	0,014	2.862,72
Holz-Pellets	590.544,00	0,021	12.401,42
Nah-&Fernwärme mit erneuerbaren Brennstoffen	8.113.423,00	0,066	535.485,92
Wärmepumpe	399.587,32	0	-
Elektrische Heizunterstützung	3.595,00	0	-
Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung (Biogasanlagen)	5.708.850,00	0	-
Total	52.366.587,60		4.378.338,87

Table 4: CO₂-Bilanz für die Energieversorgung der Gemeinde Beckerich

Die CO₂-Emissionen der Gemeinde sind in **Table 4** festgehalten. Die Haushalte werden alle mit Ökostrom versorgt und erzeugen somit kein CO₂, bei Nachfrage bei der Wasserfabrik und dem Pall Center haben sie auch bestätigt, dass sie Ökostrom verbrauchen. Bei den restlichen Betrieben, die am Mittelspannungsnetz angeschlossen sind, ist der Stromlieferant nicht bekannt und es wird angenommen, dass diese den üblichen Strommix nutzen. Im Jahr 2017 wurden rund 4.400t CO₂ emittiert, die Stromproduktion macht 12% der Emissionen aus, die restlichen 88% gehen von der Wärmeproduktion aus. Auf **Diagramm 7** wird die CO₂ Produktion grafisch dargestellt.

CO₂ Produktion 2017 Gemeindegebiet Beckerich

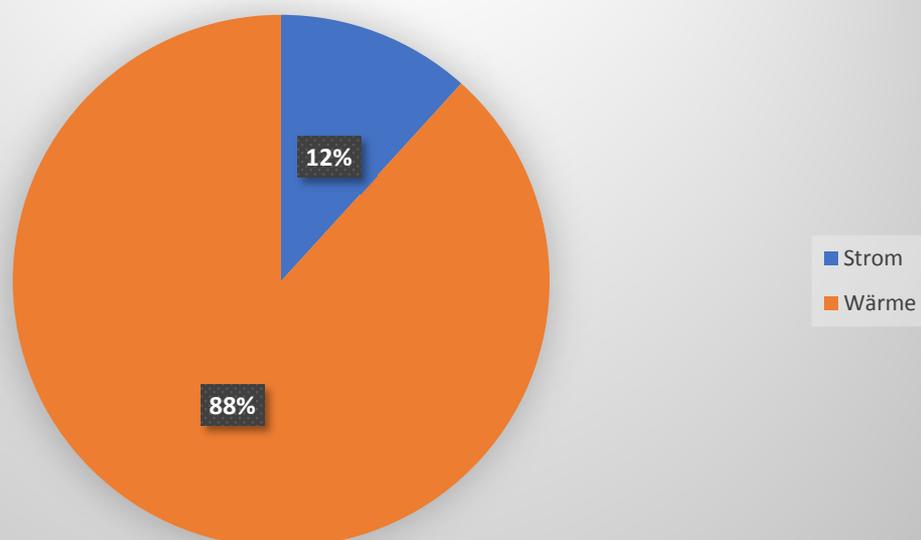


Diagramm 7: CO₂ Produktion 2017 der Wärme- und Stromversorgung auf dem gesamten Gemeindegebiet Beckerich

In **Tabelle 5** wird der Umwelteinfluss der Strom- & Wärmeverbräuche in der Gemeinde für das Jahr 2017 verglichen. Pro verbrauchte Kilowattstunde Strom werden im Durchschnitt 20g CO₂ in die Umwelt abgegeben und pro verbrauchte Kilowattstunde Wärme sind es im Durchschnitt 150g CO₂. Strom wird auf eine relativ saubere Art und Weise hergestellt, bei der Bereitstellung der Wärme muss jedoch der CO₂-Ausstoß noch gesenkt werden.

	Verbrauch (kWh/a)	CO ₂ -Ausstoß (kg/a)	Mittlerer CO ₂ -Ausstoß (kg CO ₂ /kWh)
Strom	27.015.946	512.578	0,02
Wärme	26.370.342	3.865.761	0,15

Tabelle 5: Mittlerer CO₂-Ausstoß im Jahr 2017

3 Potenzial der Nutzung von erneuerbaren Energien

3.1 Solarenergie

3.1.1 Bestandsaufnahme

Die Energie der Sonne kann durch zwei technische Anlagen genutzt werden, Photovoltaikanlagen wandeln mit Solarzellen das Licht in elektrische Energie um. Solarthermieanlagen nutzen die Wärme um eine Heizflüssigkeit zu erwärmen, die wiederum das Wasser im Heizkreislauf des Hauses erwärmt. Bei solarthermischen Anlagen unterscheidet man ob nur Sanitärwasser oder auch Heizwasser erhitzt wird. Anlagen, die beides erhitzen sind aufwändiger und dementsprechend teurer.

Diagramm 8 beschreibt die Entwicklung der solaren Anlagen zwischen den Jahren 2014 und 2017. Es fällt auf, dass die Anzahl der PV-Anlagen höher ist als die Anzahl der solarthermischen Anlagen, dies lässt sich dadurch erklären, dass in den letzten Jahren PV-Anlagen stark vom Staat gefördert wurden und somit sehr lukrativ waren. Der Verkaufspreis für den selbsterzeugten Strom war höher als der Einkaufspreis bei den öffentlichen Energieversorgern, somit wurden Photovoltaikanlagen zu einem lukrativen Investmentobjekt. Dieser Trend nimmt aber seit 2016 ab, denn zwischen 2016 und 2017 kamen nur 2 Anlagen hinzu.

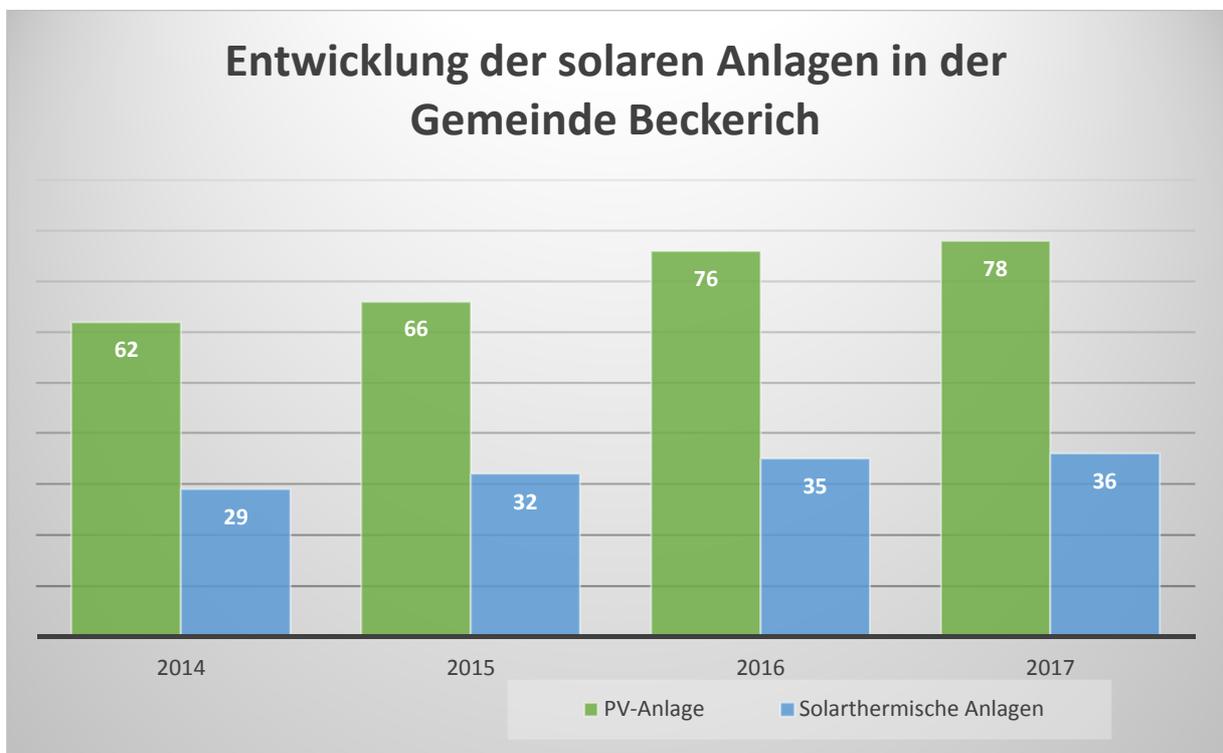


Diagramm 8: Entwicklung der solaren Anlagen in der Gemeinde Beckerich zwischen 2014 und 2017

Diagramm 9 zeigt die Entwicklung der Energieproduktion der solaren Anlagen in der Gemeinde Beckerich zwischen den Jahren 2014 und 2017. Im Jahr 2017 wurden rund 1.019 MWh Strom und 240 MWh Wärme mittels der Solarenergie produziert. Der in den PV-Anlagen produzierte Strom ermöglichte letztes Jahr eine Einsparung von 580 t CO₂, mit der Wärme aus den Solarthermieanlagen konnten 24.000l Heizöl substituiert werden, wobei 73t CO₂ eingespart werden konnten.

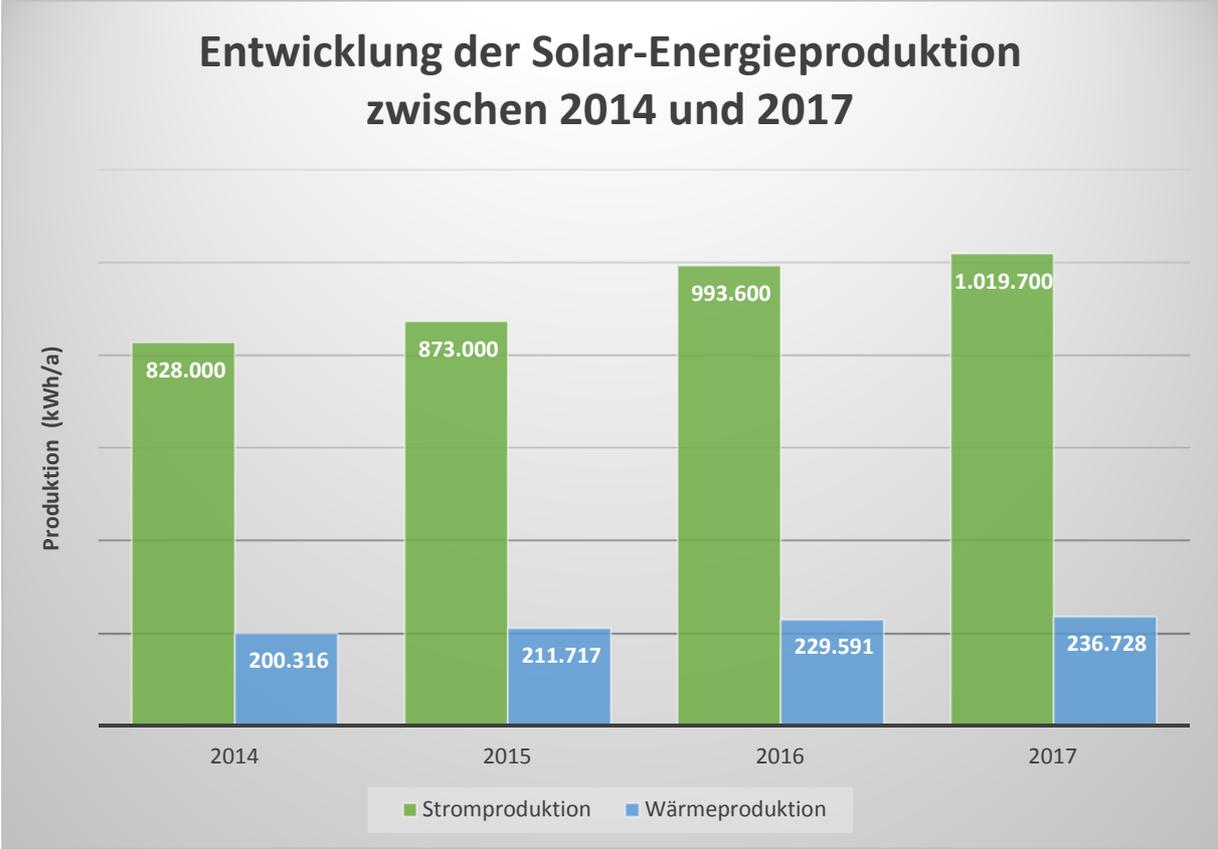


Diagramm 9: Energieproduktion durch solare Anlagen in der Gemeinde Beckerich zwischen den Jahren 2014 und 2017

		PV-Anlagen		Solarthermie	
Ortschaft	Fläche (m ²)	Peak Leistung (kW _p)	Produktion (kWh/a)	Brauchwasser (kWh/a)	Brauch- und Heizwasser (kWh/a)
Lévelange	1711,5	213,9	192.543,8	599.025,0	427.875,0
Huttange	493	61,6	55.462,5	172.550,0	123.250,0
Oberpallen	5342	667,8	600.975,0	1.869.700,0	1.335.500,0
Beckerich	5423	677,9	610.087,5	1.898.050,0	1.355.750,0
Noerdange	3270	408,8	367.875,0	1.144.500,0	817.500,0
Schweich	1485	185,6	167.062,5	519.750,0	371.250,0
Elvange	790	98,8	88.875,0	276.500,0	197.500,0
Hovelange	1820	227,5	204.750,0	637.000,0	455.000,0
Total	20.334,50	2.541,81	2.287.631,25	7.117.075,00	5.083.625,00

Tabelle 6: Solare Nutzung der theoretisch verfügbaren Dachflächen

In **Tabelle 5** sind die theoretisch nutzbaren Dachflächen in den einzelnen Ortschaften aufgetragen, es besteht ein theoretisch nutzbares Potenzial von 20.335 m². Als theoretisch nutzbare Dachflächen werden die Flächen bezeichnet, die optimal ausgerichtet sind um die Energie der Sonne zu nutzen, jedoch werden nicht alle Flächen praktisch genutzt, da z.B. Photovoltaikanlagen auf 30kW_p begrenzt sind. In den Kolonnen 4-6 stehen die erzielbaren Energieerträge, wenn man die gesamte Dachfläche für die jeweilige Technologie nutzen würde. Die Dachflächen wurden mithilfe von öffentlich zugänglichen Karten auf Geoportal.lu ausgemessen. Die Frage nach der Genauigkeit dieser Karten und somit auch nach der Genauigkeit der Messungen bleibt offen.

3.1.2 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Da jetzt das theoretische Dachpotenzial bekannt ist, lassen sich viele Szenarien ausmalen, wie diese Flächen genutzt werden können. Sollen überall Photovoltaikanlagen gebaut werden um den Strom gewinnbringend an die Energielieferanten zu verkaufen oder soll doch lieber Heizwärme eingespart werden indem Solarthermieanlagen aufs Dach gestellt werden?

Betrachten wir die Fragestellung als erstes aus wirtschaftlicher Sicht. Die Vergütung von nachhaltig erzeugtem Strom wird vom *Règlement grand-ducal du 1er août 2014 relatif à la production d'électricité basée sur les sources d'énergie renouvelables* geregelt. Artikel 17 des besagten Gesetzes enthält die Formel, mit der die Vergütung für PV-Anlagen mit einer Spitzenleistung von 30kW_p und weniger berechnet wird, die Formel lautet wie folgt:

$$264 * X * (1 - (n - 2013)) * \frac{9}{100} \text{ € pro MWh}$$

Wobei: $1 \geq X \geq 0,7$ ein Reduktionsfaktor ist, der von der Regierung festgelegt werden kann, als Standardparameter gilt $X=1$.

n =das Jahr indem die Anlage zum ersten Mal Strom in das Netz speist.

Wenn man mit dieser Formel die Vergütung im Jahr 2018 berechnet, kriegt man $0,145 \text{ €/kWh}$, wenn man aber Strom bei einem öffentlichen Energielieferanten kauft kostet dieser rund $0,17\text{€/ kWh}$. Es würde also Sinn machen einen Teil des selbsterzeugten Photovoltaikstrom selbst zu nutzen um die Stromrechnung zu senken. Bei kleinen Solaranlagen könnte man bis zu 30% des erzeugten Stroms selbst verbrauchen, mit einem Stromspeicher lassen sich sogar bis zu 70% nutzen, es muss jedoch bedacht werden, dass Stromspeicher im Moment noch sehr teuer sind und die Rentabilität einer Anlage stark senken können.

Eine 5kW_p Anlage rentiert sich nach $10,6$ Jahren wenn man den Strom nur ins Stromnetz einspeist, wenn man jedoch einen Teil davon selbst nutzt, rentiert sich die selbe Anlage bereits nach $10,2$ Jahren.

Wenn man eine Solarthermieanlage zum Erwärmen des Sanitärwassers mit einer Fläche von $7,5 \text{ m}^2$ installiert ersetzt diese rund 260l Heizöl pro Jahr. Dank der staatlichen und kommunalen Förderung rentiert sich diese Anlage schon in 8 Jahren.

Eine detaillierte Rechnung findet sich in Anhang 1 dieser Arbeit.

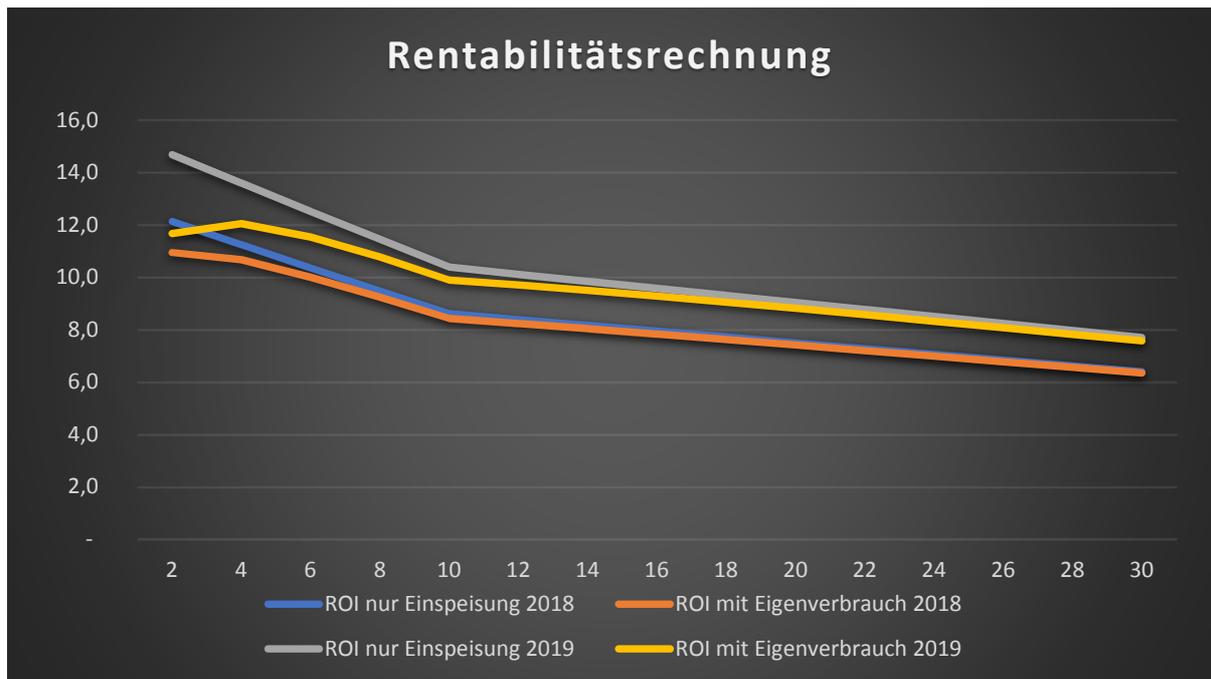


Diagramm 10: Verlauf der Rentabilitätsfunktion für PV-Anlagen

Auf **Diagramm 10** wird der Verlauf der Rentabilitätsfunktion dargestellt, dabei werden 2 Szenarien untersucht. Im ersten Szenario wird der Strom komplett ins Stromnetz eingespeist, und im zweiten Szenario wird ein Teil des in der PV-Anlage produzierten Stroms selbst verbraucht. Es wurden Rentabilitätskurven für die Jahre 2018 und 2019 erstellt, da die Einspeisevergütung im Jahr 2019 auf 0,121 €/kWh sinken wird. Wenn man die beiden Kurven für das Jahr 2019 (graue und gelbe Kurve) vergleicht, sieht man, dass kleine Anlagen besonders rentabel sind, wenn man den Photovoltaikstrom selbst nutzt. Je grösser die Anlage wird, desto kleiner wird der Unterschied zwischen der Nutzung der Anlagen, das liegt daran, dass man bei kleinen Anlagen einen größeren Anteil des Stroms nutzen kann als bei den großen Anlagen. Die Vorgehensweise bei der Erstellung der Rentabilitätskurven basiert auf den Berechnungen aus Anhang 1.

3.1.3 Strategieplan zur Nutzung der solaren Energie

Aus dem Verlauf der Rentabilitätskurve lassen sich einige Randbedingungen zum Bau von Photovoltaikanlagen erstellen. Da die Einspeisevergütung nur für 15 Jahre gewährleistet wird, sollte sich die Anlage auch bereits vor 15 Jahren schon rentieren. Die Anlagen sollten deshalb zwischen 4kW_P und 30kW_P bzw. zwischen 24m² und 180m² groß sein, wobei angenommen wird, dass eine Anlage 6m² benötigt um 1kW_P Leistung zu erzeugen.

Da die Ortschaften Hovelange, Elvange, Beckerich und Noerdingen über ein Fernwärmenetz verfügen, welches die Haushalte mit Warmwasser versorgt, wäre es nicht sinnvoll Haushalte, die bereits am Wärmenetz angeschlossen sind oder die Möglichkeit besitzen an diesem Netz angeschlossen zu werden mit einer solarthermischen Anlage zur Brauchwasser- und Heizwassererwärmung auszurüsten. Solarthermische Anlagen zum Erwärmen von Brauch- und Heizwasser sollten daher für die Haushalte in Betracht gezogen werden, die diese Möglichkeit nicht besitzen. Die Dimensionierung einer solarthermischen Anlage beruht auf dem Warmwasserverbrauch des Haushaltes. Es wird angenommen, dass ein durchschnittlicher Haushalt aus 4 Personen besteht, daraus ergibt sich eine Kollektorfläche von 16m² für solarthermischen Anlagen mit Heiz- und Brauchwassererwärmung. Solarthermische Anlagen allein zur Brauchwassererwärmung werden nicht geplant.

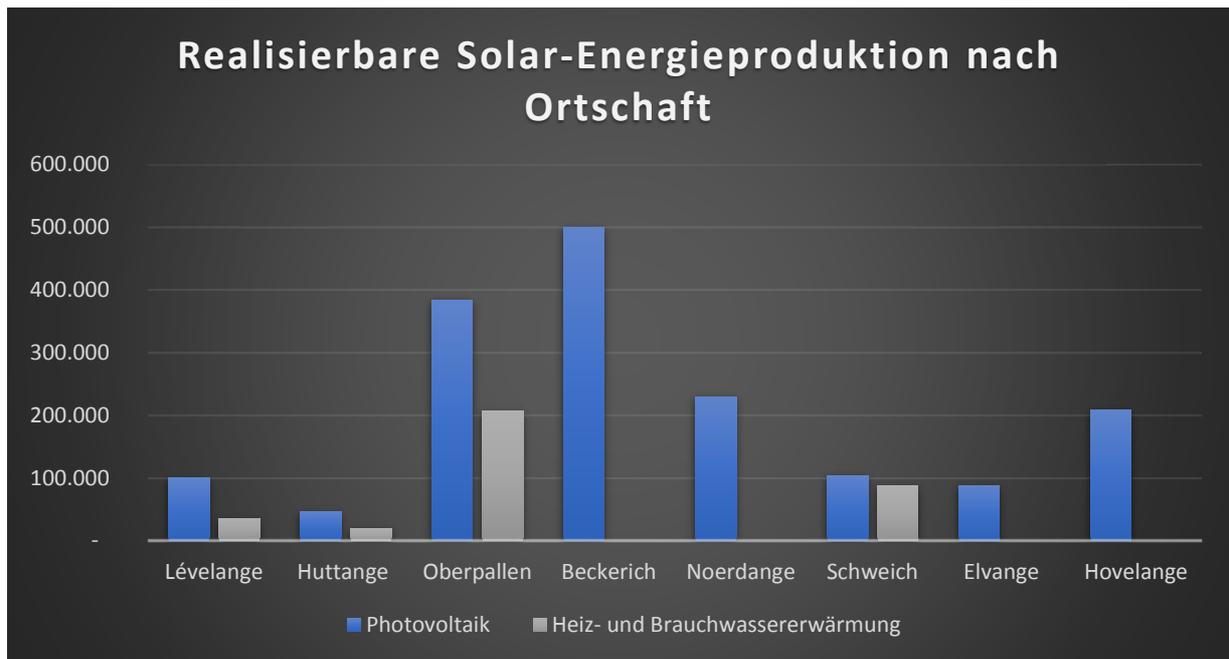


Diagramm 11: Realisierbare Energieproduktion nach Ortschaft

Diagramm 10 zeigt die realisierbare Energieproduktion in den verschiedenen Ortschaften, wenn die oben genannten Kriterien befolgt werden. Alle acht Ortschaften der Gemeinde bieten ein Potenzial für Photovoltaikstrom, wobei die Gemeinde Beckerich das mit Abstand größte Potenzial bietet. Solarthermieanlagen zur Heiz- und Brauchwassererwärmung sollten nur in den Ortschaften Lévelange, Hüttingen, Oberpallen und Schweich errichtet werden, dabei bietet Oberpallen das größte Potenzial.

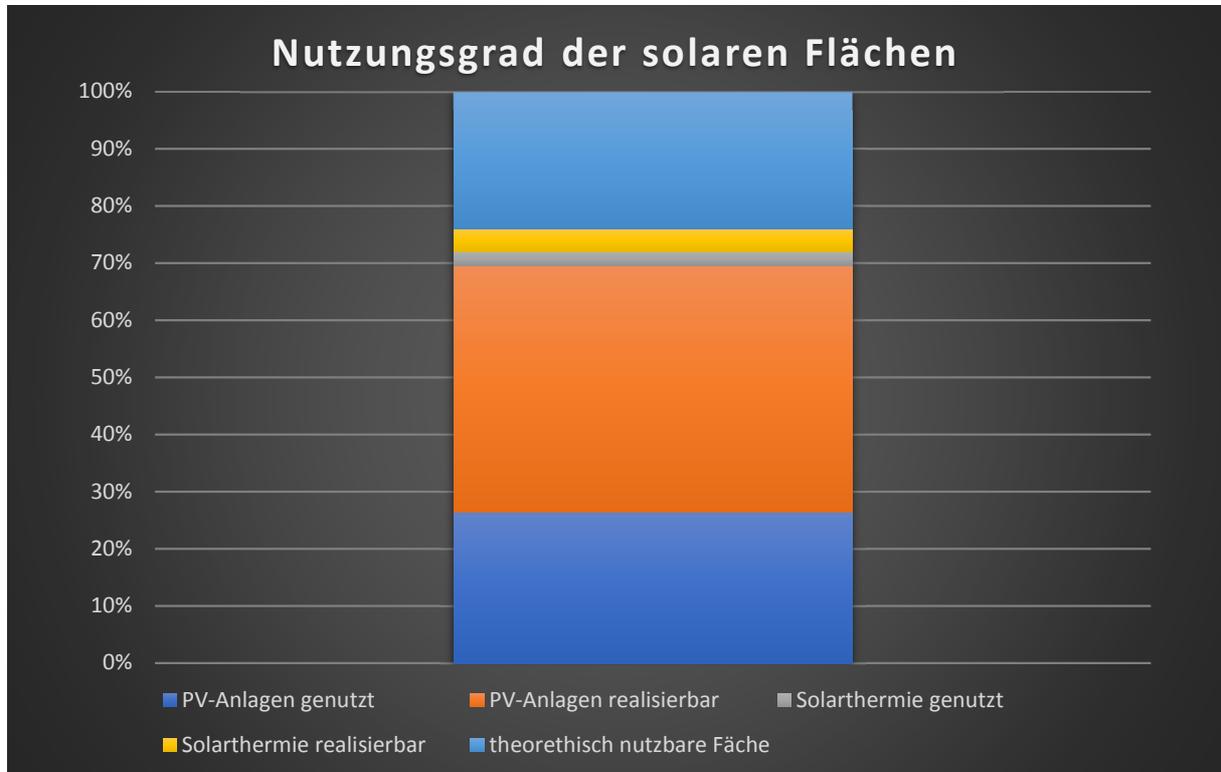


Diagramm 12: Realisierbarer Nutzungsgrad der solaren Flächen

Diagramm 12 zeigt den realisierbaren Nutzungsgrad der solaren Flächen in der Gemeinde. Rund 27% der Dachflächen werden bereits für Photovoltaikanlagen genutzt (dunkelblauer Balken), dies entspricht einer Energiemenge von 8.100 MWh Strom. Weitere 42% der potenziellen Flächen würden sich für den Bau von weiteren PV-Anlagen eignen, somit würde sich der Nutzungsgrad für Photovoltaik auf insgesamt 70% erhöhen. Für die Installation von Solarthermieanlagen werden knapp 2% der Dachflächen genutzt, dies entspricht wiederum einer Energiemenge von rund 197 MWh Wärme. Der Nutzungsgrad der Dachflächen würde sich auf 8% steigern lassen. Rund 23% der theoretisch verfügbaren Dachflächen können nicht genutzt werden. Das ein so großer Anteil an Dachflächen nicht genutzt werden kann liegt einerseits daran, dass solarthermische Anlagen meist klein ausfallen, da sie sich nach dem Wärmeverbrauch des Haushalts richten. Ein Überdimensionieren der Kollektoren würde nur ein schnelleres Erhitzen des Wassers bewirken, aber ohne einen wirksamen Langzeitwärmespeicher würde diese Energie ungenutzt dissipieren. Andererseits dürfen private Photovoltaikanlagen eine maximale Leistung von 30kWp nicht überschreiten, wenn man eine größere Anlage installieren will muss eine Kooperative gegründet werden.

Durch die Nutzung der Energie der Sonne, können signifikante CO₂-Einsparungen erreicht werden. Durch den Ausbau von Photovoltaikanlagen könnten bis zu 950 t CO₂ eingespart werden, im Vergleich zum CO₂-Ausstoss des Jahres 2017, wäre somit eine Ersparnis von 21,6% möglich. Durch den Ausbau der Solarthermieanlagen für Warmwasser und Heizunterstützung wäre eine Ersparnis von 108t CO₂ möglich, im Vergleich zum CO₂-Ausstoss von 2017 entspricht dies einer Ersparnis von 2,5%. Bei der CO₂-Ersparnis von Solarthermieanlagen wird angenommen, dass diese Heizöl substituieren.

	Energieproduktion (kWh)	CO ₂ -Äquivalent (kg CO ₂ /kWh)	CO ₂ -Einsparung (kg CO ₂)	Einsparung zu 2017 (%)
Solarstrom	1.664.494	0,569	947.097	21,6
Solarthermie	352.000	0,306	107.712	2,5

Tabelle 7: CO₂ Einsparung durch Nutzung von Sonnenenergie

3.2 Holzartige Biomasse

Ein wichtiges Potenzial, welches der Gemeinde zur Verfügung steht ist die holzartige Biomasse, die in verschiedenen technischen Anlagen verbrannt werden kann um Wärmeenergie zu erzeugen. Die Daten stammen größtenteils vom zuständigen Forstamt, welches sich um die öffentlichen Wälder kümmert. Die gesamte Waldfläche beträgt 700ha (STATEC: letzter Stand 2010), davon sind 44% öffentlicher Wald und gehören der Gemeinde. Die restlichen 56% sind in Privatbesitz und teilen sich auf mehrere Besitzer auf, diese Wälder werden meistens vererbt und sind somit seit einigen Jahrhunderten in Familienbesitz. Die Besitzverhältnisse des Waldes sind in **Diagramm 13** festgehalten.

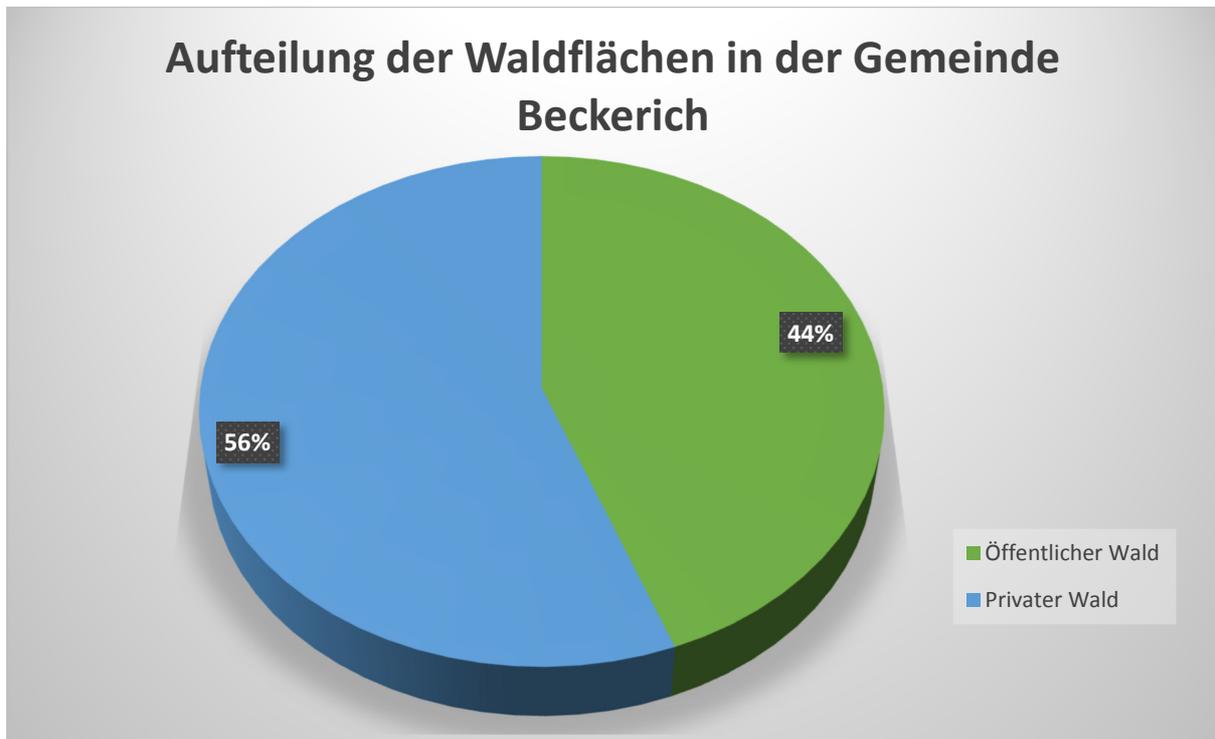


Diagramm 13: Aufteilung der Besitzverhältnisse der Wälder der Gemeinde Beckerich

In **Tabelle 8** sind die Daten zur Auswertung der holzartigen Biomasse zusammengefasst. Da die öffentlichen Wälder von einem Förster verwaltet werden, konnte dieser auch Auskunft über die Nutzung des Holzes geben. Die aktuellsten Daten, die zur Verfügung standen stammen aus dem Jahr 2014, aber nach einem Gespräch mit dem zuständigen Förster kann man sagen, dass die Werte nicht signifikant geändert haben und dass man mit einem Zuwachs von 5% rechnen kann. Zur Nutzung der privaten Wälder stehen jedoch keine Daten zur Verfügung, deshalb wurde hier eine Abschätzung auf Basis der Daten zur Nutzung der öffentlichen Wälder gemacht.

In der Gemeinde befinden sich ungefähr 700ha Waldfläche, davon sind 310ha in öffentlichem Besitz und die restlichen 390ha in Privatbesitz. Im öffentlichen Wald werden jährlich 2569m³ Holz gefällt, daraus ergibt sich eine spezifische Abschlagrate von 8,3 m³/ha. Mit dieser spezifischen Abschlagrate und der Fläche der privaten Wälder lässt sich für letztere der jährliche Abschlag berechnen, welcher rund 3242m³ beträgt. Beim Fällen der Bäume entstehen verschiedene Verluste, z.B. werden die Äste abgeschnitten damit man die Baumstämme leichter transportieren kann. Diese Verluste betragen in der Regel 15% des gesamten Holzvolumens. Ein weiterer Teil des Holzes wird als Biotopholz im Wald zurückgelassen, dieses Holz dient dazu die Biodiversität in den Wäldern am Leben zu erhalten. Es werden ungefähr 5% des gesamten Holzvolumens als Biotopholz in den Wäldern zurückgelassen. Nach Abzug der Verluste erhält man das Nutzholzvolumen, aus den öffentlichen Wäldern stehen 2055m³ und aus den privaten Wäldern 2593m³ Holz zur Verfügung. Die Nutzungsart des Holzes variiert in Abhängigkeit der Qualität des Holzes. Hochwertiges Stammholz auch Starkholz genannt, wird meistens

stofflich verwertet, daraus werden Möbel, Furniere und andere Produkte hergestellt. Holz minderwertiger Qualität auch Schwachholz genannt, wird entweder energetisch verwertet (Energieholz) oder findet einen Nutzen als Industrieholz und wird dann z.B. zu Papier verarbeitet. Die Holzqualität variiert nach Holzart und Alter, deshalb kann nur eine Schätzung angenommen werden.

Aus der Verbrauchsbilanz der Holzhackschnitzelanlage geht hervor, dass 1361m³ als Schwachholz ausgewiesen wurden, davon wurden 350m³ an Privatpersonen verkauft und 1011m³ wurden in der Holzhackschnitzelanlage verfeuert. Beim Privatwald kann der Energieholzanteil nur geschätzt werden, in dieser Arbeit wird er auf 50% geschätzt, womit rund 1297 m³ Holz als Energiepotenzial zur Verfügung stehen würden.

	Öffentlicher Wald	Privater Wald
Waldfläche (ha)	309,51	390,49
Jährlicher Abschlag (m ³ /a)	2569,35	3241,62
Verluste (15%)	-385,4	-486,2
Biotopholz (5%)	-128,5	-162,1
Holz (m³)	2055,48	2593,30
Schwachholz (m³)	1361	1296,65
Verkauf an Privatleute (m ³)	350	-
Holzhackschnitzelanlage (m ³)	1011	-
Starkholz (m³)	694,48	1296,65

Tabelle 8: Auswertung des Biomassepotenzials

In der Holzhackschnitzelanlage wurden 2017 rund 8916 Sm³ Buchenholz verfeuert, ein Teil davon wurde bei Privatpersonen und privaten Unternehmen gekauft, der andere Teil stammte aus dem Wald der Gemeinde. Außerdem wurden holzartige Biomasseabfälle von Betrieben aus der Gemeinde und dem Straßen- und Brückenbauamt ebenfalls in der Anlage verfeuert. Die Bioabfälle haben aber einen geringeren Heizwert als das restliche Holz, das verfeuert wurde, die 5000Sm³ Bioabfälle entsprechen ungefähr 2500Sm³ Buchenholz. Da der Holzverbrauch und die Wärmeproduktion bekannt sind lässt sich der Anlagenwirkungsgrad berechnen, dieser liegt bei 72,8%, hier werden Verluste im Anlagennetz nicht mitberücksichtigt. In den Übergangsperioden im Frühjahr und Herbst kann die Anlage nicht ganz ausgelastet werden, somit steigt der spezifische Holzverbrauch und der Wirkungsgrad sinkt. Der Holzverbrauch der kommunalen Holzhackschnitzelanlage ist in **Tabelle 9** zusammengefasst.

Holzquelle	Holzverbrauch	Heizwert
Minettkompost Syndicat (Sm ³)	3680	900
Privatperson (Sm ³)	9	900
Firma Combubois (Sm ³)	270	900
Gemeindewald (Sm ³)	2.457	900
Ponts et Chausés & Gärtnerei (Sm ³)	5.000	552
Gesamter Holzverbrauch	8.915	
zugeführte Energie	8.536.657	
abgeführte Energie	6.215.000	
Wirkungsgrad (%)		72,80

Tabelle 9: Verbrauch der Holzhackschnitzelanlage

Auf **Diagramm 14** wird der Deckungsgrad des Holzverbrauchs der kommunalen Holz hackschnitzelanlage dargestellt, daraus geht hervor, dass rund 43% des verbrannten Holzes aus dem Gemeindegebiet stammt, folglich mussten 57% von Privatunternehmen hinzugekauft werden. Wenn man das Potenzial aus den privaten Wäldern nutzen würde, könnten man den Deckungsgrad auf 71% ausbauen und den Zukauf auf 29% reduzieren.

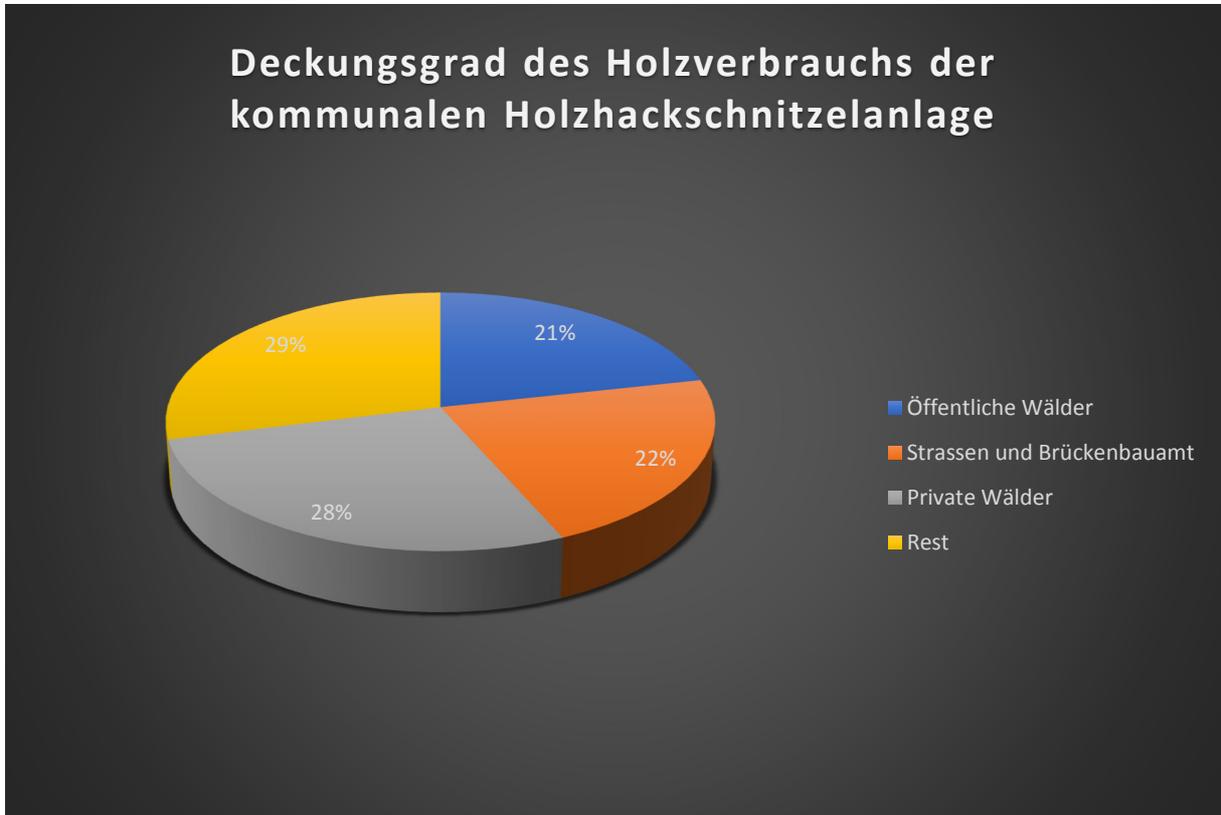


Diagramm 14: Deckungsgrad des Holzverbrauchs der kommunalen Holz hackschnitzelanlage

3.3 Geothermie

Geothermie ist die in der Erdkruste gespeicherte Wärme, die vom Menschen entweder direkt genutzt werden kann, z.B. zum Heizen oder indirekt z.B. zur Stromproduktion. Die Erdwärme der Erde wurde schon im alten Rom zum Erwärmen des Wassers in Badehäusern benutzt und ist somit keine Erfindung der Neuzeit. Erdwärme wird meistens in Kombination mit Wärmepumpen genutzt und zählt als regenerative Energiequelle. Im Winter kann man die Wärme aus dem Erdreich entziehen um Wohngebäude zu heizen und im Sommer kann man die Wärme wieder dem Erdreich zuführen und dies zum Kühlen nutzen. Im Idealfall ergibt die Summe aus entnommener Energie und zugeführter Energie null, sonst droht das Erdreich auszukühlen. In Kombination mit einer Solarthermieanlage lässt sich die Erde sogar als Wärmespeicher nutzen. Da solarthermische Anlagen, die meiste Wärme im Sommer produzieren, gerade dann, wenn diese am wenigsten benötigt wird, kann man die Wärme mit geringen Verlusten ins Erdreich pumpen um sie wieder im Winter zu nutzen.

Um die Erdwärme zu nutzen, werden Erdwärmesonden mittels Tiefenbohrung in einer Tiefe von bis zu 150m herabgelassen. Die Erdwärmesonde ist meist ein U-förmiges Rohrsystem, welches mit einem Wärmeträgermedium (Wasser oder Wasser-Frostschutz-Gemisch) befüllt ist. Ab einer Tiefe von 10m steigt die Temperatur nicht mehr erheblich, im Durchschnitt beträgt sie 11°C und nimmt um 1°C zu pro 30m tiefe. Der Wirkungsgrad der Erdwärmesonde steigt mit der Tiefe der Bohrung, jedoch ist die Bohrung mit einem hohen Kostenaufwand verbunden.

Alternativ zu Erdwärmesonde könne Flächenkollektoren verlegt werden, diese werden nur 1,5m unter der Erdoberfläche angebracht, somit sinken die Kosten jedoch auch der Wirkungsgrad. **Abbildung 2** zeigt links eine Erdwärmesonde und rechts einen Flächenkollektor.

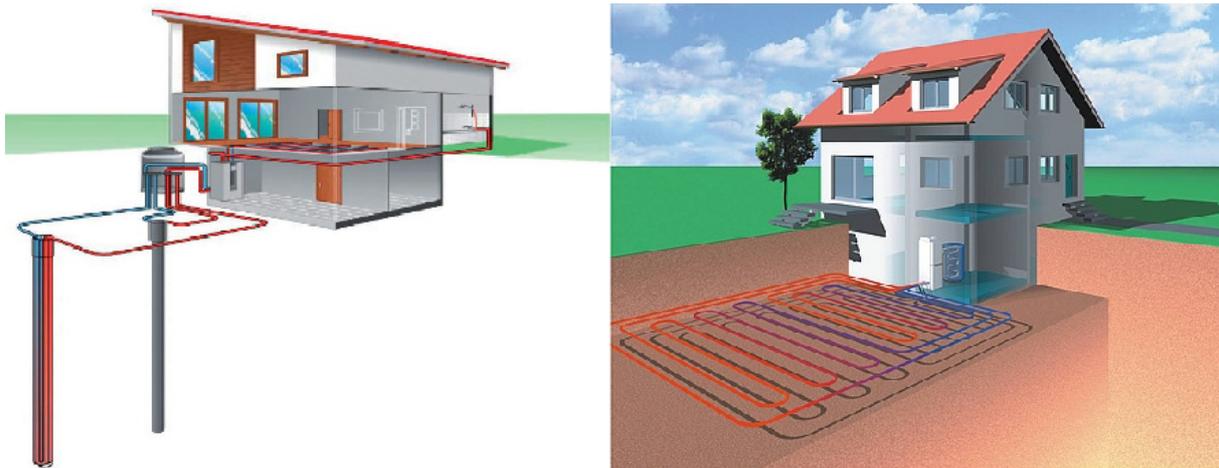


Abbildung 2: Links Erdwärmesonde, Rechts Flächenkollektor

Bohrungen sind genehmigungspflichtig und deshalb nicht überall erlaubt, da stets die Gefahr besteht, dass das Rohrsystem ein Leck haben kann und die Wärmeträgerflüssigkeit das Grundwasser kontaminieren kann. **Abbildung 3** zeigt eine Karte der Gemeinde mit den autorisierten Zonen für eine Tiefenbohrung. In den roten Bereichen ist eine Tiefenbohrung verboten und in den gelben Zonen auch, kann allerdings je nach Standort mit begrenzter Tiefe von der zuständigen Verwaltung genehmigt werden. Ein Großteil der Gemeinde befindet sich in den roten und gelben Zonen, die einzigen Ortschaften, die in Betracht gezogen werden könnten, wären Schweich und Elvange. Es wird auf eine intensivere Potenzialermittlung verzichtet, da die Bedeutung dieser Methode nur eine marginale Bedeutung hat.

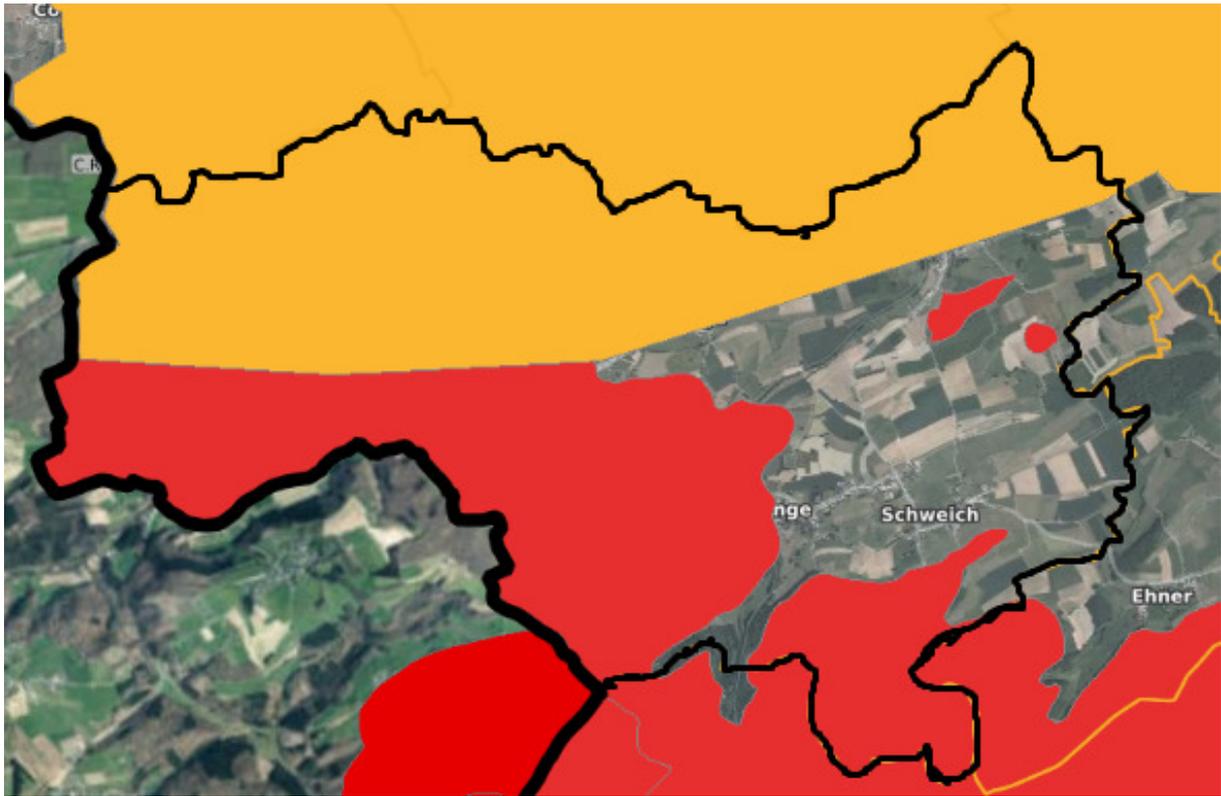


Abbildung 3: Autorisierte Zonen für Tiefenbohrungen

3.4 Windenergie

Bereits 2002 wurde eine Machbarkeitsstudie für den Bau einer Anlage zwischen Beckerich und Redingen erstellt. Es sollte ein Windpark mit 4 Windkraftanlagen zu je 1 MW gebaut werden, der rund 6.000 GWh Energie liefern sollte. Nach den damaligen Projektkosten und der Einspeisevergütung war die Wirtschaftlichkeit des Projekts nicht hoch genug um den Bau der Anlagen zu rechtfertigen. **Abbildung 4** zeigt zwischen Beckerich und Redingen eine Natura 2000 Vogelschutzzone.

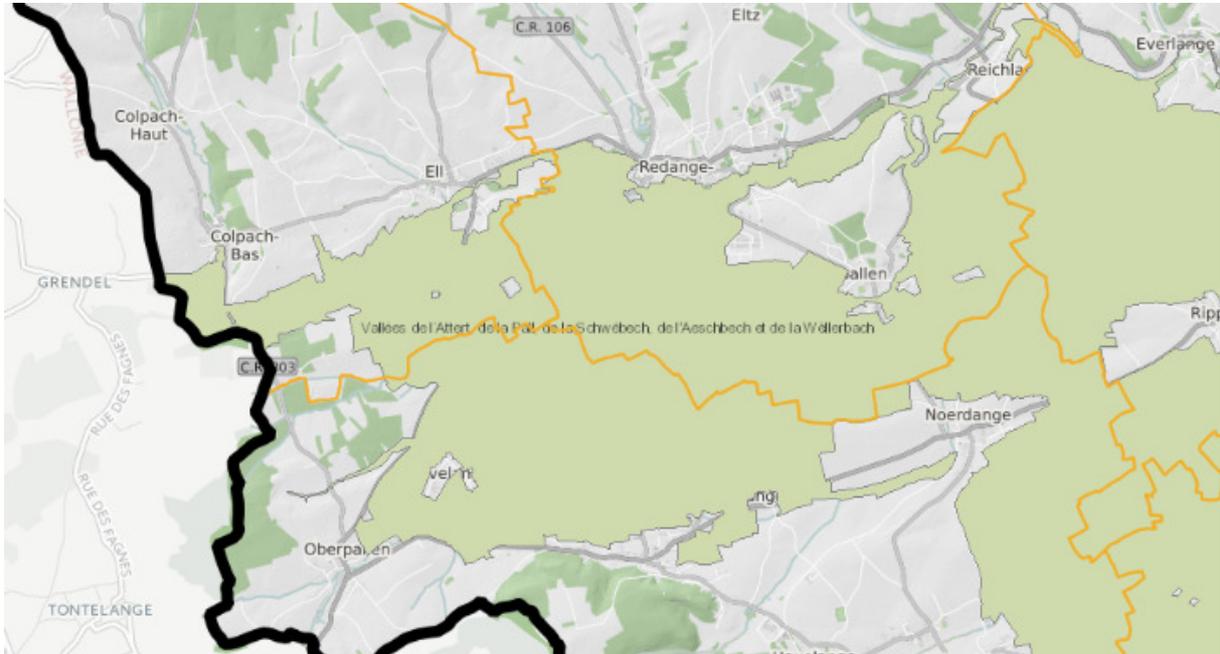


Abbildung 4: Natura 2000 Vogelschutzzone in der Gemeinde Beckerich

Moment läuft ein Projekt im Kanton Redingen, bei dem der Bau von mehreren Windkraftanlagen geplant wird. 2016 wurde bereits eine Windkraftpotenzialstudie durchgeführt um die Standorte mit dem größten Ertrag zu ermitteln. Auf **Abbildung 5** ist eine Karte des Kantons Redingen mit den geplanten Standorten der 6 Windkraftanlagen zu sehen. Bei der Standortwahl gab es verschiedenen Kriterien zu beachten, die Anlagen sollten mindestens 1km von Siedlungsgebieten entfernt sein, damit keine akustischen Störungen entstehen und der Schattenwurf der Anlage die Bewohner nicht stören soll. Des Weiteren muss die Entfernung zu Straßen mindestens 1,5-mal die Anlagenhöhe betragen, damit falls eine Anlage umstürzen sollte keine Verkehrswege zerstört und keine Menschen verletzt werden.

Laut Soler dem Anlagenplaner sollen die 6 Windkraftanlagen eine Gesamtleistung von 18 MW leisten, damit lassen sich 37,8 Millionen kWh Strom produzieren. Diese Stromproduktion würde dem durchschnittlichen Verbrauch von 8.400 Haushalten oder 33.600 Personen entsprechen. Die CO₂-Ersparnis würde dann jährlich 24.600 Tonnen CO₂ betragen. Dieses Jahr wurden die Ergebnisse der Potenzialstudie der Bevölkerung vorgestellt, eine Umweltverträglichkeitsstudie läuft noch bis Ende September dieses Jahres. Windmessungen und das Erstellen eines Windprofils stehen noch bevor, laut Zeitplan des Anlagenplaners könnten die Anlagen bereits 2020 in Betrieb genommen werden.

Falls der Bau des Windkraftparks genehmigt wird, könnte sich die Gemeinde an dem Projekt beteiligen.

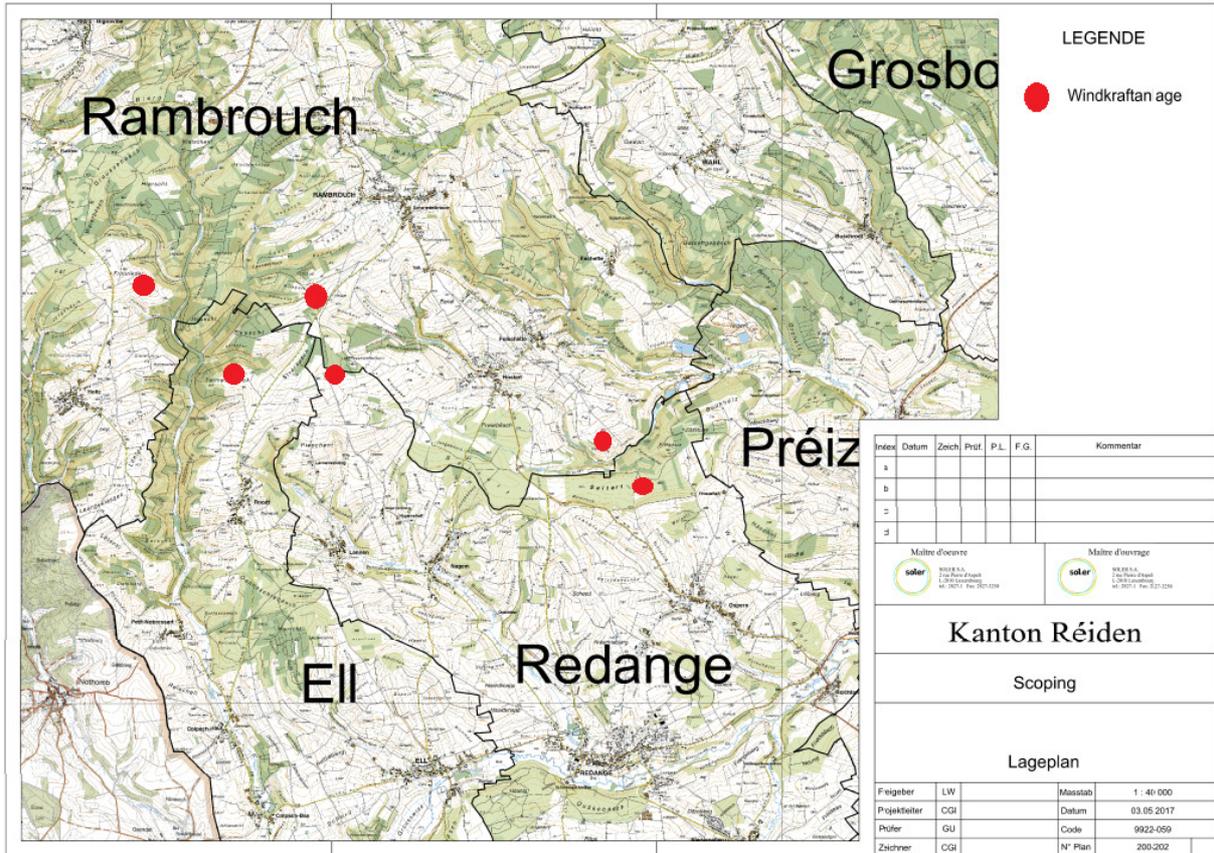


Abbildung 5: Karte des Kantons mit den geplanten Standorten der 6 Windkraftanlagen

3.5 Vergärbare Biomasse

3.5.1 Bestandsaufnahme der bestehenden Biogasanlagen

In der Gemeinde Beckerich befinden sich zwei Biogasanlagen, eine Anlage steht in Hovelange und wird gemeinschaftlich von 19 Landwirten betrieben. Diese Anlage wurde 2003 in Betrieb genommen und hatte damals ein BHKW mit einer Leistung von 500kW, nach einer Erweiterung im Jahr 2013 kam ein zweites BHKW mit 330kW hinzu. Die andere Anlage steht in Elvange und wird einzelbetrieblich von einem Landwirt betrieben. Die Anlage in Elvange wurde 1998 in Betrieb genommen und hatte damals eine Leistung von 30kW nach einer Erweiterung im Jahr 2008 wurde die Leistung auf 60kW ausgebaut. Der geförderte Einspeisetarif läuft dieses Jahr aus und ab 2019 besteht ein Anrecht auf 0,11€/kWh. Das produzierte Biogas wird in Blockheizkraftwerken genutzt und in Strom umgewandelt, die Abwärme wird ins lokale Fernwärmenetz eingespeist, womit die Anlagen einen sehr hohen Wirkungsgrad aufweisen können

Vergoren werden landwirtschaftliche Abfälle aus der Nutztierhaltung (Gülle & Mist), Energiepflanzen, Abwasser und pflanzliche Abfälle. Es werden rund 50.500 t Substrat vergoren, daraus entstehen Biogas (Methan+CO₂) und 52.700t Gärrest. Der Gärrest kann als Wirtschaftsdünger genutzt werden, und bietet einige Vorteile gegenüber Gülle, durch die höhere Viskosität kann der Gärrest schneller in den Boden einziehen womit die Ausbringungsverluste signifikant sinken. Die Daten zu den fermentierten Substraten mit den dazugehörigen Mengenangaben stammen von den Betreibern der Biogasanlagen selbst und sind in **Tabelle 10** festgehalten.

Input (Angaben in Tonnen)	Biogas Kooperative (Tonnen)	Biogas Einzelbetrieb (Tonnen)
Gülle	30300	1800
Mist	5100	200
Energiepflanzen	5560	0
Grasschnitt	140	98
Gemüseabfall	1500	0
Abwasser	5300	0
Getreidestaub	1000	173
Grassilage	0	60
Mais	0	110
Total	48.900	2.441
Gärrest	49500	3200
interne Nutzung	43300	3200
Export	5200	0

Tabelle 10: Zusammensetzung der Gärsubstrate in den Biogasanlagen (Jahr: 2017)

Bei der Ausbringung des Gärrestes gibt es einige Gesetze und Richtlinien zu beachten, deren Ziel es ist Verunreinigungen von Grundwasser zu verhindern, dazu gehören die Nitratrichtlinie und die Landschaftspflegeprämie. Beim Gärrest kann man mit ungefähr 4,8kg Stickstoff pro Tonne Gärrest rechnen, die 46.500t Gärrest die in der Gemeinde ausgetragen werden beinhalten somit 223.200kg Stickstoff. Es dürfen jedoch höchstens 170kg Stickstoff pro Hektar ausgetragen werden, in diesem Fall wäre eine Fläche von 1.313ha nötig um den ganzen Gärrest auszutragen.

Als nächst werden die landwirtschaftlichen Flächen untersucht, die sich in der Gemeinde befinden, denn diese diene als Endlager für den Gärrest. Die Daten zur Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen stammen von der Landwirtschaftsbehörde und beziehen sich auf das Jahr 2016, diese Daten sind in

Tabelle 11 zusammengefasst. Es werden 624,37ha als Ackerland genutzt, darauf werden Getreide, verschiedene Futterpflanzen, Wurzelpflanzen (dazu gehören z.B. Kartoffeln und Zwiebeln) und Energiepflanzen angebaut. Ackerland kann jährlich mit 170kgN/ha gedüngt werden, einzig die Düngungsperioden gilt es zu beachten, denn wenn der Boden gefroren oder nass ist, ist das Düngen verboten da der Boden keinen Dünger mehr aufnehmen kann und dieser somit in die Atmosphäre abgegeben wird. Für Gemüsegärten werden 0,5 ha Fläche genutzt, bei der Düngung gilt es hier dieselben Richtlinien zu beachten. Wiesen und Dauerweiden beanspruchen eine Fläche von 1018,8 ha, da auf Weideland Tiere stehen, kann hier nicht intensiv gedüngt werden, deshalb wird hier mit einer maximalen Stickstofffracht von 85kg /ha pro Jahr gerechnet. Für andere Nutzungen stehen 1,65ha zur Verfügung, diese können auch mit 170kgN/ha jährlich gedüngt werden. Es ergibt sich eine Gesamtfläche von 1.645,3ha, diese kann jährlich eine maximale theoretische Stickstofffracht von 250t aufnehmen.

Nutzfläche	Fläche (ha)	Maximale Stickstofffracht (kg N/ ha*a)	Stickstoffmasse (kg N/a)
Getreide	286,59	170	48720,3
Wurzelpflanzen	0,43	170	73,1
Energiepflanzen	36,97	170	6284,9
Futterpflanzen	295,62	170	50255,4
Ackerland	624,37		105333,7
Gemüsegärten	0,5	170	85
Mähweiden	679,2	170	115464
Weideland	339,6	85	28866
Wiesen und Dauerweiden	1018,8		144330
Andere Flächen	1,65	170	280,5
Total	1.645,3		250.029,2

Tabelle 11: Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen

Wenn man nun die Bilanz zwischen dem Stickstoff, der im Gärrest der Biogasanlage vorhanden ist und dem Stickstoff, der auf die Felder ausgetragen werden kann zieht, ist noch eine Restfläche für 27t Stickstoff vorhanden. Es ist also theoretisch noch genug Auffangfläche vorhanden um den Ertrag der Biogasanlagen zu erhöhen. Diese 27t Stickstoff würden wiederum rund 5600t Gärrest entsprechen, wenn man dieses Potenzial nutzen würde, könnte die einzelbetrieblich geführte Anlage ihre Leistung auf ungefähr das dreifache der momentanen Leistung ausbauen. Die Stickstoffbilanz wurde in **Tabelle 12** ermittelt.

Stickstoffbilanz	Stickstoffmenge (kg)	Flächenäquivalent (ha)
Austragung auf Felder	250.029	1.645
Output aus der Biogasanlage	223.200	1.313
Differenz	26.829	332

Tabelle 12: Stickstoffbilanz

Die nächste Frage, die sich stellt ist, ob es noch ungenutztes Potenzial in Bezug auf die Eingangsstoffe der Biogasanlage gibt. Die ersten Substratquellen, die untersucht werden, sind Gülle und Mist, dazu wird der Viehbestand der Gemeinde unter die Lupe genommen.

3.5.2 Landwirtschaftliche Struktur

In **Tabelle 13** wird der Viehbestand der Gemeinde in der Gemeinde Beckerich aufgeführt, diese Daten stammen auch von der Landwirtschaftsbehörde. Der Schwerpunkt in der Nutztierhaltung liegt bei den Rindern (1769 Stück), den Kühen (1083 Stück) und den Schweinen (3697 Stück). In der Gemeinde sind vor allem Milch- und Schweinebetriebe angesiedelt. In den vergangenen Jahren ist die Anzahl der Kühe

langsam aber stetig gesunken und die Anzahl der Schweine in der Gemeinde ist gestiegen. Dieser Wandel in der Tierhaltung hat natürlich auch einen Einfluss auf die Biogasproduktion, denn Kühe produzieren mehr Wirtschaftsdünger als Schweine.

Viehart	Anzahl der Betriebe	Anzahl der Tiere
Rinder <6 Monaten	18	317
Rinder 6 Monate-1 Jahr	19	347
Rinder 1 Jahr-2 Jahre	20	683
Rinder >2 Jahre	21	422
Total Rinder		1769
Milchkühe	12	702
Mutterkühe	17	381
Total Kühe		1083
Betriebe mit Pferden	8	49
Total Pferde		49
Betriebe mit Schafen	5	84
Total Schafe		84
Ziegen	3	9
Total Ziegen		9
Schweine	3	3697
Total Schweine		3697
Geflügel und Hennen	5	80
Andere Geflügeltiere	3	26
Total Geflügel		106
Total		6797

Tabelle 13: Viehbestand der Gemeinde Beckerich (Stand: 2016, Quelle: Landwirtschaftsministerium)

In **Tabelle 14** wurde der jährliche Gülle- und Mistanfall auf Basis von erfahrungs- und theoretischen Daten ermittelt. Der Gülle- und Mistanfall pro Tier wurde einem Datenblatt zur Planung von Wirtschaftsdüngerlagern nach dem Aktionsprogramm „Nitrat“ der Landwirtschaftskammer Niederösterreich entnommen. Der Gülleanteil basiert auf Erfahrungswerten, dieser drückt aus, welcher Anteil der Tiere auf Gülle gehalten wird, folglich wird der Rest auf Stroh gehalten. Daraus ergibt sich z.B. bei der Haltung von 1769 Rindern bei einer Stallhaltungszeit von 6 Monaten und einem Gülleanteil von 70% 5984,7m³ Gülle und 1117,7t Festmist. Die gesamte Menge an Wirtschaftsdünger beträgt jährlich 32.500m³ für Gülle und 4.500t für Mist. Vergleicht man den Mist- und Gülleanfall aus der Landwirtschaft mit den bereits genutzten Substraten aus Tabelle 8 (32100m³ Gülle und 5300t Mist) kann man davon ausgehen, dass dieses Substrat bereits vollkommen ausgenutzt wird und es keine ungenutzten Potenziale mehr gibt.

Viehart	Anzahl der Tiere	Anfall Gülle (m ³ /Tier*a)	Anfall Mist (m ³ /Tier*a)	Stallhaltungszeit (Monate)	Gülleanteil	Gülle (m ³ /a)	Mist (t/a)
Rinder <6 Monaten	317	2,6	1,6				
Rinder 6 Monate-1 Jahr	347	6,8	3,6				
Rinder 1 Jahr-2 Jahre	683	11,6	6				
Rinder >2 Jahre	422	14,2	7,4				
Total Rinder	1769			6	0,7	5.984,7	1.117,7
Milchkühe	702	22	16,2				
Mutterkühe	381	21	14,4				
Total Kühe	1083			8	0,9	14.067,0	932,9
Betriebe mit Pferden	49	0	10				
Total Pferde	49			4	0	0,0	81,7
Betriebe mit Schafen	84	0	1,04				
Total Schafe	84			6	0	0,0	21,8
Ziegen	9	0	0,74				
Total Ziegen	9			12	0	0,0	4,3
Schweine	3697	4,2	3,5				
Total Schweine	3697			12	0,8	12.421,9	2.355,0
Geflügel und Hennen	80	0,06	0,1				
Andere Geflügeltiere	26	0	0,06				
Total Geflügel	106			12	0,3	1,4	4,8
Total	6797					32.475,01	4.518,1

Tabelle 14: Jährlicher Gülle- und Mistanfall

3.5.3 Potenzial der Bioabfälle

Eine weitere Substratquelle neben dem Wirtschaftsdünger könnten organische Abfälle sein, die in der Gemeinde anfallen. In der Gemeinde wird ein System mit 2 Mülltonnen genutzt, eine graue Tonne für Hausmüll und eine blaue Tonne für Altpapier und Karton. Bioabfälle werden nicht gesondert erfasst und können nur schwer ermittelt werden. Aus dem Jahresbericht des SIDEC (Syndicat Intercommunal pour la Gestion des Déchets) stammt die **Abbildung 6**. In der Gemeinde Beckerich sind im Jahr 2016 110t Rasenschnitt und 0,10t Geäst angefallen. Bei Frischgras kann man mit 120-200m³ Biogas pro Tonne Frischmasse rechnen, bei einem Methangehalt von 50% wären somit Methanerträge zwischen 6.600m³ und 8.250m³ realisierbar. Die Gemeinde betreibt eine zentrale Sammelstelle, bei der die Bewohner ihren Grasschnitt abladen dürfen. Dieses Gras wird dann zur Biogasanlage gebracht und dort zu Biogas vergoren. Das Geäst wird zu Holzhackschnitzeln gehäckselt und dann in der Holzhackschnitzelanlage verbrannt.

Commune	Gazon	Branchages	Total (t)
Beaufort	71,60	82,66	154,26
Beckerich	109,98	0,10	110,08
Bettendorf	25,88	173,48	199,36
Bissen	86,54	135,08	221,62
Boevange/Attert	0,00	426,03	426,03
Boulaide	2,80	536,08	538,88
Lac Haute Sûre Winseler			
Bourscheid	0,00	4,10	4,10
Clervaux	148,13	231,78	379,91
Colmar-Berg	164,01	44,40	208,41
Diekirch	21,60	70,02	91,62

Abbildung 6: Organische Abfälle nach Gemeinden dargestellt

Abbildung 7 zeigt einen Auszug aus der Auswertung der Restabfallanalyse von 2013/2014. Unter Punkt 6. Bioabfall sind die vermeidbaren und unvermeidbaren Küchenabfälle aufgetragen, jährlich werden rund 61kg/Einwohner weggeworfen. Küchenabfall kann auch in Biogasanlagen vergoren werden und durch den höheren Fettanteil im Küchenabfall gegenüber Wirtschaftsdünger und pflanzlichen Substraten können höhere Methanerträge erzielt. In der Gemeinde würden damit rund 150t Küchenabfälle pro Jahr anfallen, daraus könnte man 17.000m³ Methan produzieren, die daraus zusätzliche elektrische Leistung würde rund 6,5kW betragen. Diese Mengen sind nicht ausreichend für eine separate Erfassung und Verarbeitung, da die Anforderungen an solche Biogasanlagen enorm hoch sind. Für solche Anlagen ist eine Hygienisierung nach EG 1774/2002 erforderlich.

Stoffgruppe (SG)		Sortierfraktion (SF)		Restabfallzusammensetzung						Differenz (2013-2009)		
Lfd.Nr.	Bezeichnung	Lfd.Nr.	Bezeichnung	2013			2009					
Sp.1	2	3	4	[kg/E.a] ₅	[t] ₆	[Gew.-%] ₇	[kg/E.a] ₈	[t] ₉	[Gew.-%] ₁₀	[kg E.a] ₁₁	[Gew.-%] ₁₂	
1	Papier/Pappe/ Karton (PPK)	01	Pappe/Karton	9,71	5.214,3	4,35	9,72	4.794,7	3,96	-0,01	0,39	
		02	Druckerzeugnisse	13,22	7.101,6	5,92	15,38	7.590,3	6,26	-2,16	-0,34	
		03	Sonstige PPK	20,28	10.888,6	9,08	18,60	9.178,9	7,57	1,68	1,51	
2	Kunststoffe	04	Folien	21,26	11.418,0	9,53	19,05	9.402,8	7,76	2,21	1,77	
		05	Flaschen/Flakons	3,65	1.960,2	1,64	4,36	2.152,9	1,78	-0,71	-0,14	
		06A	Becher	3,39	1.821,9	1,52	7,97	3.933,7	3,25	0,81	0,69	
		06B	Bliester	5,39	2.893,1	2,41						
		07	EPS	1,21	647,5	0,54	1,23	604,6	0,50	-0,02	0,04	
		08	Sonstige Kunststoffe	4,84	2.597,4	2,17	5,03	2.483,3	2,05	-0,20	0,12	
3	Inertstoffe	09	Verpackungsglas	6,24	3.350,1	2,79	7,73	3.813,3	3,15	-1,49	-0,35	
		10	Sonstige Inertstoffe	2,47	1.328,6	1,11	2,65	1.307,5	1,08	-0,18	0,03	
4	Materialverbund	11	Getränkekartons	0,77	415,4	0,35	1,34	659,9	0,54	-0,56	-0,20	
		12	Schuhe	1,08	580,6	0,48	1,59	782,9	0,65	-0,51	-0,16	
		13	Elektro(nik)schrott	1,09	587,6	0,49	1,16	570,1	0,47	-0,06	0,02	
		14	Sonstiger Materialverbund	10,14	5.447,2	4,54	3,61	1.782,5	1,47	6,53	3,07	
5	Metalle	15	Fe (Verpackungen)	2,30	1.233,6	1,03	3,06	1.508,2	1,24	-0,76	-0,21	
		16	Fe (Nicht-Verpackungen)	0,73	390,5	0,33	0,88	432,7	0,36	-0,15	-0,03	
		17	NE (Verpackungen)	2,08	1.118,5	0,93	1,86	918,4	0,76	0,22	0,18	
		18	NE (Nicht-Verpackungen)	0,38	204,3	0,17	0,45	221,2	0,18	-0,07	-0,01	
6	Bioabfall	19A	Küchenabfälle, vermeidbar	20,57	11.049,2	9,22	85,08	41.985,3	34,64	-23,78	-7,17	
		19B	Küchenabfälle, n.vermeidbar	40,72	21.870,0	18,25						
		20	Garten-/Grünabfälle	5,16	2.772,5	2,31	9,09	4.483,8	3,70	-3,92	-1,39	
		21	Holz	1,44	773,1	0,64	1,65	812,7	0,67	-0,21	-0,03	
7	Körperhyg.art.	22	Körperhygieneartikel	16,70	8.966,5	7,48	14,84	7.321,4	6,04	1,86	1,44	
8	Bekleidung/Text.	23	Bekleidung/Textilien	6,56	3.525,4	2,94	6,70	3.306,0	2,73	-0,13	0,21	
9	Problemstoffe	24	Problemstoffe	2,01	1.081,4	0,90	2,62	1.290,5	1,06	-0,60	-0,16	
10	Siebfraktionen	25	Siebfraktion >0-8 mm	2,81	1.511,5	1,26	1,96	967,7	0,80	0,85	0,46	
		26	Siebfraktion >0-40 mm	12,19	6.546,7	5,46	13,73	6.776,1	5,59	-1,54	-0,13	
11	Reststoffe	27	Reststoffe	4,77	2.564,3	2,14	4,33	2.135,6	1,76	0,45	0,38	
Total				223,19	119.859,4	100,00	245,63	121.217,3	100,00	-22,44	[-9,14]	

Abbildung 7: Auswertung der Restabfallanalyse von 2013/2014

4 Energieeinsparpotenzial

Die Senkung des Energieverbrauchs liegt der Gemeinde stark am Herzen, deswegen gibt es seit längerem eine finanzielle Unterstützung um den Einwohnern dabei zu helfen ihren Energieverbrauch zu senken. Es werden energetische Renovationen von Gebäuden unterstützt, dazu gehören die Dämmung der Fassaden, der Dächer und der Kellerdecken, der Austausch von alten Fenstern, Isolation von Heizungsrohren und der Einbau von Regelsystemen. Wenn man die Sanierung mit ökologischen Materialien durchführt werden die Zuschüsse nochmals erhöht. Neben energetischen Sanierungen werden auch technische Installationen subventioniert, dazu gehören Wärmepumpen, Pellet-& Holzhackschnitzelkessel, Pelletöfen, Scheitholzessel, thermische Solaranlagen und Regenwasseranlagen. Hinzu kommen noch kantonale Zuschüsse für den Austausch von überholten elektrischen Haushaltsgeräten, auf die alle Einwohner des Kantons einen Anspruch haben.

4.1 Bestandsaufnahme

Als erstes werden die bereits bewilligten Zuschüsse aus den vergangenen Jahren betrachtet, genauer gesagt wird der Zeitraum seit der letzten Energiestudie betrachtet und mit dem Verbrauch von 2009 verglichen. Auf **Diagramm 15** ist die Anzahl der bewilligten Zuschüsse für Regenwasseranlagen dargestellt, mit diesen Anlagen lässt sich Regenwasser auffangen und überall dort nutzen wo keine Trinkwasserqualität erforderlich ist, z.B. zum Gießen von Pflanzen, in Spülwasser in der Toilette oder in der Waschmaschine. Das Trinkwasser in der Gemeinde enthält sehr viel Kalk, wenn man die Waschmaschine nicht regelmäßig mit einem Entkalker reinigt dann setzt sich eine Kalkschicht am Holzstab der Waschmaschine ab, womit der Stromverbrauch steigt und die Maschine im schlimmstenfalls nach einiger Zeit kaputt geht. Regenwasser besitzt den Vorteil, dass es keinen Kalk enthält, womit es sich optimal für den Einsatz in Waschmaschinen eignet. In den vergangenen 5 Jahren wurden insgesamt 12 Regenwasseranlagen bewilligt, was insgesamt einer Förderung von 11.500€ entspricht. Das Interesse hat aber seit 2014 stark nachgelassen und letztes Jahr wurde nur eine einzige Anlage bewilligt, in diesem Fall wäre es vielleicht sinnvoll eine Werbekampagne für den Bau von Regenwasseranlagen zu starten um das Interesse der Bürger neu zu entfachen.

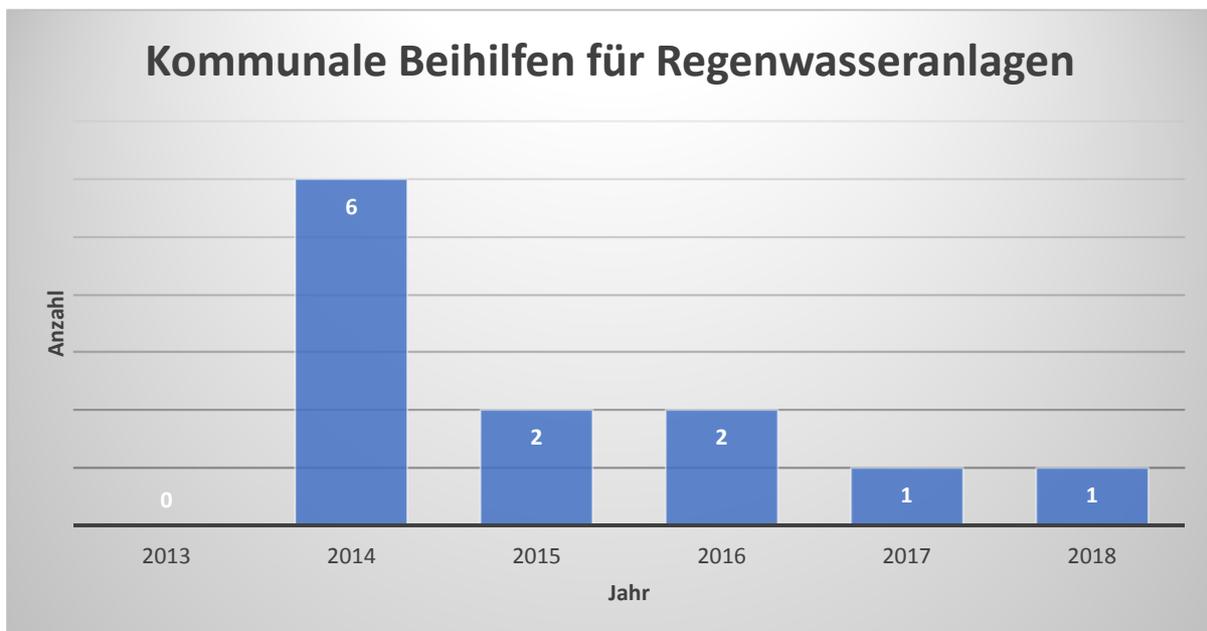


Diagramm 15: Bewilligte Regenwasseranlagen-Beihilfen zwischen 2013 bis 2018

Auf **Diagramm 16** ist die Anzahl der bewilligten Zuschüsse für Solarthermie Anlagen dargestellt, wie bereits in Kapitel 3.1 aufgezeigt wurde, besteht noch enormes Potenzial für die Nutzung von solarer Energie. In den vergangenen 6 Jahren wurden 14 Anlagen für die Erwärmung von Heiz- & Brauchwasser

und 20 Anlagen für die Erwärmung von Brauchwasser genehmigt, dabei wurden insgesamt 57.000€ in Form von Fördergeldern an die Einwohner verteilt. Es besteht ein reges Interesse für Solaranlagen und bei der bestehenden Gesetzeslage wird dieses Interesse in nächster Zeit nur noch zunehmen.

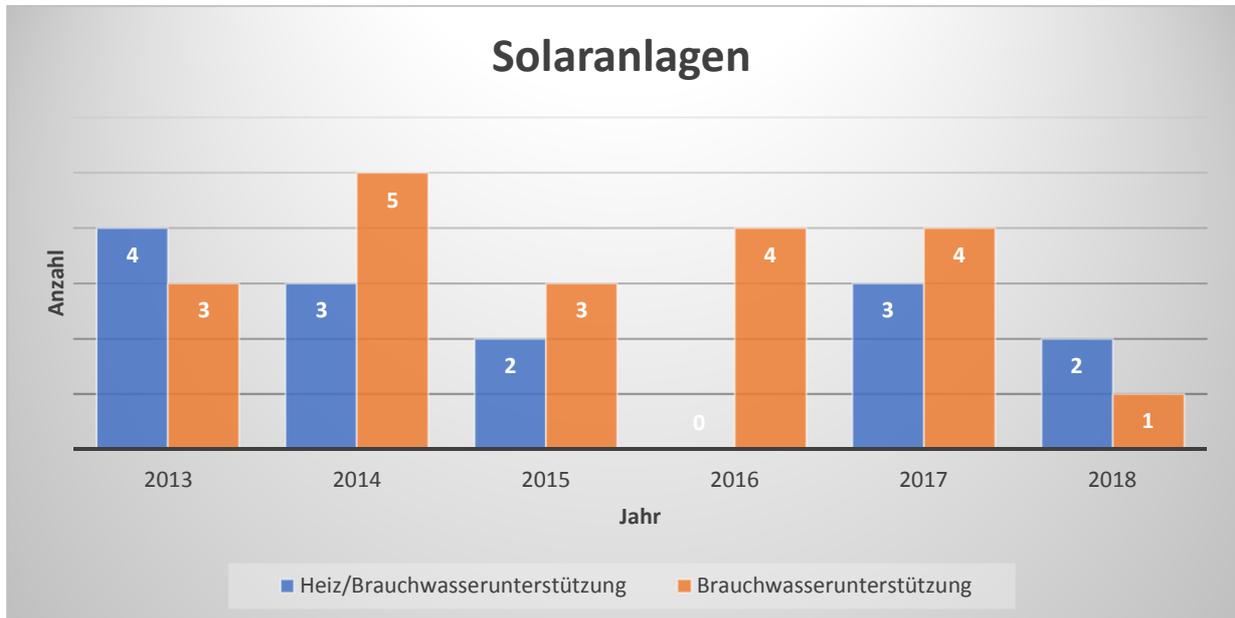


Diagramm 16: Bewilligte Solarthermieanlagen zwischen 2013 und 2018

Auf **Diagramm 17** sind die bewilligten Zuschüsse für energetische Sanierungen dargestellt, hierbei handelt es sich um Dämmung von Fassade, Dach und Kellerdecke und den Austausch von Fenstern. In den vergangenen 6 Jahren wurden 6 Dächer, 4 Fassaden und 3 Kellerdecken gedämmt und es wurden an 3 Häusern die Fenster ausgetauscht. Insgesamt hat die Gemeinde in diesen 6 Jahren 17.000€ in energetische Sanierungen investiert. Eine energetische Renovierung ist dann besonders günstig, wenn sie gleichzeitig mit anderen Arbeiten ausgeführt wird, z.B. wenn die Fassade erneuert wird, sollte diese dann auch gedämmt werden.

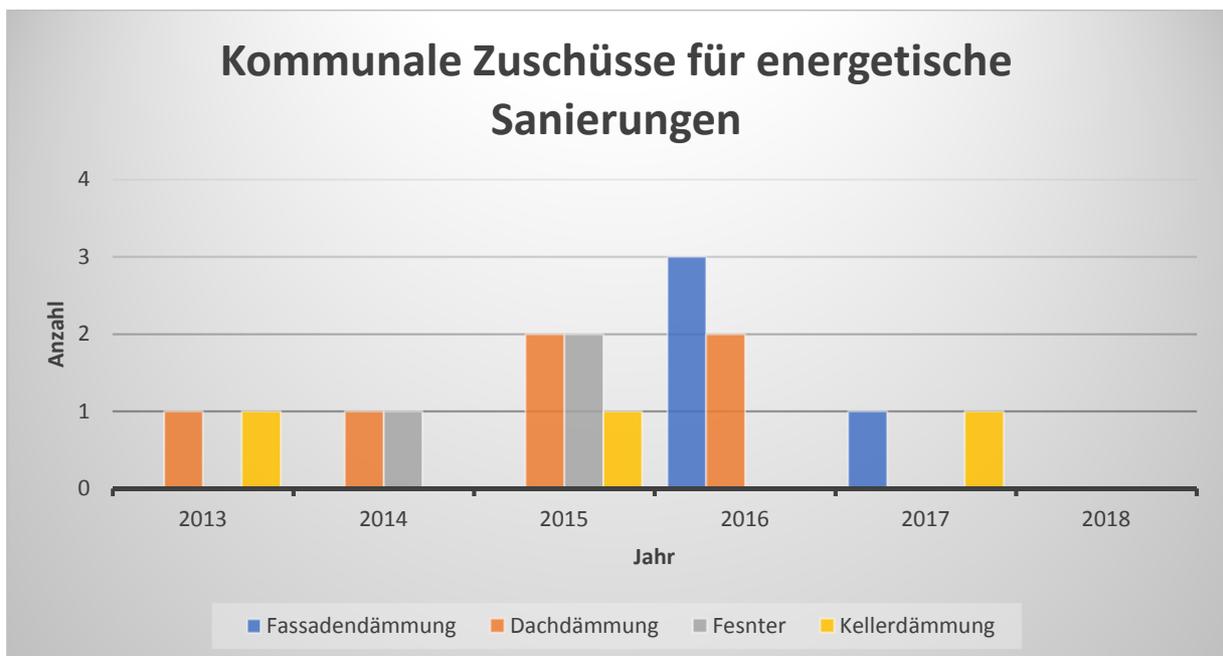


Diagramm 17: Bewilligte Zuschüsse für energetische Sanierungen

Im **Diagramm 17** werden die Energieverbräuche von 2009 und 2017 verglichen, es werden Gesamtverbrauch sowie Pro-Kopf-Verbrauch verglichen. Der Gesamtstromverbrauch ist seit 2009 um 2,86% gesunken, und der Pro-Kopf-Verbrauch des Stroms ist sogar um rund 12% gesunken. Obwohl die Bevölkerung seit 2009 um 10% gestiegen ist, konnte dennoch eine Senkung des Stromverbrauchs erzielt werden, dies spricht für den Erfolg der in den letzten Jahren eingeführten Stromsparmaßnahmen. Beim Wärmeverbrauch ist jedoch ein Anstieg zu verzeichnen, dies kann an verschiedenen Gründen liegen. Der Wärmeverbrauch der Bevölkerung wurde über den durchschnittlichen Verbrauch der Daten aus dem Fernwärmenetz ermittelt, die Schätzung könnte also höher sein als der tatsächliche Verbrauch. Der erhöhte Wärmeverbrauch ließe sich aber auch durch die Steigerung der Bevölkerung erklären. Durch die mangelnden Daten beim Wärmeverbrauch der Bevölkerung ist eine Bewertung der Sparmaßnahmen relativ heikel. Wegen des Datenmangels wurden Fragebögen zum Energieverbrauch an die Bewohner verteilt, die Resonanz fiel jedoch so schwach aus, dass die gesammelten Daten nicht repräsentativ sind.

	Jahr	Gesamtverbrauch (kWh/a)	Entwicklung (%)	Pro-Kopf- Verbrauch (kWh/a*E)	Entwicklung (%)
Stromverbrauch	2009	23.168.567	0	10.274	0
	2017	22.507.071	-2,86	9.043	-11,99
Wärmeverbrauch	2010	21.349.503	0	9.347	0
	2017	25.802.270	+20,86	10.367	+10,90

Tabelle 15: Vergleich des Energieverbrauchs von 2009/10 und 2017

4.1.1 Strategie zur Minderung des Energieverbrauchs

Das Ziel der Gemeinde autark zu werden kann nur dann erreicht werden, wenn es gelingt den Strom und Wärmeverbrauch signifikant zu senken. Die schwache Rückmeldung der Bevölkerung bei der Befragung zum Energieverbrauch lässt darauf schließen, dass das Interesse der Bevölkerung am eigenen Verbrauch sehr gering ist. Oftmals sind sich die Leute über den eigenen Verbrauch gar nicht bewusst, denn meistens wird die Verantwortung für die Strom- & Wärmerechnung an nur eine Person im Haushalt abgetreten. Damit die Gemeinde ihrem Ziel einen großen Schritt näherkommen kann, muss sich jeder einzelne Bewohner seiner Verantwortung und Pflicht bewusst werden. Es reicht also nicht, dass die Gemeinde den Leuten nur finanzielle Unterstützung anbietet, sondern die Bürger gezielt aufklärt und sie auch mit Informationen versorgt.

4.1.2 Energieschule Beckerich

Die Energieschule ist eine Abendveranstaltung, bei der sich die Bewohner der Gemeinde im Bereich Energie und Energiesparen informieren können. Die Schule würde aus mehreren Vorlesungen bestehen, die entweder Mitglieder des Klimateams oder wenn sich eine Zusammenarbeit mit der Universität ermöglichen würde Studenten aus dem Bereich Energie und Umwelt halten würden. Die Themengebiete der Vorlesungen sollten breit gefächert sein, damit die Interessen mehrerer Bürger geweckt werden. Es wäre wichtig nicht nur die Vortragenden reden zu lassen, sondern die Zuhörer miteinzubeziehen und wenn möglich praktische Arbeiten durchzuführen. Jeder Bürger, der sich für diese Veranstaltung einschreibt, würde einen Pass bekommen um nach einer Vorlesung einen Stempel für die Anwesenheit zu erhalten. Wenn man also eine Mindestanzahl von Vorlesungen absolviert hat, kann man seinen Abschluss an der Energieschule machen. Der Abschluss sollte eine öffentliche Feier sein, bei der die Leistungen der Absolventen gefeiert werden und bei der sie ihr Abschlussdiplom erhalten. Zudem könnten die Leistungen dieser Bürger in der Gemeindezeitung veröffentlicht werden.

Das Ziel dieses Projektes ist es das allgemeine Interesse der Bürger für Energieverbrauch und Umwelt zu wecken, und durch die öffentliche Zelebrierung sollen den Teilnehmern gezeigt werden, dass sie durch ihre Teilnahme einen wichtigen Beitrag zum Erreichen der energiepolitischen Ziele leisten.

4.1.3 Subventionierung von smarten Steckdosenleisten

Viele Geräte besitzen einen Standby-Modus, mit dem sie unbemerkt Strom verbrauchen. Das Gerät für sich allein hat einen geringen Stromverbrauch im Standby-Modus, jedoch macht die Summe der Geräte den Unterschied. Es wird geschätzt, dass 11% des Stromverbrauchs in Privathaushalten¹ auf den Standby-Verbrauch zurückzuführen ist. Ladekabel von Mobiltelefonen und Laptops, die an der Steckdose angeschlossen sind verbrauchen auch Strom, wenn kein Gerät geladen wird, das liegt am externen Netzteil. Viele Leute vergessen oft die Ladekabel aus dem Strom zu entfernen oder tun es einfach aus Bequemlichkeit nicht.



Abbildung 8: Smarte Steckdosenleiste (Bildquelle: Vivlykoo)

Eine Möglichkeit dem unerwünschten Standby-Verbrauch den Kampf anzusagen ist die Nutzung von smarten Steckdosenleisten (**Abbildung 8**). Diese Steckdosenleisten werden über den Wifi-Router mit dem Smartphone gesteuert, dabei kann jede Steckdose einzeln aus- bzw. eingeschaltet werden. Für die einzelnen Geräte können auch Timer programmiert werden, sodass nur dann Strom fließt, wenn das Gerät üblicherweise genutzt wird. **Abbildung 9** zeigt das Interface einer App eines Premiumgeräts, neben der Ein- & Ausschaltfunktion, besitzt die Steckdosenleiste auch eine Messfunktion, die den Stromverbrauch an jedem einzelnen Anschluss misst. Da der Stromverbrauch von jedem Gerät einzeln

¹ <https://www.energie-innovativ.de/energieeffizienz/uebersicht/energieeinsparung/>

gemessen werden kann, können somit etwaige Stromfresser ermittelt werden und durch neuere und energieeffizientere Geräte ausgetauscht werden.



Abbildung 9: App zur Steuerung der Steckdosenleiste (Bildquelle: Revogi)

Die Kosten für eine smarte Steckdosenleiste liegen zwischen 30 und 60€, der Preis für ein Premiumgerät kann schon bis zu 160€ betragen. Die Gemeinde sollte die Anschaffung solcher Steckdosenleisten fördern und sie in ihren Subventionskatalog aufnehmen. Die Gemeinde könnte 50% der Anschaffungskosten zurückerstatten, wobei das Maximum der Rückerstattung auf 50€/Steckdosenleiste und 2 Steckdosenleisten pro Haushalt und Jahr gesetzt werden kann. Da Ziel sollte es sein 100 Steckdosenleisten pro Jahr zu fördern, wobei ein jährliches Budget von nur 5000€ notwendig wäre.

5 Zukunftsszenarien

5.1 Szenario 1: Wandel in der Elektromobilität

Die Elektromobilität erfreut sich in den letzten Jahren immer höherer Beliebtheit. Auch wenn im Moment die Elektrofahrzeuge nur einen geringen Anteil der gesamten Transportmittel ausmachen, wie aber auf **Diagramm 19** zu sehen ist, ist bereits ein bemerkenswerter Anstieg zu verzeichnen. Neben voll elektrischen Modellen stehen Hybridfahrzeuge bei den Luxemburgern hoch im Kurs. Durch den Fortschritt im Automobilbau besonders bei der Akkumulatorentechnik werden Elektrofahrzeuge immer erschwinglicher, womit ein noch rasanterer Anstieg zu erwarten ist.

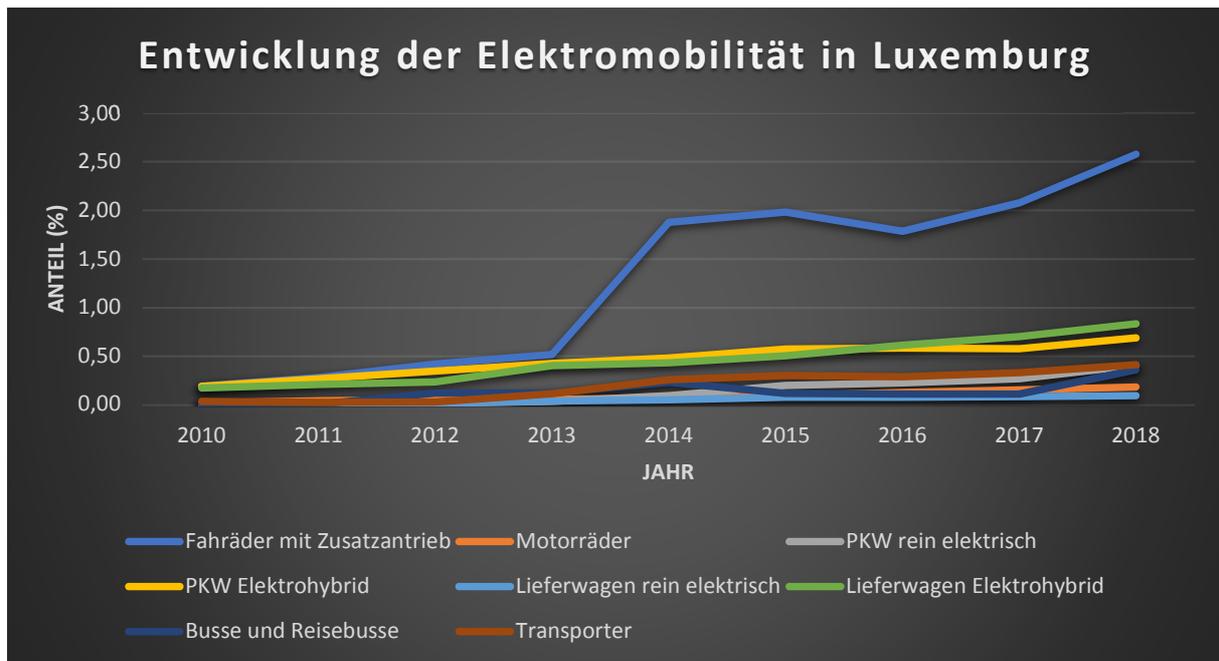


Diagramm 18: Entwicklung der Elektromobilität in Luxemburg

Ein Wandel in der Mobilität zieht natürlich auch einen Anstieg beim Stromverbrauch mit sich und da die meisten Leute ihr Fahrzeug abends bei sich zuhause aufladen, könnte das Ziel der Gemeinde energieautark zu werden stark zurückgeworfen werden.

In **Tabelle 16** wurden verschiedene Szenarien durchgerechnet und deren Einfluss auf den Gesamtstromverbrauch der Gemeinde ermittelt. Der Durchschnittsverbrauch eines Elektroautos wird mit 15-20kWh/100km angegeben, in dieser Arbeit wird mit 17,5kWh/100km gerechnet, als jährliche Fahrtstrecke werden 15.000km angenommen. Als potentielle Elektroautofahrer werden die Einwohner zwischen 18 und 64 Jahren angenommen und werden auf rund 60% der Bevölkerung geschätzt. Es werden 4 verschiedenen Szenarien durchgerechnet:

Szenario 0: -beschreibt den Istzustand, der Stromverbrauch durch Elektroautos beträgt 0kWh

Szenario 1: -es wird angenommen, dass **10%** der potentiellen Fahrer ein Elektroauto besitzen, der zusätzliche Verbrauch würde rund 400.000kWh/a betragen, der Gesamtverbrauch würde um 1,76% steigen.

Szenario 2: -es wird angenommen, dass **25%** der potentiellen Fahrer ein Elektroauto besitzen, der zusätzliche Verbrauch würde rund 990.000kWh/a betragen, der Gesamtverbrauch würde um 4,33% steigen.

Szenario 3: -es wird angenommen, dass **50%** der potentiellen Fahrer ein Elektroauto besitzen, der zusätzliche Verbrauch würde rund 2.000.000kWh/a betragen, der Gesamtverbrauch würde um 8,44% steigen.

Szenario 4: -es wird angenommen, dass **100%** der potentiellen Fahrer ein Elektroauto besitzen, der zusätzliche Verbrauch würde rund 4.000.000kWh/a betragen, der Gesamtverbrauch würde um 16,19% steigen.

	Stromverbrauch (kWh/a)	Gesamtstromverbrauch (kWh/a)	Anstieg (%)
Variante 0	-	22.507.071	-
Variante 1	396.585	22.903.656	1,76
Variante 2	991.462	23.498.533	4,33
Variante 3	1.982.925	24.489.996	8,44
Variante 4	3.965.850	26.472.921	16,19

Tabella 16: Auswirkung der Elektromobilität auf den Stromverbrauch

Damit die Gemeinde dem Ziel der Energieautarkie näherkommen kann, muss der zusätzliche Stromverbrauch durch erneuerbare Energiequellen abgedeckt werden, in **Tabella 17** wurden die zusätzlichen PV-& kleine Windkraftanlagen ermittelt. Um den Strom rein über Photovoltaikanlagen bereitzustellen müsste im schlimmsten Fall eine Leistung von 4.400 kWp installiert werden, dies würde einer Dachfläche von rund 26.400 m² entsprechen. In Kapitel 3.1 wurde bereits eine verfügbare Dachfläche von rund 20.300m² ermittelt, somit fehlen rund 6000m² Dachflächen um den ganzen Strombedarf über Photovoltaik abzudecken. Eine andere Energiequelle wären private Kleinwindkraftanlagen, zur Berechnung wurde eine Kleinwindkraftanlage mit 9000kWh Stromproduktion jährlich zu Grunde gelegt. Im günstigsten Fall müssen nur 45 Anlagen gebaut werden, im ungünstigsten Fall 441 Anlagen um den benötigten Strom bereitzustellen. Neben privaten Anlagen besteht noch die Möglichkeit den Strom des im Kanton geplanten Windparks zu nutzen. Dies würde bedeuten, dass der Stromverbrauch durch die Elektroautos zwischen 1 und 10,5% der Energieproduktion des Windparks betragen würde.

	Stromverbrauch (kWh/a)	PV-Anlage		Kleine Windkraftanlagen	
		Leistung (kWp)	Fläche (m ²)	Anzahl der Anlagen	Anteil am Windpark (%)
Variante 1	396.585,0	440,7	2.643,9	45,0	1,0
Variante 2	991.462,5	1.101,6	6.609,8	111,0	2,6
Variante 3	1.982.925,0	2.203,3	13.219,5	221,0	5,2
Variante 4	3.965.850,0	4.406,5	26.439,0	441,0	10,5

Tabella 17: Ermittlung der zusätzlichen Anlagen um den erhöhten Stromverbrauch zu kompensieren

Die Elektromobilität bringt sehr viele Vorteile mit sich, es muss jedoch auch bedacht werden, dass der Umschwung von fossilen Treibstoffen auf Strom einen starken Einfluss auf den Stromverbrauch in der Gemeinde haben wird. Die Dachflächen allein reichen nicht aus um den zusätzlichen Stromverbrauch abzudecken, es ist also unabdinglich, dass sich die Gemeinde am Windparkprojekt des Kantons beteiligt, da neue Energiequellen genutzt werden müssen wenn der gesamte Stromverbrauch durch lokal erzeugte Energie abgedeckt werden soll.

5.2 Szenario 2: Bau von Photovoltaikkooperativen

Die Berechnung der Rentabilität verläuft für PV-Kooperativen ähnlich wie bei den Kleinanlagen, es muss lediglich beachtet werden, dass die Einspeisevergütung mit steigender Anlagenleistung sinkt. Neben den Anlagekosten, kommen bei PV-Kooperativen, auch meistens noch Kosten für eine Transformatorstation in Höhe von 50.000€ hinzu.

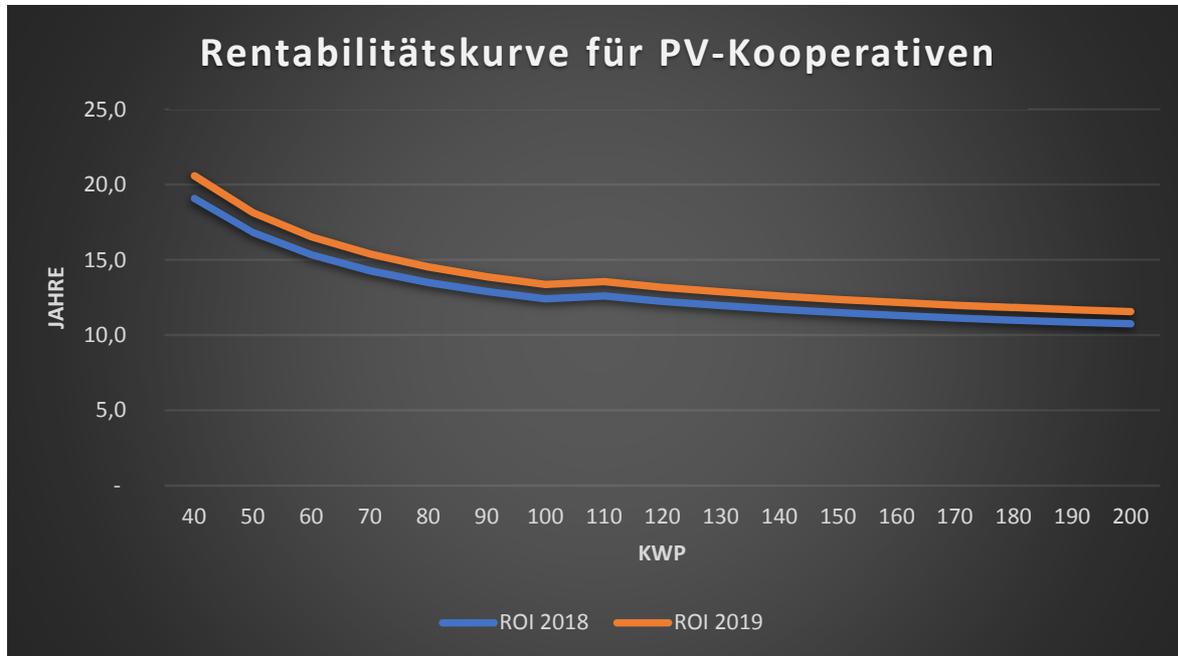


Diagramm 19: Rentabilitätskurve für PV-Kooperativen

Ein Standort, der sich für eine Photovoltaikkooperative eignen würde, wäre die Wasserfabrik. Dieser Betrieb ist für über 50% des gesamten Stromverbrauchs der Gemeinde verantwortlich, besitzt aber auch genügend Dachflächen für den Bau einer Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 200 kW_p. Wenn die Anlage im Jahr 2018 in Betrieb genommen werden würde, wären die Investitionskosten bereits nach 11 Jahren wieder eingenommen. Da die Wasserfabrik ihren Strom sehr günstig zu 6,5ct/kWh bezieht, wäre es wirtschaftlicher, den produzierten Strom ins Netz einzuspeisen und von einer Einspeisevergütung zu 13,46ct/kWh zu profitieren. Nach dem die Investitionskosten wieder eingenommen sind, könnte das Unternehmen die nächsten vier Jahre 24.000€ Profit pro Jahr machen, danach sinkt die Einspeisevergütung und somit auch der Profit.

Eine weitere Möglichkeit, um Photovoltaikkooperativen zu gründen, sind Landwirtschaftsbetriebe, da sie Ställe und Hallen mit großen Dachflächen besitzen. Im „Reidenerwee“ in Oberpallen befindet sich ein landwirtschaftlicher Betrieb, der die geografischen Bedingungen erfüllen würde, um eine Photovoltaikkooperative zu bilden. Eine Überprüfung der statischen Eigenschaften der Gebäude wäre unerlässlich, da die Belastung durch das Gewicht der Solarzellen nicht außer Acht gelassen werden darf. **Abbildung 10** zeigt ein Satellitenbild des potenziellen Standorts in Oberpallen. Dieser Standort besitzt auch genügend Flächen, um eine 200 kW_p Anlage in Betrieb zu nehmen.



Abbildung 10: Potenzielle Photovoltaikkooperative in Oberpallen

In Tabelle 18 werden die Stromproduktion und die CO₂-Ersparnis zusammengefasst. Wenn die 2 Photovoltaikkooperativen errichtet werden, könnten 360.000kWh Strom produziert werden, dies würde rund 1,6% des Stromverbrauchs von 2017 ausmachen. Es würden sich auch 104t CO₂ einsparen lassen, dies würde den Verbrauch um weitere 4,6% senken.

	Stromproduktion (kWh/a)	Anteil am Gesamtstromverbrauch 2017 (%)	CO ₂ -Ersparnis (kg CO ₂ /a)	Anteil an CO ₂ -Ausstoss 2017 (%)
Wasserfabrik	180.000	0,8	102.420	2,3
Oberpallen	180.000	0,8	102.420	2,3

Tabelle 18: Zusammenfassung der PV-Kooperativen

5.3 Szenario 3: Neubauprojekt „Bei Meimerich“

In der Gemeinde befinden sich noch einige Wohnreservegebiete (Zone d'aménagement différencié), eines dieser Gebiete befindet sich in der Ortschaft Hovelange und wird im Bebauungsplan unter dem Namen „Bei Meimerich“ geführt. Seitens der Gemeinde besteht ein Interesse dieses Gebiet in ein Wohngebiet umzuwandeln, dazu wäre eine Änderung des Flächennutzungsplans (Plan d'aménagement général **PAG**) notwendig.



Abbildung 11: Wohnreservegebiet in der Gemeinde Beckerich

Wenn die Änderung des PAG bewilligt würde, besteht die Möglichkeit in Zusammenarbeit mit der Universität Luxemburg ein intelligentes Energiekonzept für dieses Neubaugebiet auszuarbeiten.

In Europa gibt es bereits einige Ortschaften, die uns gezeigt haben, dass es möglich ist innovative Konzepte umzusetzen und bezahlbaren Wohnraum zu schaffen. Dies wäre eine gute Möglichkeit für die Gemeinde Beckerich ein solches Konzept selbst umzusetzen. Neben den herkömmlichen Photovoltaikanlagen werden neuerdings Solardächer angeboten, diese bestehen aus Glasschindeln in denen eine Solarzelle integriert ist. Der Vorteil dieser Dächer ist, dass sie sich bei einer Ost-West Ausrichtung des Dachs mehr Energie produzieren als eine Photovoltaikanlage mit einer Südausrichtung. Wenn man dieses Dach mit einem Stromspeicher koppelt, kann tagsüber der Stromspeicher mit Solarstrom aufladen und in der Nacht kann der Strom verbraucht werden. Neben der Eigenschaft Sonnenstrahlung in Strom umzuwandeln, besitzt dieses Dach die Eigenschaft wie jedes andere Objekt Sonnenstrahlung in Form von Wärme zu speichern. Mit steigender Temperatur sinkt zunehmend der Wirkungsgrad von PV-Anlagen, deshalb bietet z.B. das Unternehmen SolteQ ein Dach an, bei dem durch ein Spezialrohr Wärme, die sich unter dem Dach angesammelt hat aufgesogen wird und mit einer Wärmepumpe kanalisiert wird und in einem Pufferspeicher gesammelt wird (siehe **Abbildung 12**). Mit diesem System werden zwei Fliegen mit einer Klappe geschlagen, erstens wird der Wirkungsgrad verbessert und zweitens wird die Wärme zum Heizen genutzt.

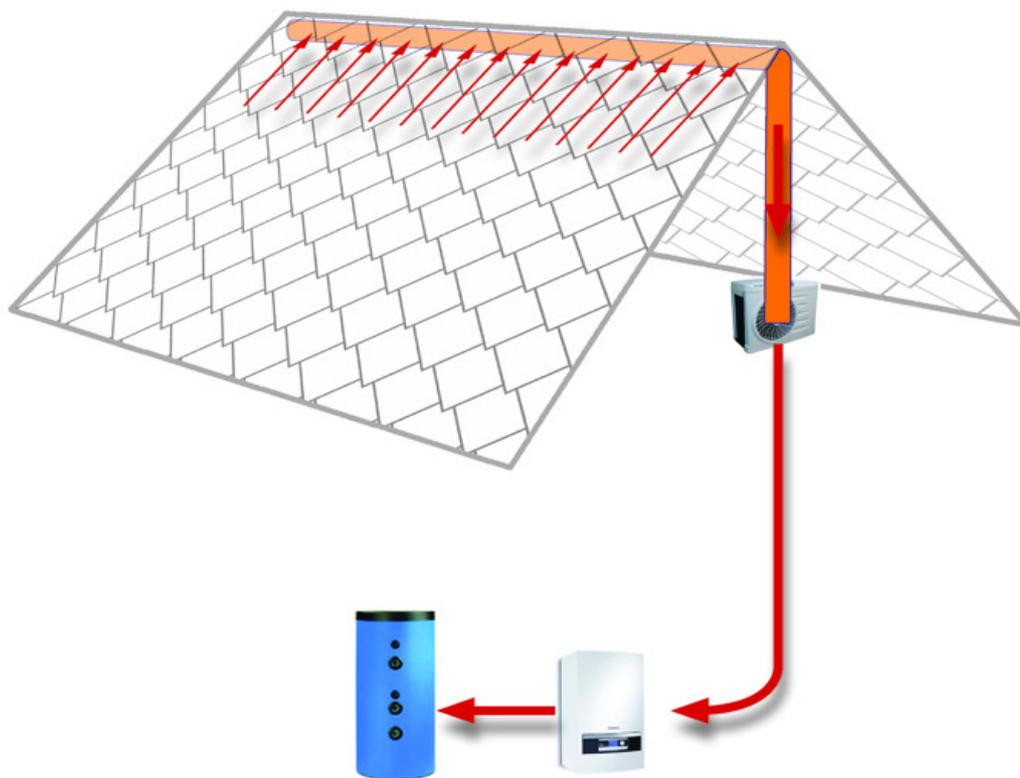


Abbildung 12: Solardach mit Wärmenutzung

Neben der Stromversorgung muss auch die Versorgung mit Wärme sichergestellt werden, hier kann das Konzept der Wärmespeicherung der Solardächer ausgebaut werden und anstelle der Wärme dezentral in Pufferspeichern zu speichern, könnte die Wärme in einem zentralen Langzeitwärmespeicher gespeichert werden. Die größte Wärmemenge fällt gerade im Sommer an, wenn am wenigsten Wärme benötigt wird, meistens wird der Pufferspeicher aufgefüllt und die überschüssige Wärme muss an die Umwelt wieder abgegeben werden, mit einem Langzeitwärmespeicher kann man die gespeicherte Wärme bis in den Winter hinein nutzen. Hierzu könnte die Universität von Luxemburg zu Rate gezogen werden, da sie bereits Projekte im Bereich der Wärmespeicherung erfolgreich geplant haben. Es wäre sinnvoll eine Machbarkeits- & Wirtschaftlichkeitsanalyse des Projektes durchzuführen.

In **Tabelle 19** wird das Solardach von SolteQ mit herkömmlichen Photovoltaikanlagen verglichen. Solardächer besitzen eine leicht höhere spezifische Leistung als herkömmliche Anlagen, jedoch ist der spezifische Preis eines Solardaches höher als der von einer großen Photovoltaikanlage. Dies muss jedoch relativiert werden, da Solardächer neben der Stromproduktion auch Energie für die Wärmebereitstellung erzeugen können.

	Spezifische Leistung (W_p/m^2)	spezifischer Preis (€/kWp)	Wärmeenergie
Solardach	208	1875	Ja
PV-Anlage	167	1000-1800	Nein

Tabelle 19: Vergleich zwischen Solardach und PV-Anlagen

6 Zusammenfassung

Die Gemeinde hat bereits wichtige Schritte im Bereich der Energieeinsparungen unternommen, dies wird besonders im Bereich des Stromverbrauchs ersichtlich. Beim Wärmeverbrauch mussten viele Verbräuche geschätzt werden, da es auf diesem Gebiet an Daten mangelte, deshalb kann eine Bewertung der Einsparungen in diesem Bereich nicht mit Sicherheit gemacht werden.

Die Gemeinde muss die Kommunikation mit ihren Bürgern verbessern um möglichst alle Bürger mit ins Boot zu nehmen und um eine möglichst komplette Datenbank zu erstellen. Die mangelnde Rückmeldung auf die Umfrage ist ein Beweis dafür, dass nicht alle Bürger über die Klimaziele der Gemeinde Bescheid wissen oder kein Interesse haben zum Erreichen dieser Ziele haben.

Das größte Potenzial zur Nutzung von erneuerbaren Energien auf dem Gemeindegebiet bietet die Sonnenenergie. Wenn man die privaten und kooperativen Photovoltaikanlagen ausbauen würde, könnte man den Deckungsgrad des Stroms um 8,8% erhöhen und die CO₂-Produktion um ein Viertel senken. Mit den privaten Solarthermieanlagen könnte man den Deckungsgrad der Wärmeproduktion um 1,3% erhöhen und den CO₂-Ausstoss um 2,5% senken.

	Energieproduktion (kWh/a)	Energieeinsparung (%)	CO₂-Senkung (%)
Solarstrom	1.970.494	8,8	25,6
Solarthermie	352.000	1,3	2,5

Tabelle 20: Zusammenfassung der Nutzung solarer Energie

Des Weiteren sollte die Gemeinde versuchen den Stromverbrauch sowie den Wärmeverbrauch zu senken. Durch die Förderung von smarten Steckdosenleisten lassen sich Standby- Verbräuche leicht und kosteneffizient senken. Um den Wärmeverbrauch zu senken müssen mehr energetische Sanierungen unternommen werden, doch vorerst müssen die Bürger von den Vorteilen letzterer überzeugt werden, damit diese Investition tätigen.

Das geplante Neubaugebiet in Hovelange bietet eine gute Möglichkeit innovative Konzepte umzusetzen, doch vorher muss ein Partner gefunden werden, der bereit ist diesen Weg mitzugehen. An der Universität von Luxemburg wird an einem Energiekonzept auf Basis von Langzeitwärmespeichern gearbeitet.

Quellenverzeichnis

- [1] <https://www.geoportail.lu/de/> (Aufgerufen am 25.05.2018)
- [2] <http://www.statistiques.public.lu/fr/population-emploi/index.html> (Aufgerufen am 25.05.2018)
- [3] CoM Default Emission Factors for the Member States of the European Union Dataset Version2017
- [4] Institut Luxembourgeois de Régulation. Règlement E11/14/ILR du 29 mars 2011 portant fixation des valeurs par défaut de l'impact environnemental et abrogeant le règlement E10/24/ILR du 19 octobre 2010 portant fixation des valeurs par défaut de l'impact environnemental. Secteur Electricité.
- [5] Institut Luxembourgeois de Régulation - Règlement ILR/E18/9 du 23 mars 2018 - Secteur électricité.
- [6] Règlement ministériel du 21 septembre 2016 fixant les facteurs de correction climatique annuels prévus à l'annexe du règlement grand-ducal modifié du 30 novembre 2007 concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation.
- [7] <http://www.ewh-haustechnik.at/produkte/erdwaerme-sonde.html>
- [8] <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/erdwaerme/erdwaermekollektoren/flaechenkollektor.html>
- [8] <https://www.soler.lu/unsere-standorte/>
- [9] <https://www.topagrar.com/archiv/Gas-aus-Gras-und-es-geht-doch-550834.html>
- [10] <https://data.public.lu/en/datasets/dechets-municipaux/>
- [11] <https://www.energieheld.de/photovoltaik/kosten-pv-anlage>
- [12] <http://www.dassolardach.eu/Heizung/heizung.html>
- [13] <https://energyload.eu/energiewende/international/solteq-solardach-tesla-solarziegel/>
- [14] Von Muhammad Mahdi Karim - Eigenes Werk, GFDL 1.2, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9532464>
- [15] <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/aquaponik-fisch-und-pflanzenzucht-unter-einem-dach/>
- [16] <https://www.proplanta.de/Thema/Zuchtfische>
- [17] <https://de.fotolia.com/tag/speisereste>
- [17] <https://enorm-magazin.de/das-dorf-der-zukunft>

Anhang 1: Rentabilitätsrechnung zu PV-Anlagen und Solarthermieanlagen

Der Preis für Photovoltaikanlagen kann stark variieren, so belaufen sich die Kosten bei einer 4 kW_p-Anlage auf 1700€/kW_p und bei einer 30kW_p-Anlage auf knapp 1000€/kW_p. Die Preisvariation ist auf **Diagramm 21** aufgetragen, einige Preise stammen vom Unternehmen **TOPSOLAR S.A.**, der Rest der Preise wurde durch Interpolation ermittelt.

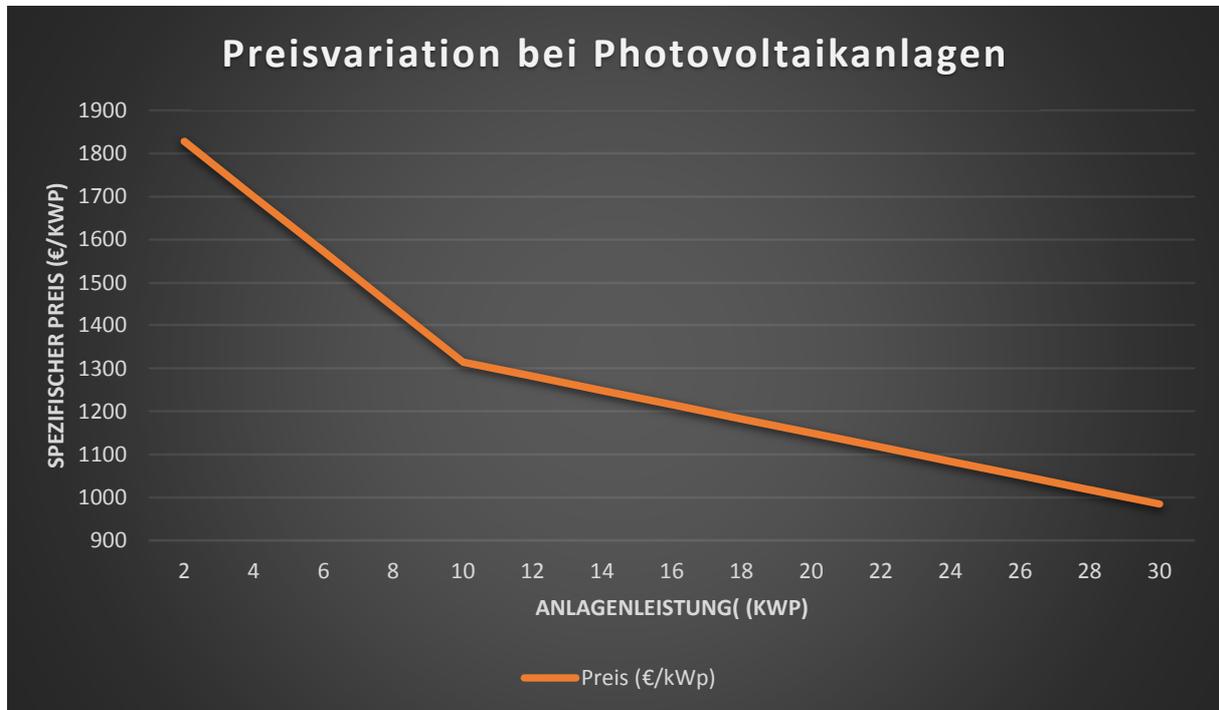


Diagramm 20: Preisvariation von Photovoltaikanlagen

Anlagenkosten mit MwSt. (€)	Anlagenkosten ohne MwSt. (€)	Staatliche Förderung (€)	Investitionskosten (€)
8000	6960	1392	6608
Versicherung (€/a)	Betriebskosten (€/a)	Laufende Kosten (€/a)	
32	32	64	

Tabelle 21: Kostenübersicht einer PV-Anlage

In der **Tabelle 20** ist die Kostenübersicht einer 5kW_p Photovoltaikanlage festgehalten. Die Anlagenkosten belaufen sich dabei auf 8000€, die Höhe der staatlichen Förderung ist im „*Règlement grand-ducal du 23 décembre 2016 fixant les mesures d'exécution de la loi du 23 décembre 2016 instituant un régime d'aides pour la promotion de la durabilité, de l'utilisation rationnelle de l'énergie et des énergies renouvelables dans le domaine du logement*“ festgehalten und beläuft sich für Photovoltaikanlagen auf 20% der Nettokosten mit einem Maximum von 500€/kW_p. Nach Abzug der Förderung belaufen sich die Investitionskosten auf 6608€. Als Laufende Kosten müssen nur die Versicherung der Anlage und die Miete eines Stromzählers miteinkalkuliert werden, diese belaufen sich jährlich auf rund 64 €.

	Einspeisevergütung (€)	Stromkosten (€)	Laufenden Kosten (€)	Ersparnis (€)	ROI (a)
ohne PV	0	1003		0	
nur Einspeisung	652,5		64	0	11,2
teilweise Nutzung	495,9	819,4	64	183,6	10,7

Tabelle 22: Rentabilitätsrechnung einer PV-Anlage

Tabelle 21 zeigt die Rentabilitätsrechnung, wobei 2 Szenarien für einen vierköpfigen Haushalt berechnet werden. In Szenario 1 werden die 4500 kWh, die die Anlage jährlich produziert vollständig (zu 0,145€/kWh) ins Energienetz eingespeist, der Verbrauch des Haushalts, der 5900 kWh beträgt muss jedoch vom Energielieferant (0,17€/kWh) abgekauft werden (**Quelle:** Calculix.lu). Dieses Szenario beschreibt das Vorgehen, wie es in den letzten Jahren üblich war. In Szenario 2 wird der Strom der PV-Anlage selbst verbraucht, es wird angenommen, dass rund 1000kWh des Photovoltaikstroms selbst verbraucht werden können, der ungenutzte Rest wird an die Netzbetreiber verkauft. Die Rentabilitätsrechnung hängt von verschiedenen Variablen ab, die Rentabilität von Anlagen, die den Strom komplett ins Stromnetz einspeisen wird anhand der Einspeisevergütung und der Laufenden Kosten ermittelt. Bei der Rentabilitätsberechnung von Anlagen, bei denen ein Teil des Stroms selbst genutzt wird, wird die erzielte Stromersparnis hinzugezogen. Man stellt fest, dass bei der Anlage, bei der ein Teil des Stroms selbst verbraucht wird sich ein halbes Jahr eher amortisiert als die Anlage, die den Strom nur ins Netz einspeist.

Es sei angemerkt, dass mit fixen Strompreisen gerechnet wurde, die Einspeisevergütung wird nur für 15 Jahre gewährleistet, wenn diese danach sinkt, sinkt die Rentabilität der Anlage. Der Einkaufspreis für den Strom wurde auch als fix angenommen, es ist jedoch eher anzunehmen, dass die Strompreise steigen werden.

Kollektorkosten (€)	Solarspeicher (€)	Installation und Zubehör (€)	Gesamtkosten (€)
2900	1200	1500	5600
Staatliche Förderung (€)	Förderung der Gemeinde (€)	Laufende Kosten (€)	Investitionskosten (€)
2500	1250	40	1850

Tabelle 23: Kostenübersicht einer Solarthermieanlage

In **Tabelle 22** ist die Kostenübersicht² einer Solarthermieanlage zur Brauchwassererwärmung festgehalten, diese Anlage soll das Wasser für einen 4 Personen Haushalt erwärmen, dazu wäre eine Dachfläche von 6m² und ein Solarspeicher von 300l Fassungsvermögen nötig. Die Gesamtkosten für die einzelnen Teile der Solarthermieanlage und für die Installation belaufen sich auf **5600€**, durch staatliche und kommunale Förderung sinken die Investitionskosten auf rund **1850€**.

² Quelle : <http://www.solarthermie.net/faq/wie-hoch-liegen-die-solarthermie-kosten-pro-m2>

Wärmeproduktion (kWh/a)	Heizölsubstitution (l)	Ersparnis (€)	ROI (a)
2625	267,9	182,14	13,0

Tabelle 24: Rentabilitätsrechnung einer Solarthermieanlage

In **Tabelle 23** ist die Rentabilitätsrechnung dieser Anlage aufgeführt. Die Anlage produziert jährlich 2625 kWh an Wärme, damit lassen sich jährlich 262,5l Heizöl einsparen, beim momentanen Heizölpreis von 0,68€/l entspricht dies einer Ersparnis von 182,14€ jährlich. Die Investitionskosten können schon in den ersten 13 Jahren wieder eingenommen und bei einer zu erwartenden Lebensdauer von mindestens 20 Jahren macht man die restlichen 7 Jahre Gewinn.